

SŁOMA JAKO PALIWO

Wiesław Denisiuk

„EKOL.OG” Zakład Energetyki Ciepłej i Usług Bytowych w Zielonkach

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykład zastosowania słomy jako surowca energetycznego dla jednostki energetycznej o mocy 1 MW, która powstała w wyniku rekonstrukcji jednostki kotłowej opalanej gazem. W artykule wskazuje się na walory energetyczne słomy jako paliwa. Analizuje się jej fizykalno-chemiczne cechy (właściwości) oraz parametry energetyczne i techniczne, które charakterystyczne są dla biomasy, ze wskazaniem specyfiki procesu spalania słomy. W porównaniu do gazu ziemnego słoma jest niskokalorycznym surowcem energetycznym o wartości opałowej $13,5\div 19,0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, której wartość zależy od rodzaju słomy i jej względnej wilgotności. Słomę jako surowiec energetyczny opisują następujące charakterystyczne wielkości (cechy) [Denisiuk 1998, 2001]: wartość opałowa [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] (w gazie ziemnym [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$]), temperatura spalania [$^{\circ}\text{C}$], temperatura topnienia popiołu [$^{\circ}\text{C}$], masa usypowa [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$], gęstość [$\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$], objętość właściwa [$\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$], współczynnik koncentracji energii [$\text{MWh}\cdot\text{m}^{-3}$], potencjał energetyczny [$\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$], wyrównanie rozmiarowe słomy, zawartość wody. Wielkości te mają wpływ na parametry konstrukcyjne kotła przeznaczonego do spalania słomy, a z nich wynikają wymagania w zakresie energetycznego przygotowania słomy.

Słowa kluczowe: słoma, surowiec energetyczny, paliwo

Wstęp

Znana jest ogólnie opinia, że zużycie energii w świecie rośnie a trend ten w ostatnim stuleciu nie jest do opanowania. Trend wzrostu jest zwłaszcza charakterystyczny dla okresu po 2 wojnie światowej. Jest też znane, że rozwinięta bogata część świata, która stanowi 20% naszej populacji, konsumuje 80% rocznie wytwarzanej energii. [Manifesto 2003]. Produkcja ciepła i prądu elektrycznego oraz paliw ciekłych odbywa się obecnie w swej większości w oparciu o kopalne surowce energetyczne. Ciepłownie i elektrociepłownie, a także i znaczna część pojazdów wykorzystujących paliwa ciekłe funkcjonuje w oparciu o znacznie wyeksploatowane jednostki energetyczne, które mają niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. Efektem spalania paliw kopalnych jest emisja do atmosfery szkodliwych składników, głównie CO_2 , które są źródłem efektu cieplarnianego. W celu ustanowienia procedury ochrony środowiska naturalnego, ograniczenia importu paliw kopalnych i zagwarantowania bezpieczeństwa energetycznego Narody Zjednoczone, UE i komisja UE ustanowiły trzy podstawowe akty prawne [Manifesto 2003]:

1. Biała Księga – jako podstawowy dokument z listopada 1997 roku określa cele Komisji UE w sprawie wdrożenia OZE. Zakłada się w nim wzrost wykorzystania OZE do 12% w 2010 roku.

2. Protokół z KIOTO (przyjęty przez ONZ w grudzień 1997r) określający cele w zakresie ochrony klimatu.

3. Zielona Księga – jest dokumentem Komisji UE określającym zasady stanowienia bezpieczeństwa energetycznego krajów UE.

W związku z tym, także w Polsce obserwujemy trend budowy nowych i rekonstrukcji starych kotłowni, których celem jest przejście z paliw kopalnych na biomasę, tj. słomę, zrębki drewna i roślin drzewiastych. Proces ten gwarantuje energetyczną samowystarczalność sfery komunalnej i obniżenie emisji CO₂. Zamiana paliw kopalnych słomą jest relatywnie łatwa do osiągnięcia w lokalnych systemach energetycznych [Budny 2000]. W takich lokalnych systemach centralnego zaopatrzenia w ciepło, także w sposób nieskomplikowany możemy tworzyć układy kogeneracji [Denisiuk 2006]. Budowa nowych, modernizacja istniejących ciepłowni opalanych słomą i ich eksploatacja boryka się z problemami, których źródło tkwi w nieznaności słomy jako surowca energetycznego.

Wielka systemowa elektro-energetyka, w związku z tym że system legislacyjny nakazuje coroczny równomierny wzrost produkcji energii cieplnej i elektrycznej z biopaliw, problem ten rozwiązuje drogą hybrydowych systemów współspalania biomasy z kopalnymi paliwami. W większości przypadków, w tych systemach występuje współspalanie węgla ze zrębkami drewna, które powstają z odpadów pozrębowych. Coraz większe zainteresowanie występuje wykorzystaniem potencjału plantacji energetycznych, np. *Sida hermaphrodita Rusby*, wierzba *Salix*, *Miskantus*, a także brykietów ze słomy itd. W tych systemowych rozwiązaniach w większości występuje konieczność adaptacji układów mieszania węgla z biomasą i podawania tak wytworzonej mieszaniny do jednostki energetycznej. Opinie na ten sposób wykorzystania energetycznego biomasy w większości są negatywne. Problem stanowi występujący w biomasie azot i chlor. Azot jest przyczyną przyspieszonego zużycia wewnętrznych powierzchni kotła. Chlor w połączeniu z wysoką temperaturą jest sprawcą tworzenia dioksan, czym systemowa energetyka się nie zajmuje. Równoczesne spalanie węgla i biomasy zaleca się w technologiach fluidyzacyjnych, tzn. tam gdzie występuje kocioł fluidalny (z wyłączeniem słomy).

Cel pracy

Celem pracy jest wyznaczenie wybranych parametrów i charakterystycznych wielkości dla słomy jako surowca energetycznego oraz wskazanie na krańcowo różne konstrukcje urządzeń energetycznych, w ramach ich rozwoju, umożliwiających pozyskanie zawartej w słomie energii.

Techniczne i technologiczne właściwości słomy:

W celu podkreślenia walorów słomy jako surowca energetyczny wyznaczono jej następujące parametry i charakterystyczne właściwości:

- wartość opałowa [MJ·kg⁻¹] (w gazie ziemnym [MJ·m⁻³])
- temperatura spalania [°C],
- temperatura topnienia popiołu [°C],
- masa usypowa [kg·m⁻³],
- objętość właściwa [t·m⁻³],

- współczynnik koncentracji energii [$\text{MWh}\cdot\text{m}^{-3}$],
- potencjał energetyczny [$\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$],
- wyrównanie rozmiarowe cząstek słomy,
- zawartość wody, wilgotność.

Badaniom poddana została słoma zebrana na polach Powiśla Sztumskiego, z których zbierana jest ona od 1996 roku jako surowiec energetyczny dla ciepłowni o mocy 1 MW w Zielonkach woj. pomorskie.

Badania wartości opałowej wybranych grup rodzajowo-jakościowych słomy na zlecenie autora przeprowadzono w akredytowanym laboratorium UWM Olsztyn. Stosowano metodę wyznaczania wartości opałowej właściwą dla bomby kalorymetrycznej. Stwierdzono, że wartość opałowa słomy jest zależna od rodzaju i jakości słomy. Jakość słomy zależy od zawartości wody i fazy zbioru słomy (słoma zbierana bezpośrednio za kombajnem – słoma żółta, słoma zbierana po kilku dniach po omłocie ziarna – słoma szara). Dla tych przypadków wartość opałowa znajduje się w przedziale: przy wilgotności 5%–19 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ słoma szara, a przy wilgotności 20%–13,5 $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ słoma żółta [Denisiuk 2003].

W dziesięciu powtórzeniach, przy pomocy termometru AGEMA Thermopoint R 2 dokonano pomiaru temperatury palenia się słomy przy wolnym dostępie powietrza. Stwierdzono, że w takich warunkach słoma pali się w temperaturze $1350\div 1400^{\circ}\text{C}$. Dla sprawnego funkcjonowania węzłów technologicznych kotła konieczne jest utrzymanie optymalnej temperatury palenia słomy w kotle, której wartość znajduje się w przedziale $750\div 900^{\circ}\text{C}$. Jest to ważne ze względu na temperaturę topnienia popiołu, która ma wpływ na sposób jego usuwania z kotła.

Temperaturę topnienia się popiołu wyznaczono dla słomy jęczmiennej i słomy pszennej. Przez wziernik kotła, przy pomocy termometru AGEMA Thermopoint R 2 dokonywanego pomiaru temperatury z dokładnością 1°C , przeprowadzono pomiar temperatury płomienia palącej się słomy wewnątrz kotła. Wziernik znajduje się tylnej ścianie kotła. Pomiaru temperatury dokonywano w odstępach czasu co trzy minuty, prowadząc jednocześnie obserwację konsystencji palącej się masy słomy. W ten sposób wyznaczano progową temperaturę topnienia się popiołu spalonej słomy. Stwierdzono, że popiół słomy jęczmiennej topi się przy temperaturze $650\div 700^{\circ}\text{C}$, a popiół słomy pszennej topi się przy temperaturze $950\div 1000^{\circ}\text{C}$. Ze względu na niską temperaturę topnienia popiołu (650°C) nie zaleca się w celach energetycznych stosować słomy jęczmiennej, ponieważ następuje zjawisko oklejania wewnętrznych powierzchni kotła [Denisiuk 1998; 2003].

Parametry techniczne słomy są zależne od jej wyrównania rozmiarowego, które jest formą przetworzenia słomy. Rozróżniamy następujące formy przetworzenia słomy: słoma luźna (po zbiorze ziarna pozostawiona na polu), słoma posieczona sieczkarnią, słoma sprasowana do małych kostek o masie ok. 10kg, słoma sprasowana w rolki o masie $110\div 200\text{kg}$, słoma sprasowana w kostki o masie $220\div 400\text{kg}$ i słoma zbrykietowana lub zpeletyzowana. Po wyznaczeniu wartości opałowej słomy, w dziesięciu powtórzeniach, przeprowadzono pomiary długości, szerokości i wysokości oraz masy przygotowanych próbek słomy. Mając te dane przeliczono następnie masę usypową, objętość właściwą i współczynnik koncentracji energii. Zestawienia uzyskanych parametrów stanowi tabela 1.

Tabela 1. Parametry słomy w zależności od wyrównania rozmiarowego
Table 1. Straw parameters depending on size compensation

Sposób przetworzenia słomy	Masa usypowa [kg·m ⁻³]	Objętość właściwa [m ³ ·t ⁻¹]	Współczynnik koncentracji energii [MWh·m ⁻³]
Słoma luźna	20-50	20-50	0,16-0,7
Słoma pocięta (sieczenka)	40-60	10-25	0,13-0,19
Słoma sprasowana do małych kostek 50·50·100	50-110	9-20	0,16-0,36
Słoma zrolowana ø100·100	60-90	11-16	0,19-0,29
Słoma w big bal. 85·120·250	70-130	7,7-14	0,23-0,49
Słoma brykiet/pelet	300-450	2,3-3,3	0,99-1,48

W notowaniach urzędów statystycznych nie istnieją dane na temat jednostkowej wydajności słomy. Są natomiast informacje na temat wydajności ziarna zbóż. Wyznaczenie dla określonej mocy kotła odpowiedniej ilości masy słomy określono przy pomocy jej potencjału masy w odniesieniu do powierzchni obsianej zbożem, który pośrednio możemy wyliczyć za pomocą parametru stosunku ziarna do słomy z:s. Przy pomocy wagi wozowej pięćdziesięcotonowej wykonano pomiary zebranej masy zboża i słomy. Pozwoliły one wyznaczyć parametr stosunku ziarna do słomy z:s = 1:0,56. W wyniku wieloletnich badań określono możliwość pozyskania słomy energetycznej z jednego hektara w ilości od 0,8÷5,0 ton. Tak duży rozrzut wydajności słomy (potencjał masy) jest zależny od odmiany, rodzaju zboża i plonu ziarna [Denisiuk 2003]. Przy pomocy iloczynu potencjału masy słomy i wartości energetycznej słomy wyznaczono potencjał energetyczny słomy w odniesieniu do powierzchni, mierzony w [GJ· ha⁻¹].

Rozwiązanie konstrukcyjne sposobu podawania słomy do kotła determinuje problem technologii zbioru słomy z pola, a przez to zagęszczenie tego surowca energetycznego do określonej bryły.

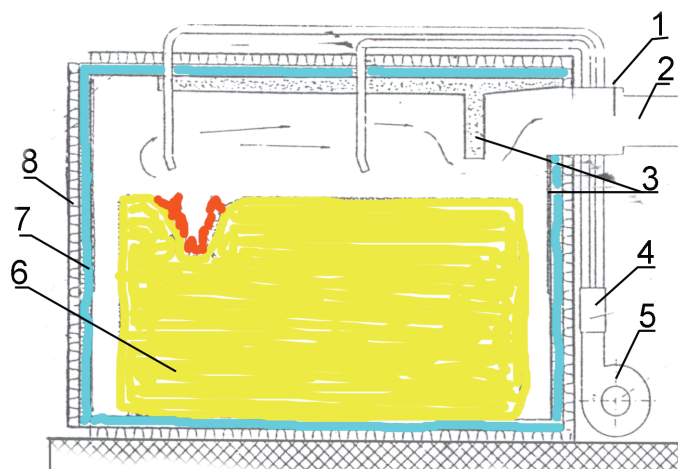
Kotły i urządzenia stosowane przy spalaniu słomy

Zastosowanie słomy do celów energetycznych datuje swój początek na lata 70-te ubiegłego stulecia. Wtedy także w niektórych krajach starej Unii Europejskiej stworzono procedury prawne zabraniające palenia na polach resztek pożywnych. Stało się to między innymi przyczyną zainteresowania słomą jako surowcem energetycznym. Od strony technicznej należało rozwiązać w jednostkach energetycznych problem wydłużenia procesu palenia słomy w komorze spalania.

Ogólnie dostępna wiedza na temat palenia słomy to:

- wysoka szybkość palenia w warunkach wolnego dostępu powietrza („słomiany ogień”). Należało rozwiązać problem uszczelnienia pneumatycznego wewnętrznej przestrzeni kotła i problem dostawy powietrza w funkcji ilości dostarczonej do komory spalania słomy.
- relatywnie wysoka temperatura płomienia (1400÷1430°C) [Viglasky 2001],
- relatywnie wysoki płomień (z kostki słomy o średnicy 1m powstaje płomień do wysokości 1,5 m - badania własne). W związku z tym, na przykład tej samej mocy kotły opalane słomą są gabarytowo czterokrotnie większe od kotłów gazowych.

Te podstawowe cechy i parametry dały początek rozwojowi konstrukcji kotłów do spalania słomy, które na początku były budowane w formie szczelnej, hermetycznie zamkniętej komory o podwójnym płaszczu. Kolektor dymny był integralną częścią komory spalania, co było przyczyną niskiej sprawności kotłów i dużej emisji pyłów do atmosfery [Denisiuk,1998]. Rysunek nr 1 przedstawia typowy z lat siedemdziesiątych kocioł do spalania słomy o tej konstrukcji, nazywany kotłem wsadowym. W tych kotłach temperatura spalin w czopuchu sięga $450\div500^{\circ}\text{C}$ (badania własne).



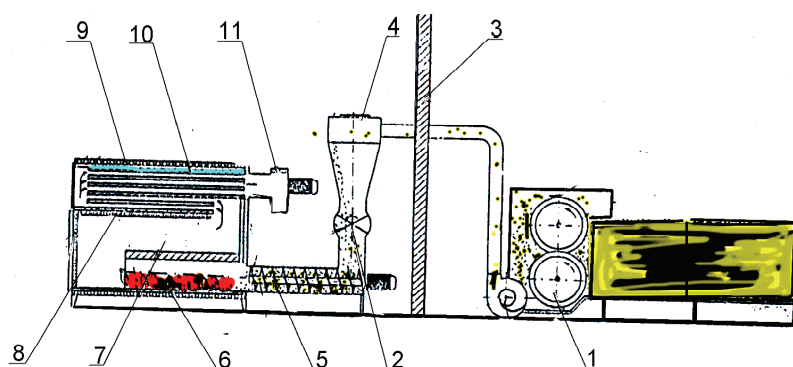
Rys. 1. Schemat kotła wsadowego płomienicowego z regulowanym przepływem powietrza w zależności od temperatury spalin: 1 – czujnik temperatury, 2 – kolektor dymny, 3 – wkład ceramiczny, 4 – rozdzielacz nawiewu powietrza, 5 – wentylator, 6 – komora spalania wypełniona słomą, 7 – płaszcz wodny, 8 – izolacja kotła

Fig. 1. Diagram showing furnace tube charge boiler with air flow adjustable depending on combustion gas temperature: 1 – temperature sensor, 2 – smoke collector, 3 – ceramic insert, 4 – air supply distributor, 5 – fan, 6 – combustion chamber filled with straw, 7 – water jacket, 8 – boiler insulation

Dla tej konstrukcji kotłów o mocy $10\div100\text{ kW}$ słoma prasowana jest w kostki o masie $10\div15\text{ kg}$. W komorze spalania tych kotłów mieści się $2\div5$ sztuk kostek. Natomiast dla kotłów o mocy $100\div500\text{ kW}$ słoma zagęszczana jest w formie walca lub graniastosłupa o masie $100\div300\text{ kg}$. W komorze spalania, w zależności od mocy kotła mieści się wówczas $1\div3$ sztuk tak sprasowanych rolek lub kostek słomy [Denisiuk 1998].

Na początku lat osiemdziesiątych poprzedniego stulecia na rynku pojawiły się automatyczne jednostki energetyczne z ciągłą dostawą słomy do kotła. Duży wpływ na konstrukcję tych kotłów miały kotły opalane gazem. Ze względu na zasadniczą różnicę pomiędzy słomą jako paliwem a gazem, głównie z uwzględnieniem parametrów technicznych słomy (gęstość słomy, zawartość pyłu podczas palenia słomy, temperatura i kształt płomienia przy spalaniu słomy, zawartość wody w słomie) kotły opalane słomą zostały dodatkowo wyposażone w [Nikolaison 1998]:

- służę dozującą, oddzielającą przestrzeń wewnętrzną kotła od atmosfery zewnętrznej,
- przedpalenisko, w którym przebiega proces odparowania wody ze słomy i jej zgazowanie,
- wewnątrz płomienicowy system wygarniania popiołu dla kotłów bezrusztowych,
- ceramiczne wykładziny, których celem jest zabezpieczenie wewnętrznych powierzchni kotła przed wysokimi temperaturami i jako akumulatory ciepła dopełniają proces zupełnego spalania słomy.



Rys. 2. Automatyczna ciepłownia na słomę z przedpaleniskiem [Denisiuk 2003]: 1 – szarpacz słomy, 2 – zgarniacz i śluza dozująca słomę, 3 – ściana ogniowa, 4 – wentylator wyciągowy słomy, 5 – przenośnik ślimakowy, 6 – przedpalenisko, 7 – komora spalania, 8 – ceramika, 9 – izolacja, 10 – płaszcz wodny, 11 – wentylator wyciągowy spalin

Fig. 2. Automatic straw –fired heat –generating plant with Dutch oven [Denisiuk 2003]: 1 – straw thresher, 2 – straw sweep and straw proportioning gate, 3 – fire wall, 4 – straw exhaust fan, 5 – platform auger, 6 – Dutch oven, 7 – combustion chamber, 8 – ceramics, 9 – insulation, 10 – water jacket, 11 – combustion gas exhaust fan

Wnioski

1. Parametry techniczne słomy do celów energetycznych zależą o formy jej przetworzenia. Masa usypowa znajduje się w przedziale od $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dla słomy luźnej do $450 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dla słomy peletyzowanej. Objętość właściwa znajduje się w przedziale od $20 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ dla słomy luźnej do $3,3 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ dla słomy peletyzowanej. Natomiast współczynnik koncentracji energii znajduje się w przedziale od $0,16 \text{ MWh} \cdot \text{m}^{-1}$ dla słomy luźnej do $1,48 \text{ MWh} \cdot \text{m}^{-1}$ dla słomy speletyzowanej.
2. Na rynku oferowane są kotły wsadowe bez wymiennika i z wymiennikiem z pojedynczym lub podwójnym zawrotem spalin oraz jednostki energetyczne automataczne, w których część wymiennikowa stanowi oddzielne urządzenie w formie pionowych lub poziomych płomieniówek.
3. Ze względu na znaczącą zawartość pyłów powstających przy spalaniu słomy ($0,4 \pm 0,8\%$), należy przy wyborze jednostki energetycznej dokonać analizy jej konstrukcji zwłaszcza części wymiennikowej i wyposażenia kotła w elementy ceramiczne komory spalania.

Bibliografia

- Budny J.** 2000. Czy węgiel kamienny może konkurować z paliwami płynnymi. Materiały konferencji naukowej „Problemy gospodarki energią i środowiskiem w mleczarstwie”, Licheń 4-6 IX 2000. s. 4-8.
- Denisiuk W.** 1998. Analiza technologiczna, organizacyjna, i finansowa kotłowni opalanej słomą. Materiały konferencji naukowej „Wykorzystania energii odnawialnej w rolnictwie”. Warszawa 29-30 IX 1998, s. 161-172.
- Denisiuk W.** 2003. Rozprawa doktorska nt „Techniczne i ekologiczne aspekty wykorzystania słomy na cele grzewcze”. Olsztyn. Maszynopis.
- Denisiuk W.** 2006. Słoma ako palivo pre kombinovanu výrobu elektriny a tepla. Materiały międzynarodowej konferencji nt „Sustainable Increasing of End Use Energy Efficiency”. Slovak Republic.
- Nikolaisson L.** 1998. Straw for energy production. The centre of biomass technology.
- Víglaský J.** 2001. Straw as a Fuel and its Characteristics. In: Acta Facultatis Technicae Zvolene V. – Zborník vedeckých prác Fakulty environmentálnej a výrobnéj techniky Technickej Univerzity vo Zvolene. No. 1. Slovensko. s. 139-148.
- Manifesto, AE-BIOM. Brussels, Belgium, 2003.

STRAW AS FUEL

Abstract. The article presents an example for using straw as raw material for energy production in a 1 MW power plant established by means of reconstruction of a gas-fired boiler unit. The authors point out energy-related advantages of straw used as fuel. The work involves analysis of its physical and chemical characteristics (properties) and energy-related and technical parameters, which are characteristic for biomass, with explanation of straw combustion process specificity. Compared to natural gas, straw is a low-calorific raw material for energy production with calorific value $13.5\div 19.0 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (this value depends on straw type and its relative humidity). The following characteristic values (features) describe straw as raw material for energy production [Denisiuk, 1998; Denisiuk, 2001]: calorific value $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ (for natural gas: $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$), combustion temperature $^{\circ}\text{C}$, ash melting temperature $^{\circ}\text{C}$, bulk mass $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, density $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$, specific volume $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$, energy concentration coefficient $\text{MWh}\cdot\text{m}^{-3}$, energy potential $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$, straw size compensation, water content. These values influence constructional parameters of boiler designed for straw combustion, and in turn these parameters determine requirements regarding straw preparation for energy generation purposes.

Key words: straw, material for energy production, fuel

Adres do korespondencji:

Wiesław Denysiuk; e-mail biuro.ekologzec@neostrada.pl
„EKOLOG” Zakład Energetyki Ciepłej i Usług Bytowych w Zielonkach
82-410 Stary Targ