

ANALIZA EKONOMICZNA WYKORZYSTANIA OSADKÓW KOLB KUKURYDZY JAKO PALIWA ALTERNATYWNEGO

Jerzy Bieniek, Łukasz Sawko, Franciszek Molendowski

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Paweł Dańczuk, Krzysztof Kwietniak

Centrala Nasienna w Środzie Śląskiej

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych oraz analizę kosztów pracy spalarni, związanych z ograniczeniem zużycia oleju opałowego przez współspalanie go z osadkami kukurydzy. Badania były przeprowadzone w Centrali Nasiennej w Środzie Śląskiej, gdzie na dobowe zużycie energii do suszenia kolb kukurydzy składa się 63% energii pozyskanej z osadki i 37% energii pozyskanej z oleju opałowego. Badania jednoznacznie potwierdziły, że wykorzystywanie osadki do produkcji energii jest uzasadnione względami ekonomicznymi, gdyż jako odpad pozwala zmniejszyć koszt jej produkcji z 0,052 do 0,019 PLN·MJ⁻¹.

Słowa kluczowe: paliwo alternatywne, osadki kukurydzy, spalanie

Wstęp

Ograniczona wielkość zasobów naturalnych, w tym zasobów o charakterze paliw, jak również ograniczona zdolność przyjmowania przez środowisko naturalne zanieczyszczeń bez niebezpiecznych zmian w funkcjonowaniu globalnego ekosystemu, stanowią podstawę podejmowania działań na rzecz substytucji paliw kopalnych odnawialnymi źródłami energii [Kubica 2004, Mokrzycki 2005]. Potencjał energii odnawialnej to woda, wiatr, słońce, geotermia oraz biomasa. Są to główne źródła, korzystając z których przyczynimy się do uniknięcia katastrofy ekologicznej świata. Jednym z głównych źródeł energii odnawialnej jest biomasa, która jest najstarszym i najszerzej obecnie wykorzystywanym odnawialnym źródłem energii. Stanowi ona trzecie co do wielkości na świecie odnawialne źródło energii [Niedziółka i inni 2006]. Istnieje wiele rodzajów biomasy, które charakteryzują się różnymi właściwościami. Na cele energetyczne wykorzystuje się drewno i odpady z przerobu drewna, rośliny pochodzące z upraw energetycznych, produkty rolnicze oraz odpady organiczne z rolnictwa, niektóre odpady komunalne i przemysłowe [Mokrzycki 2005].

Według raportu Międzynarodowego Panelu ds. Zmian Klimatu roczny techniczny potencjał biomasy stałej wynosi 440 EJ, a biopaliw płynnych 154 EJ [World Energy Outlook 2004]. W Polsce potencjał techniczny biopaliw szacuje się na około 684,6 PJ w skali roku, z czego najwięcej – 407,5 PJ - przypada na biopaliwa stałe [Panel Naukowy 2009]. Ich zasoby składają się z nadwyżek biomasy pozyskiwanych w rolnictwie – 195 PJ, leśnictwie – 101 PJ, sadownictwie – 57,6 PJ, odpadów przemysłu drzewnego – 53,9 PJ [Roszkowski

2009]. Spośród wielu rodzajów biomasy największe znaczenie ma biomasa pochodzenia rolniczego. Do biopaliw stałych zalicza się między innymi: słomę, drewno, rośliny energetyczne a także ziarno.

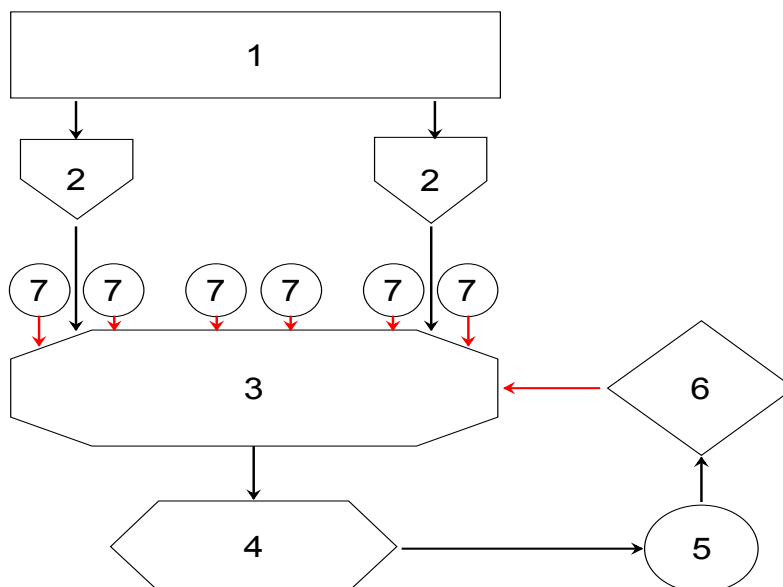
Cel badań

Badania linii do spalania osadek kolbowych przeprowadzono w Centrali Nasiennej w Środzie Śląskiej, która dysponuje dużą ilością tego surowca jako odpadu poprodukcyjnego. Osadki wykorzystuje się tutaj jako paliwo alternatywne.

Celem badań było określenie parametrów eksploatacyjnych spalarni a także zużycia energii w czasie suszenia. Określono: wydajność linii spalania osadek kolbowych, dobowe oraz sezonowe zużycie energii i jej koszty produkcji, jednostkowe koszty produkcji energii w przypadkach: korzystania tylko z oleju opałowego i z oleju opałowego oraz osadek.

Przedmiot i metodyka badań

Jako główne źródło do produkcji energii wykorzystywany jest piec olejowy. Dodatkowym źródłem energii jest piec do spalania osadek. Przedmiotem badań był system podgrzewający powietrze dla suszarni kolb kukurydzy. Jego podstawowy element stanowi nagrzewnica powietrza opalana osadkami kukurydzy. Nagrzewnica powietrza o wydajności $200\ 000\ \text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ i temperaturze 75°C zbudowana jest z rurowego wymiennika ciepła spalin-powietrze współpracującego z mechanicznym paleniskiem rusztowym. Proces spalania osadek odbywa się w piecu na rusztach schodkowych. Materiał do komory dostarczany jest przenośnikiem do najwyższego schodka paleniska a następnie poprzez ruch posuwisto-zwrotny schodków, osadki przemieszczają się w coraz niższe położenie. W tym czasie masa zostaje spalona a popiół, który pozostał w bardzo niewielkich ilościach wydalany jest do specjalnego kontenera. Wymieniona instalacja podgrzewania i mieszania powietrza wpięta jest równolegle do istniejących podgrzewaczy olejowych, co pozwala na elastyczną pracę tych systemów. Układy wyposażone są w automatyczne systemy sterowania pracą i regulacją temperatury suszącego powietrza. Taka konstrukcja posiada nieco niższą sprawność w stosunku do stosowanego wcześniej systemu bezpośredniego suszenia spalinami z oleju opałowego jednak suszenie czystym powietrzem pozwala na uzyskanie ziarna dobrej jakości nadającego się również do zastosowań paszowych. Na rysunku 1 przedstawiony jest uproszczony schemat obróbki kolb kukurydzy połączony z procesem spalania osadek. W pierwszym etapie kolby kukurydzy trafiają na rolki odkoszulkowujące 2. Następnie odkoszulkowane kolby są suszone w suszarni 3. Wysuszona masa zostaje przetransportowana do młocarni 4 gdzie od kolby oddzielane są ziarna, pozostałości czyli osadki trafiają do silosu 5 a stąd transportowane są do pieca 6 jako paliwo do spalania. Ciepło uzyskane ze spalania osadek dostarczane jest wymiennikami rurowymi do suszarni gdzie wspomaga pracę pieców olejowych 7. Tak zbudowany system pozwala na zagospodarowanie osadek jako odpadu oraz zaoszczędzenie części oleju niezbędnego do pracy suszarni.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Schemat obróbki kolb kukurydzy z procesem wykorzystania osadek do spalania. 1 – kosze roPLNadunkowe, 2 – rolki odkoszulkowujące kolbę, 3 – suszarnia, 4 – młocarnia suchych kolb kukurydzy, 5 – silos osadek kolbowych, 6 – piec do spalania osadek kolbowych, 7 – piece olejowe

Fig. 1. A scheme of rachis processing with the use of rachis for incineration. 1 – unload basket, 2 – husk – sheller rolls, 3 – drying room, 4 – threshing machine of dry corn cobs, 5 – silos for corn rachis, 6 – stove for corn rachis incineration, 7 – oil stoves

Parametry pracy linii wyznaczono na podstawie badań wykonanych w czasie kampanii zbioru i suszenia kolb kukurydzy. Wyznaczono następujące parametry: wydajność linii oraz koszty produkcji energii. Analizę wydajności pracy spalarni osadek przeprowadzono na podstawie: bilansu materiału (kukurydzy) dostarczonego do suszarni, masowego oraz procentowego udziału osadki w całej kolbie kukurydzy. Próbkę kolb kukurydzy oraz osadek pobierano bezpośrednio z przenośników. Kolby pobierano po opuszczeniu komór suszarniczych w celu określenia ich suchej masy a osadki pobierano po opuszczeniu młocarni również w celu określenia ich suchej masy. Materiał pobierany był w sposób losowy z różnych miejsc taśmy oraz w losowo wybranych dniach w okresie badań.

Proces spalania wymaga dostarczenia pewnej ilości nośnika energii, która w następnym etapie zostaje zamieniona na energię cieplną. W linii spalania źródłem tym są osadki oraz olej opałowy. O ile wartość opałowa oleju jest znana to wartość opałowa osadek została ustalona w badaniach doświadczalnych. Zdrojewski i Peroń [2002] określili wartość ciepła spalania osadek w zależności od ich wilgotności, uzyskując od $11\,399\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla wilgotności 30% do $15\,355\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ dla wilgotności 10%. W celu obliczenia całkowitej ilości energii wytwarzanej podczas jej produkcji należało zsumować energię z obu źródeł. W tym przy-

padku źródłami energii były olej opałowy oraz osadki kolbowe, a całkowite dobowe zużycie energii było sumą tych dwóch składowych:

$$Q_{ed} = Q_{od} + Q_{ekd} \quad [\text{MJ} \cdot \text{dobę}^{-1}] \quad (1)$$

gdzie:

- Q_{ed} – całkowite dobowe zużycie energii [MJ],
- Q_{od} – dobowe zużycie energii z osadek,
- Q_{ekd} – dobowe zużycie energii z oleju.

Analiza kosztów wytwarzania energii miała na celu określenie ich wielkości w dwóch różnych przypadkach: spalanie samego oleju opałowego i współspalania osadek kolbowych z olejem opałowym. Biorąc pod uwagę fakt, iż do produkcji energii z oleju opałowego wliczane są koszty zakupu tego surowca natomiast drugie źródło jakim są osadki, pozbawione są tych kosztów, możemy obliczyć jednostkowe koszty produkcji energii na podstawie dobowych kosztów wytwarzania energii z oleju oraz całkowitego dobowego zużycia energii:

$$K_{kJ} = \frac{K_d}{Q_{ed}} \quad [\text{PLN} \cdot \text{MJ}^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

- K_{kJ} – jednostkowy koszt produkcji energii w przypadku korzystania z jednego źródła energii [$\text{PLN} \cdot \text{MJ}^{-1}$],
- K_d – dobowe koszty wytworzenia energii z oleju [PLN],
- Q_{ed} – całkowite dobowe zużycie energii [MJ].

Badania zostały wykonane w terminie zbioru kukurydzy czyli w miesiącach wrzesień-listopad. W tym okresie analizowano średnie dobowe temperatury, które wahały się od 0 do 20°C. Do spalania wykorzystano olej opałowy grzewczy Ekoterm Plus. Do przeprowadzenia analizy ekonomicznej zbadano rynek paliw w celu określenia aktualnych cen oleju opałowego. W okresie badań ceny oleju wzrosły o około 13%, w związku z tym do obliczeń przyjęto uśrednioną wartość ceny oleju z tego okresu, która wynosiła 1925 PLN·m³.

Wyniki badań

Kolba kukurydzy zbudowana jest z ziarna oraz osadki kolbowej z różnym procentowym udziałem. Stwierdzono duże zróżnicowanie w masie zarówno kolb jak i osadek. Wartości te wahają się od 350 do 668 g dla kolby oraz od 63 do 100 g dla osadki. Masa kolby zależy przede wszystkim od odmiany kukurydzy. Zużycie oleju do produkcji energii w procesie suszenia kukurydzy było zróżnicowane i wynosiło nawet 30%. Na tę sytuację miały wpływ takie czynniki jak temperatura powietrza, stan techniczny pieca spalającego osadki oraz wykorzystanie komór suszarniczych.

Analiza ekonomiczna...

W tabeli 1 przedstawiono parametry eksploatacyjne pracy spalarni uzyskane w czasie badań. Procentowy udział osadki w kolbie kukurydzy wynosił 18,1% i pokazuje jak małą częścią kolby kukurydzy jest osadka. Masa kukurydzy przyjętej do Centrali podczas zbiorów wyniosła 7 472 108 kg. Na podstawie tej wartości obliczono ilość osadek otrzymanych w ciągu kampanii. Do spalania w okresie 49 dni pracy spalarni wykorzystano 1 279 301 kg osadek. Część osadek Centrala sprzedała odbiorcom zewnętrznym. Wyznaczono również dobową wydajność linii, czyli ilość osadek przyjętych do spalania w ciągu doby. Wartość ta wyniosła 26 108 kg. Dodatkowo oszacowano wydajność godzinową równą 1 088 kg.

Tabela 1. Parametry eksploatacyjne pracy spalarni
Table 1. Operating Parameters of a combustion plant work

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	X_{os} - średni udział osadki w kolbie	[%]	18,1
2	M_k - kukurydza przyjęta do zakładu	[kg]	7 472 108
3	M_{os} - osadki dostarczone do spalarni	[kg]	1 279 301
4	m_{os} - osadki spalane w ciągu doby	[kg]	26 108
5	n - ilość dni pracy linii	[-]	49

Źródło: opracowanie własne

Tabela 2 przedstawia wartości zużywanej energii w procesie suszenia ziarna kukurydzy w Centrali Nasiennej. Całkowite dobowe zużycie energii wynosi 632 350 MJ z czego ponad 63% to energia wytworzona przez spalanie osadek (400 891 MJ) a 37% to energia wytworzona z oleju opałowego (231 459 MJ).

Tabela 2. Dobowe oraz sezonowe zużycie energii cieplnej z oleju i osadek
Table 2. Day and seasonal use of thermal energy from oil and rachis

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	Q_{ekd} - dobowe zużycie energii z oleju	[MJ]	231 459
2	Q_{eod} - dobowe zużycie energii z osadek	[MJ]	400 891
3	Q_{ed} - całkowite dobowe zużycie energii	[MJ]	632 350
4	M_d - dobowe zużycie oleju w przypadku korzystania z osadek oraz oleju	[m ³]	6,32
5	M_{od} - dobowe zużycie oleju w przypadku korzystania tylko z oleju	[m ³]	17,26
6	Q_{sek} - sezonowe zużycie energii z oleju	[MJ]	11 341 483
7	Q_{seo} - sezonowe zużycie energii z osadek	[MJ]	19 643 660

Źródło: opracowanie własne

Końcowym efektem badań było wykonanie analizy kosztów linii suszenia kolb kukurydzy z wykorzystaniem spalania osadek kolbowych. W obliczeniach nie były uwzględniane niektóre straty energii na różnych etapach produkcji, jak np.: straty ciepła w wymienniku. Wyniki przedstawione w tabeli 3 potwierdzają znaczne oszczędności finansowe. Jak wynika z analizy danych przedstawionych w tej tabeli, w przypadku korzystania ze spalania

osadek jako dodatkowego źródła energii koszty jej produkcji spadły o ponad 63%. Widać to zarówno w wynikach sezonowych kosztów wytwarzania energii kiedy to koszty spadły z 1 601 987 do 586 375 PLN·sezon⁻¹ jak i w wynikach dobowych kosztów wytwarzania energii z 32 694 do 11 967 PLN·dobe⁻¹.

Tabela 3. Koszty produkcji energii cieplnej
Table 3. Production costs of thermal energy

Lp.	Parametr	Jednostka	Wartość
1	K_d - dobowe koszty produkcji energii w przypadku korzystania tylko z oleju opałowego	[PLN·dobe ⁻¹]	32 694
2	K_{kols} sezonowe koszty produkcji energii w przypadku korzystania tylko z oleju opałowego	[PLN·sezon ⁻¹]	1 601 987
3	K_{kosd} - dobowe koszty produkcji energii z oleju oraz osadek	[PLN·dobe ⁻¹]	11 967
4	K_{koss} - sezonowe koszty produkcji energii z oleju oraz osadek	[PLN·sezon ⁻¹]	586 375

Źródło: opracowanie własne

Jednostkowe koszty produkcji energii przedstawiono w tabeli 4. Wyniki te wskazują prawie na 3-krotnie niższe koszty w produkcji energii. Kiedy stosowane są do spalania osadki oraz olej - koszty te wynoszą 0,019 PLN·MJ⁻¹, natomiast w sytuacji gdy stosowany do spalania jest tylko olej wartość ta wzrasta do 0,052 PLN·MJ⁻¹.

Tabela 4. Jednostkowy koszt produkcji energii w zależności od źródła pochodzenia
Table 4. Unit production cost of energy in relation to the source of derivation

Lp.	Źródło energii	Jednostka	Wartość
1	K_{kol} - olej opałowy	[PLN·MJ ⁻¹]	0,052
2	K_{kos} - osadki i olej opałowy	[PLN·MJ ⁻¹]	0,019

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Na podstawie analizy wyników badań nasunęły się następujące wnioski:

1. Dobowa wydajność linii do spalania osadek wynosi 26 108 kg co po przeliczeniu na godzinę daje wartość 1088 kg.
2. Całkowite dobowe zużycie energii do suszenia kolb wynosi 632 350 MJ gdzie udział poszczególnych źródeł energii jest następujący: 63% - energia pozyskana z osadek, 37% - energia pozyskana z oleju opałowego.
3. Dobowe koszty produkcji energii wynoszą 11 967 PLN i są prawie 3-krotnie niższe od kosztów poniesionych w procesie suszenia przy wykorzystywaniu energii tylko z oleju. Podobnie jest w przypadku kosztów sezonowych, które wynoszą 586 375 PLN dla współspalania oleju i osadek oraz 1 601 987 PLN przy wykorzystaniu tylko oleju opałowego.

4. Badania potwierdziły obniżenie jednostkowych kosztów produkcji energii cieplnej z 0,052 PLN·MJ⁻¹ przy wykorzystaniu tylko oleju opałowego do 0,019 PLN·MJ⁻¹ przy współpalaniu osadek kukurydzy i oleju opałowego.

Bibliografia

- Kubica K.** 2004. Spalanie biomasy i jej współpalanie z węglem-techniki, korzyści i barier. Instytut Chemicznej Przeróbki Węgla. Zabrze. Maszynopis.
- Mokrzycki E.** 2005. Podstawy gospodarki surowcami energetycznymi. Wyd. AGH. Kraków. ISBN 83-89388-23-5.
- Niedziółka I., Szymanek M., Zuchniarz A.** 2006. Analiza wartości opałowej resztek poźniwnych kukurydzy pastewnej. Inżynieria Rolnicza. Nr 11. s. 343-349.
- Panel naukowy.** 2009. Strategia badań na rzecz rozwoju energetyki w Polsce. Globalne zasoby energii pierwotnej a kryzys energetyczny. PAN. Warszawa. Maszynopis.
- Roszkowski A.** 2009. Bioenergia – pola i lasy zastąpią węgiel ropę i gaz. Inżynieria Rolnicza. Nr 1(110). s. 243-257.
- World Energy Outlook.** 2004. Wyd. IEA. Paris. s. 570-580.
- Zdrojewski Z., Peroń S.** 2002. Charakterystyka energetyczna osadek kukurydzy-wpływ struktury próbek na pomiar ciepła spalania. Inżynieria Rolnicza. Nr 5(38). s.509-517.

ECOCOMIC ANALYSIS OF THE USE OF COB RACHIS AS ALTERNATIVE FUEL

Abstract. The article presents results of the operating research and costs analysis of a combustion plant work, which concern limiting the use of fuel oil by co-incineration with corn rachis. The studies were conducted in the Seed Central Site in Środa Śląska, where 63% of energy obtained from rachis and 37% of energy obtained from fuel oil constitutes day energy consumption for the process of cobs drying. The studies proved explicitly that the use of rachis for energy production is justified with economic reasons because, being a waste, it allows for decreasing the costs of its production from 0,052 to 0,019 PLN·MJ⁻¹.

Key words: alternative fuel, corn rachis, incineration

Adres do korespondencji:

Jerzy Bieniek; e-mail: jerzy.bieniek@up.wroc.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
ul. Chełmońskiego 37/41
51-630 Wrocław