

EFEKTYWNOŚĆ EKOLOGICZNA ZASTOSOWANIA SYSTEMU PRZYGOTOWANIA I SPALANIA BIOMASY DO OGRZEWANIA OBIEKTÓW NA OBSZARACH WIEJSKICH

Streszczenie

Dla przykładowych obiektów (szkoła oraz szklarnia) przeprowadzono analizę ekologiczną, w której obliczono wielkość emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego w przypadku zastosowania kotła węglowego oraz automatycznego kotła spalającego brykiety ze słomy. Następnie wykonano obliczenia w oparciu o metodę DGC - dynamicznego kosztu jednostkowego, które polegały na porównaniu trzech wariantów, tj.: kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką tłokową, kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką mobilną, kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką stacjonarną. Przeprowadzona analiza wykazała, że w porównaniu z kotłem węglowym najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie automatycznego kotła współpracującego z brykociarką mobilną.

Słowa kluczowe: spalanie biomasy, brykociarka mobilna, analiza ekologiczna, metoda DGC

Wprowadzenie

Wytwarzanie i wykorzystywanie energii ze źródeł odnawialnych jest obecnie jednym z najważniejszych zagadnień światowej i europejskiej polityki energetycznej. Od wielu lat opracowywane są dokumenty, zawierające preferowane kierunki rozwoju polityki energetycznej, a także określone są niezbędne limity mające poprawić efektywność energetyczną gospodarek europejskich. Na szczycie Unii Europejskiej w Brukseli w 2007 r. ustalono m.in., że do 2020 roku 20% zużywaną w krajach UE energię ma pochodzić ze źródeł odnawialnych. W ślad za tym dokumentem właściwe dokumenty programowe zostały przyjęte w poszczególnych krajach członkowskich, w tym i w Polsce, gdzie 10 listopada 2009 r. podjęto Uchwałę Rady Ministrów nr 202/2009, którą przyjęto jako rządowy dokument strategiczny pn. *Polityka energetyczna Polski do 2030 r.* Jednym z priorytetowych zadań polityki w tym obszarze jest wielokierunkowy rozwój energetyki odnawialnej, który z jednej strony pozwoli na podniesienie bezpieczeństwa energetycznego, a z drugiej - zapewni pozytywny efekt ekologiczny. Wśród głównych celów jest wzrost wykorzystania odnawialnych źródeł energii w bilansie energii finalnej do 15% w 2020 roku i 20% w 2030 roku.

Celem pracy było przeanalizowanie (pod kątem ekologicznym) zastosowania systemu obejmującego pozyskanie, przetworzenie na brykiety, a następnie spalanie ich w automatycznych kotłach na biomasę. Za poziom odniesienia przyjęto system grzewczy z kotłem węglowym. Analiza polegała na porównaniu trzech wariantów technologicznych, tj.: kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką tłokową, kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką mobilną, kocioł węglowy z kotłem automatycznym na biomasę współpracującym z brykociarką stacjonarną.

Wyniki obliczeń

Analizę wykonano dla dwóch przykładowych obiektów zlokalizowanych na obszarach wiejskich. Do celów porównawczych wybrano szklarnię o powierzchni 1818 m², w której uprawia się pomidory oraz szkołę podstawową

o powierzchni 3109 m². Dla obiektów tych obliczono projektowe obciążenie cieplne zgodnie z normą PN-EN 12831 [7], a następnie zgodnie z normą PN-EN 13790 [8] sezonowe zużycie energii użytkowej i energii końcowej dla różnych wariantów ogrzewania, tj. kotła węglowego oraz automatycznego kotła na spalające brykiety ze słomy, pracującego w systemie z brykociarką. Sprawność całkowita wytworzenia ciepła dla porównywanych systemów grzewczych została dobrana zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury dotyczącym metodologii sporządzania świadectw charakterystyki energetycznej budynków [9]. Projektowe obciążenie cieplne w analizowanych obiektach wynosi 430 kW dla szkoły oraz 450 kW dla szklarni. Na podstawie danych o zużyciu energii końcowej obliczono sezonowe zużycie paliwa przyjmując liczbę stopniodni sezonu grzewczego 4136 dla szkoły i 951 dla szklarni oraz wartość opałową węgla 21,5 GJ·Mg⁻¹, zaś brykietów ze słomy szarej 14,5 GJ·Mg⁻¹. Obliczeniowe zużycie węgla w sezonie grzewczym wynosi 120 Mg dla szkoły i 125 Mg dla szklarni, natomiast w przypadku zastosowania automatycznego kotła spalającego brykiety słomiane wynosi odpowiednio 174 Mg i 186 Mg.

W celu oszacowania wpływu produkcji energii cieplnej w obiektach na stan zanieczyszczenia powietrza atmosferycznego obliczono dla każdego z nich ilość emitowanych substancji zanieczyszczających. Wielkości emisji poszczególnych zanieczyszczeń obliczono metodą wskaźnikową korzystając z zależności [6].

$$E_{SO_2, CO, CO_2, NO_2, Pył} = B_j \cdot W_j,$$

gdzie:

$E_{SO_2, CO, CO_2, NO_2, Pył}$ - emisja poszczególnych zanieczyszczeń [kg],

B_j - zużycie j -tego paliwa [Mg],

W_j - wskaźnik emisji dla j -tego paliwa [kg·Mg⁻¹].

Wielkość wskaźników emisji zanieczyszczeń przyjęto zgodnie z *Ustawą o Ochronie i Kształtowaniu Środowiska* [11], a także zaleceniami *Ministerstwa Środowiska* dotyczącymi sposobu szacowania wielkości zanieczyszczeń [6]. Ich wartości, będące stosunkiem ilości emitowanych zanieczy-

szczeń do ilości zużywanego paliwa [3, 6, 10], zestawiono w tab. 1.

Aby móc porównywać uciążliwość emisji różnych zanieczyszczeń wprowadzono dodatkowy wskaźnik, tzw. emisję równoważną [5]. Emisja równoważna jest to emisja dwu lub więcej rodzajów zanieczyszczeń z jednego źródła emisji, przeliczonych na dwutlenek siarki. Emisję równoważną obliczano według wzoru:

$$Er = \sum_{i=1}^4 E_i \cdot k_i$$

gdzie:

Er - emisja równoważna [Mg],

E_i - emisja i -tego zanieczyszczenia [Mg],

k_i - współczynnik toksyczności i -tego zanieczyszczenia.

Współczynnik toksyczności jest to stosunek wartości dopuszczalnego stężenia średniorocznego SO_2 do wartości dopuszczalnego średniorocznego stężenia danego zanieczyszczenia. W obliczeniach przyjęto wartości tego współczynnika równe 1 dla SO_2 ; 2,9 dla NO_2 ; 0,5 dla CO i 2,9 dla *pyłu*. Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 2. Emisja zanieczyszczeń ze spalania słomy w automatycznym kotle spalającym brykiety ze słomy wyrażona wskaźnikiem Er jest o ok. 50% niższa w porównaniu z kotłem spalającym węgiel.

Kolejnym elementem obliczeń było wykonanie analizy ekologicznej w oparciu o metodę DGC - dynamicznego kosztu jednostkowego. Dynamiczny koszt jednostkowy jest równy cenie, która pozwala na uzyskanie zdyskontowanych przychodów równych zdyskontowanym kosztom. Wskaźnik DGC pokazuje, jaki jest techniczny koszt uzyskania jednostki efektu ekologicznego. Koszt ten jest wyrażony w złotych na jednostkę efektu ekologicznego. Im niższa jest wartość wskaźnika, tym przedsięwzięcie jest bardziej efektywne.

$$DGC = p_{EE} = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} KI_t + KE_t}{\sum_{t=0}^{t=n} (1+i)^t} \cdot \frac{\sum_{t=0}^{t=n} EE_t}{\sum_{t=0}^{t=n} (1+i)^t}$$

gdzie:

KI_t - koszty inwestycyjne poniesione w danym roku - t,

KE_t - koszty eksploatacyjne poniesione w danym roku - t,

i - stopa dyskontowa,

t - rok, przyjmuje wartości od 0 do n, gdzie 0 jest rokiem, w którym ponosi się pierwsze koszty, natomiast n jest ostatnim rokiem działania instalacji,

EE - miara efektu ekologicznego (w jednostkach fizycznych) uzyskiwanego w poszczególnych latach. Efekt ekologiczny, któremu przypisano cenę p_{EE} za jednostkę fizyczną (przy

założeniu, że cena ta jest stała w całym okresie analizy), p_{EE} - cena za jednostkę fizyczną efektu ekologicznego [$zł \cdot kg^{-1}$].

Analizę wykonano w oparciu o następujące założenia:

- KI_t - 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_t - roczne koszty użytkowania instalacji (koszty energii elektrycznej wg taryfy C11 do napędu urządzeń pomocniczych systemu kotłowego, koszty przeglądów i napraw 1% kosztów inwestycyjnych, koszty osobowe obsługi kotłów). Zużycie energii elektrycznej do napędu urządzeń pomocniczych w skali sezonu grzewczego 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 to $1680 \text{ zł}(\text{os.} \cdot \text{mc})^{-1}$. 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,

i - stopa dyskonta (przyjęto 6%).

W przypadku automatycznych kotłów spalających brykiety ze słomy koszty eksploatacyjne KE zależą będą dodatkowo od systemu pozyskiwania i przetwarzania biomasy, które obejmują mechaniczny zbiór i transport oraz brykietowanie. Należy zaznaczyć, że słoma traktowana jest jako produkt uboczny produkcji zbóż, w związku z tym koszty pozyskiwania słomy jako biomasy wykorzystywanej do celów grzewczych utożsamiane są najczęściej jedynie z technologią zbioru (zbiór, transport i składowanie).

Do analizy przyjęto trzy warianty technologiczne pozyskiwania i przetwarzania słomy [1, 2]:

- Technologia przetwarzania słomy zbóż na brykiety - brykieciarka tłokowa:

Zbiór - ciągnik (72 kW) + prasa wielkogabarytowa (wydajność maszyny $1,5 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$); Transport - ciągnik (50 kW) + platforma do bel wielkogabarytowych (2 sztuki); Załadunek/rozładunek - ciągnik (50 kW) + ładowacz czołowy; Rozwijanie słomy z beli - rozwijarka bel słomy;

Tab. 1. Wskaźniki emisji zanieczyszczeń

Table 1. The emission of pollutants

Wyszczególnienie	Jednostka	SO_2	NO_2	CO	CO_2	Pył
Węgiel	$kg \cdot Mg^{-1}$	9,6	1	45	2000	13,5
Słoma	$kg \cdot Mg^{-1}$	0,8	0,64	6	0 ^{*)}	6,9

^{*)} W procesie odnawiania tego paliwa w drodze fotosyntezy pochłaniane jest CO_2 , równe emisji podczas spalania [4]

Tab. 2. Emisja zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego w sezonie grzewczym

Table 2. The emission of pollutants into the air during the heating season

Wyszczególnienie		SO_2 [kg]	NO_2 [kg]	CO [kg]	CO_2 [kg]	Pył [kg]	Er [kg]
szkoła	Kocioł węglowy	1169	121	5481	243600	1644	9031
	Automatyczny kocioł na brykiety ze słomy	139	111	1048	0	1206	4486
szklarnia	Kocioł węglowy	1202	125	5637	250539	1691	9288
	Automatyczny kocioł na brykiety ze słomy	149	119	1118	0	1285	4782

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Tab. 3. Wartość dynamicznego kosztu jednostkowego DGC dla poszczególnych wariantów porównawczych
 Table 3. The value of the dynamic unit cost for each comparative variant

Wyszczególnienie	Kocioł węglowy vs'	Kocioł węglowy vs'	Kocioł węglowy vs'
	Kocioł automatyczny na biomasę+ brykietciarka tłokowa [zł·(kg Er) ⁻¹]	Kocioł automatyczny na biomasę+ brykietciarka mobilna [zł·(kg Er) ⁻¹]	Kocioł automatyczny na biomasę+ brykietciarka stacjonarna [zł·(kg Er) ⁻¹]
Obiekt edukacyjny	-4,41	-10,13	-6,57
Obiekt ogrodniczy	-0,29	-6,5	-2,73

Źródło: opracowanie własne / Source: own work

Rozdrabnianie wstępne słomy - rozdrabniacz słomy; Rozdrabnianie wtórne - młyn z cyklonem odpylającym; Magazynowanie surowca (zbiornik buforowy); Podawanie siewki (przenośnik mechaniczny); Brykietowanie słomy szarej - brykietciarka tłokowa (cena maszyny 30 tys. zł - wydajność 250 kg·h⁻¹); Odbiór produktu - przenośnik 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⁻¹); 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 czolowy) i maszyny do rozwijania beli.

- Technologia przetwarzania słomy zbóż na brykiety - brykietciarka stacjonarna (nie ma etapu rozdrabniania):

Zbiór - ciągnik (72 kW) + prasa wielkogabarytowa (wydajność maszyny 1,5 ha·h⁻¹); Transport - ciągnik (50 kW) + platforma do bel wielkogabarytowych (2 sztuki); Załadunek/rozładunek - ciągnik (50 kW) + ładowacz czolowy; Rozwijanie słomy z beli (rozwijarka bel słomy); Brykietowanie słomy - brykietciarka stacjonarna (cena maszyny 50 tys. zł, wydajność 250 kg·h⁻¹); Odbiór produktu - przenośnik mechaniczny; Magazynowanie produktu luzem - magazyn.

Obliczenia kosztów eksploatacyjnych KE dla poszczególnych technologii wykonano za pomocą programu BIOBkalkulator [biob.wipie.ur.krakow.pl/biobkalk/].

Uwzględniając powyższe założenia wykonano obliczenia dynamicznego kosztu jednostkowego, a wyniki dla poszczególnych wariantów porównawczych zestawiono w tab. 3.

Analiza ekologiczna wykazała, że w porównaniu z kotłem węglowym najlepszym rozwiązaniem będzie zastosowanie automatycznego kotła współpracującego z brykietciarką

mobilną. Drugim rozwiązaniem pod względem efektywności ekologicznej może być zastosowanie zestawu kotłowego współpracującego z brykietciarką stacjonarną.

Bibliografia

- [1] Adamczyk F.: Energooszczędna, mobilna maszyna do zbioru i zagęszczania biomasy z roślin żdźbłowych i materiałów łodygowych do produkcji energii odnawialnej. Inżynieria Rolnicza, 2013, 2 (143), 13-20.
- [2] 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.
- [3] EMEP / CORINAIR. Emission Inventory Guidebook - 3rd edition, European Environment Agency. Copenhagen, 2001.
- [4] Gawrońska G.: Ocena zasobów energetycznych biomasy drewna odpadowego w województwach nowosądeckim, tarnowskim i krośnieńskim. PAN - Centrum Podstawowych Problemów Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią. Kraków, 1997, 89-98.
- [5] Górka P., Kowalski S.: Badania zanieczyszczeń powietrza. Cz.1. Gazowe substancje zanieczyszczające. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2000.
- [6] Ministerstwo Środowiska Główny Inspektorat Ochrony Środowiska. 2003. Wskazówki dla wojewódzkich inwentaryzacji emisji na potrzeby ocen bieżących i programów ochrony powietrza. Warszawa.
- [7] PN-EN 12831 Metoda obliczania projektowego obciążenia cieplnego.
- [8] PN-EN 13790 Metodyka obliczania sezonowego zapotrzebowania na ciepło.
- [9] 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).
- [10] SOZAT 2002. Zintegrowana Baza Zanieczyszczeń Środowiska, ATMOTERMS.A. Opole.
- [11] Ustawa o Ochronie i Kształtowaniu Środowiska z dnia 31 stycznia 1980 r. Dz.U. z 1994 r. nr 49 poz. 196 oraz Dz.U. nr 133 poz. 885 z 1997 r.

THE ECOLOGICAL EFFECTIVENESS OF APPLICATION OF THE SYSTEM OF PREPARATION AND BURNING OF BIOMASS FOR HEATING OBJECTS IN COUNTRY AREAS

Summary

For model objects an ecological analysis was conducted, in which the quantity of the release of pollutants into the atmospheric air was calculated in case of using the coal boiler and the automatic pot consuming briquette of straw. Next they made calculations based on the method of the dynamic unit cost which relied on comparing three variants: coal boiler with the automatic pot to biomass cooperating with the piston briquette press; coal boiler with the automatic pot to biomass cooperating with the mobile briquette press; coal boiler with the automatic pot to biomass cooperating with the stationary briquette press. Analysis showed that compared with the coal boiler using the automatic pot cooperating with the mobile briquette press would be a better solution.

Key words: burning of biomass, mobile briquette press, ecological analysis, DGC method