



## **Wpływ gęstości sadzenia na długość, grubość i liczbę pędów w karpie wierzby w czteroletnim cyklu uprawy**

*Adriana Borzymowska, Leszek Styszko  
Politechnika Koszalińska*

### **1. Wstęp**

W Polsce celem strategicznej polityki energetycznej jest osiągnięcie w 2020 roku 15% udziału odnawialnych źródeł energii (OZE) w zużyciu energii brutto. W 2010 roku zużycie to wynosiło 9,5%, a spośród pozyskanej energii z OZE – biomasa stała stanowiła 85,36% [2]. Biomasa stałą pozyskiwano z lasu, z przemysłu drzewnego i papierniczego, z rolnictwa, przemysłu rolno-spożywczego i gospodarki komunalnej. Według danych GUS największymi odbiorcami energii z biomasy w Polsce w 2010 roku były gospodarstwa domowe (45,9%), elektrownie i elektrociepłownie zawodowe (22,3%) oraz rolnictwo i leśnictwo (8,6%).

Biomasa z upraw rolniczych na cele energetyczne w Polsce pozyskuje się głównie z roślin jednorocznych (zboża, rzepak, ziemniaki, buraki, trawy i inne) jak również z upraw krótkiej rotacji, w tym z wierzby krzewiastej. Uprawa wierzb w Polsce nie jest jeszcze prowadzona na dużą skalę. Szacuje się, że jej powierzchnia upraw towarowych wynosi około 7000 hektarów. Uprawa wierzby krzewiastej w krótkich rotacjach wynosi 20–25 lat. Stąd rozpoznanie reakcji klonów na zagęszczenie sadzenia zrzezów ma duże znaczenie.

Celem podjętych badań była ocena odrastania pędów dziesięciu odmian wierzby krzewiastej (*Salix viminalis*) w czteroletnim cyklu, uprawianej na glebie lekkiej, o głębokim poziomie wody gruntowej, przy zróżnicowanym zagęszczeniu sadzenia zrzezów.

## 2. Materiał i metoda

Do analiz zagadnienia włączono dane z doświadczenia polowego założonego w Kościernicy w 2007 roku z dziesięcioma odmianami wierzby, na glebie lekkiej, IVb – V klasy bonitacyjnej. Pole to oddalone jest o 20 km na południe od Koszalina. Przy montażu piezometrów wiosną 2010 roku, okazało się, że poziom wody gruntowej na tym polu jest położony bardzo głęboko, gdyż od 17,6–18,1 m poniżej powierzchni terenu (p.p.t.). Taka lokalizacja upraw wierzby wskazuje na to, że korzenie wierzby nie sięgają do wody gruntowej, a na jej rozwój duże znaczenie ma rozkład opadów w okresie wegetacji.

Dane o rozkładzie opadów i temperatur w okresie kwiecień – październik, z lat 2008–2011, zaczerpnięto z automatycznej stacji meteorologicznej IHAR w Boninie, oddalonej w linii prostej o 10 km od pola doświadczalnego w Kościernicy (tab. 1). Na podstawie sumy opadów oraz średniej miesięcznej temperatury powietrza opracowano wskaźnik hydrotermiczny Sielianinowa ze wzoru o postaci:

$$K = P/0,1\sum t \quad (1)$$

gdzie:

P – miesięczna suma opadów atmosferycznych w mm,

$\sum t$  – miesięczna suma temperatury powietrza  $>0^{\circ}\text{C}$ .

Za warunki ekstremalne przyjęto wartości K, które mieszczą się w przedziałach niższych od 0,7 (skrajnie suche i bardzo suche) oraz powyżej 2,5 (bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne).

Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że warunki skrajnie suche i bardzo suche wystąpiły w maju 2008 roku, w kwietniu 2009 roku, czerwcu 2010 i w kwietniu 2011 roku. Natomiast warunki bardzo wilgotne i skrajnie wilgotne wystąpiły w kwietniu i sierpniu 2008 roku, czerwcu i październiku 2009 roku, maju 2010 roku i październiku 2011 roku. Z danych tych wynika, że lata 2008, 2010 i 2011 były dość wilgotne, a rok 2009 – wilgotny.

Doświadczenie składało się z okresu przygotowawczego (2007 rok), w którym wysadzono zrzesy wierzby o długości 20–25 cm, a po zakończeniu tej wegetacji – skosowano jednoroczne pędy zima 2007/2008 roku oraz z czteroletniego okresu odrastania pędów (lata 2008–2011).

**Tabela 1.** Warunki hydrotermiczne w Boninie k. Koszalina w latach 2008–2011  
**Table 1.** Water-thermal conditions in Bonin near Koszalin in years 2008–2011

Miesiąc	Współczynnik Sielianinowa [K] w latach			
	2008	2009	2010	2011
Kwiecień	<b>2,96</b>	<b>0,35</b>	0,78	<b>0,65</b>
Maj	<b>0,16</b>	2,43	<b>3,25</b>	1,39
Czerwiec	1,78	<b>3,58</b>	<b>0,58</b>	1,26
Lipiec	0,99	1,82	1,50	2,27
Sierpień	<b>2,52</b>	0,85	2,44	1,82
Wrzesień	1,17	1,57	2,34	1,39
Październik	2,39	<b>6,64</b>	2,38	<b>2,71</b>
Przeciętnie	1,61	2,29	1,84	1,64

Doświadczenie założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym, gdzie podblokami I rzędu była liczba wysadzonych zrzewów na hektarze (15.020, 22.134 i 35.200 zrzewów na hektarze), a drugiego rzędu – 10 odmian wierzby (1047; 1054; 1047D; Start; Sprint; Turbo; Ekotur; Oloff; Jorr i Tordis). Poletka miały powierzchnię 25,3 m<sup>2</sup>, na których wysadzono w dwóch rzędach, w zależności od gęstości odpowiednio – 38, 56 i 84 zrzewów. Wiosną w latach 2008-2011 zastosowano jednolicie na całym doświadczeniu nawożenie N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O w wysokości - 120-20-42 w moczniku 46% i amofosce N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O (5-10-21).

W trakcie wegetacji w latach 2008–2011 wykonano pomiary długości, grubości i liczby pędów żywych w karpie wierzby w 4 terminach (31 maj, 30 czerwiec, 30 wrzesień i 10 listopad). Pomiary grubości pędów wykonano suwmiarką na wysokości 10 cm od ziemi. Dla badanych cech wykonano analizy wariancji oraz oceniono strukturę procentową komponentów wariancyjnych. Istotność efektów oceniono testem F.

### 3. Wyniki i dyskusja

W analizach wariancji dla długości, grubości i liczby żywych pędów w krzaku wykazano istotność efektów głównych badanych czynników i większości ich interakcji (tab. 2). W analizach za zmienność resztową przyjęto współdziałanie najwyższego rzędu (ABCD). W każdej analizie dominującą była zmienność lat odrastania pędów. Czynniki te traktowano jako stałe, gdyż lata uprawy nie były tożsame z latami kalen-

darzowymi, ale były wycinkiem czasowym przy wieloletniej uprawie wierzby. W każdej analizie na drugim miejscu pod względem siły oddziaływania zostały sklasyfikowane odmiany, na trzecim – terminy pomiaru, a na czwartym – gęstość sadzenia zrzesów. Wszystkie efekty czynników głównych były istotne. Spośród współdziałań duże znaczenie miały interakcje odmian wierzby z latami odrastania pędów oraz odmian z gęstością sadzenia zrzesów. Efekty te okazały się wysoko istotne statystycznie. Istotnymi były także wpływy interakcji gęstości sadzenia zrzesów z latami odrastania pędów, chociaż mniej silne niż wcześniej wymienionych współdziałań.

**Tabela 2.** Wpływ badanych czynników na zmienność cech

**Table 2.** Influence of examined factors on the variability of features

Komponent wariacyjny	Poziomy czynnik	Struktura procentowa komponentów wariacyjnych		
		długość pędów	grubość pędów	liczba pędów
Lata odrastania pędów [A]	4	68,0***	62,3***	46,0***
Terminy pomiaru [B]	4	7,6***	6,2***	7,1***
Gęstość sadzenia [C]	3	0,4***	0,1*	2,0***
Odmiany wierzby [D]	10	11,6***	12,3***	9,3***
Suma współdziałań		11,7	11,6	31,7
Współdz. AB		1,3***	0,1	13,1***
Współdz. AC		0,1***	0,5**	1,9***
<b>Współdz. AD</b>		<b>3,7***</b>	<b>6,2***</b>	<b>4,8***</b>
Współdz. BC		0,0	0,0	0,0
Współdz. BD		0,4***	0,3	0,5***
<b>Współdz. CD</b>		<b>4,2***</b>	<b>2,8***</b>	<b>4,9***</b>
Pozostałe współdziałania		2,7	1,7	6,5
Współdziałanie ABCD		0,7	7,5	3,9
Suma		100,0	100,0	100,0

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

Pędy wierzby wykazywały corocznie większą długość i grubość, ale malała ilość żywych pędów w karpie (tab. 3). W czwartej wegetacji było tylko 45% stanu pędów żywych z pierwszego roku. W późniejszych terminach pomiarów było istotnie mniej pędów w karpie niż 31 maja.

**Tabela 3.** Wpływ badanych czynników na analizowane cechy  
**Table 3.** Influence of examined factors on analysed features

Badany czynnik	Poziomy czynnik	Długość pędów [cm]	Grubość pędów [mm]	Liczba żywych pędów w karpie [sztuk]
Lata odrastania pędów [A]	1	87,4	6,58	8,38
	2	218,3	13,87	5,07
	3	304,8	18,82	4,62
	4	373,8	24,28	3,80
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>3,1***</b>	<b>0,67***</b>	<b>0,15***</b>
Terminy pomiaru [B]	31 V	197,2	12,94	6,44
	30 VI	226,4	14,99	5,78
	30 IX	277,8	17,81	4,89
	10 XI	283,0	17,82	4,76
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>3,1***</b>	<b>0,67***</b>	<b>0,15***</b>
Gęstość sadzenia zrzczerw [sztuk·ha <sup>-1</sup> ] [C]	15.020	237,9	15,74	5,83
	22.134	<b>256,9</b>	<b>16,33</b>	<b>5,56</b>
	35.200	243,6	15,60	5,00
	<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>2,7***</b>	<b>0,58*</b>	<b>0,13***</b>
Odmiany wierzby [D]	1047	206,8	14,70	5,53
	1054	201,4	<b>12,31</b>	6,12
	1047D	222,8	14,83	6,35
	Start	<b>193,5</b>	13,04	5,98
	Sprint	226,3	14,75	<b>6,77</b>
	Turbo	226,6	14,15	5,23
	Ekotur	<b>346,1</b>	<b>23,52</b>	5,55
	Oloff	281,6	18,00	<b>3,70</b>
	Jorr	242,7	14,68	4,63
	Tordis	313,1	18,94	4,81
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>	<b>4,9***</b>	<b>1,05***</b>	<b>0,24***</b>	
Średnia		246,1	15,89	5,47

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

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

Również gęstość sadzenia zrzesów oraz odmiany wierzby istotnie wpływały na zmienność badanych cech. Przy gęstości sadzenia 22.134 zrzesów na hektarze uzyskano najdłuższe i najgrubsze pędy; było ich jednak mniej w karpie o 4,65% niż przy gęstości 15.020 sztuk, ale więcej o 11,2% niż przy gęstości 35.200 sztuk. Odmiany także różniły się długością pędów (najdłuższe u odmiany Ekotur, a najkrótsze u odmiany Start), grubością pędów (najgrubsze u odmiany Ekotur, a najcieńsze u odmiany 1054) oraz liczbą pędów w karpie (najwięcej u odmiany Sprint, a najmniej u odmiany Oloff).

**Tabela 4.** Wpływ interakcji lat odrastania pędów z gęstością sadzenia na analizowane cechy

**Table 4.** Influence of interaction between years of shoots regrowth and planting density on analysed features

Lata odrastania pędów [A]	Gęstość sadzenia zrzesów [sztuk·ha <sup>-1</sup> ] [C]	Długość pędów [cm]	Grubość pędów [mm]	Liczba żywych pędów w karpie [sztuk]
1	15.020	83,5	6,46	8,56
	22.134	<b>97,8</b>	<b>6,76</b>	8,56
	35.200	84,9	6,53	8,03
2	15.020	209,1	13,22	4,95
	22.134	<b>225,0</b>	13,66	5,09
	35.200	220,9	<b>14,74</b>	<b>5,17</b>
3	15.020	293,6	18,64	<b>5,37</b>
	22.134	<b>322,2</b>	<b>19,66</b>	4,62
	35.200	298,7	18,16	3,85
4	15.020	365,3	24,62	<b>4,46</b>
	22.134	<b>386,5</b>	<b>25,24</b>	3,96
	35.200	369,7	22,98	2,97
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		5,4***	1,15**	0,26***

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

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

Przy gęstości sadzenia 22.134 zrzesów na hektarze praktycznie w każdym roku uprawy uzyskano pędy najdłuższe i najgrubsze, poza grubością pędów w drugim roku ich odrastania (tab. 4). Różnice w ilości

żywych pędów w karpie wierzby wyraźnie zaznaczyły się w trzecim i czwartym roku odrastania, gdzie najwięcej pędów było przy małej gęstości sadzenia ( $15.020 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), a najmniej na największym zagęszczeniu ( $35.200 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

Dane z tabeli 5 wskazują na różną reakcje odmian wierzby na zagęszczenie sadzenia zrzesów. Najwyższe i najgrubsze pędy przy zagęszczeniu  $15.020 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$  były u odmian: 1047D, Start, Ekotur, przy zagęszczeniu  $22.134 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$  – u odmian: Turbo, Oloff, Jorr i Tordis, a przy zagęszczeniu  $35.200 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$  – u odmian: 1054, Sprint. U odmiany 1047 najdłuższe pędy były przy gęstości sadzenia  $22.134 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ , ale najgrubsze pędy przy zagęszczeniu  $35.200 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Najwięcej pędów w karpie było przy zagęszczeniu  $15.020 \text{ sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ , poza odmianami Ekotur, Oloff i Jorr.

**Tabela 5.** Wpływ interakcji lat odrastania pędów z gęstością sadzenia na analizowane cechy

**Table 5.** Influence of interaction between years of shoots regrowth and planting density on analysed features

Odmiana wierzby [D]	Gęstość sadzenia zrzesów [ $\text{sztuk}\cdot\text{ha}^{-1}$ ] [C]	Długość pędów [cm]	Grubość pędów [mm]	Liczba żywych pędów w karpie [sztuk]
1047	15.020	181,2	12,99	<b>5,93</b>
	22.134	<b>234,1</b>	14,80	5,49
	35.200	205,1	<b>16,31</b>	5,17
1054	15.020	185,6	11,85	<b>6,91</b>
	22.134	183,7	11,56	6,07
	35.200	<b>235,0</b>	<b>13,51</b>	5,38
1047D	15.020	<b>254,4</b>	<b>16,47</b>	<b>7,77</b>
	22.134	226,7	14,80	6,38
	35.200	187,2	13,20	4,89
Start	15.020	<b>212,4</b>	<b>13,97</b>	<b>6,53</b>
	22.134	177,1	12,05	5,49
	35.200	191,0	13,08	5,94
Sprint	15.020	217,2	14,65	<b>7,28</b>
	22.134	206,7	13,58	6,79
	35.200	<b>255,1</b>	<b>16,01</b>	6,24

**Tabela 5. cd.**  
**Table 5. cont.**

Turbo	15.020	208,6	13,57	<b>5,84</b>
	22.134	<b>252,7</b>	<b>15,88</b>	5,54
	35.200	218,6	13,00	4,32
Ekotur	15.020	<b>361,9</b>	<b>25,60</b>	5,86
	22.134	356,4	23,96	<b>6,17</b>
	35.200	319,8	20,99	4,61
Oloff	15.020	223,7	15,45	2,56
	22.134	<b>317,8</b>	<b>20,03</b>	<b>4,42</b>
	35.200	303,4	18,52	4,11
Jorr	15.020	208,1	13,05	4,51
	22.134	<b>275,4</b>	<b>16,40</b>	4,45
	35.200	244,7	14,59	<b>4,94</b>
Tordis	15.020	325,5	19,77	<b>5,16</b>
	22.134	<b>338,1</b>	<b>20,25</b>	4,81
	35.200	275,7	16,80	4,45
<b>NIR<sub>0,05</sub></b>		8,5***	1,83***	0,41***

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

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

Ważnym aspektem przy uprawie wierzby jest gęstość sadzenia zrzesów na hektarze. Wpływa to bardzo silnie na architekturę łanu [6]. Wierzby krzewiaste sadi się na plantacjach w różnym zagęszczeniu np. 10–20 tys. zrzesów·ha<sup>-1</sup> w Wielkiej Brytanii i Szwecji [3], a w Polsce – 20–60 tys. zrzesów·ha<sup>-1</sup> [1, 4, 7]. W badaniach Stolarskiego [5] plony biomasy wzrastały wraz ze wzrostem gęstości sadzenia zrzesów z 12 do 24 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup>, średnio o prawie 30%, a zagęszczenie roślin do 48 i 96 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup> powodowało obniżenie plonowania, z wyłączeniem odmiany Tur, która najwyższej plonowała przy zagęszczeniu 48 tys. sztuk·ha<sup>-1</sup>. W badaniach własnych wykazano zróżnicowaną reakcję odmian wierzby na zagęszczenie sadzenia mimo, że przeciętnie najdłuższe i najgrubsze pędy uzyskano przy gęstości sadzenia 22.134 zrzesy·ha<sup>-1</sup>. Spośród dziesięciu odmian wyodrębniono grupy odmian uzyskujących lepsze parametry wzrostu pędów przy każdej z trzech gęstości sadzenia: 15.020 sztuk·ha<sup>-1</sup> – trzy odmiany, 22.134 sztuk·ha<sup>-1</sup> – cztery odmiany, 35.200 sztuk·ha<sup>-1</sup> –



dwie odmiany i jedną, która miała najdłuższe przy sadzeniu 22.134 sztuk·ha<sup>-1</sup>, ale najgrubsze pędy przy zagęszczeniu 35.200 sztuk·ha<sup>-1</sup>.

#### 4. Wnioski

1. Na długość, grubość i liczbę pędów w karpie wierzby najsilniej wpływały lata odrastania pędów, słabiej odmiany i termin pomiarów, a najslabiej – gęstość sadzenia zrzesów. Spośród interakcji, duże znaczenia miały współdziałania odmian z latami odrastania pędów oraz odmian z gęstością sadzenia zrzesów.
2. Przeciętnie z dziesięciu odmian wierzby najdłuższe i najgrubsze pędy uzyskano przy sadzeniu 22.134 zrzesów na hektarze.
3. Odmiany wierzby różniły się reakcją na zagęszczenie sadzenia zrzesów we wzroście pędów na długość i grubość oraz w ilości żywych pędów w karpie, a mianowicie: odmiany wierzby: 1047D, Start i Ekotur charakteryzowały się najdłuższymi i najgrubszymi pędami przy zagęszczeniu na hektarze 15.020 sztuk, odmiany: Turbo, Oloff, Jorr i Tordis – przy zagęszczeniu 22.134 sztuk·ha<sup>-1</sup>, a odmiany: 1054, Sprint – przy zagęszczeniu 35.200 sztuk·ha<sup>-1</sup>, natomiast u odmiany 1047 najdłuższe pędy były przy gęstości sadzenia 22.134 sztuk·ha<sup>-1</sup>, ale najgrubsze pędy przy zagęszczeniu 35.200 sztuk·ha<sup>-1</sup>.
4. Najwięcej pędów w karpie było przy zagęszczeniu 15.020 sztuk·ha<sup>-1</sup>, z wyjątkiem odmian Ekotur i Oloff, u których najwięcej pędów w karpie było przy zagęszczeniu 22.134 sztuk·ha<sup>-1</sup> oraz Jorr – przy zagęszczeniu 35.200 sztuk·ha<sup>-1</sup>.

#### Literatura

1. **Dubas J. W., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A.:** *Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania. Praca zbiorowa pod redakcją Anny Grzybek.* Wydawnictwo Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji w Bytomiu. 2004.
2. GUS: *Energia ze źródeł odnawialnych w Polsce w 2010 r.* GUS, Warszawa 2011.
3. **Macpherson G.:** *Home-grown Energy from Short-rotation Coppice.* Farming Press. United Kingdom 1995.

4. **Stolarski M. J., Szczukowski S., Tworkowski S.:** *Produktywność klonów wierzby krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia*. *Fragm. Agronom.* 2, 39–51 (2002).
5. **Stolarski M. J.:** *Agrotechniczne i ekonomiczne aspekty produkcji biomasy wierzby krzewiastej (Salix spp.) jako surowca energetycznego*. Rozprawy i monografie, nr 148, Wydawnictwo UWM Olsztyn, 2009.
6. **Styszko L., Borzymowska A., Ignatowicz M.:** *Wpływ zagęszczenia krzaków wierzby na odrastania w trzyletnim cyklu jej uprawy*. *Rocznik Ochrona Środowiska*. Tom 13. Część I: 541–555 (2011).
7. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. J.:** *Wierzba energetyczna*. Wydawnictwo Plantpress. Kraków 2004.

## **Influence of Planting Density on Length, Thickness and Number of Shoots in Willow Carp During Four-year Cultivation Cycle**

### **Abstract**

This experiment was conducted to assess regrowth of shoots of willow in the four-year cultivation cycle. Length, thickness and number of shoots in the carp were affected in the most by years of willow shoots regrowth, less by variety and time of measurement, and the least by density of cuttings planting. Among the interactions of these characteristics big importance has interaction between varieties and years of regrowth of shoots and between varieties and the density of cuttings planting.

The average of the ten varieties of willow the longest and the thickest stems were obtained by planting 22,134 cuttings per hectare. Tested varieties of willow, were characterized by different reactions to the density of cuttings planting in the analyzed features. The varieties 1047D, Start and Ektur had the longest and thickest shoots at the density of 15,020 units·ha<sup>-1</sup>, varieties Turbo, Oloff and Tordis – at the density of 22,134 pieces·ha<sup>-1</sup>, and varieties 1054 and Sprint – at the density 35,200 units·ha<sup>-1</sup>. For variety 1047 the longest shoots were at density of planting of 22,134 pieces·ha<sup>-1</sup>, but the thickest stems – at density of 35,200 units·ha<sup>-1</sup>. The biggest number of shoots in carp was at the density of 15,020 pieces·ha<sup>-1</sup>, except for varieties Ektur, Oloff and Jorr.