

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Pytlik

pt. „Metoda modelowania zjawisk ciepłno-przepływowych w magazynach ciepła
wypełnionych materiałem zmiennofazowym lub sorpcyjnym”

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji było pismo Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej dr hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. PWr wynikające z uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Wrocławskiej z dnia 22 stycznia 2025 roku.

Ocenę rozprawy sporządziłem zgodnie z artykułem 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022r., poz. 574 z późn. Zm.). Zgodnie z zapisami ustawy recenzja powinna jednoznacznie rozstrzygać czy:

- rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka,
- rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora;
- rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,

Wydział Mechaniczno-Energetyczny

Wpłynęło dnia 28.03.2025 r.

2. Informacje ogólne

Oceniana praca doktorska wykonana została na Wydziale Mechaniczno-Energetycznym Politechniki Wrocławskiej pod opieką Pana dr hab. inż. Piotra Szulca, prof. uczelni, pełniącego w przewodzie doktorskim obowiązki promotora oraz promotora pomocniczego dr inż. Daniela Smykowskiego.

3. Ocena problematyki badawczej

Rozprawa doktorska dotyczy opracowania uproszczonej metody modelowania numerycznego sorpcyjnych magazynów ciepła. W metodzie zastosowano uproszczenie polegające na zamodelowaniu ośrodka porowatego przy pomocy jednolitej domeny. Bardzo ważnym złożeniem jest wyznaczenie dokładnych charakterystyk termofizycznych materiału porowatego przy użyciu różnicowej kalorymetrii skaningowej. Zaprezentowana w pracy metoda pozwala na uproszczenie modelowania pracy sorpcyjnego magazynu ciepła oraz skrócenie czasu obliczeń a tym samym modelowanie magazynów o pojemnościach przemysłowych co przy dokładnym podejściu było bardzo trudne ze względu na skalę zagadnienia.

Zagadnienie magazynowania energii nabiera w obecnych czasach coraz większego znaczenia. Jest to powodowane głównie przez zachodzące zmiany w energetyce dotyczące przechodzenia na niestabilne odnawialne źródła energii oraz wymagania podnoszenia efektywności energetycznej w wielu dziedzinach przemysłu i życia codziennego. Wobec tego pojawia się konieczność wdrażania coraz to nowych metod umożliwiających elastyczne zarządzanie i dystrybucję energii w tym energii cieplnej. Do najbardziej przyszłościowych metod zalicza się metody magazynowania ciepła z wykorzystaniem ciepła utajonego przemian fazowych oraz procesów sorpcyjnych. Ze względu na złożoność procesów jakie zachodzą w magazynach ciepła, w szczególności wymienionych powyżej, bardzo istotną rolę odgrywa modelowanie numeryczne które pozwala lepiej dobrać kluczowe parametry magazynów takie jak moce ładowania czy rozładowania oraz pojemności czy gabaryty geometryczne. W przedstawionej mi do recenzji dysertacji zostały zamieszczone wyniki analiz numerycznych o różnym poziomie szczegółowości, dotyczących badania zjawisk cieplnych i przepływowych jakie zachodzą w magazynach wypełnionych materiałem PCM oraz sorpcyjnym. Na szczególne podkreślenie zasługuje weryfikacja eksperymentalna założeń modelu obliczeniowego z zastosowaniem metody badawczej, co znacząco podnosi wartość pracy.

Biorąc pod uwagę fakt, że dotychczasowa wiedza na temat analizowanych zjawisk nie jest pełna, a także ponieważ istnieje konieczność dalszego zwiększenia efektywności magazynowania energii cieplnej (do czego niewątpliwie przedstawione wyniki badań prowadzą), należy stwierdzić, że **tematyka pracy doktorskiej mgr inż. Beaty Pytlik jest ważna i aktualna**. Wymaga ona szerszego rozpoznania zarówno teoretycznego jak i praktycznego, poczynając od badań laboratoryjnych, aż do wdrożeń w większych skalach. Aktualność podjętej tematyki potwierdza również duża ilość publikacji naukowych z ostatnich lat cytowanych w pracy.

4. Cel i zakres pracy

Celem pracy było udowodnienie tezy w brzmieniu: „Możliwe jest wykorzystanie analogii pomiędzy właściwościami termofizycznymi materiału sorpcyjnego a właściwościami termofizycznymi materiału zmiennofazowego do modelowania pojemności cieplnej materiału magazynującego ciepło”.

Udowodnienie tak postawionej tezy Doktorantka uzyskała poprzez realizację założonego planu pracy, obejmującego zarówno część teoretyczno-obliczeniową, jak również część praktyczno-doświadczalną. Zarówno wyniki rozważań teoretycznych, symulacji numerycznych jak również praktycznego eksperymentu pozwoliły na opracowanie uproszczonej metody numerycznego modelowania magazynu złoża porowatego za pomocą podejścia wykorzystywanego w analizach materiałów zmiennofazowych, co pozwala znacznie uprościć analizę takich magazynów, również w skalach przemysłowych.

5. Formalna charakterystyka pracy

Praca doktorska liczy łącznie 94 stron tekstu zasadniczego i zawiera 9 rozdziałów (str. 3-80), które poprzedza spis treści oraz wykaz ważniejszych oznaczeń (str. 1). Pracę doktorską kończy natomiast wykaz literatury (str. 82-94), zawierający 146 pozycje reprezentatywne dla tematu dysertacji, z których Doktorantka jest współautorem dwóch prac.

We Wstępie, który stanowi pierwszy rozdział pracy, Doktorantka uzasadnia potrzebę podjęcia tematu pracy zmianami na rynku energetycznym wynikającymi z transformacji a w szczególności ze wzrostem udziału niesterowalnych źródeł energii.

Następnym rozdziałem jest przegląd wiedzy. Został on podzielony na cztery części, które dotyczą zagadnień związanych z globalnym zużyciem energii, metodami magazynowania ciepła, magazynowania ciepła w materiałach PCM, magazynowania ciepła w materiałach termochemicznych, wykorzystania zjawiska adsorpcji w magazynowaniu ciepła, oraz modelowaniu matematycznemu modelowania zeolitowego magazynu ciepła. Najważniejszą częścią przeglądu literatury jest na pewno część dotycząca metod magazynowania bezpośrednio związanych z tematem rozprawy tj. wykorzystania w akumulacji ciepła materiałów zmiennofazowych oraz sorpcyjnych.

W rozdziale trzecim Autorka definiuje cel, tezę i zakres pracy. Jako cel pracy wskazała opracowanie i walidację uproszczonej metody modelowania numerycznego procesów termochemicznych towarzyszących pracy sorpcyjnych magazynów ciepła w dużej skali. Następnie sformułowana została teza pracy. Na koniec, w pięciu punktach wskazany został zakres pracy, który pokrywa się z treścią kolejnych rozdziałów rozprawy doktorskiej.

Rozdział czwarty zawiera opis, opracowanej przez Doktorantkę, autorskiej metody modelowania magazynu ciepła wypełnionego materiałem PCM lub materiałem sorpcyjnym. W pierwszej części porównane zostały metody szczegółowe modelowania akumulatorów ciepła (PCM i sorpcyjnego), ze szczególnym uwzględnieniem złożoności algorytmów. Na czytelnych schematach pokazano ideę wykorzystania modelu uproszczonego do obliczania magazynów zeolitowych. *W dalszej części zaprezentowano sposób przeprowadzania modelowania procesu magazynowania. Punkt wyjścia stanowił opis procesów wymiany ciepła w magazynie, który został podzielony na następujące etapy: wymiana ciepła między czynnikiem roboczym a ścianką rury, przewodzenie ciepła przez ściankę rury oraz przekazywanie/odbieranie ciepła do materiału magazynującego energię. Kierunek przepływu ciepła w układzie zależy od tego czy mamy do czynienia z procesem ładowania czy rozładowywania magazynu. Najtrudniejszym do opisanie jest trzeci wymieniony w rozprawie etap związany z przepływem ciepła przez materiał magazynujący. Związane jest to z występowaniem w rozważanych akumulatorach zjawisk przemiany fazowej lub dodatkowych reakcji chemicznych (co powoduje konieczność uwzględnienia również procesu wymiany masy). Doktorantka zwraca szczególną uwagę na konieczność precyzyjnego określenia zmian własności termofizycznych (gęstości, ciepła właściwego, współczynnika przewodzenia, temperatur zmian fazowych itp.) materiału magazynującego ciepło w funkcji temperatury. Proces ten jest szczególnie złożony w przypadku materiałów sorpcyjnych ze względu na równoczesne występowanie zeolitu, płynu (w tym przypadku wody) oraz powietrza.*

Rozdział piąty poświęcony został zagadnieniu wyznaczania własności termofizycznych materiału magazynującego ciepło, które mają znaczący wpływ na rozwiązanie numeryczne z zastosowaniem opracowanej metody. Do wyznaczenia zmian własności wykorzystane zostały metody różnicowej kalorymetrii skaningowej oraz termograwimetrii. Przeprowadzone badania pozwoliły zrozumieć zachowanie badanych próbek materiałów w warunkach pracy w szerokim zakresie temperatury, przy zmianie stanu skupienia czy masy.

Opis modelowania numerycznego procesu magazynowania ciepła stanowi rozdział szósty. Rozdział ten został podzielony na dwa podrozdziały dotyczące odpowiednio modelowania magazynu z materiałem zmiennofazowym oraz z materiałem sorpcyjnym. Opisano w nich sposób modelowania z wykorzystaniem oprogramowania Comsol Multiphysics, w tym w szczególności:

- własności termofizyczne materiałów,
- warunki brzegowe,
- analizowane geometrie
- wpływ wielkości siatki na uzyskane rozwiązanie.

Dla przypadku magazynu z materiałem sorpcyjnym wykonano badania o różnej szczegółowości modelu począwszy od małej objętości obejmującej pojedyncze ziarno zeolitu, przez wycinek złoża składający się z kilku ziaren aż po cały magazyn ciepła.

Rozdział 7 poświęcony został opisowi przeprowadzonego badania doświadczalnego. Również ten rozdział podzielony został na dwa podrozdziały opisujące stanowiska do badań magazynu zmiennofazowego oraz sorpcyjnego. Opisane zostały stanowiska laboratoryjne, w tym szczegółowa ich budowa, również na schematach ideowych oraz fotografiach, lokalizacja punktów pomiarowych, opis zastosowanej aparatury kontrolno-pomiarowej oraz parametrów początkowych.

Kolejną część pracy doktorskiej stanowi Rozdział 8 w którym przedstawione zostały i omówione wyniki uzyskane na stanowisku laboratoryjnym oraz wyniki analiz numerycznych. W pierwszej kolejności Doktorantka porównała zmiany temperatury w czasie dla wybranych punktów pomiarowych modelu zmiennofazowego magazynu ciepła. Otrzymane z analiz numerycznych wyniki rozkładu temperatury różnią się o około 15% od wyników z badań eksperymentalnych. Następnie Doktorantka prezentuje wyniki analiz dla opracowanych modeli sorpcyjnego magazynu ciepła:

- Modelu jednego ziarna – przedstawione zostały rozkłady temperatury wewnątrz ziarna, zmiany temperatury powietrza na wylocie, prędkość przepływu czynnika roboczego przez objętość kontrolną, zmiany ilości zwilżonego zeolitu w objętości. Otrzymane wyniki potwierdzają, że opracowany model uproszczony dobrze oddaje przebieg reakcji opisany w modelu szczegółowym.
- Modelu wycinka złoża – przedstawione zostały takie same wyniki jak dla modelu jednego ziarna. Celem obliczeń było porównanie dokładności obliczeń numerycznych z uproszczonego modelu adsorpcji na wycinku złoża zeolitu z wynikami z modelu szczegółowego. Wykazano również skrócenie czasu obliczeń w przypadku modelu uproszczonego
- Modelu magazynu ciepła – przedstawiono porównanie rozkładów temperatury otrzymane dla doświadczenia na stanowisku laboratoryjnym z wynikami obliczeń numerycznych modelu uproszczonego opisanego w rozdziale 4. Zaobserwowano różnice w wynikach osiągające od 4 do 15%.

Ostatni rozdział (Rozdział 9) zawiera formalne podsumowanie pracy, oraz wykaz wniosków które potwierdziły osiągnięcie celów oraz dowiedzenia tezy pracy. Podsumowanie zakończono deklaracją kontynuowania badań co pozwoli rozszerzyć wyniki analiz zaprezentowanych w dysertacji.

6. Ocena pracy

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska stanowi interesującą pracę o dobrym poziomie merytorycznym i dużym znaczeniu w kontekście poszerzenia wiedzy na temat zjawisk cieplnych i przepływowych zachodzących w magazynach wykorzystujących materiały zmiennofazowe oraz sorpcyjne.

6.1 Główne osiągnięcie Autora

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki uważam:

- Podjęcie trudnej próby opracowania uproszczonej metody pozwalającej na prowadzenie symulacji pracy magazynu ciepła również w dużej skali. W mojej ocenie Doktorantka w pełni wywiązał się z podjętego, określonego celem i tezą zadania. Wyczerpująco zrealizowała założony zakres prac, przeprowadzając weryfikację

eksperymentalną z zastosowaniem metody badawczej oraz poprzez modelowanie numeryczne. Dzięki szczegółowym analizom możliwe było poszerzenie wiedzy na temat procesów cieplnych i przepływowych jakie zachodzą podczas eksploatacji magazynów ciepła utajonego, oraz zastosowanie tej wiedzy do modelowania z dostateczną dokładnością magazynów sorpcyjnych.

- Zaplanowanie eksperymentu, oraz wykorzystanie stanowiska laboratoryjnego z sekcją badawczą, pozwalającego na przeprowadzenie eksperymentu.
- Opracowanie modeli numerycznych w środowisku programu Comsol Multiphysics oraz przeprowadzenie walidacji uzyskanych wyników za pomocą wyników eksperymentalnych.

6.2 Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta.

Opracowanie metody modelowania zjawisk cieplno-przepływowych w magazynach ciepła wypełnionych materiałem PCM lub sorpcyjnym wymagało od Doktorantki poznania aktualnego stanu wiedzy dotyczącej procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w akumulatorach energii cieplnej, oraz przeprowadzenia skomplikowanych symulacji numerycznych procesów w nich zachodzących. Zagadnienia te zostały opisane w rozdziale 2 gdzie została zacytowana większość z 146 pozycji bibliograficznych zacytowanych w pracy. Większość zacytowanych pozycji (ponad 80%) stanowiły nowe pozycje literaturowe z lat 2017-2024. Ponadto Doktorantka była współautorem w dwóch zacytowanych pozycjach literaturowych dotyczących modelowania akumulatorów ciepła z wypełnieniem PCM. Analiza szczegółowa rozdziału 2 zatytułowanego stan wiedzy pozwala jednoznacznie stwierdzić, że Pani mgr Beata Pytlik posiada dużą wiedzę teoretyczną w zakresie:

- Metod magazynowania ciepła ze szczególnym uwzględnieniem akumulacji w materiałach zmiennofazowych oraz termochemicznych
- Modelowania matematycznego zjawisk cieplno-przepływowych zachodzących w akumulatorach ciepła

Wykorzystanie tej wiedzy pozwoliło Autorce na przeprowadzenie prac badawczych sformułowanych w rozprawie.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska prezentuje dużą wiedzę teoretyczną Doktorantki w obszarze systemów akumulacji energii w szczególności z wykorzystaniem materiałów PCM oraz termochemicznych.

6.3 Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Przedstawiona mi do recenzji praca doktorska pokazuje krok po kroku sposób opracowania oraz weryfikacji przez Panią mgr Beatę Pytlik uproszczonej metody numerycznej modelowania zjawisk cieplno-przepływowych zachodzących w zmiennofazowym oraz sorpcyjnym magazynie ciepła. Koncepcja uproszczonej metody sprowadza się do modelowania złoża porowatego za pomocą domeny monolitycznej, dzięki czemu znika konieczność modelowania pojedynczych ziaren oraz modelowania reakcji chemicznej. Pozwala to znacznie uprościć analizę przy równocześnie znacznie mniejszym zapotrzebowaniu na moc obliczeniową. W kolejnym rozdziale Autorka prezentuje wyniki badań dotyczące wyznaczania własności materiału magazynującego ciepło, które stanowiły dane wejściowe do opracowanych modeli numerycznych. W rozdziale 7 opisane zostały wyniki symulacji numerycznych, o różnych stopniach złożoności, magazynów ciepła z wypełnieniem PCM i termochemicznym. W kolejnym etapie prace naukowo-badawcze prowadzone były na stanowisku `laboratoryjnym. Celem tych prac było uzyskanie wyników, które pozwolą na weryfikację opracowanej metody obliczeniowej. W końcowym etapie mgr inż. Beata Pytlik dokonał analizy porównawczej wyników uzyskanych z uproszczonego modelu numerycznego z wynikami z modelu szczegółowego oraz wynikami badań eksperymentalnych. Przeprowadzone i opisane w pracy badania badawcze pokazują jednoznacznie, że Pani mgr inż. Beata Pytlik potrafi powiązać wiedzę teoretyczną i praktyczną. Według mnie przedstawiona mi do oceny praca jest samodzielną, pokazuje umiejętność przeprowadzenia trudnych symulacji numerycznych, planowania oraz przeprowadzenia badań stanowiskowych i eksperymentu laboratoryjnych, jak również przeprowadzenia analizy wyników oraz sformułowania szczegółowych wniosków.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska wykazała umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Panią mgr inż. Beatę Pytlik.

6.4 Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Opracowana metoda modelowania zjawisk ciepłno-przepływowych w magazynach ciepła wypełnionych materiałem zmiennofazowym lub sorpcyjnym jest według mojej opinii rozwiązaniem oryginalnym. Zaprezentowana metoda pozwala w sposób znacznie mniej złożony, w stosunku do rozwiązań szczegółowo opisujących zjawiska w rozważanych magazynach ciepła, szybszy oraz przy znacznie mniejszym zapotrzebowaniu na zasoby obliczeniowe badać zjawiska ciepłno-przepływowe zachodzące w akumulatorach ciepła wykorzystujących materiał PCM lub sorpcyjny. W pracy Pani mgr inż. Beata Pytlik udowodniła (poprzez zaprezentowane wyniki symulacji numerycznych oraz wyniki stanowiskowych badań laboratoryjnych), że opracowany przez nią model umożliwia przeprowadzanie obliczeń dla pełnoskalowych magazynów ciepła z zadawalającą dokładnością.

Podsumowując, uważam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

6.5 Uwagi krytyczne i pytania

Praca przygotowana została prawidłowo, cel i teza pracy są jasne, tok prac zmierzających do ich udowodnienia są czytelne i prawidłowe, jednakże w trakcie szczegółowej lektury rozprawy doktorskiej można znaleźć elementy mogące wymagać dodatkowego wyjaśnienia lub dyskusji. Poniższe uwagi krytyczne nie umniejszają mojej pozytywnej oceny merytorycznej rozprawy.

1. W rozdziale 8 Doktorantka pokazuje rozbieżność wyników na poziomie 15% (zarówno dla magazynu PCM jak i zeolitowego), jednak nie podejmuje próby wyjaśnienia przyczyn występowania różnic w wynikach. Jakie czynniki mogły mieć wpływ na wystąpienie rozbieżności? Czy można je zmniejszyć?
2. W pracy Autorka pisze, że „wartość graniczną zagęszczania siatki przyjęto dla różnicy temperatur między siatkami w wybranych reprezentatywnych punktach wynoszącej $\Delta T = 0.005^\circ\text{C}$ ”. Proszę o wyjaśnienie jak to wyglądało w przypadku rozwiązywanego zagadnienia niestacjonarnego.

Dzien

3. Czy dobór modelu turbulencji został przeprowadzony wyłącznie na podstawie badania literatury (tak rozumiem zdanie ze strony 44)? Czy mógłby być w tym przypadku zastosowany inny model turbulencji?
4. Proszę o rozwinięcie zdania ze strony 44: „Do opisu wymiany ciepła pomiędzy czynnikiem roboczym a rurą ożebrowaną zastosowano znane modele z literatury [127,137].
5. Tabela 6.3 została opisana jako warunki brzegowe do obliczeń. W tabeli przedstawiono jednak oprócz warunków brzegowych parametry geometryczne czy własności fizyczne materiałów
6. Czy Doktorantka zastosowała warstwę przyścienną? Rysunek 6.3 pokazuje zagęszczenie siatki przy ścianie ale czy siatka została zagęszczona za pomocą warstw inflacyjnych. Czy warstwa przyścienna jest wymagana w analizowanym przypadku?
7. W jaki sposób wyznaczono krok czasowy do obliczeń numerycznych w poszczególnych modelach? Temat ten został pominięty w pracy.
8. Na stronie 54 Doktorantka pisze, że „analiza wykazała, że zwiększenie liczby elementów siatki ponad wskazane w tabeli 6.8, nie poprawia już w sposób znaczący jej jakości”. Czy „jakość” siatki obliczeniowej jest gwarantem uzyskani poprawnych wyników?
9. Jakie były wymiary próbek opisywanych w rozdziale 5? W jaki sposób podgrzewano i chłodzono próbkę z szybkością $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$? Jak była mierzona temperatura próbki?
10. W rozdziale 8 Doktorantka pisze (strona 75): „Dla rozpatrywanej objętości model uproszczony pozwala już na porównywalny lub nawet i dwukrotnie krótszy czas obliczeń niż model szczegółowy”. Czy „porównywalny” czas obliczeń uzasadnia korzystanie z modelu uproszczonego?
11. W tym samym rozdziale w ostatnim akapicie (strona 78) jest mowa o przeprowadzeniu symulacji niestacjonarnej całego magazynu w zaledwie 28 godzin. Do czego ta wartość jest odniesiona? Dlaczego ten wynik należy traktować jako dobry? Dalej jest mowa że wykonanie tego zadania z wykorzystaniem pełnego modelu z reakcją jest niemożliwe ze względu na niewspółmierne większe wymagania dotyczące mocy obliczeniowej i pamięci. Czy były podjęte próby oszacowania wymagań do obliczenia pełnego modelu?
12. Z rysunku 5.3 i 5.4 wynika, że znaczny spadek masy następuje przed osiągnięciem temperatury wrzenia. Czym jest to spowodowane?

6.6 Inne uwagi oraz uwagi edytorskie

Poniższe uwagi natury edytorsko-redakcyjnej nie mają żadnego negatywnego wpływu na wartość merytoryczną ocenianej pracy doktorskiej. Wskazanie tych uwag ma za zadanie pomóc w doskonaleniu warsztatu i może być przydatne w dalszej pracy naukowej Doktorantki przy pisaniu i redagowaniu publikacji.

- Zastosowany język jest poprawny pod względem merytorycznym i branżowym, jednak występują w pracy błędy stylistyczne, zwłaszcza w rozdziale 2,
- Występuje błędna numeracja rysunków w rozdziale 2 (do rysunku 2.8)
- Pomiędzy stronami 8 i 9 występuje luka w tekście (czytając ten fragment miałem wrażenie że „czegoś brakuje”)
- Autorka zamieściła w pracy spis oznaczeń, jednak jest on niekompletny i wiele symboli zostało opisanych w tekście pracy
- Podpis rysunku 6.15 należy poprawić
- Na stronie 57 znajduje się niepoprawne odwołanie do rysunku 8.20 ze strony 58 (błędna numeracja do rozdziału 6)
- Strona 60 - błędne odwołanie do rysunku 7.1 (powinno być 7.3)
- Podpis rysunku 8.2a należy poprawić

7. Wniosek końcowy

W oparciu o przedstawioną mi do recenzji rozprawę doktorską stwierdzam że mgr inż. Beata Pytlik wykazała samodzielność w prowadzeniu badań naukowych, umiejętność prezentowania ich wyników oraz prawidłowego wyciągania wniosków. Autorka wykazała kompleksowe opanowanie podstaw teoretycznych w obszarze związanym z pracą, umiejętności formułowania zadania naukowego, znajomość stanu osiągnięć w obszarze wiedzy związanej z pracą oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia badań. Autorka przedstawiła oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, zrealizowała w całości zakres planowanych badań i osiągnęła w recenzowanej rozprawie założone cele. Dodatkowo stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Pytlik pt. „Metoda modelowania zjawisk cieplno-przepływowych w magazynach ciepła wypełnionych materiałem zmiennofazowym lub sorpcyjnym” prezentuje ogólną wiedzę w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Moje uwagi o charakterze krytycznym nie podważają głównego celu pracy ani podstaw jej podjęcia a Doktorantka będzie się mogła do nich odnieść i ustosunkować podczas obrony pracy.

Podsumowując rozprawa doktorska odpowiada warunkom określonym w artykule 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (t.j. Dz. U. z 2022r., poz. 574 z późn. Zm.) a mianowicie:

- rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną osoby ubiegającej się o nadanie stopnia doktora w dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka,
- rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora,
- rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

Wobec powyższego stawiam wniosek o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Piotr Dziurka