

# ENERGIA CIEPLNA Z BIOMASY WIRZB KRZEWIASTYCH

*Prof. dr hab. Stefan Szczukowski, Dr inż. Mariusz Stolarski*  
*Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

## Wstęp i cel pracy

Obecnie drewno pozostaje liczącym się nośnikiem energii dla niektórych lokalnych grup odbiorców. Drewno, prócz dobrych właściwości energetycznych, jest paliwem ekologicznym. W trakcie jego spalania emisja zanieczyszczeń do atmosfery jest wielokrotnie mniejsza niż przy spalaniu węgla kamiennego [KOZŁOWSKI 1999]. Należy oczekiwać wzrostu znaczenia drewna w przypadku jego pozyskania wyłącznie do celów energetycznych, ze specjalnie zakładanych na gruntach rolniczych plantacji [KOWALIK 1997, GUZENDA, ŚWIRGOŃ 1997, SZCZUKOWSKI i in. 1998].

Nową koncepcją są plantacje szybko rosnących wierzb krzewiastych, które mogą być zakładane na gruntach rolniczych koniunkturalnie wyłączanych z produkcji żywności i pasz lub marginalnych (okresowo nadmiernie wilgotne) oraz zanieczyszczonych przez przemysł. Krzewiaste wierzy w porównaniu do innych gatunków roślin rolniczych i leśnych wydają się być najbardziej przydatne do intensywnej produkcji biomasy (drewna) w krótkich 2 i 3 - letnich rotacjach. Wytwarzają one w korzystnych warunkach na plantacjach połowych 14 razy większą ilość drewna (35 t/ha/rok, tj. ok. 17 t s.m./ha/rok) niż przyrosty w lesie naturalnym (ok. 4,5 m<sup>3</sup> = 2,5 t/ha/rok) [STAFFA 1965, Szczukowski i in. 2001].

Pozyskiwane drewno z plantacji energetycznych jest tanim paliwem, które może częściowo w przyszłości uniezależnić lokalnych odbiorców od dostawców zewnętrznych gazu ziemnego i oleju opałowego (tab. 1).

Istnieje wiele propozycji wykorzystania drewna wierzbowego do celów energetycznych. Obok tradycyjnego spalania proponuje się jego wysoko sprawne chemiczne przetwarzanie, zgazowanie w termogeneratorach i wytwarzanie w kotłach ciepłowniczych wody na potrzeby centralnego ogrzewania lub pary technologicznej [KOWALIK 1997, SZCZUKOWSKI S. TWORKOWSKI J. PIECHOCKI J. 2001]. Nowoczesne generatory gazujące biomasę umożliwiają dwuetapowe spalanie drewna o wysokiej wilgotności. W pierwszym etapie następuje dokładne odgazowanie i zgazowanie drewna przy obniżonej zawartości tlenu. Wytworzony w tym procesie uwodniony gaz drzewny przechodzi do drugiego stopnia wysokotemperaturowej komory spalania, w której następuje mieszanie go z nagrzanym powietrzem, a następnie jego spalanie w dyszy w temperaturze ok. 1000°C [ORGANISTA 2000, ŻUROMSKI, DUDYŃSKI 2000].

Tabela 1. Koszt jednostkowy ciepła przy zakupie paliw (ceny z 2041 r.)

Paliwo	Wartość kaloryczna GJ/t lub GJ/1000 m <sup>3</sup>	Koszt jednostki ciepła przy zakupie paliwa	
		zł/t lub zł/1000 m <sup>3</sup>	zł/t lub zł/1000 m <sup>3</sup>
Olej opałowy	43,0	1490,00	34,65
Gaz ziemny GZ 50	38,0	1003,00	26,39
Węgiel kamienny	25,0	392,78	15,71
Miał węglowy	22,0	229,60	20,93
Drewno-szczapy (p.s.m.) <sup>1</sup>	15,50	127,40	8,22
Zrębki wierzb krzewiastych (s.m.) <sup>2</sup>	19,36	160,00	8,26
Słoma zbóż	15,0	80,00	5,33

<sup>1</sup> p.s.m. - powietrznie sucha masa drewna

<sup>2</sup> s.m. -sucha masa drewna

Celem niniejszego opracowania jest wyliczenie kosztu jednostkowego wytworzenia 1 GJ energii cieplnej ze zgazowania zrębków wierzby krzewiastej w zgazowarce pirolitycznej typ EKOD współpracującej z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW.

## Metodyka badań

Analizę kosztów wytworzenia energii cieplnej ze zrębków wierzby krzewiastej *Salix* sp. wykonano na bazie surowca pozyskanego z doświadczenia polowego prowadzonego w Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Tomaszku k. Olsztyna [KISIEL i in. 2001].

W Zakładzie Przetwórstwa Drzewnego w Drygalech przeprowadzono zgazowanie zrębków *Salix* sp. w prototypowej zgazowarce pirolitycznej typ EKOD wykonanej przez firmę ZAMER [ZUROMSKI, DUDYŃSKI 2000] współpracującą z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW. Zaletą zgazowarki pirolitycznej typu EKOD jest możliwość wykorzystania paliwa o kaloryczności poniżej 12 MJ/kg i o wilgotności do 50%. Procesy przebiegające w zgazowarce są kontrolowane i stabilizowane w pełni automatycznie. Temperatura procesu zgazowania waha się w granicach od 400 do 850°C. W tych warunkach z jednej tony suchego drewna można wyprodukować 2000 m<sup>3</sup> gazu palnego. Wartość energetyczna 1000 m<sup>3</sup> gazu wynosi ok. 1,4 MW. Koszt zakupu urządzenia wynosi 700 tys. zł, a jego okres eksploatacji założono na okres 10 lat.

Urządzenie może dostarczyć ciepło do ogrzania około stu domków jednorodzinnych. Paliwem użytym do zgazowania było drewno pozyskane z dwuletnich pędów wierzby krzewiastej. Pędy wierzby zebrano o wilgotności około 50% i podsuszono w warunkach naturalnych do wilgotności 35%. Rozdrobniono je rębarką do drewna na zrębki o długości ok. 3 cm. Cenę za 1 t s.m. zrębków (160,0 zł) ustalono w odniesieniu do wartości odpadów drzewnych. W przeliczeniu cena zrębków o wilgotności 35% wyniosła 104 zł za 1 tonę. W wyliczeniach założono, że transport surowca do spalania będzie odbywał się z odległości 20 km.

Obliczenia kosztu wytworzenia 1 GJ energii cieplnej przeprowadzono w dwóch wariantach. W jednym założono, że urządzenie będzie pracowało przez 330 dni w roku, w drugim wariantcie przyjęto 231 dniowy okres pracy zgazowarki.

## Wyniki badań i ich omówienie

Do badań wykorzystano dwuletnie pędy szybko rosnących wierzby krzewiastej (*Salix viminalis*) pozyskane z doświadczenia polowego. Plon świeżej masy drewna wyniósł w doświadczeniu średnio 32,30 t/ha/rok, co w przeliczeniu dało 15,92 t/ha/rok suchej masy drewna (tab. 2). Wartość energetyczna uzyskanego plonu wyniosła 307,99 GJ/ha/rok.

**Tabela 2 Plon świeżej i suchej masy drewna wierzby krzewiastej pozyskanych z gruntów ornych w cyklu dwuletnim oraz jego wartość energetyczna**

Wyszczególnienie	Plon świeżej masy drewna (biomasy) (t/ha/rok)	Plon suchej masy drewna plonu (t/ha/rok)	Wartość energetyczna plonu (GJ/ha/rok)
Wierzba krzewiasta ( <i>Salix</i> sp.)	32,30	15,92	307,99

Opłacalność ekonomiczną uprawy *Salix* sp. uzyskuje się w Szwecji, gdy produkcja drewna przekracza 12 t s.m./ha/rok [PERTTU 1993]. Aktualnie uprawia się tam ok. 30 tys. ha wierzby krzewiastej na cele energetyczne, a plony drewna wynoszą średnio około 15,0 t/ha/rok suchej masy drewna [DANFORS i in. 1998].

Kaloryczność drewna (ciepło spalania) zrębków wynosiła 19,36 MJ/kg s.m. natomiast przy wilgotności drewna 35% wyniosła ona 12 MJ/kg (tab. 3). Po uwzględnieniu sprawności urządzenia na poziomie 80% rzeczywista wartość opała zrębków Salix sp. wynosiła 9,6 MJ/kg. Do wytworzenia 1 GJ energii cieplnej w urządzeniu użyto 104,17 kg zrębków.

**Tabela 3 Wartość kaloryczna i wilgotność zrębków pozyskanych z dwuletnich pędów wierzb krzewiastych oraz masa paliwa niezbędna na wytworzenie 1 GJ ciepła w zgazowarce typ EKOD współpracującej z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW**

Paliwo	Wartość kaloryczna (ciepło spalania) MJ/kg sm.	Wilgotność zrębków (W) %	Wartość opała (W = 35%) MJ/kg	Masa urządzenia (S) %	Wartość opała W = 35% S = 80% MJ/k	Masa paliwa na jedn. Ciepła kg/GJ
Zrębki Salix sp	19,36	35,0	12,0	80	9,6	104,17

Kozłowski 1999 twierdzi, że wartość opała drewna tego samego gatunku istotnie maleje ze wzrostem wilgotności i tylko nieznacznie zmienia się w zależności od sortymentu, czyli pochodzenia drewna z określonej części pnia i korony. Wartość opała drewna sosny przy wilgotności 15-20% wynosi 17,7-16,1% MJ/kg, natomiast przy wilgotności 80% 10,7 MJ/kg [GUZENDA, ŚWIRGON 1997]. Uzasadnione jest, więc poduszanie pędów wierzb krzewiastych najlepiej w warunkach naturalnych, natomiast ich cykl pozyskiwania (2-3 letni) wydaje się mieć znacznie mniejszy wpływ na wartość opała drewna.

Proces gazyfikacji zrębków z dwuletnich pędów wierzb krzewiastych przebiegał prawidłowo. Wytworzony w tym procesie gaz drzewny zasilał zespół palników systemu grzewczego kotła KR-100. W pierwszym wariantcie, w którym założono, że urządzenie będzie pracować przez 330 dni w roku koszty ogółem wyniosły 870,4 tys. zł (tab. 4).

**Tabela 4 Koszty wytworzenia 1 GJ energii cieplnej ze spalania zrębków 2- letnich pędów wierzb krzewiastych w zgazowarce typ EKOD współpracującej z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW**

Lp.	Wyszczególnienie	Jednostka	Wariant 1 (330 dni pracy w roku)	Wariant 2 (231 dni pracy w roku)
1.	Koszty paliwa (zrębki)	zł	617 760	237 838
2.	Koszty transportu paliwa	zł	23 760	9 148
3.	Energia elektryczna i woda	zł	35 680	24 988
4.	Płace i narzuty	zł	3 900	2 250
5.	Amortyzacja	zł	70 000	70 000
6.	Remonty i konserwacje	zł	70 000	70 000
7.	Pozostałe koszty	zł	8 211	4 142
8.	Razem koszty bezpośrednie	zł	829 311	418 365
9.	Koszty pośrednie	zł	41 055	20 711
<b>10.</b>	<b>Ogółem koszty</b>	<b>zł</b>	<b>870 366</b>	<b>439 077</b>
<b>11.</b>	<b>Ilość wytworzonego ciepła</b>	<b>GJ</b>	<b>57 024</b>	<b>21 954</b>
<b>12.</b>	<b>Jednostkowy koszt wytworzenia ciepła</b>	<b>zł/GJ</b>	<b>15,26</b>	<b>20,00</b>

Koszty bezpośrednie stanowiły 95,3% kosztów ogółem. Wśród nich największą część stanowiły koszty użytego do zgazowania paliwa 74,5%. Amortyzację ustalono na poziomie

10%, stanowiła ona 8,4% kosztów bezpośrednich. Na takim samym poziomie kształtowały się koszty związane z remontami i konserwacją. Koszty zużycia energii elektrycznej i wody wynosiły 4,3%, a koszty transportu paliwa stanowiły 2,9% kosztów bezpośrednich. Pozostałe koszty związane z płacami i innymi kosztami wynosiły od 0,47 do 0,99% kosztów bezpośrednich. Koszty pośrednie w pierwszym wariantcie wyniosły ponad 41 tys. zł i stanowiły 4,7% kosztów całkowitych. Ilość wytworzonego ciepła w pierwszym przypadku wyniosła 57 GJ, a jednostkowy koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej wyniósł 15,26 zł.

W drugim wariantcie, w którym założono, że urządzenie będzie pracować przez 231 dni w roku koszty ogółem wyniosły 439,1 tys. zł (tab. 4). Koszty bezpośrednie wyniosły 418 365 zł. Wśród nich największą część stanowiły koszty zakupu zrębków wierzbowych 56,8%. Na drugim miejscu wśród kosztów bezpośrednich były amortyzacja i koszty związane z remontami i konserwacją urządzenia (16,7%). Pozostałe koszty związane były z płacami, energią elektryczną, wodą oraz transportem i stanowiły w sumie 9,7% kosztów bezpośrednich. Koszty pośrednie w drugim wariantcie wyniosły 20 711 zł i stanowiły podobnie jak w pierwszym wariantcie 4,7% kosztów całkowitych.

Ilość wytworzonego ciepła ze zrębków wierzb krzewiastych przy 231 dniowym okresie pracy urządzenia była ponad 2,5-krotnie niższa niż w wariantcie I i wyniosła 21 954 GJ. Koszt jednostkowy wytworzenia 1 GJ energii cieplnej wyniósł 20,00 zł. Wyższy koszt wytworzenia energii cieplnej w wariantcie drugim był związany z krótszym okresem pracy urządzenia.

Kotowski i Weber 2000 twierdzą, że pirolityczne spalanie biomasy w ciepłowniach w Niemczech jest już bardzo opłacalne przy pracy urządzenia 4000 godzin (167 dni) i relatywnie cenie oleju opałowego 0,7 DM/dm<sup>3</sup> (1,4 zł/dm<sup>3</sup>).

Szpil [2000] podaje, że w kraju cena 1 GJ energii cieplnej uzyskanej z drewna opałowego wynosi ok. 16,90 zł, z węgla kamiennego spalanego w nowoczesnym kotle o sprawności 75% 20,80 zł, natomiast cena 1 GJ energii uzyskanej z gazu ziemnego i oleju opałowego odpowiednio 25,27 zł (obecnie 011.2001 około 33 zł) i 46,94 zł. Koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej pozyskanej ze spalania słomy w sezonie grzewczym 1997/1998 w Grabowcu wyniósł 8 zł [GRADZIUK 2001]. Z uzyskanych wyników własnych i cytowanych danych wynika, że koszt opalania zrębkami wierzbowymi (15,26 zł/GJ) jest ok. 2 razy mniejszy niż przy opalaniu gazem ziemnym i ponad 3-krotnie niższy niż użyciu oleju opałowego.

Reasumując należy stwierdzić, że wprowadzenie do praktyki wyników badań pozwoliłoby na: zagospodarowanie przez nasadzenia Salix sp. części gruntów aktualnie niewykorzystywanych rolniczo; wprowadzenie na rynek nowego przyjaznego dla środowiska biopaliwa - tańszego od kopalin; uzyskanie energii cieplnej - produktu o większej wartości dodanej niż ma sam surowiec (zrębki); zatrudnienie osób bezrobotnych na obszarach wiejskich i w innych dziedzinach związanych z wytwarzaniem urządzeń do lokalnej energetyki oraz dopływ nowego strumienia dochodów.

## Wnioski

Przeprowadzone badania oraz analiza uzyskanych wyników pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Plon suchej masy drewna wierzb krzewiastych pozyskany z gruntów rolniczych w cyklu dwuletnim wyniósł średnio 15,92 t/ha/rok.
2. Kaloryczność drewna wierzb krzewiastych wynosiła 19,36 MJ/kg s.m., a jego wartość opałowa (12 MJ/kg) przy wilgotności 35%.
3. Koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej ze zrębków wierzb krzewiastych w zgazowaniu pirolitycznej typ EKOD współpracującej z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW wyniósł 15,26 zł przy 330 dniowym okresie pracy urządzenia. Skrócenie czasu pracy do 231 dni spowodowało wzrost kosztu jednostkowego o 31,1% do 20,00 zł/GJ.

## Literatura:

1. DANFORS B., LEDIN S., ROSENQVIST H. Short - Rotation Willow Coppice Growers Manual. Swed. Inst.Agric.Engin. Jordbrukstekniska Institutet 1998.
2. GRADZIUK P. 2001. Możliwości wykorzystania surowców pochodzenia rolniczego na cele energetyczne. Materiały Konferencji „Ochrona środowiska formą tworzenia nowych miejsc pracy na Warmii i Mazurach”. Gajewo k/Giżycka 20 lutego: 1-7.
3. GUZENA R., ŚWIGOŃ J. 1997. Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych. *Gospodarka Paliwami i Energią*. 1: 10-20.
4. KISIEL R., SZCZUKOWSKI S., STOLARSKI M., LENIEC K. 2001. Wykorzystanie biomasy wierzb krzewiastych do wytwarzania energii cieplnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2: 65-72.
5. KOTOWSKI W., WEBER H. 2000. Odpady roślinne źródłem energii. *Gospodarka Paliwami i Energią*. 5: 19-22.
6. KOWALIK P. 1997. Tendencje w wykorzystaniu biomasy produkowanej w rolnictwie do wytwarzania ciepła, elektryczności i paliw samochodowych. *Gospodarka Paliwami i Energią*. 1: 1-5.
7. KOZŁOWSKI R. 1999. Drewno jako surowiec energetyczny w gospodarstwie domowym. *Wieś jutra*. 1: 21-22.
8. ORGANISTA W. 2000. Ciepło z drewna i jego odpadów. *Top Agrar Polska*. 10: 78-81.
9. STAFFA K. 1965. Studia nad szybko rosnącymi wierzbnami jako surowcem dla przemysłu celulozowo-papierniczego. *Hodowla Rośl. Aklim. i Nas.*, 9, 2: 180-224, cz.II i III, 3: 320-338.
10. SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., KWIATKOWSKI J. 1998. Możliwości wykorzystania biomasy *Salix* sp. pozyskiwanej z gruntów ornych jako ekologicznego paliwa oraz surowca do produkcji celulozy i płyt wiórowych. *Postępy Nauk Rol.*, 2: 53-63.
11. SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J. 2001. Produktywność oraz wartość energetyczna biomasy krzewiastych wierzbnów *Salix* sp. na różnych typach gleb w pradolinie Wisły. *Post. Nauk Rol.*, 2: 30-39.
12. SZCZUKOWSKI S., TWORKOWSKI J., PIECHOCKI J. 2001. Nowe trendy wykorzystania biomasy pozyskiwanej na gruntach rolniczych do wytwarzania energii. *Post. Nauk Rol.*, 6: 87-96.
13. SZPIL Z. 2000. Źródła ciepła i ceny energii. *Aura*. 3: 24-25.
14. ŻUROMSKI Z., DUDYŃSKI M. 2000. Zgazowarka pirolityczna (EKOD). Materiały firmy „ZAMER”.