



---

---

## Nowoczesne metody suszenia węgla brunatnego – badania własne

AUTOR: Marcin Michalski<sup>a</sup>\*

REKOMENDOWANE PRZEZ: Halina Pawlak-Kruczek<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Zakład Spalania i Detonacji, Instytut Techniki Ciepłej i Mechaniki Płynów, Politechnika Wrocławska

\* Adres do korespondencji: m.michalski@pwr.edu.pl, tel. 71 320 21 94

---

### STRESZCZENIE

Węgiel brunatny stanowi jedno z podstawowych paliw w Polsce oraz w krajach, które posiadają ten surowiec. Jest to spowodowane bardzo niską ceną wydobycia oraz dobrze opanowaną technologią konwersji energii chemicznej zawartej w węglu na energię elektryczną i ciepłą. Jednakże podstawowym problemem przy wykorzystywaniu węgla brunatnych w elektrowniach jest zawartość wilgoci, która w zależności od lokalnych warunków wydobycia wynosi między 40, a 60%. Podczas spalania węgla duża zawartość wilgoci wpływa między innymi na zmniejszenie wartości opałowej surowca, czas zapłonu, wydzielanie i spalanie się części lotnych, sposób formowania się mikrofrontu spalania części lotnych i teksturę pozostałości koksowej ziaren, co w konsekwencji ma decydujący wpływ na osiąganą w kotłach energetycznych sprawność [1]. Usunięcie części wilgoci z węgla brunatnego przed wprowadzeniem go do kotła przyczynia się do wzrostu sprawności energetycznej bloku. Według różnych źródeł osiągalny wzrost sprawności bloku może wynosić nawet 3-6% przy jednoczesnej redukcji ilości powstałych spalin [2, 3].

**SŁOWA KLUCZOWE:** węgiew brunatny, złoże fluidalne, suszenie, Belchatów

---

### 1. WSTĘP

Suszenie węgla brunatnego nie jest nowym tematem. Problem dużej kondensacji wody w paliwie pojawił się wraz z budową kotłów pyłowych, gdzie niezbędne jest usunięcie wilgoci aby zmielić węgiel i uzyskać odpowiednią ziarnistość. Obecnie stosowane są dwie główne metody suszenia węgla brunatnego przed podaniem paliwa do kotła pyłowego. Zależą one od zawartości wilgoci. Poniżej 25% wilgoci suszenie następuje w młynach, natomiast dla wyższych wartości w rurosuszarkach [4]. Stosowane w ten sposób metody pozwoliły na wykorzystanie węgla brunatnego w elektrowniach dużej mocy. Jednakże opisane powyżej metody przyczyniają się do zmniejszenia sprawności bloku, ze względu na wysokie zapotrzebowanie własne bloku energetycznego na proces suszenia. Dlatego

głównym problemem przy suszeniu węgla brunatnego dla celów energetycznych jest osiągnięcie dużych wydajności suszenia przy racjonalnie niskim zużyciu energii z zachowaniem warunków bezpieczeństwa (ograniczenie groźby samozapłonu i wybuchu). Konwencjonalne metody suszenia opierają się na zastosowaniu czynników energetycznych o wysokich temperaturach. Istotnym kryterium doboru odpowiedniej technologii suszenia jest również poziom osiągniętej wilgotności końcowej na wyjściu z suszarni [5, 6]. Nowoczesne metody suszenia węgla brunatnego wpływają na poprawę sprawności bloku, poprzez poprawę wad klasycznych metod. W rozwijających technologiach zastosowano między innymi brak wtłaczania oparów pary wodnej z procesu suszenia oraz zastosowanie odpadowych źródeł energii cieplnej do procesu suszenia. Elektrownie na węgiel brunatny budowane w latach 70-tych i 80-tych nie przekraczały sprawności 31%. Obecnie stosując nowoczesne metody (w tym i wstępne suszenie paliwa) możliwe jest osiągnięcie sprawności rzędu 48%. Taki wzrost sprawności powoduje również zmniejszenie emisji dwutlenku węgla o ok. 35%. Samo zastosowanie wstępnego suszenia powoduje podniesienie sprawności bloku od 3% do 4%, a w obiecujących technologiach nawet do 5-6% [1, 7].

W suszarnictwie rozróżnia się trzy sposoby usuwania wilgoci:

- mechaniczne – przy wykorzystaniu sił mechanicznych np. wyciskanie, wyżymanie, wirowanie, odsysanie,
- cieplne – przez doprowadzanie ciepła do wilgotnego materiału i zmianę wody w parę oraz odparowanie jej w takim stanie,
- fizyko-chemiczne – usuwając wilgoć przez absorbowanie jej za pomocą substancji higroskopijnych np. chlorek wapnia, kwas siarkowy [7].

Również istotnym parametrem podczas suszenia jest rodzaj wiązania wody, który wpływa na zapotrzebowanie energetyczne na jego usunięcie. W węglach brunatnych można wyodrębnić: wodę powierzchniową, wodę związaną w kapilarach oraz wodę związaną multimolekularnie i monomolekularnie.

Jedną z pręźnie rozwijających się technologii usuwania wilgoci z węgla brunatnych przy zastosowaniu niskotemperaturowych źródeł ciepła jest suszenie fluidalne. Tego typu metoda charakteryzuje się wysoką wydajnością oraz niskimi nakładami eksploatacyjnymi i jest najbardziej obiecującą metodą, nad którą trwają badania na całym świecie [5].

## **2. BADANIA WŁASNE**

Ze względu na restrykcyjne akty prawne związane z emisjami oraz rosnącymi cenami paliw i energii elektrycznej, dąży się do poprawy jakościowej polskich bloków energetycznych. Ten problem zaważył na podjęciu działań z zakresu suszenia polskich węgla brunatnych.

### **2.1. ANALIZA WĘGLA BRUNATNEGO**

Do badań nad procesem suszenia zostały wybrane dwa rodzaje węgla. Wyboru dokonano ze względu na największe złoża obecnie eksploatowane w Polsce – Turów i Belchatów oraz na zróżnicowane właściwości poszczególnych paliw. W prezentowanym artyku-

le znajdują się wyniki tylko dla węgla bełchatowskiego. Analizy węgla brunatnego dokonano na Politechnice Wrocławskiej, przy użyciu specjalistycznego sprzętu z uwzględnieniem stosowanych norm. Zawartość siarki (S), węgla (C), wodoru (H) i azotu (N) w paliwie określono w analizatorze 2400 Serii II CHNS/O zgodnie z normami PN-G-04571:1998, PN-G-04584:2001 i ISO-19579:2006. Zawartość tlenu (O) za pomocą obliczeń. Części mineralne (Ar) oraz lotne określono metodą termogravimetryczną zgodnie z normą PN-G-04560 oraz wilgoć (Wr) za pomocą wagi analitycznej oraz specjalistycznej suszarki, według normy PN-80G-04511. W ten sposób uzyskano pełną analizę składu węgla brunatnych. Stan suchy bezpopiołowy przeliczono na stan roboczy zgodnie z normą PN-81/G-04513. Określono wartość opałową paliwa korzystając z formuły Mendelejewa oraz metody VDI ( $Q_{MEN} = 5936$  kJ/kg,  $Q_{VDI} = 6242$  kJ/kg). Wyniki analiz przedstawiono w tabeli nr 1 [4].

Tabela 1. Wyniki analiz i obliczeń składu węgla bełchatowskiego

skład	stan suchy, bezpopiołowy %	stan roboczy %
C	61,00	22,45
H	3,36	1,25
N	0,68	0,25
S	1,24	0,46
O	33,69	12,40
Wr	-	54,00
Ar	-	9,2

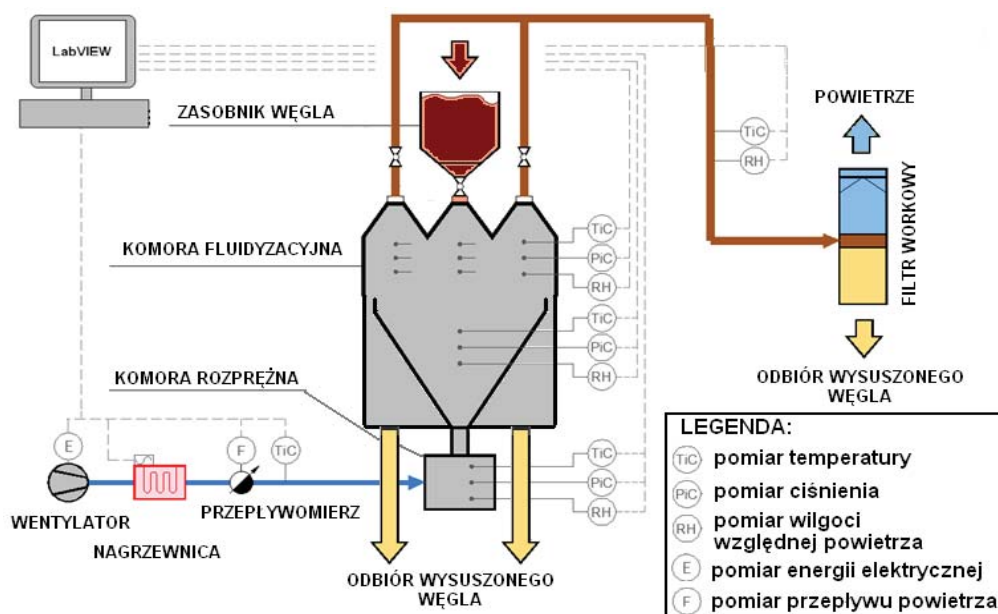
## 2.2. STANOWISKO BADAWCZE

Na potrzeby badań procesu suszenia fluidalnego w niskich temperaturach została przygotowana specjalna instalacja badawcza. Wymiary gabarytowe suszarki to wysokość 1000 mm, szerokość 1050 mm i głębokość 350 mm. Wymiar wlotu do suszarki to 300 mm x 90 mm (powierzchnia 0,027 m<sup>2</sup>). W zależności od nastawy mocy na wentylatorze otrzymywano prędkości rzędu do 13,6 m/s. Ilość użytego węgla do testów wynosiła 8 kg. Przy tej masie minimalna prędkość fluidyzacji była rzędu 8 m/s dla ziarnistości węgla brunatnego od 0 do 8 mm. Dla danego przepływu powietrza maksymalna temperatura w suszarce wynosiła 70 °C [3].

W suszarce zainstalowano liczne urządzenia pomiarowe aby można było w sposób ciągły rejestrować dane, niezbędne do optymalizacji procesu suszenia. Temperatura była mierzona termometrami oporowymi, wilgoć powietrza pojemnościowymi czujnikami wilgoci, ciśnienie za pomocą przetworników ciśnienia i przetworników różnicy ciśnień, natomiast prędkość mierzona była przepływomierzem z sondą wiatraczkową [3, 8].

Dane z urządzeń pomiarowych są bezpośrednio przesyłane do komputera, gdzie są zbierane przez specjalnie do tego celu przygotowany program w środowisku LabVIEW. Program odpowiada także za sterowanie wydajnością wentylatora oraz

temperaturą czynnika suszącego. Schemat stanowiska badawczego przedstawiano na rys. 1 [3].



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

W suszarce laboratoryjnej powietrze za pomocą wentylatora promieniowego kierowane jest na nagrzewnicę kanałową, a następnie rurami do komory rozprężnej i wlot do komory suszenia. Z komory suszenia powietrze kierowane jest do filtra workowego, gdzie osadzają się najdrobniejsze frakcje suszonego węgla. Węgiel podawany jest od góry przez specjalnie przygotowany podajnik zasypowy. Natomiast wysuszony węgiel odbierany jest z dolnej części suszarki za pomocą dwóch pojemników.

W celu oszacowania ubytku wilgoci z węgla oraz zużycie energii monitorowano parametry procesowe w suszarce poprzez pomiar zużycia energii elektrycznej oraz wyznaczenie strumienia odparowanej wilgoci, mierząc wilgotność względną powietrza na wlocie i na wylocie z instalacji oraz temperaturę i ciśnienie atmosferyczne powietrza wilgotnego. Obliczeń dokonano według poniższych wzorów zgodnie z normą EN ISO 13788:2001 [3, 8]:

Prężność pary nasyconej:

$$p_{sat} = 610 \cdot e^{\frac{17.269T}{237.5+T}} \text{ dla } T \geq 0^\circ C \quad (1)$$

Przyrost wilgoci w powietrzu odpowiadający ubytkowi zawartości wilgoci w węglu [90]:

$$\Delta X = 0.622 \cdot \left[ \frac{\varphi_0 p_{sat0}}{P - \varphi_0 p_{sat0}} - \frac{\varphi_2 p_{sat2}}{P - \varphi_2 p_{sat2}} \right] \quad (2)$$

gdzie:

- 0, 2 – indeksy parametrów powietrza mierzone odpowiednio przed i za suszarką,  
 $\varphi$  – wilgotność względna powietrza,  
 $p$  – ciśnienie powietrza wilgotnego w przybliżeniu atmosferyczne,  
 $p_{sat}$  – ciśnienie nasycenia pary wodnej.

Energia cieplna odparowania 1 kg H<sub>2</sub>O jest równa:

$$E_{H2O_{ciep}} = \frac{P_{el_{nagrz}}}{\frac{\Delta m_{wegla}}{\Delta t}}, \text{ kJ/kg H}_2\text{O} \quad (3)$$

Energia kinetyczna odparowania 1 kg H<sub>2</sub>O jest równa:

$$E_{H2O_{kinet}} = \frac{P_{el_{went}}}{\frac{\Delta m_{wegla}}{\Delta t}}, \text{ kJ/kg H}_2\text{O} \quad (4)$$

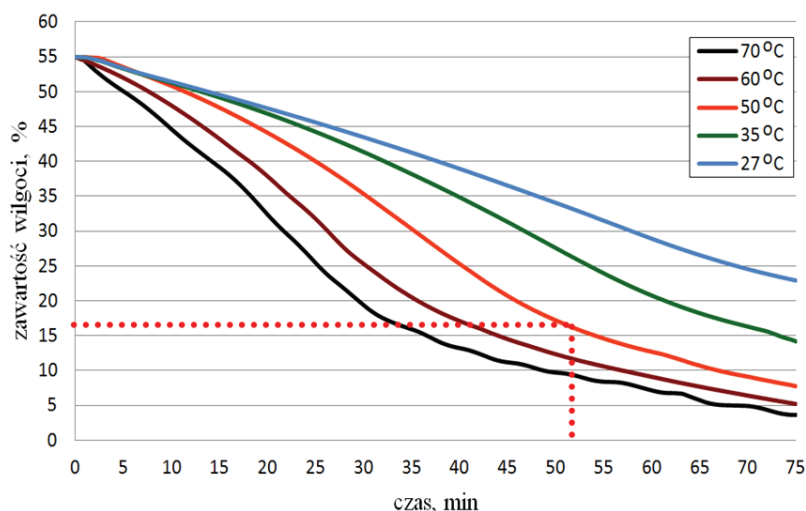
gdzie:

- $P_{el_{nagrz}}$  - pobór mocy przez nagrzewnice, kW  
 $P_{el_{went}}$  - pobór mocy przez wentylator, kW  
 $\Delta m_{wegla}$  - ubytek masy w węglu, kg  
 $\Delta t$  - czas, s

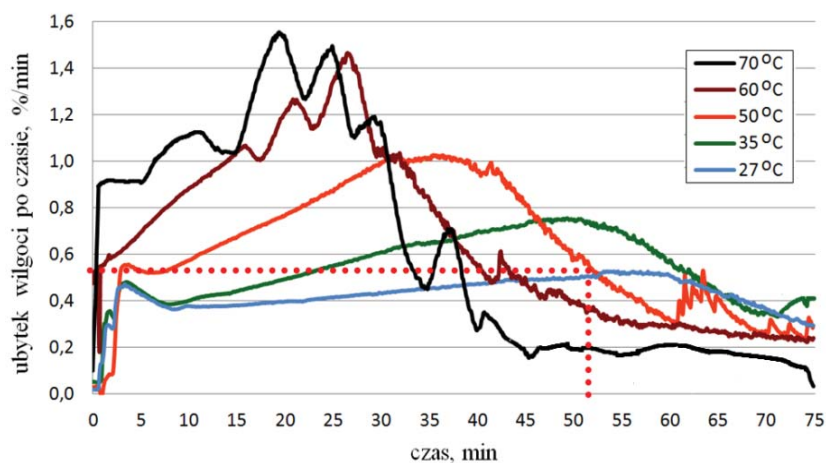
### 2.3. WYNIKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Podczas badań brano pod uwagę: temperaturę czynnika suszącego, czas przebywania w suszarce, prędkość czynnika suszącego, zawartość wilgoci w węglu, temperaturę początkową węgla, wielkość ziaren suszonego węgla. Na podstawie analizy powyższych parametrów oraz nakładów energetycznych można określić optymalne warunki pracy fluidalnych suszarek węgla brunatnego pod względem doboru prędkości suszenia oraz czasu przebywania węgla w suszarce w zależności od temperatury czynnika suszącego. Na rysunkach 2-4 przedstawiono wyniki badań ze względu na temperaturę czynnika suszącego w zakresie od 27 °C do 70 °C przy prędkości fluidyzacji na poziomie 8 m/s i ziarnistości węgla brunatnego 0-8 mm oraz 75 minut przebywania węgla w złożu fluidalnym. Wykresy przedstawiają ubytek wilgoci w czasie i jej pochodną oraz nakład energii elektrycznej użytej do wytworzenia złoża fluidalnego na odparowanie jednego kilograma wody. Na podstawie tych danych można określić optymalny czas przebywania węgla brunatnego w złożu fluidalnym oraz jego wilgoć końcową i nakład energetyczny. Poniżej opisano przykład, który na rysunkach został zaznaczony pomarańczową przerywaną linią. Z rys. 3 wyznacza się optymalny czas suszenia ze względu na dynamikę procesu, która na początku suszenia wzrasta, a następnie opada. Optimum znajduje się na opadającej linii do momentu osiągnięcia wartości początkowej. Dłuższe suszenie staje się nieopłacalne, ze względu na niską

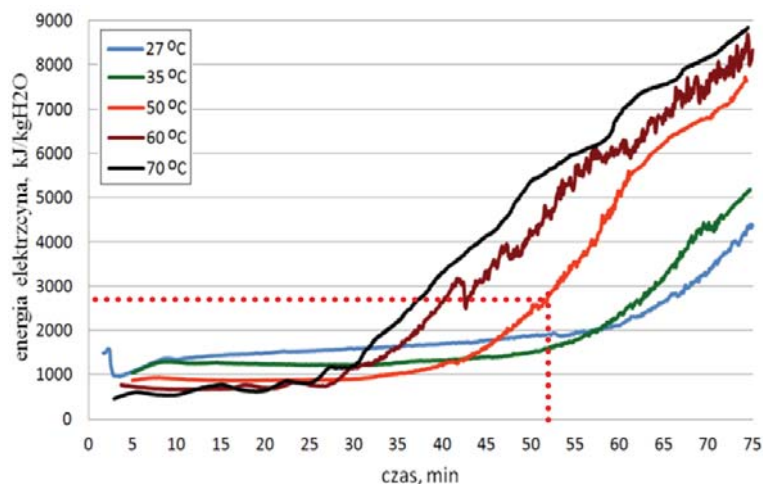
sprawność procesu. Następnie po określeniu czasu, z danych z rys. 2 wyznacza się wilgotność końcową suszonego węgla brunatnego. Kolejny krok to wyznaczenie nakładów energetycznych, który można odczytać z danych z rys. 4, na podstawie wcześniej określonego czasu suszenia. Dla omówionego przykładu suszenia w temperaturze 50 °C, optymalny czas suszenia wyniósł 52 minuty, w tym czasie węgiel wysuszy się do wilgotności na poziomie 16,1%, a zapotrzebowanie energii na proces fluidyzacji wyniesie 2795 kJ/kgH<sub>2</sub>O [1, 3].



Rys. 2. Ubytek wilgoci w węglu brunatnym dla zmiennych temperatury czynnika suszącego



Rys. 3. Wpływ temperatury procesu suszenia na szybkość odparowania wody z węgla – węgiel z Belchatowa



Rys. 4. Zużycie energii elektrycznej dla procesu suszenia przy różnych temperaturach czynnika suszącego

### 3. PODSUMOWANIE

Technologia suszenia fluidalnego węgla brunatnego za pomocą ciepłą niskotemperaturowego jest obiecującym rozwiązaniem dla energetyki. Przeprowadzone testy wskazują na opłacalność stosowania tego typu rozwiązania przy odprowadzeniu wilgoci na poziomie ok. 40% dla węgla bełchatowskich. Wówczas średnie zużycie energii elektrycznej nie przekracza 3000 kJ/kgH<sub>2</sub>O, co czyni tą metodę konkurencyjną z metodami suszenia w suszarkach obrotowych, gdzie pobór mocy jest bardzo zbliżony, ale przy mniejszej wydajności suszenia. Dodatkowo w celu osiągnięcia wyższej temperatury suszenia proponuje się zastosowanie pomp ciepła sprężarkowych lub absorpcyjnych. Obecnie na Politechnice Wrocławskiej realizowane są dalsze prace, tym razem na instalacji pilotażowej symulującej rzeczywiste warunki pracy suszarki w bloku energetycznym [8, 9, 10].

**LITERATURA**

- [1] **Kruczek-Pawlak H.**, *Wybrane zagadnienia spalania młodych paliw kopalnych o małym stopniu metamorfizmu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [2] **Bullinger C., Ness M., Sarunac N.**, *Coal Creek Prototype Fluidized Bed Coal Dryer: Performance Improvement, Emissions Reduction, and Operating Experience*, 31st International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, Clearwater FL, May 21-25, 2006.
- [3] **Plutecki Z., Michalski M.**, *Niskotemperaturowe suszenie węgla brunatnego dla energetyki zawodowej. Badania własne*, Górnictwo Odkrywkowe, 3-4/2012 ISSN 0043-2075, Wrocław, 2012.
- [4] **Kruczek S.**, *Kotły – konstrukcje i obliczenie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2001.
- [5] **Karthikeyan, M., Zhonghua, W., Mujumdar, A.S.**, *Low-rank coal drying technologies Current status and new developments*. 403–405, *Drying Technology* 2009, 27(3).
- [6] **Pikon, J., Mujumdar, A.S.**, *Drying of coal*. In *Handbook of Industrial Drying*, 993–1016, CRC Press: Boca Raton, FL, 2006.
- [7] **Grochal M.**, *Użytkowanie Energii Ciepłej* Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 2002.
- [8] **Plutecki Z., Pawlak-Kruczek H., Michalski M., Kierzowska-Makar W., Król A.**, *Raporty serii SPR - Analiza parametryczna i opracowanie wyników badań testowych suszenia węgla dla wybranych parametrów odpowiadających warunkom bloku energetycznego*, Raport 2012 SPR7/2012.
- [9] **Agraniotis M., Koumanakos A., Doukelis A., Karellas S., Kakaras E.**, *Investigation of technical and economic aspects of pre-dried lignite utilization in a modern lignite power plant towards zero CO<sub>2</sub> emissions*, *Energy*, 45, 2012, 134-141.
- [10] **Satyanarayan R. S. Dev & Vijaya G. S. Raghavan**, *Advancements in Drying Techniques for Food, Fiber, and Fuel*, *Drying Technology: An International Journal*, 30:11-12, 1147-1159, 2012.