

Kraków, 20.02.2018

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

## **Recenzja**

### **pracy doktorskiej mgr inż. Marii Bałazińskiej „Ocena efektów środowiskowych zgazowania zużytych podkładów kolejowych do produkcji energii elektrycznej”**

#### **Wstęp**

Recenzję pracy doktorskiej opracowano na podstawie zlecenia prof. dr hab. inż. Stanisława Pruska Dyrektora Głównego Instytutu Górnictwa pismo NSR/62/2018 z 24.01.2018.

#### **Zasadność tematyki**

Termiczna utylizacja odpadów jest metodą, która wymaga uważnego monitoringu i kontroli z powodu ich potencjalnego negatywnego wpływu na środowisko i ryzyka związanego z wpływem na zdrowie ludzkie. Spalanie prowadzone jest w szeregu różnych technologii, które w mniej lub bardziej udany sposób pozwalają unieszkodliwić odpady, w tym podkłady kolejowe na drodze termicznej. Wśród nich na szeroką skalę proces spalania prowadzi się w kotłach rusztowych lub fluidalnych stosując powietrze jako utleniacz. Kolejną technologią jest zgazowanie odpadów. Pomimo długiej historii rozwoju technologii zgazowania, technologia ta jest od stosunkowo niedługiego okresu stosowana do przetwórstwa odpadów komunalnych i przemysłowych. Głównym problem okazał się niejednorodny skład chemiczny odpadów przeznaczonych do zgazowania oraz trudność przygotowania odpowiedniego rozkładu ich uziarnienia.

Odmiany morfologiczne odpadów komunalnych znacznie różnią się między sobą zarówno własnościami fizykochemicznymi, jak i kinetycznymi. Powoduje to nakładanie się procesów termicznych przebiegających w fazie gazowej i w fazie stałej co w rezultacie prowadzi do niekorzystnych zjawisk, których efektem są straty w postaci niecałkowitego spalania fazy stałej oraz powstawanie związków zanieczyszczeń gazowych niekorzystnych z ekologicznego punktu widzenia. Zjawisk tych, zarówno przy spalania jak zgazowaniu nie da się uniknąć, z uwagi na charakterystyczne własności technologiczne zachodzące w jednej przestrzeni reakcyjnej. Ponadto skład chemiczny substancji mineralnej różnych odmian morfologicznych jest na tyle odmienny, że utrudnia spalanie lub zgazowania odpadów „trudnych” (do nich możemy zaliczyć podkłady kolejowe) z uwagi na temperatury spiekania popiołów przynależnych do różnych odmian morfologicznych. Tak więc proces termicznego unieszkodliwiania podkładów kolejowych, aby był wysokosprawny termicznie i bezpieczny ekologicznie musi przebiegać w warunkach rozdziału w czasie i przestrzeni procesów termicznego rozkładu odpadów oraz spalania gazów pirolitycznych i karbonizatu. Biorąc pod uwagę aspekty środowiskowe nie wiadomo, który z procesów termicznych (spalanie czy zgazowanie) ma najmniejsze oddziaływanie na środowisko.

*Stąd tematyka rozprawy doktorskiej wiąże się bezpośrednio z nowymi trendami oceny środowiskowej technologii termicznej utylizacji zużytych odpadów kolejowych z użyciem analizy LCA . Problem naukowy został postawiony poprawnie oraz rozwinięty za pośrednictwem sformułowanych problemów badawczych. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autorkę.*

## **Układ pracy**

Praca została podzielona na sześć rozdziałów. Rozdziały 1, 2 i 3 zestawiają wprowadzenie oraz stan wiedzy w zakresie technik oceny środowiskowej oraz stan wiedzy w zakresie oceny środowiskowej zgazowania zużytych, drewnianych podkładów kolejowych.

W Rozdziale 3.4 Autorka dokonała podsumowania przeglądu literatury wykazując niewielką ilość prac realizowanych w zakresie zgazowania podkładów kolejowych, a tym samym znikome informacje dotyczące efektów środowiskowych eksploatacji takich układów.

Autora słusznie zauważa, iż pod względem środowiskowym nie wiadomo, która z technologii: spalanie, czy zgazowanie w mniejszym stopniu obciążałaby środowisko. Nikt dotychczas nie podjął się rozwiązania tak postawionego problemu badawczego w aspekcie utylizacji zużytych podkładów kolejowych.

W Rozdziale 4 Autora przedstawia cel i zakres pracy stawiając następujące cele:  
cel naukowy:

1. Określenie wpływu na środowisko technologii zgazowania podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej;

cele aplikacyjne:

1. Opracowanie koncepcji instalacji technologicznej zgazowania podkładów kolejowych.

2. Porównanie efektów środowiskowych technologii zgazowania podkładów kolejowych do ich wykorzystania w procesie spalania.

Rozdział 5 obejmuje badania własne Autorki, metodykę badań oraz wyniki pomiarów eksperymentalnych. W Rozdziale 5.2 przedstawiono metodykę oceny cyklu życia, identyfikację i inwentaryzację danych wejściowych i wyjściowych oraz ocenę środowiskową z zastosowaniem techniki LCA. W Rozdziale 6 zawarto podsumowanie i wnioski.

Praca doktorska ma charakter zwięzły (126 stron) i przemyślany, oparty na naukowych materiałach źródłowych. Cytowana literatura obejmuje pozycje bibliograficzne (w sumie 114), w większości anglojęzyczne, które przedstawiają aktualny nurt badań w tematyce pracy. W spisie literatury znajdują się trzy pozycje, w których występuje Autorka rozprawy.

Lektura pracy doktorskiej mgr inż. Marii Bałazińskiej, wg mojej opinii nie budzi zastrzeżeń merytorycznych i stanowi oryginalne i nowatorskie rozwiązanie problemu naukowego, wnosząc zwłaszcza istotne wartości aplikacyjne. Należy podkreślić duży nakład pracy i czasu związany z przeprowadzeniem analiz oraz interpretacją wyników analiz środowiskowych, a także ich aplikacyjny charakter.

## Elementy oryginalności pracy

Za najistotniejsze *elementy naukowe* pracy uważam:

- Zgromadzenie informacji kompleksowo przedstawiających aktualny stan wiedzy w zakresie drewnianych podkładów kolejowych. W literaturze, brakuje takiego zestawienia.
- Przeprowadzenie obszernego, krytycznego przeglądu literatury dotyczącego przedmiotowej pracy, który wykazał występowanie luki badawczej w postaci braku określenia w kompleksowym zakresie efektów środowiskowych zgazowania zużytych podkładów kolejowych do produkcji energii elektrycznej. Tym samym potwierdzono brak możliwości porównania tych efektów do obciążeń środowiskowych towarzyszących najczęstszej formie ich zagospodarowania po okresie użytkowania jaką jest proces spalania.
- Określenie efektów środowiskowych zgazowania zużytych podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej. Tym samym wpisanie się w lukę badawczą, która dotychczas występowała w tym zakresie.
- Wiarygodny wynik oceny środowiskowej zgazowania zużytych podkładów kolejowych potwierdzony wąskim zakresem wartości wskaźnika LCA, w którym z 95% prawdopodobieństwem mieści się szukana wartość wskaźnika LCA (analiza niepewności).
- Szczegółowa analiza wrażliwości wartości wskaźnika LCA zgazowania zużytych podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej - trafny wybór zmiennej objaśniającej, który pozwala spekulować wartością wskaźnika LCA w wymiarze praktycznym.
- Pozyskanie dotychczas niepublikowanych danych dotyczących efektów środowiskowych spalania zużytych, drewnianych podkładów kolejowych. Dane te pozwoliły przeprowadzić analizę LCA dla spalania podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej, a następnie porównać uzyskane efekty środowiskowe do efektów wyznaczonych dla technologii zgazowania.

Rezultaty przeprowadzonych prac stanowią źródło nowej wiedzy związanej z oceną efektów środowiskowych technologii zgazowania podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej.

Za najistotniejsze elementy pracy w *aspekcie praktycznym* uważam:

- Opracowanie koncepcji instalacji technologicznej zgazowania podkładów kolejowych do produkcji energii elektrycznej. Należy podkreślić, że koncepcja została zweryfikowana pod względem technologicznym w oparciu o przeprowadzone badania eksperymentalne w skali pilotowej. Poddano ją także weryfikacji pod względem prawnym, w kontekście możliwości spełnienia wymagań legislacyjnych dla instalacji docelowej w skali 1 MW energii chemicznej zużytych podkładów kolejowych. Koncepcja instalacji sprawdziła się zarówno w aspekcie technologicznym jak i prawnym.
- Obszerne przedstawienie badań eksperymentalnych na instalacji zgazowania w skali pilotowej.
- Porównanie efektów środowiskowych technologii zgazowania podkładów kolejowych do ich wykorzystania w procesie spalania, co wykazało że to zgazowanie, a nie spalanie zużytych podkładów kolejowych zapewnia minimalizację obciążeń środowiskowych w cyklu życia. Zatem zamiast kierować podkłady kolejowe po okresie użytkowania do spalania jak powszechnie ma to dziś miejsce, lepszym rozwiązaniem pod względem środowiskowym byłoby je zgazowywać.

W aspekcie praktycznym, wyniki prac mogą stanowić wsparcie ewentualnego procesu decyzyjnego związanego z wyborem metody zagospodarowania podkładów kolejowych po okresie ich użytkowania. Stanowią one ponadto zbiór wytycznych technologicznych dla etapu projektowania instalacji zgazowania podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej w skali rzeczywistej.

### **Poziom warsztatowy**

Przedstawiona rozprawa jest wynikiem bardzo trudnych i uciążliwych analiz eksperymentalnych w bardzo trudnych warunkach prowadzenia badań. Autorka wykazała bardzo dobre opanowanie techniki LCA i pomiarowych oraz wystarczający dla właściwego postawienia problemu znajomość tematyki termicznej utylizacji odpadów. W szczególności podkreślić należy na swobodę z jaką posługuje się stosowanymi pojęciami oraz zależnościami. Zarówno dobór tematyki jak i analizowanych źródeł uznać należy za

prawidłowy. 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. Jaki jest potencjał ilościowy zużytych podkładów kolejowych w Polsce ? Autora przytacza jedynie dane dla 60 % torowisk europejskich w roku 2010 – 300 000 Mg.
2. Autorka na str. 31 stawia tezę, iż *pod względem energetycznym* najlepiej jest zgazowywać podkłady kolejowe zamiast je spalać. Tymczasem już na str. 32 dokonując przeglądu literatury stwierdza, iż wyniki dotychczasowych badań wskazują wyraźnie na proces spalania. Na jakiej więc podstawie Autorka opiera to stwierdzenie. Co więcej - nie dysponując badaniami procesu spalania.
3. Analiza odniesienia została przeprowadzona w oparciu o dane dr Wenera. Rozumiem, że Autorka dokonała analizy porównawczej bazując na tej pracy z uwagi na brak własnych danych do analizy LCA dla spalania. Granice systemy zostały więc zdefiniowane dla konkretnej niemieckiej technologii spalania prawdopodobnie w kotłach rusztowych. Tymczasem w energetyce krajowej mamy wiele kotłów fluidalnych spełniających wszelkie normy środowiskowych, w których możliwe jest również spalania odpadów. Podnoszę tą uwagę, bowiem Autorka jednoznacznie preferuje zgazowanie, a nie spalanie jako technologię o minimalnych skutkach środowiskowych w cyklu życia (str. 108).
4. Wynik inwentaryzacji cyklu życia składa się z dużej liczby indywidualnych typów emisji. Spośród istniejących 18 różnych kategorii oddziaływania w stosowanej metodzie ReCiPe 2008 do przeprowadzenia analiz porównawczych (spalanie vs zgazowanie) można było wybrać kilka np. potencjał zmian klimatu (wyrażony w kg CO<sub>2</sub> eq /ekwiwalent CO<sub>2</sub>), tworzenie cząstek stałych/pyłów PM (w kg PM10 eq), zakwaszenie naziemne (w kg SO<sub>2</sub>eq) lub eutrofizacja słodkowodna. Tymczasem Autorka sumuje trzy kategorie szkód i dokonuje porównania technologii nie wnikając szczegółowo w poszczególne kategorie wpływu. Jak wyglądało by porównanie np.

- wybranych kategoriach wpływu np. tworzenie smogu czy powstawanie pyłu zawieszonego ?
5. Proszę o komentarz do Rys. 20. Dlaczego wskaźniki dla kategorii zdrowia ludzkiego oraz ekosystemów są zawsze mniejsze dla zgazowania w porównaniu ze spalaniem. Dane te winny być wnikliwie poddane analizie bowiem patrząc na dane zawarte w Tabeli 20 można sądzić, że zgazowanie emituje znacznie mniej CO<sub>2</sub>, a znacznie więcej pyłu zawieszonego niż spalanie.
  6. Bezpośrednie wpływy na środowisko mają oddziaływania wynikające z bezpośrednich emisji w łańcuchu wartości. W przypadku termicznej utylizacji podkładów są to emisje, które występują w granicach proponowanej technologii np. pochodzące ze spalania bądź zgazowania. Czy Autorka może przytoczyć dane emisyjne z porównywanych technologii ?
  7. Wybór technologii utylizacji zużytych podkładów kolejowych winien być dokonany po pełnej weryfikacji efektywności ekonomicznej (CAPEX, OPEX) i wykonalności technicznej proponowanych rozwiązań (spalanie bądź zgazowanie). Analiz LCA to jedynie element wskazujący na przewagę środowiskową określonego rozwiązania, ale nie może decydować o ostatecznym wyborze technologii. Być może lepszym rozwiązaniem pod względem środowiskowym jest zgazowanie, ale nie wykluczałbym technologii spalania np. fluidalnego. Taką odpowiedź prawdopodobnie udało by się uzyskać, ale dla technologii odniesienia spalania w złożu stałym, gdyby Autorka w swoim generatorze zgazowania ze złożem stałym przeprowadziła testy spalania.

## **Wnioski końcowe**

Reasumując można stwierdzić, iż tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Marii Bałazińskiej „Ocena efektów środowiskowych zgazowania zużytych podkładów kolejowych do produkcji energii elektrycznej” wiąże się bezpośrednio z koniecznością prowadzenia analiz środowiskowych techniką LCA procesów termicznej utylizacji odpadów.

Problemy naukowe i aplikacyjne zostały postawione poprawnie. Cel jak i zakres pracy adekwatnie wynikają z przeprowadzonej krytycznej analizy literatury przedmiotu oraz postawionego problemu przez Autorkę.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera rozwiązanie ważnego zadania naukowego i praktycznego jakim jest przede wszystkim określenie efektów środowiskowych zgazowania zużytych podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej, w tym analiza wrażliwości wartości wskaźnika LCA. Zgromadzone przez Autorkę dane pozwoliły przeprowadzić analizę LCA dla spalania podkładów kolejowych dla produkcji energii elektrycznej, a następnie porównać uzyskane efekty środowiskowe do efektów wyznaczonych dla technologii zgazowania. Wykazano, iż zgazowanie, a nie spalanie zużytych podkładów kolejowych zapewnia minimalizację obciążeń środowiskowych w cyklu życia. Zatem zamiast kierować podkłady kolejowe po okresie użytkowania do spalania jak powszechnie ma to dziś miejsce, lepszym rozwiązaniem pod względem środowiskowym byłoby je zgazowywać.

Poziom merytoryczny pracy doktorskiej uważam za dobry. Poprawnie wybrano przedmiot analiz i metodykę, uzyskano ważne kompleksowe wyniki. Autorka wykazała się dużymi umiejętnościami i talentem w prowadzeniu trudnych analiz eksperymentalnych.

Oceniona rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą ustawę o stopniach i tytułach naukowych. Wobec powyższego wnioskuję, by Wysoka Rada Naukowa Głównego Instytutu Górnictwa dopuściła mgr inż. Marię Bałazińską do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

