

BIOMASA JAKO NOŚNIK ENERGII ODNAWIALNEJ

Monika KUBRYCZ

Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Ochrony Środowiska

monika.kubrycz@pwr.wroc.pl

STRESZCZENIE

Ustawa o prawie energetycznym włącza energię pozyskiwaną z biomasy do odnawialnych źródeł energii (OZE). Położenie Polski, warunki klimatyczne, ukształtowanie terenu czy struktura gleb powoduje, że potencjał energetyczny biomasy w Polsce jest największy spośród pozostałych nośników energii odnawialnej. Wykorzystanie tego źródła ma zatem najistotniejsze znaczenie i stawia biomasę na pierwszym miejscu w strukturze wykorzystania OZE w Polsce. Dodatkowa analiza składu biomasy oraz parametrów energetycznych w porównaniu z innymi nośnikami energii pozwala na ocenę możliwości i ograniczeń zastosowania tego źródła energii.

1. Wstęp

Zwiększony popyt na biomasę, jaki obserwuje się w ostatnich latach, jest wypadkową wielu czynników. Niezaprzeczalnie jednym z nich są zobowiązania, jakie nałożyła na nas m.in. Unia Europejska. Szum medialny i topniejące lodowce przegłosowały opcję mówiącą o zmianach klimatycznych spowodowanych głównie emisją dwutlenku węgla do atmosfery. Naturalną konsekwencją takiej decyzji są postanowienia w formie aktów prawnych o obniżeniu emisji tlenków wpływających na „globalne ocieplenie” [1].

Istnieją również realne powody, dla których powinno się obniżyć lokalnie emisję szkodliwych tlenków. Przejawiają się one w postaci kwaśnych deszczy, smogów, czy substratów promieniotwórczych, które nie tylko utrudniają codzienne funkcjonowanie, ale również powodują wzrost zachorowań i zaburzeń genetycznych, szkody w faunie i florze, w konstrukcjach żelbetonowych, czy dorobku kultury materialnej.

Istotnym argumentem w polemice, nie tylko dotyczącej zasadności wykorzystania biomasy, ale wszystkich odnawialnych źródeł energii, jest kurczenie się światowych zasobów paliw. Prognozowanie przeprowadza się na wielu płaszczyznach. Dwie zasadnicze to ilość zasobów geologicznych, które można wydobyć w przyszłości i rezerwy paliw, czyli zasoby, które nadają się do eksploatacji pod względem ekonomicznym. Głównym problemem oszacowania tych wartości jest postęp techniczny w wydobyciu kopalin. Dodatkowo dochodzą zmiany cen poszczególnych paliw, zmiana dynamiki wyczerpywania się złóż oraz zmiana warunków geologicznych. Stąd częste rotacje w proporcjach ilościowych obydwu wskaźników [2, 3].

W tabeli 1 przedstawiono szacowane zasoby paliw naturalnych. Wynika z niej, że całkowite zasoby zarówno tych złóż, które są znane, jak i tych, które w przyszłości miałyby zostać odkryte wystarczą na 200 lat dla węgla i około 50 lat dla ropy. Prognozy zostały wykonane z założeniem, że wydobycie tych paliw nie wzrośnie. Gdyby jednak wzrosło o jedyne 2%, to wyczerpanie tych paliw nastąpiłoby odpowiednio szybciej. Dane te dotyczą całego świata [2]. Niemniej jednak są to tylko prognozy. Nawet gdyby szacunki te były bardzo restrykcyjne to podwojenie danych, a więc wydłużenie możliwych lat korzystania z konwencjonalnych nośników energii, i tak będzie wskazywało na realny problem z wyczerpującymi się zasobami.

Tabela 1. Zasoby paliw kopalnych w skali globalnej [2]

Paliwo	Zapasy			Rok wyczerpania zasobów	
	Znane	Przypuszczalne	Jednostka	Znanych	Wszystkich
Węgiel	600	16 400	Pg	po 2060	po 2200
Ropa	82,4	192,6	Pg	2020	2050
Gaz	6,5	33,9	Tm ³	2012	2060
Uran	1,02	1,08	Pg	2060	2200

Istotne jest porównanie zasobów krajowych węgla, które podczas obrad Polskiego Komitetu Światowej Rady Energetyki w 1999 r. zostały oszacowane na 54 700 mln Mg, co pozwala zbilansować zapotrzebowanie Polski na węgiel na najbliższe 470 lat. Należy podkreślić, że wskaźnik ten jest znacznie wyższy niż uśredniony wskaźnik w skali światowej [4].

2. Odnawialne nośniki energii

Ciągły wzrost zapotrzebowania na energię spowodował, że zaczęto dostrzegać i korzystać z odnawialnych źródeł, których potencjał do wykorzystywania będzie stały, dopóki będzie trwał Układ Słoneczny. Określa się je mianem odnawialnych lub niekonwencjonalnych, co jest raczej przeciwieństwem do konwencjonalnych źródeł energii niż określeniem, które miałyby wskazywać na ich nowe odkrycie i unikalność [6].

Odnawialność tych źródeł jest ściśle powiązana z aktywnością Słońca i emitowanym przez nie strumieniem energii promieniowania słonecznego oraz działaniem Księżyca i jego siły grawitacji, a także Ziemią i energią jej wnętrza [3]. Możliwości wykorzystania tych zjawisk oraz ich naturalne i techniczne przemiany w celu uzyskania różnych form energii przedstawiono tabeli 2.

Dzięki związkowi z naturalnymi procesami źródła te posiadają dodatkową dużą zaletę. Jest to ich proekologiczność. Niesie ona za sobą znacznie mniejszą emisję tlenków siarki, azotu, węgla i pyłów, które są głównym odpadem i problemem energetyki konwencjonalnej. Dodatkowo pochodzący z ich spalania ditlenek węgla bilansowany jest pochłanianiem go podczas rozwoju rośliny i nie powoduje tak znacznego jego wzrostu w atmosferze [4]. Ustawa o prawie energetycznym zawiera definicję OŹE, która informuje, że jest to: „*źródło wykorzystujące w procesie przetwarzania energię wiatru, promieniowania słonecznego, geotermalną, fal, prądów, pływów morskich, spadku rzek oraz energię pozyskiwaną z biomasy, biogazu wysypiskowego, a także biogazu powstałego w procesie odprowadzania lub oczyszczania ścieków albo rozkładu składowanych szczątków roślinnych i zwierzęcych*” [4].

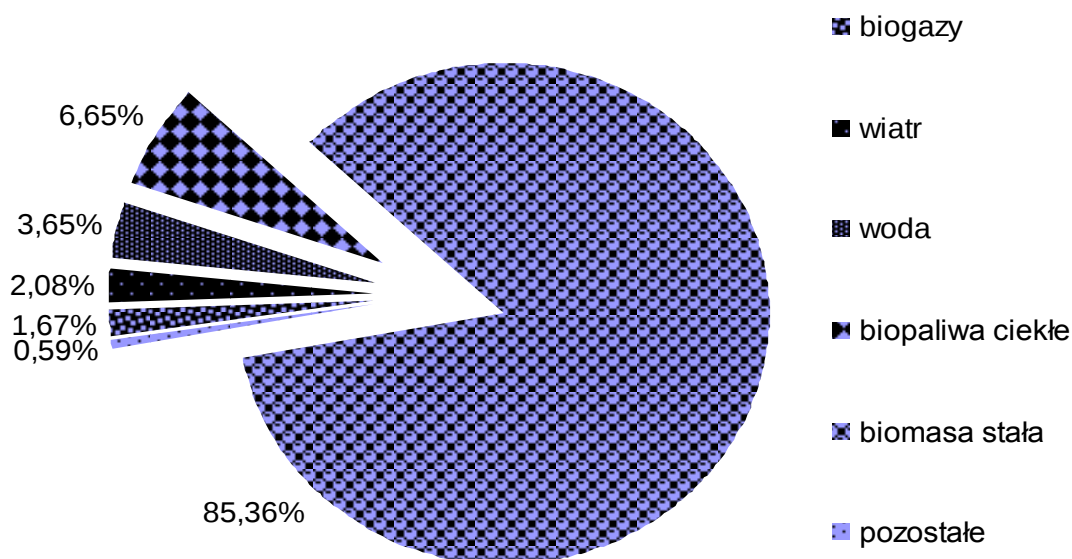
Struktura wykorzystania OŹE w Polsce jest znacząco inna niż w pozostałych państwach Europy. Ma tutaj znaczenie wiele czynników. Najważniejszym z nich jest położenie Polski, warunki klimatyczne, ukształtowanie terenu oraz struktura gleb. To wszystko powoduje, że udział wykorzystania energii wiatru czy wody jest znacznie mniejszy niż biopaliw i biomasy stałej, której tak wysoki udział w strukturze wykorzystania odnawialnych nośników energii może spowodować, że Polska będzie w czołówce państw produkujących energię z biomasy [7].

W Polsce Urząd Regulacji Energetyki podał (na dzień 30.09.2010 r.), że moc zainstalowanych konwencjonalnych instalacji OŹE wynosi 2382,960 MW. Było to 1310 instalacji. Aktualnie wzrost następuje znacznie szybciej niż w pozostałych latach [4, 5]. W roku 2010 z OŹE pozyskano 287640 TJ, co stanowi 10,2% pozyskanej energii pierwotnej ogółem (2814840 TJ) [8].

Tabela 2. Podział odnawialnych źródeł energii [2]

Pierwotne źródła energii		Naturalne procesy przemiany energii	Techniczne procesy przemiany energii	Forma uzyskanej energii
Słońce	Woda	Parowanie, topnienie lodu i śniegu, opady atmosferyczne	Elektrownie wodne	Energia elektryczna
	Wiatr	Ruch atmosfery Energia fal	Elektrownie wiatrowe Elektrownie falowe	Energia cieplna i elektryczna Energia elektryczna
	Promieniowanie słoneczne	Prądy oceaniczne Nagrzewanie powierzchni Ziemi i atmosfery Promienie słoneczne	Elektrownie wykorzystujące prądy oceaniczne Elektrownie wykorzystujące ciepło oceanów Pompy ciepła Kolektory i ciepłnice elektrownie słoneczne Fotoogniwa i elektrownie słoneczne Fotoliza	Energia elektryczna Energia elektryczna Energia cieplna Energia cieplna Energia elektryczna Paliwa
	Biomasa	Produkcja biomasy	Ogrzewanie i elektrownie ciepłnice Urządzenia przetwarzające	Energia cieplna i elektryczna Paliwa
Ziemia	Rozpad izotopów	Źródła geotermalne	Ogrzewanie i elektrownie geotermalne	Energia cieplna i elektryczna
Księżyc	Grawitacja	Pływy wód	Elektrownie pływowe	Energia elektryczna

Bilans wykorzystania różnych nośników energii odnawialnej w Polsce w 2010 r. przedstawiono rys. 1. Wskazuje on na przeważający udział biomasy stałej, bo aż 85,36% energii pozyskanej z odnawialnych nośników pochodzi z biomasy. Kolejnym źródłem są biopaliwa ciekłe produkowane z surowców roślinnych z 6,65% udziałem. Biogaz, wiatr i woda to zaledwie 2-4%. Pozostałe źródła energii, takie jak: pompy ciepła, energia geotermalna, odpady komunalne oraz promieniowanie słoneczne w polskiej strukturze OZE mają marginalne znaczenie. Ich udział wynosi poniżej 0,5% [8].



Rys.1. Bilans nośników energii odnawialnej w Polsce w 2009 r. [8]

3. Biomasa

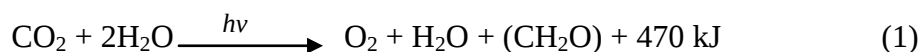
Istotność biomasy w polskiej strukturze odnawialnych nośników energii jest niezaprzeczalna. Analiza definicji hasła „biomasa” pomoże określić substancje, które się w niej zawierają. *„Biomasa stała obejmuje organiczne, niekopalne substancje o pochodzeniu biologicznym, które mogą być wykorzystywane w charakterze paliwa do produkcji ciepła lub wytwarzania energii elektrycznej. Podstawowym paliwem stałym z biomasy jest biomasa leśna (drewno opałowe) występująca w postaci polan, okrąglaków, zrębków, brykietów, peletów oraz odpady z leśnictwa w postaci drewna niewymiarowego: gałęzi, żerdzi, przecinek, krzewów, chrustu, karp, a także odpady z przemysłu drzewnego (wióry, trociny) i papierniczego (ług czarny).*

Odrębną grupę stanowią paliwa z biomasy rolniczej pochodzące z plantacji przeznaczonych na cele energetyczne (drzewa szybko rosnące, byliny dwuliścienne, trawy wieloletnie, zboża uprawiane w celach energetycznych) oraz pozostałości organiczne z rolnictwa i ogrodnictwa (np. odpady z produkcji ogrodniczej, odchody zwierzęce, słoma).

Do grupy paliw stałych z biomasy zaliczany jest również węgiel drzewny, rozumiany szerzej jako stałe produkty odgazowania biomasy” [8].

3.1. Skład biomasy

Biomasa wytwarza się praktycznie samoistnie. Jest ona produktem reakcji fotosyntezy, której przebieg w najprostszy sposób można przedstawić następująco:



Energia promieniowania słonecznego powoduje rozkład wody, w wyniku czego z jednego mola ditlenku węgla w węglowodanach syntezowanych jest akumulowane 470 kJ energii chemicznej [2]. Ze względu na asymilację CO₂ podczas wzrostu rośliny, a następnie wytwarzanie go podczas spalania, biomasę określa się jako „zeroemisyjną”. Najbardziej optymistyczne badania mówią o ujemnej emisji ditlenku węgla wyrażonej w gramach podczas wyprodukowania jednej kilowatogodziny (g/kWh) [1]. Szacowanie wartościami w tym przypadku powinno być jednak bardzo ostrożne, ponieważ zmienność czynników, takich jak długość okresu wzrostu rośliny, jej rodzaj a następnie różne formy wytwarzania energii z biomasy lub wcześniejsze jej przetwarzania i transport powodują, że wartości te mogą być bardzo różne, a nawet dodatnie.

W skład biomasy wchodzi głównie węglowodany „(dwucukry oraz cukry proste), skrobia (amyloza, około 20% i amylopektyny, około 80%) celuloza oraz lignina (biopolimer o dużym ciężarze cząsteczkowym, w którego skład wchodzi nienasycone alkohole i fenole)” [2]. Można dokonać podziału składników biomasy na pokarmowe (węglowodany i skrobia) oraz stanowiące użytek energetyczny: celuloza, hemiceluloza i lignina. Proporcje składników pokarmowych do energetycznych są zróżnicowane i zależą od rodzaju rośliny. Energetyczne rośliny mają odwrócone proporcje, które kształtują się mniej więcej tak: 40-60% celuloza, 20-40% hemiceluloza i 10-25% lignina. Skład surowca energetycznego przedstawia się jako CH_{1,45}O_{0,6}, natomiast węgla kamiennego CH_{0,8}O_{0,08}. Kaloryczność biomasy jest, niestety, prawie dwukrotnie mniejsza niż węgla kamiennego [2, 9].

Składniki trzech rodzajów biomasy oraz nośników konwencjonalnych energii – węgla kamiennego oraz gazu przedstawiono w tabeli 3. Należy zwrócić uwagę z jednej strony na znacznie niższą zawartość węgla w biomasie, co wskazuje na mniejszą wartość opałową tych nośników. Z drugiej jednak strony, mniejszy udział masowy azotu i siarki przekłada się na zmniejszoną emisję zanieczyszczeń powietrza szkodliwymi tlenkami tworzonymi podczas spalania. Istotna jest również większa zawartość chloru w biomasie, która w słomie żółtej jest największa (0,75% mas.). Chlor ma negatywny wpływ na użytkowanie kotłów powodując korozję chlorkową.

Tabela 3. Porównanie udziału pierwiastkowego wybranych związków dla biomasy oraz gazu ziemnego i węgla (opracowanie własne na podstawie [2])

Składniki paliw	Jednostka	Słoma żółta	Słoma szara	Drewno	Węgiel kamienny	Gaz ziemny
Węgiel	% mas.	42	43	35	59	75
Tlen	% mas.	37	38	43	7,3	0,9
Wodór	% mas.	5	5,2	4	3,5	24
Chlor	% mas.	0,75	0,2	0,1	0,08	0
Azot	% mas.	0,5	0,41	0,1	1	0,9
Siarka	% mas.	0,16	0,13	0,1	0,8	0

3.2. Potencjał wykorzystania biomasy

Energia, która jest zawarta w biomasie na całym świecie jest szacowana na 3·10¹⁵ MJ/a. Niestety, wykorzystuje się ją w bardzo małej skali, bo zaledwie w 7%. Odsetek ten jest większy w krajach rozwijających się – i wynosi 35%, jednak znacznie mniejszy w krajach uprzemysłowionych, bo tylko 3% [10, 11].

Potencjał energetyczny zawarty w biomase w Polsce jest bardzo duży. Zawdzięczamy to dużej ilości dobrej jakości gruntów rolnych, z których można pozyskać słomę zbożową. Jest ich aż 75-80% całego arealu. Dodatkowo na potencjał energetyczny biomasy składają się obszary leśne oraz plantacje roślin energetycznych, odpady pochodzenia roślinnego, odpady i wiele innych. To wszystko powoduje, że całkowite możliwości zagospodarowania biomasy wynoszą około 407,5 PJ, z tego w samym rolnictwie ukrytej jest 195 PJ energii, w leśnictwie 101 PJ, sadownictwie 57,6 PJ, a w przemyśle drzewnym 53,9 PJ. Szacuje się, że rolnictwo posiada niewykorzystany potencjał energetyczny płynący z biomasy w ilości 104 PJ/a [10, 11].

Energię chemiczną, która jest zawarta w biomase, należy przetworzyć na energię elektryczną bądź ciepłą. Najprościej jest spalić biomasę w specjalnie do tego celu przygotowanych kotłach, np. na pelety, drewno, czy słomę, współspalić ją z konwencjonalnymi nośnikami energii, np. z węglem kamiennym, lub spalić produkty przetworzonej biomasy (biodiesel, biogaz, metanol czy etanol). Coraz powszechniejsza staje się również fermentacja, zgazowanie oraz ekstrakcja biomasy, które pozwalają na wytworzenie, oprócz energii elektrycznej i ciepłej, również paliwa [2, 12].

Spalanie biomasy jest zależne od jej rodzaju. Głównym problemem jest osiągnięcie krytycznej wartości opałowej, w której spalanie będzie się samo podtrzymywało, wynosi ona dla biomasy 6,8 MJ/kg. Aby spalanie zostało zainicjowane niezbędne jest ogrzanie jej do temperatury zapłonu. Przykładowo temperatura zapłonu drewna wynosi 300 °C, jednak dla słomy, peletów i innych form biomasy różni się ona co do wartości. Stąd konstrukcje instalacji do spalania poszczególnych form biomasy również są różne. Szczególne różnice są dostrzegalne w budowie kotłów i palników [13].

Bezpośrednie spalania biomasy dotyczy tylko mniejszych gospodarstw, szczególnie domowych. Elektrownie i elektrociepłownie stosują współspalanie biomasy z węglem (*co-firing*), czyli „uszlachetniają” nią węgiel. Zawartość siarki i pyłu w biomase jest znacznie mniejsza niż w węglu kamiennym, stąd dodawanie jej do tradycyjnego nośnika energii spowoduje zmniejszenie zawartości powyższych składników w spalinach, a co jest z tym związane koszty oczyszczania spalin (np. odsiarczania) są niższe [14,15].

Współspalanie biomasy musi się odbywać w specjalnie do tego przystosowanych kotłach, ponieważ proces spalania takich dwóch paliw przebiega odmiennie. Nie wszystkie zakłady mają przystosowane do tego celu instalacje. Liczba ich jednak stale rośnie, gdyż przyjęte przez Unię Europejską regulacje odnośnie ograniczenia emisji CO₂ wymuszają to na elektrowniach [14].

Wyróżnia się kilka sposobów współspalania biomasy. Przede wszystkim współspalanie:

- bezpośrednie – gdy do procesu spalania w jednej komorze osobno doprowadzany jest węgiel i biomasa,
- pośrednie – z zastosowaniem tzw. przedpalenisk, w których jest spalana biomasa lub zagazowanie i piroliza, które zachodzą w gazogeneratorze; powstający gaz jest spalany w palnikach gazowych,
- w układzie równoległym – gdzie każde paliwo jest spalane w osobnej komorze z zachowaniem indywidualnych wymogów odnośnie każdego z procesu [14].

Najbardziej popularną metodą jest współspalanie bezpośrednie węgla kamiennego i biomasy. Wynika to ze stosunkowo małych nakładów inwestycyjnych, które należy ponieść.

W 2010 r. w Polsce z biomasy stałej wytworzono 5905,2 GWh energii elektrycznej, z czego 5592,5 GWh poprzez współspalanie [8].

Porównanie najistotniejszych parametrów, które bierze się pod uwagę przy spalaniu nośników energii dla trzech rodzajów biomasy oraz dwóch konwencjonalnych źródeł energii przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Porównanie parametrów energetycznych słomy, drewna, węgla kamiennego i gazu ziemnego (opracowanie własne na podstawie [3, 6, 16, 17])

Parametr	Jednostka	Słoma żółta	Słoma szara	Drewno	Węgiel kamienny	Gaz ziemny
Wilgotność	% mas.	15	15	30	12	0
Części lotne	% mas.	70	73	55	25	100
Rzeczywista wartość opałowa	MJ/kg	14,4	15	10,5	25	48
Teoretyczna wartość opałowa	MJ/kg	18,2	18,7	13	32	48
Gęstość energetyczna	GJ/m ³	2	2	2-3	22	-

Pierwszy z przedstawionych parametrów – wilgotność – jest najważniejszy, ponieważ wpływa na rzeczywistą i teoretyczną wartość opałową. Wilgotność dla każdej biomasy jest wyższa niż dla konwencjonalnych nośników energii. Co więcej, są to wartości trudne do uzyskania w praktyce, np. dla słomy jest możliwe tylko przy sprzyjających warunkach pogodowych. Dodatkowo, przedstawione wartości opałowe również są niższe niż konwencjonalnych nośników energii. Tak samo prezentuje się gęstość energetyczna. Analiza tych danych wskazuje, że biomasa jest gorszym jakościowo surowcem do produkcji energii.

Porównując biomasę z węglem kamiennym i gazem ziemnym należy wspomnieć o opisie przydatności węgla na cele energetyczne w Polsce. Charakteryzuje się je trzema parametrami: A, B i C, gdzie A oznacza wartość opałową mierzoną w MJ/kg, B – zawartość popiołu (%), natomiast C – zawartość siarki (%). Przeciętny polski węgiel posiada parametry: 21/22/0,9, natomiast biomasa 14/1/0,01. Liczby te informują o mniejszej wartości opałowej biomasy, a zarazem możliwości znacznie mniejszej emisji siarki, pyłów i popiołów, co powoduje, że biomasa jest bardziej przyjazna środowisku [29].

4. Podsumowanie

Energia pozyskiwana z biomasy jest najbardziej dostępną energią odnawialną w naszym kraju. Obserwując zarówno rynek przetwórstwa, jak i zbytu, można wywnioskować, że będzie się on aktywnie rozwijał. Duży wpływ na to zjawisko ma Unia Europejska i jej przyjęty cel strategiczny – obniżenia emisji CO₂. Obliguje on Polskę do kilkukrotnego wzrostu podaży energii ze źródeł odnawialnych w ciągu najbliższych lat. Również ciągle rosnące ceny paliw kopalnych, które aktualnie są bardzo odczuwalne, mają znaczący wpływ na rozwój pozyskiwania energii z nowych nośników.

Położenie tak dużego nacisku na redukcję emisji szkodliwych tlenków do atmosfery ma również swoje konsekwencje. Coraz powszechniejsze staje się pozyskiwanie biomasy rolniczej z odpadów. Aktualnie obserwuje się, jak bardzo konkurencyjny staje się rynek skupu słomy – jej ceny rosną. Rozwój przetwórstwa biomasy za zadanie zbioru i zagospodarowania odpadów rolniczych w celu wytworzenia tzw. zielonej energii na obszarach powstawania biomasy. Brak odpowiednich rozwiązań technologicznych oraz wsparcia dla indywidualnych gospodarstw spowodował, że skupem biomasy zainteresowały się większe podmioty wpływając na wzrost cen biopaliw. Dodatkowo transport biomasy na znaczne odległości powoduje dodatkowe wydzielanie szkodliwych tlenków do atmosfery, czego wykorzystanie odnawialnych źródeł energii miało uniknąć.

Konieczność dywersyfikacji dostaw energii, niepewność cen, zachowanie ziemskiego klimatu dla przyszłych pokoleń sprawia, że zagospodarowanie biomasy z przeznaczeniem energetycznym ma swoje uzasadnienie i jest potrzebne każdej rozwijającej się gospodarce. Należy jednak zwrócić uwagę na możliwości wykorzystania jej przez gospodarstwa jednorodzinne, szczególnie w regionach wiejskich, ale również uwzględnienie rachunku

ciągnionej emisji podczas przetwórstwa tak, aby realnie obniżyć emisję szkodliwych tlenków do atmosfery poprzez wytwarzanie zielonej energii w obszarach jej powstawania.

Literatura

1. Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne. WNT. Warszawa 2009.
2. Lewandowski W. M.: Proekologiczne odnawialne źródła energii. WNT. Warszawa 2007.
3. Chmielniak T. J.: Technologie energetyczne. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej Gliwice 2004.
4. Czupryński B., Dziemianowicz W., Kotarska K.: Stan rozwoju sektora OZE w Polsce. Przemysł fermentacyjny i owocowo-warzywny. 2010, 11-12.
5. Tytko R.: Odnawialne źródła energii. OWG Lotos Poligrafia Sp. z o.o., Warszawa 2010.
6. Ciechanowicz W.: Systemy energii w przyszłości. AURA Ochrona Środowiska 2005, 12.
7. Kubrycz M.: Słoma jako odnawialny surowiec wykorzystywany do produkcji energii w Polsce. Materiały konferencyjne. Częstochowa 2011.
8. Berent – Kowalska G. i inni: Energia ze źródeł odnawialnych w 2010 r. GUS, Warszawa 2011
9. Demisiuk W.: Słoma jako paliwo. „EKOLOG” Zakład Energetyki Ciepłej i Usług Bytowych w Zielonkach. Inżynieria Rolnicza 1(110)/2009.
10. Ciechanowicz W., Szczukowski S.: Nowa struktura globalnego systemu energii. AURA Ochrona Środowiska 2008, 2.
11. Markowska J.: Rynek biomasy i biopaliw w Polsce. Przemysł spożywczy 2007.
12. <http://www.environet.eu/bioenergetyka/>, odczyt: 06.06.2011 r.
13. Żmuda K.: Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych – zamierzenia Komisji Europejskiej i stanowisko Polski (1). Przemysł fermentacyjny i owocowo-warzywny 2006, 3.
14. Pod redakcją Ściążko M., Zuwała J., Pronobis M.: Współspalanie biomasy i paliw alternatywnych. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla. Politechnika Śląska. Zabrze 2007.
15. Urząd Komitetu Integracji Europejskiej, Analityczna ocena propozycji Komisji Europejskiej, „Pakiet klimatyczno-energetyczny”, Departament Polityki Integracyjnej Warszawa 2008.
16. Juliszewski T.: Ogrzewanie biomasą. Wydawnictwo PWRiL Sp. z o.o. Poznań 2009.
17. Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma energetyczne paliwo. Wydawnictwo Wieś Jutra Sp. z o.o. Warszawa 2001.