

ANALIZA KONWENCJONALNYCH NOŚNIKÓW ENERGII Z BIOMASĄ DO CELÓW GRZEWczyCH. CZ. 1. CHARAKTERYSTYKA PROBLEMU ORAZ METODYKA BADAŃ

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. W artykule przedstawiono istotę problemu zastosowania konwencjonalnych źródeł energii (węgla kamiennego, gazu ziemnego, oleju opałowego oraz energii elektrycznej pozyskiwanej z krajowego systemu elektroenergetycznego – KSE) w odniesieniu do odnawialnego źródła energii – OZE (jakie stanowi biomasa). Przedstawiona w artykule metodyka stanowi podstawę ilościowej realizacji analizy ekonomicznej oraz ekologicznej ww. nośników energii, w odniesieniu do różnych stref klimatycznych, zlokalizowanych na terytorium Polski (strefa I – Gdańsk, strefa II – Piła, strefa III – Toruń, strefa IV – Białystok, strefa V – Suwałki). Dodatkowo w sposób szczegółowy przedstawiono obiekt referencyjny, stanowiący typowy, jednopiętrowy domek jednorodzinny. Materiał stanowi pierwszą część tematyczną problemu, któremu poświęcono kolejną pracę (Ambroziak i in., 2013), a także rozwinięcie i uzupełnienie materiału prezentowanego w pracach (Redlarski i in., 2013a; 2013b).

Słowa kluczowe: biomasa, efekt ekonomiczny, efekt ekologiczny.

Wykaz oznaczeń:

- θ_e – projektowana temperatura zewnętrzna (°C),
 $\theta_{m,e}$ – średnia roczna wartość temperatury zewnętrznej (°C),
 $Q_{K,H}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system grzewczy i wentylacyjny do ogrzewania i wentylacji (kWh·rok⁻¹),

- $Q_{K,W}$ – roczne zapotrzebowanie na energię końcową przez system do podgrzania ciepłej wody ($\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- B_W – roczne zużycie paliwa dla systemu podgrzania ciepłej wody użytkowej ((jednostka zależna od badanego medium) $\cdot\text{rok}^{-1}$),
- B_K – roczne zużycie paliwa dla systemu centralnego ogrzewania ((jednostka zależna od badanego medium) $\cdot\text{rok}^{-1}$),
- H_u – wartość opałowa ($\text{kWh}\cdot(\text{jednostka źródła energii})^{-1}$),
- EE – współczynnik efektu ekonomicznego, roczne koszty związane z zakupem źródeł energii, $\text{PLN}\cdot\text{rok}^{-1}$,
- Cena jednostkow a* – współczynnik ceny do wartości jednostkowej źródła energii ($\text{PLN}\cdot(\text{jednostkę źródła energii})^{-1}$),
- CO_2 – całkowita roczna emisja dwutlenku węgla ($\text{kg}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- $CO_{2,W}$ – roczna emisja dwutlenku węgla dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej ($\text{kg}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- $CO_{2,K}$ – roczna emisja dwutlenku węgla dla systemu grzewczego i wentylacyjnego ($\text{kg}\cdot\text{rok}^{-1}$),
- m_K – mnożnik jednostkowy dla systemu grzewczego i wentylacyjnego,
- m_W – mnożnik jednostkowy dla systemu przygotowania ciepłej wody użytkowej.

Wprowadzenie

Niebezpieczeństwo szybkiego wyczerpania nieodnawialnych nośników energii (Keith i Moreno-Cruz, 2010b; 2011a) oraz coraz częściej pojawiające się doniesienia o niekorzystnych i globalnych zmianach klimatycznych (Rosa i Dietz, 2012; Fay i in., 2012) sprawiają, że problematyka pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych (OZE), stanowi zagadnienie w pełni aktualne i nie do końca należycie rozwiązane. Potrzebę opracowywania nowych rozwiązań w tym zakresie potęgują doniesienia Międzynarodowej Agencji Energetyki z siedzibą w Paryżu, której główny ekonomista – dr Fatih Birol, dnia 31 maja 2011 roku – oznajmił, iż obecny poziom emisji spalin wypełnia w 80% limity ustanowione do 2020 roku. Fakt ten stawia pod znakiem zapytania założenia z Canun z 2010 roku, gdzie światowi przywódcy zgodzili się na ograniczenie emisji spalin, w celu ograniczenia efektów globalnego ocieplenia. Świadczą o tym także ważne dokumenty międzynarodowe, przykładowo takie jak: Pakiet Klimatyczno-Energetyczny (Dyrektywa, 2009/29/WE), (Dyrektywa, 2009/31/WE), (Dyrektywa, 2009/28/WE), czy Protokół z Kioto (Prezydent RP, 2005), w myśl których państwa członkowskie Unii Europejskiej do 2020 roku są zobowiązane m.in. do: redukcji emisji dwutlenku węgla o 20%, wzrostu efektywności energetycznej o co najmniej 20% oraz wzrostu wykorzystania OZE z aktualnych 8% do 20% (w przypadku Polski, z uwagi na specyfikę sektora energetycznego, okres ten został wydłużony do 2030 roku (Majchrzak, 2008)).

Biorąc pod uwagę powyższe fakty oraz obowiązującą wykładnię prawną, należy poszukiwać takich rozwiązań, które pozwolą na bardziej racjonalne wykorzystanie istniejących

źródeł energii pierwotnej, zwiększanie udziału odnawialnych źródeł energii, a tym samym – na redukcję emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Jednym z obszarów takiej działalności na terytorium Polski jest niewątpliwie rozwój sektora biomasy (Kupczyk i in., 2011a; Niedziółko i Zuchniarz, 2006), którą w myśl dyrektywy 2009/ 28/WE definiuje się, *jako ulegającą biodegradacji część produktów, odpadków lub pozostałości pochodzenia biologicznego z rolnictwa (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych działów przemysłu, w tym rybołówstwa i akwakultury, a także ulegającą biodegradacji część odpadów przemysłowych i miejskich*. Tak zdefiniowany nośnik energii może znaleźć istotne zastosowanie jako alternatywne źródło energii wykorzystywanej w budownictwie, w szczególności w jednorodzinnych budynkach mieszkalnych. Natomiast miarę jego użyteczności w praktyce może stanowić wskaźnik efektywności energetycznej, zdefiniowany jako stosunek uzyskanych wyników, usług, towarów lub energii do wkładu energii (Dyrektywa, 2006/32/WE).

Wykorzystanie do celów grzewczych takich źródeł energii, jak: węgiel, ropa naftowa, energia elektryczna pozyskiwana z systemu elektroenergetycznego czy gaz ziemny, wiąże się z kosztami ich transportu oraz problemem logistycznym. Należy również zauważyć, iż około 90% (Niemsee, 2010) mocy zainstalowanej w systemie jest produkowane przez elektrownie znajdujące się w południowej części kraju. Z tych względów transport energii elektrycznej wiąże się nawet z kilkunastoprocentowymi stratami, które mogłyby pokryć zapotrzebowanie na energię sektora domków jednorodzinnych w Polsce. Zastosowanie alternatywnego źródła energii, jakim jest biomasa (Kupczyk i in., 2011b), pozwala na wyeliminowanie tego typu problemów, gdyż może ona być wytwarzana lokalnie, co również zmniejsza do minimum koszty związane z transportem, a ponadto całkowicie rozwiązuje problem logistyczny, jaki występuje podczas transportu innych źródeł energii (szczególnie węgla i oleju opałowego).

Mając na uwadze potrzebę dynamicznego wzrostu alternatywnych źródeł energii oraz uwzględniając dostępność na terytorium Polski biomasy, celem i zasadnym jest przeprowadzenie analiz dotyczących potencjalnych korzyści wynikających z jej zastosowania w odniesieniu do innych, powszechnie stosowanych, nośników energii. Tego rodzaju działanie jest szczególnie ważne, z uwagi na istniejącą w piśmiennictwie krajowym lukę literaturową, której istnienie wynika przede wszystkim z braku szczegółowych danych w zakresie korzyści ekologicznych i ekonomicznych w odniesieniu do istniejących na terytorium Polski (szczególnie w okresie grzewczym) stref klimatycznych (rys. 1). Zważywszy na wyżej przedstawioną argumentację, celem artykułu jest przeprowadzenie i przedstawienie wyników analiz porównawczej w zakresie: biomasy – jako źródła energii, z innymi konwencjonalnymi źródłami energii, takimi jak: węgiel kamienny, gaz ziemny, olej opałowy czy energia elektryczna wytworzona w systemie elektroenergetycznym.

Celem niniejszej pracy jest porównanie biomasy (pellety) z innymi konwencjonalnymi źródłami energii (węglem kamiennym, gazem ziemnym, olejem opałowym oraz energią elektryczną, wytwarzaną w systemie elektroenergetycznym) pod kątem efektywności ekologicznej oraz ekonomicznej dla różnych stref klimatycznych Polski. Dzięki wynikom pracy będzie możliwa do przeprowadzenia dalsza analiza (Ambroziak i in., 2013).



Rysunek 1. Mapa klimatyczna Polski ze wskazaniem na poszczególne strefy
Figure 1. Climatic map of Poland with indication of particular zones

Źródło: opracowanie własne według PN-EN 12831:2006

Przedmiot oraz metodyka badań

Dostępne dane statystyczne wskazują, iż coraz częściej mieszkańcy dużych miast stają się zamieszkać w ich pobliżu (Demografia, 2012; GUS, 2012a). W wyniku tego coraz częściej powstają nowe osiedla, a pobliskie, mniejsze miasteczka i wsie wzbogacają się o nową infrastrukturę. Najczęściej powstającymi w nich budynkami są domki jednorodzinne: jedno- lub dwupiętrowe (należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż aż 19,8% zużycia energii elektrycznej w Polsce przypada na sektor gospodarstw domowych (GUS, 2012b)). Z ww. względów w artykule do realizacji badań symulacyjnych został wykorzystany model parterowego domku jednorodzinnego. W celu zbadania zużycia energii przez ten obiekt na środowisko naturalne, a tym samym – ilościowego określenia wyemitowanych zanieczyszczeń w postaci dwutlenku węgla – badany obiekt został umieszczony kolejno w każdej z pięciu strefach klimatycznych na terytorium Polski (rys. 1). Następnie w przypadku każdej ze stref została zdefiniowana lokalizacja oraz przyjęta do obliczeń: projektowana temperatura zewnętrzna θ_e oraz średnia roczna wartość temperatury zewnętrznej $\theta_{m,e}$ (tab. 1).

Tabela 1

Projektowana temperatura zewnętrzna i średnia roczna temperatura zewnętrzna dla poszczególnych stref klimatycznych Polski, wyrażona w °C

Table 1

Designed outside temperature and the average annual temperature for particular climatic zones in Poland expressed in °C

| Strefa klimatyczna | Miasto | θ_e | $\theta_{m,e}$ |
|--------------------|-----------|------------|----------------|
| I | Gdańsk | -16 | 7,7 |
| II | Piła | -18 | 7,9 |
| III | Toruń | -20 | 8,6 |
| IV | Białystok | -22 | 6,9 |
| V | Suwałki | -24 | 5,5 |

Źródło: opracowanie własne według Niedziółko i Zuchniarz, (2006)

Wykonując obliczenia zapotrzebowania energetycznego budynku, które stanowią podstawę dalszych analiz (ekonomicznej i ekologicznej), zakłada się, iż rozpatrywany obiekt jest zamieszkiwany przez pięciosobową rodzinę (gdyż jest to informacja istotna z uwagi na obliczenia wartości zapotrzebowania na ciepłą wodę użytkową). Ponadto zakłada się, że badany obiekt wyposażony jest w ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi, w przypadku regulacji miejscowej, oraz w system centralnego przygotowania ciepłej wody użytkowej jako instalacji z cyrkulacją z ograniczonym czasem pracy i pełną izolacją przewodów (są to z kolei informacje istotne ze względu na dobór sprawności układów: centralnego ogrzewania oraz przygotowania ciepłej wody użytkowej). Ważnymi z punktu widzenia obliczeń wielkościami charakteryzującymi budynek są również: kubatura budynku, rodzaj wentylacji, typ instalacji chłodzącej czy powierzchnia zabudowy. Stąd też wszystkie ww. parametry obiektu zostały przedstawione w tabeli 2.

Znając wskaźnik zapotrzebowania na energię końcową, którego szczegółowa metoda wyznaczania jest opisana m.in. w publikacji (Redlarski i in., 2012), oraz przyjmując odpowiednie koszty jednostkowe i emisyjność dwutlenku węgla, dla rozpatrywanych źródeł energii (tab. 3) możliwe jest określenie rocznych kosztów zakupu paliwa oraz ilości emisji dwutlenku węgla do atmosfery:

- wskaźniki zużycia paliwa (INTERsoft Sp. z o.o., 2008) dla systemu podgrzewania ciepłej wody oraz dla systemu grzewczego i wentylacyjnego, wyrażają się następująco

$$B_W = \frac{Q_{K,W}}{H_u} \quad (1)$$

$$B_K = \frac{Q_{K,H}}{H_u} \quad (2)$$

Tabela 2
Zestawienie głównych parametrów rozpatrywanego budynku
Table 2
The list of main parameters of the discussed building

| Parametry budynku | |
|--|--|
| Powierzchnia zabudowy: | 166 m ² |
| Kubatura: | 535,1 m ³ |
| Powierzchnia netto o regulowanej temperaturze: | 184,6 m ² |
| Kubatura pomieszczeń ogrzewanych: | 458,6 m ³ |
| Typ instalacji centralnego ogrzewania: | ogrzewanie wodne z grzejnikami członowymi lub płytowymi w przypadku regulacji miejscowej |
| Typ instalacji przygotowania ciepłej wody użytkowej: | instalacja z cyrkulacją z ograniczonym czasem pracy i pełną izolacją przewodów |
| Typ instalacji chłodzenia: | Brak |
| Rodzaj wentylacji: | Grawitacyjna |
| Lokalizacja: | Gdańsk – I strefa klimatyczna |
| | Piła – II strefa klimatyczna |
| | Toruń – III strefa klimatyczna |
| | Białystok – IV strefa klimatyczna |
| | Suwałki – V strefa klimatyczna |
| Ilość osób zamieszkujących obiekt: | 5 |

Tabela 3
Zestawienie ważniejszych parametrów badanych źródeł energii
Table 3
The list of the most important parameters of the investigated energy sources

| Wariant | Koszt jednostkowy energii (zł·kWh ⁻¹) | Emisja dwutlenku węgla | Wartość opałowa |
|--|---|---|---------------------------|
| Węgiel kamienny | 0,8 | 2000 kg·Mg ⁻¹ | 7,7 kWh·kg ⁻¹ |
| Energia elektryczna wytwarzana w systemie elektroenergetycznym | 0,73 | 1 kg·kWh ⁻¹ | 1 kWh·kWh ⁻¹ |
| Biomasa (pellety) | 0,75 | 0 kg·Mg ⁻¹ | 4,28 kWh·kg ⁻¹ |
| Gaz ziemny | 2,7 | 196400 kg·(106·m ³) ⁻¹ | 9,97 kWh·m ⁻³ |
| Olej opałowy | 1,8 | 1650 kg·m ⁻³ | 10,08 kWh·l ⁻¹ |

Źródło: opracowanie własne według Allegro.pl, 2012; INTERsoft Sp. z o.o., (2008)

- wskaźnik rocznego wydatku potrzebnego na zakup paliwa (Grzmieł i Kupczyk, 2010) wyraża się wzorem

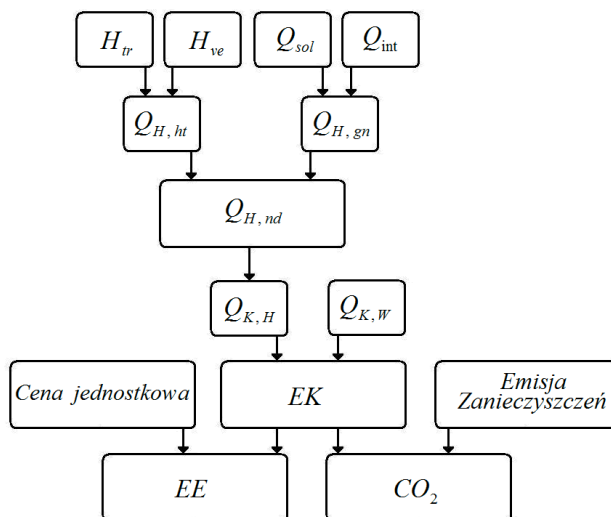
$$EE = (B_W + B_K) \cdot \text{Cena jednostkow a} \quad (3)$$

- wskaźnik emisyjności całkowitej dwutlenku węgla (INTERsoft Sp. z o.o., 2008; Rozporządzenia MŚ, 2006) dany jest wzorem

$$CO_2 = B_W \cdot CO_{2,W} \cdot m_W + B_K \cdot CO_{2,K} \cdot m_K \quad (4)$$



Dodatkowo, w celu pełnego ukazania scharakteryzowanej metodyki obliczeń, na rysunku 2 przedstawiono algorytm kolejności i powiązań wykonywanych działań.



Źródło: opracowanie własne według Niernsee, (2010); Sekret, (2008)

Rysunek 2. Schemat blokowy ilustrujący zastosowaną metodologię obliczeniową
Figure 2. A block scheme showing the applied calculation methodology

Podsumowanie i najważniejsze wnioski

Istota przedstawianego zagadnienia, w kontekście aktualnych wytycznych i nierozwiązanych problemów, wskazuje na konieczność ciągłego poszukiwania nowych i bardziej efektywnych rozwiązań w zakresie ochrony środowiska naturalnego w odniesieniu do źródeł energii, których stosowanie jest nierozzerwalnie związane z emisją zanieczyszczeń. Przedstawiona metodyka badawcza stanowi bazę przepisów oraz wytycznych, których użycie jest niezbędne w procesie dokonywania oceny ilościowej, której realizacji poświęcono kolejny materiał (Ambroziak i in., 2013).

Literatura

- Ambroziak, D.; Kupczyk, A.; Piechocki, J.; Redlarski, G. (2013). Analiza konwencjonalnych nośników energii z biomasą do celów grzewczych cz. 2. Studium przypadku. *Inżynieria Rolnicza*, 2(143)T.1, 289-301.
- Keith, D.; Moreno-Cruz, J. (2011a). Pitfalls of coal peak prediction. *Nature*, 469, 472.
- Keith, D.; Moreno-Cruz, J. (2010b). The end of cheap coal. *Nature*, 468, 367-369.
- Kupczyk, A.; Piechocki, J.; Kupczyk, M. (2011a). Rozwój biogazowi rolniczych w Polsce na tle wykorzystania odnawialnych źródeł Energii. *Gospodarka Materialowa i Logistyka*, 1, 24-30.

- Kupczyk, A.; Borowski, P.; Powalka, M.; Ruciński, D. (2011b). *Biopaliwa transportowe w Polsce. Stan aktualny i perspektywy*. WEMA Wydawnictwo-Poligrafia Sp. z o.o.
- Majchrzak, H. (2009). *Polityka energetyczna Polski do 2030 roku*. Materiały konferencyjne KPE PAN, Warszawa.
- Niedziółka, I.; Zuchniarz, A. (2006). Analiza energetyczna wybranych rodzajów biomasy pochodzenia roślinnego. *MOTROL – Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*, 8A, 232-237.
- Niernsee, M. (2010). Kryteria doboru lokalizacji nowych elektrowni węglowych – praktyczne podejście w warunkach polskich. Stowarzyszenie Elektryków Polskich, *Czasopismo Energetyczne*, 2, 83-87.
- Rosa, E. A.; Dietz, T. (2012). Human drivers to national greenhouses-gas emission. *Nature Climate Change*, 2, 581-586.
- Redlarski, G.; Wojdalski, J.; Kupczyk, A.; Piechocki, J. (2012). Efficiency of Biomass Energy used for Heating Purposes in a Residential Building in Comparison with other Energy Sources. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Polish Academy of Sciences Branch in Lublin*. Lublin, vol. 12, 211-218.
- Redlarski, G.; Piechocki, J.; Dąbkowski, M. (2013). Reducing Air Pollutant Emissions from the Residential Sector by Switching to Alternative Energy Sources in Single-Family Homes. *Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 22, no. 1, 197-203.
- Sekret, R. (2008). Systemy ogrzewania budynków i przygotowania c.w.u.. Materiały wykładowe – wykład 8.
- Dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS). (2012a). Stan i struktura ludności oraz ruch naturalny w przekroju terytorialnym w 2010 r. Pozyskano z: http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/_ludnosc_stan_struktura_31_12_2010.pdf.
- Dane Głównego Urzędu Statystycznego (GUS). (2012b). *Bank Danych Lokalnych (BDL)*. Pozyskano z: http://www.stat.gov.pl/bdl/app/strona.html?p_name=indeks.
- Demografia*. Pozyskano z: <http://www.becikowe.com/?sr=demografia/demografia.htm>
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2006/32/WE z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywę 2001/77/WE oraz 2003/30/WE.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/31/WE z dnia 23 kwietnia 2009 r. w sprawie geologicznego składowania dwutlenku węgla oraz zmieniająca dyrektywę Rady 85/337/EWG, Euratom, dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE, 2001/80/WE, 2004/35/WE, 2006/12/WE, 2008/1/WE i rozporządzenie (WE) nr 1013/2006.
- Fay, P. A.; Jin, V. L.; Way, D. A.; Potter, K. N.; Gill, R. A.; Jackson, R. B.; Polley, H. W. (2012). Soil-mediated effects of subambient to increased carbon dioxide on grassland productivity. *Nature Climate Change*, 2, 742-746.
- INTERsoft Sp. z o.o.. (2008). *Podręcznik użytkownika dla programu ArCADia – TERMO*. Pozyskano z: http://www.intersoft.pl/pdf/podreczniki/Podrecznik_ArCADiaTERMO_Charakterystyka_Energetyczna.pdf.
- PN-EN 12831:2006. *Instalacje ogrzewcze w budynkach – metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego*.
- Prezydent Rzeczypospolitej, Dziennik Ustaw z dnia 17 października 2005 roku, Protokół z Kioto do Ramowej konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, sporządzony w Kioto dnia 11 grudnia 1997 roku (Dz. U. 2005 nr 203, poz. 1684).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 stycznia 2006 roku, w sprawie sposobu monitorowania wielkości emisji substancji objętych wspólnotowym systemem handlu uprawnieniami do emisji.

Sklepy internetowe ogłaszające się na portalu internetowym Allegro.pl. (2012). Pozyskano z: <http://allegro.pl/>.

THE ANALYSIS OF CONVENTIONAL ENERGY CARRIERS WITH BIOMASS FOR HEATING PURPOSES. PART 1. DESCRIPTION OF THE ISSUE AND THE RESEARCH METHOD

Abstract. The paper presents the essence of the issue of using conventional energy sources (hard coal, natural gas, heating oil and electric energy obtained from the national electro-energy system - KSE) with reference to the renewable energy source - OZE (i.e. biomass). Methodology presented in the article constitutes a basis for realization of the economic and ecological analysis of the above mentioned energy carriers with reference to different climatic zones, located on the territory of Poland (zone I - Gdańsk, zone II - Piła, zone III - Toruń, zone IV - Białystok, zone V - Suwałki). Additionally, a reference object, that is a typical single-story one family house was presented with details. The material constitutes a thematic part of the issue, for which a next paper was devoted (Ambroziak et al.) and expansion and complementation of the material presented in papers (Redlarski et al. 2013a) and (Redlarski et al., 2013b).

Key words: biomass, economic effect, ecological effect

Adres do korespondencji:

Dominik Ambroziak; e-mail: dambroziak@eia.pg.gda.pl

Katedra Mechatroniki i Inżynierii Wysokich Napięć

Politechnika Gdańska

ul. Narutowicza 11/12

80-233 Gdańsk