

prof. dr hab. inż. Tomasz Czakiert  
Politechnika Częstochowska  
Wydział Infrastruktury i Środowiska  
Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych  
ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa  
tel.: 608 089 178, e-mail: tczakiert@is.pcz.pl

Częstochowa, 02.02.2024 r.

**Szanowny Pan**  
**Prof. dr hab. inż. Andrzej Rusin**  
**Przewodniczący Rady Dyscypliny Naukowej**  
**Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka**  
Politechnika Śląska  
ul. Konarskiego 18  
44-100 Gliwice

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej mgr inż. Agaty Wirth-Ljungquist**

**1. Wprowadzenie**

Niniejsza recenzja została opracowana w odpowiedzi na pismo Nr RIE-BD.512.87.2023 z dnia 10 stycznia 2024 roku, w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 14 grudnia 2023 roku.

Podstawę prawną sporządzonej opinii stanowi ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742), w szczególności zapisy zawarte w art. 187.

**2. Zakres rozprawy**

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Wirth-Ljungquist nosi tytuł „Analiza wpływu jednorodności fizyko-chemicznej mieszanek paliwowych spalanych w instalacji CFB1300 na jej awaryjność”. Praca została zrealizowana pod kierunkiem Promotora prof. dr hab. inż. Janusza Kotowicza, z udziałem Promotora Pomocniczego dr inż. Aleksandra Iwaniaka.

Praca liczy ogółem 212 stron, włączając spis literatury w ilości 32 pozycji, wykazy oznaczeń, tablic i rysunków, streszczenia w języku polskim i angielskim oraz 38 załączników. Zebrany materiał rozdzielono pomiędzy 15 głównych rozdziałów, poprzedzonych obszernym wprowadzeniem, a zakończonych 10 stronicowym podsumowaniem zawierającym wnioski i uwagi końcowe.

We wstępie (rozdział 1) Autorka przedstawia przekonujące uzasadnienie dla celowości podjęcia tematu pracy, podpierając się przy tym historycznymi danymi obrazującymi ewolucję struktury polskiego sektora energetycznego oraz prognozami związanymi z produkcją energii elektrycznej z wykorzystaniem węgla.

Cel pracy (rozdział 2) niesie ze sobą widoczny ładunek naukowości o jednocześnie silnie utylitarnym zabarwieniu. Zakres przewidzianych prac obejmuje przy tym rozległy obszar poszukiwań. W tekście dostrzec można także cichą hipotezę pracy. Logicznie połączone elementy dają w tym przypadku poczucie dobrze przemyślanego planu rozprawy doktorskiej.

Rozdziały 3 i 4 traktują odpowiednio o technologii fluidalnej w kontekście urządzenia kotłowego oraz technologii nadkrytycznej w odniesieniu do parametrów czynnika roboczego. Zwrócono tu między innymi uwagę na potencjał kotłów fluidalnych wynikający z ich dużej elastyczności paliwowej, podczas gdy dla bloków nadkrytycznych wskazuje się przede wszystkim na ich wyższą sprawność energetyczną.

W rozdziale 6 omówiono strukturę całej linii nawęglania analizowanego bloku wraz z instalacją okołokotłową służącą do bezpośredniego zasilania paleniska, a także układy do odprowadzania powstających w procesie spalania popiołów – lotnego i dennego. Wcześniejszy rozdział 5 daje obraz samego składowiska węgla, dostarcza również informacji o prowadzonym na tym terenie procesie zwałowania.

W kolejnych rozdziałach 7 i 8 Autorka koncentruje się już na samym paliwie, omawiając jego budowę i właściwości, tak by ostatecznie przejść do problemów związanych z jego energetycznym wykorzystaniem. Zwraca tu szczególną uwagę na kwestie dotyczące zanieczyszczenia popiołami powierzchni wymiany ciepła, przywołuje także praktyczne doświadczenia z eksploatacji układów podawania paliwa i odprowadzania popiołów.

Rozdziały 9 i 10 rzucają światło na politykę dostaw węgla oraz wewnątrznie przyjęte zasady nawęglania analizowanego bloku energetycznego. Rozdziały 11 i 12 wraz z przynależnymi im załącznikami uświadamiają natomiast jak bogatym materiałem źródłowym dysponowała Doktorantka na potrzeby opracowania przedmiotowej rozprawy doktorskiej.

W rozdziałach 13 i 14 Autorka robi użytek ze zdobytej wiedzy (rozdziały 7 i 8) oraz posiadanych danych (rozdziały 11 i 12), na podstawie których dla paliw różnego pochodzenia (rozdziały 9 i 10) wnioskuje o poziomie dyskutowanych wcześniej zagrożeń natury eksploatacyjnej. Ostatecznie, w rozdziałach 15 i 16 definiuje kluczowe problemy, wskazuje newralgiczne węzły i formułuje szereg rekomendacji co do możliwych do podjęcia działań naprawczych w zakresie objętym przedmiotem rozprawy doktorskiej.



Spisane w ostatniej części pracy (rozdział 17) konkluzje nawiązują do tytułu rozprawy i wynikają bezpośrednio z jej treści.

Konstrukcja rozprawy nie budzi większych zastrzeżeń. Uwagę czytelnika zwraca przy tym dojrzały język i fachowa terminologia stosowana przez Doktorantkę w opisie prezentowanych technicznych zagadnień.

### 3. Ocena rozprawy

W ramach rozprawy doktorskiej dokonano analizy w zakresie pracy bloku energetycznego o mocy 460MWe opartego na kotle fluidalnym typu CFB pracującym przy nadkrytycznych parametrach pary i spalającym węglem różnego pochodzenia. Przeprowadzona dyskusja koncentruje się tutaj wokół kluczowych dla tematu zagadnień związanych z poprawą wydajności i dyspozycyjności układu na skutek ograniczenia awaryjności i niewydolności jego wybranych elementów. Cel ten sam w sobie wydaje się niezwykle ambitny i wymagający.

Jako najważniejsze problemy natury eksploatacyjnej – zależne od jakości dostarczanego do elektrowni paliwa wskazuje się w tym przypadku na:

- trudności z transportem paliw poczynając od miejsca ich rozładunku,
- awarie i usterki układów podawania paliwa i odprowadzania popiołu dennego,
- w znacznym stopniu zażegnane zjawiska erozyjne wewnątrz samej komory paleniskowej.

Źródłem tych problemów upatruje się głównie w jakości spalanego paliwa, w szczególności jego nadmiernym rozdrobieniu oraz niekorzystnym składzie substancji mineralnej. W efekcie prowadzonych rozważań sformułowane zostają konkretne zalecenia, w tym przede wszystkim te dotyczące:

- racjonalnego przygotowania mieszanek z dostępnych na składowisku paliw,
- doposażenia bloku w granulator drobnych frakcji wykorzystywanych paliw,
- modyfikacji konstrukcyjnych linii podawania paliwa i odprowadzania popiołu.

Opiniowaną rozprawę w całości odbieram pozytywnie. Niemniej jednak na etapie jej lektury nasuwały się pewne pytania, uwagi i komentarze, które w kolejności chronologicznej zostały spisane poniżej.

1. *Rozdziały 3-6:* W podpisach rysunków 3.2-3.5, 4.1, 5.1, 6.2-6.5 brakuje odnośników do źródeł literaturowych.
2. *Rozdział 4:* W tabeli 4.5 jest „*stan analityczny*”, powinno być „*stan suchy*”.
3. *Rozdział 7:* Podrozdział 7.1 zawierający niepełne 5 linijek tekstu należałoby rozbudować, bądź włączyć do znajdującego się powyżej wprowadzenia głównego rozdziału 7.

W komentarzu nawiązującym między innymi do indeksu alkaliczności (str. 46) czytamy, że „*wzrost zawartości popiołu obniża ryzyko zanieczyszczenia ścian parownika*”, podczas gdy pozostała część opisu ze wzorem 7.3 włącznie wskazywałaby na wręcz odwrotną

tendencję. W istocie rzeczy, informacja ta jest prawdziwa, jednakże nie wynika ona wprost z tekstu rozprawy, a wymaga od czytelnika sięgnięcia do źródłowej pozycji literaturowej. Tym samym, akapit ten wymaga od Autorki dodatkowego wyjaśnienia.

Podobna uwaga dotyczy innego fragmentu tejże konkluzji o treści „*skłonności węgla do żuźlowania są odwrotnie proporcjonalne do zawartości popiołu*”. W tym przypadku dezorientację wprowadzają kolejne przejęzyczenia w opisie zamieszczonym na wcześniejszej stronie, gdzie napisano „*Węgiel o niskiej skłonności do żuźlowania (z niską zawartością popiołu) ...*” – powinno być „(z wysoką zawartością popiołu)” itd.

Napotkać można tu również inne drobne potknięcia językowe, jak na przykład „*Popiół – produkt procesu spalania substancji organicznej*”. Należałoby raczej powiedzieć „produkt transformacji substancji mineralnej paliwa”, bądź po prostu „produkt (uboczny) procesu spalania paliwa”.

Stwierdzenie „*Jeżeli powyższe związki chemiczne (czytaj: CaO, MgO, SO<sub>3</sub>, itd.) znajdują się w popiele, to oznacza, że również znajdują się w węglu jako paliwie wsadowym.*” stanowi pewne uproszczenie. Należy bowiem pamiętać, że jest to jedynie pewna ogólnie przyjęta forma zapisu wyników analiz chemicznych popiołów, w związku z czym dany tlenek jako taki może wcale nie występować ani w popiele ani w materiale źródłowym.

4. *Rozdział 9:* Za bezcelowe uważam prezentowanie tych samych danych jednocześnie w formie tabeli i rysunku, mianowicie: Tab. 9.1 i Rys. 9.1, Tab. 9.2 i Rys. 9.2, itd.
5. *Rozdział 13:* Twardość rzędu 2 w skali Mohsa (Tabela 13.7) odnosi się raczej do rodzimej siarki aniżeli do tlenku SO<sub>3</sub>.

Na tej samej stronie czytamy „*glinokrzemiany takie jak np. korund lub kwarc*”. Kwarc to czysty krzemian, a korund to tlenek glinu. Oczywiście pierwiastki Si i Al jako takie bardzo często występują w substancji mineralnej węgla pod postacią glinokrzemianów, na przykład jako kaolinit.

Autorka mówiąc o zawartości jakiegoś składnika w popiele często pisze o jego zawartości w paliwie, co robi istotną różnicę, a tym samym wprowadza czytelnika w pewne zakłopotanie.

6. *Rozdział 16:* Pozostawiono błędne (prawdopodobnie robocze) oznaczenie rysunków w tekście pracy, mianowicie „*Rysunek 19.3*” (str. 139) i „*Rysunek 19.6*” (str. 142).
7. *Rozdział 17:* Napotkać można na pewne niezręczne sformułowania, jak na przykład „*rozpływy temperatur*”.
8. *Literatura:* Lekki niedosyt pozostawiać może w tym przypadku spis przywoływanego piśmiennictwa. Oczekiwać można by tu bowiem większej ilości tytułów z renomowanych czasopism naukowych.



9. *Pytanie ogólne:* Jaka byłaby rekomendacja Doktorantki co do kolejności wdrażania proponowanych w rozprawie działań naprawczych i według jakiego klucza hierarchizacja ta zostałaby dokonana? – Proszę Doktorantkę o krótką informację w tym temacie.

Pragnę jednak podkreślić, że zamieszczone powyżej uwagi i komentarze w żaden sposób nie umniejszają wartości ocenianej rozprawy doktorskiej.

Za kluczowe osiągnięcie Doktorantki w opiniowanej dysertacji naukowej uważam umiejętne powiązanie charakterystyk spalanych paliw z bieżącą eksploatacją i towarzyszącymi jej zdarzeniami ruchowymi analizowanej jednostki wytwórczej wraz z przedstawieniem propozycji szczegółowych rozwiązań prowadzących do zwiększenia niezawodności i produktywności objętego rozważaniami układu energetycznego.

#### 4. Wniosek końcowy

Przedłożona do oceny **rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie** bardzo ważnego **problemu naukowego**, jakim jest poprawa wydajności i dyspozycyjności nadkrytycznego bloku energetycznego o mocy 460 MWe opartego na kotle fluidalnym CFB1300 zasilanym węglem. Układ pracuje w polskiej elektrowni zawodowej „Łagisza” znajdującej się w strukturze TAURON Wytwarzanie S.A. **Doktorantka wykazuje** przy tym **ogólną wiedzę teoretyczną w reprezentowanej dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej**. W mojej opinii, przedstawiona **rozprawa doktorska spełnia warunki stawiane przez obowiązujące ustawodawstwo** (art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce – Dz.U. z 2023 r. poz. 742). Uważam także, że rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Wirth-Ljungquist „Analiza wpływu jednorodności fizyko-chemicznej mieszanek paliwowych spalanych w instalacji CFB1300 na jej awaryjność” mieści się w dyscyplinie naukowej *inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka*. W związku z powyższym **wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do kolejnych etapów postępowania w sprawie nadanie stopnia doktora.**

