

**Leszek STYSZKO\*, Diana FIJAŁKOWSKA, Monika SZTYMA, Monika IGNATOWICZ**

\*POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,  
KATEDRA BIOLOGII ŚRODOWISKOWEJ, ZAKŁAD ROŚLIN ENERGETYCZNYCH  
75-453 Koszalin, ul. Śniadeckich 2

**Pomiary biometryczne w prognozowaniu plonu wierzby energetycznej****Dr hab. inż. Leszek STYSZKO**

Absolwent Wyższej Szkoły Rolniczej w Olsztynie w roku 1970. Doktorat w Instytucie Ziemiaka w Boninie k. Koszalina w 1978 roku. Tytuł doktora habilitowanego nauk rolniczych w zakresie agrotechniki otrzymał w 1991 roku w Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Obecnie zatrudniony na stanowisku profesora nadzwyczajnego Politechniki Koszalińskiej w Katedrze Biologii Środowiskowej w Zakładzie Roślin Energetycznych. Kierownik Zakładu Roślin Energetycznych. Autor 216 prac naukowych.



e-mail: [lstyszko@wbiis.tu.koszalin.pl](mailto:lstyszko@wbiis.tu.koszalin.pl)

**Mgr inż. Diana FIJAŁKOWSKA**

Absolwentka Politechniki Koszalińskiej w 1999 roku. Pracownik Politechniki Koszalińskiej od 2004 roku. Obecnie zatrudniona jest na stanowisku specjalisty naukowo-technicznego. Najważniejsze zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień technologii produkcji biomasy oraz jej jakości, poprzez modelowanie produktywności upraw roślin na cele energetyczne, jak również zagadnień zrównoważonego rolnictwa i oceny skutków środowiskowych produkcji roślin na cele energetyczne. Autor 10 prac naukowych.



e-mail: [fjalkowska@wbiis.tu.koszalin.pl](mailto:fjalkowska@wbiis.tu.koszalin.pl)

**Mgr inż. Monika SZTYMA-HORWAT**

Absolwentka Akademii Rolniczej w Szczecinie w 1998 roku. Studentka IV roku studium doktoranckiego na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej. Obecne zatrudnienie - Urząd Miasta w Białogardzie, Naczelnik Wydziału Zarządzania Kryzysowego i Spraw Obywatelskich. Zainteresowania naukowe: produkcja biomasy i jej jakość. Autor 8 prac naukowych.



e-mail: [m.sztyma@wp.pl](mailto:m.sztyma@wp.pl)

**Mgr Monika IGNATOWICZ**

Absolwentka Uniwersytetu Szczecińskiego w Szczecinie w 1999 roku. Studentka I roku studium doktoranckiego na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej. Zainteresowania naukowe: emisje ze spalania oraz plon i jakość biomasy wierzbowej. Autor 3 prac naukowych.



e-mail: [monka.m@interia.pl](mailto:monka.m@interia.pl)

**Streszczenie**

Celem pracy była ocena przydatności pomiarów biometrycznych podczas wegetacji wierzby do prognozowania plonu biomasy pędów. Nowością pracy jest podjęcie tego tematu. Doświadczenie ściśle założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym w latach 2006–2009 w rejonie Koszalina na glebie lekkiej o bardzo głębokim poziomie wody gruntowej (ok. 950 cm). Utworzono równania regresji wielokrotnej dla plonu biomasy pędów ( $Y$ ), gdzie zmiennymi niezależnymi były pomiary biometryczne długości ( $x_1$ ), grubości ( $x_2$ ), liczby pędów w krzaku ( $x_3$ ) oraz współdziałania długości i grubości pędów ( $x_4$ ). Badania wykazały, że pomiary biometryczne pędów w okresie wegetacji mogą być brane pod uwagę przy prognozowaniu plonu biomasy wierzby.

**Słowa kluczowe:** wierzba energetyczna, pomiary biometryczne, wysokość pędów, grubość pędów, biomasa, prognoza, plon.

**Biometric measurements for prognosis of energetic willow yield****Abstract**

The aim of the research was to evaluate usefulness of biometric measurements of willow for prognosis of shoots biomass yield. This problem has not been considered so far. In the years 2006–2009 strict experiments were conducted on the light soil with very low ground water level (about 950 cm) near Koszalin, Poland, using the method of random sub blocks. The data obtained from measurements of shoots and biomass yield were statistically analysed. There were created multiple regression equations for biomass yield of shoots ( $Y$ ), in which independent variables were biometric measurements of length ( $x_1$ ), thickness ( $x_2$ ), number of shoots in the bush ( $x_3$ ) and thickness of shoots ( $x_4$ ). Dependencies between the data from biometric measurements and the yield of fresh mass of shoots were investigated in two configurations: (1) together for all years analysed (data from 5400 measurements) and (2) separately for each year (data from 1080 measurements). For 21 from among 24 of the created regression formulas the determination coefficients were higher than 60%. This proves that the prognosis of yields was correctly made. The differences between the prognosed and real yield were smaller when using method (2) than when using method (1). Among nine varieties the average year increase of fresh mass of willow shoots was: in two year cycle – 12.070 t·ha<sup>-1</sup>, in 3 year cycle – 13.300 t·ha<sup>-1</sup>, and in 4 year cycle – 13.801 t·ha<sup>-1</sup>. The conducted

investigations showed that biometric measurements of length, thickness of shoots and number of shoots in a bush during the vegetation period can be taken into account when prognosing the biomass yield. Further experiments are necessary to improve the prognostic equations by introducing quantified conditions of tillage in the analysis.

**Keywords:** energetic willow, biometric measurements, length of shoots, thickness of shoots, biomass, prognosis, yield.

**1. Wstęp**

Biomasa w Polsce na cele energetyczne wykorzystywana jest przez energetykę zawodową i rozproszoną. Spośród odnawialnych źródeł energii stanowi ona ponad 90% energii pierwotnej. Potrzebę biomasy nadal są bardzo duże (ok. 17,5 mln ton rocznie). Taką ilość biomasy można wyprodukować z powierzchni ok. 2 mln ha gruntów ornych o przeciętnej urodzajności. Obecnie na te cele przeznaczają się grunty mało urodzajne, przez wiele lat odłogowane i położone na terenach, gdzie upraw rolniczych jest mało. Produkcja biomasy do 2009 roku była wspierana finansowo przez państwo w postaci dopłat obszarowych, które 1 stycznia 2010 przestały obowiązywać w związku ze zmianą przepisów prawa wspólnego.

Dostarczanie biomasy do podmiotów skupujących i przetwórczych praktykowane jest w ramach umowy kontraktacyjnej w minimalnych ilościach odpowiadającym tzw. plonowi reprezentatywnemu, który dla wierzby wynosi 8 ton suchej masy z hektara w przeliczeniu na 1 rok uprawy [8]. Konsekwencją niezrealizowania umownych dostaw biomasy na potrzeby energetyki są dotkliwie sankcje finansowe. W związku z powyższym, dla producenta biomasy wierzby ważną jest informacja o możliwości prognozowania plonu pędów posługując się pomiarami biometrycznymi w okresie wegetacji.

Celem badań była ocena skuteczności prognozowania plonu biomasy pędów w okresie drugiej, trzeciej i czwartej wegetacji wierzby w rejonie Koszalina przy uprawie na glebie lekkiej stosując pomiary długości, grubości i liczby pędów w krzaku.

## 2. Materiał i metody

Do analiz wykorzystano dane z doświadczenia założonego na polu doświadczalnym Politechniki Koszalińskiej w Kościernicy k. Koszalina w marcu 2006 roku. Na polu doświadczalnym przeważała gleba lekka klasy bonitacyjnej IVa-IVb, a poziom wody gruntowej był usytuowany bardzo głęboko (ok. 950 cm od poziomu wierzchniej warstwy gleby).

Doświadczenie założono metodą losowanych podbloków w układzie zależnym w trzech powtórzeniach na skoszonych pierwszorocznych odrostach pędów wierzby. Podblokami I rzędu były cztery kombinacje nawozowe, a II rzędu – dziewięć klonów wierzby. Poletko miało powierzchnię 34,5 m<sup>2</sup> (2,3 x 15,0 m). W ramach kombinacji nawozowych zastosowano w 2006 roku:

- obiekty bez nawożenia (a),
- obiekty nawożone kompostem w ilości 10 t·ha<sup>-1</sup> suchej masy (b),
- obiekty nawożone kompostem i nawozem Hydrofoska 16 w dawce 562,5 kg·ha<sup>-1</sup>, który zawierał w czystym składniku: N – 90 kg·ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 90 kg·ha<sup>-1</sup> i K<sub>2</sub>O – 90 kg·ha<sup>-1</sup>) (c),
- obiekty nawożone kompostem i nawozem Hydrofoska 16 w dawce 1125,0 kg·ha<sup>-1</sup>, który zawierał w czystym składniku: N – 180 kg·ha<sup>-1</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 180 kg·ha<sup>-1</sup> i K<sub>2</sub>O – 180 kg·ha<sup>-1</sup>) (d). Dawka powyższa została podzielona na dwie części i zastosowano je w odstępie miesiąca.

Przed ruszeniem wegetacji wierzby w latach 2007, 2008 i 2009 zastosowano ponownie nawożenie nawozem Hydrofoska 16 na obiektach „c” i „d” z pominięciem kompostu.

Do badań włączono dziewięć klonów wierzby: 1047, 1054, 1023, 1013, 1052, 1047D, 1056, 1018 i 1033, które umownie oznaczono literami A, B, C, D, E, F, G, H i K.

Podczas wegetacji w latach 2006 - 2009 wykonano obserwacje rozwoju wierzby w czterech terminach (I - 31 maj, II - 30 czerwiec do 31 lipiec, III - 30 wrzesień i IV 10 do 30 listopad) na 10 roślinach na poletku, dokonując pomiarów wysokości pędów, ich grubości i liczby pędów w krzaku. Pomiar grubości pędów wykonano suwmiarką na wysokości 10 cm od powierzchni gleby. Do pomiarów długości i grubości wybrano najsilniejszy pęd w krzaku.

Zbiór biomasy pędów dokonano z 1/3 powierzchni poletka (11,5 m<sup>2</sup>) po drugiej (luty 2008), po wegetacji (luty 2009) oraz po czwartej wegetacji (listopad 2009). W listopadzie 2009 roku skoszono także odrosty jednoroczne (1/3 poletka) i dwuletnie pędów (1/3 poletka). W każdym roku podczas zbioru biomasy, dokonano pomiaru plonu świeżej masy pędów z użyciem wagi elektronicznej firmy Radwag.

Dane z pomiarów biometrycznych pędów oraz plonu biomasy opracowano statystycznie z wykorzystaniem programu *Statistica*. Wykonano analizy wariancji i regresji, a istotność efektów oceniono testem F. Utworzono równania regresji wielokrotnej dla plonu biomasy pędów (Y - zmienna zależna), gdzie zmiennymi niezależnymi były pomiary biometryczne pędów w czterech terminach analiz (I - 31 maj, II - 30 czerwiec - 31 lipiec, III - 30 wrzesień i IV - 10-30 listopad) w odniesieniu do długości (x<sub>1</sub>), grubości (x<sub>2</sub>), liczby pędów w krzaku (x<sub>3</sub>) oraz współdziałania długości i grubości pędów (x<sub>4</sub>).

Zależności pomiędzy wynikami pomiarów biometrycznych długości, grubości i liczby pędów w krzaku a plonem świeżej masy pędów badano z zastosowaniem dwóch metod analizy statystycznej:

- 1 – łącznie dla wszystkich lat w terminach analiz (dane z 5400 pomiarów),
- 2 – oddzielnie dla każdego roku w terminach analiz (dane ze 1080 pomiarów).

Po weryfikacji modelu regresji wielokrotnej, wyznaczono prognozowane wartości plonu świeżej masy pędów (zmienna zależna Y), biorąc pod uwagę dane z pomiarów biometrycznych długości (x<sub>1</sub>), grubości (x<sub>2</sub>), liczby pędów w krzaku (x<sub>3</sub>) oraz współdziałania długości i grubości pędów (x<sub>4</sub>) w czterech terminach analiz (I - 31 maj, II - 30 czerwiec - 31 lipiec, III - 30 wrzesień i IV - 10-30 listopad) dla dwóch metod analizy.

## 3. Wyniki i ich omówienie

Wegetacja klonów wierzby każdego roku rozpoczynała się w okresie II - III dekady kwietnia. Dane o opadach w latach 2005-2009 w okresie wegetacji wierzby przytoczono w tabeli 1. Charakterystykę warunków pluwiotermicznych w latach 2006-2009 przedstawiono przy pomocy współczynnika hydrotermicznego Sielianiowa według Molgi [7]:

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

gdzie:

P – miesięczna suma opadów atmosferycznych w mm,  
 $\sum t$  – miesięczna suma temperatury powietrza >0°C.

Do interpretacji warunków pluwiometrycznych przyjęto podział współczynnika K na 10 klas wartości, co pozwoliło na wyodrębnienie warunków ekstremalnie suchych oraz ekstremalnie wilgotnych. Przyjęto następujące przedziały współczynnika K: skrajnie suchy - K≤0,4; bardzo suchy - 0,4K≤0,7; suchy - 0,7K≤1,0; dość suchy - 1,0K≤1,3; optymalny - 1,3K≤1,6; dość wilgotny - 1,6K≤2,0; wilgotny - 2,0K≤2,5; bardzo wilgotny - 2,5K≤3,0 i skrajnie wilgotny K>3,0.

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).

Tab. 1. Opady w Boninie k. Koszalina w latach 2005-2008 według IHAR Bonin [mm]

Tab. 1. Precipitation in Bonin near Koszalin, Poland, in the years 2005-2008 according to IHAR Bonin [mm]

Miesiąc/rok	2006	2007	2008	2009
Opady [mm]				
Σ (I-III)	64,0	266,2	253,2	85,0
IV	62,2	34,6	64,8	11,2
V	69,8	75,0	6,4	89,0
VI	68,6	126,6	85,4	151,6
VII	21,2	203,6	55,4	103,2
VIII	233,2	74,2	135,2	47,6
IX	55,4	99,8	44,4	66,0
X	38,8	40,6	67,4	140,0
Σ (IV-X)	549,2	654,4	459,0	608,6
Σ (I-XII)	753,4	1062,0	855,0	787,2
Współczynnik Sielianiowa [K]				
Σ (I-III)	-	-	-	-
IV	<b>3,04</b>	1,31	<b>2,96</b>	<b>0,35</b>
V	1,82	1,74	<b>0,16</b>	2,43
VI	1,39	2,43	1,78	<b>3,58</b>
VII	<b>0,32</b>	<b>3,86</b>	0,99	1,82
VIII	<b>4,40</b>	1,35	<b>2,52</b>	0,85
IX	1,14	<b>2,58</b>	1,17	1,57
X	1,22	1,66	2,39	<b>6,64</b>
Σ (IV-X)	1,85	2,28	1,61	2,29
Σ (I-XII)	-	-	-	-

We wszystkich latach badań okresie I-XII spadło ponad 753 mm opadu, a w okresie wegetacji wierzby (IV-X) – od 459 mm w 2008 roku do 654 mm w 2007 roku. Najwięcej opadów spadło w 2007 roku (1062 mm), który należy uznać za bardzo wilgotny (tab. 1).

Rok 2008 z opadami 855 mm należał również do dobrze uwilgotnionego, a lata 2006 i 2009 z opadami odpowiednio 753 mm i 787 mm – jako wilgotne. Jednak charakterystyka warunków hydrotermicznych wyłącznie na podstawie opadów rocznych dla

uprawy wierzby jest niewystarczająca, bowiem występowały okresy skrajnie suche nawet w lata bardzo mokre lub wilgotne np. w maju 2008 roku, w kwietniu 2009 roku oraz w lipcu 2006 roku (tab. 1).

Według Jadczyżyna [3] do uprawy wierzby energetycznej nadają się rejony, gdzie roczny opad przekracza 575 mm oraz występują gleby zaliczone do kompleksów rolniczej przydatności takich jak: żytne bardzo dobre (4), żytne dobre (5), zbożowo-pastewny mocny (8), zbożowo-pastewny słaby (9) oraz użytki zielone słabe i bardzo słabe (3z). Doświadczenie w Kościernicy zostało zlokalizowane na glebie kompleksu żytnego dobrego, ale o bardzo głębokim poziomie wody gruntowej (ok. 950 cm). Stąd też woda opadowa praktycznie była jedyną wodą dostępną w okresie wegetacji wierzby, a wierzba zaliczana jest do roślin o dużych wymaganiach wodnych [2, 12].

Nierównomierność rozkładu opadów w okresie wegetacji wierzby miała także wpływ na przyrosty długości, grubości oraz liczby pędów w krzaku. Brak dostępu korzeni wierzby do wody gruntowej powodowały silną reakcję roślin na stres suszy. W takich przypadkach obserwowano zamieranie pędów w krzaku po suszach wiosennych, a także wyrastanie nowych pędów po dużych opadach deszczu w lecie. Regulacja liczby pędów w krzaku wierzby będąca wynikiem reakcji wierzby na stres suszy jest czymś nowym, co nie zostało opisane w literaturze. Dane o wynikach pomiarów pędów wierzby w latach 2006-2009 zestawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Dane z pomiarów biometrycznych pędów wierzby w latach 2006-2009 w Kościernicy, średnia z 1080 krzaków wierzby w roku

Tab. 2. Precipitation in Bonin near Koszalin, Poland, in the years 2005-2008 according to IHAR Bonin [mm]

Termin pomiaru	2006	2007	2008	2009		
	I rok	II rok	III rok	IV rok	II rok	I rok
Wysokość pędów [cm]						
I	47,7	187,6	291,0	343,4	81,7	48,9
II	152,3	259,6	296,7	361,1	113,1	78,2
III	181,1	283,0	334,6	397,6	176,0	129,6
IV	185,3	346,0	328,3	410,4	188,8	143,8
Grubość pędów [mm]						
I	4,3	10,8	15,9	21,1	6,9	4,5
II	7,2	15,0	16,7	24,3	8,9	6,4
III	9,5	13,5	17,4	25,9	10,7	8,0
IV	10,7	17,5	17,6	27,0	11,5	9,0
Liczba pędów w krzaku [sztuk]						
I	10,7	6,4	4,4	3,8	7,6	10,6
II	10,7	6,2	4,4	3,7	7,3	10,6
III	9,5	6,0	3,7	3,7	7,3	10,6
IV	8,8	8,2	4,2	3,7	7,3	10,6

Tab. 3. Plon rzeczywisty świeżej masy pędów wierzby po wegetacji w latach 2007-2009, dane ze 108 poletek w roku

Tab. 3. Real yield of fresh biomass of willow shoots after vegetation in the years 2007-2009, data from 108 plots during year

Rok zbioru	Wiek odrostów wierzby [liczba lat]	Plon biomasy pędów [t·ha <sup>-1</sup> ]
1	2	3
2007	2	27,22
2008	3	39,86
2009	4	54,15
	2	8,51
	1	6,42

Wyniki z pomiarów plonu świeżej biomasy pędów wierzby w latach 2009 zestawiono w tabeli 3. Z danych tych wynika, że

średnie roczne przyrosty świeżej masy pędów w doświadczeniu wyniosły w cyklu 2-letnim – 12,070 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, w cyklu 3-letnim – 13,300 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, a w cyklu 4-letnim – 13,801 t·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>.

Utworzono równania prognostyczne dla plonu świeżej masy pędów dla każdego z tych wariantów, a po ich rozwiązaniu wyniki zestawiono w tabelach 4a i 4b.

Dla przykładu podano układy regresji wielokrotnej i determinację w procentach (D) dla plonu świeżej biomasy pędów w terminach pomiarów uzyskane przy zastosowaniu prognozy metoda pierwszą (wzory 2-5):

$$I: Y = -4,754 + 0,013x_1 + 2,506x_2 - 0,249x_3 + 0,0005x_4, \text{ gdzie } D = 91,1\% \quad [2]$$

$$II: Y = 7,606 + 0,066x_1 - 0,607x_2 - 0,620x_3 + 0,0046x_4, \text{ gdzie } D = 89,6\% \quad [3]$$

$$III: Y = 2,330 + 0,061x_1 - 0,018x_2 - 0,873x_3 + 0,0031x_4, \text{ gdzie } D = 89,5\% \quad [4]$$

$$IV: Y = 0,172 + 0,022x_1 + 1,411x_2 - 1,343x_3 + 0,0012x_4, \text{ gdzie } D = 87,3\% \quad [5]$$

Tab. 4a. Prognozowany plon świeżej masy pędów w latach 2007-2009

w Kościernicy, dane z równań regresji według metody 1

Tab. 4a. Prognosis of yield of fresh mass of shoots in the years 2007-2009 in Kościernica, data from regression equations according to method 1

Rok zbioru, liczba lat odrastania pędów	Termin pomiaru	Plon pędów, [t·ha <sup>-1</sup> ]	Różnica w plonie, [t·ha <sup>-1</sup> ]	Różnica w plonie, [%]
1	2	3	4	5
2007 rok, 2	I	24,13	-3,10	-11,4
	II	29,53	2,31	8,5
	III	26,13	-1,10	-4,0
	IV	29,03	1,81	6,6
2008 rok, 3	I	40,04	0,17	0,4
	II	36,90	-2,97	-7,4
	III	37,47	-2,40	-6,0
	IV	33,78	-6,09	-15,3
2009 rok, 4	I	55,22	1,07	2,0
	II	54,40	0,26	0,5
	III	55,13	0,98	1,8
	IV	56,04	1,89	3,5
2009 rok, 2	I	11,97	3,45	40,5
	II	9,71	1,20	14,1
	III	12,44	3,92	46,0
	IV	13,48	4,96	58,3
2009 rok, 1	I	4,61	-1,81	-28,1
	II	4,58	-1,84	-28,7
	III	4,12	-2,30	-35,9
	IV	3,44	-2,98	-46,5

Różnica plonu podana w kolumnach 4 i 5 tabel 4a i 4b powstała w wyniku odejmowania plonu prognozowanego podanego odpowiednio w kolumnie 3 tabel 4a i 4b, a plonem rzeczywistym w latach podanych w kolumnie 3 tabeli 3. Wartości dodatnie świadczą, że plon prognozowany jest większy niż rzeczywisty. W kolumnie 6 tabeli 4b podano wartości współczynnika determinacji w procentach (D), który wyraża zakres zmienności plonu wynikający z wpływu włączonych do analiz zmiennych. W analizach prognostycznych przyjmuje się założenie, że prawidłowa prognoza powinna być oparta na determinacji przekraczającej wartość 60% [5].

Z tabeli 4a wynika, że w prognozie plonu biomasy pędów ustalonego metodą analizy łącznej na wszystkich danych lat uprawy wierzby (metoda 1), współczynnik determinacji (D) osiągnął wartości powyżej 60% (wzory 2-5), ale odchylenia plonu prognozowanego od rzeczywistego miały szerokie maksymalne odchylenie (od minus 46,5% do plus 58,3%). Przy zastosowaniu metody drugiej, gdzie analizowano dane dla każdego roku oddzielnie (metoda 2), na 20 wykonanych analiz współczynnik determinacji osiągnął wartości przekraczające 60% w 17 przypadkach, a przekraczający 50% - w dalszych 2 przypadkach. Odchylenia plonu prognozowanego metodą drugą od rzeczywistego miały węższe maksymalne odchylenie niż przy metodzie 1. (od minus 4,7% do plus 4,7%). Oznacza to, że metoda analizy łącznej na wszystkich danych lat uprawy wierzby (metoda 1) jest mniej dokładna niż analiza danych dla każdego roku oddzielnie (metoda 2), mimo że współczynniki determinacji w metodzie drugiej osiągnęły niższe wartości niż w metodzie pierwszej. Sugeruje to, że parametry biometryczne uwzględnione w metodzie pierwszej powinny być uzupełnione o skwantyfikowane warunki uprawy. W ten sposób może ulec zmniejszeniu zmienność resztowa analizy regresji. W metodzie drugiej warunki uprawy zostały uwzględnione pośrednio, a szczególnie przebieg pogody, gdyż analizy zostały wykonane dla określonych lat uprawy wierzby.

Tab. 4b. Prognozowany plon świeżej masy pędów w latach 2007-2009 w Kościernicy, dane z równań regresji według metody 2  
Tab. 4b. Prognosis of yield of fresh mass of shoots in the years 2007-2009 in Kościernica, data from regression equations according to method 2

Rok zbioru, liczba lat odrastania pędów	Termin pomiaru	Plon pędów, [t·ha <sup>-1</sup> ]	Różnica w plonie, [t·ha <sup>-1</sup> ]	Różnica w plonie, [%]	D <sup>1)</sup> [%]
1	2	3	4	5	6
2007 rok, 2	I	25,95	-1,28	-4,7	64,1
	II	26,00	-1,22	-4,5	60,8
	III	26,54	-0,69	-2,5	<b>40,9</b>
	IV	27,37	0,15	0,5	<b>52,9</b>
2008 rok, 3	I	38,89	-0,97	-2,4	82,5
	II	39,36	-0,50	-1,3	75,2
	III	38,64	-1,22	-3,1	69,7
	IV	38,78	-1,08	-2,7	85,6
2009 rok, 4	I	53,57	-0,58	-1,1	66,4
	II	54,34	0,19	0,4	69,8
	III	53,52	-0,63	-1,2	76,5
	IV	52,67	-1,48	-2,7	79,2
2009 rok, 2	I	8,92	0,40	<b>4,7</b>	87,5
	II	8,77	0,25	3,0	86,2
	III	8,71	0,19	2,2	81,9
	IV	8,73	0,21	2,5	78,8
2009 rok, 1	I	6,31	-0,11	-1,7	<b>56,6</b>
	II	6,42	0,00	0,0	67,1
	III	6,07	0,28	4,3	69,1
	IV	6,68	0,26	4,1	66,7

D<sup>1)</sup> - współczynnik determinacji = R<sup>2</sup> · 100

Analizy prognostyczne plonowania świeżej masy wierzby energetycznej na słabych glebach w oparciu o pomiary biometryczne nie są opisane w literaturze. W stosunku do plonu suchej masy wierzby na dobrych glebach w dolinie Dolnej Wisły przy dobrym zaopatrzeniu wierzby w wodę, podobne analizy wykonał zespół prof. M. Stolarskiego [10]. Plonowanie wierzby na ogół ocenia się po jej zbiorze. Plony te są różne w zależności od przebiegu pogody,

jakości gleby, zastosowanego nawożenia oraz długości rotacji zbioru [1, 4, 6, 9, 11, 12,13]. Wykonane analizy zależności plonu od długości i grubości pędów wydają się być oczywiste, ale w wielu przypadkach inne czynniki analizowane w doświadczeniu, mogą także powodować znaczną zmienność plonowania. Pogłębione analizy tego problemu będą przedmiotem innego opracowania.

#### 4. Wnioski

1. W rejonie Koszalina na glebie lekkiej, coroczny przeciętny z dziewięciu odmian wierzby, przyrost świeżej masy pędów wyniósł w cyklu 2-letnim – 12,070 t·ha<sup>-1</sup>, w 3-letnim – 13,300 t·ha<sup>-1</sup>, a w 4-letnim – 13,801 t·ha<sup>-1</sup>.
2. Pomiary biometryczne długości i grubości pędów w okresie wegetacji wierzby mogą być brane pod uwagę przy prognozowaniu plonu biomasy pędów.
3. Konieczne są dalsze badania nad doskonaleniem równań prognostycznych przez włączenie do analiz skwantyfikowanych warunków uprawy.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy

#### 5. Literatura

- [1] Borkowska H.: Zmiany zawartości suchej masy w plonie biomasy wierzby krzewiastej (wikliny) i ślázowca pensylwańskiego w zależności od terminu zbioru. Ann. UMCS, Sec. E. 60, 2005: 155-161.
- [2] Dubas J. W., Tomczyk A.: Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzby energetycznych. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2005.
- [3] Jadczyzyn J.: Lokalizacja przestrzenna plantacji. [W:] Ciechanowicz W., Szczukowski S. (red). Paliwa i energia XXI wieku. WSliZ. Oficyna wydawnicza WIT. Warszawa 2006: 218-230.
- [4] Juliszewski T., Kwaśniewski D., Baran D.: Wpływ wybranych czynników na przyrosty wierzby energetycznej. Inż. Roln. 12, 2006: 225-232.
- [5] Kranz J., Royle D.L.: Perspectives in mathematical model ling of plant disease epidemics. [In:] Plant disease epidemiology. Ed. P.R. Scot, A. Nainbridge. Blackwell Sci. Publ. Oxford, 1978: 111-120.
- [6] Kuś J., Matyka M.: Produkcja biomasy na cele energetyczne jako alternatywny kierunek produkcji. Wieś Jutra 8/9, 2008: 8-10.
- [7] Molga M.: Meteorologia rolnicza. PWRiL Warszawa, 1986.
- [8] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lutego 2009 r. w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych w 2009 r. Dz. U. 2009, nr 36, poz. 283.
- [9] Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Produktowność klonów wierzby krzewiastej uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. Fragn. Agron. 2, 2002: 39-51.
- [10] Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Bieniek A.: Productivity of willow coppice Salix spp under contrasting conditions. EJPAU 12(1), Agronomy, 2009, #10, <http://ejpau.media.pl/volume12/issue/art-10.html>
- [11] Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma M.: Plonowanie klonów wierzby krzewiastej (Salix ssp.) w zróżnicowanych warunkach uprawy na terenach odłogowanych na Pomorzu Środkowym. PAN KPZK Warszawa, Biul. 238, 2008: 172-181.
- [12] Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. J.: Wierzba energetyczna. Wyd. Plantpress, Kraków, 2004.
- [13] Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Przyborowski J.: Plon biomasy wierzby krzewiastej pozyskiwanych z gruntów rolniczych w cyklach jednorocznych. Fragn. Agron. 2, 2004: 5-18.