

## ANALIZA KONWENCJONALNYCH NOŚNIKÓW ENERGII Z BIOMASĄ DO CELÓW GRZEWCZYCH. CZ. 2. STUDIUM PRZYPADKU

*Grzegorz Redlarski, Janusz Piechocki*

*Katedra Elektrotechniki Energetyki Elektrotechniki i Automatyki  
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

*Adam Kupczyk*

*Katedra Organizacji i Inżynierii Produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

*Dominik Ambroziak*

*Katedra Mechatroniki i Inżynierii Wysokich Napięć, Politechnika Gdańska*

**Streszczenie.** Materiał stanowi kontynuację problemu opisanego w (Ambroziak i in., 2013). W artykule przedstawiono wyniki analizy ekonomicznej oraz ekologicznej biomasy (pellety), w porównaniu z innymi, powszechnie stosowanymi nośnikami energii (węgiel kamienny, gaz ziemny, olej opałowy oraz energia elektryczna, wytwarzana w krajowym systemie elektroenergetycznym – KSE). Powyższą analizę wykonano na przykładzie budynku mieszkalnego, stanowiącego domek jednorodzinny, zlokalizowany w różnych strefach klimatycznych na terytorium Polski (strefa I – Gdańsk, strefa II – Piła, strefa III Toruń, strefa IV – Białystok, strefa V – Suwałki). W oparciu o ww. badania przedstawiono szereg wniosków ukazujących zalety biomasy jako odnawialnego źródła energii (OZE) na tle innych, konwencjonalnych źródeł energii.

**Słowa kluczowe:** biomasa, efekty ekonomiczne, efekty ekologiczne, ogrzewanie domu

### Opracowanie wyników badań

Przedstawione w artykule wyniki badań zostały uzyskane na podstawie metodyki opisanej w (Ambroziak i in., 2013) dzięki wykorzystaniu jednego z szeregu dostępnych pakietów specjalistycznego oprogramowania oferowanego przez firmę INTERsoft. W celu ułatwienia interpretacji wyników, każdy z analizowanych nośników energii opisano oddzielnie. Dodatkowo w końcowej części materiału podano zestawienie najbardziej istotnych wyników w odniesieniu do wszystkich analizowanych źródeł energii.

*Pierwszy z rozpatrywanych wariantów dotyczył rozwiązania bazowego – stosunkowo popularnego (szczególnie w przypadku realizacji nowych rozwiązań technicznych) i łatwo*

dostępnego nośnika energii, jaki stanowi, m.in. na terytorium Polski, biomasa (pellety). W tabeli 1 przedstawiono założenia niezbędne do realizacji opisywanych analiz, natomiast wyniki obliczeń podano w tabeli 2.

Tabela 1

*Założenia dotyczące zastosowania biomasy jako źródła energii*

Table 1

*Assumptions concerning the use of biomass as the energy source*

Założenia		
Rodzaj paliwa	Biomasa	
Rodzaj systemu	System ogrzewania i wentylacji	System przygotowania ciepłej wody
Rodzaj źródła ciepła	Kotły na biomasę (pellety) wrzutowe z obsługą ręczną o mocy do 100 kW	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW
Rodzaj instalacji grzewczej / Typ instalacji ciepłej wody	Ogrzewanie wody z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej	Centralne przygotowanie ciepłej wody użytkowej, instalacja z cyrkulacją z ograniczonym czasem pracy i pełną izolacją przewodów
Rodzaj instalacji ogrzewczej / ciepłej wody	Centralne ogrzewanie wodne z źródłem w budynku, z zaizolowanymi przewodami, armaturą i urządzeniami w pomieszczeniach ogrzewanych	Instalacje małe, do 30 punktów poboru ciepłej wody
Akumulacja ciepła	Brak zasobnika buforowego	Zasobnik w systemie wg standardu budynku niskoenergetycznego
Sprawność systemu	0,49	0,58

Tabela 2

*Wyniki analizy zastosowania biomasy jako źródła energii*

Table 2

*The analysis results on the use of biomass as the energy source*

	Wyniki				
	I	II	III	IV	V
Strefa klimatyczna					
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową (kWh · rok <sup>-1</sup> )	41994,8	45051,9	46668,2	52895,1	56888,3
Roczne koszty eksploatacyjne (PLN · rok <sup>-1</sup> )	7931,2	8450,8	8725,5	9783,8	10462,7
Roczna emisja CO <sub>2</sub> (kg · rok <sup>-1</sup> )	1216,4	1216,4	1216,4	1216,4	1216,4

Drugi z poddanych analizie przypadków dotyczył wykorzystania energii elektrycznej, wytworzonej w systemie elektroenergetycznym jako jedyne źródła energii w rozpatrywanym budynku mieszkalnym. Przyjęcie do analizy takiego wariantu wynika z konieczności, chociażby tylko częściowego, wykorzystywania tego nośnika energii niemal przez

wszystkie gospodarstwa domowe, jak również z istnienia szeregu budynków, w przypadku których jest to jedyne źródło energii. Założenia niezbędne do analizy tego przypadku podano w tabeli 3, a uzyskane wyniki obliczeń w tabeli 4.

Tabela 3

*Założenia dotyczące wykorzystania energii elektrycznej wytworzonej w systemie elektroenergetycznym, jako źródła energii w rozpatrywanym budynku*

Table 3

*Assumptions concerning the use of electric energy produced in the electrical energy system as the energy source in the considered building*

Założenia		
Rodzaj paliwa	Energia elektryczna	
Rodzaj systemu	System ogrzewania i wentylacji	System przygotowania ciepłej wody
Rodzaj źródła ciepła	Elektryczne grzejniki bezpośrednie: konwektorowe, płaszczyznowe, promieniowe i podłogowe kablowe	Elektryczny podgrzewacz akumulacyjny (z zasobnikiem bez strat)
Rodzaj instalacji grzewczej / Typ instalacji ciepłej wody	Elektryczne grzejniki bezpośrednie: konwektorowe, płaszczyznowe i promieniowe	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody użytkowej, instalacja bez obiegu cyrkulacyjnego
Rodzaj instalacji ogrzewczej / ciepłej wody	Źródło ciepła w pomieszczeniu (ogrzewanie elektryczne, piec kaflowy)	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody
Akumulacja ciepła	Brak zasobnika buforowego	Brak zasobnika
Sprawność systemu	0,97	0,98

Tabela 4

*Wyniki analizy uwzględniającej wykorzystanie energii elektrycznej wytworzonej w systemie elektroenergetycznym, jako jedyne źródła energii w rozpatrywanym budynku*

Table 4

*The analysis results including the use of electric energy produced in the electrical energy system as the energy source in the considered building*

Strefa klimatyczna	Wyniki				
	I	II	III	IV	V
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową (kWh·rok <sup>-1</sup> )	21518,6	23059,1	23873,6	27010,8	29023,4
Roczne koszty eksploatacyjne (PLN·rok <sup>-1</sup> )	16596,6	17721,2	18315,7	20605,9	22075,1
Roczna emisja CO <sub>2</sub> (kg·rok <sup>-1</sup> )	22735,1	24275,6	25090	28227,2	30239,9

Trzeci z rozpatrywanych przypadków dotyczył analizy węgla kamiennego jako jednego ze źródeł energii najpowszechniej występujących w jednorodnym budownictwie mieszkaniowym. Warto podkreślić, że prawie 54% (PSE S. A., 2011) energii pozyskiwanej w KSE jest generowane przez elektrownie opalane węglem kamiennym, a Polska jest



światowym potentatem pod względem jego wydobycia (Dmochowska, 2012). W tabeli 5 zostały przedstawione założenia analiz w oparciu o metodologię wyjaśnioną w (Ambroziak i in., 2013), natomiast wyniki obliczeń podano w tabeli 6.

Tabela 5

*Założenia w przypadku zastosowania węgla brunatnego jako nośnika energii*

Table 5

*Assumptions in case of the use of hard coal as the energy carrier*

Założenia		
Rodzaj paliwa	Węgiel kamienny	
Rodzaj systemu	System ogrzewania i wentylacji	System przygotowania ciepłej wody
Rodzaj źródła ciepła	Kotły węglowe wyprodukowane po 2000 r.	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW
Rodzaj instalacji grzewczej / Typ instalacji ciepłej wody	Ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji miejscowej	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody użytkowej, instalacja bez obiegu cyrkulacyjnego
Rodzaj instalacji ogrzewczej / ciepłej wody	Źródło ciepła w pomieszczeniu (ogrzewanie elektryczne, piec kaflowy)	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody
Akumulacja ciepła	Brak zasobnika buforowego	Brak zasobnika
Sprawność systemu	0,72	0,86

Tabela 6

*Wyniki analizy węgla kamiennego, jako źródła energii*

Table 6

*The analysis results of hard coal as the energy source*

Strefa klimatyczna	Wyniki obliczeń				
	I	II	III	IV	V
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową (kWh·rok <sup>-1</sup> )	28428,3	27673,1	28656,4	32444	34873,9
Roczne koszty eksploatacyjne (PLN·rok <sup>-1</sup> )	2953,6	2875,1	2977,3	3370,8	3623,3
Roczna emisja CO <sub>2</sub> (kg·rok <sup>-1</sup> )	8600,3	8404,2	8659,6	9643,4	10274,5

Czwarty z poddanych analizie wariantów dotyczył zastosowania źródła energii w postaci gazu ziemnego. Ten nośnik energii jest obecnie szczególnie popularny w nowo budowanych obiektach mieszkalnych, gdyż uchodzi za tanie oraz charakteryzujące się stosunkowo niską emisją zanieczyszczeń do atmosfery źródło energii. Założenia niezbędne do analizy tego wariantu przedstawiono w tabeli 7, natomiast wyniki uzyskanych obliczeń, w tabeli 8.

Tabela 7  
Założenia dotyczące zastosowania gazu ziemnego jako źródła energii  
Table 7  
Assumptions concerning the use of natural gas as the energy source

Założenia		
Rodzaj paliwa	Gaz ziemny	
Rodzaj systemu	System ogrzewania i wentylacji	System przygotowania ciepłej wody
Rodzaj źródła ciepła	Kotły gazowe kondensacyjne do 50 kW (70/55°C)	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW
Rodzaj instalacji grzewczej / Typ instalacji ciepłej wody	Ogrzewanie wodne z grzejnikami czołowymi lub płytowymi w przypadku regulacji miejscowej	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody użytkowej, instalacja bez obiegu cyrkulacyjnego
Rodzaj instalacji ogrzewczej / ciepłej wody	Ogrzewanie mieszkaniowe (kocioł gazowy lub miniwęzeł)	Miejscowe przygotowanie wody bezpośrednio przy punktach poboru wody
Akumulacja ciepła	Brak zasobnika buforowego	Brak zasobnika
Sprawność systemu	0,83	0,86

Tabela 8  
Wyniki analizy zastosowania gazu ziemnego jako źródła energii w budynku  
Table 8  
The analysis results of the use of natural gas as the energy source in a building

Strefa klimatyczna	Wyniki				
	I	II	III	IV	V
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową (kWh·rok <sup>-1</sup> )	25156,7	29379,8	30430,6	34478	37074,7
Roczne koszty eksploatacyjne (PLN·rok <sup>-1</sup> )	8306,2	8844,4	9129	10225,1	10928,3
Roczna emisja CO <sub>2</sub> (kg·rok <sup>-1</sup> )	6172,1	7004	7211	8008,3	8519,8

Piąty z rozpatrywanych wariantów dotyczył wykorzystania oleju opałowego jako źródła energii w rozpatrywanym budynku mieszkalnym. Stąd też w tabeli 9 przedstawiono założenia, jakie zostały przyjęte do obliczeń, natomiast w tabeli 10 podano uzyskane wyniki.

Tabela 9

*Założenia dotyczące zastosowania oleju opałowego jako źródła energii*

Table 9

*Assumptions concerning the use of heating oil as as the energy source*

Założenia		
Rodzaj paliwa	Olej opałowy	
Rodzaj systemu	System ogrzewania i wentylacji	System przygotowania ciepłej wody
Rodzaj źródła ciepła	Kotły niskotemperaturowe gazowe lub olejowe z zamkniętą komorą spalania i palnikiem modulowanym do 50 kW	Kotły niskotemperaturowe o mocy do 50 kW
Rodzaj instalacji grzewczej / Typ instalacji ciepłej wody	Ogrzewanie wodne z grzejnikami czołowymi lub płytowymi w przypadku regulacji centralnej	Miejscowe przygotowanie ciepłej wody użytkowej, instalacja bez obiegu cyrkulacyjnego
Rodzaj instalacji ogrzewczej / ciepłej wody	Ogrzewanie mieszkaniowe (kocioł gazowy lub miniwęzeł)	Miejscowe przygotowanie poboru ciepłej wody bezpośrednio przy punktach poboru wody
Akumulacja ciepła	Brak zasobnika buforowego	Brak zasobnika
Sprawność systemu	0,71	0,86

Tabela 10

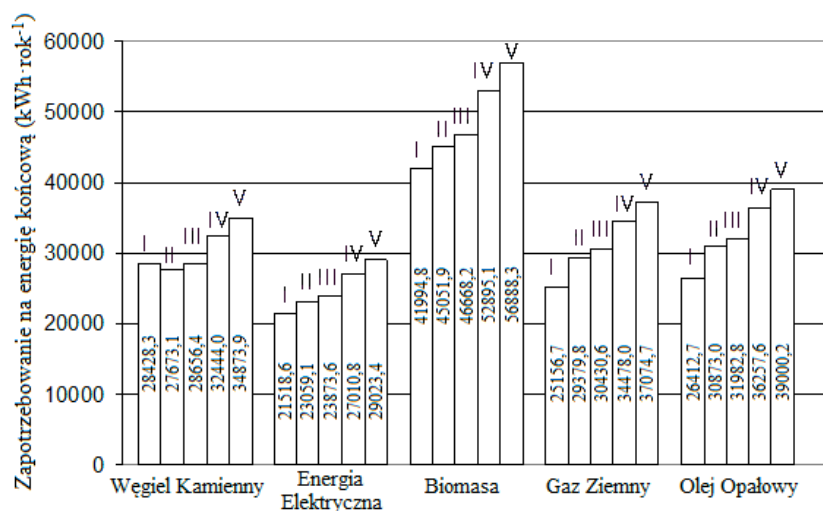
*Wyniki analizy oleju opałowego jako źródła energii w budynku*

Table 10

*The analysis results of natural gas as the energy source in a building*

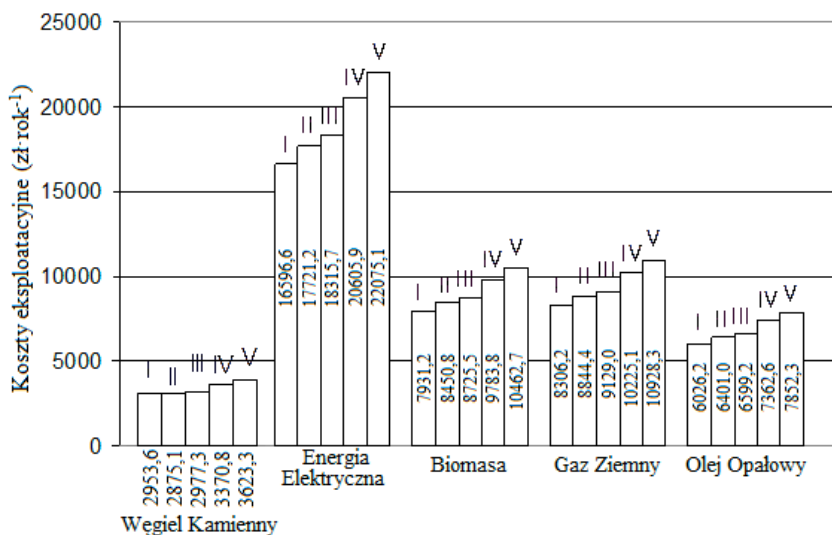
Strefa klimatyczna	Wyniki obliczeń				
	I	II	III	IV	V
Roczne zapotrzebowanie na energię końcową (kWh·rok <sup>-1</sup> )	26412,7	30873	31982,8	36257,6	39000,2
Roczne koszty eksploatacyjne (PLN·rok <sup>-1</sup> )	6026,2	6401	6599,2	7362,6	7852,3
Roczna emisja CO <sub>2</sub> (kg·rok <sup>-1</sup> )	5539,9	6270	6451,7	7151,5	7600,4

Analizując wyżej przedstawione wyliczenia, możliwe jest porównanie wyników dotyczących zastosowania bazowego źródła energii, w przypadku którego nośnikiem energii jest biomasa, z pozostałymi nośnikami energii. Pierwszym niezbędnym krokiem w tym zakresie jest zestawienie zapotrzebowania na energię końcową każdego ze źródeł energii, w każdej z rozpatrywanych stref klimatycznych. Wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową w każdym z rozpatrywanych wariantów (rys. 1) stanowi bowiem – jak wynika z opisanej metodyki – podstawę dalszych analiz, mających na celu określenie rocznych kosztów eksploatacyjnych w przypadku zastosowania określonego źródła energii (rys. 2) oraz rocznej emisji dwutlenku węgla, która jest związana z energetycznym spalaniem rozpatrywanych nośników energii (rys. 3).



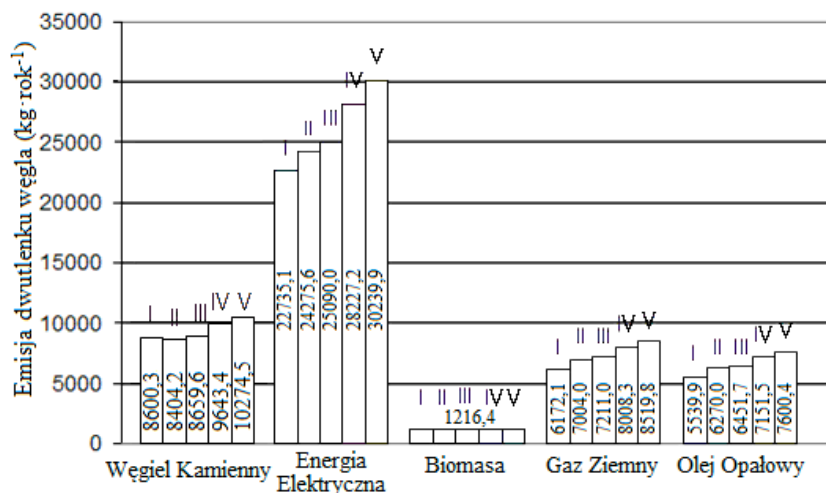
Rysunek 1. Zapotrzebowanie budynku na energię końcową w zależności od nośnika energii oraz przynależności do określonej strefy klimatycznej

Figure 1. Demand of a building for the final energy in relation to the energy carrier and being a part of the particular climatic zone



Rysunek 2. Zestawienie całkowitych kosztów eksploatacyjnych w zależności od nośnika energii oraz od przynależności do określonej strefy klimatycznej

Figure 2. The list of total exploitation costs in relation to the energy carrier and being a part of the particular climatic zone



Rysunek 3. Wartości emisji dwutlenku węgla do atmosfery w zależności od rodzaju nośnika energii oraz przynależności do określonej strefy klimatycznej

Figure 3. The values of carbon dioxide emission to atmosphere in relation to the energy carrier and being a part of the particular climatic zone

## Podsumowanie i najistotniejsze wnioski

Podsumowując wyniki przeprowadzonych analiz i odnosząc je do badanego nośnika energii, jaki stanowi biomasa, należy stwierdzić, że:

- stosowanie jakiegokolwiek innego nośnika energii, aniżeli biomasy, jest zdecydowanie bardziej niekorzystne pod względem ekologicznym. Świadczą o tym, wyznaczone dla poszczególnych wariantów, wartości emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery (rys. 3). Fakt ten stwarza potencjalne możliwości znacznego ograniczenia emisji tego związku w wyniku modernizacji – innych, aniżeli na biomasę – źródeł energii. Ponadto zmniejszenie emisji dwutlenku węgla jest w pełni zgodne z aktualną polityką Wspólnoty Europejskiej;
- uzyskanie ww. korzyści jest możliwe pomimo znacznych różnic sprawności stosowanych urządzeń technicznych w systemach: grzewczo-wentylacyjnych oraz przygotowywania ciepłej wody użytkowej. Przykładowo pozyskując energię elektryczną z systemu elektroenergetycznego, można mówić o wysokiej sprawności w zakresie ogrzewania i wentylacji oraz instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej (odpowiednio na poziomie 97% i 98%), natomiast w przypadku rozwiązań bazujących na biomasie sprawność odnośnych systemów jest znacznie niższa (odpowiednio na poziomie: 49% oraz 58%). Podczas badań założono sprawność energii elektrycznej, widzianą od strony przyłącza budynku referencyjnego do systemu elektroenergetycznego; w istocie sprawność ta jest o wiele niższa, gdyż także należy uwzględnić straty związane z przesyłem energii elektrycznej oraz sprawność elektrowni (średnia sprawność polskich elektrowni jest rzędu 34% (Jurdziak i Kawalec, 2010));



- koszty eksploatacyjne w przypadku zastosowania nośnika energii w postaci biomasy (rys. 2), są zbliżone do wariantów dotyczących wykorzystania węgla kamiennego, gazu ziemnego oraz oleju opałowego. Z kolei najmniej korzystny wariant stanowi przypadek, w którym potrzeby energetyczne budynku zaspokajane są poprzez energię elektryczną, pozyskiwaną z systemu elektroenergetycznego. Na tej podstawie oraz po uwzględnieniu wartości dotyczących emisji CO<sub>2</sub> do atmosfery (rys. 3) można jednoznacznie stwierdzić, iż biomasa, pomimo niskiej sprawności rozpatrywanych rozwiązań systemowych (na poziomie 49% i 58%), stanowi najbardziej korzystne rozwiązanie. Jednocześnie należy uznać, że energia elektryczna, pozyskiwana z systemu elektroenergetycznego, stanowi najmniej korzystne rozwiązanie zarówno pod względem ekonomicznym, jak i ekologicznym.

Kontynuując podsumowanie, warto zauważyć, iż zużycie energii elektrycznej przez polskie gospodarstwa domowe sięga prawie 20% (GUS, 2012b) zużycia krajowego. Stąd też gdyby doprowadzić do ich zastąpienia przez rozwiązania bazujące na biomase, wówczas stopień zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery zostałby znacząco zredukowany, a koszty eksploatacyjne utrzymałyby się na przybliżonym poziomie. Ponadto proponowane rozwiązanie bardzo pozytywnie zostałoby przyjęte w świetle obowiązujących przepisów, gdyż zarówno Pakiet Klimatyczno-Energetyczny, jak i protokół z Kioto, w obawie przed dalszymi, groźnymi i nieodwracalnymi zmianami klimatycznymi (globalne ocieplenie (Rosa, 2012; Blok i in., 2012)) nakładają obowiązek zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych (w tym także dwutlenku węgla) do atmosfery. Na zakończenie warto dodać, iż uzyskane wyniki odnoszą się jedynie do wąskiego sektora gospodarki, jaki stanowi budownictwo mieszkaniowe. Z tego względu celowym i uzasadnionym byłoby rozszerzenie odnośnych analiz na grupę obiektów przemysłowych oraz rolnych (dla których konsumpcja energii elektrycznej na terytorium Polski przekracza 30%) i zbadanie, jak dalece korzystnym rozwiązaniem w tym przypadku jest wykorzystanie alternatywnego źródła energii, w przypadku którego jako nośnik energii wykorzystuje się biomasę.

## Literatura

- Ambroziak, D.; Kupczyk, A.; Piechocki, J.; Redlarski, G. (2013). Analiza konwencjonalnych nośników energii z biomasą do celów grzewczych cz. 1. Charakterystyka problemu oraz metodyk badań. *Inżynieria Rolnicza*,
- Blok, K.; Höhne, N.; van der Leun, K.; Harrisom, N. (2012). Bridging the greenhouse-gas emissions gap. *Nature Climate Change*, 2, 471 - 474.
- Dmochowska, H. (red.). (2012). *Rocznik statystyki międzynarodowej 2012*. Warszawa, ZWS, ISSN 0079-273X.
- Jurdziak, L.; Kawalec, W. (2010). Wpływ wzrostu sprawności elektrowni oraz polityki CCS na wielkość zasobów bilansowych węgla kamiennego w warunkach bilateralnego monopolu kopalni i elektrowni. *Polityka Energetyczna*, tom 13, zeszyt 2, 181 - 197.
- PSE S. A. (2011). Raport 2011 KSE. Pozyskano z: [http://www.pse-operator.pl/index.php?dzid=171&did=1053#t1\\_1](http://www.pse-operator.pl/index.php?dzid=171&did=1053#t1_1).
- Uberman, R.; Kaczorowski, J.; Żuk, S. (2007). Górnictwo węgla brunatnego w Polsce – stan aktualny. Możliwości i ograniczenia rozwoju. Pozyskano z: <http://www.ppwb.org.pl/wb/61/5.php>.



## **THE ANALYSIS OF CONVENTIONAL ENERGY CARRIERS WITH BIOMASS FOR HEATING PURPOSES PART 2. CASE STUDY**

**Abstract.** The material constitutes continuance of the issue presented in (Ambroziak et al. 2013). The article presents the results of the economic and ecology analysis of biomass (pellets) compared to others, commonly applied energy carriers (hard coal, natural gas, heating oil and electric energy produced in the national electrical and energy system - KSE). The above analysis was carried out on the example of the residential building, constituting a one-family house located in various climatic zones on the territory of Poland (zone I - Gdańsk, zone II - Piła, zone III Toruń, zone IV - Białystok, zone V - Suwałki). Based on the above mentioned research a number of conclusions presenting advantages of biomass as a renewable energy source (RES) compared to other conventional energy sources were presented.

**Key words:** biomass, economic effects, ecological effects, heating a house

**Adres do korespondencji:**

Dominik Ambroziak; e-mail: [dambroziak@eia.pg.gda.pl](mailto:dambroziak@eia.pg.gda.pl)  
Katedra Mechatroniki i Inżynierii Wysokich Napięć  
Politechnika Gdańska  
ul. Narutowicza 11/12  
80-233 Gdańsk