

Kraków, 06.05.2015

Prof. dr hab. inż. Wojciech Nowak  
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica  
Wydział Energetyki i Paliw  
Al. A. Mickiewicza 30  
30-059 Kraków

## **Recenzja**

### **pracy doktorskiej mgr inż. Marcina Michalskiego „Suszenie węgla brunatnego w złożu fluidalnym z wykorzystaniem niskotemperaturowego źródła ciepła”**

#### **Wstęp**

Recenzję pracy doktorskiej opracowano na podstawie pisma W9/PW/440/2015 na podstawie uchwały Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej z 15 kwietnia 2015 r.

#### **Zasadność tematyki**

Pomimo planowanego w Polsce zwiększenia wykorzystania w energetyce gazu ziemnego oraz spodziewanego wzrostu produkcji energii ze źródeł odnawialnych przewiduje się w najbliższym dziesięcioleciu, że znacząca część energii elektrycznej będzie produkowana w elektrowniach opalanych węglem brunatnym. Elektrownie spalające to paliwo produkują 9433 MWe, natomiast jego zużycie w przemyśle energetycznym odpowiada około 34% zużycia wszystkich paliw. Niestety węgiel ten klasyfikowany jest jako węgiel niskiej jakości, co wynika z jego wysokiej zawartości wilgoci klasyfikującej się na poziomie od kilkunastu do kilkudziesięciu procent. Duże zawilgocenie węgla brunatnego spowodowało, iż na całym świecie podejmuje się próby jego suszenia, proponując różnorodne rozwiązania zarówno procesowe jak i konstrukcyjne.

11-05-2015  
48/567

Ogólna charakterystyka suszenia w ujęciu kinetycznym zakłada zmiany średniej zawartości wilgoci i średniej temperatury w czasie. Dzięki tym danym można wyznaczyć ilość odparowanej wody z materiału i ciepła wewnątrz materiału oraz ilości zużytego ciepła na potrzeby suszenia. Ruch masy i ciepła wewnątrz materiału oraz ich wymiana między powierzchnią materiału, a czynnikiem suszącym powoduje zmianę wilgoci materiału, który poddawany jest procesowi suszenia. Stąd też kinetyka procesu suszenia wyznaczana jest w szerokim stopniu przez właściwości fizykochemiczne materiału, a jej znajomość pozwala na zaprojektowanie reaktorów do suszenia węgla brunatnego.

Spośród znanych technologii fluidyzacyjnych można wymienić:

- technologie komercyjne (zastosowane w elektrowniach):
  - **WTA** - fluidalna z wykorzystaniem do fluidyzacji suszonego węgla sprężonych oparów oraz w wewnętrznych wymiennikach suszarki pary technologicznej z upustów średnio/niskoprężnych 3.6 bar - max. Wydajność 210t/h surowego węgla suszonego do ok. 12% końcowej wilgoci - Niederaussem
  - **DryFining** – fluidalna atmosferyczna- z wykorzystaniem do fluidyzacji powietrza w zakresie temperatur 50-135°C i w wymiennikach wewnętrznych wody o temperaturze identycznej z temperaturą czynnika gazowego . Zrealizowana inwestycja w Creek Power Station – wydajność – 4x125t/h węgla surowego.
- technologie w skali pilotowo-przemysłowej ;
  - **DDWT**- ciśnieniowa fluidalna , opracowana we współpracy BTU Cottbus i Vatenfall, realizacja wydajność – 25t/h i opracowana koncepcja techniczna bez wdrożenia na ok 100t/h.

Na wybór technologii suszenia węgla brunatnego ma wpływ między innymi:

- dojrzałość techniczna suszarki dla dużych wydajności suszonego węgla brunatnego,
- możliwość integracji suszarki z istniejącym blokiem i możliwość wykorzystania do suszenia odpadowych źródeł ciepła jak i zagospodarowania ciepła kondensacji oparów,
- dodatkowym kryterium wyboru zarówno samej technologii jak i parametrów suszenia w tym końcowej wilgoci węgla będzie również założenie o utrzymaniu wydajności kotła przy niezmiennych wielkościach powierzchni ogrzewalnych.

Mimo, że iż istnieje kilka technologii o różnym stopniu dojrzałości komercyjnej, w wielu ośrodkach naukowych prowadzone są prace badawcze nad nowymi rozwiązaniami

zapewniającymi najlepsze korzyści środowiskowe i ekonomiczne, a zwłaszcza pozwalające na zagospodarowanie ciepła odpadowego w elektrowniach.

*To zadanie zrealizowane zostało w ramach przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej. Tematyka rozprawy doktorskiej wiąże się bezpośrednio z obserwowanym od wielu lat intensywnym poszukiwaniem technologii suszenia węgla brunatnego. Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych tez rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora.*

### **Układ pracy**

Praca została podzielona na sześć rozdziałów. Rozdział 1 zestawia uzasadnienie podjętego tematu badawczego, główne i szczegółowe zagadnienia i cele badawcze pracy. W Rozdziale 2 Autor omawia technologię suszenia węgla brunatnego w warstwie fluidalnej (Autor używa nazewnictwa „złożu fluidalnym”). Rozdział 3 poświęcony badaniom właściwości węgla przed i po suszeniu oraz struktury podczas procesu suszenia, natomiast zasadniczy Rozdział 4 poświęcony jest analizie eksperymentalnej suszenia węgla oraz analizie błędów pomiarowych. Rozprawa kończy się podsumowaniem i wnioskami zawartymi w Rozdziale 5 oraz spisem literatury. Spis literatury zawiera 97 pozycji literaturowych. Autor w spisie literatury zawarł wykaz swoich publikacji ściśle związanych z pracą doktorską. Wykaz ten obejmuje 10 publikacji w artykułach i w recenzowanych artykułach konferencyjnych.

### **Elementy oryginalności pracy**

Za najważniejsze walory naukowe pracy w aspekcie naukowym uważam:

- ocenę parametrów procesu suszenia niskotemperaturowego węgla brunatnego w warstwie fluidalnej na proces fluidyzacji, czas, temperaturę i prędkość czynnika oraz uziarnienie paliwa oraz jego temperatury początkowej,
- wyznaczenie kinetyki procesu suszenia węgla brunatnych,
- pokazanie, iż temperatura rzędu 50-60 °C jest wystarczająca dla efektywnego odprowadzenia wilgoci z węgla brunatnego, natomiast podniesienie temperatury do poziomu 70 °C skutkuje większym zapotrzebowaniem energetycznym,

- wykazanie, iż rozmiar ziaren 0-8 mm ma niewielki wpływ na ubytek wody z węgla, natomiast temperatura początkowa węgla wpływa na proces suszenia.

Ponadto elementem innowacyjnym pracy jest:

- stworzenie bazy danych jako narzędzia do doboru parametrów suszenia dla założonych danych wejściowych. Baza taka pozwala na wyznaczenie parametrów suszenia węgla brunatnych w zakresie temperatur 25-70 °C i czasu pobytu w reaktorze fluidyzacyjnym w przedziale 0-75 min.

Dodatkowo, za istotne osiągnięcie praktyczne pracy uważam wytypowanie reaktora z warstwą fontannową jako najbardziej korzystnego rozwiązania przemysłowego.

### **Poziom warsztatowy**

Przedstawiona rozprawa jest wynikiem trudnych i uciążliwych analiz eksperymentalnych. Autor wykazał bardzo dobre przygotowanie w doborze stanowisk badawczych, opracowaniu metodyki i jej realizacji, opanowaniu technik matematycznych oraz wystarczający dla właściwego postawienia problemu znajomość potrzeb energetyki. Zarówno dobór tematyki jak i analizowanych źródeł uznać należy za prawidłowy.

Pomijając niedociągnięcia językowe (m.in. energia cieplna zamiast ciepła) i edytorskie można przyjąć, że rozprawa została napisana poprawnie. Praca posiada przejrzysty układ treści, konsekwentnie stosowane nazewnictwo oraz symbolikę.

### **Uwagi krytyczne**

W trakcie czytania pracy nasunęły mi się pewne uwagi krytyczne, które nie mają jednak istotnego wpływu na wysoką wartość merytoryczną przedstawionej rozprawy, a dotyczą zagadnień omówionych poniżej.

1. We wstępie pracy należało wspomnieć o innych technologiach suszenia węgla brunatnego, chociażby o suszarkach obrotowych rurowo-bębnowych, gdzie grzanie odbywa się przeponowo parą lub bezpośrednio spalinami. Inne rozwiązania to technologie mechaniczno-termiczne - stosowane z dobrym rezultatem do produkcji brykietów – mechaniczne, albo mechaniczno-termiczne, które istnieją w skali

- pilotowej lub koncepcji technicznej. Albo rozwijana w kraju koncepcja suszenia z jednoczesnym mieleniem w młynie elektromagnetycznym. Tym bardziej, że Autor omawia klasyczne suszenie w rurosuszarce, które nie ma nic wspólnego z fluidyzacją.
2. Autor na str. 4 stwierdza, że suszony węgiel można użyć w miejsce mazutu do rozpalania kotła. Takie rozwiązania nie są mi znane ani praktykowane w kotłach fluidalnych, które nawiasem mówiąc są przedmiotem analiz Autora (węgle turowszowskie). Stanowczo odradzam zastosowanie dedykowanych palników pyłowych na podsuszony węgiel brunatny w kotłach fluidalnych.
  3. Kocioł fluidalny CFB-672 jest przystosowany jest do spalania węgla o ściśle określonych parametrach. W celu dostosowania kotła do spalania podsuszonego paliwa, konieczne jest zastosowanie recyrkulacji spalin, co słusznie zauważa Autor na rys. 12. Zgodnie z wykonanymi obliczeniami dla pełnej mocy kotła i instalacji suszenia konieczne jest recyrkulowanie spalin w odpowiedniej ilości i o odpowiedniej temperaturze. Niestety tych informacji brakuje. W wariantcie fluidalnego suszenia przewiduje się wzrost sprawności kotła o zaledwie 0,37 % (Tabela 5); raczej należało się spodziewać większego wzrostu sprawności.
  4. W pracy brakuje informacji na ile zmieniają się potrzeby własne bloku oraz wzrośnie sprawność kotła w wyniku zastosowania fluidalnego suszenia węgla.
  5. Autor podaje, iż zapotrzebowanie na moc cieplną przy założeniu wysuszenia węgla do wartości 20% wyniesie 43 MW (str. 11). Proponuje wkomponowanie pompy ciepła nie podając jakichkolwiek analiz termodynamicznych bloku, nie wspominając o aspektach ekonomicznych. W układzie pompy absorpcyjnej potrzebna będzie para, a miejsce poboru pary technologicznej z bloku decyduje o sprawności obiegu. Rozumiem, że schemat na rys. 3 nie stanowi propozycji Autora, a jedynie został zaczerpnięty z literatury. Przypomina układ DryFinig, w którym również wykorzystuje się ciepło odpadowe: spaliny, powietrze nadmiarowe, ciepło z wody chłodzącej z obiegu chłodni kominowej.
  6. Jakie będą gabaryty suszarek? Czy czasy rzędu 40 min nie spowodują, iż rozmiary suszarek będą nie do zaakceptowania.
  7. W rozdziale 3.2 Autor niepotrzebnie omawia zasadę działania komercyjnych analizatorów i mikroskopów.
  8. Wskaźnik cieplny dla instalacji WTA jest bardzo niski i wynosi 320 kJ/kg H<sub>2</sub>O. Ponadto WTA wykorzystuje parę niskoprężną 3.6 bara, 141°C i ma możliwość odzyskania ciepła zarówno z oparów pochodzących z węgla brunatnego jak i z pary

technologicznej z obiegu parowego. Wskaźniki cieplne pokazane na rysunkach 65, 69, 77, 83, 89, 95, 101 i 108 są znacznie wyższe i wymagają komentarza.

9. Suszarka obrotowa wymaga pary niskoprężnej, podobnie jak WTA, lecz wskaźnik cieplny jest na poziomie 3100 kJ/kgH<sub>2</sub>O, przy małym zapotrzebowaniu na energię elektryczną wymaganą jedynie do napędu bębna. Wymaga to również komentarza, zwłaszcza iż czas potrzebny do fluidalnego suszenia jest bardzo długi.
10. Czy Autor jest w stanie oszacować parametry techniczne instalacji z warstwą fontannową przewidując suszenie całego strumienia węgla (ca 253,8t/h) z poziomu 44,0% do wilgotności około 20% ?

### **Wnioski końcowe**

Reasumując można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Marcina Michalskiego „Suszenie węgla brunatnego w złożu fluidalnym z wykorzystaniem niskotemperaturowego źródła ciepła” wiąże się bezpośrednio z obserwowanym od wielu lat poszukiwaniem efektywnych technologii suszenia węgla brunatnego. Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych tez rozprawy. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autora. Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera rozwiązanie ważnego zadania naukowego jakim kompleksowa analiza procesu fluidalnego suszenia węgla brunatnych. Jej poziom merytoryczny uważam za dobry. Rozprawa dowodzi dojrzałości naukowej doktoranta przejawiającej się w doborze tematu, prawidłowym i jasnym postawieniu problemu, logicznym i realistycznym ustawieniu zakresu pracy, a także opanowaniu warsztatu naukowego w zakresie: samodzielności, pracowitości i wytrwałości oraz uczciwości w prezentowaniu wyników i formułowaniu wniosków. Poprawnie wybrano przedmiot analiz i metodykę, uzyskano ważne kompleksowe wyniki. Autor wykazała się dużymi umiejętnościami i talentem w prowadzeniu trudnych badań eksperymentalnych.

Oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego wnioskuję, by Wysoka Rada Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej dopuściła mgr inż. Marcina Michalskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
dr hab. inż. Wojciech Nowak  
Prof. AGH