

Karol Węglarzy^{1,2,3}, Irena Skrzyżala²

CZY *SALIX VIMINALIS* POPRAWIA BILANS ENERGETYCZNY KRAJU?

Streszczenie. W Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Zootechniki Państwowym Instytucie Badawczym w Grodźcu Śląskim prowadzone są badania nad zagadnieniami źródeł energii odnawialnych pochodzenia rolniczego. Jednym z nich jest uprawa na 18,25 ha wierzby energetycznej *Salix viminalis*. Badania prowadzone są od siedmiu lat a ich celem było określenie efektów ekologicznych i ekonomicznych. Prowadzono je na ośmiu działkach, w kolejnych 4 latach wzrostu wierzby i określono następujące parametry: przyrost (plonowanie), absorpcję metali ciężkich (Pb, Cd), wartość energetyczną, technologie zbioru. Stwierdzono zróżnicowanie plonowania i wartości energetycznej na poszczególnych działkach. Zróżnicowana była także zawartość metali ciężkich, największą zawartość ołowiu stwierdzono na działkach usytuowanych w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych (droga ekspresowa S1), natomiast na działce nr II w sąsiedztwie stawów rybnych zawartość zwłaszcza kadmu była śladowa. Porównano dwa sposoby zbioru wierzby: jedno i dwufazowy. Zmienność przepisów dot. upraw energetycznych stawia pod znakiem zapytania ich opłacalność.

Słowa kluczowe: wierzba energetyczna, plonowanie, wartość energetyczna, zawartość metali ciężkich (Pb, Cd), sposoby zbioru.

WSTĘP

W kręgach naukowo-badawczych oraz politycznych panuje powszechna, choć niejednoznaczna opinia dotycząca wpływu antropogenicznych, cywilizacyjnych czynników na zmiany klimatyczne objawiające się m. in. występowaniem anomalii pogodowych, które, powodując dotkliwe skutki, budzą zaniepokojenie społeczności międzynarodowej. Zmiany klimatyczne oraz pogorszenie środowiska naturalnego to negatywne skutki industrializacji i urbanizacji, a w szczególności konieczności zaspokojenia ciągle rosnącego popytu na energię elektryczną. Konwencjonalne źródła jej pozyskiwania, w szczególności paliwa kopalne, wpłynęły na pogorszenie parametrów środowiska, co skłoniło do poszukiwań takich źródeł energii, które pozwoliłyby na

¹ Instytut Zootechniki – Państwowy Instytut Badawczy w Krakowie, Dział Technologii, Ekologii i Ekonomiki Produkcji Zwierzęcej, ul. Sarego 2, 31-047 Kraków.

² Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy Zakład Doświadczalny Grodziec Śląski, Grodziec 3, 43-386 Świętoszówka, e-mail: weglarzy@zdgrodziec.edu.pl

³ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała.

połączenie dwóch zagadnień bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska. Dla odnawialnych źródeł energii, których zasoby uzupełniają się w naturalnych procesach, świeci się zielone światło. Powstały unormowania prawne na szczeblu międzynarodowym i lokalnym, uwzględniające potrzeby energetyczne społeczeństw oraz wymogi ochrony środowiska. W pracy podano rys historyczny oraz obowiązujące akty prawne dotyczące OZE oraz ich wpływ na rozwój tego sektora energetyki.

Jednym z najważniejszych źródeł energii odnawialnej jest biomasa zaś uprawa roślin energetycznych stanowi ważny element realizacji postanowień w zakresie ochrony klimatu.

Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki Państwowego Instytutu Badawczego Grodziec łąski od kilkunastu lat czynnie zajmuje się problematyką wytwarzania zielonej energii, udziałem rolnictwa w wypełnianiu zobowiązań środowiskowych i prawnych dotyczących pozyskania energii ze źródeł odnawialnych.

W Gospodarstwie Kostkowie koło Cieszyina zorganizowane zostało Centrum Badawczo-Dydaktyczne Odnawialnych Źródeł Energii, w którym dla celów badawczych, dydaktycznych i komercyjnych umieszczono prawie wszystkie elementy pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych: mini-elektrownia wiatrowa, kolektory słoneczne, Agrorafineria produkująca olej napędowy (biodiesel) z rzepaku własnej produkcji oraz Agrobiogazownia, gdzie z substratów pochodzenia rolniczego produkowany jest biogaz, a z niego energia elektryczna i ciepła. Zaawansowana jest realizacja projektu pozyskiwania energii słonecznej z wykorzystaniem ogniw fotowoltaicznych.

Wierzba energetyczna (*Salix viminalis*) uprawiana jest na 18,25 ha gruntów ornych na działkach położonych w sąsiedztwie szlaków komunikacyjnych, zdegradowanych, odłogowanych i podmokłych. Pozyskiwane zrębki z wierzby są w części spalane w przygotowanym do tego celu kotle a także sprzedawane Elektrociepłowniom.

Badania dot. uprawy wierzby prowadzone są od siedmiu lat a ich celem było określenie efektów ekologicznych i ekonomicznych. Prowadzono je na poszczególnych działkach, stanowiskach w kolejnych 4 latach wzrostu wierzby i określono następujące parametry:

- przyrost (plonowanie) – (Mg/ha),
- absorpcję metali ciężkich – (Pb, Cd),
- wartość energetyczną,
- technologie zbioru.

MATERIAŁ I METODYKA

Charakterystykę gruntów przeznaczonych pod uprawę wierzby przedstawiono w tabeli 1. Wybór gruntów nie był przypadkowy (losowy), gdyż o wyborze decydowała kiepska przydatność dla innych upraw.

Głębię przygotowywano metodą głębokiej uprawy, stosując orkę zimową oraz pełną uprawę wiosenną. Zakładając ekologiczny cel badawczy plantacji nie

Tabela 1. Charakterystyka gruntów przeznaczonych pod uprawę wierzby**Table 1.** Soil characteristic allocated for willow cultivation

Nr działki Allotment no	Powierzchnia (ha) Area (ha)	Miejscowość Place	Charakterystyka lokalizacji Localization characteristic	Klasa gleby Soil class	pH gleby Soil pH
I	6,85	Roztropice	w sąsiedztwie drogi lokalnej;	V	5,6
II	0,5	Roztropice	podmokły teren graniczący ze stawem rybnym	IV	5,3
III	0,5	Bielowicko	w sąsiedztwie drogi powiatowej	IV	5,3
IV	1,0	Bielowicko	grunt do rekultywacji, bez humusu	VI	5,6
V	0,8	Grodziec	grunt do rekultywacji, po pracach drogowych, w sąsiedztwie pasa drogowego drogi ekspresowej S1	VI	5,2
VI	3,5	Grodziec	w sąsiedztwie pasa drogowego drogi ekspresowej S1	IV	5,8
VII	2,3	Grodziec	w sąsiedztwie pasa drogowego drogi ekspresowej S1	IV	5,6
VIII	2,8	Grodziec	w sąsiedztwie pasa drogowego drogi ekspresowej S1	IV	5,6
Razem: 18,25					

stosowano chemicznych środków ochrony roślin oraz nawożenia mineralnego. Poszczególne działki obsadzano sukcesywnie w przeciągu trzech lat, wykorzystując w kolejnych latach sadzonki z własnej plantacji. Wierzbę *Salix viminalis* var. *Gigantea* posadzono zgodnie z normą: BN – 81/9123-02, zachowując 70 cm odstępy między rzędami i 50 cm w rzędach, pozostawiając co 12 rzędów ścieżkę technologiczną o szerokości 3 m.

Próby do badań pobierano w pierwszych czterech latach wzrostu wierzby, zawsze w miesiącu styczniu, losowo, z powierzchni 4 m². Pobrane z każdej działki rośliny ważono, rozdrobniono, zrębkowano poddano analizie na:

- zawartość suchej masy % (SM) metodą wagową wg PN-62 R – 66163,
- zawartość suchej masy organicznej % (SMO) metodą wagową wg PN – 76 R-64795,
- zawartość metali ciężkich mg/kg SM (Pb, Cd) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej (ASA),
- wartość opałowa MJ·kg⁻¹, GJ·ha⁻¹.

Wyniki badań zestawiono w tabelach wg wartości dla każdego roku i poszczególnych działek.

Porównano efektywność dwóch metod zbioru wierzby, jedno i dwufazową. Zbiór jednofazowy wykonywano sieczkarnią Class ze stosownym oprzyrządowaniem. Dwufazowy zbiór polegał na koszeniu wierzby i jej balotowaniu za pomocą biobalera zagregowanego z ciągnikiem o mocy 147,1 kW. Baloty zrębkowano za pomocą rębaka AK z gardzielą chwytakową i HDS.



Fot. 1. Zbiór wierzby z użyciem sieczkarni Class, koszenie, zrębkowanie
Picture 1. Willow collection with Class straw-cutter



Fot. 2 Pryzma zrębka wierzbowego, załadunek środków transportu
Picture 2. Prism of willow wood-chips, lading and transport



Fot. 3. Zbiór wierzby z użyciem Biobalera, koszenie, balotowanie
Picture 3. Willow collection with Bioballer, cutting, ballotement



Fot. 4. Baloty wierzby
Picture 4. Willow balot



Fot. 5. Transport balotów do rębaka
Picture 5. Balot transport to the chopper.
Autor fotografii: 1-5 Irena Skrzyżala



Fot. 6. Rębak DOPPSTADT AK 350
(www.oferia.pl)
Picture 6. Chopper DOPPSTADT AK 350.

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 2 przedstawiono wyniki przyrostów wierzby w kolejnych czterech latach, z uwzględnieniem poszczególnych działek oraz uzyskany plon rzeczywisty w czteroletnim cyklu.

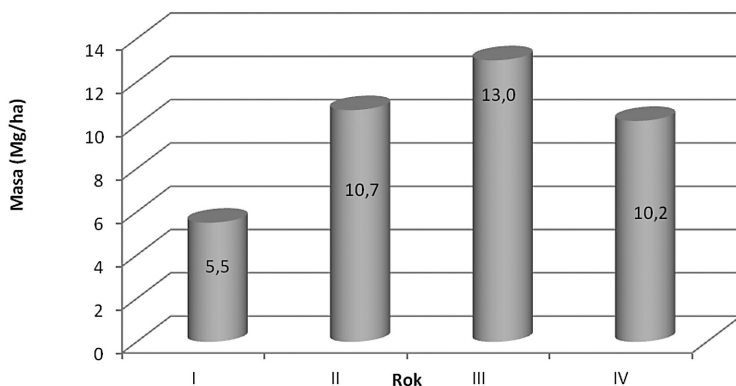
Różnica pomiędzy wartościami uzyskanymi z corocznych przyrostów masy wierzby a plonem rzeczywistym wynosi od 5% (działka nr VI) do 12 % na działkach IV, VII i VIII na niekorzyść uzyskanego plonu. Wyraźne zróżnicowanie plonowania stwierdzono pomiędzy poszczególnymi działkami, co związane jest z klasą gleby, zasobnością w składniki odżywcze, dostęp do wody. Najwyższy plon (49 Mg/ha) uzyskano na działce nr II położonej w sąsiedztwie stawów rybnych na podmokłym terenie, co potwierdza właściwości wierzby jako rośliny higrofilnej. Plonowanie wierzby było niższe od podawanych w literaturze [2, 7], jednakże na podkreślenie zasługuje fakt, że wierzba w naszych badaniach uprawiana jest systemem ekologicznym, ekstensywnym, na działkach o niskiej bonitacji, bez nawożenia oraz chemicznej ochrony roślin.

Tabela 2. Przyrosty roczne i plonowanie wierzby w 4-letniej uprawie

Table 2. Annual gains and Fielding of willow in 4-years cycle

Nr działki Allotment no	1 rok 1 st year		2 rok 2 nd year		3 rok 3 th year		4 rok 4 th year		Suma rocznych przyrostów (Mg/ha) Sum of annual gains (Mg/ha)	Plon (Mg/ha) Yield (Mg/ha)
	Masa próby (kg) Probe wright (kg)	Przyrost (Mg/ha) Gain (Mg/ha)	Masa próby (kg) Probe wright (kg)	Przyrost (Mg/ha) Gain (Mg/ha)	Masa próby (kg) Probe wright (kg)	Przyrost (Mg/ha) Gain (Mg/ha)	Masa próby (kg) Probe wright (kg)	Przyrost (Mg/ha) Gain (Mg/ha)		
I	1,6	3,9	3,3	8,2	4,6	11,4	3,7	9,1	32,6	29,3
II	3,4	8,4	5,5	13,7	6,7	16,9	5,5	13,7	52,7	49,0
III	2,3	5,7	5,2	13,0	6,1	15,3	5,3	13,2	47,2	43,4
IV	0,7	1,7	1,7	4,1	2,6	6,6	1,7	4,1	16,5	14,5
V	0,7	1,8	1,9	4,8	2,9	7,3	1,7	4,3	18,2	16,4
VI	3,0	7,5	5,6	14,1	6,4	16,1	5,0	12,6	50,2	47,7
VII	3,2	8,0	5,5	13,7	6,5	16,2	4,8	11,9	49,7	43,7
VIII	2,7	6,7	5,8	14,5	5,8	14,5	5,0	12,5	48,2	42,4

Na rysunku 1 przedstawiono roczne przyrosty masy wierzbowej w poszczególnych latach. Z danych tych wynika prawidłowość przyrostu rocznego wierzby, która tylko w pierwszych trzech latach wykazuje tendencję zwykłą. Taką prawidłowość potwierdzają także Dubas i in. [2], iż najintensywniejszy przyrost biomasy drzewnej jest w trzecim roku po założeniu plantacji.



Rys. 1. Roczne przyrosty masy wierzbowej w poszczególnych latach

Fig. 1. Mass gain layout in years

Tabela 3. Zawartość suchej masy i suchej masy organicznej w próbach wierzb wiciowej

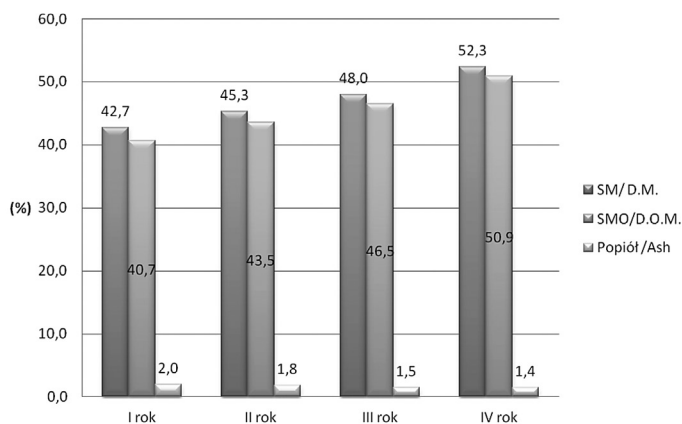
Table 3. Dry matter and dry organic matter content in common willow

Nr działki Allotment no	1 rok 1 st year		2 rok 2 nd year		3 rok 3 th year		4 rok 4 th year	
	SM (%) D.M. (%)	SMO (%) D.O.M. (%)	SM (%) D.M. (%)	SMO (%) D.O.M. (%)	SM (%) D.M. (%)	SMO (%) D.O.M. (%)	SM (%) D.M. (%)	SMO (%) D.O.M. (%)
I	42,3	40,2	45,2	43,28	48,7	47,1	52,7	51,3
II	40,7	38,4	43,3	41,1	45,7	44	45,5	43,9
III	43,7	41,5	46,2	44,2	49,1	47,75	53,7	52,3
IV	44,2	41,8	44,7	42,8	46,6	45	49,8	48,3
V	45,1	43,21	47,2	45,5	49,1	47,76	55,4	54
VI	41,1	39,35	44,3	42,9	47,2	45,93	51,4	50,1
VII	42,3	40,48	47,1	45,58	48,2	46,8	54,1	52,6
VIII	42,1	40,65	44,5	42,85	49,2	47,68	56,1	54,7

Zróznicowana w poszczególnych latach jest także wilgotność masy wierzbowej, im starszy odrost, tym wyższa zawartość suchej masy (tab. 3). Podobnie jak w przypadku plonowania, pomiędzy działkami występują różnice, na które wpływ miały zapewne warunki glebowe a także pogodowe w trakcie 6 lat trwania badań. Na działce nr II położonej w sąsiedztwie stawu stwierdzono najniższą zawartość suchej masy, w grupie tej plonowanie było najniższe.

Zróznicowanie jest szczególnie widoczne pomiędzy trzecim a czwartym rokiem, co zobrazowano rysunku 2. Podobne tendencje wykazali Szczukowski i Budny cyt. przez J. Czarta [1] w trzyletnim cyklu produkcyjnym wierzb. Stolarski M. i Krzyżaniak M. [5] oceniając skład chemiczny oraz wartość energetyczną wierzb uzyskali niższą zawartość popiołu (0,89%) a wilgotność na poziomie 49,7%.

W trzecim roku wzrostu wierzb w pobranych próbach określono zawartość wybranych metali ciężkich (Pb, Cd), wyniki przedstawiono w tabeli 4.



Rys. 2. Skład chemiczny wierzby
Fig. 2. Chemical composition of willow

Tabela 4. Zawartość metali ciężkich w suchej masie wierzby wiciowej

Table 4. Heavy metals content in common willow dry matter

Nr działki Allotment no	Zawartość mg/kg SM Content mg/kg D.M.	
	Pb	Cd
I	0,89	0,16
II	0,35	0,02
III	0,77	0,15
IV	0,40	0,11
V	1,72	0,22
VI	2,22	0,18
VII	2,31	0,12
VIII	2,71	0,23

Ekologiczne znaczenie wierzby energetycznej polega między innymi na zdolności do biodegradacji metali ciężkich w glebie do formy obojętnej. Te właściwości wierzby potwierdzają liczne badania ze wskazaniem na dla wykorzystania *Salix viminalis* do nasadzeń ochronnych wokół zakładów przemysłowych, składowisk odpadów oraz wzdłuż autostrad Eltrop i in. 1991 [3], Šottníková i in. 2003 [8], Szczukowski, Tworowski 1999 [6], Wrzosek i in. 2008 [10]. W badaniach Instytutu kilkakrotnie większą zawartość badanych pierwiastków stwierdzono na działkach VI, VII i VIII usytuowanych w pobliżu ruchliwych szlaków komunikacyjnych (droga ekspresowa S1), natomiast na działce nr II w sąsiedztwie stawów rybnych zawartość zwłaszcza kadmu była śladowa. Węgłarzy K. [9] w runi pastwiska sąsiadującego z plantacją wierzby (działki VI, VII, VIII) stwierdził prawie trzykrotnie niższą zawartość ołowiu i podobną zawartość kadmu. Badania nasze potwierdzają cenne właściwości ekologiczne wierzby.

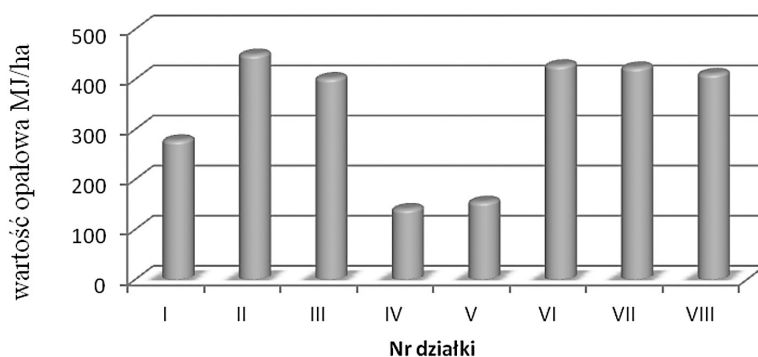
Biomasa wierzbowa np. spalana w celach grzewczych emituje do atmosfery znacznie mniej spalin szkodliwych niż np. miał węglowy, pozostawiając kilkakrotnie mniejszą ilość popiołu oraz, jak podają Dubas i in.[2], prawie 200rotnie mniej związków siarki.

Według Kubicy [4] zastąpienie węgla biomasą w gospodarstwie domowym zużywającym rocznie 8 ton węgla daje efekt ekologiczny w postaci redukcji: tlenków węgla – 92%, tlenków siarki – 97%, tlenków azotu – 80%, pyłów 99,9%, zanieczyszczeń organicznych – 77% wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) – 99,9%. Ponadto w procesie spalania biomasy bilans CO₂ jest zerowy a w przypadku upraw wieloletnich, w tym wierzby nawet dodatni z uwagi na przewagę ilości dwutlenku węgla pobieranego z atmosfery w procesie fotosyntezy nad emitowanym w procesie spalania.

Wartość energetyczną wierzby można określić poprzez zawartość suchej masy organicznej (SMO) oraz poprzez wartość opałową. Pierwszy wskaźnik wskazuje, z uwagi na niską zawartość popiołu, na dobre właściwości energetyczne biomasy wierzbowej z czteroletniej plantacji (1,4%). Przyjmując za Stolarskim i Krzyżaniakiem [5] wartość opałową świeżej biomasy wierzbowej 8,52 MJ.kg⁻¹, obliczono energetyczność uzyskaną z poszczególnych działek (rys. 3).

Zbiór wierzby, zwłaszcza na małych plantacjach, można dokonywać ręcznie, z zastosowaniem pił mechanicznych lub spalinowych a następnie zrębkować. Taki sposób został zastosowany także w naszych badaniach, przy pobieraniu prób.

Zbiór wierzby z większych plantacji wymaga specjalistycznego sprzętu. W badaniach oceniono dwa sposoby zbioru jednofazowy i dwufazowy. Zbiór jednofazowy pozwala na efektywniejsze wykorzystanie sprzętu i mniejszy wydatek energetyczny aniżeli zbiór dwufazowy, który w procesie zrębkowania balotów wymaga użycia wysokowydajnych rębaków o mocy nawet 850 KM.



Rys. 3. Szacowana wartość energetyczna biomasy wierzby

Fig. 3. Estimated energetic value of willow biomass

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zagadnienia dotyczące uprawy wierzby, jej wartości energetycznej, a także wskazań praktycznych jej uprawy i zbioru są obecne i badane w różnych ośrodkach naukowych. Ta wiedza jednakże nie ma jeszcze przełożenia w realizacji rzeczywistych możliwości i potrzeb biomasy dla celów energetycznych.

W roku 2010 wierzbę uprawiano na powierzchni ok. 10000 ha. Z tego wynika, że powierzchnia uprawy wierzby to zaledwie niespełna 8% zapotrzebowania energetyki na biomasę pochodzenia nieleśnego i ok. 0,3% użytków rolnych odłogowanych lub źle zagospodarowywanych.

Zatem, by sprostać środowiskowym i społeczno - politycznym wymogom należałoby wykorzystać takie atuty wierzby, jak: biomasa pochodzenia rolniczego, potencjał energetyczny (14 krotnie szybszy przyrost masy drzewnej w porównaniu z lasem a roczny plon z 1 ha równoważny 6 t węgla), absorpcja dwutlenku węgla (łagodzenie jego oddziaływanie na atmosferę), zagospodarowanie odłogowanych gruntów (z zaledwie 10% powierzchni – 350 tys. ha można rocznie uzyskać równowartość energetyczną 2 100 000 ton węgla).

Tymczasem od roku 2010 następuje regres ekonomicznego wsparcia upraw roślin energetycznych. Uchylone zostało Rozporządzenie MRiRW w sprawie roślin objętych pomocą do plantacji trwałych oraz zryczałtowanych kosztów związanych z założeniem tych plantacji. W tym samym roku cofnięte zostały dopłaty obszarowe do upraw roślin energetycznych (45 EUR/ha). Stawia to pod znakiem zapytania opłacalność tych upraw.

PIŚMIENNICTWO

1. Czart J. Poradnik uprawy wierzby energetycznej (<http://www.lasprywatny.pl>).
2. Dubas. W., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A. 2004. Wierzba energetyczna – uprawa i technologie przetwarzania, Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomii i Administracji w Bytomiu.
3. Eltop L., Bron G., Joachim O., Brinkmann K. 1991. Lead tolerance of *Betula* and *Salix* in themining area of mechernich. Plant and Soil. 131: 275–285.
4. Kubica K. Spalanie biomasy i jej współspalanie z węglem, techniki, korzyści, bariery, Instytut Chemicznej Obróbki Węgla Zabrze, <http://conbiot.ichpw.zabrze.pl>
5. Stolarski M., Krzyżaniak M. 2011 Wartość opałowa i skład elementarny biomasy wierzby produkowanej systemem eko-salix, *Fragm. Agron.* 28(4) 2011, 86–95.
6. Szczukowski S., Tworkowski J. 1999 Gospodarcze i przyrodnicze znaczenie krzewiastych wierzb *Salix* sp. *Zesz. Prob. Post. Nauk Rol.* 486 1999: 69–77.
7. Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J. 2011 Plon biomasy wierzby produkowanej Systemem eko-salix* *Fragm. Agron.* 28(4) 2011, 104–115.
8. Šottniková A., Lunáčeková L., Masarovičová E., Lux A., Streško V. 2003. Changes in the rooting and growth of willows and poplars induced by cadmium. *Biologia, Plantarum.* 46(1): 129–131.

9. Węglarzy K. 2005. Wpływ zawartości wybranych metali ciężkich w glebie na ich odkładanie w runi pastwiskowej oraz w produktach i tkankach wypasanych zwierząt, Rozprawa habilitacyjna, Instytut Zootechniki Państwowy Instytut Badawczy, Kraków, ss. 65.
10. Wrzosek J., Gawroński S., Gworek B. 2008. Zastosowanie roślin energetycznych w technologii fitoremediacji. Ochr. Środ. i Zas. Natur. 37: 139–151.

IS *SALIX VIMINALIS* IMPROVES THE ENERGY BALANCE OF THE COUNTRY?

Abstract

In the Experimental Station of National Research Institute of Animal Production in Grodziec Śląski we have conducted the scientific researches about renewable energy sources on agricultural origin. One of them is a cultivation on the area of 18,25 ha energetic willow *Salix viminalis*. The researches have started seven years ago and their main goal was to determine ecologic and economic effects. The were conducted on eight allotments in next four years of willow growth and following parameters were defined: gain (yielding), heavy metals absorption (Pb, Cd), energetic value, and technology of crops. It was concluded that yielding and energetic values on particular allotments were differentiated. The content of heavy metals was also differentiated, the highest lead content was on the allotments situated near to communications route (highway S1), in turn on allotments no II near to fish ponds cadmium content was insignificant. Two ways of willow crops were compared - one- and two phases. Changeability of regulation regarding energetic crops hang in a balance their profitability.

Key words: energetic willow, yielding, energetic value, heavy metals content (Pb, Cd), ways of collections.