

Dr hab. inż. Piotr Łapka, prof. uczelni  
Instytut Techniki Ciepłej  
Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa  
Politechnika Warszawska  
ul. Nowowiejska 21/25  
Tel: 501 092 636  
E-mail: [piotr.lapka@pw.edu.pl](mailto:piotr.lapka@pw.edu.pl)

### **Opinia o rozprawie doktorskiej mgr inż. Zuzanny Kaczor pt.: Numerical modelling of solar pyrolysis process of the waste biomass**

Podstawą do opracowania opinii rozprawy doktorskiej mgr inż. Zuzanny Kaczor pt.: Numerical modelling of solar pyrolysis process of the waste biomass jest uchwała Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej z dnia 24.06.2021r. o powołaniu mnie na recenzenta oraz pismo nr RIE-BD/4/390/2020/2021 Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Politechniki Śląskiej prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina z dnia 05.07.2021r.

Promotorem ocenianej rozprawy doktorskiej jest dr hab. inż. Sebastian Werle, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym dr hab. inż. Zbigniew Buliński.

#### **1. Tematyka rozprawy**

Zużycie energii na świecie ciągle wzrasta. Z drugiej strony zasoby paliw kopalnych zmniejszają się i ludzkość stanie przed problemem ich braku. Technologie produkcji energii oparte na spalaniu paliw kopalnych, które stanowią główne źródło energii na świecie, powodują zanieczyszczenie i degradację środowiska naturalnego. Dlatego, aby zapewnić dostęp do energii dla przyszłych pokoleń, niezbędne jest opracowanie nowych czystych technologii pozyskiwania energii m.in. opartych o odnawialne źródła energii. Aktualnie w wielu krajach na świecie rozwojowi takich technologii sprzyja presja społeczna, otoczenie polityczne i odpowiednie regulacje prawne. Liderem w wyznaczaniu dróg rozwoju energetyki odnawialnej jest Unia Europejska. Ponadto należy zauważyć, że w wielu krajach rośnie zużycie biomasy i odpadów w procesie produkcji energii. Zatem tematyka ocenianej rozprawy doktorskiej jest aktualna i zgodna z kierunkami rozwoju energetyki na świecie.

#### **2. Omówienie rozprawy doktorskiej**

Osiągnięcia zaprezentowane w rozprawie to cykl czterech publikacji monotematycznych zatytułowany „Numerical modelling of solar pyrolysis process of the waste biomass”. W każdej publikacji pani mgr inż. Zuzanna Kaczor jest pierwszym autorem i ma udział większy niż 50%. Praca powstała w ramach realizacji projektu badawczego pt.: Study on the solar pyrolysis process of the waste biomass (2016/23/B/ST8/02101) finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.



Główna część pracy, w której omówiono cykl publikacji, składa się z sześciu rozdziałów i podsumowania opisanych na 64 stronach. Czterema załącznikami do pracy są kopie artykułów z prezentowanego monotematycznego cyklu publikacji. Ponadto praca zawiera streszczenia po polsku i angielsku oraz spis oznaczeń i skrótów. W rozprawie autorka zacytowała 53 publikacje, natomiast w czterech artykułach z cyklu odwołała się do większej liczby publikacji (odpowiednio do 13, 35, 99 i 26 publikacji). Znaczna część z cytowanych artykułów została opublikowana w ostatnich 10-15 latach. Świadczy to o wykonaniu właściwego przeglądu aktualnego stanu wiedzy w podjętej tematyce. Praca zawiera 26 rysunków, ale znacznie bogatszy materiał ilustracyjny (odpowiednio 7, 12, 12 i 17 rysunków) zawierają artykuły z monotematycznego cyklu publikacji. W pracy są również zamieszczone 3 tabele, natomiast artykuły zawierają odpowiednio 3, 2, 4 i 7 tabel. Publikacje z cyklu zawierają również znacznie więcej równań (odpowiednio 1, 12, 14 i 5 równań) niż przedstawiono w głównej części pracy (11 równań).

W pierwszym rozdziale zwięźle omówiono tło pracy oraz motywację. Następnie scharakteryzowano biomasę jako źródło energii. Omówiono skład biomasy oraz problemy związane z zastosowaniem biomasy w energetyce w jej pierwotnej postaci. Opisano typy biomasy analizowane w pracy, ich skład, właściwości fizyczne (m.in. ciepło spalania) i sposób przygotowania. W pracy analizowano biomasę w postaci pelletu z drewna, słomy i osadów ściekowych. Scharakteryzowano sposoby przetwarzania biomasy na cele energetyczne z naciskiem na proces pirolizy i pirolizy słonecznej. Opisano stanowisko eksperymentalne, które było modelowane w pracy. W skrócie przeprowadzono ocenę obecnego stanu wiedzy w obszarze modelowania procesu pirolizy biomasy. Obszerny przegląd literatury zawarto w publikacji nr 3 z monotematycznego cyklu publikacji. Przegląd ten dotyczył: stosowanych modeli; uwzględnianych w analizach zjawisk; budowy reaktorów do pirolizy biomasy; pochodzenia biomasy oraz formy i wielkości cząstek biomasy; metod walidacji modeli; opisów reakcji chemicznych, procesów suszenia i skurczu oraz metod modelowania zmiany właściwości fizycznych złoża w reaktorze. W podsumowaniu stwierdzono, że zaprezentowane w literaturze modele zawierały wiele uproszczeń geometrycznych oraz w opisie matematycznym. Ponadto nie badano wpływu niepewności rzeczywistych warunków procesowych na przebieg procesu pirolizy. Niewiele prac dotyczyło modelowania procesu pirolizy dużych cząstek lub pelletu z różnych typów biomasy.

W drugim rozdziale opisano cel oraz zakres pracy. Cel pracy zdefiniowano w czterech punktach i dotyczył: identyfikacji zjawisk występujących w procesie pirolizy i oceny ich znaczenia; znalezienia uproszczeń geometrii modelu, pozwalających na uzyskanie wiarygodnych wyników; określenia najistotniejszych parametrów modelu i ich wpływu na uzyskiwane wyniki oraz identyfikacji warunków termicznych przebiegu procesu pirolizy. W tym rozdziale postawiono trzy tezy, które zostały zweryfikowane w rozprawie. Zakres pracy obejmował: analizę literatury związanej z modelowaniem zjawisk występujących w procesie pirolizy słonecznej; wykonanie analiz parametrycznych pozwalających na znalezienie istotnych parametrów wpływających na proces; wyznaczenie z zastosowaniem analizy odwrotnej parametrów wymiany ciepła w procesie pirolizy słonecznej; modelowanie warunków termicznych w reaktorze oraz opracowanie metodyki analiz inżynierskich procesu pirolizy słonecznej.

W trzecim rozdziale opisano badania przedstawione w artykule pt.: Numerical studies on capability to focus solar radiation with mirrors of different curvatures. W tym artykule opracowano dwuwymiarowy model parabolicznego koncentratora promieniowania słonecznego i absorbera rurowego. Model wykonano w oprogramowaniu komercyjnym ANSYS Fluent. W pierwszym kroku przeprowadzono analizę wrażliwości modelu na zmiany wielkości siatki przestrzennej i kątowej. Następnie numerycznie zbadano 27 geometrii



koncentratora dla dwóch wariantów warunków brzegowych: tylko bezpośrednie promieniowanie słoneczne padające na koncentrator oraz bezpośrednie i dyfuzyjne promieniowanie słoneczne docierające do koncentratora. Najlepsze skoncentrowanie bezpośredniego promieniowania słonecznego uzyskano dla paraboli i kształtów najbardziej zbliżonych do paraboli. Z kolei w przypadku dyfuzyjnego promieniowania słonecznego parabola wypadła gorzej. Znalaziono również konfiguracje o dwóch maksimach koncentracji, ale intensywność promieniowania cieplnego w tych miejscach była dużo niższa niż w przypadku kształtów zbliżonych do paraboli. Nie była ona jednak dwa razy niższa, co sugerowało, że kształty te mogą dostarczyć więcej energii do odpowiednio zaprojektowanego absorbera rurowego. Z kolei konfiguracje o dwóch maksimach wypadły lepiej w przypadku promieniowania dyfuzyjnego. Następnie w modelu w miejscu występowania maksymalnej intensywności promieniowania cieplnego umieszczono absorber. Dla dwóch maksimów zastosowano dwa absorbery. Okazało się, że konfiguracje geometryczne koncentratora z dwoma maksimami są bardzo korzystne. W podsumowaniu stwierdzono, że uzyskane wyniki pokazują duże możliwości optymalizacji koncentratora i absorbera na potrzeby pirolizy słonecznej.

W czwartym rozdziale opisano badania przedstawione w artykule pt.: *Mathematical model of the solar pyrolysis of biomass*. Artykuł opisuje prace związane z opracowaniem dwuwymiarowego osiowosymetrycznego modelu CFD pierwszej uproszczonej wersji reaktora do pirolizy biomasy, który wykorzystano do wstępnej oceny założeń konstrukcyjnych pierwszej wersji stanowiska laboratoryjnego oraz do określenia parametrów mających największy wpływ na działanie reaktora. Model został opracowany w oprogramowaniu ANSYS Fluent 18.2. W artykule dość szczegółowo przedstawiono przyjęty model matematyczny, w którym zastosowano model kinetyki procesu pirolizy bazujący na równaniu Arrheniusa. Na początku wykonano analizę wrażliwości modelu na zmiany wielkości siatki i kroku czasowego. Następnie przeprowadzono analizę wrażliwości uzyskiwanych wyników na zmiany najistotniejszych parametrów wejściowych w modelu. Wielkością kontrolowaną w analizie była średnia temperatura biomasy w reaktorze. Zbadano wpływ mocy lampy symulującej słońce i ogrzewającej reaktor na warunki termiczne w reaktorze oraz wpływ kluczowych parametrów procesu wymiany ciepła na uzyskiwane temperatury złoża biomasy. Rezultaty symulacji numerycznych pokazały, że zwiększenie mocy lampy ma przede wszystkim wpływ na szybkość osiągnięcia stanu ustalonego reaktora, a w niewielkim stopniu na temperaturę reaktora. Większa temperatura zapewniała szybszą reakcję pirolizy. Następnie wyznaczono współczynniki wrażliwości zmian temperatury złoża biomasy w zależności od zmian różnych parametrów wejściowych modelu. Największy wpływ na temperaturę złoża biomasy miały zmiany wartości właściwości fizycznych biomasy oraz zmiany energii aktywacji.

W piątym rozdziale opisano prace wykonane w artykule pt.: *Modelling approaches to waste biomass pyrolysis: a review*. Ten artykuł zawiera przegląd literatury dotyczącej matematycznego modelowania procesu pirolizy biomasy pod kątem: stopnia złożoności modeli; uwzględnionych zjawisk; przyjętych uproszczeń; zastosowanych modeli kinetycznych reakcji chemicznych; metod określania właściwości złoża porowatego z biomasy i metod walidacji modeli. Analizowano także proces pirolizy w zakresie: rodzaju, postaci i wielkości cząstek biomasy oraz budowy i parametrów reaktora. Celem wykonania przeglądu literatury było zdobycie pełnej wiedzy na temat procesu pirolizy i parametrów wpływających na ten proces. Wiedza ta jest niezbędna w procesie budowy modeli obliczeniowych do analiz pirolizy, aby uzyskać zależności opisujące zjawiska oraz polepszyć dokładność modeli. Na podstawie przeglądu literatury stwierdzono, że wiele modeli zawiera uproszczenia geometryczne lub w opisie procesu pirolizy (m.in. zjawisk chemicznych). Wiele



parametrów niezbędnych w modelowaniu pochodzi z danych literaturowych. Nie ma wielu prac dotyczących właściwości biomasy niezbędnych do modelowania. Najczęściej dane te są dostępne dla różnych postaci drewna. Nie ma danych dla biomasy w formie pelletu. Modele literaturowe uwzględniały różne zjawiska np.: odparowanie wilgoci czy skurcz próbki. W większości modeli procesu pirolizy biomasy analizowano głównie biomasę gruntową i tylko nieliczne prace były poświęcone pirolizie dużych cząstek. W podsumowaniu stwierdzono, że nie ma modeli, które jednocześnie opisują zjawiska w reaktorze i wewnątrz cząstek biomasy. Stwierdzono, że kluczowymi czynnikami w modelowaniu pirolizy biomasy nie jest uwzględnianie dodatkowych zjawisk, ale właściwe określenie podstawowych parametrów, takich jak warunki brzegowe w reaktorze i właściwości fizyczne biomasy.

W szóstym rozdziale opisano badania przedstawione w artykule pt.: Application of inverse methodology to estimate unknown parameters of the mathematical model of biomass solar pyrolysis. Praca ta koncentruje się na zastosowaniu rozwiązania zagadnienia odwrotnego w celu znalezienia gęstości strumienia ciepła dostarczanego z lampy ksenonowej do absorbera-reaktora na dedykowanym stanowisku badawczym do analiz pirolizy słonecznej biomasy. W pierwszej części pracy wygenerowano dane referencyjne (zmiana średniej temperatury reaktora), które uzyskano na stanowisku badawczym podczas ogrzewania reaktora niezawierającego biomasy. W tym procesie reaktor pochłaniał część promieniowania emitowanego przez lampę. Ciepło zaabsorbowane zwiększało temperaturę reaktora i było przekazywane do przepływającego przez kanały w reaktorze azotu oraz do otoczenia. Strumienie ciepła absorbowanego i przekazywanego do azotu i otoczenia były nieznane. W zagadnieniu odwrotnym rozwiązywanym z zastosowaniem algorytmów Levenberga-Marquardta i Metropolisa-Hastingsa zidentyfikowano te trzy nieznane strumienie ciepła poprzez wyznaczenie średniej emisyjności powierzchni reaktora ( $\varepsilon$ ), średniego współczynnika wymiany ciepła między powierzchnią reaktora a przepływającym w kanałach azotem ( $\alpha_{cham}$ ) oraz średniego współczynnika wymiany ciepła z otoczeniem ( $\alpha_{surr}$ ). Oszacowano początkowe wartości nieznanymi parametrów. Zagadnienie odwrotne bazowało na prostym zerowymiarowym równaniu bilansu ciepła w reaktorze. Poprawność analizy odwrotnej zweryfikowano na podstawie trójwymiarowego modelu reaktora, który bazował na rozwiązaniu równania przewodzenia ciepła w miedzianej obudowie reaktora i został opracowany w środowisku ANSYS Fluent 19.2. W pierwszym kroku wykonano badania wrażliwości modelu na rozmiar siatki i wielość kroku czasowego oraz dobrano odpowiednią dyskretyzację przestrzenną i czasową. Następnie przeprowadzono obliczenia dla założonych wartości  $\varepsilon$ ,  $\alpha_{cham}$  i  $\alpha_{surr}$ . W zagadnieniu odwrotnym znajdowano te parametry na podstawie sztucznie wygenerowanej w modelu trójwymiarowym i zaszumionej w celu symulowania pomiaru eksperymentalnego średniej temperatury reaktora. W analizie odwrotnej zauważono, że współczynniki przejmowania ciepła  $\alpha_{cham}$  i  $\alpha_{surr}$  są ze sobą silnie powiązane, dlatego algorytm Levenberga-Marquardta miał kłopoty z ich znalezieniem (tj. problem odwrotny był źle postawiony). Lepszy okazał się algorytm stochastyczny Metropolisa-Hastingsa. W ostatniej części artykułu znalezione za pomocą algorytmu odwrotnego wartości  $\varepsilon$ ,  $\alpha_{cham}$  i  $\alpha_{surr}$  wykorzystano jako warunki brzegowe w obu modelach reaktora-absorbera. Następnie przeanalizowano dokładność modeli zero- i trójwymiarowego w odniesieniu do liczby Biota wyznaczonej dla reaktora. Oba modele pomimo zasadniczej różnicy w złożoności miały niemalże identyczne przewidywania.

W ostatnim rozdziale podsumowano rozprawę, w ramach której analizowano możliwości modelowania procesu pirolizy biomasy i opracowano następujące narzędzia: dwuwymiarowy model koncentratora promieniowania słonecznego, dwuwymiarowy osiowosymetryczny cieplno-chemiczny model rozpadu pelletu z biomasy oraz modele zero- i trójwymiarowego reaktora na cele analizy odwrotnej. Narzędzia te zostały zastosowane do



opracowania metodyk: analizy i doboru parametrów w układzie koncentrator i absorber, badania zjawisk w procesie pirolizy biomasy i analiz wpływu różnych parametrów na przebieg procesu pirolizy pelletu z różnych typów biomasy oraz wyznaczania nieznanych parametrów w reaktorze służącym do prowadzenia procesu pirolizy. W podsumowaniu zawarto również ogólne konkluzje dotyczące możliwości modelowania procesu pirolizy pelletu z biomasy oraz reaktorów do jego prowadzenia.

### 3. Elementy nowości naukowej

Biorąc pod uwagę zawartość rozprawy doktorskiej stwierdzam, że zawiera ona elementy nowości naukowej, które stanowią oryginalny dorobek Doktorantki. Niewątpliwie analizowane zagadnienie jest bardzo złożone i stanowi duże wyzwanie badawcze w zakresie modelowania.

Głównym osiągnięciem naukowym jest opracowanie różnych narzędzi i metodyk obliczeniowych do analizy i projektowania elementów układów do prowadzenia pirolizy słonecznej pelletu z biomasy. W szczególności Doktorantka opracowała:

- Metodykę i model obliczeniowy do analiz i optymalizacji układu koncentrator-absorber. Opracowany model nie jest złożony koncepcyjnie, ale został zastosowany do rozwiązania konkretnego problemu związanego z budową i optymalizacją układu koncentrator-absorber w urządzeniach do pirolizy słonecznej biomasy, co stanowi osiągnięcie Doktorantki. Model posłużył do uzyskania interesujących rezultatów związanych z kształtem zwierciadła oraz położeniem i ilością absorberów, które również charakteryzują się elementami nowości naukowej.
- Metodykę i model obliczeniowy do analiz i doboru parametrów w reaktorze do pirolizy słonecznej pelletu z biomasy o dużych cząstkach i o różnym składzie. W mojej ocenie opracowany model wyróżnia się na tle literatury światowej i jest to najistotniejsze osiągnięcie zawarte w rozprawie doktorskiej. Model posłużył do przeprowadzenia analizy parametrycznej elementów układu (reaktora) do prowadzenia pirolizy słonecznej pelletu z biomasy oraz do oceny wrażliwości procesu pirolizy na zmiany parametrów wejściowych modelu (m.in. parametrów operacyjnych, właściwości fizycznych pelletu z biomasy i parametrów kinetycznych reakcji). Uzyskane wyniki stanowią również istotne osiągnięcie Doktorantki, ponieważ dostarczają istotnych i nowych informacji o wpływie różnych parametrów na przebieg procesu pirolizy pelletu z biomasy o dużych cząstkach i różnym składzie. Małym mankamentem obniżającym wartość naukową tego osiągnięcia jest brak weryfikacji i walidacji opracowanej metodyki i narzędzia.
- Metodyka i narzędzia do określania warunków termicznych na powierzchniach reaktora-absorbera do prowadzenia pirolizy słonecznej z zastosowaniem rozwiązania zagadnienia odwrotnego. Opracowane narzędzie jest proste koncepcyjnie i bazuje na elementarnych modelach, ale zastosowano je do rozwiązania konkretnego problemu związanego z określeniem emisyjności i współczynników przejmowania ciepła na powierzchniach laboratoryjnego reaktora do prowadzenia pirolizy słonecznej. Zatem opracowana metodyka i narzędzia oraz uzyskane wyniki charakteryzują się elementami nowości naukowej.

Istotnym elementem rozprawy doktorskiej jest bardzo szczegółowy krytyczny przegląd literatury w zakresie modelowania procesu pirolizy biomasy oraz wnioski sformułowane na jego podstawie przez Doktorantkę, które dotyczyły opracowywania użytecznych narzędzi inżynierskich (modeli obliczeniowych) do analiz pirolizy biomasy. Jest to cenne uzupełnienie osiągnięć zaprezentowanych w ocenianej rozprawie doktorskiej.



#### 4. Wartości użytkowe rozprawy

Recenzowana rozprawa ma walor aplikacyjny, wynikający wprost z jej zakresu. Przedstawione w ramach rozprawy metodyki i narzędzia do analiz elementów układów do prowadzenia pirolizy słonecznej pelletu z biomasy mogą być zastosowane w pracach projektowych związanych z budową laboratoryjnych reaktorów słonecznych do prowadzenia pirolizy biomasy oraz instalacji przemysłowych. Zgodnie z informacjami zawartymi w rozprawie wyniki uzyskane z zastosowaniem metodyki i modelu opracowanego w czwartym rozdziale zostały wykorzystane do wstępnej weryfikacji założeń konstrukcyjnych i parametrów pracy stanowiska laboratoryjnego.

#### 5. Uwagi merytoryczne

Po przeczytaniu rozprawy doktorskiej nasunęły mi się następujące uwagi, pytania i komentarze natury merytorycznej:

##### Ogólne

- Moim zdaniem w rozprawie brakuje przedstawienia zbiorczej metodyki lub modelu lub analizy, które łączyłyby metodyki i modele (lub ich elementy) opracowane w rozprawie i opisane w rozdziałach trzecim, czwartym i szóstym. Na przykład wyniki uzyskane w rozdziale szóstym mogłyby zostać z powodzeniem wykorzystane do dopracowania modelu opisanego w rozdziale czwartym i do przeprowadzenia oceny wiarygodności tego modelu. Z jakiego powodu nie przeprowadzono takich prac?
- W rozprawie nie przeprowadzono analizy weryfikacyjnej i walidacyjnej metodyk i narzędzi obliczeniowych opisanych w rozdziale trzecim i czwartym. Szczególnie zastanawiający jest brak walidacji eksperymentalnej modelu opisanego w rozdziale czwartym. Doktorantka miała dostęp do stanowiska eksperymentalnego i mogła uzyskać dane niezbędne do przeprowadzenia walidacji modelu. Z jakiego powodu nie przeprowadzono oceny wiarygodności wspomnianych narzędzi obliczeniowych (nawet częściowej dotyczącej modeli składowych)?
- Czytając rozprawę miałem wrażenie, że terminy weryfikacja i walidacja były używane zamiennie. Proszę wyjaśnić różnicę pomiędzy weryfikacją (analizą weryfikacyjną) i walidacją (analizą walidacyjną) modelu.

##### Spis oznaczeń

- W spisie oznaczeń symbol  $c$  oznacza pojemność cieplną (*heat capacity*) i ma jednostkę  $J/kg/K$ . Jest to błędna nazwa, ponieważ  $c$  powinno oznaczać ciepło właściwe (*specific heat*). Pojemność cieplna zwykle oznaczana  $C$  jest definiowana jako ilość ciepła zmagazynowana w ciele na Kelwin. Jej jednostką jest  $J/K$ , zatem  $C = mc$ , gdzie  $m$  to masa ciała, a  $c$  to ciepło właściwe.
- W spisie oznaczeń symbol  $\phi$  oznacza funkcję fazową (*phase function*). Jest to niepełna nazwa tego symbolu, ponieważ  $\phi$  to funkcja fazowa rozpraszania (*scattering phase function*).

##### Rozdział 3

- W rozdziale trzecim przedstawiono model i analizę układu koncentrator-absorber (reaktor). Nie sformułowano jednak opisu matematycznego analizowanych zjawisk optycznych. Proszę podać ten opis tj. równania i warunki brzegowe.

- W rozdziale trzecim podano, że do symulacji promieniowania cieplnego użyto modelu Discrete Ordinates (DO). Jest to zgodne z nazewnictwem w programie ANSYS Fluent. Jednak w literaturze światowej poświęconej promieniowaniu cieplnemu model zaimplementowany w oprogramowaniu ANSYS Fluent określany jest jako model bazujący na metodzie objętości kontrolnych (Finite Volume Method for radiative heat transfer, FVM). W oprogramowaniu ANSYS Fluent jest stosowana mylna nazwa, która sugeruje, że zaimplementowano opisany w literaturze światowej inny model bazujący na metodzie dyskretnych kierunków (Discrete Ordinates Method, S-N). Doktorantka powinna rozróżniać modele stosowane do rozwiązania równania transportu promieniowania.
- W pracy zawarto następujące stwierdzenie: „...the computational space is divided into selected number of solid angles (angular discretization) and for each direction being the axis of such an angle...”, które sugeruje, że kąty kontrolne są osiowosymetryczne. Jaki jest podział na kąty kontrolne w metodzie FVM? Jaki mają one kształt?
- W pracy zawarto następujące sformułowanie: „radiation energy transport equation”, które nie funkcjonuje w literaturze światowej dotyczącej promieniowania cieplnego. Jaka jest prawidłowa nazwa równania (2)?
- Dlaczego w symulacjach dotyczących geometrii koncentratora pominięto promieniowanie otoczenia przyjmując, że temperatura otoczenia to 0K? Czy oszacowano wpływ promieniowania otoczenia na uzyskiwane wyniki?
- Czy oszacowano wpływ strat konwekcyjnych w układzie koncentrator-absorber (reaktor)?
- Dlaczego nie przeprowadzono analiz weryfikacyjnych i/lub walidacyjnych opracowanego modelu? Czy przeprowadzono analizę literatury pod kątem danych, które można byłoby wykorzystać do weryfikacji lub/i walidacji modelu optycznego koncentratora?

#### **Rozdział 4**

- Model przedstawiony w rozdziale czwartym nie został jasno opisany.
  - Proszę podać szczegóły dotyczące implementacji w oprogramowaniu komercyjnym dwuwymiarowego osiowosymetrycznego modelu CFD pierwszej uproszczonej wersji reaktora do prowadzenia pirolizy słonecznej biomasy? Jakie modele zastosowano? Czy były to modele wbudowane w oprogramowaniu komercyjnym? Czy zastosowano modele, które wymagały własnej implementacji poprzez interfejs UDF?
  - Czy w modelu opisanym w rozdziale czwartym uwzględniono tylko efekty cieplne związane z procesem pirolizy czy również uwzględniono powstające gazy w bilansie masowym?
  - W jaki sposób modelowano stopień przereagowania biomasy?
  - Jakie parametry przyjęto w modelu ośrodka porowatego?
  - Czy właściwości ośrodka porowatego (np.: porowatość) zmieniały się w trakcie symulacji?
  - Czy w przypadku właściwości fizycznych biomasy uwzględniano zmiany właściwości wraz z przebiegiem reakcji? Jeżeli nie, to co stoi na przeszkodzie, żeby uwzględnić te efekty w modelu?



- Jak określono właściwości optyczne niezbędne do rozwiązania równania transportu promieniowania?
- Jakie warunki brzegowe przyjęto do przeprowadzenia symulacji?
- Co oznacza symbol „ $\phi$ ” występujący w tabeli 2 i 3?
- Na jakiej podstawie określono parametry fizyczne podane w tabeli 2?
- W rozdziale 4 stosowano symbol „ $c_p$ ”, który oznaczał ciepło właściwe biomasy. Bardziej zasadnym byłoby użycie symbolu  $c$ . Symbol  $c_p$  sugeruje, że jest to ciepło właściwe przy stałym ciśnieniu i z reguły jest stosowany w przypadku gazów.
- Na jakiej podstawie stwierdzono, że model przewiduje właściwe wyniki? Czy wykonano jakąkolwiek ocenę wiarygodności modelu (weryfikację i/lub walidację)? Dlaczego model nie został zwalidowany na podstawie wyników uzyskanych na stanowisku badawczym?

## Rozdział 6

- W pracy zawarto następujące stwierdzenie: „The 3D model accurately reflected the geometry of the system and solved the heat conduction equation using the finite element method.” Jakie oprogramowanie zastosowano do rozwiązania zagadnienia? Na jakiej metodzie jest ono oparte?

## 6. Uwagi edycyjne

Rozprawa została napisana w języku angielskim. Styl wypowiedzi jest poprawny typowy dla opracowań naukowych. Układ pracy jest czytelny. Cele rozprawy, jej zakres oraz osiągnięcia naukowe są opisane przejrzysto. Strona edycyjna rozprawy nie budzi zastrzeżeń, a liczba błędów redakcyjnych jest niewielka.

W trakcie czytania pracy zauważyłem następujące błędy redakcyjne:

- Strona 8, błąd ortograficzny: „procedure”.
- Strona 13, brak spacji: „-all” i „eq.1”.
- Zasadą obowiązującą w piśmiennictwie naukowym jest powoływanie się na numery równań dopiero po ich wprowadzeniu. W pracy zdania wprowadzające równania zawierały ich numery np.: „...can be described by eq.1:”. Nie jest to poprawne stylistycznie. Poprawną formą byłoby zastosowanie następujących konstrukcji: „...can be described by the following formula:” lub „...can be described as follows:” bez podawania numeru równania.
- Strona 25, brak spacji: „-aimed” i „-sewage”.
- Strona 27, zamiast „Open Source” powinno być „Open Access”.
- Strona 29, brak spacji: „eq.2” i „function,-”.
- Strona 29, w „W/m<sup>2</sup> – „2” powinno być zapisane jako indeks górny.
- Strona 31, brak spacji: „recalculated-”.
- W tabelach 2 i 3, na rys. 19 i 20 oraz w opisie rys. 20 symbole nie zostały pochylone.
- Na rys. 20a w legendzie  $c_p$ ,  $k$ ,  $\phi$  i  $\rho$  powinny być zapisane jako indeksy dolne.
- Nie został wyjaśniony symbol  $\phi$ , który jest na rys. 20a.
- Strona 39, brak spacji: „eq.5”, „w-”, „T-average”, „X-” i „Fig.19”.
- Strona 39, niektóre symbole w tekście oraz w równaniu 6 nie zostały pochylone.
- Strona 40, niepotrzebny myślnik we fragmencie „energy – influences”.



- Strona 40, we fragmencie: „...e.g. di Blasi states that the key role for the calculations play the density and thermal conductivity [46].” numer cytowania powinien zostać umieszczony zaraz po nazwisku autora, a nie na końcu zdania.
- Strona 42, brakuje dwukropka: „to 1)”.
- Strona 42, brakuje przecinka lub „and”: „time 2)”.
- Strona 44, brak spacji: „-focused” i „-taking”.
- Strona 45, błąd ortograficzny: „increasinf”.
- Strona 45, brakuje dwukropka: „ascertain a)”.
- Strona 45, brakuje przecinka lub „and”: „results b)”, „improvement c)”, „system b)” i „software c)”.
- Strona 47, brak spacji: „temperature-” i „ $T_{N2}, T_{surr}$ ”.
- Strona 47, zamiast „c copper heat capacity” powinno być „c copper specific heat”.
- Strona 48, brak spacji: „(M-H).The”.
- Strona 49, „ $W/mK$ ” – jednostki nie powinny być pisane kursywą.
- Strona 49, brakuje przecinka: „conditions b)”.
- Strona 49, brakuje przecinka lub słowa „and”: „channels c) division”.
- Strona 50, brakuje dwukropka: „by a)”.
- Strona 50, brakuje przecinka lub słowa „and”: „algorithm b)”.
- Strona 52, brakuje przecinka lub słowa „and”: „,) b)”.
- Strona 52, brakuje spacji: „Bi-”.
- Strona 53, brak spacji: „model-” i „reactor-Fig. 7a)”.
- Strona 57, brak spacji w „reactor-”.

## 7. Wnioski końcowe

Oceniana rozprawa doktorska zawiera elementy nowości naukowej i wnosi wkład poznawczy w obszarze modelowania procesów pirolizy biomasy o różnej formie i składzie. Doktorantka wykazała się umiejętnością sformułowania problemów badawczych i ich rozwiązania przy użyciu właściwych metod obliczeniowej wymiany ciepła i mechaniki płynów. Zatem Doktorantka opanowała warsztat pracy naukowej w zakresie badań teoretycznych i zaawansowanego modelowania numerycznego. Opracowane w rozprawie oryginalne metodyki i narzędzia obliczeniowe mają walory naukowe oraz praktyczne. Tematyka rozprawy doktorskiej wpisuje się w dyscyplinę Inżynierii Środowiska Górnictwa i Energetyki. Na uwagę zasługuje fakt, że rezultaty przedstawione w rozprawie doktorskiej zostały w pełni opublikowane w czterech artykułach naukowych w międzynarodowych czasopismach indeksowanych w bazie Web of Science Core Collection.

Podsumowując: rozprawa doktorska Pani mgr. inż. Zuzanny Kaczor pt.: Numerical modelling of solar pyrolysis process of the waste biomass spełnia wymagania stawiane przez obowiązującą Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. W oparciu o powyższe wnioskuje o dopuszczenie jej do publicznej obrony.