



Wpływ warunków uprawy na pozyskanie biomasy wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu¹

*Leszek Styszko, Diana Fijałkowska,
Monika Sztyma, Monika Ignatowicz
Politechnika Koszalińska*

1. Wstęp

Potrzeby biomasy w Polsce są bardzo duże. Szacuje się, że chcąc osiągnąć do 2020 roku 15% udziału energii ze źródeł odnawialnych w całkowitym bilansie energetycznym powinno pozyskiwać się jej ok. 17,5 mln ton suchej masy rocznie [4]. Elektrownie i elektrociepłownie będą potrzebowały biomasy ponad 8,3 mln ton rocznie. Potrzeby te w Polsce mogą być zaspokojone przy przeznaczeniu na ten cel powierzchni ok. 2 mln ha gruntów ornych o przeciętnej urodzajności. Obecnie na cele energetyczne przeznaczają się grunty mało urodzajne, przez wiele lat odłogowane i położone na terenach, gdzie upraw rolniczych jest mało. Dla energetyki zawodowej najbardziej przydatne są różne formy paliwa stałego, pozyskiwanego z wieloletnich plantacji roślin energetycznych szybko odrastających, np. wierzby, topoli. Potrzeby tego sektora w zakresie biomasy stałej wymagają nasadzeń wierzby na powierzchni ponad 500 tys. hektarów, a tych jest obecnie w Polsce tylko 10 tys. hektarów.

¹ Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2008-2011 jako projekt badawczy

Dostarczanie biomasy do podmiotów skupujących i przetwórczych odbywa się w ramach umowy kontraktacyjnej w minimalnych ilościach odpowiadającym tzw. plonowi reprezentatywnemu [10]. Konsekwencją niezrealizowania umownych dostaw biomasy na potrzeby energetyki są sankcje finansowe. W związku z powyższym, dla producenta biomasy wierzby ważna jest informacja o plenności uprawianych klonów wierzby.

Celem badań była ocena plonu biomasy pędów w okresie drugiej, trzeciej i czwartej vegetacji wierzby w rejonie Koszalina, przy uprawie wierzby na glebie lekkiej, stosując różne systemy nawożenia organicznego i mineralnego.

2. Materiał i metoda

Dziewięć klonów wierzby wysadzono w I dekadzie kwietnia 2005 roku na polu doświadczalnym Politechniki Koszalińskiej – w Kościernicy, na glebie lekkiej klas IVb-V przy zagęszczeniu 33,2 tys. karp na hektarze. Na polu doświadczalnym poziom wody gruntowej był usytuowany na głębokości 950 cm. Po pierwszej vegetacji zimą 2005/2006 roku ścięto odrosty pędów.

W 2006 roku założono doświadczenie ściśle metodą losowanych podbloków w układzie zależnym w trzech powtórzeniach, gdzie podblokami I rzędu były cztery kombinacje nawozowe, a II rzędu – dziewięć klonów wierzby. Poletko miało powierzchnię 34,5 m² (2,3 x 15,0 m). W ramach kombinacji nawozowych zastosowano w 2006 roku:

- obiekty bez nawożenia (**a**),
- obiekty nawożone kompostem w ilości 15 t·ha⁻¹ (**b**),
- obiekty nawożone kompostem i nawozem Hydrofoska 16, w dawce 562,5 kg·ha⁻¹, który zawierał w czystym składniku: N – 90 kg·ha⁻¹, P₂O₅ – 90 kg·ha⁻¹ i K₂O – 90 kg·ha⁻¹) – (**c**),
- obiekty nawożone kompostem i nawozem Hydrofoska 16 w dawce 1125,0 kg·ha⁻¹, który zawierał w czystym składniku: N – 180 kg·ha⁻¹, P₂O₅ – 180 kg·ha⁻¹ i K₂O – 180 kg·ha⁻¹) – (**d**). Dawka powyższa została podzielona na dwie części i zastosowano je w odstępie miesiąca.

Przed ruszeniem vegetacji wierzby w latach 2007, 2008 i 2009 zastosowano ponownie nawożenie nawozem Hydrofoska 16 na obiektach

„c” i „d”, z pominięciem kompostu. Każdego roku zastosowano na obiektach „c” 562,5 kg·ha⁻¹ nawozu Hydrofoska 16, a na obiektach „d” – 1125,0 kg·ha⁻¹. Nawóz Hydrofoska 16, stosowano w II dekadzie kwietnia, który po wysiewie wymieszano z glebą.

W dawce 15 Mg·ha⁻¹ świeżej masy kompostu wniesiono do gleby 10 Mg·ha⁻¹ suchej masy, a w tym materii organicznej – 39,06%, azotu ogółem – 1,746% i fosforu ogółem – 1,601%, także duże ilości metali alkalicznych: 20 kg sodu, 325 kg potasu, 1102 kg wapnia i 172 kg magnezu [3].

Kompost w 2006 roku zastosowano na 7 dni przed wysiewem nawozu Hydrofoska 16, który po wysiewie wymieszano z glebą.

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.

Zbiór pędów dokonano z 1/3 powierzchni poletka (11,5 m²) po drugiej vegetacji (luty 2008), po trzeciej vegetacji (luty 2009) oraz po czwartej vegetacji (listopad 2009). W każdym roku podczas zbioru biomasy, dokonano pomiaru plonu świeżej masy pędów.

Wyniki obrazujące plony biomasy opracowano statystycznie, z wykorzystaniem programu *Statistica*. Wykonano analizy wariancji, a istotność efektów oceniono testem F.

3. Wyniki i ich omówienie

Wegetacja klonów wierzby każdego roku rozpoczynała się w okresie II÷III dekady kwietnia. Dane o opadach w latach 2006÷2009 w okresie vegetacji wierzby przedstawiono w tabeli 1, za IHAR Oddział Bonin. Charakterystykę warunków hydrotermicznych w latach 2006÷2009 przedstawiono przy pomocy współczynnika Sielianinowa [8]:

$$K = P/0,1\sum t [1]$$

gdzie:

P – miesięczna suma opadów atmosferycznych w mm,

$\sum t$ – miesięczna suma temperatury powietrza >0°C.

Do interpretacji warunków hydrotermicznych przyjęto podział współczynnika K na kilka klas wartości, co pozwoliło na wyodrębnienie warunków ekstremalnie suchych oraz ekstremalnie wilgotnych. Przyjęto

następujące przedziały współczynnika K: skrajnie suchy – $K \leq 0,4$; bardzo suchy – $0,4K \leq 0,7$; suchy – $0,7K \leq 1,0$; dość suchy – $1,0K \leq 1,3$; optymalny – $1,3K \leq 1,6$; dość wilgotny – $1,6K \leq 2,0$; wilgotny – $2,0K \leq 2,5$; bardzo wilgotny – $2,5K \leq 3,0$ 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).

We wszystkich latach badań w 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 do dobrze uwilgotnionego, a lata 2006 i 2009, z opadami odpowiednio – 753 mm i 787 mm były wilgotne. Charakterystyka warunków hydrotermicznych dokonana wyłącznie na podstawie opadów rocznych okazała się dla uprawy wierzby niewystarczająca, bowiem występowały okresy także skrajnie i bardzo suche, nawet w lata uznane za mokre (tab. 1).

Do uprawy wierzby energetycznej nadają się rejony, gdzie roczny opad przekracza 575 mm oraz występują gleby zaliczone do kompleksów rolniczej przydatności, takich jak: żytni bardzo dobry (4), żytni dobry (5), zbożowo-pastewny mocny (8), zbożowo-pastewny słaby (9) oraz użytki zielone słabe i bardzo słabe (3z) [5]. Doświadczenie w Kościernicy zostało zlokalizowane na glebie kompleksu żytniego dobrego, ale o bardzo głębokim poziomie wody gruntowej (950 cm). Stąd też woda opadowa praktycznie była jedynym źródłem dla wierzby, a wierzba zaliczana jest do roślin o dużych wymaganiach wodnych [1, 18].

Nierównomierność rozkładu opadów w okresie wegetacji wierzby miała także wpływ na przyrosty długości, grubości oraz liczby pędów w krzaku [16]. Brak dostępu korzeni wierzby do wody gruntowej powodowało 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 suszę, jest czymś nowym w literaturze [9]. Dane o dynamice odrastania pędów wierzby w latach 2006÷2009 podano w innej publikacji [16].

Tabela 1. Opady w Boninie k. Koszalina w latach 2006÷2009 według IHAR Bonin [mm]

Table 1. Precipitation in Bonin near Koszalin, Poland, in the years 2006-2009 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 Sielianinowa [K]				
IV	3,04	1,31	2,96	0,35
V	1,82	1,74	0,16	2,43
VI	1,39	2,43	1,78	3,58
VII	0,32	3,86	0,99	1,82
VIII	4,40	1,35	2,52	0,85
IX	1,14	2,58	1,17	1,57
X	1,22	1,66	2,39	6,64
Σ (IV÷X)	1,85	2,28	1,61	2,29

W analizie wariancji dla plonu świeżej masy pędów wykazano istotność efektów głównych oraz dla interakcji nawożenia z latami uprawy oraz nawożenia z klonami (tab. 2). W analizie za zmienność resztową przyjęto współdziałanie najwyższego rzędu (ABC). Na podkreślenie zasługuje dominująca zmienność lat uprawy (88,3% zmienności). Czynniki ten w analizie traktowano jako stały, gdyż lata uprawy nie były tożsame z latami kalendarzowymi, ale były okresem w wieloletniej uprawie wierzby. Na tle lat uprawy mniejsze okazało się znaczenie nawożenia (6,4%) oraz klonów wierzby (0,7%).

Tabela 2. Wpływ badanych czynników na zmienność plonu świeżej masy wierzby w doświadczeniu polowym w latach 2007÷2009**Table 2.** Influence of examined factors on the variability of yield of fresh mass in the field experiment in the years 2007-2009

Komponent wariacyjny	Poziomy czynnik	Struktura procentowa komponentów wariacyjnych
Rok uprawy [A]	3	88,3***
Nawożenie [B]	4	6,4***
Klony wierzby [C]	9	0,7***
Współdz. AB		0,8*
Współdz. AC		0,0
Współdz. BC		2,2**
Współdz. ABC		1,6
Suma		100,0

Istotność przy poziomie ufności: * $\alpha=0,05$; ** $\alpha=0,01$; *** $\alpha=0,001$;

Wyniki z pomiarów plonu świeżej biomasy pędów wierzby w latach 2007÷2009 zestawiono w tabeli 3. W doświadczeniu na glebie lekkiej, o bardzo głębokim poziomie lustra wody, przy dużej ilości rocznych opadów, uzyskano bardzo duże plony świeżej masy pędów wierzby (tab. 3), ale niższe niż na glebie klasy IIIb w rejonie Kwidzyna [13, 14, 17, 19]. Przyrost świeżej masy pędów w doświadczeniach własnych wahał się $13,3\div 13,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, niezależnie od roku zbioru.

Nawożenie kompostem spowodowało nieistotny przyrost plonu (o $2,148 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 6,8%) w stosunku do obiektów bez tego nawożenia (tab.3). Na obiektach „c”, z dodatkowym stosowaniem nawozu Hydrofoska 16, w dawce $562,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ spowodowało przyrost plonu przeciętnie o $13,05 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 41,1%, w stosunku do obiektów bez nawożenia tj. o 41,1%. Największe plony świeżej masy pędów uzyskano z obiektów „d” nawożonych kompostem i najwyższą dawką nawozu Hydrofoska 16 ($1125,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$). Plony te były większe przeciętnie o $18,558 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 58,4%, w stosunku do obiektów bez nawożenia.

Różnica w plonie świeżej masy pędów pomiędzy najwyżej (C), a najniżej plonującym klonem (E), wyniosła $8,789 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, co stanowiło 19,6% plonu klonu C.

Tabela 3. Plon świeżej masy pędów wierzby w latach 2007÷2009 [$t \cdot ha^{-1}$]
Table 3. Yield of fresh mass of willow shoots in the years 2007-2009 [$t \cdot ha^{-1}$]

Poziomy czynnik	Rok uprawy	Nawożenie	Klony wierzby
A	27,22	31,79	44,62
B	39,87	33,94	37,52
C	53,59	44,84	44,93
D	–	50,35	42,30
E	–	–	36,15
F	–	–	40,55
G	–	–	38,64
H	–	–	39,15
K	–	–	38,18
NIR _{0,05}	2,11***	2,43***	3,65***

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

Tabela 4. Wpływ nawożenia na plony świeżej masy pędów w latach uprawy wierzby, przeciętnie z 9 klonów

Table 4. Effects of fertilization on yield of fresh mass of shoots during willow growing, average from 9 clones

Rok uprawy	Plon [$t \cdot ha^{-1}$] na obiektach z nawożeniem			
	a	b	c	d
2	21,17a	21,02a	30,86b	35,84c
3	31,68a	32,87a	46,68b	48,24b
4	42,52a	47,92b	56,97c	66,96d
NIR _{0,05}	4,21*			

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

W ramach roku tymi samymi literami oznaczono różnice nieistotne

Kombinacje nawozowe wyraźnie różnicowały przeciętne plony w latach uprawy wierzby, a różnice pomiędzy nimi zwiększały się w miarę upływu lat (tab. 4). Po drugim roku uprawy plony świeżej masy pędów na obiektach bez nawożenia (a) i nawożonych kompostem (b) nie różniły się istotnie, natomiast na obiektach „c” były większe o $9,69 t \cdot ha^{-1}$, tj. o 45,8%, a na obiektach „d” były większe o $14,67 t \cdot ha^{-1}$, tj. o 69,3%, niż na obiektach „a”.

Po trzecim roku uprawy plony świeżej masy pędów na obiektach bez nawożenia (a) i nawożonych kompostem (b) nie różniły się istotnie, natomiast na obiektach „c” były większe o $15,00 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 47,3%, a na obiektach „d” były większe o $16,56 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 52,3%, niż na obiektach „a”.

Po czwartym roku uprawy plony te na obiektach bez nawożenia (a) były istotnie mniejsze niż na nawożonych kompostem (b) o $5,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 12,7%, na obiektach „c” były większe o $14,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 34,0%, a na obiektach „d” były większe o $24,44 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, tj. o 57,5% niż na obiektach „a”.

Nawożenie również różnicowało plonność klonów wierzby (tab. 5). Przeciętnie z lat nawożenie kompostem nie zwiększyło istotnie plonu świeżej masy u poszczególnych klonów, mimo istnienia takiej tendencji u 7., na 9. badanych. Natomiast dodatkowe nawożenie mineralne nawozem Hydrofoska 16 u 8. klonów, na 9. badanych istotnie zwiększyło ten plon.

Tabela 5. Wpływ nawożenia na plony świeżej masy pędów klonów wierzby, przeciętnie z lat uprawy

Table 5. Effects of fertilization on yield of fresh mass of shoots of willow clones, average from years of cultivation

Klon wierzby	Plon [$\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$] na obiektach z nawożeniem			
	a	b	c	d
A	33,82a	36,10a	47,49b	61,05c
B	27,57a	32,17ab	37,03b	53,33c
C	34,24a	35,40a	59,26b	50,83c
D	37,24a	38,02ac	49,16b	44,80c
E	26,36a	26,29a	36,38b	55,54c
F	31,22a	29,93a	48,69b	52,37b
G	37,07a	39,42a	42,56a	35,46a
H	28,56a	32,05a	43,88b	52,12c
K	30,01a	36,03ab	39,05b	47,61c
NIR _{0,05}	7,29***			

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

Klon G nie zareagował plonem świeżej masy na zróżnicowane nawożenie i dlatego można uznać go za ekstensywny. Klon G wydał bardzo duży plon na obiekcie „a” – $37,07 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Pozostałe klony wierzby

reagowały istotną zwyżką plonu na dodatkowe nawożenie mineralne. Z spośród pozostałych ośmiu klonów dwa klony (C i D) wydały istotnie większy plon na obiektach „c”, z niższym nawożeniem mineralnym ($562,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Hydrofoski 16). Pozostałe sześć klonów (A, B, E, F, H i K) istotnie większe plony wydały na obiektach „d” z największym nawożeniem mineralnym ($1125,0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Hydrofoski 16).

Plony świeżej masy wierzby są różne w zależności od przebiegu pogody, jakości gleby, zastosowanego nawożenia oraz długości rotacji zbioru [5, 6, 7, 13, 14, 115, 18,19]. Wszystkie rośliny energetyczne wymagają dużej ilości wody w glebie, a na przesuszenie gleby najsilniej reaguje wierzba. W lata o dużym niedoborze opadów w okresie wegetacji, wierzba z upraw nawadnianych wydała większy plon biomasy o 41% niż z nienawadnianych [9]. Plony pędów wierzby z upraw polowych są 14 razy większe niż w lesie naturalnym [11, 12], ale zależą od ilości dostępnej wody w glebie [18].

Na doświadczeniach w rejonie Kwidzyna na madzie ciężkiej, okresowo nadmiernie wilgotnej, plony biomasy były bardzo wysokie, wahały się od $34,18$ do $49,38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ [17]. Równie bardzo duże plony świeżej masy pędów wierzby w rejonie Kwidzyna, były także przy uprawie na glebie torfowej, przy zagęszczeniu 100 tys. krzaków na hektarze. Plon biomasy wierzbowej zbieranej co 3 lata wyniósł średnio $90,81 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ [17]. W rejonie Puław w latach 2004÷2006 uzyskano mniejsze plony pędów wierzby ($11,9$ ÷ $12,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ suchej masy, przy wilgotności zebranego drewna $45,3$ ÷ $52,7\%$) [5]. W rejonie tym średnia suma opadów za okres 1951÷2005 wyniosła 564 mm, a za okres IV÷X – 411 mm [2]. Doświadczenie w Kościernicy k. Koszalina zostało zlokalizowane na glebie kompleksu żytniego dobrego, o bardzo głębokim poziomie wody gruntowej, gdzie opady były jedynym źródłem wody dla wierzby. W okresie wegetacji w latach 2006÷2009 spadło 459 ÷ 654 mm opadów, a w ciągu roku 753 ÷ 1062 mm. W takich warunkach plony świeżej masy pędów wierzby były zróżnicowane pomiędzy obiektami nawozowymi i wahały się w szerokich granicach: dla drugiego roku uprawy od $21,17$ do $35,84 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, dla trzeciego roku – od $31,68$ do $48,24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, a dla czwartego roku – od $42,52$ do $66,96 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Wykonane analizy plenności klonów w zależności od nawożenia kompostem oraz nawozem mineralnym – Hydrofoska 16, dostarczyły dowodu na celowość uprawy wierzby na glebach lekkich klasy IVb-V,

o głębokim zaleganiu wody gruntowej, ale przy znacznych opadach w okresie wegetacji. Wskazują też, że w takich warunkach należy dodatkowo zintensyfikować nawożenie, różnicując je dla poszczególnych klonów. Dane powyższe rzucają nowe światło na technologię uprawy wierzby. Wskazują ponadto, że celowe jest intensyfikowanie badań nad wierzbą, nawet na glebach lekkich, które wcześniej uznane zostały za mało przydatne do jej uprawy.

3. Wnioski

1. W rejonie Koszalina na glebie lekkiej klasy IVb-V o głębokim poziomie wody gruntowej, ale przy względnie dobrym zaopatrzeniu wierzby w wodę opadową, uzyskano wysokie plony świeżej masy pędów wierzby, od 21 do 67 ton z hektara.
2. Zastosowane kombinacje nawozowe istotnie różnicowały przeciętne plony w latach uprawy wierzby, a różnice pomiędzy nimi zwiększały się w miarę upływu lat.
3. Badane klony różnie reagowały na zastosowane nawożenie kompostem i nawozem Hydrofoska 16. Klon G nie zareagował w plonie świeżej masy pędów na zróżnicowane nawożenie. Klony C i D wydały największy plon na obiektach „c”, z niższym nawożeniem mineralnym, a pozostałe klony (A, B, E, F, H i K) najwyżej plonowały na obiektach „d”, z najwyższym nawożeniem mineralnym.

Literatura

1. **Dubas J. W., Tomczyk A.:** *Zakładanie, pielęgnacja i ochrona plantacji wierzb energetycznych*. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2005.
2. **Faber A., Kuś J., Stasiak M.:** *Roślin energetyczne dla różnych siedlisk*. [W:] *Biomasa dla energetyki i ciepłownictwa szanse i problemy*. Wydawnictwo Wieś Jutra, Warszawa: 26-32, 2007.
3. **Fijałkowska D., Janowska B., Styszko L.:** *Influence of amendment of short-rotation willow plantation in the vicinity of Koszalin with sewage sludge compost on modifications of content of some metals in the soil*. *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 19, 2a: 327-329, 2010.
4. **Grzybek A.:** *Prognoza wykorzystania odnawialnych źródeł energii w sektorze rolnym na tle przemian*. [W:] *Rozwój energii odnawialnej na Pomorzu Zachodnim*. Praca zbior. pod red. Piotra Lewandowskiego i Władysława Nowaka. Koszalin, 8-9 grudnia 2004, 211-218, 2004.

5. **Jadczyzyn J.:** *Lokalizacja przestrzenna plantacji.* [W:] Ciechanowicz W., Szczukowski S. (red). *Paliwa i energia XXI wieku.* WSiIZ. Oficyna wydawnicza WIT. Warszawa, 218-230, 2006.
6. **Juliszewski T., Kwaśniewski D., Baran D.:** *Wpływ wybranych czynników na przyrosty wierzby energetycznej.* Inż. Roln. 12, 225-232, 2006.
7. **Kuś J., Matyka M.:** *Produkcja biomasy na cele energetyczne jako alternatywny kierunek produkcji.* Wieś Jutra 8/9, 8-10, 2008.
8. **Molga M.:** *Meteorologia rolnicza.* PWRiL Warszawa, 1986.
9. **Podlaski S., Choluj D., Wiśniewski G.:** *Kryteria wyboru roślin energetycznych do uprawy w określonych warunkach przyrodniczych.* Wieś Jutra 8-9, 15-17, 2009.
10. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 26 lutego 2009 w sprawie plonów reprezentatywnych roślin energetycznych w 2009 r. Dz. U., nr 36, poz. 283, 2009.
11. **Staffa K.:** *Studia nad szybko rosnącymi wierzabami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego. Cz. II.* Hodowla Rośl. Aklim. i Nas. 9(2): 180-224, 1965.
12. **Staffa K.:** *Studia nad szybko rosnącymi wierzabami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego. Cz. III.* Hodowla Rośl. Aklim. i Nas. 9(3): 320-338, 1965.
13. **Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.:** *Produktywność klonów wierzb krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia.* Fragm. Agron. 2, 39-51, 2002.
14. **Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Bieniek A.:** *Productivity of willow coppice Salix spp under contrasting conditions.* EJPAAU 12(1), Agronomy, #10, 2009. <http://ejpau.media.pl/volume12/issue/art-10.html>.
15. **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, 172-181, 2008.
16. **Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma M.:** *Wpływ warunków pozyskania biomasy na odrastanie pędów wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu.* Rocznik Ochrona Środowiska Tom. 12. Koszalin, w druku, 2010.
17. **Szczukowski S., Tworkowski J.:** *Produktywność oraz wartość energetyczna biomasy wierzb krzewiastych Salix sp. na różnych typach gleb w pradolinie Wisły.* Post. Nauk Rol. 2: 29-35, 2001.
18. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. J.:** *Wierzba energetyczna.* Wyd. Plantpress, Kraków, 2004.
19. **Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Przyborowski J.:** *Plon biomasy wierzb krzewiastych pozyskiwanych z gruntów rolniczych w cyklach jednorocznych.* Fragm. Agron. 2, 5-18, 2004.

Effect of Cultivation Conditions on the Acquisition of Willow Biomass in the Four-year Cycle

Abstract

Providing biomass for collecting and processing companies is regulated by a cultivation contract in the minimum quantities corresponding to the so-called representative yield. The consequence of non-execution of contractual supply of biomass for energy are financial sanctions. Accordingly, for the manufacturer of willow biomass it is important to know about yield of cultivated willow clones.

The aim of this study was to assess the yield of biomass of shoots during the second, third and fourth vegetation of willow in the region of Koszalin, at willow cultivation on light soil, using different systems of organic and mineral fertilization. The study evaluated the yield of willow in the four-year cycle in nine clones cultivated on light soil of class IVb-V, using compost from sewage sludge and different doses of fertilizer Hydrofoska 16. Nine clones of willow were planted in the first decade of April 2005 on the Technical University of Koszalin experimental field – in Kościernica.

In 2006 the strict experience of randomized sub blocks in the dependent system in three replications, where sub blocks of level I were four combinations of fertilizer, and level II – nine willow clones was established. Plot had an area of 34.5 m² (2.3 x 15.0 m).

Harvest the shoots was carried out from 1/3 of plot (11.5 m²) after second vegetation (February 2008), after third vegetation (February 2009) and after fourth vegetation (November 2009). In each year during the harvest of biomass, yield of fresh mass of shoots was measured.

In the region of Koszalin in the growing season of willow (April-October) in the years 2006-2009 precipitation was 459-654 mm, at annual precipitation of 753-1062 mm. The relatively good supply of willow in rainwater, with deep groundwater level (950 cm), allowed to obtain satisfactory yields of fresh mass of shoots, from 21 to 67 tonnes per hectare.

Applied fertilizer combinations significantly differentiated average yield of fresh biomass during years of willow cultivation, and the differences between them were steadily increasing over the years. Examined clones responded differently to fertilization with compost and Hydrofoska 16 fertilizer. Clone G did not react in the yield of fresh mass to the variable fertilization. Clones C and D gave the highest yield on the objects 'c' with less mineral fertilizer and remaining clones (A, B, E, F, H and K) yielded most in objects 'd', with the largest mineral fertilization.