

## ROZMIESZCZENIE CYNKU, NIKLU I CHROMU W BIOMASIE WIERZBY PO NAWOŻENIU

Dorota Kalembasa<sup>1</sup>, Elżbieta Malinowska, Andrzej Wysokiński<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: kalembasa@uph.edu.pl

<sup>2</sup> Katedra Gleboznawstwa i Chemii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. B. Prusa 14, 08-110 Siedlce, e-mail: awysoki@uph.edu.pl

### STRESZCZENIE

Badano rozmieszczenie wybranych metali (Zn, Ni, Cr) w pędach i liściach trzech odmian wierzby (*Salix caprea*, *S. purpurea*, *S. alba*), zbieranych w I i II roku po stosowaniu nawożenia mineralnego i osadem ściekowym (w II i III roku uprawy), z dobranymi dawkami wniesionego azotu (0, 50, 150, 200 kg N · ha<sup>-1</sup>). Stwierdzono, że zawartość badanych metali była istotnie zróżnicowana w zależności od części rośliny (pędy, liście), roku badań i nawożenia. Większą zawartość Zn, Ni i Cr stwierdzono w liściach, niż w pędach wierzby. Najwięcej Zn zawierała biomasa odmiany *Salix purpurea*, natomiast najmniej Ni i Cr stwierdzono w odmianie *Salix alba*. Stosowanie nawożenia niejednoznacznie różnicowało zawartość badanych metali.

**Słowa kluczowe:** wierzba krzewiasta, osady ściekowe, cynk, nikiel, chrom.

### THE DISTRIBUTION OF ZINC, NICKEL AND CHROMIUM IN BIOMASS OF FERTILIZED *Salix viminalis* L.

#### ABSTRACT

The distribution of zinc, nickel and chromium in the leaves and branches of three varieties of *Salix viminalis* differentiated fertilized was investigated. The biomass of *Salix viminalis* was harvested for investigation in the first and second year of application of mineral fertilizers and waste activate sludge in doses which contained 50, 150 and 200 kg of total nitrogen. The content of investigated metals was significantly differentiated upon the part of plant and fertilization. The amount of zinc, nickel and chromium were higher in leaves than in branches. The biomass of *Salix viminalis* contained the highest amount of zinc and the lowest of chromium. The highest content of zinc was determined in the biomass of *Salix purpurea* but lowest nickel and chromium in *S. alba*. The fertilization had differentiated influence upon the content of determined elements.

**Keywords:** willow, sewage sludge, zinc, nickel, chromium.

## WSTĘP

W zrównoważonym systemie energetycznym duży udział powinny mieć odnawialne źródła energii. Ich stosowanie umożliwi stopniowe wyeliminowanie surowców kopalnych, a tym samym spowoduje redukcję emisji gazów cieplarnianych do atmosfery. Biomasa jest ceniona jako źródło energii odnawialnej [Grzybek 2008, Dyrektywa... 2009], która do 2020 roku powinna stanowić 20% całkowitego udziału produkowanej energii na świecie, a w przypadku Polski 15% [Rozporządzenie... 2008]. Plantacje roślin energetycznych należy zakładać głównie na gruntach odlogowanych, zanieczyszczonych metalami ciężkimi, nieprzydatnych pod uprawy konsumpcyjne, gdyż priorytetem na użytkach rolnych jest produkcja żywności [Baran i in. 2001, Stolarski i in. 2011]. Wielu autorów [Máhté-Gáspár, Anton 2005, Kalembasa i in. 2006, Jama, Nowak 2011, Nowak i in. 2012] potwierdziło w badaniach przydatność osadu ściekowego w uprawie wierzby krzewiastej.

Celem badań była ocena zawartości Zn, Ni i Cr w pędach i liściach trzech odmian wierzby (*Salix*), w I i II roku po zastosowaniu nawożenia mineralnego i osadem ściekowym (tj. w II i III roku uprawy).

## MATERIAŁ I METODY BADAŃ

Doświadczenie polowe założono w kwietniu 2001 roku w Siedlcach (N52°10', E22°17' – środkowowschodnia część Polski), na glebie lekkiej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego, o  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,97$ . Zawartość węgla w związkach organicznych wynosiła  $37,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , a całkowita zawartość azotu (oznaczona na autoanalyzerze CHN)  $1,54 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Zawartość badanych metali (po mineralizacji na sucho oznaczono metodą ICP-AES) wynosiła: 76,8 mg Zn, 7,02 mg Ni i 8,95 mg Cr  $\cdot \text{kg}^{-1}$  gleby. Zawartość tych pierwiastków w glebie przed założeniem doświadczenia nie przekraczała wartości dopuszczalnych podanych w Rozporządzeniu Ministra Środowiska [Rozporządzenie... 2010] dla gleb lekkich, przy stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie.

Zrzesy wierzby o długości 25 cm wysadzono w kwietniu 2001 roku na poletkach o powierzchni  $7,5 \text{ m}^2$ , na głębokość 22–24 cm, w rozstawie  $75 \times 50 \text{ cm}$ , w trzech powtórzeniach, w układzie całkowicie losowym. W doświadczeniu uprawiano 3 odmiany wierzby: *Salix caprea*, *Salix purpurea* i *Salix alba*. W I roku uprawy nie stosowano nawożenia. Wiosną 2002 roku (II rok uprawy) wydzielono cztery obiekty, na których zastosowano nawożenie: obiekt kontrolny  $\text{N}_0\text{P}_{120}\text{K}_{180}$ ,  $\text{N}_{50}\text{P}_{120}\text{K}_{180}$  (stosowano corocznie  $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w postaci mocznika),  $\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{180}$  (150 kg N zastosowano jednorazowo w świeżym osadzie ściekowym, w dawce  $2,964 \text{ Mg s.m.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ),  $\text{N}_{200}\text{P}_{160}\text{K}_{240}$  (200 kg N zastosowano jednorazowo w świeżym osadzie ściekowym, w dawce  $3,953 \text{ Mg s.m.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Zachowano stosunek N:P:K = 1:0,8:1,2. Nawóz fosforowy

(superfosfat potrójny) i potasowy (siarczan potasu) zastosowano jednorazowo. Do nawożenia wykorzystano świeży osad ściekowy, pochodzący z oczyszczalni ścieków komunalno-przemysłowych w Siedlcach, który w końcowym procesie obróbki był poddany fermentacji metanowej i częściowo odwodniony na prasie. Osad ściekowy wymieszano jednorazowo z glebą do 25 cm głębokości. W osadzie tym przed wprowadzeniem do gleby oznaczono: suchą masę (metodą suszarkowo-wagową w temperaturze 105°C), całkowitą zawartość azotu (na autoanalyzerze CHN) oraz zawartość Zn, Ni i Cr (metodą ICP-AES po mineralizacji na sucho w temperaturze 450°C). Osad zawierał 20,5% suchej masy, 50,6 g N-ogólnego · kg<sup>-1</sup> s.m. oraz 2435 mg Zn, 101 mg Ni i 19,6 mg Cr · kg<sup>-1</sup> s.m. Zawartości tych metali nie przekraczały dopuszczalnych ilości w tym odpadzie, przeznaczonym do rolniczego wykorzystania [Rozporządzenie... 2010].

Ulistnione pędy (łodygi) wierzby (10 sztuk z każdego badanego obiektu) w I roku po zastosowaniu nawożenia pobrano do analiz w trzech terminach: w czerwcu, lipcu i sierpniu, a w II roku - tylko w sierpniu. Materiał roślinny rozdzielono na pędy i liście (aby zanotować obieg wybranych pierwiastków: stwierdzić ile metali opada na glebę w liściach, a ile pozostaje w energetycznych pędach), a następnie po wysuszeniu do stałej masy oznaczono w nich zawartość ogólną Zn, Ni i Cr (metodą ICP-AES po mineralizacji na sucho w temperaturze 450 °C).

Wyniki badań opracowano statystycznie z wykorzystaniem analizy wariancji dla doświadczenia dwuczynnikowego. Wartość NIR<sub>0,05</sub> obliczono wykorzystując test Tukey'a (do obliczeń zastosowano program FR Analvar 3.2).

## WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Zawartość badanych metali (Zn, Ni, Cr) w pędach i liściach uprawianej wierzby (*Salix*) była zróżnicowana w zależności od odmiany (*Salix caprea*, *S. purpurea*, *S. alba*), nawożenia (0, 50, 150, 200 kg N · ha<sup>-1</sup>) i terminu badań (tabele 1, 2 i 3).

W pędach trzech odmian wierzby (we wszystkich czterech terminach zbioru, w I i II roku po nawożeniu, czyli w II i III roku uprawy) stwierdzono (średnio) mniej cynku, od 79,33 do 150 mg · kg<sup>-1</sup>, niż w liściach, które zawierały od 283,9 do 462,1 mg Zn · kg<sup>-1</sup> (tab. 1, rys. 1).

Najwięcej tego metalu (sumarycznie w pędach i liściach w badanym okresie) zanotowano w odmianie *S. purpurea* (w pędach 2016,7 mg · kg<sup>-1</sup>, średnio 118,8 mg · kg<sup>-1</sup>, w liściach 385,4 mg Zn · kg<sup>-1</sup>), a najmniej w *S. alba* (odpowiednio 1273,0; 96,1 i 222,2 mg Zn · kg<sup>-1</sup>). Zastosowane nawożenie wpłynęło niejednoznacznie na zawartość cynku. Najwięcej tego metalu w pędach *S. caprea* (we wszystkich terminach zbioru w I i II roku po nawożeniu) stwierdzono na obiekcie kontrolnym (N<sub>0</sub>PK); w liściach – w I roku po nawożeniu, głównie na obiekcie z dawką 150 kg N · ha<sup>-1</sup> zastosowaną w osadzie ściekowym, a po II roku – na obiekcie z dawką 50 kg N ·

**Tabela 1.** Zawartość cynku [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] w pędach (a) i liściach (b) wierzby *Salix*, w różnych okresach wegetacji  
**Table 1.** The content of zinc [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] in the shoots (a) and leaves (b) of willow, at different periods of vegetation

Nawożenie [ $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	Salix caprea						Salix purpurea						Salix alba												
	I rok			II rok			I rok			II rok			I rok			II rok									
	Czerwiec		Sierpień	Czerwiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Czerwiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Czerwiec		Sierpień							
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b							
N <sub>0</sub> PK	158,6	334,7	114,9	353,7	130,7	331,1	116,2	346,3	117,5	357,2	127,3	381,2	137,7	352,0	110,1	308,9	151,2	264,2	76,31	113,9	72,58	145,9	129,4	336,8	
N <sub>50</sub> PK	151,1	318,8	112,8	359,2	93,39	261,7	114,8	389,0	114,0	339,9	80,58	496,5	92,37	340,8	150,1	466,7	102,2	250,8	63,26	169,5	77,84	172,8	73,66	165,5	
N <sub>150</sub> PK	154,9	376,1	109,8	385,8	166,7	310,7	99,63	347,7	121,0	363,1	145,2	497,7	154,3	343,4	139,5	411,2	106,7	366,9	86,99	283,5	119,9	174,2	127,4	227,4	
N <sub>200</sub> PK	138,2	305,0	104,9	296,3	89,80	232,1	116,8	380,3	136,9	360,9	92,63	472,8	72,89	366,2	109,0	306,6	93,22	253,1	90,79	266,3	67,81	106,6	98,54	256,4	
średnia	150,7	333,7	110,6	348,8	120,1	283,9	111,9	365,8	122,4	355,3	111,4	462,1	114,3	350,6	127,2	373,4	113,3	283,8	79,33	208,3	84,53	149,9	107,3	246,5	
NIR <sub>0,05</sub> dla:																									
A – nawożenia	7,63		6,73		5,93		9,03		12,7		7,27		13,6		10,1		8,97		6,96		9,53		7,23		
B – części rośliny	4,00		3,52		3,11		4,73		6,65		3,81		7,13		5,27		4,70		3,65		4,99		3,79		
A/B – interakcja	10,8		9,51		8,38		12,8		18,0		10,3		19,2		14,2		12,7		9,84		13,5		10,2		
B/A – interakcja	7,99		7,05		6,21		9,46		13,3		7,62		14,3		10,6		9,40		7,29		9,98		7,58		

**Objaśnienia:** a – pędy wierzby, b – liście, \*0 kg N – obiekt kontrolny.

**Tabela 2.** Zawartość niklu [mg · kg<sup>-1</sup>] w pędach (a) i liściach (b) wierzby *Salix*, w różnych okresach wegetacji  
**Table 2.** The content of nickel [mg · kg<sup>-1</sup>] in the shoots (a) and leaves (b) of willow, at different periods of vegetation

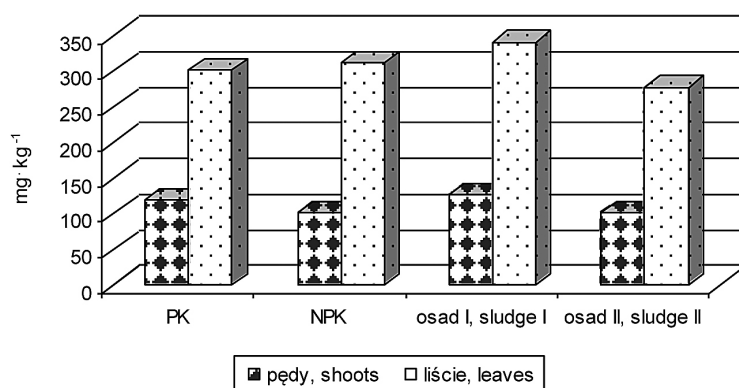
Nawożenie [kg N · ha <sup>-1</sup> ]	Salix caprea						Salix purpurea						Salix alba												
	I rok			II rok			I rok			II rok			I rok			II rok									
	Lipiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień	Lipiec		Sierpień							
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b							
N <sub>0</sub> PK	1,19	3,03	1,72	1,66	1,09	1,90	2,72	1,52	1,82	2,28	2,26	1,49	1,03	1,51	2,69	1,85	1,98	2,68	2,13	1,30	0,756	3,97	1,23	3,05	
N <sub>50</sub> PK	1,20	1,89	1,88	2,87	0,754	2,03	2,75	1,90	1,15	2,05	2,06	1,24	1,60	2,00	2,46	1,22	1,09	2,41	2,48	1,59	0,888	1,65	1,83	2,14	
N <sub>150</sub> PK	1,24	1,79	3,73	1,58	0,752	2,07	2,60	3,14	1,23	2,13	2,82	1,74	0,978	2,70	2,90	1,40	1,10	2,46	2,58	1,69	0,615	1,50	1,61	4,41	
N <sub>200</sub> PK	1,36	1,97	1,35	1,37	1,81	1,30	2,68	1,37	1,13	2,00	1,46	1,60	0,824	1,73	2,30	1,22	1,17	2,35	2,28	1,64	0,902	1,13	0,860	2,93	
średnia	1,25	2,17	2,17	1,87	1,10	1,83	2,69	1,98	1,33	2,11	2,15	1,52	1,11	1,99	2,59	1,42	1,34	2,48	2,37	1,56	0,790	2,06	1,38	3,13	
NIR <sub>0,05</sub> dla:																									
A – nawożenia	0,131		0,090		n.i.		0,136		n.i.		0,134		0,590		0,150		0,120		0,181		0,344		0,050		
B – części rośliny	0,069		0,047		0,103		0,071		0,307		0,070		0,309		0,079		0,063		0,095		0,180		0,026		
A/B – interakcja	0,185		0,128		0,279		0,192		n.i.		0,189		0,835		0,212		0,169		n.i.		0,487		0,071		
B/A – interakcja	0,137		0,095		0,207		0,142		n.i.		0,140		0,619		0,157		0,125		n.i.		0,361		0,053		

**Objasnienia:** a – pędy wierzby, b – liście, \*0 kg N – obiekt kontrolny, n.i. – różnica nieistotna.

**Tabela 3.** Zawartość chromu [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] w pędach (a) i liściach (b) wierzby *Salix*, w różnych okresach wegetacji  
**Table 3.** The content of chromium [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ] in the shoots (a) and leaves (b) of willow, at different periods of vegetation

Nawożenie [ $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]	Salix caprea						Salix purpurea						Salix alba											
	I rok			II rok			I rok			II rok			I rok			II rok								
	Czerwiec		Sierpień	Sierpień		Sierpień	Czerwiec		Lipiec	Sierpień		Sierpień	Czerwiec		Lipiec	Sierpień		Sierpień						
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b				
N <sub>0</sub> PK	0,390	1,29	0,303	1,01	0,239	1,42	0,137	0,306	0,354	1,20	0,415	0,966	0,281	0,687	0,177	0,310	0,399	1,35	0,517	1,03	0,200	0,869	0,250	0,314
N <sub>50</sub> PK	0,311	1,20	0,261	1,41	0,263	1,29	0,147	0,356	0,324	0,954	0,363	0,829	0,288	1,34	0,152	0,321	0,387	1,25	0,342	1,43	0,277	0,586	0,114	0,300
N <sub>150</sub> PK	0,303	1,13	0,267	0,883	0,214	0,835	0,110	0,392	0,266	0,879	0,355	0,840	0,258	0,860	0,189	0,350	0,405	1,67	0,435	0,975	0,517	0,842	0,117	0,280
N <sub>200</sub> PK	0,382	1,48	0,279	0,873	0,254	1,04	0,198	0,380	0,235	0,720	0,468	1,11	0,238	0,807	0,181	0,365	0,400	1,44	0,459	1,30	0,315	1,03	0,124	0,358
średnia	0,347	1,27	0,278	1,04	0,243	1,15	0,148	0,359	0,295	0,939	0,400	0,936	0,266	0,923	0,175	0,337	0,398	1,43	0,438	1,18	0,327	0,832	0,152	0,313
NIR <sub>0,05</sub> dla:																								
A – nawożenia	0,029		n.i.		n.i.		n.i.		0,066		0,025		0,031		0,031		0,072		0,119		0,061		0,072	
B – części rośliny	0,010		0,173		0,191		0,042		0,035		0,013		0,016		0,016		0,038		0,063		0,032		0,038	
A/B – interakcja	n.i.		n.i.		n.i.		n.i.		0,093		0,035		0,043		n.i.		0,102		0,169		0,087		0,102	
B/A – interakcja	n.i.		n.i.		n.i.		n.i.		0,069		0,026		0,032		n.i.		0,076		0,125		0,064		0,075	

**Objasnienia:** a – pędy wierzby, b – liście, \*0 kg N – obiekt kontrolny, n.i. – różnica nieistotna.



**Rys. 1.** Zawartość Zn w pędach i liściach wierzby (średnie dla trzech odmian i czterech terminów badań)

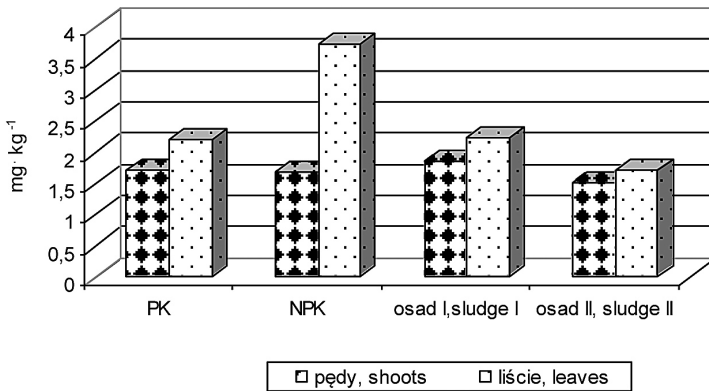
**Fig. 1.** The content of Zn in the shoots and leaves of willow (average for the three varieties and four terms of research)

$\text{ha}^{-1}$  zastosowaną w moczniku. Pędy i liście *S. purpurea* zawierały najwięcej Zn w I roku po nawożeniu przeważnie na obiektach z dawką  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  zastosowaną w osadzie ściekowym, a w II roku - na obiekcie, na którym zastosowano  $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w moczniku. Pędy i liście *S. alba* zebrane w I roku po nawożeniu także zawierały najwięcej cynku w większości na obiektach nawożonych  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  zastosowaną w osadzie, a w II roku – na obiekcie kontrolnym. Porównując zawartość Zn w sierpniu w obydwu latach stwierdzono więcej tego metalu w badanych częściach biomasy wierzby w II roku po nawożeniu niż w I roku, co może świadczyć o przejściu tego metalu w formy biodostępne i o łatwiejszym pobieraniu przez rośliny.

Zawartość niklu, podobnie jak cynku, była mniejsza (średnio) w pędach trzech badanych odmian wierzby (od  $0,790$  do  $2,69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) niż w liściach, które zawierały od  $1,42$  do  $3,13 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$  (tab. 2, rys. 2).

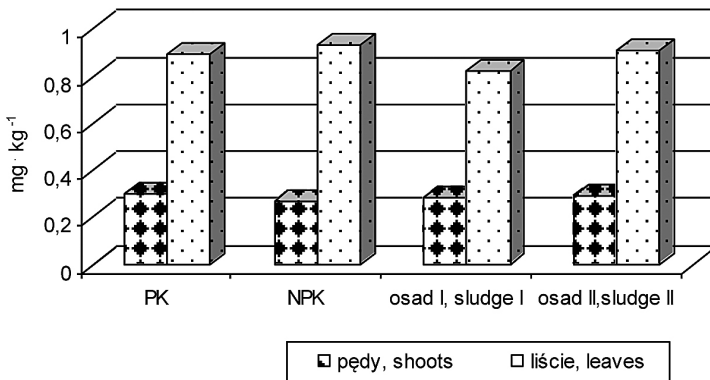
Najwięcej tego metalu (sumarycznie w pędach i liściach w badanym okresie) zanotowano w biomacie odmiany *Salix alba* ( $15,11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , średnio  $1,47 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w pędach i  $2,31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  w liściach), a mniej w *S. caprea* (odpowiednio  $14,56$ ;  $1,68$  i  $1,96 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) i w *S. purpurea* (odpowiednio  $14,22$ ;  $1,79$  i  $1,76 \text{ mg Ni} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Zastosowane nawożenie nie wpłynęło jednoznacznie na zawartość niklu w biomacie badanych odmian wierzby, z tendencją do największej zawartości tego metalu w II roku po nawożeniu w roślinach z obiektu, w których zastosowano  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w osadzie ściekowym.

Zawartość chromu w pędach i liściach wierzby była mniejsza niż niklu. Była ona także, średnio, mniejsza w pędach ( $0,152$ – $0,438 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) niż w liściach ( $0,313$ – $1,43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) (tab. 3, rys. 3). Sumarycznie w pędach i liściach w badanym okresie najwięcej Cr stwierdzono w biomacie *Salix alba* ( $5,07 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , średnio w pędach  $0,329 \text{ mg} \cdot$



**Rys. 2.** Zawartość Ni w pędach i liściach wierzby (średnie dla trzech odmian i czterech terminów badań)

**Fig. 2.** The content of Ni in the shoots and leaves of willow (average for the three varieties and four terms of research)



**Rys. 3.** Zawartość Cr w pędach i liściach wierzby (średnie dla trzech odmian i czterech terminów badań)

**Fig. 3.** The content of Cr in the shoots and leaves of willow (average for the three varieties and four terms of research)

$\text{kg}^{-1}$ , a w liściach  $0,939 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), mniej w *S. purpurea* (odpowiednio  $4,78$ ;  $0,284$  i  $0,784 \text{ mg Cr} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), a najmniej w *S. caprea* (odpowiednio  $4,33$ ;  $0,254$  i  $0,955 \text{ mg Cr} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Zauważono niejednoznaczny wpływ zastosowanego nawożenia, zwłaszcza w I roku po nawożeniu, z tendencją do większej zawartości Cr w roślinach z obiektów kontrolnych. W II roku po nawożeniu stwierdzono różną zawartość Cr w pędach poszczególnych odmian wierzby, a w liściach – przeważnie na obiektach z dawką  $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w osadzie ściekowym. Porównując sierpniowe zbiory biomasy wierzby zauważono, że w pędach w I roku po nawożeniu, więcej Cr zawierała przeważnie



biomasa z obiektów nawożonych  $50 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  w moczniku, a w II roku – z obiektów nawożonych  $200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  zastosowanego w osadzie.

Mniejszą zawartość pierwiastków (w tym śladowych) w biomacie wierzby na obiektach nawozowych, w stosunku do obiektów kontrolnych, stwierdzili także Kalembasa i in. [2006], Lazdina i in. [2007], Kalembasa i in. [2009, 2010] oraz Malinowska i in. [2011]. Nowak i in. [2012], badając plon i skład chemiczny dwóch klonów wierzby energetycznej (*Salix viminalis* L.) stwierdzili w młodych pędach, w I i III roku uprawy, przeważnie mniejszą zawartość m.in. Cr, Zn i Ni, w stosunku do wierzby z obiektów kontrolnych, przy czym po III roku uprawy zawartość ta była większa niż po I roku.

## WNIOSKI

1. Zawartość cynku, niklu i chromu była istotnie zróżnicowana w zależności od badanej części wierzby oraz nawożenia.
2. Zawartość badanych metali w biomacie trzech odmian wierzby (*Salix caprea*, *S. purpurea*, *S. alba*), w I i II roku po zastosowaniu nawożenia mineralnego i osadem ściekowym (tj. w II i III roku uprawy), była większa w liściach niż w pędach.
3. Spośród badanych metali w biomacie trzech odmian wierzby stwierdzono najwięcej cynku, mniej niklu, a najmniej chromu. Przeważnie więcej danego metalu notowano w II roku niż w I roku po nawożeniu.
4. Sumarycznie (w pędach i liściach w okresie badań) najwięcej Zn stwierdzono w *S. purpurea*, a najmniej w *S. alba*; Ni – odpowiednio w *S. alba* i *S. purpurea*; a Cr – odpowiednio w *S. alba* i *S. caprea*.
5. Zastosowane nawożenie niejednoznacznie różnicowało zawartość Zn, Ni i Cr. W I roku po nawożeniu, najwięcej badanych metali notowano (często) w pędach wierzby z obiektów kontrolnych, a w II roku z obiektów nawożonych różnymi dawkami azotu.

## PIŚMIENNICTWO

1. Baran S., Wójcikowska-Kapusta A., Jaworska B. 2001. Przydatność wikliny do sanacji gleb zanieczyszczonych miedzią i ołowiem. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln., 477: 187-193.
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych.
3. Grzybek A. 2008. Ziemia jako czynnik warunkujący produkcję biopaliw. Probl. Inż. Rol., 1: 63-70.
4. Jama A., Nowak W. 2011. Pobieranie makroskładników z osadów ściekowych przez wierzbę krzewiastą (*Salix viminalis* L.) i jej mieszańce. Nauka-Przyroda-Technologie, 5(6): 123.

5. Kalembasa D., Malinowska E., Siewniak M. 2006. Wpływ nawożenia na plonowanie wybranych gatunków wierzby krzewiastej. *Acta Agrophys.*, 8(1): 119-126.
6. Kalembasa S., Wysokiński A. 2010. Contents of selected vestigial chemical elements in shoots of willow (*Salix viminalis*) at varied nitrogen nutrition. *Pol. J. Soil Sci.*, 43(1): 57-64.
7. Kalembasa S., Wysokiński A., Cichuta R. 2009. Zawartość metali ciężkich w wierzbie (*Salix viminalis*) przy zróżnicowanym nawożeniu azotowym. *Acta Agrophys.*, 13(2): 385-392.
8. Lazdina D., Lazdins A., Karins Z., Kaposts V. 2007. Effect of sewage sludge fertilization in short-rotation willow plantations. *J. Environ. Eng. Landsc. Manage.*, 15(2): 105-111.
9. Máhté-Gáspár G., Anton A. 2005. Study of phytoremediation by use of willow and rape. *Acta Biol. Szeged.*, 49(1-2): 73-74.
10. Malinowska E., Kalembasa D., Chromińska M. 2011. Wpływ nawożenia na zawartość Pb, Cd i Cu w wybranych odmianach wierzby krzewiastej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, 565: 191-199.
11. Nowak D., Jasiewicz Cz., Kwaśniewski D. 2012. Wpływ nawożenia mineralnego i kompostu na plon i skład chemiczny wierzby energetycznej. *Inżynieria Rolnicza*, 4(139), 1: 295-301.
12. Nowak D., Jasiewicz Cz., Kwaśniewski D. 2011. Zawartość rozpuszczalnych form pierwiastków śladowych w glebie w trzyletnim doświadczeniu polowym z uprawą wierzby energetycznej. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 50: 43-51.
13. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z 14 sierpnia 2008 roku w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii. *Dz. U.* 2008, Nr 156, poz. 969.
14. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 13 lipca 2010. *Dz. U.* 2010, Nr 137, poz. 924.
15. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2011. Efektywność energetyczna produkcji biomasy wierzby w systemie eko-salix. *Fragm. Agron.*, 28(1): 62-69.