

## **EKONOMICZNA I TECHNICZNA ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BIOPALIW STAŁYCH W POLSCE**

Sławomir Konieczny

**Streszczenie.** Istnieje wiele korzyści wskazujących na potrzebę rozwoju energetyki wykorzystującej biopaliwa stałe jako źródła energii – korzyści o charakterze społecznym, ekonomicznym, rolniczym i ekologicznym. Jest to szansa dla lokalnych społeczności, dla rozwoju lokalnego agrobiznesu i nowych miejsc pracy na wsi oraz możliwości uzyskania dodatkowych dochodów z uprawy roślin energetycznych. Realizowane w Polsce inwestycje w energię konwencjonalną charakteryzują się wysokimi jednostkowymi kosztami inwestycyjnymi. Za energetycznym wykorzystaniem biopaliw stałych przemawiają bardzo niskie roczne koszty ich pozyskania. Największą efektywność ekonomiczną i najmniejsze wymagania technologiczne ma słoma wykorzystana jako biopaliwo.

**Słowa kluczowe:** surowce odnawialne, biomasa, słoma, drewno, agrobiznes.

### **WSTĘP**

System energetyczny na świecie i w Polsce, zarówno w sektorze masowego odbioru energii cieplnej i elektrycznej, jak i odbiorców indywidualnych, jest oparty przede wszystkim na paliwach kopalnych. Węgiel, ropa i gaz ziemny pokrywają 80% ogólnego zapotrzebowania na energię. Szacowane zasoby tych paliw, przy aktualnych trendach wydobywania, wystarczą na około 100 lat, dlatego też w ostatnich latach zintensyfikowano na świecie i w Polsce badania nad wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii (OZE). Według szacunkowych ocen, odnawialne źródła energii znacznie przewyższają w skali światowej zasoby energetyczne nośników tradycyjnych, jednak z powodu zbyt wielu różnorodnych uwarunkowań tylko część z nich może znaleźć zastosowanie w praktyce.

Udział odnawialnych źródeł energii w bilansach paliwowo-energetycznych w poszczególnych krajach jest bardzo zróżnicowany. W Europie najwyższym wskaźnikiem charakteryzują się: Szwecja, Austria, Finlandia i Portugalia, najniższym zaś Wielka Brytania i Belgia. W celu zwiększenia udziału OZE w ogólnym zużyciu paliw i energii w Unii Europejskiej opracowano „Białą Księgę – Energia dla przyszłości – odnawialne źródła energii”. Potwierdzono w ten sposób, że kluczową korzyścią z wykorzystania OZE w UE jest wzrost bezpieczeństwa energetycznego. Przewiduje się, że udział OZE

---

w bilansie paliwowo-energetycznym w 2010 roku będzie wynosił 12%. W tym dokumencie o strategicznym znaczeniu założono ilościowe podwojenie produkcji OZE w latach 1998–2010. Do 2010 roku udział źródeł odnawialnych w produkcji energii elektrycznej ma wzrosnąć z 14,3 do 23,5%. Ponadto wielokrotnie zwiększy się też produkcja energii cieplnej, a zużycie odnawialnych paliw płynnych ma wzrosnąć aż sześciokrotnie. Celem proponowanych przez UE rozwiązań jest przede wszystkim pokonanie barier w rozwoju odnawialnych źródeł energii. Także kraje członkowskie powinny wprowadzać rozwiązania prawne, finansowe i fiskalne ułatwiające rozwój energetyki opartej na odnawialnych źródłach.

## MATERIAŁ I METODY BADAWCZE

W niniejszym opracowaniu posłużono się metodą opisową w części prezentującej korzyści wynikające ze stosowania surowców odnawialnych oraz zastosowano metodę analizy kosztów przy porównywaniu poszczególnych rodzajów wykorzystywanych nośników energii. Dane ekonomiczne i technologiczne zebrano na podstawie dostępnej literatury.

## ANALIZA KORZYŚCI Z ZASTOSOWANIA SUROWCÓW ODNAWIALNYCH

Technologie wykorzystania surowców odnawialnych pozwalają efektywnie redukować emisję gazów cieplarnianych. Największy wpływ na występowanie efektu cieplarnianego ma dwutlenek węgla (ok. 55%). Badania wskazują, że istnieje pilna potrzeba przyspieszenia działań w skali globalnej, które osłabiłyby wzrost koncentracji dwutlenku węgla i pozwoliły na zachowanie bilansu cieplnego atmosfery. Jednocześnie należy zauważyć, że strumień dwutlenku węgla emitowany podczas spalania biomasy jest pochłaniany w procesie fotosyntezy i wykorzystywany do wzrostu roślin w procesie vegetacji. Podczas spalania biomasy nie jest wprowadzany do atmosfery dodatkowy dwutlenek węgla.

Wykorzystanie surowców odnawialnych powoduje tworzenie dodatkowych miejsc pracy, gdyż zatrudnianie przy produkcji i obsłudze urządzeń i linii technologicznych, przy produkcji i przygotowaniu biopaliw, w obsłudze przedsiębiorstw inwestujących w tym sektorze daje kilkakrotnie więcej miejsc pracy niż w energetyce tradycyjnej; 2–5-krotnie więcej niż w energetyce opartej na spalaniu paliw kopalnych i 15-krotnie więcej niż w przypadku energetyki jądrowej.

Stosowanie rolniczych surowców odnawialnych pozwala na napływ kapitału na tereny wiejskie. Jednym z wymagań społecznych jest wyrównanie luki ekonomicznej i socjalnej pomiędzy wsią i miastem. Można tego dokonać przez zrównoważony rozwój obszarów wiejskich, mając na uwadze, że ochrona środowiska, wzrost ekonomiczny i rozwój człowieka są od siebie zależne. Takie rozumienie zrównoważonego rozwoju jest szczególnie istotne dla tych regionów kraju, gdzie brak jest zbytu na produkcję rolniczą i gdzie występuje duże bezrobocie.

Korzystanie z energetycznych surowców odnawialnych jest źródłem dochodów dla państwa i gminy. Zwłaszcza biomasa jako surowiec, ze względu na nieopłacalność jej transportu poza region, musi być przetwarzana w promieniu około 30 km od miejsca uprawy. Na terenie gminy powstają nowe, rozproszone miejsca pracy, a współwłaścicielami zintegrowanego systemu uprawy mogą być setki właścicieli gruntów i udziałowcy kapitału inwestycyjnego w technologii przetwarzania.

Zastosowanie biomasy zmniejsza koszty produkcji ciepła i wpływa dodatnio na poziom życia ludności lokalnej, poprawia opłacalność produkcji rolniczej i znacznie zmniejsza zagrożenie pożarowe. Jednocześnie otwierają się możliwości rozpoczęcia upraw roślin energetycznych, poprawiających wydajność z hektara. W krajach o większym doświadczeniu w wykorzystywaniu biomasy do celów energetycznych z 1 ha otrzymuje się 15–20 ton biomasy o kaloryczności 15 MJ/kg, a w Polsce zaledwie 3–5 ton z ha.

Uprawa rolniczych surowców odnawialnych stwarza szansę rolniczego wykorzystania odlogów. Istnieją w tym względzie ogromne rezerwy, gdyż znaczna część obszarów rolnych nie jest w ogóle uprawiana, a jednocześnie nie są jeszcze rozpowszechnione uprawy roślin na potrzeby energetyczne. Przewidywane rezerwy mogą sięgnąć od 150 do 200 PJ, co stanowi 7–9% zapotrzebowania na energię.

## WŁAŚCIWOŚCI BIOMASY JAKO ŹRÓDŁA ENERGII

Poza energią słoneczną, wiatrową, geotermalną, energią wody, energią biopaliw płynnych i gazowych, istotne źródło energii odnawialnej mogą stanowić biopaliwa stałe, takie jak: słoma roślin zbożowych, rośliny o szybkim i dużym przyroście biomasy (malwa pensylwańska, trzcina chińska, wierzba) oraz odpady drzewne. Biomasa jest największym potencjalnym i najbardziej obiecującym źródłem energii odnawialnej na świecie, w tym także w Polsce. Jak wskazuje dotychczasowa praktyka edukacyjna, promocyjna oraz wdrożenie wielu projektów demonstracyjnych i użytkowych, największe możliwości zastosowania biopaliw stałych istnieją w sektorze indywidualnym, rolnictwie, lokalnym ciepłownictwie i przemyśle drzewnym. Naturalnym kierunkiem wykorzystania biopaliw stałych w Polsce jest produkcja ciepła oparta na bezpośrednim spalaniu w odpowiednio zaprojektowanych kotłach ciepłowniczych. W dalszej perspektywie jest przewidywana możliwość wykorzystania biopaliw stałych w instalacjach większej mocy – produkujących energię cieplną i elektryczną w systemach skojarzonych.

Sektorem, w którym najbardziej rozpowszechnione jest wykorzystanie biopaliw, jest przemysł drzewny, w którym od wielu lat stosowane są systemy ciepłownicze oparte na odpadach drzewnych. Obserwuje się coraz szersze zainteresowanie wykorzystaniem drewna i słomy w sektorze gospodarstw indywidualnych, przede wszystkim z racji możliwości obniżenia kosztów ogrzewania. Liczbę gospodarstw indywidualnych opalanych drewnem szacuje się na ok. 100 000. Liczba nowoczesnych, zautomatyzowanych instalacji kotłowych opalanych odpadami drzewnymi, funkcjonujących najczęściej przy zakładach przemysłu drzewnego, szacuje się na ok. 70. Z coraz większym zainteresowaniem spotyka się także wykorzystanie tego typu kotłów do ogrzewania

szkół na terenach wiejskich i w małych miejscowościach. Stymuluje to rozwój krajowej produkcji kotłów grzewczych małej i średniej mocy oraz technologii ciepłowniczych z wykorzystaniem biopaliw.

Różnorodność materiału wyjściowego, konieczność dostosowania technologii i mocy urządzeń powoduje, że biopaliwa wykorzystywane są w różnej postaci. Drewno wykorzystywane jest w postaci zrębków, kawalków, wiórów trocin, pyłu drzewnego lub w postaci zbrakietowanej. Słoma – w postaci kostek i balotów różnej wielkości, ewentualnie w postaci rozdrobnionej na sieczkę w niektórych zautomatyzowanych technologiach. Rośliny energetyczne typu malwa pensylwańska – w postaci zbrakietowanej.

Biopaliwa stałe mają różne właściwości fizyczne (wilgotność, stopień rozdrobnienia, gęstość), mogą być także w różnym stopniu zanieczyszczone i w różnym stopniu odpowiadać wymogom poszczególnych technologii. Najważniejszymi parametrami termofizycznymi biopaliw są wartość opałowa oraz ciepło spalania, nazywane też dolną wartością opałową.

W przypadku drewna parametry te wynikają z jego składu chemicznego i są uzależnione od wilgotności materiału. Przykładowo, wartość opałowa mokrego drewna o naturalnej wilgotności 50–60% wynosi 608 GJ/t, natomiast po podsuszeniu do stanu powietrznie suchego, gdy wilgotność spada do ok. 20%, wzrasta do poziomu 14–16 GJ/t oraz do ok. 19 GJ/t przy całkowitym wysuszeniu. Można więc przyjąć, że w przybliżeniu 1 tona węgla kamiennego (wartość opałowa 23–25 GJ/t) równoważona jest w przybliżeniu przez 1,5 tony drewna (tab. 1).

Tabela 1. Wartość opałowa biopaliw stałych i tradycyjnych nośników energii  
Table 1. Combustible value of solid biofuels and traditional carriers of energy

Biopaliwo	Wartość opałowa (GJ/t)
Drewno odpadowe	16
Malwa pensylwańska	18
Miscantus (trzcina chińska)	17
Słoma żółta	14,3
Słoma szara	15,2
Węgiel kamienny	25
Węgiel brunatny	8
Koks	27
Gaz ziemny	48
Gaz propan-butan	45
Olej opałowy	42

Źródło: Zestawienie własne.  
Source: Own calculation.

Słoma wykorzystywana do celów energetycznych także musi spełniać określone wymagania dla ułatwienia procesu jej spalania, a jej wartość energetyczna zależy przede wszystkim od wilgotności. Zalecana wilgotność słomy wykorzystywanej na cele energetyczne powinna wahać się w granicach 12–20%. Większa wilgotność słomy powoduje problemy w jej magazynowaniu, transporcie, załadunku, rozdrabnianiu i spalaniu, skutkując m.in. podwyższoną emisją zanieczyszczeń w spalinach. Wartość opałowa

słomy przy wilgotności nie przekraczającej 15% wynosi 14–15,2 GJ/t. Prowadzone doświadczenia wykazały, że pozostawienie ściętej i sprasowanej słomy na pokosie i poddanie jej działaniu deszczu (proces wędnięcia) sprzyja częściowemu wypłukaniu składników sprawiających kłopot przy spalaniu (głównie chloru i metali alkalicznych) i powodujących korozję kotłów. Cechą charakterystyczną takiej słomy jest jej szary kolor w porównaniu do słomy świeżej, która ma kolor żółty. Przyjmując, że wartość opałowa słomy wynosi około 15 MJ/kg i porównując tę wartość z wartością opałową węgla (tab. 1) można zauważyć, że pod względem energetycznym 1 tonie węgla odpowiada około 1,5 tony słomy. Wynika z tego, iż ze zbiorów słomy z 1 ha pola (około 5 ton) można przez jeden sezon grzewczy ogrzać domek mieszkalny o powierzchni 70–80 m<sup>2</sup>. Ta sama ilość słomy wystarczy także na wysuszenie ziarna kukurydzy zebranego z powierzchni 4 ha, rzepaku z 14 ha, a zboża z 18 ha.

Źródłem surowca energetycznego mogą być także plantacje roślin wieloletnich dających duże i szybkie przyrosty biomasy w ciągu roku. Jedną z takich roślin, których plantacje można już spotkać w Polsce, jest malwa pensylwańska – odmiana Petemi. Uprawa plantacji tej rośliny trwa od 20 do 30 lat z jednego nasadzenia. Pierwszy plon handlowy surowca osiąga się już w drugim roku, co gwarantuje szybki zwrot kosztów założenia plantacji. Jest to uprawa charakteryzująca się trwałym i stabilnym corocznym plonowaniem, co daje możliwość zapewnienia stałych dostaw surowca dla przedsiębiorstwa energetyki cieplnej. Odmiana Petemi nie wykazuje specyficznych wymagań glebowych i klimatycznych, z powodzeniem może być uprawiana w całej strefie klimatu umiarkowanego, co umożliwi lokalizację plantacji w bezpośrednim sąsiedztwie odbiorcy w dowolnym miejscu w kraju, bez ponoszenia zbędnych nakładów na transport. Uprawę, nawożenie, pielęgnację i zbiór biomasy prowadzi się tradycyjnymi metodami z wykorzystaniem powszechnie używanych maszyn rolniczych. Roślina ta nadaje się do uprawy na glebach ubogich w składniki mineralne, okresowo zbyt suchych, co predestynuje ją szczególnie do uprawy na nieużytkach rolnych i odlogowanych glebach niższych klas. Uzyskiwany plon to zrębki w ilości 15–20 ton suchej masy z hektara o kaloryczności 18 GJ/t, przy wilgotności 10% i gęstości (brykietu) od 800 do 1500 kg/m<sup>3</sup>. Ze względu na skład chemiczny surowca wytworzone z niego paliwo charakteryzuje się niską emisją szkodliwych produktów spalania, takich jak dwutlenek siarki i tlenki azotu. Paliwo może być spalane z zastosowaniem zarówno tradycyjnych kotłów węglowych, opalanych drewnem, kominków, jak również nowoczesnych, zautomatyzowanych systemów grzewczych. Zaletami tej rośliny są: prostota i niezawodność w uprawie, odnawialność i trwałość w plonowaniu oraz uniwersalność i ekonomiczność wykorzystania, a także czystość ekologiczna.

Wśród roślin możliwych do wykorzystania w charakterze biopaliw wymieniane są też takie rośliny, jak kenaf, miscantus, wiklina, konopie itp. Jednak ze względu na ograniczenia w uprawie oraz właściwości technologiczne uzyskiwanego surowca nie mogą być w chwili obecnej traktowane jako odnawialne źródła energii do stosowania na skalę przemysłową.

Inną rośliną mającą pewne właściwości klasyfikujące ją jako potencjalne źródło biomasy jest trzcina chińska z rodzaju *Miscanthus*. Charakteryzuje się ona bardzo bujnym wzrostem. W środowisku naturalnym dorasta do 6 metrów wysokości i średnicy pędów do 6 cm (stąd zwana jest też często „trawą słoniową”), a plantacja może być

użytkowana przez 30 lat z jednego nasadzenia. Rośliny tego gatunku nie mają dużych wymagań w odniesieniu do jakości gleby, na której rosną, mogą to być gleby 5 i 6 klasy oraz nieużytki, ale w pierwszych latach uprawy wymaga gleby o pH 6,5 i w miarę wysokiego poziomu wody gruntowej. Średnia ilość opadów powinna zawierać się między 400 a 600 mm, średnia temperatura roku powinna wynosić 8°C. Młode sadzonki są wrażliwe na ujemne temperatury. Otrzymywany plon to 26 t/ha, a wartość kaloryczna spalanej biomasy wynosi ok. 17 GJ/t. Jak wykazują prowadzone dotychczas doświadczenia, aby prowadzić jej uprawę w warunkach klimatu Polski, należy najpierw na drodze hodowlano-genetycznej uzyskać formy odporne na wymarzanie i formy rozmnażające się generatywnie dla zwiększenia wydajności rozmnażania się tej rośliny.

Wszystkie opracowane technologie dotyczące energetycznego wykorzystania wikliny mają charakter lokalny, a ze względu na duże wymagania wodne tej rośliny zasięg jej uprawy jest ograniczony. Właściwości fizykochemiczne łądyg wikliny wymagają stosowania do jej zbioru specjalistycznych i drogich w eksploatacji maszyn, dlatego zastosowanie tej rośliny możliwe jest tylko w specyficznych, ściśle określonych warunkach siedliskowych i przy istnieniu lokalnego odbiorcy surowca, dysponującego odpowiednią technologią przetworzenia go na energię cieplną.

Wzorując się na doświadczeniach krajów Unii Europejskiej, również w Polsce wprowadza się eksperymentalne plantacje wierzby. Łączna powierzchnia kilku istniejących plantacji wynosi ok. 100 ha. Roślina ta daje możliwość wykorzystania mało urodzajnych lub skażonych gleb pod jej uprawę, ponadto stwarza możliwości utylizacji, np. odpadów ściekowych, i rekultywacji terenów zdegradowanych. Dodatkową zaletą wierzby jest możliwość wykorzystania produktów z tej rośliny na cele przemysłowe. Podobnie jak w przypadku innych wspomnianych roślin, tak i w przypadku wierzby istotnym aspektem przemawiającym za rozwojem jej upraw jest wykorzystanie gleb gorszych klas oraz nieużytków i odłogów rolnych. Ponadto, uprawy te mogą być umiejscawiane w terenach trudno dostępnych (tereny zalewowe, okresowo podmokłe, doliny rzek itp.) dla innego rodzaju upraw rolnych. Wśród licznych zalet tej rośliny, oprócz możliwości wykorzystania jej na cele energetyczne, wymienia się absorbowanie szkodliwych substancji (hydrobiologiczne oczyszczalnie ścieków), zatrzymywanie szkodliwych emisji (tworzenie stref ochronnych), hamowanie erozji (rekultywacja hałd i skarp), zatrzymywanie wody (osuszanie gruntów) czy działanie wiatrochronne. Nie bez znaczenia jest też niski koszt sadzonek, zbędność dodatkowego nawożenia plantacji i duże roczne przyrosty (do 3 m). Wartość energetyczna zrębków drewna wierzby wynosi ok. 19 GJ/t.

## EFEKTY EKONOMICZNE ZASTOSOWANIA BIOMASY W ENERGETYCE

Realizowane w Polsce inwestycje służące wykorzystaniu odnawialnych źródeł energii charakteryzują się na ogół wysokimi jednostkowymi kosztami inwestycyjnymi, co wynika przede wszystkim z pionierskiego i demonstracyjnego charakteru wdrażanych technologii. Analiza ekonomiczna badająca okres zwrotu poniesionych nakładów pozwala podzielić rozwiązania technologiczne w zakresie biopaliw stałych na trzy grupy.

Grupę pierwszą stanowią technologie o krótkim okresie zwrotu nakładów (na ogół 2–3 lata), są to m.in. kotły na słomę i kotły na drewno i jego odpady – obsługiwane ręcznie, bez automatycznego zadawania paliwa. Ręcznie obsługiwany kocioł na słomę małej mocy (65 kW) ma okres zwrotu nakładów ok. 3 lat, podobnie jak ręcznie obsługiwany kocioł małej mocy na drewno (80 kW). Wartości te stanowią o dużej popularności tych urządzeń – zwłaszcza kotłów opalanych drewnem, których jest w Polsce kilkanaście tysięcy. Tego typu urządzeń wykorzystujących jako paliwo słomę zainstalowano w kraju ponad kilkadziesiąt.

Grupa druga to technologie o nieco dłuższym okresie zwrotu (przeciętnie 4–7,5 roku). Są to głównie instalacje oparte na wykorzystaniu biogazu pochodzącego z odpowiednio przygotowanych wysypisk (średni okres zwrotu nakładów 4,7 roku), biogazownie komunalne w oczyszczalniach ścieków (średni okres zwrotu nakładów 6,7 roku).

Trzecia grupa to technologie, dla których okres zwrotu inwestycji wynosi przeciętnie od kilku do kilkunastu lat i wymagają one dofinansowania (do 70% wartości inwestycji) przez dotacje. Są to głównie duże, zautomatyzowane kotłownie na słomę (1 MW mocy), których okres zwrotu wynosi 8 lat, oraz duże ciepłownie spalające zrębki drzewne, które zwracają się po średnim okresie ok. 9,7 roku. Do tej grupy zaliczyć można także wytwórnię brykietów z malwy pensylwańskiej, służących jako paliwo w tradycyjnych kotłach opalanych drewnem lub węglem. Zwrot kapitału następuje tu po ok. 7,1 roku, jest jednak tylko jedna instalacja tego typu w Polsce.

W większości realizowanych inwestycji osiąga się ekonomiczną konkurencyjność źródeł odnawialnych w stosunku do konwencjonalnych nośników energii. Dotyczy to zwłaszcza kotłów na słomę i drewno wraz z jego odpadami.

Polskie rolnictwo produkuje rocznie ok. 25 mln ton słomy, głównie zbożowej i rzepakowej, oraz siana. Słoma ta jest częściowo wykorzystywana jako ściółka i pasza w hodowli zwierząt oraz do nawożenia pól. Od 1990 roku nadwyżka produkowanej słomy stale zwiększa się i występuje ona głównie w Polsce północnej i zachodniej, głównie na terenach byłych pgr. Znaczna część nadwyżek słomy jest wypalana na polach ze względu na ograniczone możliwości wykorzystania jej na ściółki i pasze dla zwierząt.

Lasy stanowią 28,8% powierzchni kraju (około 8,9 mln ha) i zakładany jest dalszy wzrost lesistości do 32% w 2020 r. W 1997 r. w Lasach Państwowych pozyskano 21,6 mln m<sup>3</sup> drewna, w tym ok. 1,5 mln m<sup>3</sup> drewna opałowego, natomiast dalsze 2–2,5 mln m<sup>3</sup> drewna i odpadów drzewnych pozostaje w lasach ze względu na ograniczony poziom popytu.

W przemyśle drzewnym powstają znaczne ilości odpadów drzewnych. Szacuje się, że na każde 100 m<sup>3</sup> drewna pozyskanego do przerobu przemysłowego pozostaje po przeróbce ok. 60% odpadów, w tym 10 m<sup>3</sup> kory, 15 m<sup>3</sup> drobnicy gałęziowej, 20 m<sup>3</sup> odpadów kawałkowych, 19 m<sup>3</sup> trocin i zrębków. Przy założeniu rocznej produkcji na poziomie 15,5 mln m<sup>3</sup> drewna, z czego 60% będzie odpadem, można oszacować potencjalną wielkość biomasy kwalifikującą się jako odnawialny surowiec energetyczny na poziomie 9,4 mln m<sup>3</sup>.

W ekonomice odnawialnych źródeł energii powszechnie używana jest metoda analizy kosztów i korzyści. Polega ona na nadaniu korzyściom i kosztom wartości pieniężnych, porównaniu korzyści z kosztami we wszystkich analizowanych projektach oraz dokonaniu takiego wyboru, który odznacza się najwyższą wartością korzyści netto

spośród wszystkich analizowanych wariantów. Stosowanie tej metody napotyka jednak na wiele ograniczeń, takich jak wycena korzyści i kosztów dóbr nierynkowych (straty środowiska naturalnego z tytułu stosowania niekonwencjonalnych paliw). Dlatego najlepiej posługiwać się metodą analizy kosztów i efektywności. W analizie ekonomicznej wykorzystania paliw na cele grzewcze najlepszym miernikiem efektów finansowych jest koszt produkcji jednostki energii cieplnej, najczęściej wyrażany w zł/GJ.

Tabela 2. Przybliżony potencjał energetyczny w masie słomy, siana i drewna w Polsce  
Table 2. Approximate energetic potential of straw, hay and wood in Poland

Rodzaj paliwa	Całkowite ilości (mln ton)	Współczynnik wykorzystania (%)	Ilości możliwe do wykorzystania (mln ton)
Słoma zbóż	21,5	50	8,9
Słoma rzepakowa	2,4	70	1,4
Siano	18,1	10	1,5
Drewno	6,2	60	3,8
Całkowity potencjał energetyczny odpadów w rolnictwie i leśnictwie			15,6

Źródło, Source: EC BREC.

Tabela 3. Koszty inwestycyjne i produkcyjne ogrzewania mieszkań w gospodarstwie rolnym  
Table 3. Investment and productive costs of heating of flats on farm

Typ	Słoma	Węgiel	Olej opalowy	Gaz ziemny
Koszt inwestycji (zł)	10 106	1 680	8 316	4 215
Amortyzacja (zł)	404	112	332	169
Koszt kapitału (zł)	2 021	336	1 663	843
Koszt eksploatacji (zł)	1 720	3 960	4 380	5 140
Koszty całkowite ogrzewania (zł)	4 145	4 408	6 376	6 152
Koszt 1 GJ (zł/GJ)	20,73	25,04	58,21	35,76

Źródło, Source: [http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie\\_na\\_biomase.shtml](http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie_na_biomase.shtml)

Słoma może stanowić poważne źródło energii, jednak główną przeszkodę stosowania tego paliwa na masową skalę w gospodarstwach rolnych i w budynkach komunalnych na terenach wiejskich stanowią wysokie koszty inwestycyjne, prawie dwukrotnie wyższe niż w przypadku kotłowni na gaz i prawie pięciokrotnie wyższe niż w przypadku kotłowni węglowej. Aby myśleć o masowym wykorzystaniu biomasy, należy we właściwy sposób przygotować formy wspierania inwestycji, zwłaszcza dla rolników, których zdolność kredytowa jest na ogół słaba. Potencjalnymi użytkownikami ciepłowni opalanych słomą poza gospodarstwami rolnymi mogą być także osiedla wiejskie, szkoły, urzędy gmin, ośrodki zdrowia itp.

Podobne wyniki uzyskano w przypadku rachunku symulacyjnego kosztów eksploatacyjnych ogrzewania słomą oraz innymi paliwami porównywalnych domów mieszkalnych typu jednorodzinne. W tym wypadku obliczenia jednoznacznie przemawiają za wykorzystaniem słomy jako odnawialnego i ekonomicznego źródła energii. Pomimo wysokich kosztów inwestycyjnych, za energetycznym wykorzystaniem biopaliw stałych przemawiają bardzo niskie roczne koszty ich pozyskania. W przypadku stosowania słomy wyniosły 818 zł/rok, drewna – 1660 zł/rok, a węgla kamiennego – 2063 zł/rok.



Tabela 4. Zestawienie kosztów kotłowni dużej mocy na paliwa tradycyjne i słomę

Table 4. Composition of costs of large power boiler room on traditional fuels and straw

Parametry	Kotły węglowe	Kotły gazowe	Kotły olejowe	Kotły na słomę
Moc cieplna kotła w [kW]	600	600	600	600
Sprawność energetyczna [%]	65	88	86	82
Moc z uwzględnieniem sprawności [kW]	330	552	552	492
Wartość opałowa paliwa	26	34,3	42	15
Przewidywane zużycie ciepła [GJ]	5 400	5 400	5 400	5 400
Energia chemiczna paliwa [GJ]	10 800	5 870	5 870	6 750
Koszt jednostkowy paliwa	280 zł/t	0,9 zł/m <sup>3</sup>	1 800 zł/t	80 zł/t
Koszt eksploatacji [zł]	116 310	136 900	160 710	36 000
Koszt jednostki ciepła [zł/GJ]	14,2	25,54	42,86	6,67
Koszt jednostki ciepła z uwzględnieniem sprawności kotła	21,84	29,02	50,42	8,33
Koszt emisji zanieczyszczeń [zł]	4735	138	601	0
Koszt jednostkowy ciepła z emisją [zł/GJ]	23,42	29,9	51,1	6,67

Źródło, Source: [http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie\\_na\\_biomase.shtml](http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie_na_biomase.shtml)

Tabela 5. Analiza porównawcza wykorzystania różnych źródeł energii do zaopatrzenia w ciepło domków jednorodzinnych

Table 5. Comparative analysis of use different sources of energy to supplies in warmly one-family houses

Rodzaj Paliwa	Wartość opałowa i sprawność kotła	Roczne zużycie paliwa	Cena jednostkowa	Wartość zużytego paliwa
Węgiel kamienny	30 000 kJ/kg 87%	4 140 kg	0,45 zł/kg + 200 zł dowóz	2 063 zł/rok
Miał węglowy	27 000 kJ/kg 87%	4 600 kg	0,27 zł/kg + 200 zł dowóz	1 442 zł/rok
Koks	28 000 kJ/kg 80%	4 823 kg	0,48 zł/kg + 200 zł dowóz	2 515 zł/rok
Gaz ziemny	34 332 kJ/m <sup>3</sup> 92%	3 421 m <sup>3</sup>	1,024 zł/m <sup>3</sup> + 15,86 zł/m-c	3 694 zł/rok
Gaz płynny	49 680 kJ/kg 92%	4 728 l	1,65 zł/l z dostawą + 598 zł/rok	8 399 zł/rok
Olej opałowy	43 400 kJ/kg	3 153 l	1,27 zł/l z dostawą	4 004 zł/rok
Olej silnikowy przepracowany	41 000 kJ/kg 90%	3 279 l	0,60 zł/l	1 967 zł/rok
Drewno suche	14 000 kJ/kg 85%	22 m <sup>3</sup>	73,2 zł/m <sup>3</sup>	1 610 zł/rok
Słoma pszenna	14 500 kJ/kg 82%	9 087 kg	0,09 zł/kg	818 zł/rok
Energia elektryczna	100%	30 016 kWh	0,3663 zł/kWh dzień 0,1550 zł/kWh noc + 6,68 zł/m-c	6 847 zł/rok
Sieć cieplna	100%	108 GJ 0,17MW	5671,45 zł/MW	2 496 zł/rok

Źródło, Source: Seremet J., 2000, AR Lublin, maszynopis.

## PODSUMOWANIE

Lokalna produkcja i wykorzystanie biopaliw odnawialnych uniezależnia od importu paliw kopalnych, zwiększa konkurencyjność i bezpieczeństwo energetyczne. Przemysłowa działalność, uwzględniająca lokalne uwarunkowania uprawy, ewentualnego przetworzenia i wykorzystania odnawialnych źródeł energii przynosi pozytywne efekty wielu stronom, pozwala na zintegrowany rozwój lokalnych społeczności i zwiększenie ich niezależności, umożliwia dywersyfikację źródeł paliw i alokację środków przeznaczonych na ich zakup. Ponadto, systemy energetyczne oparte na wykorzystaniu rolniczych surowców odnawialnych uruchamiają wiele lokalnych inicjatyw gospodarczych i generują stałe miejsca pracy. Problemy w rozwoju obszarów wiejskich w Polsce powinny stać się przyczynkiem do określenia możliwości i następnie stymulowania dostępnymi środkami i instrumentami wprowadzenia powszechnego stosowania surowców odnawialnych jako lokalnych źródeł energii i dla powstawania nowych, także rozproszonych miejsc pracy na terenach wiejskich. Niezaprzecalną korzyścią uprawy rolniczych surowców odnawialnych jest możliwość wykorzystania odłogów. Zastosowanie biomasy zmniejsza koszty produkcji ciepła i wpływa dodatnio na poziom życia ludności lokalnej, poprawia opłacalność produkcji rolniczej i znacznie zmniejsza zagrożenie pożarowe. Jednocześnie otwierają się nowe możliwości wprowadzenia do uprawy roślin energetycznych, poprawiających wydajność z hektara.

## PIŚMIENNICTWO

- EC BREC, 1998: Biomass Energy Strategies for Central & Eastern European countries – Report for the FAIR program of the European Commission, Warszawa 1998.
- Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K., 2001: Słoma – energetyczne paliwo – poradnik, AR Lublin, IBMER, Warszawa 2001.
- Guzenda R., Świgoń J., 1997: Techniczne i ekologiczne aspekty energetycznego wykorzystania drewna i odpadów drzewnych, *Gospodarka Paliwami i Energią* 1 (512).  
[http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie\\_na\\_biomase.shtml](http://www.eko.wroc.pl/cieplej/co/cieplownie_na_biomase.shtml).
- Kowalik P., 1997: Elektryczność z biomasy. Materiały Piątej Konferencji nt. „Racjonalizacja użytkowania energii i środowiska”, 15–17 X 1997, Gdańsk, Wyd. ODTK RS NOT Warszawa, t. I.
- Pisarek M., 2002: Wykorzystanie biopaliw stałych na cele energetyczne w warunkach Polski. Mat. Konf. Odnawialne źródła energii jako element planowania rozwoju lokalnego, Warszawa 9–10 maja 2002, EC BREC 2002.
- Praca zbiorowa, 1999/2000: Ekonomiczne i prawne aspekty wykorzystania odnawialnych źródeł energii w Polsce: Ekspertyza przygotowana na potrzeby Ministerstwa Środowiska, Warszawa 2000.
- Soliński I. (red.), 1994: Prognozy kosztów oraz konkurencyjność odnawialnych i nieodnawialnych nośników energii w Polsce. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Studia i Rozprawy Nr 34, Kraków.

## **ECONOMIC AND TECHNICAL ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USE SOLID BIOFUEL IN POLAND**

**Abstract.** There are a lot of advantages of using solid biofuels as a source of energy. So that there is a strong need of its development. There are many social, economic, agricultural and ecological factors that affect development of solid biofuels industry. Using biofuels is a great chance for some local communities and agribusiness. The biofuels' development can create new employment possibilities and some additional incomes from planting energetistic plants. Using biofuels can also reduce costs of some investments in Poland. A straw as a biofuel source can guarantee the best efficiency and the lowest technological requirements.

**Key words:** renewable raw materials, biomass, straw, wood, agribusiness.

*Sławomir Konieczny, Katedra Polityki Gospodarczej i Rynku, Wydział Ekonomiki i Organizacji Gospodarki Żywnościowej, Akademia Rolnicza w Szczecinie, ul. Żołnierska 47, 71-210 Szczecin, tel./fax: (0 91) 487 69 49*