



# Wpływ nawożenia azotem na plon i zawartość suchej masy, azotu ogólnego oraz popiołu w drugiej 4-letniej rotacji uprawy wierzby wiciowej

*Leszek Styszko, Janusz Dąbrowski*  
*Politechnika Koszalińska*

## 1. Wstęp

Biomasa jako surowiec energetyczny jest nadal znaczącym źródłem energii odnawialnej (OZE) w Europie (44,6%) i w Polsce (73,2%) (GUS 2017). Na plantacjach połowych wierzby krzewiastej szybko rosnące formy *Salix* sp. uzyskują przyrosty około 15 razy większe niż w lesie naturalnym (Staffa 1965). Produktywność wierzby krzewiastej zależy od ich genotypów, stosowanej technologii uprawy, a w tym systemu nawożenia oraz warunków pogodowych. Dobrą alternatywą do nawożenia mineralnego roślin energetycznych może być zastosowanie osadów ściekowych (Szostek i in. 2018). W Szwecji około 50% upraw wierzby zlokalizowanych w pobliżu oczyszczalni ścieków, jest nawożonych ściekami komunalnymi, a na pozostałych uprawach stosuje się corocznie nawożenie mineralne, dawką ok. 100 kg N·ha<sup>-1</sup>. W Kanadzie rekomenduje się przy uprawie wierzby ekwiwalent nawożenia w przeliczeniu na azot: 100-150 kg·ha<sup>-1</sup> N, fosfor: 40 kg·ha<sup>-1</sup> P i potas: 40 kg·ha<sup>-1</sup> K (Guidi i in. 2013). W Polsce nawożenie azotem upraw wierzby w formie organicznej i mineralnej stosowane jest po każdym zbiorze biomasy, a aktualnie zaleca się stosowanie 90-100 kg·ha<sup>-1</sup> N raz na trzy lata (Szczukowski 2012a, 2012b). Przy produkcji 10 ton suchej masy drewna z hektara rośliny wierzby krzewiastej pobierają 60 kg azotu, 8 kg fosforu i 43 kg potasu (Szczukowski 2012b). Najwięcej azotu i fosforu wierzba pobiera w okresie od kwietnia do października, a najin-

tensywniej – w okresie od maja do lipca (Labrecque i Teodorescu 2003). Efektywność wykorzystania azotu mineralnego przez wierzbę jest wyższa w dłuższych cyklach produkcyjnych i na uprawach nawożonych organicznie (Adegbidi i in. 2001). Udokumentowane w literaturze prace, w małym stopniu uwzględniają wymagania nawozowe genotypów wierzby. Problem ten został zasygnalizowany dla 9 klonów wierzby uprawianych w rejonie Koszalina, gdzie wykazano różne ich potrzeby nawozowe ( $26\text{--}150 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) w warunkach stosowania kompostu z osadów komunalnych (Styszko i in. 2010).

Celem pracy była ocena wpływu zróżnicowanego nawożenia azotem mineralnym i wariantów koszenia pędów w pierwszym 4-letnim cyklu na plon biomasy 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis*) oraz na zawartość w niej suchej masy, azotu ogólnego i popiołu w drugim 4-letnim cyklu uprawy.

## 2. Materiał i metoda

Doświadczenie dwuczynnikowe realizowano metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, w czterech powtórzeniach, w latach 2012-2015 w Kościernicy, gmina Polanów ( $16^{\circ}24'N$  i  $54^{\circ}8'E$ ) na istniejącym już doświadczeniu założonym w 2007 roku. Gleba pod doświadczeniem była lekka, klasy bonitacyjnej RIVa-IVb, kompleksu żytniego dobrego, biellicowa właściwa – pseudobiellicowa o składzie piasku gliniastego lekkiego do głębokości 100 cm, a głębiej – gliny lekkiej. Zawartość próchnicy w warstwie 0-30 cm gleby wyniosła 1,41%. Pierwszy 4-letni okres odrastania pędów był w latach 2008-2011, a drugi – w latach 2012-2015. W ramach doświadczenia, rozlosowano na dużych poletkach cztery dawki azotu mineralnego:  $0 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $60 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ ,  $120 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $180 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Natomiast w zakresie dawek azotu na małych poletkach, rozlosowano 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.): 1047, 1054, 1047D, Start, Sprint, Turbo, Ekotur, Olof, Jorr i Tordis. Corocznie w kwietniu w latach 2008-2015 stosowano nawożenie azotem mineralnym – według schematu doświadczenia. W 2007 roku na poletku o powierzchni  $25,3 \text{ m}^2$  wysadzono łącznie po 56 zrzesów wierzby w dwóch rzędach tj.  $22134 \text{ szt}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Podczas zbioru w latach 2011 i 2015 koszone oddzielnie odrastające pędy wierzby na poszczególnych rzędach poletka. Powierzchnia do zbioru jednego rzędu na poletku obejmowała 28 karp

wierzby i wyniosła 12,65 m<sup>2</sup>. W pierwszej 4-letniej rotacji na pierwszym rzędzie koszono 2-krotnie (po 3 latach tj. w 2010 roku i po 1-rocznym odrastaniu tj. w 2011 roku), a na drugim rzędzie – jednokrotnie (po 4 roku odrastania tj. w 2011 roku). Zróżnicowanie częstotliwości koszenia w pierwszej 4-letniej rotacji wynikało z realizacji badań objętych innym projektem. Ocena plonu świeżej masy polegała na ścięciu wszystkich pędów wierzby oddzielnie na każdym rzędzie poletka i zważeniu ich na wadze elektronicznej na polu oraz na pobraniu prób biomasy do analiz laboratoryjnych. Analizy laboratoryjne wykonano dla cech: zawartość suchej masy w świeżej masie według metodyki opisanej w normie PN-80/G-04511 (Paliwa stałe. Oznaczanie wilgotności), zawartość popiołu – według normy PN-80/G-04512/Az1 (Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową) oraz azot ogólny metodą Kjeldahla – według normy PN-EN ISO 5983-2 wersja z 2006 roku. Dla badanych cech wykonano standardową analizę wariancji oraz określono strukturę komponentów wariancyjnych, a istotność efektów oceniono testem F w odniesieniu do zmienności resztowych przy plonie biomasy, a przy zawartości azotu ogólnego i popiołu surowego – do zmienności interakcji ABC (tabela 1). Dane o przebiegu pogody reprezentatywnej dla rejonu Kościernicy z lat 2012-2015, podano ze stacji meteorologicznej IMGiW w Koszalinie w pracy Fijałkowska i Styszko (2017). W tych latach w Koszalinie rocznie spadło od 831,9 mm opadu w 2012 do 588,9 mm w 2014 roku, a podczas wegetacji wierzby – od 536,6 mm w 2012 do 387,0 mm w 2014 roku.

### 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki analiz statystycznych dotyczących plonu pędów i zawartości w nich suchej masy, azotu ogólnego oraz popiołu surowego zestawiono w tabeli 1. Zmienność w doświadczeniu spowodowana działaniem efektów głównych na poziomie ponad 70% zmienności całkowitej, wystąpiła przy plonie świeżej i suchej masy pędów, nieco mniejsza była przy zawartości N ogólnego (57,4%), a mniejsza przy zawartości popiołu surowego i suchej masy (odpowiednio 30,1% i 27,8%). Spośród czynników głównych największy efekt wyodrębniono przy oddziaływaniu wariantów koszenia pędów (czynnik A), a nieco mniejszy – przy genotypach wierzby w odniesieniu do plonu biomasy, a przy zawartości azotu

ogólnego, popiołu surowego i suchej masy zależności te były odwrotne. Spośród interakcji największe znaczenie przy plonie biomasy miały współdziałania wariantu koszenia z genotypami wierzby oraz z nawożeniem mineralnym.

**Tabela 1.** Wpływ analizowanych czynników na zmienność cech plonu biomasy  
**Table 1.** Impact of analyzed factors on the changeability of features of biomass yield

Komponent wariacyjny	Struktura komponentów wariacyjnych, %, w analizach <sup>(1-6)</sup>					
	1	2	3	4	5	6
Wariant koszenia pędów <sup>7</sup> [A]	36,6***	7,6**	35,0***	35,0***	12,7***	0,0 n.i.
Dawki azotu, kg·ha <sup>-1</sup> N [B]	2,0**	3,9 n.i.	2,2***	2,2***	8,9**	1,9 n.i.
Genotypy wierzby [C]	34,4***	16,3***	34,3***	34,3***	35,8***	28,2***
<b>Efekty główne</b>	<b>73,0</b>	<b>27,8</b>	<b>71,5</b>	<b>71,5</b>	<b>57,4</b>	<b>30,1</b>
Interakcja AB	4,8***	0,0 n.i.	4,8***	4,8***	0,7 n.i.	5,6 n.i.
Interakcja AC	7,8***	0,0 n.i.	8,7***	8,7***	5,3 n.i.	3,8 n.i.
Interakcja BC	2,2***	1,6 n.i.	2,3***	2,3***	0,8 n.i.	0,0 n.i.
Interakcja ABC	1,6*	6,3 n.i.	1,4*	1,4*	35,8	60,5
<b>Efekty interakcji</b>	<b>16,4</b>	<b>7,9</b>	<b>17,2</b>	<b>17,2</b>	<b>42,6</b>	<b>69,9</b>
Czynniki losowe	10,6	64,3	11,3	11,3	–	–
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

*Istotność różnic przy poziomie:*

*n.i. – brak istotności; \* –  $\alpha = 0,05$ ; \*\* –  $\alpha = 0,01$ ; \*\*\* –  $\alpha = 0,001$*

<sup>7</sup>*Wariant koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji: I – koszenie po 3-letnim i 1-rocznym odrastaniu, II – koszenie po 4-letnim odrastaniu*

*Analizy<sup>(1-6)</sup>:*

1 – plon świeżej masy po 4. latach odrastania pędów, ton·ha<sup>-1</sup>,

2 – zawartość suchej masy w świeżej masie pędów, ton·ha<sup>-1</sup>,

3 – plon suchej masy po 4. latach odrastania pędów, ton·ha<sup>-1</sup>,

4 – roczny przyrost plonu suchej masy pędów, ton·ha<sup>-1</sup>,

5 – zawartość N Kjeldahla, %,

6 – zawartość popiołu surowego, %.

Wyniki analiz plonu pędów i zawartości w nich suchej masy, azotu ogólnego Kjeldahla oraz popiołu surowego zestawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Wpływ analizowanych czynników na plon biomasy i jej jakość  
**Table 2.** Impact of analyzed factors on the biomass yield and its quality

Badany czynnik	Poziom czynnika	Analizy biomasy wierzby <sup>(1-6)</sup>					
		1	2	3	4	5	6
Wariant koszenia pędów <sup>7</sup> [A]	I	23,9	50,4	12,3	3,08	0,282	0,988
	II	80,3	52,1	42,9	10,72	0,263	0,988
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>7,8</b> ***	<b>1,3</b> **	<b>4,0</b> ***	<b>1,01</b> ***	<b>0,010</b> ***	<b>0,033</b> n.i.
Dawki azotu, kg·ha <sup>-1</sup> N [B]	0	38,2	50,1	19,8	4,95	0,271	1,005
	60	51,6	50,7	27,0	6,76	0,260	0,996
	120	57,5	51,9	30,6	7,66	0,271	0,966
	180	61,1	52,3	32,9	8,23	0,288	0,965
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>11,1</b> **	<b>1,8</b> n.i.	<b>5,7</b> ***	<b>1,43</b> ***	<b>0,014</b> **	<b>0,047</b> n.i.
Genotypy wierzby [C]	1047	37,7	50,3	19,6	4,89	0,279	1,005
	1054	33,1	50,7	17,1	4,28	0,292	1,020
	1047D	43,6	50,3	22,3	5,56	0,289	0,997
	Start	10,7	48,2	5,2	1,28	0,292	1,073
	Sprint	34,6	51,9	18,1	4,51	0,283	1,008
	Turbo	25,7	52,9	13,8	3,45	0,294	1,019
	Ekotur	134,7	54,8	75,0	18,75	0,237	0,962
	Olof	55,8	51,8	29,4	7,36	0,244	0,885
	Jorr	37,6	49,8	19,1	4,78	0,273	0,942
	Tordis	107,6	51,9	56,5	14,11	0,241	0,920
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>9,9</b> ***	<b>1,5</b> ***	<b>5,6</b> ***	<b>1,39</b> ***	<b>0,022</b> ***	<b>0,074</b> ***	
Średnia		52,1	51,2	27,6	6,90	0,273	0,983

<sup>(1-6)</sup>: Oznaczenia analiz biomasy wierzby podano w tabeli 1

<sup>7</sup>Wariant koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji: I – koszenie po 3-letnim i 1-rocznym odrastaniu, II – koszenie po 4-letnim odrastaniu

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

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

Przeciętny z doświadczenia plon biomasy pędów wierzby zebrany po drugiej 4-letniej rotacji wyniósł 52,1 ton·ha<sup>-1</sup>, suchej masy – 27,6 ton·ha<sup>-1</sup>, a przeciętny roczny przyrost plonu suchej masy wyniósł 6,90 ton·ha<sup>-1</sup> przy zawartości suchej masy – 51,2% (tab. 2). W stosunku do pierwszej 4-letniej rotacji w tym doświadczeniu przy zbiorze po 4 latach odrastania pędów, były to wartości wyższe przy plonach: świeżej masy o 7,7 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 14,8%, suchej masy – o 5,2 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 18,8%

i rocznego przyrostu plonu suchej masy o  $1,3 \text{ tony} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 18,8% oraz wyższej zawartości suchej masy w pędach o 1,0% (Styszko i in. 2017). Poziomy badanych czynników istotnie różnicowały wartości analizowanych cech z wyłączeniem wpływu dawek azotu przy zawartości suchej masy i popiołu surowego oraz dodatkowo wariantów koszenia przy zawartości popiołu surowego w pędach.

Dwukrotne koszenie pędów w pierwszej 4-letniej rotacji obniżyło w drugiej 4-letniej rotacji plon świeżej masy o  $56,4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 70,2%, plon suchej masy o  $56,4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 71,3% i roczny przyrost plonu suchej masy o  $7,64 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 71,3% oraz zmniejszyło zawartość suchej masy w pędach o 1,7%, a zwiększyło zawartość azotu ogólnego w pędach o 0,019%.

Dawka  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N zwiększyła przeciętnie w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem, plon świeżej masy pędów o  $13,4 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  tj. o 35,1%, plon suchej masy o  $7,2 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 36,4% i roczny przyrost plonu suchej masy o  $1,81 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 36,6%, a nie miała wpływu na zawartość azotu ogólnego. Każda następna dawka  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N zwiększała odnośne plony, ale jej wpływ był malejący w miarę dalszego wzrostu dawki azotu. Dawka  $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N zwiększyła przeciętnie w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem, plon świeżej masy pędów o  $22,9 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  tj. o 59,9%, plon suchej masy o  $13,1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 66,2% i roczny przyrost plonu suchej masy o  $3,28 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 66,3% oraz zawartość azotu ogólnego w pędach o 0,017%.

Genotypy wierzby silnie różniły się produktywnością: najwyższe plony wydała odmiana Ekotur przy najwyższej zawartości suchej masy i niskiej zawartości azotu ogólnego w pędach. Najniższe plony biomasy stwierdzono u odmiany Start przy najwyższej zawartości popiołu surowego.

Wpływ interakcji wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji i dawki azotu na plon świeżej i suchej masy pędów w drugiej 4-letniej rotacji zestawiono w tabeli 3. W pierwszym wariantcie koszenia pędów zwiększające się dawki azotu nie skutkowały wzrostem plonu świeżej i suchej masy oraz wzrostem przyrostu rocznego suchej masy. Natomiast w II wariantcie koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji nawożenie zwiększającymi się dawkami azotu mineralnego spowodowało zróżnicowanie przeciętnego plonowania wierzby. Dawka  $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N zwiększyła, przeciętnie w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem, plon świeżej masy pędów o  $24,6 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  tj. o 46,6%, plon suchej masy

o 13,3 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 48,0% i roczny przyrost plonu suchej masy o 3,33 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 48,2%. Każda następna dawka w ilości 60 kg·ha<sup>-1</sup> N zwiększała odnośne plony, ale jej wpływ był malejący w miarę dalszego wzrostu dawki azotu. Dawka 180 kg·ha<sup>-1</sup> N zwiększyła przeciętnie w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem, plon świeżej masy pędów o 48,8 ton·ha<sup>-1</sup> tj. o 92,4%, plon suchej masy o 27,3 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 98,6% i roczny przyrost plonu suchej masy o 6,83 ton·ha<sup>-1</sup>, tj. o 98,8%.

**Tabela 3.** Wpływ interakcji wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji i dawki azotu na plon świeżej i suchej masy pędów w drugiej 4-letniej rotacji

**Table 3.** Impact of interaction between variant of shoots mowing in the first 4-year rotation and nitrogen doses on the yield of fresh and dry matter of shoots in the second 4-year rotation

Wariant koszenia pędów <sup>2</sup> [A]	Dawki azotu, kg·ha <sup>-1</sup> N [B]	Plon, t·ha <sup>-1</sup>		
		świeżej masy po 4 latach uprawy	suchej masy po 4 latach uprawy	roczny przyrost plonu suchej masy
I	0	23,6a	11,9a	2,99a
	60	25,8a	13,1a	3,28a
	120	25,6a	13,3a	3,33a
	180	20,7a	10,9a	2,72a
II	0	52,8a	27,7a	6,91a
	60	77,4b	41,0b	10,24b
	120	89,4bc	47,8bc	12,00bc
	180	101,6c	55,0c	13,74c
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		15,7***	8,1***	2,02***

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

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

tymi samymi literami oznaczono wartości nie różniące się istotnie

<sup>2</sup>Wariant koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji: I – koszenie po 3-letnim i 1-rocznym odrastaniu, II – koszenie po 4-letnim odrastaniu

Wpływ interakcji wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji i dawki azotu na plon świeżej i suchej masy pędów w drugiej 4-letniej rotacji zestawiono w tabeli 4.

**Tabela 4.** Wpływ interakcji genotypu wierzby i dawki azotu na plon świeżej i suchej masy pędów

**Table 4.** Impact of interaction between willow genotype and nitrogen doses on the yield of fresh and dry matter of shoots

Genotyp wierzby [C]	Dawki azotu, kg N·ha <sup>-1</sup> [B]	Plon, t·ha <sup>-1</sup>		
		świeżej masy po 4 latach uprawy	suczej masy po 4 latach uprawy	roczny przyrost plonu suchej masy
1047	0	<b>28,1a</b>	<b>13,7a</b>	<b>3,44a</b>
	60	38,7a	19,9a	4,96a
	120	<b>46,6a</b>	<b>24,7a</b>	<b>6,19a</b>
	180	37,6a	20,0a	4,99a
1054	0	<b>21,4a</b>	<b>10,5a</b>	<b>2,64a</b>
	60	32,2ab	16,1ab	4,04ab
	120	<b>46,1b</b>	<b>24,6b</b>	<b>6,18b</b>
	180	32,9ab	17,1ab	4,28ab
1047D	0	<b>33,0a</b>	<b>16,2a</b>	<b>4,05a</b>
	60	<b>50,5a</b>	24,8a	6,19a
	120	47,4a	<b>25,5a</b>	<b>6,38a</b>
	180	43,6a	22,5a	5,64a
Start	0	11,2a	5,3a	1,33a
	60	9,7a	4,8a	1,18a
	120	<b>7,5a</b>	<b>3,7a</b>	<b>0,90a</b>
	180	<b>14,2a</b>	<b>7,0a</b>	<b>1,74a</b>
Sprint	0	<b>30,5a</b>	<b>16,1a</b>	<b>4,00a</b>
	60	34,8a	17,7a	4,44a
	120	35,2a	18,3a	4,58a
	180	<b>37,8a</b>	<b>20,3a</b>	<b>5,05a</b>
Turbo	0	<b>18,9a</b>	<b>9,9a</b>	<b>2,48a</b>
	60	<b>36,7a</b>	<b>19,5a</b>	<b>4,88a</b>
	120	27,1a	14,5a	3,64a
	180	20,0a	11,2a	2,81a
Ekotur	0	<b>96,6a</b>	<b>51,3a</b>	<b>12,84a</b>
	60	124,1b	69,0b	17,24b
	120	146,4c	83,1c	20,78c
	180	<b>171,8d</b>	<b>96,6d</b>	<b>24,16d</b>



**Tabela 4. cd.**  
**Table 4. cont.**

Genotyp wierzby [C]	Dawki azotu, kg N·ha <sup>-1</sup> [B]	Plon, t·ha <sup>-1</sup>		
		świeżej masy po 4 latach uprawy	suchej masy po 4 latach uprawy	roczny przyrost plonu suchej masy
Olof	0	<b>33,3a</b>	<b>16,8a</b>	<b>4,21a</b>
	60	45,3ab	23,8ab	5,95ab
	120	60,6b	31,4b	7,86b
	180	<b>83,9c</b>	<b>45,6c</b>	<b>11,40c</b>
Jorr	0	<b>25,6a</b>	<b>12,4a</b>	<b>3,08a</b>
	60	45,0ab	23,7b	5,94b
	120	31,9ab	15,9ab	3,99ab
	180	<b>47,7b</b>	<b>24,4b</b>	<b>6,11b</b>
Tordis	0	<b>83,5a</b>	<b>45,7a</b>	<b>11,42a</b>
	60	99,1a	51,1a	12,76a
	120	<b>126,1b</b>	<b>64,6b</b>	<b>16,15b</b>
	180	122,0b	64,4b	16,11b
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		19,8***	11,1***	2,79***

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

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

tymi samymi literami oznaczono wartości nie różniące się istotnie

Genotypy: 1047, 1047D, Start, Sprint i Turbo przeciętnie z dwóch wariantów koszenia, nie zareagowały w plonie biomasy pędów na wzrastające dawki nawożenia azotem, a u pozostałych genotypów reakcja ta była różna: klon 1054 i odmiana Tordis wydały najwyższe plony biomasy pędów na obiektach nawożonych dawką 120 kg·ha<sup>-1</sup> N, a odmiany Ekotur, Olof i Jorr – na obiektach z dawką 180 kg·ha<sup>-1</sup> N. Przy dawkach azotu, gdzie uzyskano najwyższe plony biomasy pędów, to uszeregowanie genotypów wierzby od największego do najmniejszego rocznego przyrostu plonu suchej masy w stosunku do obiektów bez nawożenia azotem wyniosło: Ekotur – 11,32 ton·ha<sup>-1</sup>, Olof – 7,19 ton·ha<sup>-1</sup>, Tordis – 4,73 ton·ha<sup>-1</sup>, klon 1054 – 3,54 ton·ha<sup>-1</sup> i Jorr – 3,03 ton·ha<sup>-1</sup>.

Każdy genotyp wierzby reagował obniżką plonu biomasy pędów w drugiej rotacji jako reakcja na zwiększenie częstotliwości koszenia w pierwszej 4-letniej rotacji (tab. 5). Liczbowe ubytki plonu były największe u odmian najwyższej plonujących (Ekotur i Tordis), a najmniejsze u odmiany Start. W literaturze przedmiotu brak jest podobnych opracowań.

**Tabela 5.** Wpływ interakcji genotypu wierzby i wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji na plon świeżej i suchej masy pędów  
**Table 5.** Impact of interaction between willow genotype and variant of shoots mowing in the first 4-year rotation on the yield of fresh and dry matter of shoots

Genotyp wierzby [C]	Wariant koszenia pędów <sup>2</sup> [A]	Plon, t·ha <sup>-1</sup>		
		świeżej masy po 4 latach uprawy	suchej masy po 4 latach uprawy	roczny przyrost plonu suchej masy
1047	I	10,8a	5,3a	1,32a
	II	64,7b	33,9b	8,46b
1054	I	8,1a	4,0a	1,03a
	II	58,2b	30,1b	7,54b
1047D	I	10,4a	5,3a	1,31a
	II	76,8b	39,3b	9,81b
Start	I	2,9a	1,4a	0,33a
	II	18,3a	9,0a	2,23a
Sprint	I	5,3a	2,6a	0,66a
	II	63,9b	33,6b	8,38b
Turbo	I	10,8a	5,8a	1,46a
	II	40,5b	21,7b	5,44b
Ekotur	I	86,8a	46,4a	11,59a
	II	182,6b	103,6b	25,91b
Olof	I	32,6a	16,6a	4,14a
	II	78,9b	42,3b	10,57b
Jorr	I	15,2a	7,4a	1,84a
	II	59,9b	30,8b	7,72b
Tordis	I	55,9a	28,3a	7,08a
	II	159,4b	84,6b	21,15b
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		15,4***	8,5***	2,12***

Istotność różnic: \*\*\* –  $\alpha = 0,001$

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

tymi samymi literami oznaczono wartości nie różniące się istotnie

<sup>2</sup>Wariant koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji: I – koszenie po 3-letnim i 1-rocznym odrastaniu, II – koszenie po 4-letnim odrastaniu

Wcześniejsze publikacje autorów wskazywały, że podczas wieloletniej uprawy wierzby zachodzą zmiany w architekturze ładu wynikające z wpływu lat odrastania pędów, sposobu ich koszenia, poziomu nawożenia azotem mineralnym oraz cech odmianowych wierzby, co rzutuje na potencjalne możliwości plonowania roślin wierzby (Fijałkowska i Stysz-

ko 2017). W literaturze udokumentowano te efekty w odniesieniu do pierwszej 2-, 3- lub 4-letniej rotacji, ale nadal brakowało takich analiz w dalszych rotacjach (Nowak i in. 2011, Stolarski 2009, Styszko i in. 2010, 2012, Szczukowski i in. 2009). W literaturze zagranicznej są doniesienia, że w dalszych rotacjach zbioru wierzba wydaje wyższy plon biomasy niż w pierwszej (Labrecque i Teodorescu 2003, Nissim i in. 2013).

Produktywność biomasy jest podstawowym kryterium przy wyborze genotypów wierzby do uprawy na cele energetyczne. Najważniejszymi czynnikami ograniczającymi wzrost pędów wierzby w regionach o klimacie umiarkowanym są woda i składniki odżywcze, głównie azot (Weih i Nordh 2002). Optymalna dawka azotu dla odmiany lub klonu wierzby ma korzystny wpływ na przyrost biomasy oraz walory technologiczne surowca. Nadmiar azotu może także powodować łamliwość pędów, zaś niedobory hamują wydajność fotosyntezy (Nowak i in. 2011). Według Labrecque i Teodorescu (2003), aby uzyskać  $20 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  s.m. przez trzy rotacje, wierzbę uprawianą w systemie krótkiej rotacji, należałoby nawozić corocznie w dawkę  $150 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ ,  $18 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$  i  $60 \text{ kg K} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Plony wierzby w uprawie krótkorotacyjnej (SRWC) w doświadczeniach polowych w optymalnych warunkach agrotechnicznych osiągały do  $30 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  suchej masy, a natomiast przeciętne plony wynoszą 50% tej wielkości (Szczukowski 2012a).

W doświadczeniach własnych przeciętny dla 10 genotypów, roczny przyrost suchej masy pędów wyniósł  $6,90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , z wahaniami od  $1,28 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  u odmiany Turbo do  $18,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  u odmiany Ekotur. Wykazano też, że sposób prowadzenia uprawy w pierwszej 4-letniej rotacji istotnie wpływa na pozyskane plony w następnej rotacji, m.in. poprzez wyższą plenność roślin na obiektach z mniejszą częstotliwością koszenia, co jest nowością tej pracy. Dawka  $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N zwiększyła przeciętnie w stosunku do obiektu kontrolnego bez nawożenia azotem, plon świeżej masy pędów o  $22,9 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$  tj. o 59,9%, plon suchej masy o  $13,1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 66,2% i roczny przyrost plonu suchej masy o  $3,28 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tj. o 66,3% oraz zawartość azotu ogólnego w pędach o 0,017%. Łabędowicz i Stępień (2010) podają, że na poletkach trwałego doświadczenia nawozowego od 1923 roku w SGGW na doświadczeniu z wierzbą założonym w latach 2006-2008, na obiektach bez nawożenia azotem wydała plon suchej masy o 43% niższy niż z nawożeniem azotem ( $13,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Algebidi i in. (2001) podają, że plantacje zasilane NPK charakteryzują się

niższym wskaźnikiem *NUE* (wskaźnik wykorzystania składników pokarmowych) dla azotu ( $115-160 \text{ g s.m.} \cdot \text{g}^{-1}$ ) w stosunku do obiektów bez nawożenia azotem ( $129-178 \text{ s.m.} \cdot \text{g}^{-1}$ ), a efektywność wykorzystania makroskładników przez wierzbę była wyższa w dłuższych niż w krótszych cyklach produkcyjnych.

W literaturze rolniczej istnieją opracowania systemów nawożenia roślin gatunków jednorocznych. W literaturze opisywane są uproszczone systemy nawożenia upraw wierzby na cele energetyczne (Dawson 2010, Dubas i in. 2004, Larson i Dobrzaniecki 2004, Macpherson 1995, Szczukowski 2012a, 2012b). W Irlandii i Anglii przy uprawie wierzby zaleca się nie przekraczać dawki azotu  $120-150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$  (Dawson 2010, Macpherson 1995), w Szwecji –  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$  (Larson i Dobrzaniecki 2004), w Polsce –  $80-90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$  (Szczukowski 2012 a, 2012 b)) lub  $40-120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ N}$  (Dubas i in. 2004). W literaturze podkreśla się, że do uprawy wierzby można wykorzystać osady ściekowe, ścieki surowe oraz różne komposty, w tym z komunalnych osadów ściekowych (Kocik i in. 2007, Krutysz-Hus i Chmura 2008, Labresque i Teodorescu 2001, Larson i Dobrzaniecki 2004, Obarska-Pempkowiak i KołECKA 2005, Sobczyk i in. 2015, Styszko i in. 2012).

Próby ustalenia optymalnych dawek nawożenia azotem wierzby przy jej uprawie na glebie lekkiej na Pomorzu podjęto w pracach Styszko i in. (2010, 2012). Wykazano, że klony wierzby posiadają zróżnicowane wymagania nawozowe, a maksymalne plony suchej masy pędów wierzby w pierwszej 4-letniej rotacji zbioru uzyskuje się przy dawkach azotu dla klonów: 1047D –  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , 1023 –  $107 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , 1013 –  $88 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  i 1056 –  $55 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Obecnie prezentowane badania potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, że inne genotypy wierzby posiadają również zróżnicowane wymagania odniesieniu do azotu.

Biomasa 4-letnich pędów wierzby zawiera przeciętnie 0,29% azotu i 1,92 % popiołu (Szczukowski 2012a). W warunkach trwałego doświadczenia nawozowego zawartość azotu w roślinach podczas zbioru wierzby wyniosła na obiektach z pełnym nawożeniem mineralnym (CaNPK)  $4,79 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}$ , a na obiektach bez nawożenia azotem (CaPK) –  $4,01 \text{ g} \cdot \text{kg s.m.}$  (Łabędowicz i Stępień 2010). Zawartość popiołu w biomacie wierzb krzewiastych, średnio z 6 gatunków, maleje w miarę wydłużania częstotliwości zbioru z corocznego na co 3 lata z 1,89% do 1,38% (Stolarski i in. 2007). W zrębkach z 4-letnich pędów wierzby *Salix viminalis* zawartość

popiołu wynosi 1,7% i jest 12-krotnie niższa niż w węglu (Tworkowski i in. 2007). W badaniach Majtkowskiego i in. (2010) świeże zrębki wierzbowe zawierają 2,6% popiołu, a materiał roślinny z plantacji energetycznych wierzby zawiera od 0,57% do 1,38% azotu w zależności od lokalizacji plantacji oraz długości lat odrastania pędów. W uprawie wierzby w Bydgoszczy, pędy roczne zawierały 1,38% N, a pędy 3-letnie – 0,84%. W badaniach własnych zawartość azotu w biomase wierzby była zbliżona poziomem do danych podanych przez Szczukowskiego i in. (2012a), ale niższa niż podają to Majtkowski i in. (2010). Biomasa wierzby pozyskana w badaniach własnych miała tylko ok. 1,0% popiołu surowego i była niższa niż podaje to literatura krajowa.

#### 4. Wnioski

1. Plony biomasy w drugiej 4-letniej rotacji najsilniej zależały od wariantu koszenia pędów w poprzedniej rotacji, genotypu wierzby, a w mniejszym stopniu od zastosowanej dawki azotu mineralnego.
2. Dwukrotne koszenie pędów w pierwszej 4-letniej rotacji obniżyło w następnej rotacji plon suchej masy i roczny przyrost tego plonu o 71,3%, zmniejszyło zawartość suchej masy w pędach o 1,7%, a powiększyło zawartość azotu ogólnego w pędach o 0,02%. Genotypy wierzby reagowały w plonie biomasy w zróżnicowany sposób na warianty koszenia.
3. Coroczne nawożenie azotem podwyższyło plon suchej masy wierzby przeciętnie o 66,2%, ale ten efekt bardzo silnie zależał od wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji oraz genotypu wierzby.
4. Genotypy 1047, 1047D, Start, Sprint i Turbo nie reagowały w plonie biomasy pędów na wzrastające dawki nawożenia azotem, a u pozostałych genotypów reakcja była zróżnicowana.
5. Uszeregowanie genotypów reagujących na nawożenie azotem, od największego do najmniejszego przeciętnego rocznego przyrostu plonu suchej masy, było następujące: Ekotur –  $11,32 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Olof –  $7,19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , Tordis –  $4,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , klon 1054 –  $3,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  i Jorr –  $3,03 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .
6. Coroczne nawożenie azotem zwiększyło zawartość azotu ogólnego w pędach wierzby przeciętnie o 0,02%, a nie miała wpływu na zawartość w nich popiołu surowego.

## Literatura

- Adegbidi, H., Volk, T.A., White, E.H., Abrahamson, L.P., Briggs, R.D., Bickelhaupt D.H. (2001). Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenerg.* 20, 399-411.
- Dawson, M. (2010). *Willow Best Practice Guidelines*. Agri-Food and Biosciences Institute (AFBI) North Ireland, Belfast, 66.
- Dubas, J.W., Grzybek, A., Kotowski, W., Tomczyk, A. (2004). *Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Praca zbiorowa pod redakcją Anny Grzybek*. Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji w Bytomiu, 126.
- Fijałkowska, D., Styszko, L. (2017). Regrowth of willow shoots in the second 4-year rotation at various fertilization with nitrogen. *E3S Web of Conferences* 17, 00022, 1-8.
- GUS 2017. Energia ze źródeł odnawialnych w 2016 r. GUS Warszawa.
- Guidi, W., Pitre, F.E., Labresque, M. (2013). Short-rotation coppice of willow for production of biomass in Eastern Canada. *Biomass Now - Sustainable Growth and Use*. INTECH: 421-448. <http://dx.doi.org/10.5772/51111> dostęp 2016.12.15.
- Kocik, A., Truchan, M., Rozen, A. (2007). Application of willows (*Salix viminalis*) and earthworms (*Eisenia fetida*) in sewage sludge treatment. *European Journal of Soil Biology*, 43, 327-331.
- Krutysz-Hus, E., Chmura, K. (2008). Próby wykorzystania osadów ściekowych w uprawie wierzby krzewiastej dla potrzeb energetycznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 526, 397-403.
- Labresque, M., Teodorescu, T.I. (2001). Influence of plantation site and waster sludge fertilization on the performance and foliar nutrient status of two willow species grown under SRIC in southern Quebec (Canada). *Forest Ecology and Management*, 150, 223-239.
- Labrecque, M., Teodorescu, T. (2003). High biomass field 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.
- Larson, S., Dobrzaniecki, P. (2004). *Agrobränsle ab – the worlds leading authority on commercial short rotation willow (salix) coppice (src)*. [W:] *Rozwój energii odnawialnej na Pomorzu Zachodnim. Praca zbiorowa pod redakcją Piotra Lewandowskiego i Władysława Nowaka*. Koszalin, 233-240.
- Łabędowicz, J., Stępień, W. (2010). *Nawożenie roślin energetycznych (wierzby, mискant, ślázowiec)*. [W:] *Nowoczesne technologie pozyskiwania i energetycznego wykorzystywania biomasy*. Monografia. Instytut Energetyki Warszawa, 89-100.

- Macpherson, G. (1995). *Home-grown Energy from Short-rotation Coppice*. Farming Press. United Kingdom, 214.
- Majtkowski, W., Majtkowska, G., Tomaszewski, B. (2010). *Wartość energetyczna biomasy, skład chemiczny spalin i zawartość popiołu*. [W:] Modelowanie energetycznego wykorzystania biomasy. Wydawnictwo ITP Falenty-Warszawa, 76-82.
- Nissim, W. G., Pitre, F. E., Teodorescu, T. I., Labrecque, M. (2013), Long-term biomass productivity of willow bioenergy plantations maintained in southern Quebec, Canada. *Biomass Bioenergy* 56, 361-369.
- Nowak, W., Sowiński, J., Jama, A. (2011). Wpływ częstotliwości zbioru i zróżnicowanego nawożenia azotem na plonowanie wybranych klonów wierzby krzewiastej (*Salix viminalis* L.). *Fragm. Agron.* 28(2), 55-62.
- 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.
- Sobczyk, W., Sternik, K., Sobczyk, E.J., Noga, H. (2015). Ocena plonowania wierzby nawożonej osadami ściekowymi. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 17, 1113-1124.
- Staffa, K. (1965). Studia nad szybko rosnącymi wierzby jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego. *Hodowla Rosl., Aklim. i Nas.*, 9(2,3), 180-224, 320-338.
- Stolarski, M. (2009). *Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (Salix spp.) jako surowca energetycznego*. Wyd. UW-M, Olsztyn.
- Stolarski, M., Szczukowski, S., Tworowski, J. (2007). *Ocena produktywności wierzby (Salix spp.) pozyskanej z krótkich rotacjach w dolinie dolnej Wisły*. [W:] Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa szanse i problemy. Wydawnictwo „Wieś Jutra” Warszawa, 93-99.
- Styszko, L., Fijałkowska, D., Sztyma, M. (2010). *Shrubby willow crop in the four-year cycle of cultivation in light soil in Pomerania*. [In:] Regional and local biomass potential edited by Michał Jasiulewicz. Polish Economics Association Koszalin University of Technology, 159-190.
- Styszko, L., Fijałkowska, D., Sztyma-Horwat, M. (2012). Ocena potrzeb nawozowych wybranych klonów wierzby energetycznej przy nawożeniu upraw kompostem z osadów komunalnych. PAN Komitet Inżynierii Środowiska. *Polska Inżynieria Środowiska Prace pod redakcją Marzenna R. Dudzińska, Artur Pawłowski, Monografia*, 99, 279-288.
- Styszko, L., Fijałkowska, D., Ignatowicz, M. (2017). Wpływ nawożenia azotem i liczby lat odrastania pędów na plon biomasy wierzby. *Fragm. Agron.* 34(2), 84-93.

- Szczukowski, S., Tworkowski, J., Stolarski, M., Fortuna, W. (2009). Plon biomasy wierzby pozyskanej w krótkich rotacjach zbioru na plantacji przemysłowej. *Fragm. Agron*, 26(3), 146-155.
- Szczukowski, S. (2012a). *Wierzba*. [W:] Wieloletnie rośliny energetyczne. Monografia. Multico Oficyna Wydawnicza Warszawa, 11-38.
- Szczukowski, S. (2012b). *Wierzba Salix L.* [W:] Odnawialne źródła energii. Rolnicze surowce energetyczne pod redakcją Barbary Kołodziej i Mariusza Matyki. PWRiL Poznań, 343-253.
- Szostek, M., Kaniuczak, J., Hajduk, E., Stanek-Tarkowska, J., Jasiński, T., Niemiec, W., Smusz R. (2018). Effect of sewage sludge on the field and energy value of the aboveground biomass of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus L.*). *Archives of Environmental Protection*, 44(3), 42-50.
- Tworkowski, J., Szczukowski, S., Stolarski, M. (2007). *Charakterystyka biomasy wierzby jako paliwa*. [W:] Biomasa dla elektroenergetyki i ciepłownictwa szanse i problemy. Wydawnictwo „Wieś Jutra” Warszawa, 82-92.
- Weih, M., Nordh, N-E. (2002). Characterising willows for biomass and phytoremediation: growth, nitrogen and water use of 14 willow clones under different irrigation and fertilisation regimes. *Biomass Bioenergy* 23, 397-413.

## **Impact of the Nitrogen Fertilization on Yield, Dry Matter, Ash and Total Nitrogen Content in the Second 4-year Rotation of Basket Willow Cultivation**

### **Abstract**

The purpose of the present paper was an assessment of impact of the mineral nitrogen fertilization and variants of shoots mowing in the first 4-year cycle on the yield of 10 genotypes of basket willow (*Salix viminalis L.*) and dry matter, ash and total nitrogen content in the second 4-year cycle of cultivation. The field experiment, in four repetitions, was realized in 2012-2015 in Kościernica, (16°24'N and 54°8'E). The soil used in the experiment was light, RIVa-IVb soil quality class, a good rye soil complex, appropriate podsolic – pseudopodsolic with a composition of light loamy sand up to the depth of 100 cm, and deeper: light loam. The humus content in the layer of 0-30 cm of soil was 1.41%. The first 4-year cycle of the regrowth of the shoots was in 2008-2011, the second – in 2012-2015.

As part of the experiment, four doses of mineral nitrogen were randomized on large plots: 0 kg N·ha<sup>-1</sup>, 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, 120 kg N·ha<sup>-1</sup> and 180 kg N·ha<sup>-1</sup>, and within these doses on small plots – 10 genotypes of basket willow (*Salix viminalis L.*): 1047, 1054, 1047D, Start, Sprint, Turbo, Ekotur, Olof, Jorr and



Tordis. Nitrogen fertilization was applied in 2008-2015 each year in April. In 2007, on the plot sized 25.3 m<sup>2</sup>, in two rows 56 willow cuttings were planted per row, that is 22,134 pcs·ha<sup>-1</sup>. During the harvest in 2011 and 2015, growing willow shoots on individual rows of the plot were mowed separately. In the first 4-year rotation, the first row was mowed twice (after 3 years and after annual regrowth), and the second row was mowed once (after 4 years of regrowth). The yield of fresh matter was assessed after cutting all the willow shoots separately on each plot row and biomass samples for laboratory analyzes were taken (dry matter in fresh matter, ash and total nitrogen).

The research showed that biomass yield in the second 4-year rotation most depended on variants of shoots mowing in previous rotation, willow genotype and less depended on adopted mineral nitrogen doses. Twice shoots mowing in the first 4-year rotation was the reason of dry matter yield reduction and annual regrowth of this yield by 71,3% in the next rotation and dry matter content reduction in the shoots by 1,7% and increasing total nitrogen in the shoots by 0,019%. The reaction of willow genotypes to the variant of shoots mowing, in biomass yield, was varied. Annual nitrogen fertilization was the reason increase in dry matter yield of willow, average by 66,2% but that effect depended very strongly on variants of shoots mowing in the first 4-year rotation and willow genotype. Genotypes 1047, 1047D, Start, Sprint and Turbo, in biomass yield, did not react to the increasing doses of nitrogen fertilization, and the reaction in the other genotypes was varied. The arrangement of the genotypes reacting to nitrogen fertilization, from the largest to the smallest average annual increase in yield of dry matter was as follows: Ekotur – 11,32 t·ha<sup>-1</sup>, Olof – 7,19 t·ha<sup>-1</sup>, Tordis – 4,73 t·ha<sup>-1</sup>, 1054 – 3,54 t·ha<sup>-1</sup> and Jorr – 3,03 t·ha<sup>-1</sup>. Annual nitrogen fertilization was the reason increase in content of total nitrogen in the willow shoots, average by 0,017%, but that effect had not an impact on the raw ash content.

## Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu zróżnicowanego nawożenia azotem mineralnym i wariantów koszenia pędów w pierwszym 4-letnim cyklu na plon biomasy 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis*) oraz na zawartość w niej suchej masy, azotu ogólnego i popiołu w drugim 4-letnim cyklu uprawy. Doświadczenie polowe, w czterech powtórzeniach, wykonano w latach 2012-2015 w Kościernicy, gmina Polanów (16°24'N i 54°8'E). Gleba pod doświadczeniem była lekka, klasy bonitacyjnej RIVa-IVb, kompleksu żytniego dobrego, biellicowa właściwa – pseudobiellicowa o składzie piasku gliniastego lekkiego do głębokości 100 cm, a głębiej – gliny lekkiej. Zawartość próchnicy w warstwie 0-30 cm gleby wyniosła 1,41%. Pierwszy 4-letni okres odrastania pędów był realizowany w latach 2008-2011, a drugi – w latach 2012-2015.

W ramach doświadczenia, rozlosowano na dużych poletkach cztery dawki azotu mineralnego: 0 kg N·ha<sup>-1</sup>, 60 kg N·ha<sup>-1</sup>, 120 kg N·ha<sup>-1</sup> i 180 kg N·ha<sup>-1</sup>. Natomiast w zakresie dawek azotu na małych poletkach, rozlosowano 10 genotypów wierzby wiciowej (*Salix viminalis* L.): 1047, 1054, 1047D, Start, Sprint, Turbo, Ekotur, Olof, Jorr i Tordis. Corocznie w kwietniu w latach 2008-2015 stosowano nawożenie azotem mineralnym. W 2007 roku na poletku o powierzchni 25,3 m<sup>2</sup> wysadzono łącznie po 56 zrzesów wierzby w dwóch rzędach tj. 22134 szt.·ha<sup>-1</sup>. Podczas zbioru w latach 2011 i 2015 koszono oddzielnie odrastające pędy wierzby na poszczególnych rzędach poletka. W pierwszej 4-letniej rotacji na pierwszym rzędzie koszono 2-krotnie (po 3 latach i po 1-rocznym odrastaniu), a na drugim rzędzie – jednokrotnie (po 4 roku odrastania). Plon świeżej masy oceniono po ścięciu wszystkich pędów wierzby oddzielnie na każdym rzędzie poletka oraz pobrano próby biomasy do analiz laboratoryjnych (suchej masy w świeżej masie, popiołu oraz azotu ogólnego).

W badaniach wykazano, że plony biomasy w drugiej 4-letniej rotacji najsilniej zależały od wariantu koszenia pędów w poprzedniej rotacji, genotypu wierzby, a w mniejszym stopniu od zastosowanej dawki azotu mineralnego. Dwukrotne koszenie pędów w pierwszej 4-letniej rotacji obniżyło w następnej rotacji plon suchej masy i roczny przyrost tego plonu o 71,3%, zmniejszyło zawartość suchej masy w pędach o 1,7%, a powiększyło zawartość azotu ogólnego w pędach o 0,019%. Genotypy wierzby reagowały w plonie biomasy w różnicowany sposób na warianty koszenia. Coroczne nawożenie azotem podwyższyło plon suchej masy wierzby przeciętnie o 66,2%, ale ten efekt bardzo silnie zależał od wariantu koszenia pędów w pierwszej 4-letniej rotacji oraz genotypu wierzby. Genotypy 1047, 1047D, Start, Sprint i Turbo nie reagowały w plonie biomasy pędów na wzrastające dawki nawożenia azotem, a u pozostałych genotypów reakcja była zróżnicowana. Uszeregowanie genotypów reagujących na nawożenie azotem, od największego do najmniejszego przeciętnego rocznego przyrostu plonu suchej masy, było następujące: Ekotur – 11,32 t·ha<sup>-1</sup>, Olof – 7,19 t·ha<sup>-1</sup>, Tordis – 4,73 t·ha<sup>-1</sup>, klon 1054 – 3,54 t·ha<sup>-1</sup> i Jorr – 3,03 t·ha<sup>-1</sup>. Coroczne nawożenie azotem zwiększyło zawartość azotu ogólnego w pędach wierzby przeciętnie o 0,017%, ale nie miało to wpływu na zawartość w nich popiołu surowego.

**Słowa kluczowe:**

wierzba wiciowa (*Salix viminalis* L.), genotypy, nawożenie azotem mineralnym, warianty koszenia pędów, plon, świeża masa, sucha masa, zawartość azotu ogólnego, zawartość popiołu surowego

**Keywords:**

basket willow (*Salix viminalis* L.), genotype, mineral nitrogen fertilization, variants of shoots mowing, yield, fresh matter, dry matter, total nitrogen content, raw ash content