

*ROMAN KISIEL*  
*MARIUSZ STOLARSKI*  
*STEFAN SZCZUKOWSKI*  
*JÓZEF TWORKOWSKI*  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski  
Olsztyn

## **BIOMASA POZYSKIWANA Z GRUNTÓW ROLNICZYCH ŹRÓDŁEM ENERGII**

### **Aspekty przemawiające za wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii**

Odnawialne źródła energii (OZE), do których zlicza się energię biomasy, wiatru, wody, słoneczną i geotermianą, zaczynają odgrywać coraz ważniejszą rolę. Przyczyniają się one do osłabienia efektu cieplarnianego i stanowią alternatywę dla kopalin (ropy, gazu i węgla kamiennego). Za wzrostem wykorzystania OZE przemawiają niżej wymienione aspekty.

#### **Ekologiczne**

Cywilizacja nasza staje dziś przed koniecznością przeciwdziałania niekorzystnym zmianom, jakie zachodzą w środowisku naturalnym, aby zachować je dla następnych pokoleń ludzkości. Intensywna eksploatacja, przetwarzanie i wykorzystanie kopalnych surowców energetycznych uniemożliwia zachowanie klimatu ze względu na efekt cieplarniany. Efekt cieplarniany jest zjawiskiem globalnym, dotyczy zatem wszystkich ludzi na Ziemi, niezależnie od miejsca ich przebywania. W związku z tym podejmowane są ogólnoświatowe wysiłki na rzecz ograniczenia tego zjawiska. Na konferencji w Kioto w 1997 r. Polska zobowiązała się do redukcji emisji gazów cieplarnianych średnio o 5,2% w latach 2008–2012 (w porównaniu do 1990 r.) [40]. Wykorzystanie energii słońca, wody, wiatru ograniczy efekt cieplarniany. Wykorzystanie biomasy postrzegane jest jako neutralne wobec efektu cieplarnianego. Rośliny w okresie wegetacji w procesie fotosyntezy pobierają taką samą ilość dwutlenku węgla, jaka wydziela się podczas spalania ich biomasy [20]. Produkcja energii z np. węgla kamiennego obciąża atmosferę znaczną emisją dwutlenku węgla, dwutlenku siarki, tlenkami azotu (NO<sub>x</sub>), a także lotnymi popiołami. Ponadto należy uwzględnić obciążenie środowiska związane z pozyskiwaniem i transportem paliwa. Natomiast w przypadku spalania biomasy uzyskuje się znaczący stopień redukcji w porównaniu z węglem SO<sub>2</sub>, czy zanieczyszczeń organicznych, w tym wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych oraz lotnych związków organicznych [17].

Na polowych plantacjach roślin energetycznych istnieje potencjalna możliwość recyklingu stabilizowanych osadów ściekowych z lokalnych oczyszczalni ścieków. Związki biogenne zawarte w osadach mogą być wykorzystane do nawożenia plantacji roślin energetycznych [21]. Sposób stosowania oraz dawki osadów ściekowych powinny być zgodne z Rozporządzeniem Ministra Środowiska [26]. Do nawożenia plantacji roślin energetycznych można wykorzystać również popiół powstający ze spalania biomasy. Jest on źródłem m.in. węglanów wapnia i potasu.

### Gospodarcze

Zmniejszające się zasoby paliw kopalnych: węgla, gazu czy ropy są problemem w skali świata. Prognozy wskazują, że już w 2010 roku grozi na rynku światowym deficyt ropy w ilości ok. 1,4 mld ton rocznie [1]. Według udokumentowanych w świecie zasobów ropy, przy obecnym poziomie wydobycia wystarczy jej na ok. 40-60 lat. Zasoby gazu ziemnego zostały oszacowane na 60 lat, a węgla kamiennego na 200-300 lat w skali Świata. Dlatego też pozyskiwanie energii odnawialnej (OZE) w postaci paliw płynnych, stałych i gazowych staje się dziś koniecznością.

Należy również zwrócić uwagę na bardzo ważny fakt, że upowszechnienie stosowania OZE w celu pozyskiwania energii pozwoli na częściowe uniezależnienie się od zagranicznych dostaw paliw kopalnych. W Polsce główne nadzieje wiąże się z energetycznym wykorzystaniem biomasy jako źródła paliw stałych oraz przetwarzaniem jej do wtórnych nośników energii płynnych i gazowych. Obiecująca jest produkcja paliw płynnych (metanolu) z lignocelulozowej biomasy. Metanol może być użyty jako biokomponent do benzyn, jak również jako źródło wodoru w ogniwach paliwowych, które są postrzegane jako generatory energii XXI wieku [2].

W Polsce obecnie tereny niewykorzystane rolniczo szacuje się na około 1,4 mln ha [12]. Ponadto, aby nasze rolnictwo było konkurencyjne wobec rolnictwa UE, musimy zwiększyć wydajność podstawowych roślin rolniczych z jednostki powierzchni, co potencjalnie wpłynie na zwolnienie części arealu gruntów. W związku z tym, przeznaczenie części tych gruntów pod uprawy roślin energetycznych może być alternatywą dla tradycyjnej produkcji rolniczej [28, 35, 36].

### Společne

Energetyczne wykorzystanie biomasy produkowanej na gruntach ornych stwarza szansę na zachowanie dotychczasowych i powstanie nowych miejsc pracy w rolnictwie, w sektorach produkujących urządzenia do zbioru, przetwarzania i energetycznego wykorzystania biomasy. Ocenia się, że energetyka odnawialna może przynieść 5 razy więcej miejsc pracy niż sektor paliw kopalnych, a 15 razy więcej niż np. elektrownie jądrowe [13].

Zwiększanie wykorzystania biomasy odpadowej i produkowanej na gruntach rolniczych do celów energetycznych wpłynęłoby na rozwój infrastruktury wiejskiej i wzrost zatrudnienia w sektorze rolniczo-energetycznym [14].

## Ekonomiczne

Często podaje się w literaturze, że bezpośredni koszt wytworzenia 1 GJ energii z węgla kamiennego (sortyment miał) jest niższy niż np. z biomasy. Jednakże rzadko uwzględnia się całkowite koszty paliw kopalnych związane z ich pozyskiwaniem, usuwaniem szkód powstających przy ich wydobywaniu, emisją zanieczyszczeń do środowiska i inne. Mimo to w wielu opracowaniach podaje się, że wytwarzanie energii cieplnej z biomasy jest tańsze niż jej produkcja z gazu ziemnego, oleju opałowego [11, 16, 37, 39]. Dlatego też lokalne wykorzystanie biomasy do celów energetycznych w kraju szybko wzrasta. Na obszarach wiejskich modernizuje się liczne ciepłownie, aktualnie opalane węglem i przystosowuje się je do spalania biomasy: zrębków, granulatu drzewnego i słomy. Ponadto obserwuje się stały wzrost cen kopalin, co w przyszłości jeszcze bardziej uatrakcyjni wykorzystanie biomasy.

Ważnym argumentem przemawiającym za energetycznym wykorzystaniem biomasy jest zamknięcie obiegu pieniądza na obszarze gminy. Bowiem każda złotówka wydana na olej opałowy czy gaz ziemny wypływa najczęściej poza teren gminy, a bardzo często też poza teren kraju. Wykorzystanie biomasy jako surowca energetycznego powoduje, że środki finansowe za produkowane paliwo pozostają w gminie. Podmioty wytwarzające paliwo z biomasy mają środki na inwestycje i rozwój oraz mogą zatrudnić nowych pracowników w branży rolniczo-energetycznej.

### Wymogi dotyczące wykorzystania OZE w UE i w Polsce

Biała Księga – Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii – jest kluczowym dokumentem wyznaczającym długookresową politykę UE w zakresie wykorzystania odnawialnych źródeł energii [7]. W dokumencie tym wyznaczono cel ilościowy podwojenia udziału OZE w strukturze zużycia energii pierwotnej z 6% do 12% odpowiednio w latach 1998-2010. Z dokumentu tego wynika, że największy udział w wytwarzaniu energii z OZE będzie miała biomasa. Parlament Europejski i Rada Europy przyjęły dyrektywy wspierające wykorzystanie OZE. dyrektywa 2001/77/WE z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych [3]; dyrektywa 2003/30/WE z dnia 8 maja 2003 r. w sprawie wspierania użycia w transporcie biopaliw lub innych paliw odnawialnych [4]; dyrektywa 2005/32/WE ustanawiająca ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię [5]; dyrektywa 2003/96/WE z dnia 27 października 2003 r. w sprawie restrukturyzacji wspólnotowych przepisów ramowych dotyczących opodatkowania produktów energetycznych i energii elektrycznej [6].

Dokumenty krajowe, to Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej z dnia 5 września 2000 r. [19], która podaje między innymi „...celem strategicznym jest zwiększenie udziału energii ze źródeł odnawialnych w bilansie paliwowo-energetycznym kraju do 7,5% w 2010 roku i do 14% w 2020 roku w strukturze zużycia nośników pierwotnych...”.

Polityka energetyczna Polski do 2025 roku, przyjęta przez Radę Ministrów w dniu 4 stycznia 2005 r. [18] zakłada, że wykorzystanie odnawialnych źródeł energii prowadzone będzie w trzech obszarach: energii elektrycznej, ciepła oraz biokomponentów,

wykorzystywanych w paliwach ciekłych i biopaliwach ciekłych. Określa się w niej również, że technologie wykorzystujące biomasę stanowiąc będą podstawowy kierunek rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce. Podkreśla się jednocześnie, że wykorzystanie biomasy do celów energetycznych nie powinno powodować niedoborów drewna w przemyśle drzewnym, celulozowo-papierniczym i płyt drewnopochodnych. Dlatego priorytetem staje się wykorzystanie biomasy pochodzącej z upraw energetycznych, słomy, a także odpadów z rolnictwa i leśnictwa oraz odpadów komunalnych. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 16 sierpnia 2005 roku [24], określa, że w roku 2010 udział odnawialnych zasobów energii do wytwarzania energii elektrycznej stanowić będzie: biomasa 4 %, wiatr 2,3%, woda 1,2%. Według Rozporządzenia Ministra Gospodarki [25], udział ilościowy sumy energii elektrycznej dla przedsiębiorstw energetycznych w 2005 r. z OZE ma wynosić nie mniej niż 3,1% i wzrastać do 9,0% w 2014 r. Zapisano w tym dokumencie również, że udział biomasy pochodzącej spoza gospodarki leśnej, czyli między innymi z polowych upraw roślin energetycznych, powinien wynosić w 2008 roku nie mniej niż 5% i ma on zwiększyć się w kolejnych latach do 60% w 2014 roku.

### Powszechność i dostępność paliw – ceny energii z różnych paliw

Biomasa może być użyta do produkcji paliwa stałego (zrębków, balotów, brykietu, pelety), wykorzystywanego do wytworzenia ciepła lub w skojarzeniu energii cieplnej i elektrycznej [11, 16, 29, 30]. Istnieje również możliwość współpalania biomasy w mieszance z miałem węglowym w elektrociepłowniach [45]. Biomasa jest stosunkowo tanim paliwem, o dużym potencjale, charakteryzującym się wysokim stopniem samowystarczalności kraju na to paliwo. Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych wiąże się, jak podkreślano wcześniej, ze znaczną redukcją emisji gazów cieplarnianych.

Przybliżone wartości cen detalicznych paliw oraz koszt zakupu 1 GJ energii w poszczególnych paliwach przedstawiono w tabeli 1 (dane styczeń 2006 r.).

Tabela 1

Koszt jednostkowy ciepła przy zakupie paliw

Paliwo	Wartość kaloryczna GJ · t <sup>-1</sup> lub GJ · 1000 m <sup>3-1</sup>	Koszt jednostki ciepła przy zakupie paliwa	
		zł · t <sup>-1</sup> lub zł · 1000 m <sup>3-1</sup>	zł · GJ <sup>-1</sup>
Olej opałowy	43,0	2600,0	60,47
Gaz ziemny	38,0	1480,0	38,95
Węgiel kamienny	25,0	455,0	18,20
Węgiel kamienny sortyment miał	22,0	255,0	11,59
Pelety z drewna	18,0	440,0	22,44
Zrębki wierzb krzewiastych (20% wilgotność)	14,8	160,0	10,80
Ziarno owsa	13,0	280,0	21,54
Słoma	15,0	120,0	8,0

Źródło: Obliczenia własne.

Na końcowy efekt finansowy produkcji energii cieplnej składa się wiele czynników. Istnieje jednak obecnie wiele pozytywnych przykładów zamiany kotłów zasilanych olejem opalowym na biomasę. Przeprowadzono analizę zamiany kotła olejowego o mocy 300 kW na kocioł wykorzystujący brykiet ze słomy [9]. Zamiana paliwa z oleju na brykiet ze słomy wpłynęła na obniżenie kosztów o ponad 40%. Kolejnym przykładem zamiany paliwa konwencjonalnego na biomasę jest modernizacja kotłowni Zespołu Szkół w Ełku [42]. Szkoła ta zużywała rocznie około 600 ton węgla w kotłowni o mocy 1,1 MW. Przeprowadzona modernizacja starej kotłowni węglowej na kotłownię wykorzystującą zrębki drzewne oraz docieplenie budynku pozwoliło na zmniejszenie mocy kotłowni z 1,1 MW do 0,6 MW. Cała inwestycja przyniosła wymierne efekty ekonomiczne, jak również ekologiczne. W miejscowości Łukta przeprowadzono modernizację kotłowni o mocy 2 MW opalanej węglem na zrębki drzewne [8]. W wyniku przeprowadzonej modernizacji obniżono koszty produkcji energii cieplnej, jak również opłaty za korzystanie ze środowiska. Elektrownia Opole S.A., prowadzi współspalanie biomasy lignocelulozowej z miałem węglowym [44]. Jednym z czynników, który nakłonił zakład do takich działań jest fakt, że „zieloną energię” można sprzedawać po korzystniejszej cenie niż energię wytworzoną z tradycyjnych paliw kopalnych. Elektrownia założyła ponadto własną plantację wierzby energetycznej i jest gotowa do współpracy z rolnikami oraz firmami mogącymi dostarczać biomasę.

Rynek biomasy jest obecnie w fazie rozwoju, dlatego też dominują przede wszystkim inicjatywy lokalne, gdzie to paliwo stosunkowo najłatwiej pozyskać. Jednakże w kraju istnieją już duże, bardzo dobrze zorganizowane firmy, które dostarczają duże partie pożądaných sortymentów biomasy do odbiorcy, a powstanie nowych firm jest tylko kwestią czasu.

### **Badania prowadzone w UW-M w Olsztynie**

W Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie od kilkunastu lat prowadzone są badania w zakresie hodowli, uprawy wierzby krzewiastej, przetwórstwa i wykorzystania biomasy do celów energetycznych [15, 23, 27, 28, 31, 34, 38].

#### **Produktywność wierzby energetycznej**

Produkcja biomasy lignocelulozowej szybko rosnących wierzby krzewiastej (*Salix* spp.) na połowych plantacjach energetycznych jest nowym kierunkiem produkcji rolniczej. Wzrasta zainteresowanie tą nową działalnością rolniczą, określaną jako „agroenergetyka”. O sukcesie rolnika w uprawie wierzby zdecyduje plon biomasy z jednostki powierzchni, cena jednostkowa za wyprodukowany surowiec i w konsekwencji zysk. Dlatego też należy zwrócić szczególną uwagę na czynniki, które będą o tym decydować. Potencjalny plantator może mieć wpływ przede wszystkim na wysokość plonów drewna wierzbowego zbieranego z jednostki powierzchni. Jednym z głównych czynników decydujących o wysokości przyszłych plonów jest wybór odpowiedniej odmiany do nasadzeń i jakość somatyczna sadzonek. Kolejnym bardzo istotnym warunkiem jest wybór stanowiska glebowego. Wierzby można uprawiać na różnych glebach, pod warunkiem dobrego zaopatrzenia w wodę i skład-

niki pokarmowe. Bardzo ważne jest również właściwie prowadzenie zabiegów agrotechnicznych, począwszy od przygotowania stanowiska, zabiegów pielęgnacyjnych i ochronnych oraz gęstość sadzenia roślin i częstotliwość zbioru pędów [41].

W jednym z przeprowadzonych doświadczeń własnych [32] plon suchej masy drewna wierzbr krzewiastych wyniósł średnio  $16,79 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  (tab. 2). Był on najwyższy u klonu *Salix viminalis* x *S. viminalis lanceolata* ( $22,89 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), u pozostałych klonów był on istotnie niższy. Klon *Salix triandra* plonował średnio około 3-krotnie niżej niż *Salix viminalis* x *S. viminalis lanceolata*. Najwyższy plon u badanych klonów stwierdzono w czteroletnim cyklu zbioru średnio  $20,04 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Istotnie niższy plon uzyskano przy zbiorze pędów w cyklu jednorocznym  $13,69 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Klon *Salix viminalis* x *S. viminalis lanceolata* zbierany w cyklach jednorocznych dał wysoki plon suchej masy drewna ( $18,22 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ ), co preferuje go do uprawy na plantacjach energetycznych przy zagęszczeniu 50 tys. roślin  $\cdot \text{ha}^{-1}$ . Najwyższy plon w doświadczeniu dał genotyp *Salix viminalis* x *S. viminalis lanceolata*  $29,56 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$  przy zbiorze co cztery lata. Równie wysoki plon w czteroletnim cyklu zbioru uzyskano u genotypu *Salix viminalis* var. *regalis*  $25,24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ . U genotypów *Salix viminalis* x *S. viminalis lanceolata*, *Salix viminalis* var. *gigantea* oraz *Salix viminalis* var. *regalis* stwierdzono wzrost plonu suchej masy drewna, wraz z wydłużaniem cyklu zbioru od jednorocznego do czteroletniego. Natomiast odwrotną zależność stwierdzono u genotypu *Salix triandra*, gdzie wydłużanie cyklu zbioru wpływało na obniżenie plonu drewna. Wskazuje to na fakt, że ten genotyp nie nadaje się do intensywnej uprawy na gruntach rolniczych w celu produkcji biomasy w cyklach 2, 3 i 4-letnich.

Tabela 2

Plon suchej masy drewna *Salix* spp. ( $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ )

Nazwa botaniczna klonu (a)	Częstotliwość zbioru (b)				
	Co rok	Co 2 lata	Co 3 lata	Co 4 lata	Średnio
<i>Salix triandra</i>	$9,87 \pm 1,75$	$8,74 \pm 0,65$	$6,88 \pm 0,47$	$5,20 \pm 3,38$	$7,67 \pm 0,98$
<i>Salix viminalis</i> x <i>S. viminalis lanceolata</i>	$18,22 \pm 0,90$	$21,34 \pm 1,26$	$22,84 \pm 0,54$	$29,56 \pm 2,47$	$22,89 \pm 1,26$
<i>Salix viminalis</i> var. <i>gigantea</i>	$13,11 \pm 1,42$	$14,99 \pm 2,05$	$18,98 \pm 0,45$	$20,17 \pm 4,94$	$16,81 \pm 1,45$
<i>Salix viminalis</i> var. <i>regalis</i>	$13,55 \pm 0,88$	$18,61 \pm 1,09$	$21,30 \pm 0,64$	$25,24 \pm 4,12$	$19,68 \pm 1,47$
Średnio	$13,69 \pm 0,96$	$15,92 \pm 1,36$	$17,50 \pm 1,64$	$20,04 \pm 2,93$	$16,79 \pm 0,96$
	NIR <sub>0,05</sub>	a - 3,06	b - 3,01	a x b - 6,12	

Źródło: Badania własne,  $\pm$  błąd standardowy.

Porównując produktywność klonów *Salix viminalis*, *Salix viminalis* x *Salix purpurea* oraz *Salix americana* na dwóch różnych stanowiskach glebowych w jednorocznych cyklach zbioru pędów stwierdzono, że wierzba uprawiana na madzie

średniej plonowała istotnie wyżej niż na madzie lekkiej – odpowiednio 13,81 i 5,43 t · ha<sup>-1</sup> suchej masy drewna (tab. 3) [41]. Na madzie średniej zdecydowanie najwyżej plonował klon z gatunku *Salix viminalis* (16,88 t · ha<sup>-1</sup>), a *Salix americana* – słabiej (11,14 t · ha<sup>-1</sup>). Uprawa tych klonów na słabszym stanowisku glebowym, przy okresowym niedostatku wody, wpłynęła na znaczne obniżenie plonów. Rośliny *Salix viminalis* plonowały ponad trzykrotnie niżej niż na madzie średniej, natomiast u *Salix viminalis* x *Salix purpurea* oraz *Salix americana* dały dwukrotnie niższe plony. Spośród badanych klonów uprawianych na madzie lekkiej najwyższy plon suchej masy drewna dał mieszańiec *Salix viminalis* x *Salix purpurea* (6,35 t · ha<sup>-1</sup>). Można przypuszczać, że mieszańce mogą być bardziej przydatne do uprawy na słabszych stanowiskach glebowych niż *Salix viminalis*. W badaniach prowadzonych na madzie ciężkiej, kompleks zbożowo-pastewny mocny 8, kl. bonitacji rolniczej III b, przy zbiorze roślin *Salix viminalis* w cyklach jednorocznych uzyskano średnio 14,8 t s.m. · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup> drewna. W miarę wydłużania cyklu zbioru do dwu- i trzy-letniego, plon wzrastał do ponad 16 i 21 t s.m. · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup> (tab. 4). Ciepło spalania zrębków otrzymanych z zebranych pędów wierzby zawierało się w przedziale od 18,6 do 19,6 MJ · kg<sup>-1</sup> s.m. Wartość energetyczna pozyskanego drewna wynosiła od 274,87 przy zbiorze roślin co roku, do 309,35 i 419,95 GJ · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup> odpowiednio przy zbiorze co dwa i trzy lata.

Tabela 3

**Plon suchej masy drewna wierzb krzewiastych uzyskany  
na madzie średniej i lekkiej w jednorocznym cyklu zbioru (t · ha<sup>-1</sup>)**

Nazwa botaniczna klonu	Stanowisko glebowe	
	mada średnia	mada lekka
<i>Salix viminalis</i>	16,88	5,28
<i>Salix viminalis</i> x <i>Salix purpurea</i>	13,43	6,35
<i>Salix americana</i>	11,14	4,67
Średnio	13,81	5,43

Źródło: Badania własne.

Tabela 4

**Plon suchej masy drewna wierzb krzewiastych, ciepło spalania, zawartość popiołu  
oraz wartość energetyczna plonu w zależności od częstotliwości zbioru**

Cykl zbioru pędów	Plon suchej masy (t · ha <sup>-1</sup> · rok <sup>-1</sup> )	Ciepło spalania drewna (MJ · kg <sup>-1</sup> s.m.)	Zawartość popiołu (%)	Wartość opałowa plonu (G · J · ha <sup>-1</sup> · rok <sup>-1</sup> )
co rok	14,81	18,56	1,89	274,87
co dwa lata	16,07	19,25	1,37	309,35
co trzy lata	21,47	19,56	1,28	419,95
Średnio	17,45	19,12	1,51	334,72
NIR <sub>0.05</sub>	2,01	ni	0,42	94,54

Źródło: Badania własne.

## Energetyczne wykorzystanie biomasy wierzby

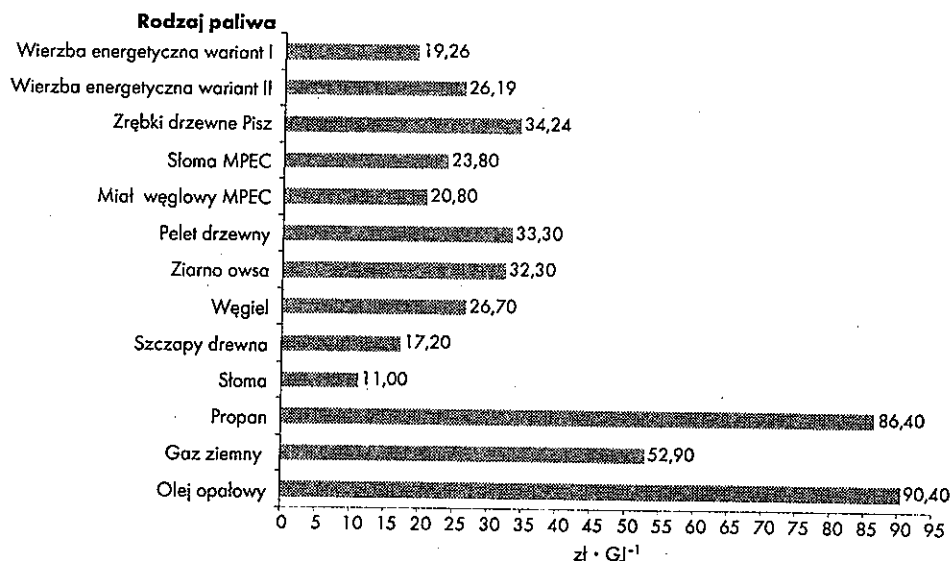
Obecnie proponuje się zgazowanie drewna wierzbowego w termogeneratorach i wytwarzanie w kotłach ciepłowniczych wody na potrzeby centralnego ogrzewania lub pary technologicznej. Nowoczesne generatory o sprawności 80% zgazowują drewno, o wilgotności do 50%, dwuetapowo. Początkowo przy bardzo ograniczonym dostępie powietrza następuje odgazowanie drewna, a w następnym drugim etapie prawie całkowite jego zgazowanie. Wytworzony w tym procesie gaz drzewny, którego głównym składnikiem jest tlenek węgla, łączy się z gorącym powietrzem w dyszy kotła i mieszanina ta jest spalana w temperaturze ponad 1000°C [46]. Analizę kosztów wytworzenia energii cieplnej ze zrębków wierzby krzewiastej *Salix* spp. wykonano na bazie surowca pozyskanego z doświadczenia polowego prowadzonego w Stacji Dydaktyczno-Doświadczalnej w Tomaszku koło Olsztyna [33]. Przeprowadzono zgazowanie zrębków wierzby w prototypowej zgazowarce pirolitycznej typ EKOD, współpracującej z kotłem KR-100 o mocy 2,33 MW.

Paliwem użytym do zgazowania było drewno pozyskane w okresie zimowym z trzyletnich pędów wierzby krzewiastej o wilgotności 47%. Trzyletnie pędy wierzby bezpośrednio po zbiorze rozdrobniono rębarką do drewna na zrębki o długości ok. 3 cm. Cenę za 1 t suchej masy zrębków (160,0 zł) ustalono w odniesieniu do wartości drewna opałowego. W wyliczeniach założono, że transport surowca do zgazowania będzie odbywał się z odległości 20 km. Obliczenia kosztu wytworzenia 1 GJ energii cieplnej przeprowadzono w dwóch wariantach. W wariantcie 1 założono, że urządzenie będzie pracowało przez 330 dni w roku, w wariantcie 2 przyjęto 231 dniowy okres pracy zgazowarki. W trakcie przeprowadzonego eksperymentu zgazowania drewna wierzbowego wykonano pomiar emisji.

Koszt wytworzenia 1 GJ energii cieplnej wyniósł 26,19 zł przy pracy urządzenia w okresie grzewczym (231 dni) – był on około 2-krotnie niższy niż przy użyciu oleju opałowego. Wydłużenie czasu pracy urządzenia do 330 dni w roku wpłynęło na obniżenie jednostkowego kosztu wytworzenia 1 GJ energii cieplnej do 19,26 zł. Pomiar emisji pyłu, tlenku węgla i tlenków azotu przy zgazowaniu zrębków wierzbowych był odpowiednio: 76-krotnie, 3-krotnie oraz 2-krotnie niższy od aktualnie obowiązujących norm. W spalinach stwierdzono śladową emisję dwutlenku siarki.

Koszty produkcji energii cieplnej zależą od wielu czynników. Przede wszystkim od rodzaju surowca energetycznego, jego ceny, zastosowanej technologii do wytwarzania energii i jej wielkości, organizacji pracy itp. Na rysunku 1 przedstawiono porównanie kosztów produkcji energii (zł · GJ<sup>-1</sup>) uzyskanych w badaniach własnych do średnich kosztów wytwarzania energii z miazgi węglowej w kotłowniach o mocy 4 i 17,5 MW i słomy w kotłowniach o mocy 1 i 7 MW w MPEC Lubiąż [10]. Przedstawiono również cenę energii cieplnej u odbiorcy końcowego ze zrębków drzewnych w ciepłowni w Pieszku o mocy 21 MW [22]. Podano także ceny ciepła dla użytkowników indywidualnych wynikające z cen detalicznych paliw ze stycznia 2006 r. Koszty produkcji 1 GJ podano dla słomy, szczap drewna, węgla, ziarna owsa, peletu drzewnego, gazu ziemnego, propanu i oleju opałowego [43].





Rys. 1. Koszt wytworzenia energii ciepłej z różnych paliw w różnych warunkach.

### Podsumowanie

Biomasa lignocelulozowa to przyszłościowy ekologiczny surowiec energetyczny. Obecnie wzrasta zainteresowanie tą nową działalnością rolniczą, określaną jako „agroenergetyka”. Należy zwrócić uwagę na fakt, że plony wierzby krzewiastej mogą być bardzo zróżnicowane i wahać się od zaledwie 5 t s.m. · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup> do nawet 30 t s.m. · ha<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup>. Jednym z głównych czynników decydujących o produktywności roślin jest wybór odpowiedniej odmiany do nasadzeń i jakość somatyczna sadzonek. Bardzo ważnym czynnikiem jest wybór stanowiska glebowego oraz właściwie prowadzenie zabiegów agrotechnicznych począwszy od przygotowania stanowiska, zabiegów pielęgnacyjnych i ochronnych, a także gęstość sadzenia roślin i częstotliwość zbioru pędów. Wytwarzanie energii ciepłej w oparciu o biomasę w odpowiednich do tego celu urządzeniach jest uzasadnione ekonomicznie, zmniejsza również zanieczyszczenie środowiska w porównaniu do spalania paliw kopalnych. Koszt wytworzenia 1 GJ energii ciepłej w oparciu o zgazowarkę pizolityczną wynosił od 19,26 zł do 26,19 zł, a emisja pyłu, tlenku węgla i tlenków azotu była znacznie niższa od aktualnie obowiązujących norm. Ponadto energetyczne wykorzystanie biomasy generuje nowe miejsca pracy w całym łańcuchu, począwszy od wytwarzania urządzeń do spalania, pozyskiwania biomasy, jej dystrybucji, przetwarzania oraz wytwarzania energii. Lokalnie produkowana i wykorzystana energetycznie biomasa w pewnym stopniu uniezależnia lokalną społeczność od zewnętrznych dostawców oleju opałowego i gazu ziemnego.

**Literatura:**

1. Ciechanowicz W.: Biopaliwa. Aura 2002.
2. Ciechanowicz W.: Ognia paliwowe. W monografii „Ognia paliwowe i biomasa lignocelulozowa szansą rozwoju wsi i miast”, WSISiZ Warszawa 2003.
3. Dz. Urz. WE L 283 z 27.10.2001.
4. Dz. Urz. WE L 123 z 17.5.2003.
5. Dz. Urz. WE L 191 z 22.7.2005.
6. Dz. Urz. WE L 283 z 31.10.2003.
7. European Commission White Paper Energy for the future, renewable energy source. European Commission, Brussels 1997.
8. Gmina Łukta: Wykorzystanie biomasy na terenie gminy Łukta. Materiały Konferencyjne „Ochrona środowiska a produkcja biomasy i jej wykorzystanie na terenie województwa Warmińsko-Mazurskiego”. W-M ODR, Olsztyn 17.11.2005.
9. Gostkowski R.: Analiza porównawcza kotłowni olejowej i kotłowni opalanej brykietem ze słomy o mocy 300 kW. Konferencja „Ekologiczna energia – przyjazna człowiekowi i środowisku”. M ODR w Warszawie, Oddział Poświętne, 8-9.12.2005.
10. Gradziuk P.: Koszty produkcji energii cieplnej ze słomy w miejskim przedsiębiorstwie energetyki cieplnej. Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G, T. 92, z.1, 2005.
11. Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma paliwo energetyczne. Rozdz. Ekonomiczna analiza wykorzystania słomy na cele energetyczne. Wieś Jutra 2001.
12. GUS: Ochrona środowiska, informacje i opracowania statystyczne. Warszawa 2005.
13. Karaczun Z. M., Kassenberg A.: Problemy rozwoju odnawialnych źródeł energii w Polsce. Materiały konferencyjne „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”. Warszawa 10-11 grudnia 2001.
14. Kisiel R., Stolarski M.: Energia odnawialna z biomasy wierzb krzewiastych. Wieś Jutra nr 7, 2004.
15. Kisiel R., Szczukowski S., Stolarski M.: Ekonomiczne aspekty pozyskiwania ekologicznego surowca energetycznego z wierzb krzewiastych uprawianych na gruntach ornych. Ochrona Środowiska nr 4, 2001.
16. Kisiel R., Szczukowski S., Stolarski M., Leniec K.: Wykorzystanie biomasy wierzb krzewiastych do wytwarzania energii cieplnej. Problemy Inżynierii Rolniczej nr 2, 2001.
17. Kubica K.: Spalanie biomasy w urządzeniach grzewczych małej mocy – emisja zanieczyszczeń. Materiały konferencyjne „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”. Warszawa 10-11.12.2001.
18. Ministerstwo Gospodarki i Pracy. Polityka energetyczna Polski do 2025 roku. Dokument przyjęty przez Radę Ministrów w dniu 4 stycznia 2005 roku.
19. Ministerstwo Środowiska. Strategia Rozwoju Energetyki Odnawialnej. Warszawa, wrzesień 2000.
20. Nalborczyk E.: Biopaliwa dla Polaków. Biuletyn Komitetu Badań Naukowych nr 9, 2002.

21. Perttu K. L.: Environmental and hygienic aspects of willow coppice in Sweden. *Biomass Bioenergy* 16, 4. 1999.
22. Pośrednik H.: Praktyczne wykorzystanie biomasy do celów energetycznych. Materiały Konferencyjne „Ochrona środowiska a produkcja biomasy i jej wykorzystanie na terenie województwa Warmińsko-Mazurskiego”. W-M ODR, Olsztyn 17.11.2005.
23. Przyborowski J. A., Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.: Indukcja organogenezy *in vitro* u ślazuwca pensylwańskiego (*Sida hermaphrodita* Rusby). *Biotechnologia* 2, 2004.
24. Raport określający cele w zakresie udziału energii elektrycznej wytwarzanej w odnawialnych źródłach energii znajdujących się na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej, w krajowym zużyciu energii elektrycznej w latach 2005-2014. Rada Ministrów, 16 sierpnia 2005 roku.
25. Rozporządzenie Ministra Gospodarki w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej oraz zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii z 19 grudnia 2005 r. Dz. U. nr 261, poz. 2187.
26. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. *Dziennik Ustaw* nr 134, poz. 1140.
27. Stolarski M., Kisiel R., Szczukowski S., Tworkowski J.: Opłacalność produkcji wierzb krzewiastych na gruntach rolniczych w krótkich rotacjach i przy różnym zagęszczeniu roślin. *Roczniki Nauk Rolniczych, Seria G*, T. 89, z. 2, 2002.
28. Stolarski M.: Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 3, 2004.
29. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J., Kwiatkowski J., Grzelczyk M.: Charakterystyka zrębków oraz peletów (granulatów) z biomasy wierzb i ślazuwca jako paliwa. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 1(47), 2005.
30. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Pellets production from short rotation forestry. *Proceedings, World Sustainable Energy Days, European Pellets Conference*, 2-4.03.2005, Wels, Austria.
31. Stolarski M., Szczukowski S., Tworkowski J.: Produktywność klonów wierzb krzewiastych uprawianych na gruntach ornych w zależności od częstotliwości zbioru i gęstości sadzenia. *Fragmenta Agronomica* 2, 2002.
32. Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Przyborowski J., Klasa A.: Productivity of willow coppice plants grown in short rotations. *Plant Soil Environment* 51(9), 2005.
33. Szczukowski S., Stolarski M., Tworkowski J., Przyborowski J., Kisiel R., Piechocki J.: Wykorzystanie biomasy wierzb krzewiastej do produkcji energii cieplnej. *Problemy Inżynierii Rolniczej* 2(44), 2004.
34. Szczukowski S., Tworkowski J., Klasa A., Stolarski M.: Productivity and chemical composition of wood tissues of short rotation willow coppice cultivated on arable land. *Rostlinna Vyroba* 48 (9), 2002.
35. Szczukowski S., Tworkowski J.: Produkcja wieloletnich roślin energetycznych w regionie Warmii i Mazur – stan obecny i perspektywy. *Post. Nauk. Roln.* 3, 2003.
36. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Grzelczyk M.: Produktywność roślin wierzb (*Salix* spp.) i charakterystyka pozyskanej biomasy jako paliwa. *Zeszyt Probl. Post. Nauk. Rol.* 2005.

37. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M., Kisiel R., Leniec K.: Wytwarzanie energii cieplnej w zgazowarce pirolitycznej z biomasy wierzb krzewiastych. *Problemy Inżynierii Rol.* 4, 2001.
38. Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.: *Wierzba energetyczna*. Plantpress Kraków 2004.
39. Szpil Z.: Spalanie drewna i jego odpadów. *Aura* 4, 2001.
40. Szulc G.: Polska redukuje emisje gazów. *Prawo i Gospodarka*, 50:6, 1997.
41. Tworkowski J., Szczukowski S., Stolarski M.: Produktowność i wartość energetyczna wierzby. *Czysta Energia*, 9, 2005.
42. UW: *Biomasaowa szkoła*. *Czysta Energia*, 2, 2006.
43. Wach E.: Słoma najtańszym paliwem. *Top Agrar Polska*, 2, 2006.
44. Wojciechowska U.: *Ekonomia w zgodzie z ekologią*. *Czysta Energia*, 1, 2006.
45. Zawistowski J.: Współspalanie biomasy drzewnej z węglem kamiennym. *Czysta Energia*, 9(25), 2003.
46. Żuromski Z., Dudyński M.: *Zgazowarka pirolityczna (EKOD)*. Materiały firmy „ZAMER” 2000.