

ANALIZA TECHNICZNO-EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA BIOMASY STAŁEJ JAKO PALIWA

Anna Werner-Juszczuk*, Andrzej Stempniak

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono analizę techniczno-ekonomiczną kotłowni o mocy 300 kW opalanych trzema rodzajami biomasy: zrębkami drzewnymi, peletami oraz drewnem kawałkowym. Dokonano doboru urządzeń trzech kotłowni zasilanych różnymi rodzajami biomasy drzewnej. Przedstawiono schematy konstrukcyjne poszczególnych rozwiązań. Dokonano oszacowania nakładów inwestycyjnych potrzebnych na budowę wybranych typów kotłowni oraz porównano koszty eksploatacyjne. W wyniku analizy określono racjonalność zastąpienia kotłowni opalanej węglem kamiennym kotłownią na biomasę stałą.

Słowa kluczowe: biomasa drzewna, kotłownia, analiza techniczno-ekonomiczna.

1. Wstęp

Niedawny spór Ukrainy z Rosją dotyczący gazu ziemnego pokazuje w jak dużym stopniu europejska gospodarka jest uzależniona od dostaw tego paliwa. Konflikt ten uświadamia przede wszystkim fakt, że bezpieczeństwo energetyczne krajów bazujących na kopalnych źródłach energii jest zagrożone. Odnawialne źródła energii (OZE) stwarzają alternatywę dla powszechnie wykorzystywanych surowców (węgiel kamienny, ropa naftowa czy gaz ziemny), dzięki której stopień uzależnienia państw od potentatów rynku paliwowego może zmaleć. Rozważając dodatkowo inne zalety OZE między innymi zmniejszoną emisję zanieczyszczeń, rozwój obszarów rolniczych czy ochronę istniejących zasobów paliw kopalnych, można stwierdzić, iż OZE stanowią cenne i pożądane źródło energii. Przy rozważaniach zastąpienia paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii trzeba jednakże mieć również na uwadze koszty inwestycyjne i eksploatacyjne związane z ich wykorzystaniem.

W warunkach polskich spośród OZE szczególną rolę pełni biomasa, głównie w postaci stałej. Według Obwieszczenia Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 1 lipca 2005 r. w sprawie polityki energetycznej państwa do 2025 roku posiada ona, obok energii wiatrowej, największy potencjał do wykorzystania w energetyce krajowej. Według GUS, w roku 2006 ponad 91% energii ze źródeł odnawialnych było produkowane z biomasy stałej.

Zatem celowe są rozważania dotyczące ekonomicznych aspektów wykorzystania tej formy energii.

2. Charakterystyka biomasy

Biomasa, według dyrektywy 2001/77/WE, oznacza podatne na rozkład biologiczny frakcje produktów, odpady i pozostałości z przemysłu rolnego (łącznie z substancjami roślinnymi i zwierzęcymi), leśnictwa i związanych z nim gałęzi gospodarki, jak również podatne na rozkład biologiczny frakcje odpadów przemysłowych i miejskich.

Obecnie na rynku są dostępne różnorodne formy biomasy stałej. Są to zarówno odpady z leśnictwa i produkcji rolniczej, jak i biomasa pochodząca z upraw roślin energetycznych. Najdłuższą tradycję stosowania ma niewątpliwie drewno kawałkowe, stanowiące od setek lat główne źródło ciepła w gospodarstwach domowych (Janowicz, 2003). Wśród innych form należy wymienić zrębki drzewne, w tym zrębki roślin energetycznych, trociny, słomę, a także drewno uszlachetnione czyli pelety i brykiety (PKN-CEN/TS 14961).

Wszystkie rodzaje biomasy stałej różnią się między sobą właściwościami fizyczno-chemicznymi, z których o przydatności do celów energetycznych decydują przede wszystkim wartość opałowa i wilgotność. Właściwości te wpływają na wybór technologii spalania, na transport, sposób magazynowania i podawania do kotła oraz na efektywność termicznej konwersji (Kowalewski, 2007).

Do analizy przyjęto trzy typy biomasy:

- zrębki drzewne;
- pelety;
- drewno kawałkowe.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: a.wernerjuszczuk@doktoranci.pb.edu.pl

2.1. Pelety

Pelety są wysokoenergetycznym paliwem ekologicznym powstającym w wyniku granulacji trocin i innych odpadów drzewnych (www.testmer.com). Do ich produkcji wykorzystuje się trociny tartaczne (surowe), suche trociny i wiórki z zakładów stolarskich oraz drewno pozyskane z trzebienia młodych lasów i z upraw roślin energetycznych (www.neotermo.pl). Ostatnio pojawiły się pelety produkowane z łusek słonecznika, słomy, suszu owocowego itp. (Lewandowski, 2006).

Do zalet pelet można zaliczyć między innymi wysoką wartość energetyczną: 16-19,5 MJ/kg – według norm niemieckich 18,5-21 MJ/kg (www.biopal.com.pl), niską zawartość popiołu, siarki oraz chloru, odporność na samozapłon, dużą gęstość nasypową (Kowalewski, 2007; Gradziuk, 2003). Wadą pelet jest ich wysoka cena. Średnie ceny pelet wahają się w granicach 600÷700 zł/t, co powoduje, że nie jest to towar konkurencyjny w stosunku do węgla kamiennego, którego wartość opałowa jest wyższa, przy podobnej a nawet niższej cenie. Oprócz kosztu samego paliwa dochodzą jeszcze koszty związane z transportem, szczególnie wysokie przy małych zamówieniach.

2.2 Zrębki drzewne

Zrębki są to rozdrobnione kawałki drewna o wymiarach 5-100 mm o nieregularnych kształtach, które powstają w wyniku:

- pierwszego trzebienia drzewostanów, wierzchołków oraz jako pozostałość po wyrębach;
- obrabiania kłód w tartakach;
- jako odpad poprodukcyjny w dużych zakładach drzewnych;
- na plantacjach roślin energetycznych.

Zrębki często mogą być zanieczyszczone kamieniami, glębą czy piaskiem. Wadą tego paliwa jest duża wrażliwość na zmiany wilgotności powietrza oraz podatność na choroby grzybowe (Molas, 2005). Ich właściwości są zależne od rodzaju drewna z którego są produkowane.

W analizie przyjęto zrębki z wierzby energetycznej. Jest to roślina, której uprawy pojawiły się już w województwie podlaskim między innymi w Białousach w powiecie sokólskim. Charakteryzuje się ona stosunkowo wysoką wartością opałową w porównaniu do innych roślin energetycznych. Wynosi ona w granicach 19 MJ/kg s.m. (Kościk, 2003). Wśród wad wierzby energetycznej należy wymienić duże zapotrzebowanie na wodę oraz wrażliwość na zachwaszczenie (Wach, 2007).

2.3 Drewno kawałkowe

Wśród źródeł pozyskiwania drewna kawałkowego (Molas, 2005) można wymienić: pozostałości drewna konstrukcyjnego przycinanego na wymiar, odpady z produkcji przycinanych na wymiar półwyrobów czy materiały nie spełniające norm półwyrobu. Drewno w tej postaci może zawierać minimalne ilości kory.

Wartość opałowa drewna kawałkowego zależy przede wszystkim od jego gatunku oraz od jego wilgotności. Największą wartością opałową (Bednarska, 2008) posiada buk i dąb 9÷10 GJ/m³, następnie sosna, olcha i świerk 7÷7,5 GJ/m³, a najmniejszą wierzba 5÷6,5 GJ/m³.

3. Analiza technologiczna

Przedmiotem analizy techniczno-ekonomicznej są trzy alternatywne rozwiązania technologiczne kotłowni opalanych biomasą stałą o mocy 300 kW. Ze względu na swoje właściwości, biomasa wymaga specjalnej konstrukcji kotła. W związku z tym, przy wyborze technologii spalania brano pod uwagę przede wszystkim jego rodzaj oraz specyfikę. Od tego bowiem zależy sprawność procesu spalania, żywotność kotła oraz ilość emitowanych zanieczyszczeń (Zawistowski, 2005).

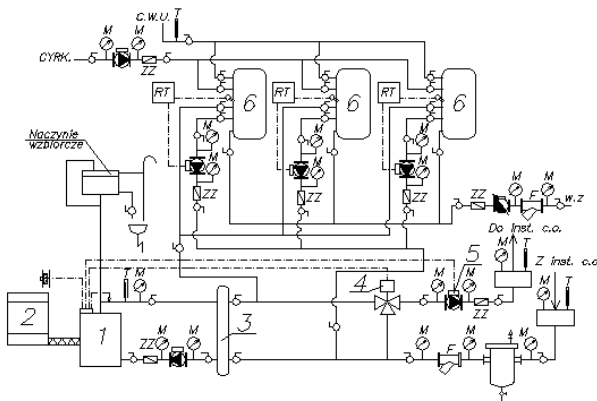
Do spalania zrębków przyjęto kocioł KWH 300 o sprawności większej niż 81,9% wraz automatycznym zespołem spalania rozdrobnionego drewna AZSD 250. Układ AZSD składa się z przedpaleniska i zasobnika paliwa. Umożliwia spalanie zrębków, trocin i kory o granulacji maksymalnie 30 mm i wilgotności w zależności od typu 30-50% lub 40-60% (według Kotłobud). Kocioł wraz z zespołem ASZD jest wyposażony w sterownik, który po ręcznym wyborze programu spalania steruje całym procesem.

Do spalania pelet przyjęto trzy kotły EKO-RETORTA, o sprawnościach 85%. Są to kotły z bezrusztowymi paleniskami retortowymi, do których paliwo jest dostarczane za pomocą podajnika z zasobnika. Dodatkowo na wyposażeniu znajduje się sterownik mikroprocesorowy, zamontowany w górnej przedniej części kotła, który umożliwia zaprogramowanie temperatury pracy kotła, zaprogramowanie zmiany temperatury w dowolnym czasie oraz przedmuchiwanie komory paleniskowej.

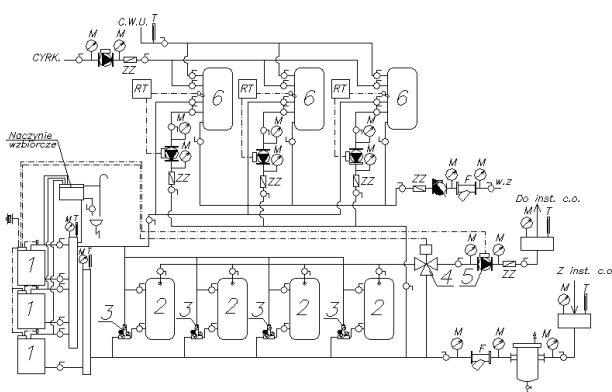
W przypadku drewna kawałkowego przyjęto trzy kotły zgazowujące EKO-PRIM o sprawności 80%. Są one przeznaczone do spalania drewna liściastego o wartości opałowej około 14 MJ/kg w postaci polan lub szczap. Wymagana długość polan powinna być mniejsza o 5 cm od długości komory paleniskowej, a obwód powinien wynosić 30-50 cm.

Założono, że w wszystkie kotłownie będą pracować z priorytetowym podgrzewem c.w.u. Na przygotowanie c.w.u., zgodnie z PN-92/B01706, dobrano trzy wymienniki o pojemności 400 litrów każdy.

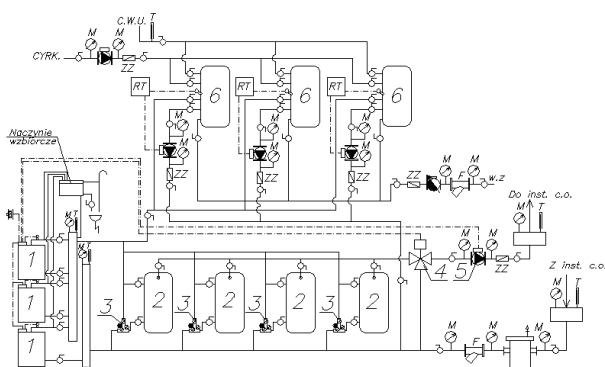
Ze względu na specyfikę pracy kotłów, schematy technologiczne, przedstawione na rys. 1-3, różnią się częścią urządzeń.



Rys. 1. Schemat technologiczny kotłowni opalanej zrębkami
 1 – kocioł KWH,
 2 – zespół do spalania drewna rozdrobnionego AZSD250,
 3 – sprzęgło hydrauliczne,
 4 – zawór trójdrogowy HRE 3 DN50 z siłownikiem AMB 162,
 5 – pompa obiegu c.o. Magna 40-120 F,
 6 – wymiennik c.w.u. typ SB 400



Rys. 2. Schemat technologiczny kotłowni opalanej drewnem kawałkowym
 1 – kocioł EKO-PRIM,
 2 – zbiornik buforowy PH o pojemności 2000 dm³ z płaszczem ochronnym PW,
 3 – moduł ładująco-mieszający Laddomat 21,
 4 – zawór trójdrogowy HRE 3 DN50 z siłownikiem AMB 162,
 5 – pompa obiegu c.o. Magna 40-120 F,
 6 – wymiennik c.w.u. typ SB 400



Rys. 3. Schemat technologiczny kotłowni opalanej peletami
 1 – kocioł EKO-RETORTA,
 2 – sprzęgło hydrauliczne,
 3 – zawór trójdrogowy HRE 3 DN50 z siłownikiem AMB 162,
 4 – pompa obiegu c.o. Magna 40-120 F,
 5 – wymiennik c.w.u. typ SB 400

W kotłowniach opalanych zrębkami i peletami występuje sprzęgło hydrauliczne, którego głównym zadaniem jest rozdzielenie obiegu kotłowego od grzewczego. W przypadku drewna kawałkowego dobrano 4 zbiorniki buforowe (dobór zgodnie z EN 3035 Kotle grzewcze na paliwa stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 300 kW), których praca jest regulowana za pomocą modułów ładująco-mieszających LADDOMAT 21.

Zastosowanie zbiorników akumulacyjnych w kotłowni opalanej drewnem kawałkowym, jest podyktowane sposobem podawania paliwa do kotła. Paliwo dostarczane jest bowiem do komory paleniskowej okresowo i po jego zasypaniu nie można regulować ilości, która jest spalana w zależności od aktualnego zapotrzebowania na ciepło. Nadwyżka energii jest akumulowana przy pomocy zbiorników buforowych. W przypadku pelet oraz zrębek istnieje możliwość sterowania ilością dostarczanego paliwa, w związku z czym, w schematach nie uwzględniano zbiorników akumulacyjnych. Spaliny będą odprowadzane za pomocą kominów, przy założeniu że każdy kocioł będzie posiadał własny komin. Założono jednakowe wysokości kominów, średnice dobrano zgodnie z wytycznymi producentów kotłów.

4. Analiza ekonomiczna

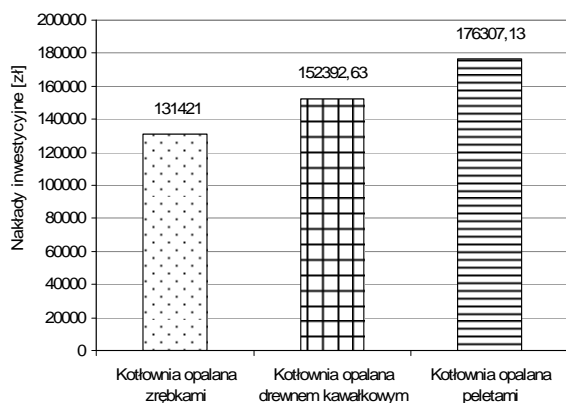
Po założeniu schematów technologicznych dokonano wyceny zakupu urządzeń w poszczególnych kotłowniach.

W przypadku kotłowni opalanej zrębkami do analizy ekonomicznej przyjęto ceny następujących urządzeń: (1) kocioł KWH o mocy 300 kW, (2) zespół do spalania drewna rozdrobnionego AZSD-250, (3) sprzęgło hydrauliczne SH3/80/200, (4) zawór trójdrogowy HRE 3 DN 50 z siłownikiem, (5) pompa obiegu c.o. Magna 40-120 F, (6) wymiennik c.w.u. typ SB 400 o pojemności 400 dm³, (7) komin DN 500 (8) pozostałe urządzenia i przewody jako 20% wartości wymienionych urządzeń, co dało łączną kwotę 105 136,80 zł netto.

Do analizy ekonomicznej kotłowni opalanej drewnem kawałkowym przyjęto ceny: (1) trzech kotłów EKO-PRIM, (2) czterech zbiorników buforowych PH o pojemności 2000 dm³ każdy, (3) czterech modułów ładująco-mieszających Laddomat 21, (4) zaworu trójdrogowego HRE 3 DN 50 z siłownikiem, (5) pompy obiegu c.o. Magna 40-120 F, (6) wymiennika c.w.u. typ SB 400 o pojemności 400 dm³, (7) trzech kominów DN 200 (8) wartość pozostałych urządzeń i przewodów jako 20% wartości wymienionych urządzeń, co dało łączną kwotę 121 914,10 zł netto.

W kotłowni opalanej peletami uwzględniono ceny następujących urządzeń: (1) trzy kotły EKO-RETORTA, (2) sprzęgło hydrauliczne SH3/80/200, (3) zawór trójdrogowy HRE 3 DN 50 z siłownikiem, (4) pompa obiegu c.o. Magna 40-120 F, (5) wymiennika c.w.u. typ SB 400 o pojemności 400 dm³, (6) trzy kominy DN 200 (7) pozostałe urządzenia i przewody jako 20% wartości wymienionych urządzeń, co dało łączną kwotę 141 045,70 zł netto.

Ponadto do kosztów urządzeń doliczono koszty instalacyjne w wysokości 20% wartości urządzeń oraz koszty robót elektrycznych, w wysokości 5% wartości urządzeń. Przy określaniu kosztów przyjęto ceny bez podatku VAT, dla II kwartału 2009 r. Pominięto koszty związane z pracami budowlanymi, zakładając że kotłownie będą instalowane w budynkach istniejących, w pomieszczeniach spełniających wymogi dla kotłowni na paliwa stałe. Końcowe zestawienie nakładów inwestycyjnych na budowę poszczególnych kotłowni przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Porównanie nakładów inwestycyjnych dla analizowanych kotłowni

O opłacalności stosowania danego rodzaju paliwa nie decydują jedynie nakłady, które trzeba ponieść na budowę kotłowni, ale przede wszystkim koszty eksploatacyjne. Na koszty te składają się między innymi koszt zakupu paliwa oraz koszt obsługi. W przypadku kosztów zakupu paliwa zawsze należy brać pod uwagę dostępność paliwa w miejscu jego wykorzystania, co związane jest z potencjalną dodatkową opłatą za transport. W celu wyznaczenia kosztów paliwa obliczono sezonowe zapotrzebowanie na paliwo na cele c.o. i na cele c.w.u. dla przyjętych typów paliwa oraz, w celach porównawczych, również dla kotłowni opalanej węglem kamiennym z rusztem stałym.

Sezonowe zapotrzebowanie na cele c.o. wyznaczono ze wzoru Hottingera:

$$B_{C.O.} = \frac{y \cdot a \cdot 3,6 \cdot 24 \cdot Q_{C.O.} \cdot S_d}{Q_i \cdot \eta_k^{sr} \cdot (t_w - t_z)} \left[\frac{kg}{sezon} \right] \quad (1)$$

gdzie a , y jest współczynnikiem korekcyjnym, $Q_{C.O.}$ jest zapotrzebowaniem na moc cieplną w W, Q_i jest wartością opałową paliwa w kJ/kg, t_w jest średnią temperaturą wewnętrzną w budynku w °C, t_z jest temperaturą zewnętrzną w °C, S_d jest liczbą stopniodni sezonu grzewczego w dniach, η_k^{sr} jest sprawnością średnią eksploatacyjną w %.

Do analizy przyjęto wartości opałowe paliwa oraz sprawności eksploatacyjne kotłów zgodnie z tab. 1.

Tab. 1. Wartości opałowe paliwa i sprawności eksploatacyjne dobranych kotłów

Rodzaj paliwa	Wartość opałowa [MJ/kg]	Sprawność nominalna kotła	Sprawność eksploatacyjna kotła
Zrębki drzewne	13	81,9	71,9
Drewno kawałkowe	14	80	70
Pelety	19	85	75
Węgiel kamienny	25	–	50

Zapotrzebowanie na paliwo na cele c.w.u. określono ze wzoru:

$$B_{C.O.} = \frac{Q_{c.w.u.}^{sr} \cdot \tau \cdot 3600}{Q_i \cdot \eta_e} \left[\frac{kg}{sezon} \right] \quad (2)$$

gdzie $Q_{c.w.u.}^{sr}$ jest średnią zapotrzebowania na moc cieplną na cele c.w.u. w kW, Q_i jest wartością opałową paliwa w kJ/kg, τ jest czasem wykorzystywania instalacji c.w.u. w h, η_e jest sprawnością eksploatacyjną kotłów w %.

Obliczeń dokonano przy założeniu, że kotłownie opalane biomasą pracują w układach z priorytetowym podgrzewem c.w.u., podczas gdy kotłownia na węgiel kamienny pracuje bez priorytetowego podgrzewu c.w.u..

Drugą składową kosztów eksploatacyjnych są koszty obsługi. Nowoczesne rozwiązania konstrukcyjne kotłów na biomasę, w przeciwieństwie do tradycyjnych kotłów opalanych węglem, umożliwiają praktycznie ich bezobsługową pracę. Kotły EKO-RETORTA do spalania pelet oraz kocioł KWH do spalania zrębków są wyposażone w zasobniki paliwa. Dlatego też, nie jest wymagana stała obsługa tych kotłowni. Kotły EKO-PRIM, do spalania drewna kawałkowego, cechuje długi okres stałopalności, w związku z czym, zasyp paliwa następuje co 6-9 h. Dlatego też, kotłownia ta także nie wymaga stałej obsługi. Przyjęto jedną osobę nadzorującą dla każdej z analizowanych kotłowni. W przeciwieństwie do rozpatrywanych rozwiązań, w kotłowni opalanej węglem konieczne jest zatrudnienie palacza. Czas pracy palacza, ze względu na szkodliwe warunki, nie może wynosić więcej niż 6 h/d. Stąd do pełnej obsługi kotłowni niezbędne jest zatrudnienie czterech palaczy.

Przyjęto, że koszt obsługi kotłowni węglowej będzie wynosił:

- wysokość wynagrodzenia 1 palacza – 1500 zł/mc;
- wysokość wynagrodzenia 4 palaczy – 6000 zł/mc.

Uwzględniając średnie ceny zrębek drzewnych, pelet, drewna kawałkowego i węgla w województwie podlaskim w I kwartale 2009 r. wyznaczono roczne koszty eksploatacyjne dla rozpatrywanych kotłowni, które przedstawiono w tab. 2.

Tab. 2. Zestawienie kosztów zakupu paliwa

Parametr	Cena [zł]			
	Kotłownia opalana zrębkami	Kotłownia opalana drewnem kaw.	Kotłownia opalana peletami	Kotłownia opalana węglem
Sezonowe zapotrzeb. paliwa c.o. [t/sez]	266,30	254,00	174,70	199,10
Zapotrzeb. paliwa c.w.u. [t/sez]	36,90	35,20	24,20	75,70
Roczne zapotrzeb. paliwa [t/sez]	303,20	289,20	198,90	274,80
Cena paliwa [zł/t]	150,00 *	283,00 **	680,00 ***	408,25 ****
Koszt paliwa w sezonie [zł]	45 480,0	81 843,6	135 252,0	112 187,1
Koszty obsługi [zł]	1500,00	1500,00	1500,00	6000,00
Razem [zł]	46 980,0	83 343,6	136 752,0	118 187,1

* Źródło: www.agrotrader.pl

** Źródło: www.lasy.com.pl
przyjęto cenę drewna opałowego 130zł/m³
oraz gęstość nasywową drewna 460 kg/m³,

*** Źródło: http://sklep.istore.pl

**** Źródło: www.kopalnia.com.pl

Na podstawie uzyskanych wyników można określić opłacalność modernizacji kotłowni węglowej na kotłownie opalane biomasą. W tym celu wyliczono prosty okres zwrotu SPBT poniesionych nakładów w latach korzystając ze wzorów:

$$SPBT = I / Z \quad [lata] \quad (3)$$

$$Z = K_{ew} - K_{eb} \quad [zł] \quad (4)$$

Wyniki zestawiono w tab. 3.

Tab. 3. Prosty okres zwrotu dla analizowanych kotłowni

Rodzaj kotłowni	Kotłownia zasilana zrębkami	Kotłownia zasilana drewnem kaw	Kotłownia zasilana peletami
Nakłady inwest. I [zł]	131 421,0	152 392,63	176 307,13
Koszty ekspl. kotł. zasilanej biomasą K_{eb} [zł]	46 980,0	83 343,6	136 752
Koszty ekspl. kotł. zasilanej węglem K_{ew} [zł]		118 187,1	
Roczne oszcz. Z [zł]	71 207,1	34 843,5	–
Okres zwrotu SPBT [lata]	1,85	4,37	–

5. Wnioski

Z przeprowadzonej analizy techniczno-ekonomicznej wynikają poniższe wnioski.

- 1) Najmniejsze nakłady inwestycyjne, wśród analizowanych kotłowni na biomasę, występują przy budowie kotłowni opalanej zrębkami drzewnymi. Jednocześnie kotłownia ta generuje najmniejsze koszty eksploatacyjne. Z kolei największe nakłady inwestycyjne oraz koszty eksploatacyjne występują przy kotłowni opalanej peletami. Nakłady inwestycyjne tej kotłowni są o około 35% większe niż dla kotłowni opalanej zrębkami oraz o 16% większe w porównaniu z kotłownią na drewno kawałkowe. Większe różnice występują przy kosztach eksploatacyjnych. Przy wykorzystywaniu pelet jako paliwa koszty eksploatacyjne trzykrotnie przewyższają koszty dla kotłowni na zrębki i 1,5-krotnie dla kotłowni opalanej drewnem kawałkowym.
- 2) Porównując analizowane kotłownie na biomasę z kotłownią opalaną węglem kamiennym, najkrótszy okres zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych uzyska się przy zastąpieniu węgla kamiennego zrębkami drzewnymi. W tym przypadku okres zwrotu wynosi mniej niż 2 lata. Okres zwrotu dla kotłowni na drewno kawałkowe jest ponad dwukrotnie większy niż dla kotłowni na zrębki. Jednak w związku z tym, że wynosi on mniej niż 5 lat, inwestycję zamiany paliwa z węgla kamiennego na drewno kawałkowe również można uznać za opłacalną. W przypadku kotłowni opalanej peletami, koszty eksploatacyjne są większe od kosztów występujących przy kotłowni na węgiel kamienny.
- 3) Przeprowadzona analiza pozwala stwierdzić, że możliwe jest obniżenie kosztów eksploatacyjnych kotłowni opalanej węglem kamiennym przy zamianie paliwa na zrębki drzewne czy drewno kawałkowe.

Warto jest więc propagować wykorzystywanie biomasy w celach energetycznych, gdyż oprócz korzyści ekologicznych przynosi ono także korzyści finansowe. Należy jednak zawsze przed podjęciem decyzji o inwestycji, wykonać niezbędne analizy dotyczące wielkości zasobów i ceny danego rodzaju biomasy.

Literatura

- Bednarska A. (2008). Europejskie Plany Poprawy efektywności Energetycznej. *Biuletyn URE Nr 1*.
- Gradziuk P. (2003). Biopaliwa. *Wydawnictwo Wieś Jutra*. Warszawa.
- Janowicz L. (2003). Cechy fizyczne i cieplne biopaliw stałych. Badania właściwości i standaryzacji biopaliw stałych. W: *Materiały seminaryjne Europejskiego Centrum Energii Odnawialnych*, Warszawa 2003.
- Kościk B. (2003). Rośliny energetyczne. *Wydawn. Akademii Rolniczej w Lublinie*. Lublin.
- Kowalewski L. (2007). Amerykańskie piece kominkowe na pelety i granulki z trocin. *Magazyn Instalatora*, 5/2007, 36-37.

- Lewandowski W. M. (2006). Proekologiczne odnawialne źródła energii. *Wydawnictwa Naukowo-Techniczne*. Warszawa.
- Molas R. (2005). Pelety z biomasy. W: *Materiały Ogólnopolskiego Forum Odnawialnych Źródeł Energii, XI Konferencja Naukowo-Techniczna*, Warszawa 2005.
- Wach E. (2007). Czy ogrzewanie biomasą się opłaca? Złoty dżul. *Magazyn Instalatora*, 1/2007, 36-37.
- Zawistowski J. (2005). Biomasa w ogrzewnictwie indywidualnym i komunalnym cz.2. *Rynek Instalacyjny*, 1/2 2005.
- Kotłobud. Materiały firmowe.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE USE OF SOLID BIOMASS AS FUEL

Abstract: The technical and economic analysis of the use of three forms of solid biomass as fuel is the subject of this pa-

per. Three technological schemes of boiler plants fired with wood chips, wood logs and pellets, are chosen, each of power 300 kW. The investment expenditures on building boiler plants the capital and operating costs were calculated. as well as the simple investment return period, which allows to compare the analyzed types of biomass with hard coal. There were the conclusions formulated, as follows: 1) The lowest capital and operating costs appear for boiler plant fired with wood chips, the highest for pellets. 2) It is profitable to replace hard coal with wood chips or wood logs. The simple investment return period for this types of biomass amount to 2 and 5 years. Operating cost for boiler plant fired with pellets is higher than for hard coal. 3) In relation to hard coal, the reduction of operating cost is possible by using wood chips or wood logs as fuel.

Pracę wykonano w ramach pracy statutowej S/WBiIS/23/08.