

Prof. dr hab. inż. Andrzej Szlęk
Instytut Techniki Ciepłej
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Śląska

Gliwice, sierpień 2019

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Sławomira Kakiętka
Ocena zachowania się paliw stałych podczas spalania na podstawie sieci neuronowych i badań laboratoryjnych

1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejszą recenzję wykonałem na podstawie pisma z dnia 21 czerwca 2019 roku, otrzymanego z Wydziału Mechanicznego-Energetycznego Politechniki Wrocławskiej podpisanego przez Dziekana Wydziału Prof. dr hab. inż. Zbigniewa Gnutka. Wraz z pismem otrzymałem egzemplarz pracy w wersji drukowanej.

2. Wybór tematu i ogólna charakterystyka pracy

Paliwa kopalne pozostają podstawowym źródłem pokrywania potrzeb energetycznych współczesnej cywilizacji. Sytuacja ta, według wszelkich prognoz, nie zmieni się w ciągu najbliższych kilkudziesięciu lat. Instytucje analizujące sytuację energetyczną, takie jak na przykład International Energy Agency, przewidują że udział węgla w pokrywaniu zapotrzebowania na energię będzie malał, jednak nie oznacza to spadku zużycia węgla, lecz jedynie wolniejszy wzrost niż w przypadku innych paliw kopalnych. Z tego względu nadal istotne pozostają badania nad doskonaleniem procesów energetycznego wykorzystania węgla.

Recenzowana praca stanowi ciekawe podejście zastosowania sieci neuronowych do przewidywania zachowania się węgla w procesie spalania. Sieci neuronowe mogą stanowić bardzo efektywne narzędzie do przewidywania procesów, których stopień komplikacji jest na tyle duży, że niemożliwy staje się pełny i wiarygodny opis matematyczny. Proces spalania węgla, na który składa się szereg procesów jednostkowych, bez wątpienia charakteryzuje się takim dużym stopniem skomplikowania.

Powyższe dwa spostrzeżenia stanowią moim zdaniem uzasadnienie celowości podjęcia tematu rozprawy doktorskiej i jej istotności z punktu widzenia gospodarki.

W mojej ocenie recenzowana praca charakteryzuje się szerokim zakresem – opisane są w niej zarówno liczne badania eksperymentalne zrealizowane na kilku oryginalnych

stanowiskach badawczych jak i badania nad opracowaniem sieci neuronowych wykorzystujących wyniki tych badań eksperymentalnych jako dane do trenowania.

3. Podstawowe walory pracy

Najważniejszym, w moim przekonaniu, walorem pracy jest niezwykła obszerność danych eksperymentalnych pozyskanych w ramach realizacji pracy. Autor przedstawia wyniki badań przeprowadzonych na czterech oryginalnych stanowiskach badawczych, a każde z tych stanowisk posłużyło do przeprowadzenia badań z użyciem sześciu różnych węgli o różnym stopniu uwęglenia – począwszy od węgla brunatnego, a kończąc na antracycie. Tak obszerny materiał eksperymentalny, uzyskany na oryginalnych stanowiskach badawczych jest rzadko spotykany w pracach doktorskich. Trzeba też zauważyć, że operowanie na tak dużym zestawie danych stanowi bardzo poważną trudność, z którą Autor dobrze sobie poradził.

Drugim podstawowym walorem jest bardzo wnikliwa analiza możliwości zastosowania sieci neuronowych do powiązania ze sobą uzyskiwanych wyników eksperymentalnych. Rozdział poświęcony tej analizie liczy ponad 50 stron i świadczy o dużej dociekliwości badawczej autora. W efekcie w mojej ocenie cel pracy jakim jest stworzenie sieci neuronowej mającej zastosowanie do przewidywania zachowania się węgla w trakcie spalania został całkowicie osiągnięty przez autora.

Za bardzo istotną zaletę pracy uważam przeprowadzoną analizę powtarzalności wyników badań eksperymentalnych, która przedstawiona została w rozdziale 6.2.

4. Ogólne uwagi krytyczne i dyskusyjne

Podstawowa moja uwaga krytyczna dotycząca recenzowanej pracy to dobór węgli, które stanowiły przedmiot badań. Autor zdaje sobie sprawę z tego, że dane palenisko nadaje się do spalania jedynie pewnego zakresu węgli, a nawet na rysunku 2.3.1 pokazuje obrazowo jak bardzo różnią się paleniska dedykowane dla węgli kamiennych od tych, które przeznaczone są dla węgli brunatnych. Trochę w tym kontekście dziwi fakt, że do badania tak różnych węgli wykorzystano praktycznie te same zakresy parametrów eksperymentalnych takich jak na przykład czas, wynikający z prędkości przepływających gazów. Moim zdaniem bardziej celowe byłoby przeprowadzenie badań dla węgli na przykład kamiennych o zdecydowanie bardziej zbliżonej charakterystyce.

Drugą z moich uwag krytycznych jest nierównowaga pomiędzy stopniem szczegółowości opisu badań eksperymentalnych i badań w zakresie rozwoju sieci neuronowych. Czytając pracę odczuwałem niedosyt informacji dotyczących budowy stanowisk eksperymentalnych, czego najbardziej jaskrawym przejawem jest punkt 5.4.4 w którym badaniom w reaktorze przepływowym D poświęcono zaledwie dwa zdania. W moim odczuciu Autor zdecydowanie

więcej pasji badawczej poświęcił badaniom nad rozwojem sieci neuronowych niż badaniom eksperymentalnym, które są bez wątpienia warte większej uwagi.

Trzecia uwaga ogólna dotyczy sposobu podejścia Autora do analizy wpływu charakterystyki sitowej badanych paliw na proces zapłonu i spalania. Charakterystyka przemiału zależy zarówno od rodzaju zastosowanego młyna jak i właściwości paliwa. Należałoby wobec tego stosować w badaniach albo uziarnienie sztuczne dla wszystkich węgli, albo uziarnienie będące wynikiem zastosowania konkretnego typu młyna w odniesieniu do wszystkich badanych paliw.

W przypadku tak złożonego surowca jakim jest węgiel pomiar własności zależy w dużej mierze od metody badawczej. Nawet tak podstawowa własność jaką jest zawartość części lotnych zależy na przykład od szybkości nagrzewania i wyniki pomiaru tej własności uzyskane w termograwimetrze i komorze opadowej różnią się zasadniczo. Niemniej jednak w moim przekonaniu, dla zachowania walorów aplikacyjnych wyników powinno się dążyć do wykorzystywania jako danych wejściowych do sieci neuronowych wyłącznie tych własności paliwa, które w możliwie małym stopniu zależą od metody badawczej, lub których pomiar jest opisany powszechnie znaną procedurą. Tymczasem Autor używa jako danych wejściowych na przykład stężenia CO, które w ogromnym stopniu zależy od organizacji procesu spalania. Uważam, że takie podejście powinno być dobrze uzasadnione przez Autora, czego zabrakło w pracy.

W rozdziale 7 brakuje tabelarycznego podsumowania wszystkich analizowanych przypadków sieci neuronowych wraz ze wskazaniem rekomendacji co do typu sieci najodpowiedniejszej dla określonego zagadnienia.

Dodatkowo uważam, że w wielu przypadkach Autor używa nieprecyzyjnych sformułowań i niepotrzebnie zawiłych form gramatycznych.

5. Szczegółowe uwagi

Strona 40 – co Autor rozumie przez „nową metodę”.

Strona 44 – rysunek komory spalania zdecydowanie za mało szczegółowy.

Rozdział 5.2 – nie podano jakie zabiegi zostały wykonane w celu zapewnienia możliwie wiarygodnego pomiaru temperatury.

Rozdział 5.2 – nie określono wkładu Autora w powstanie stanowiska A.

Rozdział 5.3 – zbyt mało szczegółowy opis stanowisk badawczych B, C i D.

Strona 56 – jaką temperaturę ścian przyjmowano w obliczeniach według wzorów 5.17-5.21, skoro cząstka wymienia energię radiacyjną z całą powierzchnią wewnętrzną komory.

Rozdział 5.4.4. – bardzo zdawkowy opis pomiarów emisji.

Tabela 5.5.3 – dlaczego w badaniach wykorzystano węgle o tak różnym rozkładzie ziarnowym.

Strona 69 – słowem ‘emisje’ określa się zwyczajowo udział molowy lub masowy związku w emitorze. W przypadku pomiarów płomieniowych właściwiej byłoby używać słowa ‘udział’.

Rysunek 6.1.11 – czym Autor tłumaczy duży spadek temperatury w dobrze zaizolowanej komorze spalania.

Tabela 6.1.2 dane w niej zawarte wskazują, że stosowanie jednych warunków procesu dla radykalnie różnych paliw jest ryzykowne, bo niedopał zmienia się od 4 do niemal 90%.

Punkt 6.3.1 Nie podano parametrów procesu jakich dotyczą uzyskane wyniki.

Punkt 6.3.3 Dużo wyników słabo omówionych. Uwaga ta odnosi się także do kilku innych punktów.

Rozdział 7.1 Bardzo szczegółowy opis podstaw działania sieci neuronowych. Moim zdaniem taka szczegółowość jest niepotrzebna.

Rozdział 7.4-7.6 Ilość wyników przytłacza. Dyskusja tych wyników jest w mojej ocenie zbyt powierzchowna.

Rozdział 7.8 Jak należy interpretować wyniki wykraczające znacznie poza zakresy pomiarowe – na przykład antracyt z zawartością części lotnych 60% (rys.7.8.3)

Rozdział 8 Brakuje podsumowania i rekomendacji dla osób prowadzących zbliżone prace badawcze.

6. Wniosek końcowy

Praca zrealizowana przez mgr inż. Sławomira Kokietka stanowi bardzo obszerne studium sensowności zastosowania sieci neuronowych do przewidywania zachowania się węgla w trakcie procesu spalania. Jest dobrze umotywowana potrzebami gospodarczymi, zawiera bardzo obszerne i oryginalne wyniki badań eksperymentalnych oraz bardzo wnikliwą analizę różnych sieci neuronowych. W mojej ocenie praca spełnia w pełni wymagania stawiane przez stosowne regulacje prawne i dlatego wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Dodatkowo, biorąc pod uwagę wyjątkowo obszerny zakres pracy wnioskuję o wyróżnienie pracy, o ile spełnia ona wymagania formalne obowiązujące na Wydziale.