

Wrocław 23.02.2017 r

Prof. Dr hab. inż. Zbigniew Królicki

Katedra Termodynamiki, Teorii Maszyn
i Urządzeń Ciepłych
Wydział Mechaniczno-Energetyczny
Politechnika Wroclawska
Ul. Wyb. Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

R E C E N Z J A

Pracy doktorskiej mgr inż. Elizy A. Roszak "Badania procesu adsorpcji metanu w skojarzeniu z gazyfikacją LNG"

Recenzja dotyczy materiału, przedstawionego w formie maszynopisu opracowanego podzielonego na 14 rozdziałów, zawierającego 131 strony tekstu, 72 rysunki, 12 tablic i 85 pozycji literaturowych, zamkniętego redakcyjnie w grudniu 2016 roku.

Podstawą formalną opracowania recenzji jest zlecenie Rady Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechnik Wroclawskiej z dnia 30.11.2016 roku

Wybór tematyki pracy.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej są procesy przetwarzania skroplonego gazu ziemnego a konkretnie egzergetyczna ocena koncepcji skojarzenia procesu gazyfikacji skroplonego gazu ziemnego z procesem napełniania zbiorników i metodą adsorpcyjnego magazynowania gazu. Badania eksperymentalne dotyczą charakterystyk adsorpcyjnych wybranych węgla aktywnych i gazu ziemnego tzn. wyznaczenie izoterm adsorpcji. Obliczenia, w oparciu o wybrane modele obliczeniowe obejmują : określenie optymalnych parametrów napełnienia zbiorników, poszczególne strumienie egzergii do analizy sprawności egzergetycznej procesu; skojarzenia oraz porównanie tych wartości z metodami utylizacji egzergii fizycznej ciekłego gazu ziemnego skojarzonych z układami wytwarzania energii elektrycznej.

Rozprawa dotyczy niezwykle istotnego problemu jakim jest minimalizacja kosztów związanych z procesem obróbki skroplonego gazu ziemnego na różnych etapach jego przetwarzania tzn. skraplania, magazynowania i regazyfikacji. Autorka koncentruje się głównie na etapie regazyfikacji i stawiają tezę ,że ten etap stwarza największej możliwości obniżenie kosztów łańcucha procesu przetwarzania skroplonego gazu ziemnego. Technika i technologia kriogeniczna zna wiele metod prowadzenia procesu zgazowania ciekłego gazu

W9/PW/334/2017

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

1

Wpłynęło dnia 08.03.2017.

ziemnego, które różniąc się sposobem realizacji charakteryzują się uwalnianiem dużej ilości egzergii fizycznej skroplonego gazu do otoczenia.

Stan silnej nierównowagi termodynamicznej z otoczeniem w jakiej znajduje się ciecz kriogeniczna, który w obecnych systemach regazyfikacji jest źródłem strat energetycznych, mógłby być, dzięki odpowiedniemu skojarzeniu procesu napełniania zbiorników wypełnionych adsorbentem (węgiel aktywny) z procesem regazyfikacji LNG, wykorzystany do obniżenia całościowych kosztów obróbki gazu. Mogło by to jednocześnie zwiększyć konkurencyjność metod LNG w stosunku do tradycyjnych metod transportu gazu gazociągami.

Autorka, skupiając swoją uwagę na dotychczasowych metodach i sposobach regazyfikacji, proponuje powiązanie go z efektem napełniania zbiorników wypełnionych adsorbentem a przez to zintensyfikowanie procesu odzyskiwania egzergii fizycznej skroplonego gazu. Chce to osiągnąć poprzez dobór odpowiednich temperatur i ciśnień napełniania, powiązanych ściśle z różnymi adsorbentami. Mają jej to umożliwić otrzymane eksperymentalnie izoterm adsorpcji a ocenę skuteczności rozwiązania analiza egzergetyczna. Wybór tematyki pracy jest, moim zdaniem, trafny, ciekawy i na pewno aktualny. Poruszane zagadnienia trudne i interesujące z punktu widzenia naukowego i aplikacji. Propozycja rozwiązania oryginalna a wyniki obliczeniowe wiarygodne co wskazuje na poprawność modelu obliczeniowego jak i przyjętych założeń.

Struktura i zawartość pracy.

Do rozwiązania postawionego problemu autorka obiera drogę analityczno-eksperymentalną, w której zastosowanie analizy egzergetycznej skojarzonych procesów oraz badania eksperymentalne charakterystyk adsorpcyjnych gazu ziemnego na węglach aktywnych są głównymi nurtami całej pracy.

Praca podzielona jest na dwie części: Teoretyczno-literaturową (rozdziały 3-7) i Eksperymentalno-obliczeniową (rozdziały 8-11). Wstęp do pracy (Rozdział 1 i 2) zawierają krótkie wprowadzenie w tematykę; cel, tezę i zakres pracy. W rozdziale 3 wprowadzono pojęcie egzergii a w 4 metody utylizacji egzergii fizycznej skroplonego gazu oraz przedstawiono porównanie sprawności egzergetycznej różnych układów regazyfikacji. Technologie adsorpcyjnego zmagazynowania gazu przedstawiono w rozdziale 5 a w rozdziale 6 termodynamiczne aspekty równowagi adsorpcyjnej, modele matematyczne izoterm adsorpcji oraz omówiono zjawisko kondensacji kapilarnej. Rozdział 7 poświęcono węglom aktywnym; metodom syntezy i aktywizacji powierzchni. Omówiono mechanizm adsorpcji cząstek metanu na powierzchni węgla. Rozdziały 8-9 poświęcone są prezentacji stanowiska badawczego, aparatury pomiarowej o raz omówieniu metod badawczych. W rozdziale 10 omówiono i przedstawiono rezultaty obliczeń wymaganego ciśnienia napełniania zbiornika oraz obliczono poszczególne składniki równania bilansu egzergii. Na podstawie uzyskanych rezultatów dokonano oceny sprawności egzergetycznej poszczególnych rozwiązań a całość obliczeń i porównania przedstawiono na wykresach i w tabelach. Rozdział 11 stanowi końcowe obliczenia, podsumowanie, wnioski dotyczące możliwości wykorzystania cieczy kriogenicznych jako niskotemperaturowego źródła ciepła w skojarzeniu z technologią zbiorników adsorpcyjnych. Pracę zamykają Rozdziały 12 i 13 - to podsumowania i wnioski a 14 spis pozycji bibliograficznych.

Uwagi ogólne o pracy.

Praca , w aspekcie merytorycznym , jest interesująca, ciekawa i fragmentami oryginalna. Porusza istotne problemy naukowe i poznawcze, o dużych walorach aplikacyjnych do których zaliczył bym przede wszystkim:

-zapropozowanie nowego sposobu odzysku energii fizycznej skroplonego gazu ziemnego opartego o skojarzenie procesu odparowania LNG z napełnianiem zbiorników adsorpcyjnego magazynowania gazu ziemnego.

-- zastosowanie oryginalnych charakterystyk adsorpcyjnych węgiel aktywny- gaz ziemny do optymalizacji strategii realizacji skojarzenia procesów napełniania zbiorników adsorpcyjnych i regazyfikacji skroplonego gazu ziemnego.

-wykonanie bilansu energetycznego i oceny energetycznej proponowanego skojarzenia procesów.

- wykazanie potencjału użytecznego, analizowanego rozwiązania.

- opracowanie i usystematyzowanie wymagań procesowych dotyczących skojarzenia procesów uwzględniających aspekty praktyczne oraz charakter zjawisk fizycznych zachodzących w ramach skojarzonych procesów.

- opracowanie metody wyznaczania parametrów napełniania zbiornika adsorpcyjnego magazynowania metanu dla warunków adsorpcji poniżej temperatury krytycznej oraz desorpcji powyżej temperatury krytycznej, uwzględniającej aspekty bezpieczeństwa (kondensacja kapilarna)

Postawione na wstępie pracy przez autorkę zadania naukowe zostały rozwiązane z dobrą znajomością wiedzy teoretycznej i umiejętnością samodzielnego prowadzenia analiz i obliczeń termodynamicznych . Autorka wykazuje się dobrym rozeznaniem literatury źródłowej, potrafi dotrzeć do sedna zagadnienia i fizycznych podstaw procesu adsorpcji. Z tej analizy potrafi też wyciągać odpowiednie wnioski, które wykorzystuje przy projektowaniu, budowie stanowiska badawczego oraz prowadzeniu badań eksperymentalnych procesu adsorpcji. Szczególnie warte podkreślenia jest wykazanie przez autorkę użyteczności i celowości stosowania prostej analizy energetycznej do oceny i porównania takich procesów kriogenicznych.

Sposób przedstawienia i opracowania tak interesującego zadania naukowego a także prezentacja i omówienie uzyskanych rezultatów budzi jednak szereg wątpliwości i uwagi krytyczne recenzenta.

Uwagi dotyczące merytorycznej analizy prezentowanej pracy:

1. Przedstawione w I części pracy informacje , zdaniem recenzenta, zaprezentowane są mało starannie. Autorka koncentruje się na rozwiązaniach technicznych i tylko je prezentuje. Bez analizy , oceny, parametrów, sprawności, oceny ekonomicznej. Autorka nie ustosunkowuje

się do tego stanu wiedzy wystarczająco wnikliwie. Takiej analizy-omówienie badań eksperymentalnych i wyników badań innych autorów - szczególnie brakuje w recenzowanej pracy. To co przedstawia autorka sprawia wrażenie prezentacji bez głównej myśli przewodniej.

2. W rozdziale 3. Autorka omawia pojęcie egzergii nie wspominając nic o temperaturze otoczenia. Jaką wartość przyjęto i na jakiej podstawie. Ten parametr sprawia autorce dużo trudności. Raz nazwany jest temperaturą otoczenia, raz temperaturą pokojową ; w innym miejscu temperaturą odniesienia lub referencyjną. W tabeli 1 podane są wartości otrzymane dla $T_{ot} = 298 \text{ K}$. Skąd taka wartość ? W końcowej części pracy, gdy porównywane są rezultaty obliczeń, można odnieść takie wrażenie , że ta wartość ulega zmianie.
3. Na str.51 rozdział 6.4.2 autorka przytacza równanie Totha zaznaczając ,że stała t przybiera wartości poniżej <1 . Nie podając źródła informacji. Otóż stała t w tym równaniu nie musi przybierać takiej wartości. W pracy: Chen et,al. (2002 rok) „Adsorption characteristics of silikagel and water system” autorzy podają wersje równania Totha z $t=12$. Może ta wartość $t < 1$ dotyczy tylko metanu na węglu ? A jeżeli tak to jakim ?
4. Str.49-51 przedstawiając i porównując trzy równania izoterm adsorpcji autorka pomija klasyczne równanie Frundlicha, stanowiące podstawę wszystkich (wielu) modeli późniejszych. (patrz:Frundlich (1926) „Colloid capillary Chemistry”). Dlaczego autorka skupia się tylko na tych trzech równaniach? Brak uzasadnienia wyboru ?
5. Na str.54, rozdz.6.5 autorka wspomina o niezwykle istotnym zjawisku kondensacji kapilarnej. Przytacza równanie 6.26 i na tej podstawie sporządza wykres przedstawiony na rys.20, które nadawały by się znakomicie do oceny omawianego procesu adsorpcji w dalszej części pracy- ale nigdzie nie zostały wykorzystane. Wykres nie został omówiony i skomentowany. Nasuwa się oczywiste pytanie po co jest ten rozdział ?
6. Str.59 rozdział 7. Brak refleksji, wnioskowania , analizy krytycznej informacji podanych w źródłach. Autorka wymienia różne materiały z których wykonane są węgle aktywne ale nie komentuje tych informacji. Jest to lista publikacji z której nie wynika nic istotnego do merytorycznej części pracy. Jaka jest podstawa wyboru, przez autorkę, tych węgli, a nie innych do eksperymentu ?Jakie jest kryterium ?
7. Str.75. Przedstawienie wyników badan w taki sposób(tzn. na str. 75-78) w tabelach nie jest właściwe.(Ta sama uwaga dotyczy wykresów późniejszych).Na jakiej podstawie autorka wybrała „najbardziej reprezentatywne i pełne serie pomiarowe”. Jakie jest kryterium ? Co z powtarzalnością wyników ? Nie ma najmniejszych uwag o niedokładnościach pomiarowych.

8. Str. 94 Rozdział 9.4 zawiera założenia na potrzeby obliczeń i analizy. Należało by te założenia skomentować. Dlaczego założone wartości temperatury nie pokrywają się z danymi na następnych stronach.
9. Str. 113. Jak uzyskano dane do porównania? Dla jakich parametrów podane są rezultaty badań innych autorów. Czy autorka nie porównuje wyników eksperymentów innych autorów z rezultatami swoich obliczeń teoretycznych?

W trakcie analizowania przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej bez przerwy nasuwały mi się uwagi redakcyjne, które w mojej ocenie w sposób istotny wpłynęły na ostateczną ocenę i końcowe wrażenie. Zdaniem recenzenta, przed jakąkolwiek dalszą publikacją praca wymaga starannej korekty językowej, gramatycznej, stylistycznej i edytorskiej. Szczegółowe uwagi redakcyjne i edytorskie recenzent przedstawił autorce w korespondencji i uzyskał stosowne wyjaśnienia.

Podsumowanie

Przytoczone uwagi krytyczne nie umniejszają w istotny sposób wartości merytorycznej recenzowanej pracy. Dorobek przedstawiony w niej przez autorkę, jest w dostatecznym stopniu znaczący, jak na rozprawę doktorską. W prezentowanej pracy zostało bowiem rozwiązane analitycznie, omówione i przeanalizowane teoretycznie, w sposób interesujący, nie znajdujący swojego odpowiednika w literaturze zagadnienie naukowe dotyczące skojarzenia procesów regazyfikacji ciekłego gazu ziemnego z procesem napełniania zbiorników adsorpcyjnych. Autorka, prowadząc analizę optymalizacyjną na zbudowanym przez siebie modelu obliczeniowym i otrzymanych eksperymentalnie izotermach adsorpcji formułuje interesujące wnioski ogólne i wskazuje jednocześnie, na duże możliwości aplikacyjne uzyskanych rezultatów. Można zatem stwierdzić, że autorka wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną oraz rozwiązała samodzielnie zadanie naukowe dotyczące energetycznej oceny koncepcji skojarzenia procesu gazyfikacji skroplonego gazu ziemnego z procesem napełniania zbiorników i metodą adsorpcyjnego magazynowania gazu..

Konkluzja ostateczna

Uważam, że przedstawiona rozprawa doktorska spełnia wymagania ustawy z dnia 18 marca 2011 roku o tytule naukowym i stopniach naukowych. Stawiam więc wniosek o dopuszczenie mgr inż. Elizy A. Roszak do jej publicznej obrony.

Zbigniew Fusiński