

Mariusz Stolarski, Stefan Szczukowski,  
Józef Tworkowski, Jacek Kwiatkowski, Mariusz Grzelczyk  
Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## CHARAKTERYSTYKA ZRĘBKÓW ORAZ PELETÓW (GRANULATÓW) Z BIOMASY WIERZBY I ŚLĄZOWCA JAKO PALIWA

### Streszczenie

Określono wartość energetyczną plonu wierzby zbieranej w 1-letnim i 4-letnim cyklu oraz ślązowca pozyskiwanego co roku. Określono właściwości fizykochemiczne zrębków i peletów uzyskanych z sezonowanej biomasy tych roślin oraz porównano je z peletem wytworzonym z drewna dębowego i wymaganiami normy DIN 51731. Wartość energetyczna plonu jednorocznych pędów wierzby i ślązowca była zbliżona, natomiast wierzby zbieranej w 4-letnim cyklu była o około 40% wyższa. Zaproponowany sposób suszenia całych pędów wierzby na podłożu ziemnym na wolnym powietrzu jest skuteczny i możliwy do zastosowania w praktyce. Pelet wytworzony z 4-letnich pędów wierzby spełniał wymagania normy, natomiast w uzyskanym z 1-rocznych pędów wierzby i ślązowca wystąpiło przekroczenie oznaczonej zawartości popiołu i azotu. W wyniku granulacji biomasy wierzby i ślązowca gęstość peletów (granulatów) w stosunku do zrębków została zwiększona odpowiednio prawie 4- i 5-krotnie, a koncentracja energii 4,5- i 6,5-krotnie.

**Słowa kluczowe:** wierzba krzewiasta, ślązowiec pensylwański, biomasa, wartość energetyczna plonu, zrębki, pelet (granulat), gęstość nasypowa, wilgotność, wartość opałowa

### Oznaczenia

$A^d$  - zawartość popiołu, %

$d^r$  - gęstość nasypowa,  $kg/m^3$

$Q_s^a$  - ciepło spalania,  $kJ/kg$

$Q_r^i$  - wartość opałowa,  $kJ/kg$ ,  $GJ/m^3$ ,  $MWh/m^3$

$W_t$  - wilgotność całkowita, %

$f$  - średnica,  $mm$

$l$  - długość,  $mm$

$N^d$  - zawartość azotu, % s.m.

$Cl^d$  - zawartość chloru, % s.m.

$S^d$  - zawartość siarki, % s.m.

## Wstęp

W Polsce wzrosło wyraźnie zainteresowanie wykorzystaniem biomasy do celów energetycznych [Grzybek 2003, 2004; Szczukowski i in. 2002]. Biomasa stałą obecnie pozyskuje się z odpadów: leśnych rolniczych, przemysłu drzewnego, zieleni miejskiej oraz niewielkie ilości z segregowanych organicznych odpadów komunalnych. W przyszłości uzupełnieniem bilansu podaży biomasy na rynku energetycznym może być jej pozyskiwanie z plantacji wieloletnich roślin: rodzimych gatunków wierzby (*Salix* spp.) krzewiastej oraz aklimatyzowanego w Polsce ślazu (Sida hermaphrodita R.).

Paliwo stałe z biomasy tych roślin pod względem właściwości ekologicznych jest korzystniejsze od węgla kamiennego (zerowy zamknięty obieg CO<sub>2</sub>, niska zawartość siarki i chloru oraz relatywnie niska zawartość popiołu). Natomiast pod względem niektórych właściwości fizykochemicznych jest mniej atrakcyjne niż kopaliny. Związane jest to między innymi ze zbyt małą gęstością biomasy, co utrudnia transport, magazynowanie oraz dozowanie do kotłów. Ponadto wysoka wilgotność biomasy nawet do 60% oraz niska koncentracja energii w jednostce objętości powoduje utrudnienia w dystrybucji i jej użytkowaniu w postaci pierwotnej, szczególnie w kotłach stosowanych w ogrzewnictwie komunalnym i indywidualnym [Kowalik 2002; Zawistowski 2003]. W związku z powyższym coraz więcej uwagi zwraca się na uszlachetnianie biomasy stałej przez proces peletyzacji. Przez kompaktowanie biomasy zmniejsza się i ustala na stałym poziomie zawartość wody, zwiększa koncentrację masy i energii w jednostce objętości oraz znacznie podnosi komfort dystrybucji i użytkowania tego granulowanego paliwa [Thek, Obernberger 2004; Grzybek 2004; Kowalik 2003].

W Polsce do produkcji peletu (granulatu) używa się głównie trocin i wiórów z przemysłu drzewnego. Obecnie brakuje odpadowego surowca drzewnego do produkcji peletu. Jego deficyt może być uzupełniony przez pozyskiwanie i podaż biomasy lignino-celulozowej z polowych plantacji roślin energetycznych wierzby i ślazu [Stolarski 2004].

Celem badań było określenie: przydatności sezonowanej biomasy wierzby zbieranej w cyklu rocznym i 4-letnim oraz ślazu pozyskiwanego w jedno-rocznej rotacji do wytworzenia peletu, wartości energetycznej uzyskanego płonu, wybranych właściwości fizykochemicznych zrębków i peletu uzyskanego z biomasy tych roślin oraz porównanie ich do wymagań normy DIN 51731.

## **Metodyka badań**

Podstawą badań były doświadczenia polowe zlokalizowane w Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Doświadczenia prowadzono na glebie brunatnej kl. III a w czterech powtórzeniach. Określono plon "surowej" biomasy oraz jej wilgotność: wierzby *Salix viminalis* w jednorocznym i czteroletnim cyklu zbioru oraz ślazuwca *Sida hermaphrodita* R.) w jednorocznym cyklu zbioru. Wartość energetyczną plonu biomasy wierzby i ślazuwca wyliczono z iloczynu plonu "surowej" biomasy (t/ha/rok) i jej wartości opałowej (GJ/t)

Jednoroczne pędy wierzby z poszczególnych poletek zebrano na początku grudnia 2003 r. poważono je i określono wilgotność "surowej" masy. Następnie pędy powiązano w wiązki i ustawiono na podłożu ziemnym w stożki o średnicy u podstawy około 2 m w celu naturalnego ich podsuszenia na wolnym powietrzu. Pędy składowano w stożkach od początku grudnia do końca czerwca. W okresie tym co 15 dni pobierano reprezentatywne próbki pędów i określano ich wilgotność. Pędy jednoroczne ślazuwca skoszono w grudniu 2004 r., określono plon biomasy i określono jej wilgotność. Zbiór 4-letnich pędów wierzby z poletek przeprowadzono w I dekadzie marca, określono plon "surowej" biomasy i jej wilgotność. Następnie pędy były składowane w luźnej stercie na podłożu ziemnym na wolnym powietrzu w warunkach naturalnych.

Pędy wierzby po okresie wielomiesięcznego naturalnego sezonowania na wolnym powietrzu zostały rozdrobnione na zrębki przy użyciu rębaka bębnowego, natomiast pędy ślazuwca zostały rozdrobnione na zrębki bezpośrednio po zbiorze. Zrębki wierzby i ślazuwca przetransportowano do zakładu Max-Parquet i poddano je procesowi kompaktowania na linii o wydajności 1 t/godz. peletu. W pierwszym etapie zrębki były dosuszone do wilgotności < 10% i rozdrobnione do frakcji trocin. Następnie surowiec poddawano procesowi ciśnieniowej granulacji w matrycach o średnicy otworów 6 mm. Kolejnymi operacjami były: schładzanie, segregacja i pakowanie peletu.

W laboratorium określono długość, średnicę oraz gęstość nasypową zrębków i peletu z wierzby i ślazuwca oraz dla porównania peletu z drewna dębowego. Wilgotność paliw określono metodą suszarkowo-wagową. Rozdrobnioną biomasę suszono do uzyskania stałej wagi w temperaturze 105°C. Zawartość popiołu oznaczono metodą wagową. Biomasę wyprażano w piecu muflowym w temperaturze 550°C. Ciepło spalania wraz z wyznaczeniem wartości opałowej (wg PN-81/G-04513) zgodna z DIN 51731 przeprowadzono w kalorymetrze IKA C2000 według metody izoperiobolizacji. Azot (N-ogólny) oznaczono

metodą Kjeldala, po mineralizacji na "mokro" z kwasem sulfosalicylowym. Siarkę oznaczono nefelometrycznie z  $\text{BaCl}_2$ , po mineralizacji na "mokro" w mieszaninie stężonych kwasów  $\text{HNO}_3$  i  $\text{HClO}_4$  w stosunku 3:1, natomiast chlor nefelometrycznie z  $\text{AgNO}_3$ , po mineralizacji na "sucho" w piecu muflowym w temperaturze  $500^\circ\text{C}$ , z dodatkiem  $\text{CaO}$ .

### Wyniki badań i ich omówienie

Plon "surowej" biomasy jednorocznych pędów wierzbowych wyniósł 38,25 t/ha na rok, natomiast czteroletnie rośliny *Salix* spp. plonowały o ponad 10 t/ha na rok wyżej (tab. 1). Ślázowiec pozyskany po zakończeniu okresu wegetacji plonował na poziomie 17,10 t/ha na rok świeżej masy. Wilgotność drewna wierzbowego pozyskanego w cyklu jednorocznym przy zbiorze pędów wynosiła 55,84%. Czteroletnie pędy wierzbowe w momencie zbioru miały niższą niż pędy jednoroczne wilgotność drewna (48,30%). Natomiast pędy ślázowca zebrane przy korzystnej pogodzie przy niskiej wilgotności względnej powietrza miały najniższą wilgotność biomasy (25,01%). Warunki przebiegu pogody przed i w momencie zbioru pędów ślázowca z pola warunkują wilgotność jego biomasy. Pozostawienie pędów podsuszonych na polu przy znaczącym wzroście wilgotności względnej powietrza powoduje szybkie ich nawilgacanie [Stolarski 2004a].

Tabela 1. Plon "surowej" biomasy pozyskanej z wierzby i ślázowca oraz jego wartość energetyczna

Table 1. Yield of "crude" mallow and willow biomass and its energy value

Wyszczególnienie	Wierzba		Ślázowiec
	zbiór w cyklu 1-rocznym	zbiór w cyklu 4-letnim	zbiór w cyklu 1-rocznym
Plon „surowej” biomasy (t/ha/rok)	38,25	48,30	17,10
Wilgotność drewna przy zbiorze pędów (%)	55,84	48,07	25,01
Wartość energetyczna plonu (GJ/ha/rok)	239,1	400,9	219,5

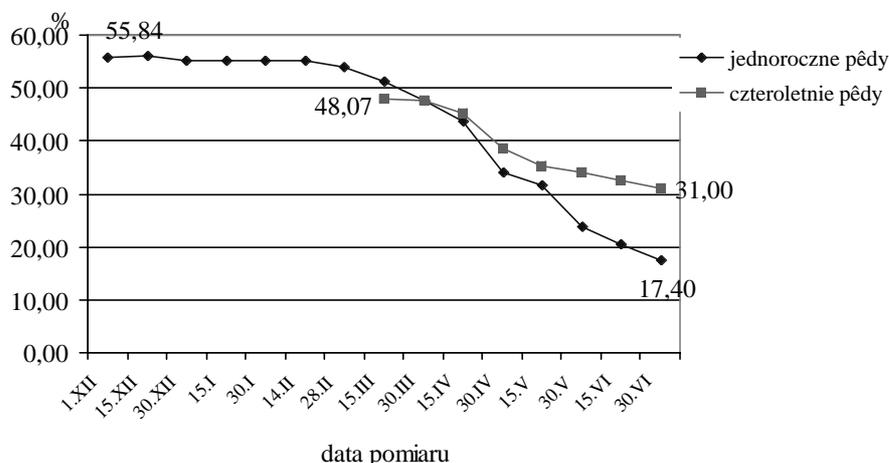
Źródło: badania własne

Wartość energetyczna plonu jednorocznych pędów wierzby i ślázowca była wysoka i zbliżona u obu gatunków, wyniosła odpowiednio 239,1 i 219,5 GJ/ha.

Wartość energetyczna plonu wierzby wzrosła o 40% w porównaniu z cyklem 1-letnim, gdy pędy pozyskiwano w 4-letnim cyklu. Wcześniej prowadzone badania własne [Stolarski in. 2002; Kisiel i in. 2003; Szczukowski i in. 2004] wykazały, że klony wierzby z gatunku *Salix viminalis* mogą dać średnioroczny plon o wartości energetycznej 300 GJ/ha przy nakładach energii na uprawę i pozyskanie biomasy rzędu 10-12 GJ/ha. Dla porównania plon 3 t/ha nasion rzepaku ma wartość energetyczną około 85 GJ/ha przy nakładach energii na uprawę i ich pozyskanie około 20 GJ/ha [Kotowski, Weber 2000]. Natomiast wartość energetyczna rocznego przyrostu masy drewna w lasach wynosi 20-30 GJ/ha/rok przy rocznym przyroście masy drewna 2-3 t/ha na rok [Puchniarski 2000]. Wyniki te dają odpowiedź dlaczego naukowcy i praktycy w wielu krajach Europy [Danfors i in. 1998; Gigler i in. 1999; Jossart, Ledent 1999; Robinson i in. 2004] i Stanach Zjednoczonych [Kopp i in. 1997, 2001; McCracken i in. 2001] do uprawy na plantacjach polowych preferują wieloletnie rośliny energetyczne.

Pędy wierzby po zbiorze poddano procesowi naturalnego podsuszania na wolnym powietrzu w celu obniżenia zawartości wody w drewnie (rys. 1). Jednoroczne pędy sezonowano w stożkach począwszy od początku grudnia do końca czerwca. Wilgotność drewna wierzbowego w miesiącach zimowych ulegała nieznacznemu spadkowi z 55,84% do 47,58% w III dekadzie marca. W kwietniu, maju, a szczególnie w czerwcu wraz ze wzrostem średnich temperatur powietrza obserwowano bardziej znaczące obniżanie się wilgotności drewna wierzby aż do 17,40% w III dekadzie czerwca. Sezonowanie 4-letnich pędów wierzby *Salix viminalis* w luźnej stercie na podłożu ziemnym na wolnym powietrzu dało obniżenie wilgotności drewna z 48,07% do 31,00%. Ten tani, prosty sposób sezonowania całych pędów może znacząco obniżyć w praktyce koszty termicznego suszenia surowca wierzbowego.

Charakterystykę zrębków wytworzonych z sezonowanych jednorocznych i czteroletnich pędów wierzbowych oraz jednorocznych nie sezonowanych pędów ślazuca zamieszczono w tabeli 2. Zrębki te stanowiły również surowiec do produkcji peletu. Wilgotność jednorocznych zrębków wierzbowych wynosiła 17,40%, a ich gęstość nasypowa 141,9 kg/m<sup>3</sup>. Wilgotność i gęstość nasypowa zrębków pozyskanych z czteroletnich pędów były wyższe i wynosiły odpowiednio 31% i 198,8 kg/m<sup>3</sup>. Wilgotność zrębków ślazuca wynosiła 25%, a ich gęstość nasypowa była niższa niż zrębków wierzby (100,2 kg/m<sup>3</sup>). Wartość opałowa zrębków z jednorocznych pędów wierzbowych wynosiła 2,12 GJ/m<sup>3</sup>, a z czteroletnich 2,38 GJ/m<sup>3</sup>. Natomiast wartość opałowa 1 m<sup>3</sup> zrębków ślazuca była niższa niż u wierzby i wynosiła 1,26 GJ/m<sup>3</sup>.



Rys. 1. Spadek wilgotności sezonowanych na wolnym powietrzu pędów wierzby w stożkach (1-roczone) i w przyzmach (4-letnie)

Fig. 1. Reduction of the moisture content in willow stems stored on open air in heaps (annual harvest) or in piles (four years' harvesting cycle)

Źródło: badania własne

Tabela 2. Charakterystyka zrębków wytworzonych z sezonowanych pędów wierzby oraz nie sezonowanych pędów ślázowca

Table 2. Characteristics of wood chips produced from seasoned willow stems or fresh Virginia mallow stems

Wyszczególnienie		Jedn.	Zrębki wierzby z pędów		Zrębki ślázowca z pędów
			1-rocnych	4-letnich	1-rocnych
Wilgotność	$W_t$	%	17,40	31,00	25,01
Długość zakres (min – max)	$l$	mm	10,0 – 36,0	12,0 – 71,0	10,0 – 51,0
średnia			19,2	26,1	25,2
Średnica zakres (min – max)	$\phi$	mm	3,0 – 15,0	11,0 – 31,0	2,0 – 14,0
średnia			9,8	20,4	6,4
Gęstość nasypowa	$d^f$	kg/m <sup>3</sup>	141,9	198,8	100,2
Wartość opałowa	$Q_i^f$	GJ/m <sup>3</sup>	2,12	2,38	1,26
		MWh/m <sup>3</sup>	0,59	0,66	0,35

Źródło: badania własne

Zrębki wytworzone z sezonowanych pędów wierzby oraz ślázowca mogą być wykorzystywane jako paliwo stałe do celów energetycznych [Kubica 2001; Zawistowski, Rańczak 2004]. Oprócz korzystnych właściwości ekologicznych nieprzetworzona biomasa ma również wady. Ma niską koncentrację masy oraz energii w jednostce objętości co w porównaniu z węglem skutkuje większymi kosztami transportu, powierzchnią składowisk, objętością zbiorników magazynu-

### Charakterystyka zrębków oraz granulatu.....

nowych i wydajnością ciągów podawania paliwa. Dlatego zrębki jako paliwo stałe powinny być wykorzystywane do celów energetycznych lokalnie w promieniu do 50 km, albo biomasa ta może być granulowana do postaci peletu [Kowalik 2002, 2003; Stolarski 2004].

Tabela 3. Charakterystyka peletu wytworzonego z biomasy wierzby i ślazuwca oraz z trocin dębowych

Table 3. Characteristics of pellets produced from willow and Virginia mallow biomass or from the oak sawdust

Wyszczególnienie	Jednostki	Pelet z wierzby zebranej w cyklu		Pelet z ślazuwca	Pelet z trocin drewna dębowego	Wymagania normy DIN 51731	
		1-rocznym	4-letnim				
Wilgotność (%)	$W_i^d$	%	7,7	7,5	7,9	6,3	<12
Zawartość popiołu (%)	$A^d$	%	1,63	1,38	3,43	0,79	<1,5
Długość zakres (min - max) średnia	$l$	mm	6,00 - 23,8 15,7	6,0 - 24,2 15,6	6,0 - 24,1 15,2	21,0 - 34,0- 29,4	<50
Średnica	$\phi$	mm	6	6	6	6	4-10
Ciepło spalania	$Q_s^a$	kJ/kg	18325	18708	18247	19200	17500-19500
Wartość opałowa	$Q_i^f$	kJ/kg	16638	16883	16036	17902	
Gęstość nasypowa	$d^f$	kg/m <sup>3</sup>	584,3	635,6	517,2	624,5	
Wartość opałowa	$Q_i^f$	GJ/m <sup>3</sup> MWh/m <sup>3</sup>	9,72 2,70	10,73 2,98	8,30 2,30	11,18 3,11	
Azot	$N^d$	(% s.m.)	0,59	0,28	0,31	0,20	<0,3
Chlor	$Cl^f$	(% s.m.)	0,002	0,025	0,003	0,02	<0,03
Siarka	$S^d$	(% s.m.)	0,043	0,028	0,025	0,04	<0,08

Źródło: badania własne

Proces produkcji peletu z sezonowanych zrębków wierzby i niesezonowanych ślazuwca przebiegał prawidłowo. Parametry wytworzonego peletu z obu gatunków roślin porównano do peletu uzyskanego z trocin drewna dębowego i wymagań normy DIN 51731 (tab. 3). Pelet wytworzony z 4-letnich pędów wierzby oraz z drewna dębowego spełniał te wymagania. Natomiast pelet wytworzony z 1-rocznych pędów wierzby i ślazuwca nie spełniał wymagań tej normy. Zawartość popiołu w pelecie z wierzby (1-roczny cykl zbioru) i ślazuwca była wyższa odpowiednio o 0,13% i 1,93% niż dopuszcza cytowana norma. Przekroczenia dotyczyły również azotu oznaczonego w pelecie z biomasy pozyskanej w cyklu jednorocznym u obu gatunków. Natomiast zawartość chloru i siarki w pelecie wytworzonym z wierzby i ślazuwca była niższa od wymagań normy. Dostosowanie obu parametrów do wymagań normy można w przyszłości uzyskać przez odpowiednie, proporcjonalne mieszanie komponentów: trocin z drewna dębowego i rozdrobnionej biomasy wierzby i ślazuwca.

W wyniku kompaktowania biomasy wierzby pozyskanej w cyklu rocznym i czteroletnim uzyskano odpowiednio: ponad 4 i 3-krotne zwiększenie gęstości paliwa oraz ponad 4,5-krotne zwiększenie koncentracji energii w jednostce obję-

tości peletu w porównaniu ze zrębkami. Natomiast w przypadku granulacji biomasy ślázowca, gęstość peletu w stosunku do zrębków została zwiększona ponad 5-krotnie, a koncentracja energii 6,5-krotnie.

### **Wnioski**

1. Wykazano pełną przydatności sezonowanej biomasy wierzby zbieranej w cyklu rocznym i 4-letnim oraz ślázowca pozyskiwanego w jednorocznej rotacji do produkcji peletu.
2. Wartość energetyczna plonu jednorocznych pędów wierzby *Salix viminalis* i ślázowca *Sida hermaphrodita* R. była wysoka i zbliżona u obu gatunków, wyniosła odpowiednio 239,1 i 219,5 GJ/ha. Natomiast wierzby zbieranej w 4-letnim cyklu była o 40% wyższa niż w cyklu 1-rocznym.
3. Wartość opałowa zrębków wytworzonych z sezonowanych jednorocznych i czteroletnich pędów wierzbowych wynosiła odpowiednio: 2,12 GJ/m<sup>3</sup> i 2,38 GJ/m<sup>3</sup> i była wyższa niż u ślázowca (1,26 GJ/m<sup>3</sup>).
4. Pelet wytworzony z 4-letnich pędów wierzby spełniał wymagania normy DIN 51731. Natomiast pelet wytworzony z 1-rocznych pędów wierzby i ślázowca nie spełniał tych wymagań z powodu przekroczenia oznaczonej zawartości popiołu i azotu. Zawartość popiołu w pelecie ze ślázowca była ponad 2-krotnie wyższa niż z wierzby.
5. W wyniku granulacji biomasy wierzby i ślázowca gęstość peletu w porównaniu ze zrębkami została zwiększona odpowiednio prawie 4- i 5-krotnie, a koncentracja energii 4,5- i 6,5-krotnie.

### **Bibliografia**

- Danfors B., Ledin S., Rosenqvist H. 1998. Short-Rotation Willow Coppice Grower's Manual. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala
- Gigler J.K., Meedrink G., Hendrix E.M.T. 1999. Willow supply strategies to energy plants. *Biomass and Bioenergy*, 17(3): 185-198
- Grzybek A. 2003. Kierunki zagospodarowania biomasy na cele energetyczne. *Wieś Jutra*, 9: 10-11
- Grzybek A. 2004. Potencjał biomasy możliwej do wykorzystania na produkcję peletu. *Czysta Energia*, 6: 24-25
- Jossart J.M., Ledent J.F. 1999. Short rotation coppice of willow and shelterbelt effect. Biomass a growth opportunity in green energy and value-added products. (Overend R.P. and Chornet E. eds.). Proc. of 4th Biomass Conference of the Americas. Pergamon, ss. 47-53

*Charakterystyka zrębków oraz granulatu.....*

---

- Kisiel R., Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2003. Energochłonność i efektywność energetyczna uprawy wierzby krzewiastej. *Fragmenta Agronomica*, 3(79): 87-97
- Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H., Burns K.F., Nowak C.A. 1997. Cutting cycle and spacing effects on a willow clone in New York. *Biomass and Bioenergy*, 12 (5): 313-319
- Kopp R.F., Abrahamson L.P., White E.H., Volk T.A., Nowak C.A., Fillhart R.C. 2001. Willow biomass production during ten successive annual harvest. *Biomass and Bioenergy*, 20: 1-7
- Kotowski W., Weber H. 2000. Odpady roślinne źródłem energii. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 5: 19-22
- Kowalik P. 2002. Perspektywy peletyzacji biomasy w Polsce. *Czysta Energia*, 10(14): 14-15
- Kowalik P. 2003. Pelety z biomasy-paliwo przyszłości. *Aeroenergetyka*, 1: 36-37
- Kubica K. 2001. Spalanie biomasy w urządzeniach grzewczych małej mocy - emisja zanieczyszczeń. Materiały konferencyjne nt. Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku. Warszawa ss. 419-426
- McCracken A.R., Dawson W.M., Bowden G. 2001. Yield responses of willow (*Salix*) grown in mixtures in short rotation coppice (SRC). *Biomass and Bioenergy*, 21: 311-319
- Robinson K.M., Karp A., Taylor G. 2004. Defining leaf traits linked to yield in short-rotation coppice *Salix*. *Biomass and Bioenergy*, 26: 417-431
- Puchniarski H. 2000. Krajowy program zwiększenia lesistości. Zalesienia polne. PWRiL Warszawa, s. 222
- Stolarski M. 2004. Ekonomiczne aspekty produkcji peletu z surowców roślinnych. *Czysta Energia*, 6: 32-33
- Stolarski M. 2004 a. Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 3(45): 47-56
- Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J. 2002. Produktywność klonów wierzby krzewiastej uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragmenta Agronomica*, 2: 39-51
- Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A., Stolarski M. 2002. Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Rostlinna Vyroba*, 48(9): 413-417

Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M. 2004. Wierzba energetyczna. Plantpress Kraków, s. 46

Thek G., Obernberger I. 2004. Wood pellet production costs under Austrian and in comparison to Swedish framework conditions. Biomass and Bioenergy, 27: 671-693

Zawistowski J. 2003. Współspalanie biomasy drzewnej z węglem kamiennym. Czysta Energia, 9(25): 32-33

Zawistowski J., Rańczak J. 2004. Doświadczenia Instytutu Chemicznej Przeróbki węgla z badań współspalania w różnych kotłach energetycznych. Materiały konferencyjne, Zakopane, ss.: 23-31

#### **CHARACTERISTIC OF CHIPS AND PELLETS FROM THE COPPICE WILLOW AND VIRGINIA MALLOW BIOMASS AS A FUEL**

##### **Summary**

The quantities of energy obtained in biomass of coppice willow harvested in annual and four years' cutting cycles and of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* R) harvested annually were estimated. Some physico-chemical parameters of the chips and pellets produced from biomass of both plants were determined; next they were compared with pelleted oak wood sawdust and related to the requirements of DIN 51731 German standard. Energy yields from willow harvested in annual cycle and Virginia mallow were similar, whereas the willow biomass harvested every four year showed energetic value higher by 40%. Described natural drying system of willow stems on the ground appeared to be effective and easy to implementation. The pellets produced from four years' old willow stems met the DIN 51731 standard requirements whereas in case of annual harvesting cycle of willow and Virginia mallow the pellets contained too much ash and nitrogen. As a result of processing biomass into pellets, the bulk density of material increased four-and fivefold, while the energy concentration grew 4.5 and 6.5 times for willow and Virginia mallow, respectively.

**Key words:** willow coppice, Virginia mallow, biomass, energy value of biomass, woodchips, pellets, bulk density, moisture content, combustion value

*Recenzent: Anna Grzybek*



