

Krzysztof SŁAWIŃSKI¹

Krzysztof KNAŚ²

Michał GANDOR³

Wojciech NOWAK⁴

SUSZENIE WĘGLA BRUNATNEGO W ENERGETYCE – MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MŁYNA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

W niniejszym artykule omówiono możliwość poprawy procesu spalania węgla brunatnego w energetyce. Powszechność zasobów tego surowca sprawia, iż dzięki racjonalnemu jego zużyciu możliwe jest utrzymanie jego strategicznej pozycji w energetyce. W tym celu należy ciągle poszukiwać innowacyjnych rozwiązań technologicznych oraz wciąż rozwijać obecnie stosowane technologie suszenia węgla brunatnych. Autorzy niniejszego artykułu zaprezentowali koncepcję suszenia węgla brunatnego w instalacji z młynem elektromagnetycznym oraz przedstawili wady i zalety tej metody na tle wybranych, obecnie stosowanych technologii mielenia i suszenia. Materiałem wyjściowym do przeprowadzenia badań był odpowiednio przygotowany węgiel brunatny pochodzący z Kopalni Węgla Brunatnego Turów. Dla węgla przeprowadzono analizy oznaczeń wilgoci zarówno przed, jak i po procesie mielenia w młynie elektromagnetycznym, w celu określenia zdolności urządzenia do podsuszania paliw w trakcie ich rozdrabniania. Rozważono również możliwość brykietowania otrzymanego produktu w celu zwiększenia jego atrakcyjności na rynku paliw. Z przeprowadzonych badań i obserwacji wynika iż istnieje możliwość zastosowania młyna elektromagnetycznego do jednoczesnego mielenia i suszenia węgla brunatnego. Instalacja taka charakteryzuje się przede wszystkim małymi gabarytami, niską emisją hałasu oraz niskim zużyciem energii elektrycznej na potrzeby procesu. Z uwagi na brak części mechanicznych istnieje znikome ryzyko awaryjności w pracy ciągłej urządzenia.

Słowa kluczowe: młyn elektromagnetyczny, węgiel brunatny, suszenie, mielenie

¹ Autor do korespondencji: Krzysztof Sławiński, Politechnika Częstochowska, ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa, tel.: 34 3250933 kom.: 606101989, kslawinski@fluid.is.pcz.pl

² Krzysztof Knaś, Politechnika Częstochowska, kknas@fluid.is.pcz.pl

³ Michał Gandor, Politechnika Częstochowska, mgandor@fluid.is.pcz.pl

⁴ Wojciech Nowak, AGH Kraków, wnowak@agh.edu.pl

1. Wstęp

Dynamiczny rozwój przemysłu oraz gospodarki prowadzi do wzrostu konsumpcji energii elektrycznej, przez co powoduje zmniejszenie naturalnych zasobów węgla brunatnego. Pomimo znacznej zawartości wilgoci sięgającej w zależności od złoża nawet powyżej 50%, węgiel brunatny wciąż jest jednym z głównych paliw kopalnych znajdujących zastosowanie w energetyce. Aby racjonalnie wykorzystać zasoby oraz potencjał energetyczny węgla brunatnych, należy w pierwszej kolejności dążyć do redukcji balastu (wilgoci), który istotnie obniża jego wartość kaloryczną. Wynika to z faktu, iż energia wydzielona w egzotermicznej reakcji spalania, po części jest tracona na odparowanie zawartej w węglu wody. Wilgoć wpływa również niekorzystnie na pracę kotłów powodując problemy eksploatacyjne związane między innymi z obniżeniem efektywności pracy kotła a także zwiększeniem strumienia spalin co równoznaczne jest z utratą znacznej ilości energii i jej emisji do otoczenia. Poprawa własności energetycznych węgla brunatnych realizowana jest w pobliżu eksploatowanych złóż poprzez obróbki fizyczne, takie jak kruszenie, mielenie, czy też suszenie. Szybki rozwój technologii suszenia umożliwia między innymi zastosowanie innowacyjnych rozwiązań mających na celu redukcję wilgoci z węgla brunatnych.

2. Suszenie węgla brunatnego w energetyce

Obecnie znanymi i stosowanymi w energetyce technologiami suszenia węgla brunatnych są między innymi WTA i DryFining, które jako medium suszące wykorzystują parę technologiczną z upustów średnio i/lub niskoprężnych turbin lub też gorące powietrze. Zastosowanie tych technologii, oprócz wysokich kosztów inwestycyjnych wiąże się również z przeznaczeniem pod ich budowę znacznych terenów wokół elektrowni. Wielkogabarytowe instalacje osiągają zakładane wydajności rzędu kilkuset Mg suszonego węgla na godzinę, jednak ich rozmiary i koszty związane z inwestycją często decydują o możliwościach ich praktycznego zastosowania [2].

Obecnie stosowane technologie suszenia dobierane są do właściwości konkretnych złóż węgla brunatnego. Najczęstszym zjawiskiem które wykorzystuje się w procesie suszenia węgla brunatnych jest zjawisko konwekcji. W zjawisku tym ciepło dostarczane jest do cząstki paliwa za pomocą gazowego medium, którym może być gorące powietrze, spaliny lub para przegrzana. Charakterystyka suszenia w ujęciu kinetycznym zakłada zmiany wilgoci i temperatury w czasie, a dzięki znanym ich wartościom można wyznaczyć między innymi ilość zużytej energii w procesie a także ubytek wilgoci z węgla. Zmiana zawartości wilgoci w suszonym węglu spowodowana jest głównie ruchem masy i ciepła w jego wnętrzu oraz ich wymianą pomiędzy powierzchnią materiału

a czynnikiem wykorzystywanym do suszenia. Redukcja wilgoci realizowana jest w trzech etapach [4,5]:

1. dyfuzja wody poprzez cząstki węgla na jego powierzchnie (etap ten w głównej mierze decyduje o szybkości procesu suszenia i ma on wpływ na zmianę rozmiarów ziarna i porowatość jego struktury),
2. odparowanie wody na powierzchnię,
3. ostateczne odprowadzenie pary do otoczenia gazowego z powierzchni węgla.

Należy również pamiętać, iż w przypadku wysoko reaktywnych węgli brunatnych, znaczna zawartość tlenu w medium suszącym jest czynnikiem niekorzystnym, przyczyniającym się do jego zapłonu, co z kolei prowadzić może do wybuchu i stwarzać zarówno zagrożenie dla ludzkiego życia jak i powodować uszkodzenia urządzeń [1]. Suszenie węgla o niskiej zawartości wilgoci może być realizowane w trakcie ich mielenia (np. w młynach bębnowo-kulowych). Często jednak ciepło pochodzące z mielenia jest niewystarczające do jednoczesnego podsuszenia mielonego węgla, dlatego rozdziela się te procesy, przez co są one bardzo energochłonne. Racjonalne zatem wydaje się wykorzystanie ciepła odpadowego powstałego podczas produkcji energii oraz poszukiwanie nowych, innowacyjnych metod, które łączyłyby mielenie i suszenie w jeden mało skomplikowany proces. Rozwiązaniem stanowiącym doskonałą alternatywę do obecnie wykorzystywanych metod mielenia, kruszenia i suszenia może być instalacja do jednoczesnego mielenia i suszenia węgla brunatnych wykorzystująca technologię młyna elektromagnetycznego, którego budowę i zasadę działania opisano w niniejszym artykule.

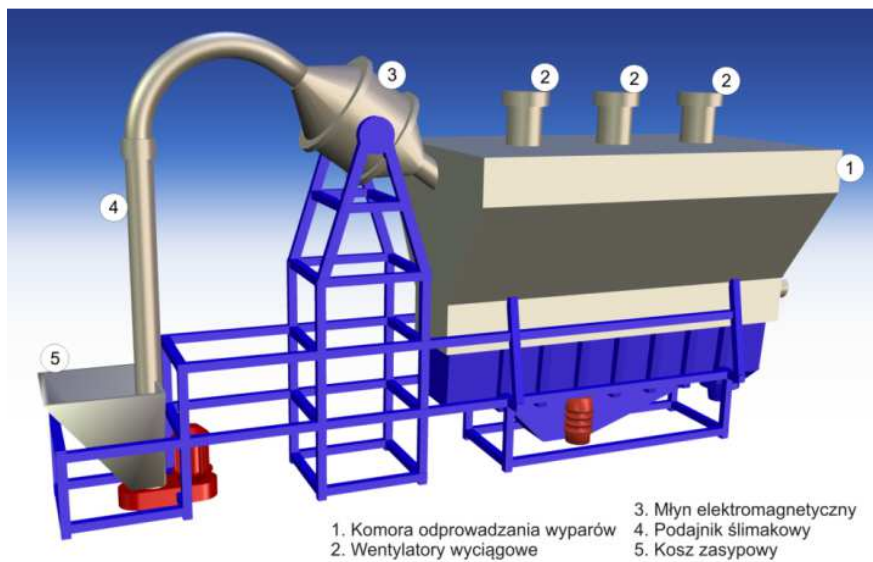
3. Młyn elektromagnetyczny

Młyn elektromagnetyczny składa się z wzbudnika wirującego pola oraz nieferromagnetycznej komory roboczej wewnątrz której pod wpływem wirującego pola magnetycznego poruszają się drobne ferromagnetyczne elementy mielące zwane mielnikami. Głównym elementem młyna elektromagnetycznego jest wzbudnik wirującego pola elektromagnetycznego z biegunami jawnymi. Przepływający przez uzwojenia biegunów prąd elektryczny odpowiedzialny jest za wytworzenie w obszarze roboczym komory mielenia odpowiedniej wartości indukcji pola. Umieszczone wewnątrz komory roboczej mielniki poruszają się zgodnie z kierunkiem wirującego pola elektromagnetycznego [3]. Zarówno kształt jak i rozmiary elementów mielących są odpowiednio dobierane w zależności od rodzaju materiału poddawanego różnego rodzaju obróbce (mieleniu, suszeniu, aktywacji). Poniżej na rysunku nr 1 przedstawiono fizyczny model wzbudnika wirującego pola elektromagnetycznego.



Rys. 1. Wzbudnik wirującego pola magnetycznego

Fig. 1. Rotating magnetic field inductor



Rys. 2. Schemat instalacji mielenia i suszenia węgla brunatnego z wykorzystaniem młyna elektromagnetycznego

Fig. 2. Schematic of installation for drying and grinding brown coal with the application of electromagnetic mill.

Po przeprowadzeniu testów elektrycznych, wzбудnik ten zabudowano w specjalne ekranowane obudowy i wyposażono w wentylatory chłodzące uzwojenia, a całość umieszczono na specjalnie zaprojektowanym umożliwiającym regulację kąta nachylenia podeście. Dzięki temu możliwe było przeprowadzenie badań oraz opracowanie koncepcyjnej instalacji do jednoczesnego mielenia i suszenia węgla brunatnych, której schemat przedstawiono na rysunku nr 2.

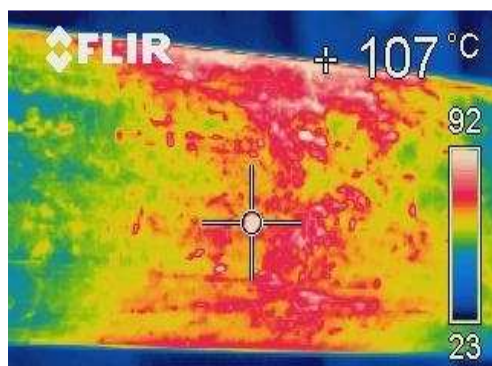
Koncepcyjna instalacja składa się z trzech modułów:

1. ślimakowy podajnik węgla,
2. młyn elektromagnetyczny,
3. komora odbioru produktu i odprowadzania wyparów

Poprzez podajnik ślimakowy, węgiel transportowany jest na wlot komory roboczej młyna elektromagnetycznego, skąd grawitacyjnie przechodzi przez obszar roboczy w którym jest mielony i podsuszany. Następnie węgiel trafia do komory odbioru produktu i odprowadzania wyparów. Komora ta wyposażona jest w przenośnik wibracyjny oraz wentylatory wyciągowe. Węgiel po wyjściu z młyna transportowany jest przenośnikiem wibracyjnym, a wentylatory wyciągowe odciągają uwolnioną w procesie wilgoć. Rozwiązanie takie umożliwia separację wilgoci od zmielonego i wysoko reaktywnego węgla, a regulacja elektrowibratorów odpowiednio wydłuża lub przyspiesza czas pobytu węgla w komorze odbioru produktu i odprowadzania wyparów.

4. Suszenie w młynie elektromagnetycznym

Ruch mielników oraz ich zderzenia z węglem powodują jego rozdrobnienie, natomiast zderzenia mielników ze sobą oraz z wewnętrzną ścianą komory roboczej, a także występowanie prądów wirowych, powoduje znaczny wzrost temperatury wewnątrz przestrzeni roboczej, co z praktycznego punktu widzenia jest efektem pozytywnie wpływającym na jednoczesny proces suszenia i mielenia węgla brunatnego. Poniższe rysunki przedstawiają termogramy wykonane za pomocą kamery termowizyjnej dla powierzchni komory roboczej oraz mielników po wyjęciu ich z komory roboczej.



Rys. 3. Termogram komory roboczej z pracującymi mielnikami

Fig. 3. Thermogram of the chamber with working grinding media.



Rys. 4. Termogram mielników po wyjściu z komory roboczej

Fig. 4. Thermogram of grinding media after leaving the chamber.

Do przeprowadzenia badań nad możliwością suszenia węgla brunatnego w młynie elektromagnetycznym wykorzystano węgiel z Kopalni Węgla Brunatnego Turów. Ze względu na średnicę komory roboczej młyna wynoszącą 100 mm, węgiel ten poddano obróbce wstępnej w kruszarce a następnie przesiano i odseparowano frakcję uziarnienia z zakresu 0 – 100 mm. Zawartość wilgoci w nadawie (węglu przed suszeniem w młynie elektromagnetycznym) zbadano metodą suszarkową zgodnie z normą PN-80 G-04511 i wynosiła ona 28% masy węgla. Tak niska zawartość wilgoci w węglu spowodowana była głównie czynnikami zewnętrznymi takimi jak transport i przechowywanie. Następnie węgiel ten podano do młyna elektromagnetycznego celem zbadania możliwości jego podsuszenia. Odpowiednie ustawienie kąta nachylenia młyna spowodowało grawitacyjny przepływ węgla przez komorę roboczą. Węgiel po opuszczeniu komory roboczej młyna elektromagnetycznego zapakowano szczelnie a następnie poddano go oznaczeniom zawartości wilgoci tą samą metodą co węgiel przed suszeniem. Zawartość wilgoci w węglu poddanym suszeniu w młynie elektromagnetycznym wynosiła 21% masy węgla, zatem redukcja wilgoci wyniosła 7%.

5. Wnioski

Z przeprowadzonych badań wynika iż możliwe jest połączenie mielenia i suszenia węgla brunatnych w jeden mało skomplikowany proces, wykorzystując technologię młyna elektromagnetycznego. Podczas przeprowadzania badań suszenia węgla w młynie elektromagnetycznym zaobserwowano iż temperatura węgla po wyjściu z komory roboczej młyna wzrosła, a próbki węgla stopniowo uwalniały wilgoć do otoczenia, czego przykładem była para wodna osadzana na ściankach szczelnych pojemników przeznaczonych do poboru próbek. Obserwacje te uzasadniają budowę specjalnej komory odbioru produktu i odprowadzania wilgoci jako istotnego elementu instalacji do mielenia i suszenia węgla brunatnych z użyciem młyna elektromagnetycznego. Niezwykle ważnym jest aby zmielony i podsuszony wysoko reaktywny węgiel brunatny oddał uwolnioną w procesie wilgoć. Ważne jest również zabezpieczenie węgla poddanego

obróbce przed absorpcją wilgoci z otoczenia. Rozwiązać to można stosując przenośnik wibracyjny oraz wentylatory wyciągowe w specjalnej hermetycznej komorze, której koncepcję opisano powyżej.

Możliwe jest również zastosowanie instalacji suszenia i mielenia węgla brunatnych w młynie elektromagnetycznym na skalę przemysłową. Wymaga to budowy wzbudników o dużych średnicach komór roboczych. Zastosować również można rozwiązanie polegające na budowie kilku mniejszych młynów, co wydaje się również zasadne w przypadku jakiegokolwiek awarii któregoś z urządzeń. Brak elementów mechanicznych powodować może znacznie niższą awaryjność w porównaniu do instalacji obecnie stosowanych, a niskie zużycie energii elektrycznej na potrzeby procesu (ok 4 kWh/Mg suszonego węgla) oraz niski poziom hałasu, powoduje iż młyn elektromagnetyczny stanowić może doskonałą alternatywę do instalacji przemysłowych obecnie stosowanych.

Instalacja mielenia i suszenia węgla przy użyciu młyna elektromagnetycznego może również być zaopatrzona w brykietarkę przemysłową. Odpowiedni dobór parametrów procesowych sprawi iż poddany obróbce węgiel można w ostatnim etapie procesu doprowadzić do postaci brykietu, zwiększając jego atrakcyjność na rynku paliw.

Literatura

- [1] Uberman R., Kaczorowski J., Żuk S.: Górnictwo węgla brunatnego w Polsce - stan aktualny. Możliwości i ograniczenia rozwoju, Węgiel Brunatny, 4/61, 2007.
- [2] Pawlak-Kruczek H., Lichota J., Jędrusyna A., Tomczuk K., Ostrycharczyk M.: Zapotrzebowanie na energię do układu suszenia węgla brunatnego. Rynek Energii, nr 1(92), 2011.
- [3] Sosiński R., Szczypiorowski A., Szymanek P., Nowak W.: Aspekty wykorzystania młyna elektromagnetycznego w rozwoju węglowych technologii energetycznych, 24-Międzynarodowa Konf. „Węgiel”, Pittsburg 2007.
- [4] Kruczek H.: Wybrane zagadnienia spalania młodych paliw kopalnych o małym stopniu metamorfizmu, Prace Naukowe Instytutu Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów Politechniki Wrocławskiej, Seria: Monografie, OW Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [5] Strumiło Cz.: Kinetyka procesu suszenia, WNT, Warszawa 1983.

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 CO₂ ze spalin.

BROWN COAL DRYING IN THE POWER INDUSTRY – THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF AN ELECTROMAGNETIC MILL

S u m m a r y

This article discusses the possibility of improving the combustion of brown coal in the power industry. With the rational utilization, the abundance of this resource makes it possible to maintain its strategic role in the power industry. For this purpose, it is necessary to search innovative technical solutions and to develop technologies currently used in brown coal drying. The authors of this article have presented the concept of drying lignite in an electromagnetic mill installation and showed the advantages and disadvantages of this method compared to other currently used. The material used for testing was properly prepared samples of lignite from Turow Lignite Mine. Moisture amount analysis was performed both before and after the milling process in the electromagnetic mill, in order to determine its ability to dry the fuel during its comminution. The possibility of briquetting of the resulting product in order to increase its attractiveness in the fuel market was also considered. The studies and observations indicate that there is a possibility of simultaneous grinding and drying of coal in the electromagnetic mill. This installation is mainly characterized by small size, low noise emissions and low consumption of electricity for the process. Due to the lack of mechanical parts, there is a negligible risk of failure in the continuous operation of the installation.

Keywords: electromagnetic mill, brown coal, drying, milling

DOI: 10.7862/rm.2014.50

Otrzymano/received: 25.05.2014

Zaakceptowano/accepted: 28.06.2014