

Estera PIETRAS

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów
Instytut Przeróbki Plastycznej i Inżynierii Bezpieczeństwa
al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa
e-mail: estera.pietras@wp.pl

Analiza możliwości wykorzystania wybranych składników biomasy w kontekście ich własności energetycznych

Analysis of the Possibility of using Chosen Elements of Biomass in the Context of their Energy Properties

In the 19th century wood was a primary source of energy. However with time it was replaced with mine fuel. Nowadays it is used among others in the furniture, construction or chemical industry. For the energy production wood is being used from orchards, urban greenery and recycling. The biomass is accounted for centuries as the primary source of energy for humans. The biomass is energy estimated in comparison to the traditional principles of solid and liquid fuels. The paper is focused on basic energetic properties of straw, leaves, energetic willow and thuj. The mine energy resources are limited and are undergoing to finish. It is unusually essential in the face of forecasting that the peak of the oil production will be reached in 2015-2020 years. World reserves of petroleum, with current exploitation trends, should be enough for about 40 years, of gas for 60 years, whereas of coal for 200 years. Getting the energy from renewable sources is a main element of the politics of saving reserves of fossil fuels: of wind, water, sun and biomass.

Keywords: researches, biomass properties, power production

Wprowadzenie

Od tysiącleci podstawowym źródłem energetycznym służącym ludziom była biomasa. Jednak odkrycie węgla kamiennego, gazu ziemnego i ropy naftowej zepchnęło na poboczny tor znaczące właściwości fizykochemiczne biomasy, które mogłyby całkowicie zaspokoić potrzeby żywnościowe człowieka. Biomasa może być pozyskiwana z obszarów wiejskich czy typowych upraw roślin energetycznych. Jak podaje literatura, biomasa to masa materii organicznej zawarta w organizmach roślinnych i zwierzęcych na określonej przestrzeni o wzorze chemicznym $(CH_2O)_n$, którą uzyskujemy w wyniku reakcji fotosyntezy [1]. W procesie tym wytwarzane są związki organiczne z CO_2 i H_2O kosztem energii słonecznej. Długość fal promieniowania słonecznego jest wykorzystywana w zakresie od 400 do 700 nm. Odpowiada to 50% widmu całkowitego promieniowania słonecznego.

Ogólna sprawność procesu fotosyntezy nie jest duża, osiąga (1:3)% i nie przekracza (5:6)%. Aby dwukrotnie zwiększyć ilość produkowanej żywności, wystarczy podnieść sprawność zaledwie o 1%. Okres wegetacji biomasy jest krótki, do realizacji procesu potrzebna jest energia słoneczna oraz gleba jako środowisko wegetacji. Biomasa jest jednym z najbardziej obiecujących źródeł energii odnawialnej w Polsce, a w Unii Europejskiej zaspokaja 6% energii pierwotnej.

W Szwecji uzyskano istotny, bo blisko 18% wzrost produkcji energii z biomasy. Od 1991 roku zanotowano znaczny wzrost zużycia biomasy - o 71%. W światowej produkcji ciepła z biomasy dominują: Szwecja, Niemcy i Stany Zjednoczone [1-3]. Wykorzystanie biomasy zwiększa lokalne bezpieczeństwo energetyczne poprzez niezależnienie się od zewnętrznych dostawców paliw kopalnych. Badania ujawniły, że technologie wykorzystujące biomasę wymagają większego nakładu inwestycyjnego. Jednak koszty eksploatacji są niższe. Globalnie korzyści, jakie niesie ze sobą wykorzystanie biomasy, związane są z obniżeniem emisji gazów cieplarnianych (dwutlenku węgla oraz metanu). Kolejną korzyścią, jaka wynika z zastosowania biomasy w kotłach, to obniżenie emisji zanieczyszczeń gazowych do atmosfery (dwutlenku siarki, tlenków azotu, tlenku węgla z procesów spalania paliw kopalnych) oraz zagospodarowanie odpowiedniej masy roślinnej.

1. Wykorzystanie biomasy w praktyce

Lasy od początku służyły ludzkości jako pierwotne źródło energii. Jednak obecnie około połowę globalnego pozyskania drewna użytkuje się na cele energetyczne, tak jak miało to miejsce przed wiekami. Jednak w ostatnich latach rozwój technologii umożliwił integrację użytkowania biomasy z przemysłowymi systemami energetycznymi. Kurczące się zasoby ropy naftowej i emisja gazów cieplarnianych wynikających ze spalania paliw kopalnych stały się głównymi siłami napędowymi tego rozwoju [4]. Literatura przedmiotu szeroko omawia pojęcie biomasy z różnych perspektyw. Dokonując ich przeglądu, można stwierdzić, że do celów energetycznych wykorzystuje się następujące postacie biomasy: drewno odpadowe, odpadowe opakowania drewniane, słomę (zbożową), siano, plony z plantacji roślin energetycznych, odpady organiczne (gnojownicę), osady ściekowe, makulaturę, biopaliwa płynne, biogaz z gnojownicy, osadów ściekowych, wysypisk komunalnych. Na rysunku 1 przedstawiono sposoby pozyskiwania energii z biomasy.

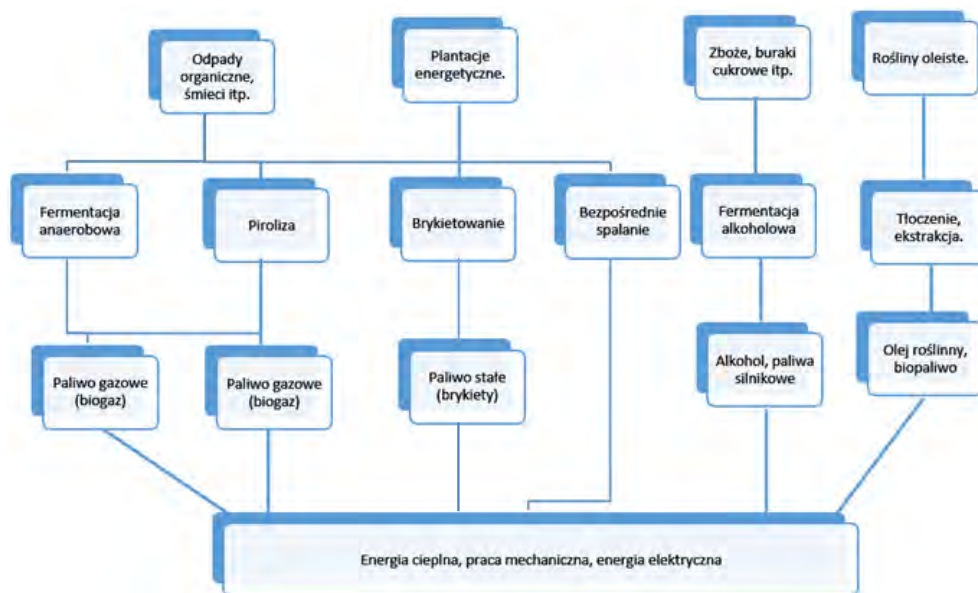
Na cele energetyczne biomasę można wykorzystać poprzez:

- spalanie biomasy bezpośrednie, np. drewna pod różną postacią,
- paliwa gazowe przetworzone z biomasy, np.: gaz drzewny, biogaz rolniczy,
- paliwa ciekłe przetworzone z biomasy, np.: alkohol, estry oleju rzepakowego.

W polskich warunkach liczą się następujące źródła pozyskiwania biomasy:

- Leśnictwo (drewno kawałkowe, drewno odpadowe w postaci drzew, gałęzi, z przycinek, odpady w postaci kory, trocin, karpina)

- Rolnictwo - drewno z plantacji energetycznych (wierzba, topola, miskanty, ślazier pensylwański), rośliny z upraw polowych zawierających węglowodany (zboża, buraki), rośliny oleiste, produkty uboczne (słoma, łodygi kukurydzy, łupiny nasion), odpady (obornik z hodowli bydła, trzody chlewnej)
- Przemysł (drożdże odpadowe z gorzelnii, młóto z browarów, wytloki z przetwórci owoców, chłodni, wytwórni soków, odpady z rzeźni)
- Gospodarka komunalna (surowe osady ściekowe z oczyszczalni ścieków, frakcja odpadów komunalnych, odpady kuchenne, papier, tektura, odpady zielone)
- Biologiczno-wodna roślinność (glony, osady z biologicznego oczyszczania ścieków) [5, 6].



Rys. 1. Klasyfikacja sposobów pozyskiwania energii z biomasy [5, 6]

Fig. 1. Classification of ways of extracting energy from biomass [5, 6]

Przetwarzanie biomasy na nośniki energii może odbywać się metodami fizycznymi, chemicznymi, biochemicznymi, w zależności od składu chemicznego surowca i opłacalności. W celu łatwiejszego i efektywniejszego wykorzystania drewna czy słomy poddaje się je rolowaniu, brykietowaniu, granulowaniu, rozdrabnianiu. Biomasa może być używana na cele energetyczne w procesach bezpośredniego spalania biopaliw stałych, takich jak: słoma, drewno, bądź gazowych, takich jak: biogaz rolniczy czy biogaz z oczyszczalni ścieków. W Polsce wykorzystuje się biopaliwa do produkcji energii cieplnej i coraz częściej do produkcji energii elektrycznej. W praktyce wykorzystanie biomasy na cele energetyczne oznacza tworzenie miejsc pracy oraz wewnętrzny przepływ środków finansowych w gminie czy powiecie bez odpływu środków finansowych na zakup paliw importowanych. Wycenienia statystyczne wskazują, że średnia cena ciepła uzyskiwanego z biomasy w 2012 roku wynosiła 33,41 zł/GJ, a z węgla kamiennego 32,31 zł/GJ. Klient

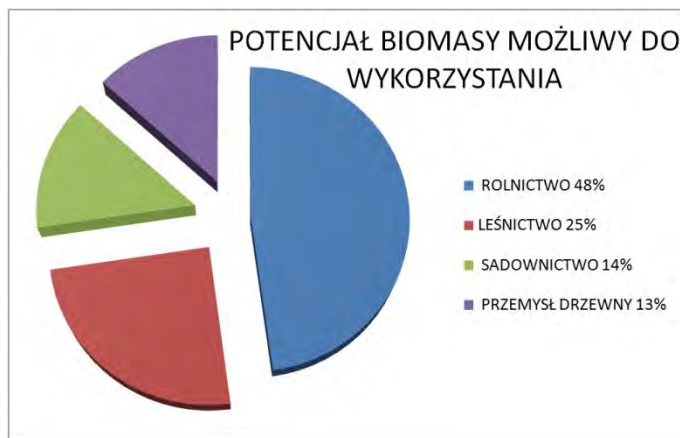
gotowy jest zapłacić nieco więcej ze świadomością, że korzysta z ekologicznych źródeł energii. Rozpiętość cen energii z biomasy w poszczególnych województwach wynosi od 24,31 zł/GJ w województwie małopolskim do 65,94 zł/GJ w województwie lubuskim. W czterech województwach ceny ciepła produkowanego z biomasy są niższe niż z paliwa węglowego, dotyczy to rejonów, gdzie trzeba go wozić z dalekich odległości [7].

Tabela 1. Podział na cztery grupy roślin uprawianych energetycznie [8]

Table 1. Division into four groups of plants grown energetically [8]

Rośliny uprawiane rocznie (zboża, konopie, kukurydza, rzepak, słonecznik, trzcina)
Rośliny drzewiaste szybkiej rotacji (topola, wierzba, eukaliptus)
Rośliny szybko rosnące, rośliny trawiaste, wieloletnie, plonujące corocznie (trzcina, trzcina laskowa, miskant)
Rośliny wolno rosnące, gatunek drzewiasty

Biomasę produkuje się na specjalnych plantacjach drzew szybko rosnących (wierzba, platan, eukaliptus, topola), trzciny cukrowej, rzepaku, słonecznika oraz wybranych gatunków traw. Produkcja biomasy może przebiegać też samoistnie, np. na łąkach, stepach, w puszczech, jak również w oceanach i zbiornikach wód słodkich. W celu zwiększenia jej produkcji stosuje się nakłady związane z nawadnianiem, nawożeniem, a także walkę ze szkodnikami itp. Na rysunku 2 pokazano wydajność biomasy, którą można zagospodarować.



Rys. 2. Możliwości wykorzystania biomasy [5, 8]

Fig. 2. Possibilities of using biomass [5, 8]

Zarówno w krajach rozwijających się, jak i uprzemysłowionych zaawansowane technologie użytkowania biomasy mogą dostarczyć wiele korzyści, takich jak:

- A. dostępność biomasy większa niż paliw kopalnych,
- B. opłacalność przekształcenia biopaliw na różne nośniki energii (tj. ciepło, elektryczność, metanol, etanol, wodór),

- C. zmniejszenie emisji CO₂ w atmosferze podczas konwersji biomasy,
 D. zmniejszenie importu paliw, dywersyfikacja źródeł energii, zwiększenie rozwoju i zatrudnienia w obszarach wiejskich, możliwość odzyskania wylesionych i zdegradowanych przemysłowo obszarów [9].

Wykorzystanie biomasy do celów energetycznych może być prowadzone w oparciu o procesy gazyfikacji lub pirolizy biomasy, procesy bezpośredniego spalania i współspalania, produkcję paliw ciekłych (np. estry oleju rzepakowego). Według szacunku, z jednej tony suchej biomasy w procesie pirolizy można otrzymać 590 kg biooleju, 420 kg koksu oraz 130 kg biogazu. W procesach gazyfikacji uzyskuje się sprawność na poziomie 25÷40% w zależności od wielkości instalacji. Badania technologii pirolizy są na etapie uruchamiania instalacji pilotowych, a technologie instalacji pirolizy i gazyfikacji są postrzegane jako przyszłościowe [6].

W tabeli 2 przedstawiono właściwości wybranych typów biomasy i ich popiołów. Właściwości te pozwalają ocenić ich przydatność do spalania, ale w dużym stopniu zależą od składu chemicznego masy palnej i substancji mineralnej, zawartości części lotnych, popiołu i jego składu [10, 11]. Wartości opałowe zostały określone dla średniej zawartości wilgoci z podanego zakresu.

Tabela 2. Fizykochemiczne właściwości wybranych składników biomasy [10]

Table 2. Physicochemical properties of selected biomass components [10]

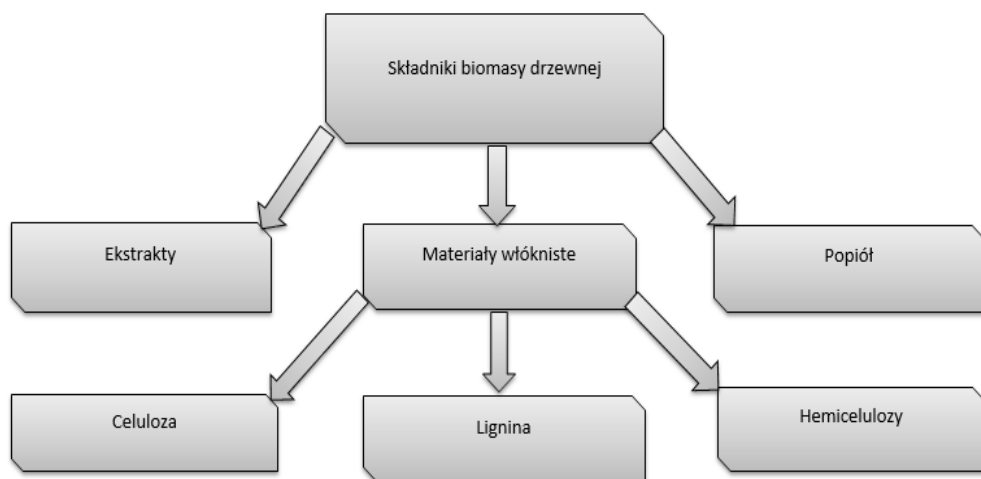
Składnik biomasy	Wartość opałowa MJ/kg	Gęstość g/cm ³	Zawartość wilgoci %	Zawartość popiołu %
Łuski z nasion słonecznika	15,2	1,01÷1,3	6,1	6,5
Kaczany kukurydzy	14,6	0,1÷0,5	30÷50	
Odpady drzewne	15,9	0,1÷0,5	16÷58	1,4
Siano	8÷9	0,1÷0,3	8÷35	
Trociny	16,8	0,92÷1,11	6,1	10÷12
Drewno dębu	14,3		13	3,6
Drewno sosny	16,7	0,61	12	0,2
Drewno brzozy	15,9		12	
Suszony osad ściekowy	10÷12		3,1	30÷40
Miskant olbrzymi			7,6	4,9
Malwa pensylwańska			–	5,43
Drewno bukowe			–	0,34

Mankamentem biomasy jest szeroki przedział wilgotności oraz ilość energii znajdującej się w określonej objętości. Właściwości te znacznie utrudniają magazynowanie czy transport, jednak sytuacja się znacznie zmienia w przypadku brykietów i peletów przetworzonych z biomasy, gdzie mankamenty te już znikają. Zatem biomasę drzewną stanowi drewno surowe (drewno tartaczne z obróbki kłód, drewno z plantacji energetycznych upraw drzewiastych o krótkim czasie rotacji, drewno z roślin energetycznych) lub drewno przetworzone (zrębki drzewne, ścinki,

trociny i pył drzewny) [12]. Drewno jest paliwem biologicznym, którego ilość odnawia się corocznie. Świeże ścięte drzewo zawiera około 40 do 50% wilgoci przy wartości opałowej około 8400 kJ/kg. Po wstępnym wysuszeniu na powietrzu zawiera od 15 do 25% wilgoci i ma wtedy wartość opałową 12 500÷14 600 kJ/kg. Wilgotność jest jednym z czynników silnie warunkujących opłacalność ekonomiczną pozyskiwania pozostałości zrębowych. Odbiorca płaci dostawcy za ilość dostarczonej energii, a ta ściśle wiąże się z niską zawartością wilgoci. W transporcie samochodowym podstawą do rozliczenia jest masa, dlatego koszty znacznie spadają wraz ze spadkiem wilgoci. Należy podkreślić, iż im bardziej suche paliwo, tym wyższa jest wartość energetyczna i znacząco niższe koszty transportu [4].

Aby chronić środowisko, obecnie spala się wióry, trociny, zrębki drewna lub specjalnie hoduje się odmiany szybko rosnące przeznaczone typowo do spalania. Innym cennym paliwem odnawialnym jest słoma i odpady roślinne i mimo że są mniej wartościowe, to jednak są cennym paliwem odnawialnym ze względu na roczny przyrost masy. Wartość opałowa słomy wynosi od 9000 do 14 000 kJ/kg. Największe złoża biomasy występują w województwach: wielkopolskim, kujawsko-pomorskim, niewielkie z kolei w małopolskim [2, 7, 13].

Biomasę pochodzenia roślinnego określa się jako biomasę lignino-celulozową. Budulcem chemicznym biomasy roślinnej są struktury polimerowe, takie jak: celuloza, czyli błonnik, hemiceluloza, i lignina, która występuje w ściankach zdrewniałych komórek roślin (rys. 3).



Rys. 3. Składniki biomasy drzewnej [6]

Fig. 3. Components of wood biomass [6]

Drewno składa się z celulozy, hemicelulozy, ligniny, wody oraz różnych żywic, garbników, białek, tłuszczów i substancji mineralnych. Zawartość celulozy w suchym drewnie liściastym wynosi 43÷48%, a dla porównania w iglastym drewnie wynosi 53÷54%, natomiast zawartość hemicelulozy w drewnie liściastym wynosi 15÷35%, a w iglastym wynosi 20÷32%. Zawartość ligniny w suchym drewnie liściastym wynosi 18÷25%, a w drewnie iglastym znajduje się jej 25÷35% [14-16].

2. Metodyka badań

W badaniach analizowano pięć rodzajów biomasy (tuję, trzcinę, wierzbę energetyczną, słomę i liście). W trakcie trwania procesu określono podstawowe właściwości energetyczne biomasy, wyznaczono ciepło spalania i wartość opałową (rys. 4-7). Pomiar bazował na całkowitym spalaniu próbki paliwa w atmosferze tlenu pod ciśnieniem w bombie kalorymetrycznej, która była całkowicie zanurzona w wodzie, oraz na sprawdzeniu przyrostu temperatury wody. Widok stanowisk badawczych zaprezentowano na rysunkach 5 i 6. Do każdego rodzaju biopaliwa wyróżniono:

- zawartość wilgoci powietrzno suchej wg normy PN-EN14774-1:2010,
- zawartość popiołu wg normy PN-EN 14775:2010,
- zawartość części lotnych wg normy PN-EN 15148:2010,
- wartość opałową wg normy PN-81/G/04513,
- ciepło spalania wg normy PN-81/G/04513.



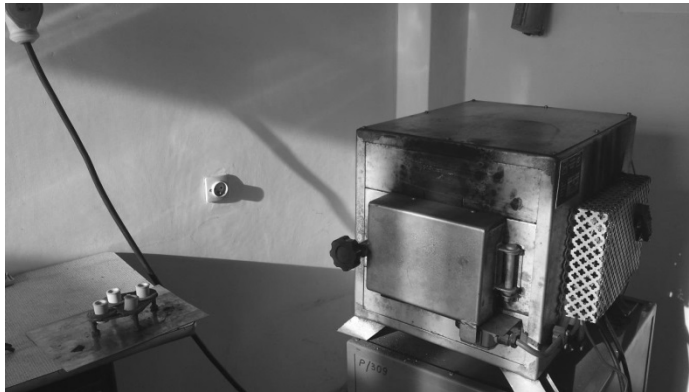
Rys. 4. Słoma przed włożeniem do suszarki elektrycznej o temperaturze 105÷110°C (opracowanie własne)

Fig. 4. Straw before inserting into an electric dryer at 105÷110°C (own elaboration)



Rys. 5. Widok stanowiska pomiarowego w trakcie badania bombą kalorymetryczną (opracowanie własne)

Fig. 5. View of the measurement station during the calorimetric bomb test (own elaboration)



Rys. 6. Piec rozgrzewający się do temperatury 850°C (opracowanie własne)

Fig. 6. Furnace heated to temperature 850°C (own preparation)



Rys. 7. Popiół z tui, otrzymany po spaleniu w piecu 850°C, przez 90 minut (opracowanie własne)

Fig. 7. Ashes from the tuft, obtained after incineration in an oven of 850°C, for 90 minutes (own elaborate)

3. Wyniki badań

Do badań wykorzystane zostały następujące rodzaje biomasy: wierzba energetyczna, słoma, liście, tuja i trzcina. Z materiałów tych przygotowano próbki i poddano je szeregowi badań określających ich własności. Następnie poddano je procesowi spalania w piecu i otrzymane produkty także przebadano. Wyniki badań zestawiono w tabeli 3.

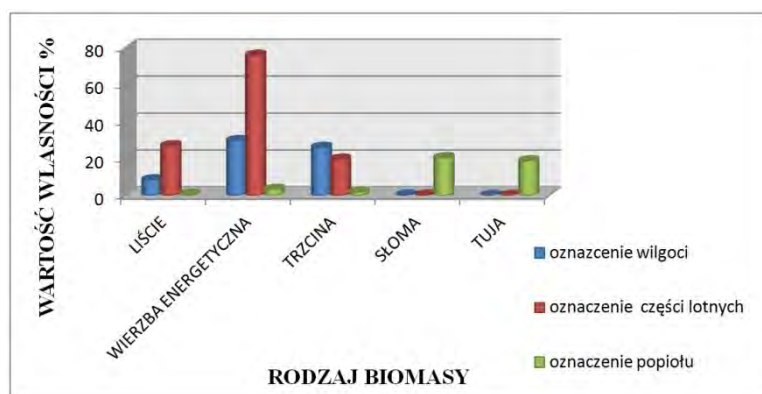
Wyniki poszczególnych badań przedstawiają wykresy na rysunkach 8 i 9.

Zawartość wilgoci jest największa dla wierzby, natomiast najmniejsza dla słomy i tui. Wierzba energetyczna charakteryzuje się największą zawartością części lotnych w przeciwieństwie do słomy i tui. Z kolei tuja i słoma zawierają najwięcej popiołu, najmniej zawierają go liście. Własności te rzutują na przydatność energetyczną opisywaną poprzez wartość opałową i ciepło spalania.

Tabela 3. Analiza wyników oznaczenia wilgoci (W_h), popiołu (A_a), części lotnych (V_a), ciepła spalania (Q_s) i obliczanej wartości opałowej (Q_d) dla analizowanych rodzajów biomasy

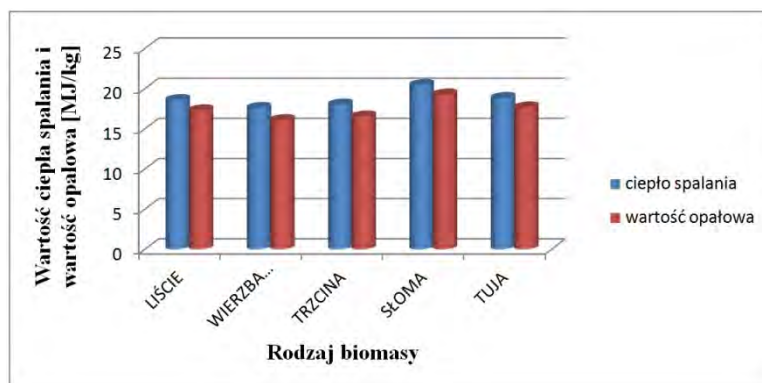
Table 3. Analysis of the results of the determination of moisture (W_h), ash, volatiles (V_a), combustion heat (Q_s) and calorific value (Q_d) for the analyzed biomass

Właściwości fizykochemiczne badanej biomasy	Tuja	Wierzba energetyczna	Trzcina	Słoma	Liście
W_h , %	0,900	29,783	26,123	0,900	8,533
V_a , %	18,856	76,004	19,693	12,656	26,930
A_a , %	0,044	3,346	1,792	0,270	0,680
Q_s , MJ/kg	18,856	17,609	18,035	20,465	18,589
Q_d , MJ/kg	17,677	16,096	16,546	19,286	17,311



Rys. 8. Wyniki oznaczenia wilgoci (W_h), popiołu (A_a) i części lotnych (V_a) dla analizowanych rodzajów biomasy

Fig. 8. Results of determination of moisture (W_h), ash (A_a) and volatiles (V_a) for the analyzed biomass



Rys. 9. Wyniki oznaczenia ciepła spalania (Q_s) i wartości opałowej (Q_d) dla rodzajów biomasy, liści, wierzby energetycznej, trzciny, słomy i tui

Fig. 9. Results of the combustion heat (Q_s) and calorific value (Q_d) for biomass, leaf, energy willow, cane, straw and tuft

Najwyższą wartością opałową i ciepłem spalania charakteryzuje się słoma, a nieco niższe wartości wykazują tuja i liście. Pozostałe rodzaje biomasy posiadają zbliżone, ale niższe wartości omawianych parametrów. Na rysunku 9 przedstawiono własności energetyczne pięciu rodzajów biomasy. Za najbardziej wartościowe należy uznać te, które posiadają wysoką wartość opałową i ciepło spalania.

Podsumowanie

Najważniejszym filarem rozwoju państwa jest energia. Zasoby surowców energetycznych obecnie są ograniczone i ulegają wyczerpaniu. Jest to niezwykle istotne w obliczu prognozowań, ponieważ szczyt wydobycia ropy naftowej zostanie osiągnięty w latach 2015-2020 [15]. Światowe zasoby ropy naftowej, przy zachowaniu obecnych trendów eksploatacyjnych, powinny wystarczyć na około 40 lat, gazu na 60 lat, zaś węgla na 200 lat [16]. Głównym elementem polityki oszczędzania surowców energetycznych jest pozyskanie energii ze źródeł odnawialnych: wiatru, wody, słońca i biomasy. Przystąpienie Polski do Unii Europejskiej zobowiązało nasz kraj do wdrażania i rozwoju sektora odnawialnych źródeł energii. Zgodnie z Dyrektywą Unii Europejskiej 2009/28/WE, do roku 2020 udział odnawialnych źródeł energii w całkowitym zużyciu energii w naszym kraju powinien wynieść 15%, natomiast udział biopaliw w transporcie powinien osiągnąć poziom 10% [17-20]. W Polsce z 1 ha użytków rolnych zbiera się rocznie około 10 ton biomasy, a samej słomy produkujemy 25÷30 mln ton. Szeregując więc, wytwarzanie roślin i odpadów z produkcji może być użytkowane do opłacalnej ekonomicznie produkcji biopaliw i bioenergii. Biomasa doskonale więc wpisuje się w cele wytworzenia energii tanim kosztem. Poza tym kolejnym jej walorem jest zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, zwiększenie efektywności energetycznej poprzez użytkowanie surowców najbliższej obszarów, w których się one znajdują, np.: do ogrzewania domów. Biomasa ma istotny wkład w rozwój zrównoważonej społeczności lokalnej i miejskiej. Toruje drogę do uzyskania samowystarczalności energetycznej. Tworzy możliwości pełniejszego spożytkowania potencjału produkcyjnego w rolnictwie, dzięki temu rozszerza rynek pracy, kierując uwagę na produkcję i przetwórstwo surowców energetycznych [7]. Konstatując, można dodać, że biomasa jest łatwa do pozyskania, powszechna i łatwa do odtworzenia, a jej spalanie nie powoduje dodatkowej emisji dwutlenku węgla oraz jest atrakcyjna cenowo w porównaniu z paliwami kopalnymi. Poza tym bardzo ważnym czynnikiem jest wzrost uaktywnienia gospodarczego, jaki możemy uzyskać przy wykorzystaniu biomasy. Pozostały popiół po spaleniu biomasy ma korzystny skład mineralny i może być stosowany jako nawóz.

Literatura

- [1] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S., Procesy termiczne utylizacji odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007, 210.
- [2] Nadziakiewicz J., Waclawiak K., Stelmach S., Procesy termiczne utylizacji odpadów, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2012, 5.

- [3] Rogulska M., Wykorzystanie energii biomasy w Polsce, Pierwsza Krajowa Konferencja nt. Wykorzystanie energii źródeł odnawialnych, Kudowa Zdrój, 6-7.06.2002.
- [4] Jodłowski K., Kalinowski M., Podręcznik dobrych praktyk w zakresie pozyskiwania biomasy leśnej do celów energetycznych, Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary 2013.
- [5] Grzybek A., Zasoby i możliwości wykorzystania biomasy w Polsce, *Ekologia i Technika* 2002, 4, 99-104.
- [6] Klimiuk E., Pawłowska M., Pokój T., Biopaliwa - Technologie dla zrównoważonego rozwoju, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012, 23-24.
- [7] Gostomczyk W., Wykorzystanie biomasy energetycznej do kreowania rynku pracy w aspekcie rozwoju zrównoważonego, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2015, 272-285, 396.
- [8] Dubas J., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A., Wierzba energetyczna - uprawa i technologie przetwarzania, Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu, Bytom 2004, 10-19.
- [9] Rybak W., Spalanie i współspalanie biopaliw stałych, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2006.
- [10] Kodylewski W. (red.), Spalanie i paliwa, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008, 181-194, 446-452.
- [11] Kobyłecki R., Środowiskowe aspekty termolizy biomasy, seria Monografie nr 290, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2014, 17.
- [12] Persson P., Green Energy From the Forest. An offprint from Working in Harvesting Teams. Part 2, Co print Eu 2011.
- [13] Kubica K. i in., Współspalanie biomasy z węglem, *Polityka Energetyczna* 2003, 6, zeszyt specjalny, 3.
- [14] Bergman P.C.A., Prins M.J., Boersma A.R., Ptasieński K.J., Kisiel A.H.A., Janssen F.J.J.G., Torrefaction for entired - flow gasification of biomass, The 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass of Energy, Industry and Climate Protection, Rzym 10-14 maj 2008.
- [15] Gizińska M., Józwiakowski K., Kowalczyk-Juško A., Pytka A., Marzec M., Produktivność biomasy i właściwości energetyczne roślin z hybrydowej gruntowej oczyszczalni ścieków w pierwszym roku eksploatacji, *Gaz Woda Technika Sanitarna* 2013, 7, 280.
- [16] Bocheński C., Bocheńska A., Ocena zasobów ropy naftowej i perspektywy jej substytucji biopaliwami, *Motrol* 2008, 10, 23-30.
- [17] Dyrektywa Unii Europejskiej 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (DzU UE L 09.140.16).
- [18] Dyrektywa 2001/77/WE z dnia 27 września 2001 r. w sprawie wspierania produkcji na rynku wewnętrznym energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł odnawialnych, DzU UE L 283 z 27.10.2001 r.
- [19] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 14 sierpnia 2008 r. w sprawie szczegółowego zakresu obowiązków uzyskania i przedstawienia do umorzenia świadectw pochodzenia, uiszczenia opłaty zastępczej, zakupu energii elektrycznej i ciepła wytworzonych w odnawialnych źródłach energii oraz obowiązku potwierdzania danych dotyczących ilości energii elektrycznej wytworzonej w odnawialnym źródle energii, DzU Nr 156, poz. 969.
- [20] Kardaś D., Kluska J., Polesek-Karczewska S., Wprowadzenie do zagadnień zgazowania biomasy, Wydawnictwo Instytutu Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2014.

Streszczenie

W XIX w. używano drewna jako jednego z podstawowych źródeł energii. Jednak z czasem zastąpiono go paliwem kopalnym. Obecnie używa się drewna w przemyśle meblarskim, chemicznym, w budownictwie. Do produkcji energii wykorzystuje się drewno z sadów, zieleni miejskiej, recyklingu. Artykuł zwraca uwagę na podstawowe źródło energii odnawialnej, jakim jest biomasa. Skoncentrowano się na możliwościach wykorzystania biomasy, jak również na podstawowych właściwościach energetycznych słomy, liści, trzciny, wierzby energetycznej oraz tui.

Słowa kluczowe: badania, właściwości biomasy, energetyka