

METODY SUSZENIA WĘGLA BRUNATNEGO

BROWN COAL DRYING TECHNOLOGIES

**Marcin Michalski, Michał Ostrycharczyk - Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów,
Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Politechnika Wroclawska**

Artykuł przedstawia różne rodzaje technologii suszenia węgla brunatnego. Wymienia urządzenia szeroko stosowane w energetyce do wstępnego suszenia paliwa. Wskazuje na możliwość zastosowania odrębnych źródeł zasilania suszarek z procesu produkcji energii elektrycznej: gorące powietrze, spaliny, para przegrzana. Wskazuje zaletę suszenia węgla jako jeden z procesów podnoszących sprawność bloku energetycznego. Przedstawia innowacyjne metody odprowadzenia wilgoci z węgla przed procesem spalania.

Variety of brown coal drying technologies are presented in this work. Devices widely used in power stations for pre-drying a raw fuel are described in the paper. Different energy source is showed to drive a drying process: hot air, flue gas, superheated steam. Drying fuel is presented as one of the possibility for increase the net efficiency in the power station. Also the paper is focused on innovative brown coal dewatering technologies

Wstęp

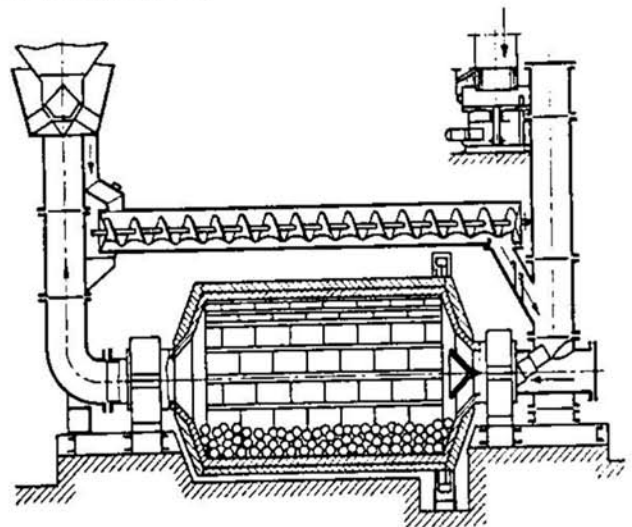
Dążąc do poprawienia sprawności wytwarzania energii elektrycznej należy szukać wielu rozwiązań obniżenia energochłonności procesów cząstkowych. Wraz z podnoszeniem parametrów pracy siłowni, zwiększeniem sprawności mechanicznej urządzeń, obniżeniem temperatury spalin i obniżeniem temperatury w skraplaczu należy skupić się na sposobach przygotowania paliwa. Jednym z wielu idei jest obniżenie zawartości wilgoci węgla brunatnego dla kotłów pyłowych i fluidalnych. Przy niskich kosztach paliwa i zoptymalizowanym suszeniu można uzyskać wyższe sprawności netto dla wymienionych powyżej jednostek. Inżynierowie proponują różnorakie sposoby odprowadzenia wilgoci z paliwa, co pozwala wybrać optymalną technologię dla nowo powstałych lub już istniejących bloków. Autorzy przedstawiają dotychczasowe urządzenia do wstępnego suszenia węgla brunatnego i nowatorskie technologie do zastosowań w przemyśle energetycznym. Przedstawione urządzenia wykorzystują do suszenia węgla takie czynniki jak powietrze atmosferyczne, spaliny, para przegrzana, czy dimetyloeter.

Przemysłowe suszenie węgla brunatnego

Jeżeli wilgość zawarta w węglu brunatnym nie przekracza 25% to suszenie następuje w młynach podczas procesu przygotowania paliwa (mielenie). Podgrzane do temperatury ok. 300°C powietrze pierwotne wprowadzane jest do młynów za pomocą wentylatorów. Pełni funkcję medium suszącego i transportową. Kiedy węgiel jest rozdrabniany, powstają nowe ziarna węgla o wilgotnych powierzchniach, a obmywanie ich gorącym czynnikiem pozwala na skuteczne odparowanie wody. Dzięki temu procesowi ziarna nie zlepiają się, co ułatwia dalszy przemiał i transport. Suszarki młynowe mogą mieć różne konstrukcje. Do najbardziej rozpowszechnionych zalicza się bębnowe, bijakowe i wentylatorowe. Młyn bębnowy działa na zasadzie obrotowego bębna, w którym znajdują się kule z utwardzanej stali magnetyzowej lub węglowej (rys.1). Podczas obrotu, kule odrywają się od ściany i spadając na dno bębna rozgniatają surowy węgiel. Podczas uderzenia o dno bębna

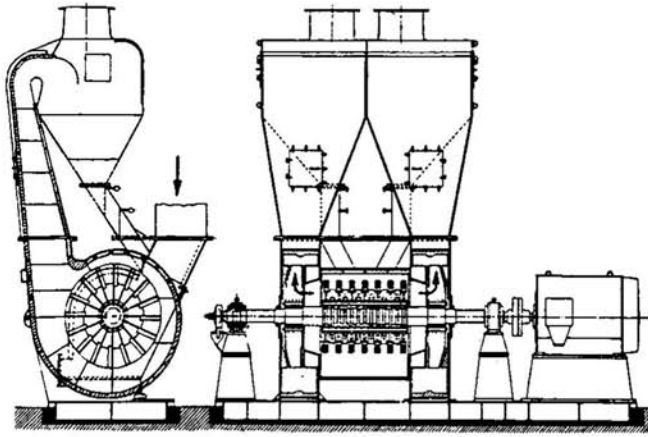
kule oddają ciepło miażdżąc i krusząc węgiel. Przy oderwaniu się cząstek węgla od powierzchni ściany, są one omywane gorącym powietrzem. Dlatego wymiana ciepła zachodzi przez konwekcję i przewodzenie jednocześnie. W młynie bijakowym proces mielenia i transportu odbywa się za pomocą obrotowych bijaków (rys.2). Węgiel spada z zasobnika na bijaki, gdzie jest rozdrabniany. Powietrze podawane do komory młyna podsusza cząstki i wraz z obracającym się rotorem kieruje w stronę wylotu. Temperatura źródła ciepła musi być wysoka ze względu na krótki czas przebywania cząstek w młynie. Dla wilgotności 15% Temperatura czynnika gorącego nie przekracza 400°C, przy 25% udziale wilgoci dopuszcza się 1000°C. Dla węgla o wyższym udziale wilgoci nie stosuje się tego typu młynów.

Młyn wentylatorowy działa na podobnej zasadzie jak bijakowy. Podawane paliwo rozdrabniane jest poprzez uderzenie w łopaty wentylatora. Wewnętrzny wirnik pokryty jest elementami nieścieralnymi. Następnie węgiel, w postaci drobnych frakcji, transportuje się do palników za pomocą pyłoprzewodów. Główną zaletą stosowania tego typu urządzenia jest duża wydajność.



Rys. 1. Młyn bębnowy – kulowy [1]

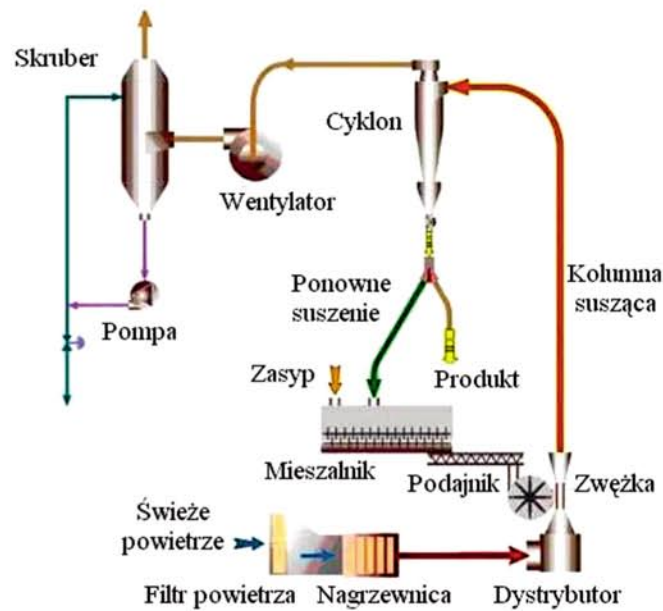
Fig. 1. Ball mill [1]



Rys. 2. Młyn bijakowy szybkobieżny [2]
Fig. 2. Beater mill [2]

Suszenie pneumatyczne

W suszarkach pneumatycznych wykorzystywane jest głównie zjawisko konwekcji podczas wymiany ciepła. Konstrukcja suszarki bywa różna ze względu na końcową wydajność czy stopień zawilgocenia węgla. Konwencjonalne suszarki pneumatyczne jako komorę suszącą wykorzystują pionową rurę, gdzie powietrze lub spaliny będące gorącym medium przepływają współprądowo z węglem, który jest unoszony za pomocą strumienia gazu. Przy przemieszczaniu się węgla następuje podgrzanie i suszenie cząstek węgla. Sterowanie procesem odbywa się za pomocą regulacji prędkości medium. Drobnio zmielony węgiel o ziarnie $d = 4 \text{ mm}$ potrzebuje, przy temperaturze 600°C , aby prędkość medium wynosiła 17 m/s [3]. Tego typu konstrukcje charakteryzują się wysoką wartością spadku ciśnienia. Rozwój technologii przede wszystkim polega na optymalnym doborze parametrów i zmniejszeniu energochłonności procesu. Pod względem budowy stosuje się przykładowo przewężenia w prześwicie komory, które powodują zwiększenie dynamiki odparowania wody (suszenie pulsacyjne). Przykładowy schemat suszarki tego typu przedstawia rysunek 3.

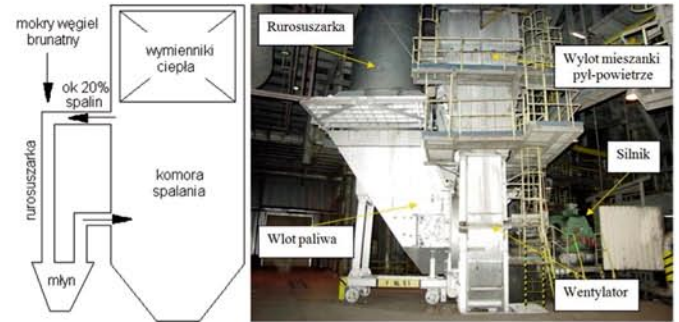


Rys. 3. Schemat suszarki pneumatycznej [4]
Fig. 3. Pneumatic dryer diagram [4]

Suszenie pneumatyczne znajduje zastosowanie w układach kombinowanych ze zgazowaniem paliwa. Technologia IDGCC (*Integrated Drying Gasification Combined Cycle*) bazuje na produkcji syngazu, który ochładza się podczas suszenia węgla przed generatorem. Schłodzony gaz po wykorzystaniu w procesie suszenia jest oczyszczany i spalany w turbinach gazowych. Natomiast gorące spaliny z turbin gazowych zasilają turbiny parowe. Proces ten wpływa korzystnie na redukcję kosztów wytwarzanej energii elektrycznej (ok. 30% w porównaniu ze spalaniem mokrego węgla) i zużycia wody chłodzącej o ok. 50% [5].

Technologia suszenia w rurosuszarkach

Przy przekroczeniu 25% udziału wilgoci w paliwie, gdzie głównie jest to wilgoć przemijająca, suszenie w młynach jest niewystarczające. Stosowane są wtedy rurosuszarki odpowiadające metodzie suszenia pneumatycznego. W opadającej rurze, do której podawany jest węgiel brunatny i gorące spaliny, mieszają się współprądowo dwa strumienie (rys.4). Węgiel osusza się wstępnie z zawilgocenia sięgającego 50%, a następnie podawany jest do młyna. Czynnikiem suszącym są spaliny z górnej części komory paleniskowej (metoda WT-S) lub para wysokoprężna (metoda WT-PW). Zastosowanie wysokiej temperatury w procesie (ok. 900°C) zwiększa wydajność usunięcia wilgoci.



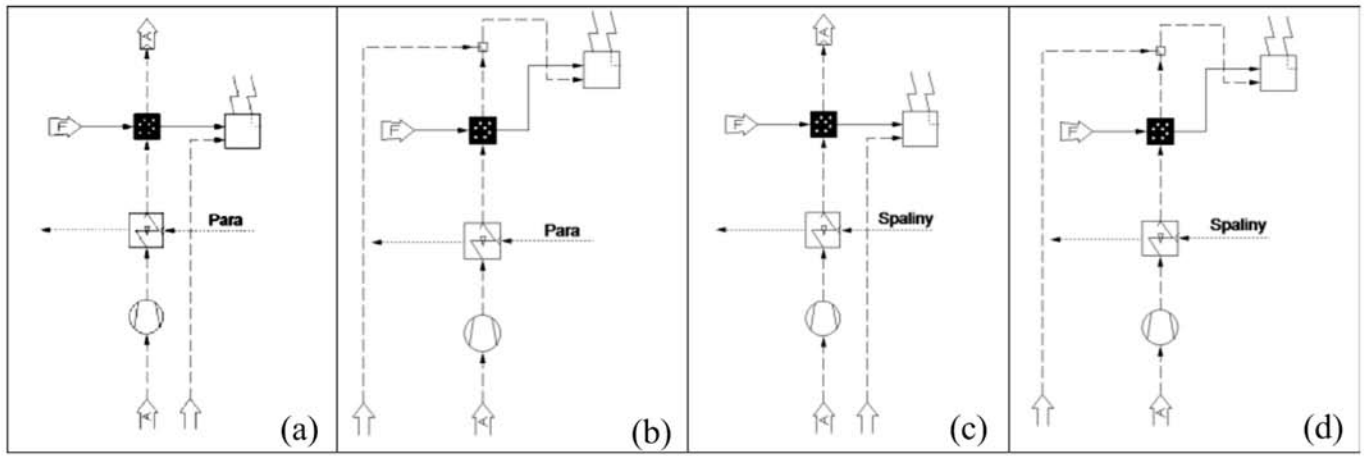
Rys. 4. Metoda suszenia węgla brunatnego w układzie rurosuszarka (WT-S) i młyn wentylatorowy [4]
Fig. 4. Pre-drying system (high temperature flue gas) and beater mill [4]

Rysunek 5 przedstawia typowe rozwiązania stosowane przy wstępnym suszeniu węgla brunatnego. Można rozróżnić dwa warianty wyboru źródła energii do suszenia węgla: para upustowa (a, b) lub gorące spaliny (c,d). Każdy z nich może być technologicznie zaprojektowany z odprowadzeniem gazów do atmosfery po procesie (a,c), lub dodaniem do kanałów zasilających kocioł (b,d).

Wszystkie wymienione metody suszenia muszą być sterowane automatycznie. Jeżeli węgiel zostanie przesuszony może dojść do jego częściowego zgazowania. Wzrasta wtedy niebezpieczeństwo wybuchu. Natomiast, jeżeli nastąpi niedosuszenie wówczas dochodzi do zmniejszenia wydajności młyna. Należy także pamiętać, że temperatura mieszanki pyłowo-powietrznej za młynem nie powinna przekraczać $80\text{-}140^\circ\text{C}$ ze względu na możliwość samozapłonu pyłu węglowego [6,7].

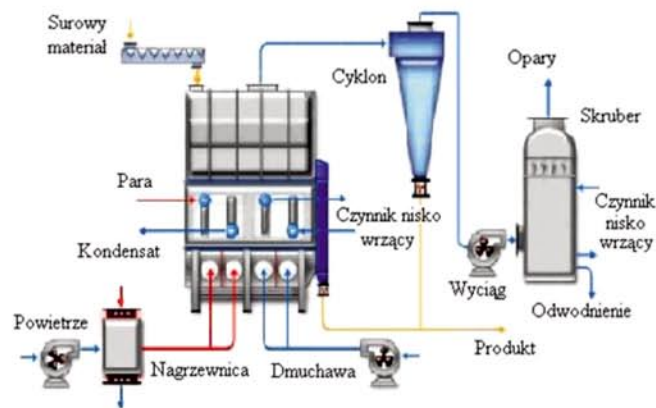
Fluidalne suszarki węgla brunatnego

Suszenie fluidyzacyjne jest szeroko rozpowszechnione w przemyśle, i znane jako proces bardzo intensywnej wymiany ciepła. Konstrukcje suszarek tego typu są nieznacznie modyfi-



Rys. 5. Schematy instalacji wykorzystywanych w przemyśle do procesu suszenia węgla brunatnego
Fig. 5. Brown coal drying systems used in industry

kwane ze względu na sposób podawania materiału, czy rodzaj medium suszącego. Zazwyczaj, oprócz zjawiska fluidyzacji spowodowanego przez wprowadzenie czynnika do komory poprzez dysze, następują procesy wymiany ciepła z zainstalowanym w złożu wymiennikiem. Połączenie procesu z suszarki fluidyzacyjnej i pośredniego procesu z suszarki kontaktowej daje efektywne suszenie. Suszarka zbudowana jest z komory fluidyzacyjnej, przenośnika śrubowego, cyklonu separacyjnego, nagrzewnicy powietrza, i wykraplacza (rys.6). Podgrzany uprzednio gaz przechodzi do warstwy materiału z odpowiednio kontrolowanym profilem prędkości, aby wywołać zjawisko fluidyzacji. Gorące medium jest użyte głównie do zapewnienia fluidyzacji, dodatkowo wymiennik wielokrotnie wymianę ciepła, co poprawia sprawność i wydajność suszenia. Stosując wiele wymienników z różnymi płynami można kontrolować wszystkie parametry produktu końcowego.

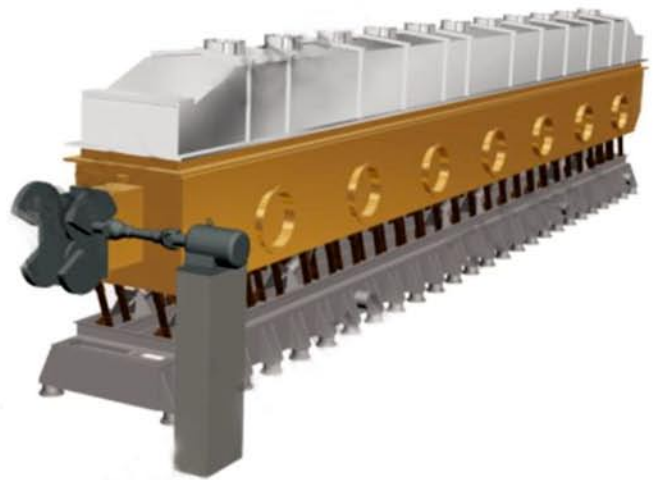


Rys. 6. Suszarka fluidalna z wymiennikiem ciepła w złożu [4]
Fig. 6. Fluidized bed dryer with heat exchanger [4]

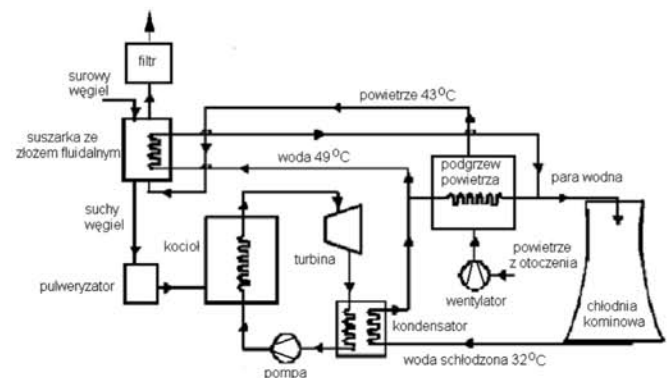
Fluidyzację wykorzystuje się także w innego typu konstrukcjach. Zamiast podawania węgla bezpośrednio do komory, stosowane są specjalne młyny i rozdrabniacze, a zmielony węgiel doprowadzany jest do komory za pomocą dysz rozpylających. Materiał opada na złożo fluidalne jednocześnie chłodząc opary z suszarki. Ta technologia zwiększa sprawność termodynamiczną urządzenia. Innym przykładem może być suszarka wibracyjno-fluidyzująca. Urządzenie jest połączeniem suszarki fluidalnej z instalacją wibrującą. Model suszarki przedstawia rysunek 7. Silnik elektryczny napędza przekładnie, które wzbudzają dno komory synchronicznie. Cząstki suszone są wyrzucane pod działaniem siły wzbudzenia. Jednocześnie, gorące powietrze podawane przez dno, przenika przez warstwę suszonego ma-

teriału mając pełny kontakt z powietrzem.

Suszenie fluidalne powietrzem z powrotem stosowane jest w elektrowni Coal Creek Station (USA). Instalacja próbna została uruchomiona w 2003 roku, a ponieważ przeprowadzone testy przebiegły pomyślnie, w 2006 roku firma Great River Energy uruchomiła kolejną pilotażową instalację, tym razem o przepustowości 112 Mg/h i redukcji wilgoci z 38,0% do 29,5%. Technologia działa na zasadzie złoża fluidalnego wykorzystując niskotemperaturowe ciepło odpadowe (rys.8) zgromadzone w wodzie chłodzącej o temperaturze ok. 50°C.



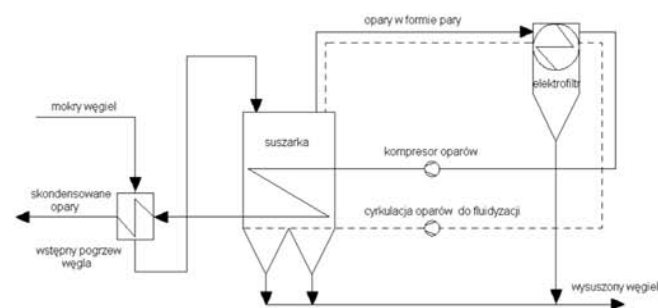
Rys. 7. Model suszarki wibracyjno fluidyzującej [4]
Fig. 7. Model of vibrofluidized bed dryer [4]



Rys. 8. Schemat ideowy bloku energetycznego w Coal Creek Station [8]
Fig. 8. Coal Creek Station power plant block diagram [8]

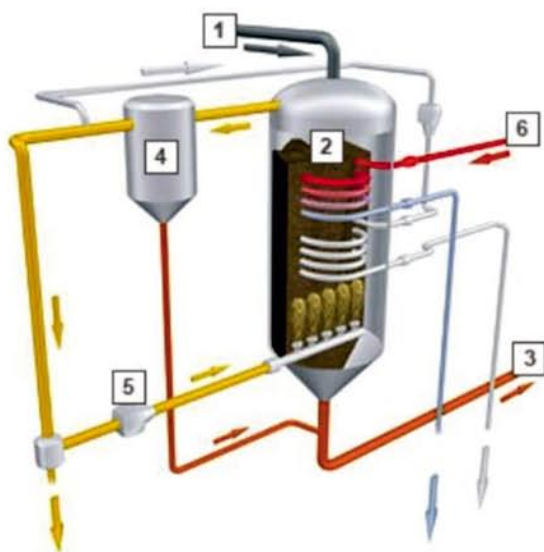
Suszenie parą w instalacjach WTA i DDWT

Koncern RWE Power AG zaproponował technikę suszenia oparami nazwaną WTA (*Wirbelschicht Trocknung Anlage*). Z powodzeniem stosowaną w elektrowni Niederaussem. Metoda charakteryzuje się odparowaniem wody z węgla brunatnego przy temperaturze 110°C pod niewielkim nadciśnieniem. Do suszenia stosuje się złożo fluidyzujące z zanurzonym w warstwie węgla rurowym wymiennikiem ciepła wypełnionym oparami z suszarki. Czas przebywania węgla w komorze wynosi od 60 do 90 minut. Schemat instalacji przedstawia rysunek 9. Wychodzące opary porywają suszony pył węglowy, który jest zatrzymywany przez filtr. Pył ten jest podawany do kotła. Wentylator wтяca część oparów z powrotem do komory suszenia. Obecnie instalacja WTA o przepustowości 210 Mg/h surowego węgla brunatnego pracuje przy bloku 1000 MW. Produktem końcowym jest podsuszony węgiel w ilości 110 Mg/h.



Rys. 9. Schemat instalacji WTA
Fig. 9. WTA drying technology diagram.

Innym pomysłem zaproponowanym przez ośrodek naukowy BTU Cottbus i opartym na suszarce fluidalnej jest technologia DDWT (*Druckaufgeladenen Dampf Wirbelschicht Trocknung*), gdzie para przegrzana pracuje jako czynnik suszący węgiel brunatny. Obiekt w skali pilotażowej pracuje w obrębie parku technologicznego Schwarze Pumpe. Urządzenie ma na celu przygotować paliwo do instalacji badającej technologii spalania tlenowego, dlatego wymagana jest niska za-



Rys. 10. Schemat suszarki DDWT [9]. (1-zasyp węgla, 2-suszarka, 3-odbiór węgla suchego, 4- filtr oparów, 5-wentylator, 6-zasilanie para przegrzaną)
Fig. 10. DDWT dryer model [9]. (1-coal input, 2-dryer, 3-coal output, 4-filter, 5-fan, 6-superheated steam input)

wartość wilgoci w paliwie. Metoda ta pozwala otrzymać zadowalające wartości wilgoci w wysuszonym węglu na poziomie 19% (z 57%). Opary z suszarki służą do podtrzymania fluidyzacji złoża. Rysunek 10 przedstawia schemat suszarki DDWT.

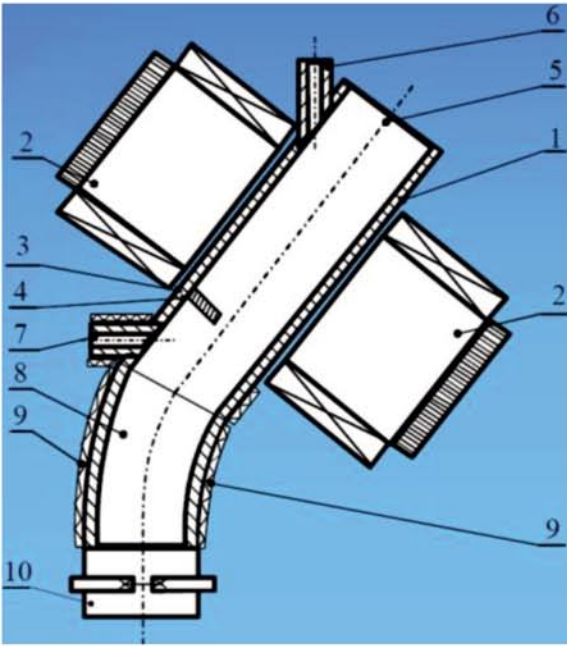
Mechaniczno-termiczne odprowadzanie wody z węgla

Procesy wymagające mechanicznego usuwania wody są stale rozwijane i optymalizowane. Jednym z nich jest technologia pod nazwą Coldry (rys.11) pozwalająca usunąć z węgla brunatnego wodę poprzez wyciskanie i odparowanie, a następnie przez zastosowaną suszarkę. Na skutek ścierania się cząstek węgla następuje uwalnianie wilgoci z niedostępnych porów, a wyżymanie pozwala na przeniesienie znacznej jej części na zewnętrzne ścianki cząstek. Węgiel w postaci peletów trafia do suszarki. Niewątpliwą zaletą procesu jest znaczny odzysk wody z węgla (ok. 95%) oraz wzrost kaloryczności węgla (z 8,4 MJ/kg do 24 MJ/kg), a zawartość wilgoci pozwala na opłacalne transportowanie produktu [5].



Rys. 11. Schemat procesu Coldry [5]
Fig. 11. Diagram of Coldry process [5]

Inną metodą odwadniania mechaniczno-termicznego jest młyn elektromagnetyczny (rys.12). Węgiel podgrzewa się za pomocą niskoparametrowej pary wodnej (150-200°C, 5-16 bar), a następnie ściera w hydraulicznej komorze (ok. 60 bar) w celu wyciśnięcia wody. Proces usuwa do ok. 75% wody z węgla brunatnego, która jest zanieczyszczona. Główną zaletą młyna elektromagnetycznego jest bardzo małe zużycie energii elektrycznej (2-4 kWh na tonę węgla), dzięki zastosowaniu mielniczków ferromagnetycznych. Ich mała masa pozwala podążać za zmianami sił pola magnetycznego i dzięki temu uzyskują dużą energię kinetyczną. Czas suszenia węgla to około 30 sekund. Dla uzyskania wysokiej wydajności proponowane są układy wielosekcyjne, a mniejsze uziarnienie można otrzymać za pomocą instalacji szeregowej [5].



Rys. 12. Schemat młyna elektromagnetycznego (MTE) [5]
(1-komora robocza, 2-bieguny wzбудnika, 3-nie ferromagnetyczna przysłona, 4-otwory oparów, 5-zasyp, 6-wlot czynnika dosuszającego, 7-odbiór oparów, 8-segment odbiorczy, 9-izolacja termiczna, 10-odbiór produktu)

Fig. 12. Electromagnetic mill basic scheme (MTE) [5]
(1-drying chamber, 2-magnetic pole, 3-non ferritics housing, 4,7-vapour outlet, 5-coal input, 6-hot medium inlet, 8-coal output, 9-insulation, 10-ready product)

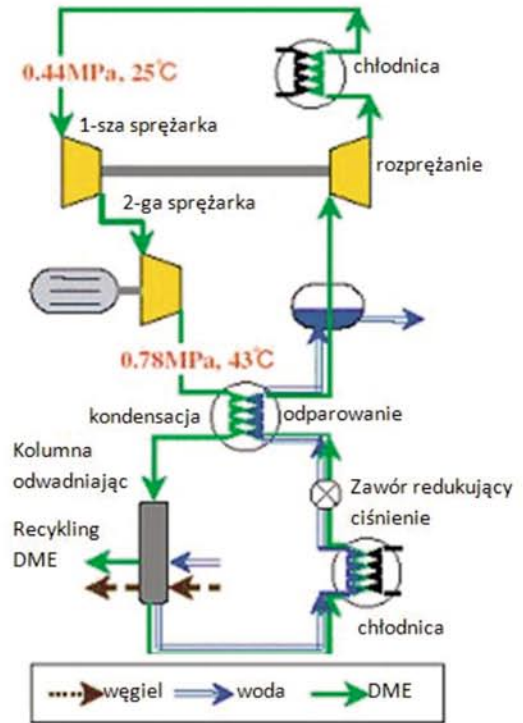
Nowoczesne przemysłowe procesy osuszania węgla brunatnego

Innowacyjnym sposobem suszenia węgla jest proces podciśnieniowy. Wraz ze zmniejszeniem ciśnienia maleje temperatura wrzenia wody. W ten sposób można wykorzystać znikome wartości ciepła do odparowywania wilgoci zawartej w węglu. Jednakże głównym problemem jest zapewnienie ciągłości przepływu węgla przez taką instalację. Rozwiązaniem może być zasobnik, do którego jest transportowany wysuszony węgiel, połączony z podajnikami węgla. Suszenie przebiega wtedy porcjami. Suszarka podciśnieniowa może być omywana strumieniem gorących spalin. Podnosi to szybkość odparowania wody [5]. W Japonii natomiast, prowadzone są badania nad chemiczną ekstrakcją wody. Według badaczy nawet w pokojowej temperaturze można zmniejszyć

Literatura

- [1] Świętochowski M., prezentacja z wykładu, materiały własne, 2009
- [2] Kitto J.B., Stultz S.C., i inni, *Steam its generation and use*, Edition 41, The Babcock & Wilcom Company, Barberton, 2005
- [3] Mujumdar A.S. i inni, *Handbook of industrial drying*, CRC Press Taylor & Francis Group, New York, 2007
- [4] Materiały firmy Tianli, strona internetowa <http://en.kytl.com/>, 2009
- [5] Pawlak-Kruczek H., materiały własne, 2010
- [6] Kruczek S., *Kotły – konstrukcje i obliczenie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001
- [7] Pawlak-Kruczek H., *Wybrane zagadnienia spalania młodych węgli kopalnych o małym stopniu metamorfizmu*, Praca Naukowa ITCIMP PWr, Wrocław, 2003
- [8] Levy E., raport: *Use of Coal Drying to reduce water consumed in pulverized coal power plants*, Energy Research Centre, Lehigh University, Bethlehem, 2005
- [9] Lechner S., Höhne O., Krautz H. J., *Druckaufgeladene Dampfwirbelschicht-Trocknung (DDWT) von Braunkohlen*, artykuł uniwersytetu BTU, Cottbus, 2008
- [10] Hideki Kanda, *Dewatering Process for Coal using Liquid DME as Extracting Solvent*, Tokyo, 2009

Artykuł recenzował dr inż. Jerzy Alenowicz
Rękopis otrzymano 16.03.2011 r. *2287



Rys. 13. Schemat chemiczno-ciepłej instalacji suszenia węgla [10]
Fig. 13. Liquid DME dewatering process [10]

wilgotność węgla brunatnego i to do znacznych wielkości (z 53% nawet do 4%). Dzieje się tak na skutek zastosowania dimetyloeteru w obiegu zamkniętym, przy temperaturze wody wynoszącej 43°C [10]. Obieg przedstawiony jest na rysunku 13.

Podsumowanie

Powstające na świecie instalacje suszenia węgla brunatnego do celów energetycznych są dowodem na opłacalność wdrożenia procesu poprawiającego parametry jakościowe paliwa. Tym bardziej wskazuje się na użycie ciepła odpadowego niskotemperaturowego jako podstawowego do wstępnego odprowadzenia wilgoci. Czynnikiem dominującym w projektowaniu suszarek dla energetyki jest ich precyzyjna optymalizacja ze względu na charakterystykę paliwa i sposób pracy kotła. Badania rozwojowe prowadzone przez ośrodki naukowe pozwolą w przyszłości na dopasowanie odpowiedniej technologii do parametrów pracy bloku pyłowego czy fluidalnego.