

# OCENA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SYSTEMU PRZYGOTOWANIA I SPALANIA BIOMASY DO OGRZEWANIA WYBRANYCH OBIEKTÓW NA OBSZARACH WIEJSKICH

Streszczenie

*Dla przykładowych obiektów (szkoła oraz szklarnia) przeprowadzono analizę techniczno-ekonomiczną, w której obliczono moc urządzeń grzewczych oraz sezonowe zużycie energii w przypadku zastosowania kotła węglowego oraz automatycznego kotła spalającego brykiety ze słomy. Na tej podstawie oszacowano ilość paliwa potrzebną do pokrycia potrzeb cieplnych. Do analizy porównawczej przyjęto trzy warianty technologiczne pozyskania i przetwarzania słomy na brykiety. Analiza ekonomiczna polegała na obliczeniu rocznych kosztów paliwa oraz kosztów cyklu życia (LCC). Stwierdzono, że koszty ogrzewania biomasą są uzależnione od zastosowanej technologii pozyskania i przetwarzania słomy. Zastosowanie systemu wykorzystującego brykietarkę tłokową generuje koszty porównywalne z ogrzewaniem węglowym, natomiast system wykorzystujący maszynę brykietującą w obu przypadkach daje w skali sezonu grzewczego oszczędność w kosztach ogrzewania obiektów wynoszącą ok. 30%. Koszty cyklu życia w okresie 15-letnim (LCC) w przypadku zastosowania kotła automatycznego z brykietarką mobilną są ok. 20-21% niższe niż koszty dla kotła węglowego i ok. 24-25% niższe w porównaniu z kotłem na biomasę współpracującym z brykietarką tłokową. Stosując system z brykietarką stacjonarną koszty cyklu życia (LCC) będą niższe o ok. 4-5% w porównaniu z kotłem węglowym i ok. 9-10% niższe w porównaniu z kotłem na biomasę współpracującym z brykietarką tłokową.*

**Słowa kluczowe:** automatyczny kocioł do spalania biomasy, brykietarka mobilna, koszty ogrzewania, koszty cyklu życia LCC

## Wprowadzenie

Pokrycie potrzeb energetycznych sektora komunalno-bytowego, który obejmuje swym zasięgiem m.in. sektor budownictwa mieszkaniowego, infrastrukturę społeczną, ekonomiczną, a także potrzeby energetyczne gospodarstw rolnych jest jednym z podstawowych działów energetyki. W Polsce w tzw. sektorze komunalno-bytowym zużywa się obecnie około 42% pozyskiwanej w kraju energii pierwotnej, z czego ponad 80% przypada na ogrzewanie budynków i przygotowanie ciepłej wody użytkowej [6]. Specyfiką terenów wiejskich szczególnie w gminach sąsiadujących z dużymi miastami jest produkcja ogrodnicza, która w dużym stopniu opiera się na produkcji szklarniowej i podgrzewanych tunelach foliowych, powoduje to dodatkowe zapotrzebowanie na nośniki energetyczne, które są wykorzystane do produkcji ciepła w tych obiektach. Według GUS w 2011 roku liczbę szkół na obszarach wiejskich oszacowano na 12,7 tys. Obiekty te mają indywidualne źródła ciepła, które zasilane są gazem ziemnym, olejem opałowym oraz paliwami stałymi (głównie węglem i koksem, sporadycznie biomasą). Udział paliw stałych w ogrzewaniu budynków, w zależności od rejonu kraju, wynosi od 5 do 40% [8, 10, 12, 13]. Powierzchnia upraw pod osłonami wg danych GUS z 2011 roku wynosiła ok. 6,3 tys. ha, na których uprawia się głównie pomidory, ogórki, papryka oraz rośliny ozdobne. Produkcja ciepła w tych obiektach prowadzona jest głównie (ok. 95%) w kotłach opalanych węglem, pozostałe obiekty są ogrzewane za pomocą olejów ciężkich [9]. Zatem potencjał wykorzystania biomasy (szczególnie biomasy traktowanej jako produkt uboczny) w tych obiektach jest bardzo duży.

Nowoczesne metody produkcji rolniczej powodują często znaczący wzrost udziału zbóż w strukturze zasiewów wielu gospodarstw rolnych, zwłaszcza tych, które nastawione są na produkcję roślinną. Powoduje to, że w wielu rejonach kraju powstają nadwyżki słomy, które mogą zostać wykorzystane do celów energetycznych [3].

W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi nośnikami energii, słoma jest dość uciążliwym surowcem energetycznym. Stanowi ona materiał niejednorodny, o niższej wartości energetycznej odniesionej do jednostki objętości, szczególnie w porównaniu do konwencjonalnych nośników energii. Ponadto sam zbiór, transport i przechowywanie wymagają takiej organizacji prac, która nie wpływałaby na przesunięcie terminów agrotechnicznych (podorywek, orek, siewu) oraz gwarantowała niskie wydatki na jej pozyskanie. Jest to bardzo ważne, ponieważ koszt przygotowania tego paliwa i dostarczenia go do zakładów ciepłowniczych ma decydujący wpływ na ich wyniki ekonomiczne. Jednak powszechność występowania i dostępność powodują, że słoma stanowi coraz bardziej atrakcyjne źródło energii odnawialnej wykorzystywane zarówno w komunalnych systemach grzewczych, jak i w gospodarstwach rolnych [4].

## Cel pracy

Celem pracy było wykonanie analizy techniczno-ekonomicznej zastosowania systemu przygotowania i spalania biomasy w postaci brykietów w automatycznych kotłach. Do celów porównawczych wybrano dwa przykładowe obiekty: obiekt edukacyjny (szkoła podstawowa) oraz obiekt ogrodniczy szklarnia, w której prowadzi się uprawę pomidorów.

## Wyniki obliczeń

Powierzchnia obiektów została wybrana na podstawie danych literaturowych [5, 9] i można ją uznać za przeciętną dla analizowanych grup odbiorców. Dla obiektów tych obliczono projektowe obciążenie cieplne, a następnie sezonowe zużycie energii użytkowej EU i końcowej EK dla różnych wariantów ogrzewania, tj. kotła węglowego, kotła wsadowego na słomę oraz automatycznego kotła na słomę pracującego w systemie z brykietarką. Sprawność całkowita wytworzenia ciepła dla

Tab. 1. Charakterystyka energetyczna analizowanych obiektów  
Table 1. Energy performance of the analyzed objects

Rodzaj obiektu	Powierzchnia użytkowa [m <sup>2</sup> ]	Projektowe obciążenie cieplne [kW]	Kocioł węglowy EK [kWh/m <sup>2</sup> ·rok]	Kocioł automatyczny na słomę EK [kWh/m <sup>2</sup> ·rok]	Sezonowe zużycie węgla [Mg]	Sezonowe zużycie słomy (kocioł automatyczny) [Mg]
Obiekt edukacyjny	3109	430	234	226	121	174
Obiekt ogrodniczy	1818	450	411	412	125	186

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

porównywanych systemów grzewczych została dobrana zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury dotyczącym metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków [7]. Na tej podstawie obliczono sezonowe zużycie paliwa przyjmując wartość opałową węgla 21,5 GJ/Mg, zaś słomy szarej 14,5 GJ/Mg oraz czas trwania sezonu grzewczego odpowiednio 222 dni dla obiektu edukacyjnego i 90 dni dla obiektu ogrodniczego. Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 1.

Projektowe obciążenie cieplne w analizowanych obiektach wynosi 430-450 kW. Do utrzymania zadanych parametrów temperaturowych należy zużyć 120-125 Mg węgla oraz 174-186 Mg dla automatycznego kotła spalającego brykiety ze słomy.

Kolejnym etapem obliczeń było oszacowanie powierzchni uprawy zbóż, z której plon słomy pokryje roczne zapotrzebowanie biomasy wykorzystanej do celów grzewczych:

$$A = \frac{Z_B}{P_j} \quad [\text{ha}], \quad (1)$$

gdzie:

$A$  - powierzchnia uprawy zbóż [ha],

$Z_B$  - zapotrzebowanie na słomę [Mg/rok],

$P_j$  - jednostkowy plon słomy [Mg/ha].

Założenie: jednostkowy plon słomy zbóż ( $P_j$ ) = 3 Mg/ha (wilgotność 17%) [3].

Kolejnym etapem było oszacowanie kosztów przetwarzania biomasy, które obejmują mechaniczny zbiór i transport oraz brykietowanie. Należy tutaj zaznaczyć, że słoma traktowana jest jako produkt uboczny produkcji zbóż, rzepaku czy kukurydzy. Dlatego w analizie kosztocłonności produkcji

słomy nie zostają brane pod uwagę nakłady pracy oraz koszty uprawy zboża (np. żyta, pszenicy ozimej) związane z takimi procesami technologicznymi jak: przygotowanie pola pod siew, siew, ochrona, kombajnowy zbiór zboża. W związku z tym koszty pozyskiwania słomy jako biomasy wykorzystywanej do celów grzewczych utożsamiane są najczęściej jedynie z technologią zbioru (zbiór, transport i składowanie). Mając na uwadze powyższe założenia do analizy przyjęto trzy warianty technologiczne pozyskiwania i przetwarzania słomy:

- Technologia przetwarzania słomy zbóż na brykiety - brykietarka tłokowa:  
Zbiór ciągnik (72 kW) + prasa wielkogabarytowa (wydajność maszyny 1,5 ha·h<sup>-1</sup>).  
Transport ciągnik (50 kW) + platforma do bel wielkogabarytowych (2 sztuki).  
Załadunek/rozładunek ciągnika (50 kW) + ładowacz czołowy.  
Rozwijanie słomy z beli rozwijarka bel słomy.  
Rozdrabnianie wstępne słomy rozdrabniacz słomy.  
Rozdrabnianie wtórne młyn z cyklonem odpylającym.  
Magazynowanie surowca (zbiornik buforowy).  
Podawanie siczki (przełożnik mechaniczny).  
Brykietowanie słomy szarej brykietarka tłokowa (cena maszyny 30 tys. zł wydajność 250 kg·h<sup>-1</sup>).  
Odbiór produktu (przełożnik mechaniczny).  
Magazynowanie produktu luzem magazyn.
- Technologia przetwarzania słomy zbóż na brykiety brykietująca maszyna mobilna:  
Zbiór ciągnik rolniczy (55 kW) + mobilna maszyna brykietująca (cena maszyny 85 tys. zł przewidywana wydajność maszyny 1 t·h<sup>-1</sup>).

Tab. 2. Powierzchnia uprawy zbóż oraz koszty przetwarzania biomasy na brykiety ze słomy

Table 2. The area of cultivation of cereals and the cost of processing biomass on briquettes of straw

Rodzaj zasilania	Zapotrzebowanie [Mg/rok]	Powierzchnia uprawy zbóż [ha]	Koszty przetwarzania/cena węgla [zł/Mg]	Koszty roczne [tys. zł/rok]	Energocłonność procesu brykietowania [kWh/kg] [1, 2]	
Wariant A - szkoła						
Kocioł węglowy	węgiel kamienny	122	-	800,0	97,4	-
Kocioł automatyczny	słoma - brykietarka tłokowa	175	58	543,0	94,9	0,04-0,08
Kocioł automatyczny	słoma - brykietująca maszyna	175	58	394,0	68,9	0,055
Kocioł automatyczny	słoma - brykietarka stacjonarna	175	58	487,0	85,1	0,020
Wariant B - szklarnia						
Kocioł węglowy	węgiel kamienny	125	-	800,0	100,2	-
Kocioł automatyczny	słoma - brykietarka tłokowa	186	62	538,0	100,3	0,04-0,08
Kocioł automatyczny	słoma - brykietująca maszyna	186	62	388,0	72,3	0,055
Kocioł automatyczny	słoma - brykietarka stacjonarna	186	62	479,0	89,3	0,020

Uwagi do tab. 2: koszt przetwarzania określony w tabeli obejmuje mechaniczny zbiór i transport (obliczony koszt 170 zł/Mg słomy) i brykietowanie

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Transport ciągnik rolniczy (66 kW) + przyczepa z nadstawkami (2 sztuki). Przyczepy stosowane zamiennie w celu zwiększenia efektywności pracy zestawu do zbioru. W technologii zbioru nie występują maszyny do załadunku i rozładunku (ładowacz czołowy) i maszyny do rozwijania beli.

- Technologia przetwarzania słomy zbóż na brykiety - brykietarka stacjonarna (nie ma etapu rozdrabniania):  
Zbiór ciągnik (72 kW) + prasa wielkogabarytowa (wydajność maszyny 1,5 ha/h).  
Transport ciągnik (50 kW) + platforma do bel wielkogabarytowych (2 sztuki).  
Załadunek/rozładunek ciągnika (50 kW) + ładowacz czołowy.  
Rozwijanie słomy z beli (rozwijarka bel słomy).  
Brykietowanie słomy brykietarka stacjonarna (cena maszyny 50 tys. zł wydajność 250 kg·h<sup>-1</sup>).  
Odbiór produktu (przenośnik mechaniczny).  
Magazynowanie produktu luzem magazyn.

Obliczenia wykonano za pomocą programu BIOBkalkulator [biob.wipie.ur.krakow.pl/biobkalk/], a wyniki zestawiono w tab. 2.

Roczne koszty ogrzewania obiektów w przypadku zastosowania kotła węglowego wynoszą ok. 100 tys. zł/rok.

Koszty ogrzewania biomasą są uzależnione od zastosowanej technologii pozyskania i przetwarzania słomy: zastosowanie systemu wykorzystującego brykietarkę tłokową generuje koszty porównywalne z ogrzewaniem węglowym, natomiast system wykorzystujący maszynę brykietującą w obu przypadkach daje w skali sezonu grzewczego oszczędność w kosztach ogrzewania obiektów wynoszącą ok. 30%.

Analizę techniczno-ekonomiczną wykonano w oparciu o złożoną metodę oceny inwestycji rzeczowych, opartą na stopie procentowej (dyskontowej), uwzględniając zmianę wartości pieniądza w czasie, ryzyko oraz inflację jest nią analiza kosztów cyklu życia *LCC* (*Life Cycle Cost*).

Metoda ta pozwala wyznaczyć całkowite koszty inwestycyjne i eksploatacyjne systemu w rozważanym cyklu jego życia:

$$LCC = Kp + \sum_{n=1}^{n=t} \frac{Ke, o \cdot (1 + re)^n}{(1 + i)^n} \quad [\text{mln zł}], \quad (2)$$

gdzie:

*Kp* - koszty początkowe (koszt zakupu kotłów węglowych dwie jednostki o łącznej mocy 450 kW 50 tys., uruchomienie instalacji i rozruchu 5 tys., koszt zakupu automatycznych kotłów na biomasę dwie jednostki o łącznej mocy 450 kW 145 tys. zł, koszt instalacji i rozruchu 5 tys. zł),

*Ke, o* - roczne koszty użytkowania instalacji (koszty energii elektrycznej wg taryfy G11 do napędu urządzeń pomocniczych systemu kotłowego, koszty przeglądów i napraw 1% kosztów inwestycyjnych, koszty osobowe

obsługi kotłów). Zużycie energii elektrycznej do napędu urządzeń pomocniczych oszacowano zgodnie z metodologią sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej i dla obiektu edukacyjnego szacowane jest na poziomie: a) system z kotłem węglowym 414 kWh, b) system z automatycznym kotłem na biomasę 1656 kWh, natomiast dla obiektu ogrodniczego na poziomie: c) system z kotłem węglowym 98 kWh, d) system z automatycznym kotłem na biomasę 392 kWh. Koszty osobowe wynagrodzenia obsługi kotłów 1680 zł/os. mc. Dla kotła węglowego obsługa powinna się składać z 3 osób, natomiast w przypadku automatycznego kotła spalającego brykiety ze słomy do obsługi wystarczy 1 osoba. Czas pracy obsługi to 3 miesiące w przypadku obiektu ogrodniczego i 8 miesięcy w przypadku obiektu edukacyjnego,

*t* - kolejny rok użytkowania instalacji (przyjęto 15 letni okres eksploatacji),

*re* - stopa wzrostu cen energii (przyjęto 4,5%),

*i* - stopa dyskonta (przyjęto 6%).

Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 3.

Analiza ekonomiczna wykazała, że koszty cyklu życia w przypadku zastosowania kotła automatycznego z brykietarką mobilną są ok. 20-21% niższe niż koszty dla kotła węglowego i ok. 24-25% niższe w porównaniu z kotłem na biomasę współpracującym z brykietarką tłokową. Stosując system z brykietarką stacjonarną koszty cyklu życia (*LCC*) będą niższe o ok. 4-5% w porównaniu z kotłem węglowym i ok. 9-10% niższe w porównaniu z kotłem na biomasę współpracującym z brykietarką tłokową.

## Bibliografia

- [1] Adamczyk F., Frąckowiak P.: The energy-consuming of the process of straw compaction by the method of curling. Annual Review of Agricultural Engineering, 2009, 7(1), 41-50.
- [2] Adamczyk F.: Energooszczędna, mobilna maszyna do zbioru i zagęszczania biomasy z roślin żdźbłowych i materiałów łądgowych do produkcji energii odnawialnej. Inżynieria Rolnicza, 2013, 2 (143), 13-20.
- [3] Grzybek A., Gradziuk P., Kowalczyk K.: Słoma ekologiczne paliwo. Warszawa, 2001. ISBN 83-88368-19-2.
- [4] Kwaśniewski D.: Ocena produkcji i potencjalnych możliwości wykorzystania słomy do celów grzewczych na przykładzie powiatu żywieckiego. Inżynieria Rolnicza, 2008, nr 6(104).
- [5] Lis P., Sekret R.: Tendencje w kształtowaniu istniejących budynków edukacyjnych i ich wpływ na energochłonność ogrzewania. Czasopismo Techniczne Budownictwo. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 1-B/2009, Z.5, Rok 106, s. 175-182.
- [6] Robakiewicz M.: Użytkowanie energii i oszczędności energii w budynkach. Narodowa Agencja Poszanowania Energii, Warszawa, 1999, s. 1-20.

Tab. 3. Koszty cyklu życia *LCC* analizowanych systemów

Table 3. Life-cycle costs of the analyzed systems

Wyszczególnienie	Kocioł węglowy [mln zł/15 lat]	Kocioł automatyczny na biomasę + brykietarka tłokowa [mln zł/15 lat]	Kocioł automatyczny na biomasę + brykietarka mobilna [mln zł/15 lat]	Kocioł automatyczny na biomasę + brykietarka stacjonarna [mln zł/15 lat]
Obiekt edukacyjny	1,36	1,42	1,08	1,29
Obiekt ogrodniczy	1,4	1,49	1,11	1,34

Źródło: opracowanie własne / Source: own work



- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 6.11.2008 w sprawie metodologii obliczania charakterystyki energetycznej budynku i lokalu mieszkalnego lub części budynku stanowiącej samodzielną całość techniczno-użytkową oraz sposobu sporządzania i wzorów świadectw ich charakterystyki energetycznej. (Dziennik Ustaw nr 201, poz. 1240).
- [8] Szul T.: Zużycie nośników energetycznych w gminach wiejskich województwa świętokrzyskiego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2008, Vol. 53 (1), 44-46.
- [9] Szul T.: Zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania szklarni i tuneli foliowych na terenach wiejskich województwa lubelskiego. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2011, 6, 14-17.
- [10] Szul T.: Zużycie energii finalnej na ogrzewanie na obszarach wiejskich województwa lubelskiego. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 2011, Vol. 56(1), 139-141.
- [11] Szul T.: Charakterystyka energetyczna obiektów oświatowych na przykładzie wybranej gminy powiatu krakowskiego. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2012, 5, 16-18.
- [12] Trojanowska M., Szul T.: Determination of heat demand in rural communes. *TEKA Komisji Energetyki Rolnictwa OL PAN*, 8a, 2008, 180-187.
- [13] Trojanowska M., Szul T.: Zapotrzebowanie na energię do ogrzewania obiektów użyteczności publicznej na terenach wiejskich. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*, 2006, 5, 19-20.

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF APPLICATION OF THE SYSTEM OF PREPARATION AND BURNING OF BIOMASS TO HEAT CHOSEN OBJECTS ON COUNTRY AREAS

### Summary

*For model objects (the school and the greenhouse) a technical-economic analysis was carried out, in which the power of heating devices was calculated as well as seasonal power consumption in case of using the coal boiler and the automatic boiler to biomass. On this basis, the amount of fuel needed to cover heating needs was evaluated. For comparative analysis three variants of technological processing of biomass were admitted. The economic analysis consisted in calculating annual fuel costs and life cycle costs. It was found that the biomass heating costs depend on the technology used to process straw. As it is, the use of a system using piston briquette press generates cost comparable to coal heating, while the system using briquetting machine in both cases gives per heating season savings in heating costs of approx. 30%. Life cycle costs for the use of automatic boiler with mobile briquetting machine are approx. 20-21% lower than those for coal-fired boiler and approx. 24-25% lower compared to the biomass boiler cooperating with the piston briquette press. Using the system of briquetting stationary life cycle costs are lower by approx. 4-5% compared to coal-fired boiler and approx. 9-10% lower compared to the biomass boiler cooperating with the piston briquette press.*

**Key words:** automatic pot for burning biomass, mobile briquette press, heating costs, costs of the life cycle



Podręcznik pt. **MASZINY ROLNICZE** adresowany jest do szerokiego grona pracowników dydaktycznych i słuchaczy uczelni przyrodniczych oraz użytkowników maszyn rolniczych. Zawarto w nim podstawowe informacje z przedmiotu "Technika rolnicza i eksploatacja maszyn rolniczych" wykładanego na ww. Uczelniach. Problematyka wykładów tego przedmiotu obejmuje charakterystykę szerokiego i niezwykle różnorodnego asortymentu maszyn i urządzeń technicznych. Wyczerpujące omówienie czy opisanie całości materiału jest niemożliwe. Z tych też względów w podręczniku przedstawiono ściśle wyselekcjonowane partie materiału - informacje podstawowe oraz te, które są dziełem autorów lub powstały przy znaczącym ich udziale. Stąd też, pomimo że podręcznik ma charakter pozycji dydaktycznej, nosi znamiona pracy monograficznej. Materiał uzupełniający stanowi literatura zamieszczona na końcu każdego z rozdziałów.

Wydawca:  
 Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Ekonomicznej  
 i Normalizacyjnej  
 Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych  
 60-963 Poznań, ul. Starołęcka 31  
 tel. 061 87-12-200; fax 061 879-32-62;  
 e-mail: office@pimr.poznan.pl; Internet:  
<http://www.pimr.poznan.pl>