

ANNA JAMA-RODZEŃSKA, WŁADYSŁAW NOWAK

### **Zawartość makroskładników w wybranych klonach wierzby krzewiastej uprawianej na komunalnym osadzie ściekowym**

---

The content of macronutrients in selected clones of willow cultivated on municipal sewage sludge

**Streszczenie.** Wykorzystywanie komunalnych osadów ściekowych do nawożenia roślin jest coraz bardziej powszechne ze względu na obecność cennych składników pokarmowych, jednakże budzi pewne zastrzeżenia związane z nadmiernym obciążeniem niektórych osadów ściekowych metalami ciężkimi lub obecnością w nich zanieczyszczeń sanitarnych. Do fitoekstrakcji lub fitoremediacji wykorzystywana może być wierzba (*Salix*), która akumuluje w swoich tkankach metale ciężkie, a także dobrze wykorzystuje składniki pokarmowe (N, P, Mg, Ca, Na, K) zawarte w komunalnych osadach ściekowych. W latach 2008–2010 na założonej w 2003 r. plantacji doświadczalnej prowadzono badania dotyczące wpływu dawek komunalnego osadu ściekowego na zawartość sodu, potasu, magnezu i wapnia w klonach wierzby krzewiastej. Doświadczenie zostało założone metodą split-plot, z dwoma czynnikami zmiennymi: z dawkami osadów oraz czterema klonami wierzby. Najwięcej makroskładników stwierdzono w liściach, mniej w korze, a najmniej w drewnie. Zastosowanie komunalnego osadu ściekowego istotnie zmniejszyło zawartość potasu w liściach i korze wierzby oraz wapnia w korze, nie miało natomiast istotnego wpływu na zawartość magnezu i sodu w analizowanych wskaźnikowych częściach wierzby krzewiastej.

**Słowa kluczowe:** klony wierzby, komunalny osad ściekowy, sód, potas, magnez, wapń

#### WSTĘP

Stosowanie komunalnych osadów ściekowych do nawożenia plantacji energetycznych, w tym wikliny, jest zasadne ze względu na zawartość materii organicznej i cennych składników pokarmowych. Komunalne osady ściekowe są dla roślin źródłem wielu składników odżywczych, takich jak azot, fosfor, magnez czy siarka [Czekała 1999, Kalembsa i in. 1999, Jama i Nowak 2012a, 2012b]. Rośliny energetyczne, w tym wierzba,

bardzo dobrze przyswajają składniki pokarmowe zawarte w osadzie, wykorzystując je do prawidłowego wzrostu i rozwoju. Do utylizacji komunalnego osadu ściekowego wykorzystuje się takie gatunki, jak: *Salix viminalis* L., *S. triandra* L., *S. dasyclados*, *S. americana* i liczne hybrydy, jednak w warunkach szwedzkich najbardziej do tych celów nadaje się *S. viminalis* L. i *S. dasyclados* [Perrtu 1993]. Czynnikiem ograniczającym wykorzystanie komunalnych osadów ściekowych może być zawartość w nich metali ciężkich. Wierzba należy do niewielu roślin, które mają zdolność do pobierania i akumulowania metali ciężkich znajdujących się w komunalnym osadzie ściekowym, stąd jej wykorzystanie w fitoremediacji [Greger i in. 2003, Kaniuczak i in. 2003, Cosio i in. 2006, Mleczek i in. 2009]. Najwięcej składników biogennych wierzba pobiera od czerwca do sierpnia, tj. w okresie największego przyrostu biomasy. Ta właściwość wierzby znalazła także zastosowanie w gospodarce ściekowej, w tzw. oczyszczalniach gruntowo-roślinnych, gdzie wykorzystuje się ją jako jeden z etapów oczyszczania ścieków [Perrtu 1993, Spiak 1993, Ohlsson i in. 2008]. Najwięcej biogenów wierzba gromadzi w liściach, mniej w korze, a najmniej w drewnie, co zostało potwierdzone w licznych badaniach [Kaniuczak i in. 2001, 2003, Jama i Nowak 2011, 2012b].

Celem pracy było określenie pobierania i gromadzenia makroskładników w liściach, korze i drewnie przez cztery klony (1001, 1047, 1053, 1054) wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.).

#### MATERIAL I METODY

W latach 2008–2010 na założonej w 2003 r. plantacji doświadczalnej przeprowadzono badania wpływu nawożenia komunalnymi osadami ściekowymi na zawartość makroelementów w wybranych klonach wierzby krzewiastej. Badanie z czterema klonami wierzby krzewiastej prowadzono w Stacji Badawczo-Dydaktycznej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu metodą losowanych podbloków (split-plot), w trzech powtórzeniach, z dwoma czynnikami zmiennymi. Czynnikiem pierwszego rzędu były dawki komunalnych osadów ściekowych pochodzących z Wrocławskiej Oczyszczalni Ścieków Janówek według następującego układu:

1. kontrola (bez osadu),
2. dawka pojedyncza:  $14,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  s.m. osadu ściekowego,
3. dawka podwójna:  $28,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  s.m. osadu ściekowego.

Wielkość dawki komunalnego osadu ściekowego została ustalona w oparciu o załącznik 1 do Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 13 lipca 2010 r. z przeznaczeniem komunalnego osadu do rekultywacji na cele nierolne. Zastosowane dawki osadów były znacznie większe w porównaniu z zapotrzebowaniem wierzby na azot i fosfor. Ideą tego doświadczenia była ocena wpływu komunalnych osadów ściekowych na plonowanie i skład chemiczny uzyskanego plonu.

Czynnikiem drugiego rzędu były cztery klony wierzby krzewiastej oznaczone w kolekcji następującymi liczbami:

- 1001 *Salix viminalis dasycladis* ssp. *Baltica*,
- 1047 *Salix viminalis* var. *Gigantea*,
- 1053 *Orm Valne*,
- 1054 *Salix viminalis* 082.

Tabela 1. Skład granulometryczny gleby (poziom A 0–20 cm) wykonany metodą areometryczną Bouyoucosa – Cassagrande w modyfikacji Prószyńskiego (wg PTG)

Table 1. Granularity of soil (level A 0–20 cm) made up using aerometric method Bouyoucosa – Cassagrande in Prószyński's modification

Próbka Glebowa Soil sample	Udział frakcji (mm)			Grupa graanulometryczna według PTG 2008
	2–0,05	0,05–0,02	< 0,02	
Poziom A Level A (0–20 cm)	64	26	10	glina lekka

Tabela 2. Właściwości fizycznochemiczne komunalnego osadu ściekowego

Table 2. Physicochemical properties of communal sewage sludge

Wyszczególnienie Specification	Jednostka Unit	Komunalny osad ściekowy Communal sewage sludge
pH	-	12
Sucha masa	g·kg <sup>-1</sup>	220
Substancja organiczna		450
Azot ogólny		36
Fosfor ogólny		28
Wapń (Ca)		100
Magnez (Mg)		7
Olów (Pb)		mg·kg <sup>-1</sup>
Kadm (Cd)	2,00	
Chrom (Cr)	108	
Miedź (Cu)	415	
Nikiel (Ni)	50	
Rtęć (Hg)	0,05	

Doświadczenie założono na glebie brunatnoziemnej, typu płowego, podtypu opadowo-glejowego, zaliczonej do klasy bonitacyjnej III b. Gleba charakteryzowała się bardzo dużą zawartością przyswajalnego fosforu (90–191 mg · kg<sup>-1</sup>), potasu (151–210 mg · kg<sup>-1</sup> gleby) oraz średnią i dużą zawartością magnezu (29–34 mg · kg<sup>-1</sup> gleby). Odczyn gleby wahał się od 7,4 do 7,6. Glebę zaliczono do gliny lekkiej (tab. 1) [Drozd i in. 2002].

Skład chemiczny zastosowanych komunalnych osadów ściekowych wskazuje, że były one zasobne w składniki nawozowe. Charakteryzowały się odczynem zasadowym, dużą zawartością substancji organicznej, azotu, fosforu, wapnia oraz małą zawartością metali ciężkich. Nie stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych zawartości metali ciężkich pod kątem wykorzystania ich w rolnictwie (tab. 2).

Komunalne osady ściekowe zastosowano jednorazowo wiosną 2008 r., powierzchniowo, po czym badano ich następcze działanie. Analizy chemiczne wykonano z uwzględnieniem standardów obowiązujących w laboratoriach chemiczno-rolniczych

dwiema metodami: zawartość magnezu zbadano metodą kolorymetryczną z żółcieniem tytanową, a zawartość sodu, potasu i wapnia – metodą fotometrii płomieniowej. Analizę statystyczną wyników opracowano na poziomie istotności  $\alpha \leq 0,05$  w programie AWA.

## WYNIKI

Zawartość makroelementów w częściach wskaźnikowych wierzb krzewiastych była zróżnicowana. Największą zawartość oznaczonych pierwiastków stwierdzono w liściach, mniej w korze, a najmniej w drewnie. Dawki komunalnego osadu ściekowego z reguły nie miały istotnego wpływu na zawartość badanych makroelementów. Klonem gromadzącym najwięcej magnezu i sodu był klon 1054, potasu – 1047, wapnia – 1001 (tab. 4). Największe zawartości makroelementów stwierdzono na ogół w pierwszym bądź drugim roku prowadzenia badań.

Tabela 3. Wpływ dawek osadów ściekowych na zawartość magnezu, wapnia, potasu i sodu w liściach, korze i drewnie wierzby krzewiastej ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

Table 3. Effect of sewage sludge on the content of magnesium, calcium, potassium and sodium in leaves, bark and wood of willow ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.)

Dawka osadów Doses of sludge	Mg			Średnia Mean	K			Średnia Mean
	liście leaves	kora bark	drewno wood		liście leaves	kora bark	drewno wood	
Kontrola	2,90	1,51	1,12	1,84	12,3	3,82	0,65	5,59
Pojedyncza	2,65	1,63	1,09	1,79	10,6	3,40	0,64	4,88
Podwójna	2,98	1,64	1,12	1,91	10,6	3,31	0,70	4,87
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	r.n	r.n	-	1,54	0,41	r.n	-
Średnia Mean	2,84	1,59	1,11	-	11,2	3,51	0,66	-
	Ca				Na			
Kontrola	11,6	8,45	1,08	7,04	0,95	0,61	0,43	0,88
Pojedyncza	10,2	6,76	1,10	6,02	0,79	0,50	0,34	0,54
Podwójna	10,5	7,58	1,02	6,36	0,91	0,84	0,37	0,71
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	0,90	r.n	-	r.n	r.n	r.n	-
Średnia Mean	10,7	7,60	1,07	-	0,88	0,65	0,38	-

Badane czynniki nie miały istotnego wpływu na zawartość magnezu w liściach i korze (tab. 3 ,4, 5), dawki osadów ściekowych nie miały również istotnego wpływu na zawartość magnezu w drewnie wierzby. Analiza wariancji nie wykazała istotnego

wpływu komunalnych osadów ściekowych w porównywanych klonach, najwięcej magnezu zgromadził klon 1054 (tab. 4). Zmienne w latach badań warunki pogodowe nie miały istotnego wpływu na zawartość magnezu w liściach i korze, natomiast stwierdzono ich wpływ na zawartość magnezu w drewnie. Istotnie najwięcej magnezu w drewnie stwierdzono w pierwszym roku badań, a zmniejszenie jego ilości w kolejnych latach (tab. 5).

Tabela 4. Zawartość makroelementów w liściach, korze i drewnie wierzby ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)

Table 4. The content of macronutrients in leaves, bark and the wood of willow ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.)

Numer klonów Number of clones	Mg			Średnia Mean	K			Średnia Mean
	liście leaves	kora bark	drewno wood		liście leaves	kora bark	drewno wood	
1001	2,87	1,48	1,11	1,82	10,5	3,48	0,60	4,86
1047	2,80	1,61	1,05	1,82	12,3	3,42	0,77	5,49
1053	2,77	1,67	1,16	1,86	10,6	3,65	0,66	4,97
1054	2,93	1,60	1,11	1,88	11,1	3,47	0,62	5,06
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	r.n	r.n	-	r.n	r.n	r.n	-
	Ca				Na			
1001	11,6	8,05	0,98	6,87	0,87	0,54	0,33	0,58
1047	10,4	7,76	1,17	6,44	0,87	1,00	0,43	0,76
1053	9,73	7,06	1,02	5,96	0,87	0,52	0,38	0,59
1054	11,3	7,52	1,08	6,63	0,90	0,53	0,36	0,59
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	r.n	r.n	-	r.n	r.n	r.n	-

Zawartość potasu w liściach i korze była zróżnicowana pod wpływem zastosowanych dawek osadu (tab. 3). Najwięcej potasu stwierdzono w obiekcie kontrolnym, natomiast zmniejszenie jego zawartości następowało wraz ze zwiększaniem dawki osadów ściekowych (tab. 3). Dawki osadów ściekowych nie wpłynęły na zawartość potasu w drewnie. Nie stwierdzono także istotnych różnic między klonami w zawartości potasu w liściach, w korze i drewnie (tab. 4). Czynniki pogodowe w latach badań nie miały istotnego wpływu na zawartość potasu w liściach, korze i drewnie (tab. 5).

Zastosowane dawki komunalnych osadów ściekowych wpłynęły istotnie na zawartość wapnia w korze wierzby, przyczyniając się do zmniejszenia tej zawartości (tab. 3). Dawki komunalnych osadów ściekowych nie miały istotnego wpływu na zawartość wapnia w liściach i drewnie. Nie stwierdzono również istotnych różnic między klonami w zawartości wapnia w liściach, w korze i drewnie (tab. 4). Czynniki pogodowe nie wpłynęły istotnie na zawartość tego pierwiastka w analizowanych częściach wskaźnikowych wierzby (tab. 5).

Tabela 5. Zawartość makroelementów w liściach, korze i drewnie wierzby; średnie z lat 2008–2010 ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  s.m.)Table 5. Content of macronutrients in leaves, bark and the wood willow; mean for years 2008–2010 ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  d.m.)

Rok Year	Mg			Średnia Mean	K			Średnia Mean
	liście leaves	kora bark	drewno wood		liście leaves	kora bark	drewno wood	
2008	2,80	1,57	1,31	1,89	10,6	3,41	0,78	4,93
2009	2,88	1,53	1,10	1,83	11,7	3,46	0,59	5,25
2010	2,85	1,67	0,91	1,81	11,1	3,65	0,62	5,12
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	r.n	0,26	-	r.n	r.n	r.n	-
Średnia Mean	2,84	1,59	1,11	-	11,2	3,51	0,66	-
	Ca				Na			
2008	10,9	7,66	1,14	6,56	0,87	0,52	0,38	0,59
2009	10,8	7,34	1,06	6,40	0,86	0,81	0,36	0,67
2010	10,6	7,80	1,00	6,46	0,92	0,62	0,39	0,64
NIR/LSD ( $\alpha = 0,05$ )	r.n	r.n	r.n	-	r.n	r.n	r.n	-
Średnia Mean	10,7	7,60	1,07	-	0,88	0,65	0,38	-

Dawki komunalnych osadów ściekowych nie miały istotnego wpływu na zawartość sodu w analizowanych wskaźnikowych częściach wierzby (tab. 3). Nie stwierdzono istotnych różnic między klonami w zawartości sodu w liściach, w korze i drewnie (tab. 4). Przebieg pogody również nie wpłynął istotnie na zawartość tego pierwiastka w częściach wskaźnikowych wierzby (tab. 5).

#### DYSKUSJA

Wierzba w największej ilości gromadzi składniki pokarmowe w liściach, mniej w korze, a najmniej w drewnie [Kaniuczak i in. 2001, Jama i Nowak 2011]. Różnice w ich zawartości dotyczyły dawek zastosowanych osadów ściekowych oraz warunków pogodowych w latach badań. Na ogół wraz ze zwiększaniem dawki osadu obserwowano zmniejszenie zawartości makroelementów (magnez w liściach i korze, potas w drewnie), czego nie potwierdzają badania Labrecque i in. [2003]. Podobnie jak w badaniach Wróbla [2006] największe zawartości magnezu stwierdzono w pierwszym roku badań (magnez w drewnie). Azot, fosfor, magnez, potas gromadzone były głównie w liściach w istotnie większych ilościach niż w korze i drewnie. Inni autorzy także wykazali zróżnicowaną i odmienną zawartość makroelementów w różnych klonach wikliny [Kaniuczak i in. 2001, Jama i Nowak 2011]. Labrecque i in. [1995] dowiedli, że zwiększenie dawek osadów ściekowych wpłynęło na zwiększenie zawartości makroskładników w liściach, z wyjątkiem magnezu i potasu.

W badaniach własnych stwierdzono odwrotną tendencję dla potasu: zwiększenie dawek osadów spowodowało spadek jego zawartości. Gondek i Filipek-Mazur. [2006] wykazali, że osad ściekowy wpływa w szczególności na zwiększenie ilości wapnia w roślinach, co jednak nie znalazło potwierdzenia w badaniach własnych. W badaniach Kaniuczak i in. [2001] największe zdolności akumulacyjne makroelementów i metali ciężkich w korze miał klon 1003 (wiklina plecionkarska), co wskazuje na jego szczególną przydatność w ochronie środowiska, a także klon 1051 (wiklina przemysłowo-energetyczna). Także Meers i in. [2005] uzyskali wysoki wskaźnik pobrania makroskładników przez wiklinę, porównywalny z wartościami uzyskanymi w badaniach własnych.

#### WNIOSKI

1. Spośród analizowanych części wskaźnikowych wierzby największą zawartość analizowanych pierwiastków stwierdzono w liściach, mniejszą – w korze, a najmniejszą – w drewnie.
2. Komunalny osad ściekowy miał istotny wpływ na zawartość potasu w liściach i korze oraz wapnia w korze wierzby. Natomiast nie miał wpływu na zawartość magnezu i sodu we wskaźnikowych częściach wierzby.
3. Nie stwierdzono istotnych różnic między klonami w zawartości magnezu, potasu, wapnia i sodu w liściach, korze i drewnie.
4. Największą zawartość magnezu w drewnie wierzby krzewiastej stwierdzono w pierwszym roku badań, a spadek jego zawartości w następnych latach.

#### PÍSMIENNICTWO

- Cosio C., Vollenweider P., Keller C., 2006. Localization and effects of cadmium in leaves of a cadmium-tolerant willow (*Salix viminalis*), I Macrolocalization and phytotoxic effects of cadmium. *Environ. Exp. Bot.* 58, 64–74.
- Czekala J., 1999. Osady ściekowe źródłem materii organicznej i składników pokarmowych. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 200, *Agricultura* 77, 33–38.
- Drozd J., Licznar M., Licznar S., Weber J., 2002. *Gleboznawstwo z elementami mineralogii i petrografii*. Skrypty AR we Wrocławiu, 470.
- Gondek K., Filipek-Mazur B., 2006. Zawartość wapnia, magnezu i sodu w roślinach nawożonych osadami ściekowymi. *Acta Agrophysica* 8(1), 83–93.
- Greger M., Landberg T., Berg B., 2003. Efficient phytoextraction of metals by *Salix* in field – influence of biomass and removal of leaf litter. *Cost Action 837 Workshop on Phytoremediation of toxic metals*. Stockholm, 12–15 th June, 2003.
- Jama A., Nowak W., 2012a. Wpływ komunalnych osadów ściekowych na plony i cechy biometryczne wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.). *Nauka Przyr. Technol.* 6 (3), #57.
- Jama A., Nowak W., 2012b. Willow (*Salix viminalis* L.) in purifying sewage sludge treated soils. *Pol. J. Agron.* 9, 3–6.
- Jama A., Nowak W., 2011. Pobieranie makroskładników z osadów ściekowych przez wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis* L.) i jej mieszańce. *Nauka Przyr. Technol.* 5, (6), #123.
- Kalembasa S., Pakuła K., Becher M., 1999. Zawartość makro i mikropierwiastków w osadach ściekowych, produkowanych na wybranych oczyszczalniach regionu siedleckiego. *Folia Univ. Agric. Stetin.* 200, *Agricultura* (77), 125–128.

- Kaniuczak J., Błażej J., Gasior J., Gierlicki P., 2001. Zawartość makroelementów w różnych klonach wikliny uprawianej na glebie deluwialnej. Zesz. Nauk. AR w Krakowie 373, 76, 303–310.
- Kaniuczak J., Błażej J., Kaniuczak R., Rożek D., 2003. Bioakumulacja metali ciężkich w klonach wikliny przemysłowo-energetycznych uprawianej w różnych warunkach siedliskowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 493, 879–887.
- Labrecque M., Teodorescu T.I., 2003. High biomass yield achieved by *Salix* clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in southern Quebec, Canada. Biomass and Bioenergy 25, 135–146.
- Labrecque M., Teodorescu T.I., Daigle S., 1995. Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two *Salix* species, Plant and Soil 171, 303–316.
- Meers E., Lamsal S., Vervaeke P., Hopgood M., Lust N., Tack F.M.G., 2005. Availability of heavy metals for uptake by *Salix viminalis* on a moderately contaminated dredged sediment disposal site. Environ. Pollut., 137, 354–364.
- Mleczek M., Łukaszewski M., Kaczmarek Z., Rissman I., Goliński P., 2009. Efficiency of selected heavy metals accumulation by *Salix viminalis* roots, Environ. Exp. Bot. 65, 48–53.
- Ohlsson A.B., Landberg T., Berglund T., Greger M., 2008. Increased metal tolerance in *Salix* by nicotinamide and nicotinic acid. Plant Physiol. Biochem. 46, 655–664.
- Perttu K.L., 1993. Biomass production and nutrient removal from municipals wastes using willow vegetation filters. J. Sustain. Forest. 5, 32–38.
- PTG 2008. Klasyfikacja uziarnienia gleb i utworów mineralnych. Roczn. Glebozn. 60 (2), 5–12.
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. z 2007 r., Nr 39, poz. 251, z późn. zm.)
- Spiak Z., 1993. The influence of sewage sludge on yield and chemical composition of plants. 10<sup>th</sup> International Symposium of CIEC “Recycling of plant nutrients from industrial processes”, Braunschweig – Volkenrode, 263–270.
- Wróbel J., 2006. Kinetyka wzrostu oraz wybrane wskaźniki fizjologiczne *S. viminalis* uprawianej na rekulacji piaszczystym nawożonym osadem ściekowym. Szczecin, Wyd. Nauk. AR w Szczecinie.

**Summary.** The aim of the study was to compare the content of macronutrients (sodium, potassium, magnesium, calcium) in various parts of willow (leaves, bark, wood) on the soil covered with sewage sludge. Field experiment was carried out at Experimental Station Pawlowice on grey-brown soil. Trials were conducted according to two factors and the split-plot method. Following factors were investigated: I- various doses of sewage sludge: 14.3 t·ha<sup>-1</sup> d.m. and 28.5 t·ha<sup>-1</sup> d.m. and II – clones of *Salix viminalis*. Doses of sewage sludge influenced significantly on potassium content in leaves and bark, and calcium in bark. At the same time they did not influence significantly magnesium and sodium content in selected parts of willow.

**Key words:** calcium, clones of willow, magnesium, municipal sewage sludge, potassium, sodium