

Krzysztof KNAŚ<sup>1</sup>  
Krzysztof SŁAWIŃSKI<sup>2</sup>  
Michał GANDOR<sup>3</sup>  
Wojciech NOWAK<sup>4</sup>

## WPŁYW SUSZONEGO WĘGLA BRUNATNEGO NA PRACĘ KOTŁA CFB

W niniejszym artykule przedstawiono tematykę związaną z wpływem jaki może mieć podawanie podsuszanego węgla brunatnego na pracę kotła typu CFB. Polskie zasoby węgla brunatnego zapewniają stały i znaczny jego udział wśród paliw wykorzystywanych w krajowej energetyce. Na świecie trwa ciągle poszukiwanie nowych rozwiązań wspomagających waloryzację węgla brunatnych. Powstają kolejne technologie, które niosą z sobą zarówno ryzyko inwestycyjne jak i korzyści mogące wynikać z poprawy konkurencyjności rynkowej młodych (mniej przeobrażonych). W artykule przedstawiono kilka nowoczesnych metod i technologii suszenia węgla brunatnych. Autorzy oprócz znanych na rynku metod przygotowania węgla dla celów energetycznych zaproponowali także innowacyjną technologię jednoczesnego suszenia i mielenia w młynie elektromagnetycznym. Przeanalizowano właściwości podsuszanego paliwa oraz możliwość jego wykorzystania w kotłach CFB oraz poruszono kwestie modernizacji instalacji z cyrkulacyjną warstwą fluidalną na potrzeby spalania waloryzowanego paliwa węglowego. Na podstawie przeglądu literatury oraz własnych doświadczeń podjęto próby określenia wpływu spalania podsuszonego węgla brunatnego na prace kotłów CFB.

**Słowa kluczowe:** mielenie, suszenie, węgiel brunatny, młyn elektromagnetyczny, kocioł CFB

### 1. Wstęp

Węgiel cechuje się zawartością pewnej ilości wilgoci niekorzystnie wpływającej na jego właściwości. W związku z dużą różnorodnością właściwości tej kopaliny, wynikających z czasu i warunków jej powstawania, a także sposobu wydobycia i magazynowania, ilość wody uwięzionej wewnątrz i na powierzchni struktury węgla może wynosić od kilku do kilkudziesięciu procent. W przypad-

<sup>1</sup> Autor do korespondencji/corresponding author: Krzysztof Knaś, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 73 42-201 Częstochowa, kknas@fluid.is.pcz.pl

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, kslawinski@fluid.is.pcz.pl

<sup>3</sup> Politechnika Częstochowska, mgandor@fluid.is.pcz.pl

<sup>4</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, wnowak@agh.edu.pl

ku użycia węgla brunatnego jako paliwa, wilgoć w nim zawarta bardzo istotnie obniża jego wartość kaloryczną, gdyż energia wydzielona w egzotermicznej reakcji spalania, po części jest tracona na odparowanie zawartej w węglu wody. Woda występująca w strukturze węgla ma istotne znaczenie w przypadku węgla młodszych i mniej przeobrażonych, takich jak węgiel brunatny. Polskie pokłady węgla brunatnego stwarzają duże możliwości wydobywcze, które szacuje się na około 60 milionów ton rocznie. W skali globalnej węgiel brunatny stanowi około 50% światowych rezerw węgla, niemniej jednak wykorzystanie olbrzymich zasobów tego surowca jest problematyczne. Największymi zaletami uprzemysłowienia węgla niskogatunkowych będą: niskie koszty wydobycia oraz niewielka zawartość siarki i metali ciężkich. Inaczej jest w przypadku kosztów pozyskania energii z węgla brunatnego, który jest nawet o jedną trzecią większy niż w przypadku węgla kamiennego, dlatego też zmniejszenie wilgoci zawartej w nim może dawać bardzo wymierne efekty nie tylko technologiczne ale i ekonomiczne [10]. Już kilkuprocentowe zmniejszenie ilości wilgoci zawartej w paliwie, może mieć pozytywne skutki ekonomiczne związane z przewozem i składowaniem surowca, a także poprawić efektywność pracy kotła. Jednakże każdy kocioł projektowany jest na ściśle określone paliwo i zmiany w jego składzie mogą znacząco wpłynąć na pracę całego bloku. Dlatego niezbędnym jest przebadanie jak zachowuje się kocioł w przypadku zastosowania wstępnie wysuszonego węgla brunatnego i przystosowania go do nowych warunków pracy, tak aby nie zmieniono parametrów produkowanej pary wodnej.

## **2. Nowoczesne technologie suszenia węgla**

W związku z dużym zróżnicowaniem paliwa węglowego, stosuje się różne typy suszarek, które dobierane są pod konkretne cechy charakterystyczne dla danego surowca. W procesie suszenia najczęściej wykorzystywane jest zjawisko konwekcyjnej wymiany ciepła, w którym ciepło dostarczane jest do cząstki paliwa za pomocą gazowego medium (gorące powietrze, spaliny lub para przegrzana). Redukcję wilgoci można także uzyskać za pomocą substancji w fazie ciekłej lub poprzez jednoczesne suszenie i mielenie węgla w urządzeniu wykorzystującym wirowe pole magnetyczne, którego koncepcja została zaprezentowana przez autorów w dalszej części niniejszego artykułu.

### **2.1. Przegląd technologii suszenia**

Suszarki obrotowe z aeracją (Roro-Louvre, Yamato) - w urządzeniach tych zsypany z łopatek zastąpione delikatnym podrzucaniem cząstek paliwa przez medium suszące, wydostające się przez szereg szczelin zmodyfikowanej powierzchni wewnętrznej cylindra suszarki (Roto-Louvre) lub przez orurowanie umieszczone w środku złoża (Yamato). Uzyskano w ten sposób zwiększoną intensywność procesu wymiany ciepła i masy, zmniejszenie ścierania się czą-

stek oraz zapylenia. Urządzenia te charakteryzują się także mniejszymi rozmiarami instalacji w porównaniu do klasycznych suszarek obrotowych (nawet o 50%). Do ich wad należą: duża energochłonność procesu, bardziej skomplikowana budowa w stosunku do klasycznego rozwiązania z łopatkami, trudności ze skalowaniem instalacji. [1,9]

Suszarki obrotowe ze modyfikacją drogi przepływu medium suszącego – w urządzeniach tych zastosowano rozwiązanie podobne do klasycznego, lecz z ułożonymi współosiowo kilkoma cylindrami, pomiędzy którymi przemieszcza się medium suszące oraz suszony materiał (suszenie bezpośrednie) lub z materiałem przemieszczającym się wewnątrz rurek zanurzonych w gorącym medium (suszenie pośrednie). Uzyskano w ten sposób wydłużenie drogi paliwa przez suszarkę oraz czasu suszenia, polepszenie stopnia wymieszania paliwa, bardzo niska emisja pyłu (suszenie pośrednie), brak kontaktu paliwa z czynnikiem suszącym (suszenie pośrednie). Urządzenie te charakteryzuje także: skomplikowana budowa, możliwość zapychania rurek w przypadku znacznej wilgotności wstępnej paliwa (suszenie pośrednie), ograniczona powierzchnia wymiany ciepła (suszenie pośrednie). [3,6,8]

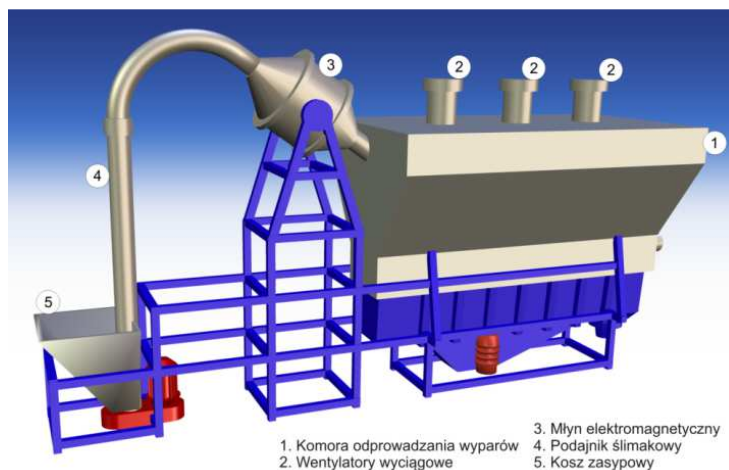
Suszarki fluidalne (wspomagane mechanicznie lub pneumatycznie) opierają się na fluidyzacji cząstek paliwa z użyciem medium suszącego z ewentualnym dodatkowym wymuszeniem mieszania złoża przez strumienie szybko poruszającego się gazu (złoża pulsacyjne) lub poprzez mechaniczne wymuszenie wibracji. Ich pracę cechują: intensywna wymiana ciepła i masy, łatwość technik rekuperacyjnych i recyrkulacyjnych w stosunku do medium suszącego, możliwość zastosowania różnych konfiguracji wymienników ciepła, możliwość osiągnięcia bardzo wysokiego stopnia wysuszenia. Do ich wad zaliczyć można: stosunkowo dużą energochłonność, wymóg odnośnie odpowiedniego uziarnienia materiału, wrażliwość na rodzaj materiału, konieczność zastosowania wielu etapów suszenia w układzie kaskadowym (w celu wysokoefektywnego procesu suszenia bez nadmiernego ścierania materiału), możliwość powstawania martwych stref. [2,4,7]

Metody waloryzacji paliwa DryFining pozwala na częściowe osuszanie i oczyszczanie paliwa z siarki, rtęci i popiołu w zmodyfikowanym reaktorze fluidalnym. W technice tej wykorzystuje się separację ziaren paliwa pod względem gęstości, dzięki czemu cząstki bardziej zanieczyszczone, a przez to cięższe, oddzielane są cząstek lżejszych. Do zalet tej metody zaliczyć można: możliwość wykorzystania niskotemperaturowego ciepła odpadowego oraz usunięcie zanieczyszczeń, a przez to korzystny wpływ na emisję. Zaś do wad: utratę pewnej ilości paliwa towarzyszącą jego oczyszczaniu (wysoka zawartość zanieczyszczeń).[5]

## 2.2. Koncepcyjna instalacja jednoczesnego suszenia i mielenia węgla

Instalacja suszenia węgla z wykorzystaniem młyna elektromagnetycznego składa się z trzech sekcji jakimi są: podajnik nadawy dostosowany do wydajności młyna elektromagnetycznego, młyn elektromagnetyczny wraz z komorą mielenia oraz mielnikami ferromagnetycznymi mielnikami, komora odbioru wyparów.

Proces suszenia węgla brunatnego przebiegałby następująco: nadawa węgla brunatnego z kosza zasypowego poprzez podajnik transportowana jest do komory roboczej młyna elektromagnetycznego, gdzie na skutek pracy mielników dochodzi do procesu jednoczesnego mielenia i podsuszenia węgla. Za rozdrobnienie materiału odpowiadają wirujące w polu magnetycznym mielniki. Na skutek ich zderzeń z komorą roboczą oraz zderzeń na drodze mielnik - mielnik, wydzielane ciepło wykorzystywane jest do dosuszenia węgla. Rozdrobniony i podsuszony węgiel należy zabezpieczyć przed odseparowaną wilgocią. Posłuży do tego ostatnia sekcja, którą stanowi komora odprowadzania wyparów zaopatrzona w wibracyjny przenośnik oraz wentylatory wyciągowe. Rozdrobniony i podsuszony węgiel przetransportowany wibracyjnym przenośnikiem należy odebrać i umieścić w specjalnych szczelnych zbiornikach buforowych. Należy również pamiętać o odpowiednich zabezpieczeniach eliminujących wystąpienie takich czynników ryzyka jak wybuch czy zanieczyszczenie pyłem środowiska naturalnego. Schemat koncepcyjny instalacji suszenia i mielenia węgla, w której zastosowanie znalazł młyn elektromagnetyczny przedstawiono na poniższym rysunku 1.



Rys. 1. Schemat koncepcyjny instalacji suszenia węgla z wykorzystaniem młyna elektromagnetycznego

Fig. 1. Conceptional scheme of the brown coal drying installation using an electromagnetic mill.

### 3. Parametry paliwa

Podstawowym czynnikiem wpływającym na pracę każdego kotła energetycznego jest skład paliwa oraz jego wartość energetyczna. Do badań wybrano węgiel z KWB Turów, spalany w kotłach typu CFB. Wszystkie analizy wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi normami dla paliw kopalnych. Następnie wykonano obliczenia dla poszczególnych stanów zawilgocenia paliwa. Uzyskane wyniki obliczeń wpływu zawartości wilgoci na skład badanego węgla przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry węgla

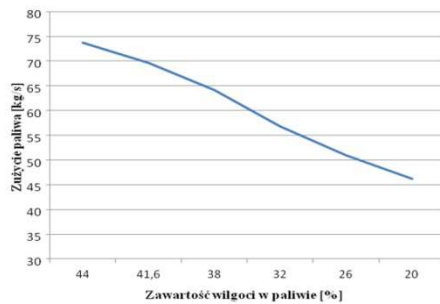
Table 1. Parameters of coal

Parametr	Jednostka	Stan 0	Stan 1	Stan 2	Stan 3	Stan 4	Stan 5
<b>Wilgoć</b>	% <sub>mas</sub>	44	41,6	38	32	26	20
<b>Cz. lotne</b>	% <sub>mas</sub>	19,8	20,65	21,92	24,04	26,16	28,29
<b>Koksik</b>	% <sub>mas</sub>	13,7	14,29	15,17	16,64	18,10	19,57
<b>Popiół</b>	% <sub>mas</sub>	22,5	23,46	24,91	27,32	29,73	32,14
<b>C</b>	% <sub>mas</sub>	23,92	24,95	26,48	27,13	28,29	39,50
<b>H</b>	% <sub>mas</sub>	1,94	2,02	2,11	2,20	2,29	2,39
<b>S</b>	% <sub>mas</sub>	0,6	0,63	0,65	0,68	0,71	0,74
<b>N</b>	% <sub>mas</sub>	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
<b>O</b>	% <sub>mas</sub>	6,77	7,13	8,10	10,44	12,74	14,97
<b>Wartość opałowa</b>	kJ/kg	8239	8697	9385	10531	11676	12822

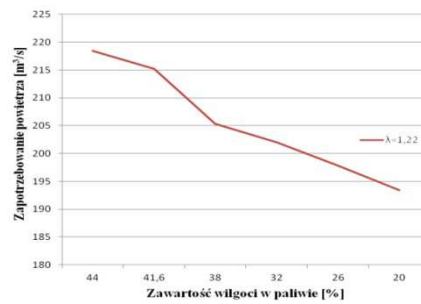
### 4. Wpływ suszonego węgla na parametry kotła CFB

W przypadku spalania podsuszonego węgla zmieniać się będą także parametry pracy kotłów. Poniższe analizy mają za cel zasugerować jakie mogą nastąpić zmiany podczas pracy kotła energetycznego. Na rysunkach 2 oraz 3 przedstawiono wpływ zawartości wilgoci w paliwie na niektóre parametry pracy kotła, oraz w jaki sposób wstępne suszenie węgla brunatnego wpływa na zużycie paliwa oraz zapotrzebowanie na powietrze przy założeniu iż współczynnik nadmiaru powietrza wynosi  $\lambda=1,22$ .

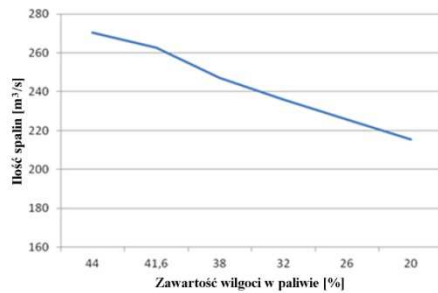
Jak zobrazowano na rysunku 4, spalając wstępnie wysuszony węgiel zużywa się mniej powietrza, czego konsekwencją jest zmniejszenie się strumienia powstających spalin (rys. 5). Jest to spowodowane wcześniejszym odparowaniem pary wodnej poza kotłem oraz mniejszego zapotrzebowania paliwa ze względu na jego podwyższoną wartość opałową. Niesie to za sobą zarówno pozytywne jak i negatywne skutki, o których jest mowa w podsumowaniu.



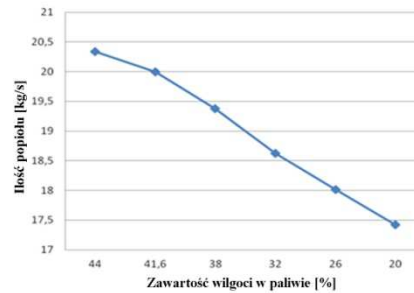
Rys.2. Zmiana strumienia paliwa  
Fig. 2. Changes in fuel stream



Rys.3. Zmiana zapotrzebowania na powietrze  
Fig. 3. Changes in air demand



Rys. 4. Zmiana ilości spalin  
Fig. 4. Changes in the amount of exhaust gases



Rys. 5. Zmiana ilości popiołu  
Fig. 5. Changes in amount of ash

## 5. Podsumowanie

Ingerencja w parametry paliwa spalanego w kotłach energetycznych niesie ze sobą ryzyko pogorszenia parametrów pracy kotłów. Wynika to z faktu, iż kotły energetyczne wraz z instalacjami towarzyszącymi projektowane są dla paliwa o konkretnych parametrach (paliwa projektowego) z dopuszczalną granicą tolerancji. Z tego powodu każda zmiana właściwości paliwa powinna być poprzedzona odpowiednimi analizami, które odpowiedzą na pytanie dotyczące konsekwencji zmiany parametrów paliwa i jego wpływu na pracę kotła oraz instalacji towarzyszących.

Przedstawione w artykule obliczenia oraz dane literaturowe pozwalają na stwierdzenie iż suszenie węgla brunatnego ma zarówno pozytywne i negatywne skutki. Do pozytywów zaliczyć należy:

- zmniejszenie zużycia paliwa, wynikające z jego zwiększonej wartości opałowej,
- zmniejszenie ilości spalin oraz ich zagęszczenie, dające oszczędności energii związane z pracą wentylatorów wyciągowych, a także ułatwiające wychwyt z nich szkodliwych związków,

- zmniejszenie ilości powietrza potrzebnego do spalania, co niesie ze sobą oszczędności związane z pracą wentylatorów,
- zmniejszenie zużycia energii na przygotowanie węgla, wynikające ze zmniejszonego zapotrzebowania na paliwo,

Problemy, które mogą wystąpić podczas spalania podsuszonego węgla w kotłach energetycznych:

- wzrost emisji NO<sub>x</sub>, związany ze wzrostem temperatury w komorze paleniskowej,
- pogorszenie parametrów pary spowodowane zaburzeniem procesu wymiany ciepła na powierzchniach ogrzewalnych kotła,
- zmniejszenie prędkości spalin w komorze spalania,
- wzrost temperatury spalin, a co za tym idzie zwiększenie straty wylotowej kotła,
- problemy z transportem i magazynowaniem podsuszonego węgla,
- zwiększona tendencja do pylenia oraz zwiększenie ryzyka wybuchu (konieczność wymiany lub dodatkowego zabezpieczenia instalacji podawania paliwa),
- wraz ze wzrostem temperatur w komorze spalania wzrasta ryzyko korozji wysokotemperaturowej,
- wzrost temperatur spalania niesie ze sobą dodatkowo ryzyko powstawania aglomeratów i obrastania powierzchni kotłów.

Aby wyeliminować pojawiające się problemy można przeprowadzić szereg zabiegów, które umożliwią spalanie lub współspalanie podsuszonego węgla w kotłach energetycznych. Jednym z nich jest modernizacja kotła w obrębie powierzchni ogrzewalnych. Zabieg ten jest wykorzystywany w technologii spalania tlenowego. Niesie on ze sobą ryzyko zarówno inwestycyjne oraz powoduje niekompatybilność układu w przypadku awarii instalacji suszenia i powrotu do spalania węgla surowego. Kolejnym zabiegiem może być zastosowanie recyrkulacji spalin. Metoda ta nie przewiduje ingerencji w kocioł i może okazać się najkorzystniejszą w przypadku awarii układu suszenia oraz konieczności powrotu do spalania węgla surowego.

## Literatura

- [1] Aeration type rotary drying machine, zgłoszenie patentowe EP 0 831 287 A.
- [2] Aziz M., Kansha Y., Kishimoto A., Kotani Y., Liu Y., Tsutsumi A.: Advanced energy saving in low rank coal drying based on self-heat recuperation technology. *Fuel Proc. Technol.*, 104 (2012) 16-22.
- [3] Livingston J.T.; Livingston A.D.: Rotary drum dryer. U.S. Patent 5555639, 1996.
- [4] Materiały firmy Allgeier-Group, [www.allgeier.de](http://www.allgeier.de) [dostęp: 8.05.2014].
- [5] Materiały firmy Great River Energy, DryFining facet sheet, "DryFining Fuel Enhancement Process", [www.greatriverenergy.com](http://www.greatriverenergy.com) [dostęp: 12.05. 2014].

- [6] Materiały firmy Kawasaki Heavy Industries, [www.khi.co.jp](http://www.khi.co.jp) [dostęp: 9.05. 2014].
- [7] Materiały firmy RWE Power, Brochure WTA Technology - A modern process for treating and drying lignite, <http://www.rwe.com/web/cms/en/234614/rwe-power-international/mining-services/integrated-solutions/wta-technology/> [dostęp: 12.05. 2014].
- [8] Mujumdar A.S. i inni: Handbook of Industrial Drying. CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2007.
- [9] Osman H.: Drying of low-rank coal (LRC) - A Review of recent patents and innovations, National University of Singapore, M3TC Report M3TC/TPR/2011/02.
- [10] Uberman R.: Górnictwo węgla brunatnego w Polsce – stan aktualny. Możliwości i ograniczenia rozwoju, Węgiel Brunatny, 2007.

*Przedstawione w artykule wyniki zostały uzyskane w badaniach współfinansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy SP/E/1/67484/10 - Strategiczny Program Badawczy - Zaawansowane technologie pozyskiwania energii: Opracowanie technologii dla wysokosprawnych „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO<sub>2</sub> ze spalin.*

## THE INFLUENCE OF DRIED LIGNITE ON THE PERFORMANCE OF A CFB BOILER

### Summary

This paper presents the issues that can be related to an influence of the use of the dried lignite on the performance of the CFB boiler. Polish lignite resources provide a stable and significant share of this fuel in the national energy sector. There is a constant and worldwide search for the solutions enabling the valorization of brown coals. New technologies are being developed, which bring together an investment risk as well as benefits of improved market competitiveness of low-rank (less metamorphosed) coals. In the article, several modern methods for brown coal drying are presented. Authors, beside well-known energetic coal preparation methods, have discussed a new and innovative method for simultaneous grinding and drying in an electromagnetic mill. The properties of the dried coal have been analyzed and its capability for being utilized in CFB boilers as well as the issue of modernization of the existing circulating fluidized bed installations for the purpose of burning the valorized coal fuel. Based on the literature review and own experience, an attempt was made on establishing the influence of the dried lignite on the performance of a CFB boiler.

**Keywords:** milling, drying, brown coal, electromagnetic mill, CFB boiler

DOI: 10.7862/rm.2014.43

*Otrzymano/received: 25.05.2014*

*Zaakceptowano/accepted: 28.06.2014*