

Prof. dr hab. inż. Dariusz Heim
Katedra Inżynierii Środowiska
Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska
Politechnika Łódzka
ul. Wólczańska 213, 90-924 Łódź
tel. +48426313920, e-mail: dariusz.heim@p.lodz.pl

Łódź, dn. 25.04.2025

RECENZJA

pracy doktorskiej mgr inż. Izabeli Sarny
pt. „Energetyczna i środowiskowa efektywność ogrzewania, chłodzenia
i wentylacji budynków mieszkalnych”

wykonanej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Promotor: dr hab. inż. Joanna Ferdyn-Grygierek, prof. w Politechnice Śląskiej

Promotor pomocniczy: dr inż. Agnieszka Palmowska

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej z dnia 20 lutego 2025 r. oraz na prośbę Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny - prof. dr hab. Krzysztofa Labusa, sformułowaną w piśmie (RIE-BD.512.12.2025) z dnia 28 lutego 2025 r.

Merytoryczną podstawę opracowanej recenzji stanowi przedmiotowa rozprawa przesłana w wersji drukowanej oraz elektronicznej.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu

Aktualne i przyszłe wymagania stawiane budynkom w obszarze efektywności energetycznej, jakości środowiska wewnętrznego a także oddziaływania na środowisko zewnętrzne powodują nie tylko ciągły rozwój w branży materiałów, urządzeń i systemów instalacyjnych ale również narzucają konieczność stosowania alternatywnych rozwiązań projektowych. Współczesne metody wspomagania projektowania i oceny efektywności budynków bazują przede wszystkim na symulacjach procesów fizycznych zachodzących w budynkach (fizyka budowli) i systemach technicznego utrzymania budynków (instalacje budowlane oraz urządzenia energii odnawialnej), wraz z systemami sterowania urządzeniami i zarządzania energią (BMS i BES). Modelowanie procesów fizycznych zachodzących w

budynkach jest zagadnieniem wieloaspektowym, gdyż współczesne budynki stają się coraz bardziej skomplikowane, a dodatkowo charakter tych procesów jest zazwyczaj stochastyczny, silnie dynamiczny, sprzężony i nieliniowy. Tym samym, każde zadanie polegające na dokładnej analizie symulacyjnej budynków, z uwzględnieniem różnych poziomów dyskretyzacji oraz procesów o charakterze losowy, przy jednoczesnej walidacji i kalibracji modelu zasługuje na uznanie.

Zintegrowana i kompleksowa ocena skuteczności, w rozumieniu efektywności energetycznej i jakości środowiska wewnętrznego, różnych sposobów chłodzenia budynków jest zadaniem istotnym z punktu widzenia prognozowanych zmian klimatu. Dotychczasowa wiedza w tej dziedzinie jak i prowadzone badania są niewystarczające, zaś w szczególności istotne jest uwzględnienie wpływu indywidualnych preferencji, zachowania i świadomości samych użytkowników na sposób eksploatacji budynków i pracę systemów HVAC. Pasywne chłodzenie ma niewątpliwie wiele zalet, ekonomicznych i środowiskowych, jednak nie zawsze posiada odpowiedni potencjał dlatego musi być wspomagane mechanicznie, co skutkuje zwiększonym zużyciem energii. Uwzględnienie potencjału pasywnego chłodzenia na etapie projektowania architektonicznego może przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej oraz zapewnić lepszą odporność budynków na przyszłe zmiany klimatu, których efektem mogą być między innymi długotrwałe okresy upałów. Wyniki badań zamieszczone w pracy stanowią ważny głos w dyskusji nad koniecznością wyznaczenia i oceny parametrów środowiska wewnętrznego w okresie letnim, i obligatoryjnego uwzględnienia w bilansie cieplnym energii niezbędnej na chłodzenie. Z pewnością przyczynią się one również do rozwoju „budownictwa pasywnego sezonu chłodniczego” w krajach o klimacie umiarkowanym i chłodnym. Tym samym, poza wartością naukową należy zwrócić uwagę na użytkarny charakter ocenianej rozprawy.

3. Zakres i struktura rozprawy

Praca pt. „Energetyczna i środowiskowa efektywność ogrzewania, chłodzenia i wentylacji budynków mieszkalnych” została przygotowana w formie maszynopisu. Część zasadnicza pracy, składająca się z 11 rozdziałów liczy łącznie 177 stron, zaś 3 załączniki stanowią dodatkowych 31 stron. Wielkość rozdziałów głównych, w tym zawierających oryginalne wyniki badań Autorki jest podobna. Znacznie mniej obszerne, co wynika z ich specyfiki jest 5 rozdziałów: 1) Wstęp, 4) Cel i zakres rozprawy, 9) Analiza kosztów środowiskowych, 10) Dyskusja, 11) Podsumowanie i wnioski. Istotnymi z merytorycznego punktu widzenia są 4 rozdziały 5) Pomiarowa identyfikacja środowiska wewnętrznego, 6) Model cieplny do symulacji wydajności budynku, 7) Modelowanie numeryczne CFD przepływu powietrza (wentylacji naturalnej) w pomieszczeniu i 8) Studium przypadku. W pracy zamieszczono 64 rysunki i 32 tabele wraz z ich spisami na końcu opracowania. Ponadto praca zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim, spis oznaczeń i indeksów, a także słownik pojęć. Proporcje rozdziałów są prawidłowe. Dyskusję i wnioski dotyczące wyników uzyskanych z badań zamieszczono na końcu rozprawy.

Praca rozpoczyna się bardzo ogólnym i krótkim „Wstępem” uzasadniającym podjętą tematykę, rozdział 1. W rozdziale 2 podjęto próbę identyfikacji budynków jednorodzinnych pod kątem kształtu, technologii i systemów HVAC, w tym źródeł zasilania w energię. Rozdział 3 to przegląd aktualnego stanu wiedzy na temat pasywnych sposobów chłodzenia budynków, danych klimatycznych, oceny parametrów cieplnych w pomieszczeniu z wentylacją naturalną oraz wpływu systemów HVAC na środowisko zewnętrzne. Na podstawie przeglądu literatury zidentyfikowano lukę badawczą i określono 4 obszary wymagające dalszych badań. W dalszej kolejności sformułowano cel i określono zakres rozprawy doktorskiej, rozdział 4. Następnie opisano badania parametrów środowiska cieplnego przeprowadzone w wybranych pomieszczeniach, istniejącego domu jednorodzinnego oraz uzyskane wyniki, rozdział 5. Na ich podstawie dokonano oceny środowiska i komfortu cieplnego, a także wentylacji naturalnej. Kolejne dwa rozdziały poświęcono zagadnieniom modelowania numerycznego. Energetycznego w skali budynku z wykorzystaniem kosymulacji programami EnergyPlus i CONTAM (rozdział 6) oraz dokładnej analizy przepływu powietrza w wybranym pomieszczeniu za pomocą metody CFD i narzędzia ANSYS Fluent (rozdział 7). Rozdział 8, zawiera wyniki obliczeń wykonanych w ujęciu globalnym (symulacje energetyczne budynku w celu oceny efektywności pasywnego chłodzenia pod kątem zapewnienia warunków komfortu cieplnego mieszkańców i zużycia energii) oraz lokalnym (prognozowanie numeryczne CFD w celu analizy parametrów komfortu cieplnego użytkowników wybranego pomieszczenia). W niezbyt obszernym rozdziale 9 podjęto próbę analizy kosztów środowiskowych stosowanych systemów HVAC. Rozdział 10 obejmuje dyskusję uzyskanych wyników w odniesieniu do innych doniesień literaturowych, zaś kończący rozdział 11, poza najważniejszymi wnioskami, zawiera odniesienie do realizacji poszczególnych celów rozprawy. W pracy wykorzystano 243 pozycje bibliograficzne, powiązane z tematyką rozprawy, w dominującej liczbie anglojęzyczne. W większości są to artykuły, które ukazały się po roku 2000, zaś w znacznej liczbie po roku 2010 (ponad 100 pozycji). Należą do nich prace własne Doktorantki (7 prac).

Biorąc pod uwagę łączną liczbę stron recenzowaną pracę należy uznać za standardową. Jednak dokładna lektura pokazuje, że choć jej zakres jest obszerny, to pewne fragmenty opisano bardzo syntetycznie przez co wiele szczegółów, oczywistych dla Autorki, jest niewidocznych dla czytelnika. Praca stanowi z pewnością opracowanie spójne, nakierowane na rozwiązanie szczegółowego problemu, choć także wielowątkowe, z elementami pobocznymi nie zawsze powiązanymi z głównym celem pracy.

4. Ocena formalna

Przedstawiona praca ma charakter badawczo - teoretyczny z obszaru wentylacji, ogrzewnictwa i fizyki budowli, dla których wspólnym mianownikiem są zagadnienia efektywności energetycznej budynków. Istotnym elementem pracy są kwestie związane z modelowaniem i symulacją procesów wymiany ciepła i masy w budynkach, z wykorzystaniem aktualnych, zaawansowanych metod obliczeniowych, jak i elementy badań eksperymentalnych, prowadzonych „in-situ” w skali budynku.

Celem pracy była „ocena skuteczności konwencjonalnych i alternatywnych sposobów chłodzenia pomieszczeń w budynku jednorodzinnym z wentylacją naturalną z punktu widzenia zapewnienia komfortu cieplnego mieszkańcom, zużycia energii na potrzeby ogrzewania, chłodzenia i wentylacji oraz emisji gazów cieplarnianych do atmosfery w obecnych i przyszłych warunkach klimatycznych”.

Moim zdaniem, oryginalne i najbardziej cenne z naukowego punktu widzenia są następujące osiągnięcia:

- zbadanie wpływu czynników, tj.: klimatu zewnętrznego (w tym prędkości wiatru), otwarcia drzwi wewnętrznych, zachowania mieszkańców, automatyzacji otwierania okien na warunki cieplne i zużycie energii w budynku;

- zbadanie wpływu pasywnego chłodzenia powietrzem zewnętrznym na rozkład parametrów powietrza w pomieszczeniu;

- ocena emisji ditlenku węgla do atmosfery przy zastosowaniu konwencjonalnych i alternatywnych sposobów chłodzenia oraz dla różnych źródeł energii w systemach HVAC.

W pracy nie sformułowano jej tezy (ewentualnie kilku tez) co jest podejściem dość nietypowym, jednak nie dyskwalifikuje w żadnym stopniu samej pracy. Jest to jednak dość zaskakujące tym bardziej, że na podstawie zaplanowanych badań możliwe było sformułowanie przynajmniej jednej tezy, dotyczącej chociażby skuteczności pasywnego chłodzenia budynków w klimacie Polski.

Praca ma klasyczny układ rozprawy doktorskiej. Część autorska, doświadczalna, numeryczna i analityczna pracy została poprzedzona rzetelnym i solidnym przeglądem aktualnego stanu wiedzy. Momentami być może nawet zbyt szerokim, w kontekście na przykład podrozdziałów 2.1 (Rodzaj i kształt budynku) i 2.2 (Technologie budowy domów), które odbiegają nieco od głównego kierunku wykonanych w dalszej części badań. Rozdziały ułożone są we właściwym porządku, aczkolwiek należałoby postawić pytanie, jaka jest współzależność pomiędzy wynikami poszczególnych badań i obliczeń. Z uwagi na sformułowany cel pracy nasuwa się wątpliwość czy uzyskane wyniki badań i analiz CFD można uogólnić dla pozostałych pomieszczeń, zaś wyniki uzyskane dla budynku są możliwe reprezentatywne dla budownictwa jednorodzinnego w naszym kraju. Niewątpliwie cenne w kontekście całej pracy jest jej eksperymentalno-obliczeniowy charakter, z kalibracją i walidacją przyjętych modeli numerycznych.

W mojej opinii praca jest bardzo obszerna ze względu na zakres oraz liczbę wykonanych i opisanych badań i analizy, a także uzyskanych wyników. Świadczy to o tym, że Doktorantka starała się dokonać jak najbardziej kompleksowej oceny analizowanych rozwiązań, wybierając i opisując najważniejsze wyniki i spostrzeżenia. Dobór metod badawczych, sposób przeprowadzenia analiz, przyjęty zakres badań, jak i zawartość całej rozprawy nie budzą zastrzeżeń.

Praca napisana jest prawidłową polszczyzną z niewielką liczbą błędów edytorskich. Autorka nie stroni od szczegółowej i dogłębnej analizy uzyskanych wyników na każdym etapie pracy. Jest precyzyjna i rzetelna w formułowaniu własnych opinii. Na szczególną

pochwałę zasługuje liczba przeprowadzonych eksperymentów i wykonanych analiz symulacyjnych. Ważne jest, że Doktorantka podchodzi z dystansem do uzyskanych wyników badań zdając sobie sprawę z dokładności urządzeń pomiarowych, niepewności samego pomiaru, w tym wpływu czynników losowych jak i konieczności kalibracji i walidacji modeli obliczeniowych. Drobne błędy o charakterze ogólnym bądź redakcyjnym wykazane w dalszej części recenzji nie mają wpływu na całościową, bardzo pozytywną ocenę.

5. Ocena merytoryczna

Ze względu na trafnie sformułowany problem naukowy, szeroki zakres wykonanych badań i symulacji, prawidłową interpretację uzyskanych wyników oraz umiejętność sformułowania wniosków, moja ocena merytoryczna prezentowanej pracy jest bardzo wysoka. Jednakże dokładna analiza tekstu rozprawy nakłada na mnie obowiązek sformułowania kilku uwag będących przyczynkiem do dyskusji przed, lub w trakcie publicznej obrony, nie umniejszających jednak pierwotnej, wysokiej oceny.

5.1. Uwagi wymagające odpowiedzi w czasie publicznej obrony

Pierwsza uwaga dotyczy zagadnienia związanego z potencjałem danej lokalizacji (lokalnych warunków klimatycznych) i charakterystyką samych budynków (bezwładność cieplna i zdolność rozpraszania zysków ciepła) do wykorzystania metod pasywnego chłodzenia. Skuteczność takich metod w celu poprawy komfortu cieplnego w sezonie letnim uwarunkowana jest bowiem m.in. różnicą temperatur pomiędzy dniem a nocą oraz pojemnością cieplną konstrukcji i całkowitym współczynnikiem strat ciepła. Pomimo, że zarówno w rozdziale 2 jak i 3 wspomniano o powyższych zagadnieniach, nie wynika z nich jednoznaczna konkluzja czy klimat jak i konstrukcja/technologia budynków jednorodzinnych w Polsce dają potencjał do stosowania pasywnego chłodzenia w okresie lata. Proszę o ustosunkowanie się do pytania w kontekście informacji zawartych na rys. 3.1, doprecyzowując czy analizowane techniki pasywnego chłodzenia dotyczą modulacji ciepła czy też jego rozpraszania. Jak wynika z diagramu w obu przypadkach istotne jest magazynowanie ciepła i znacząca różnica temperatury pomiędzy dniem a nocą. W przeciwnym razie zaproponowany sposób pasywnego chłodzenia będzie efektywny jedynie w okresach przejściowych, charakteryzujących się między innymi znacznymi zyskami ciepła od promieniowania słonecznego i niskimi temperaturami powietrza zewnętrznego.

Uwaga druga związana jest ze sposobem modelowania infiltracji powietrza w programie EnergyPlus/CONTAM. W szczególności zasady działania metody ELA, przywołanej na stronie 73. W jaki sposób, we wspomnianej metodzie definiowane są nieszczelności, lub otwory, i jaki model opisuje zjawisko przepływu powietrza. Czy dla badanego budynku, ewentualnie pokoju 2, badano szczelność powietrzną? Czy wartości założone zgodnie z wytycznymi ASHRAE [182] odpowiadały rzeczywistej charakterystyce analizowanego obiektu? W przeglądzie literatury nie przytoczono prac dotyczących szczelności powietrznej, a jak wiadomo ewentualne nieszczelności mogą mieć wpływ zarówno na wyniki badań eksperymentalnych (pomiar prędkości strugi powietrza) jak i numerycznych (analizy CFD). Z

informacji przytoczonych w podrozdziale 6.4.3. wynika, że jedyne źródła nieszczelności w analizowanym budynku stanowiła stolarka okienna i drzwiowa.

5.2. Pozostałe uwagi merytoryczne

- a) Pierwsza wątpliwość dotyczy sposobu przyjęcia okresu chłodzenia, strona 15, dla którego analizowano chłodzenie pasywne. Dlaczego okres ten przyjęto od maja do września nie prowadząc analizy zapotrzebowania na chłodzenie dla konkretnego budynku, będącego przedmiotem analizy? Teoretycznie można założyć sytuację, że budynek eksploatowany w polskich warunkach klimatycznych posiada znacznie krótszy okres chłodzenia, ewentualnie jest on ograniczony do czasu, gdy występuje fala upałów, a tym samym pasywne metody chłodzenia są nieadekwatne. W skrajnym przypadku możliwe jest zaprojektowanie budynku o zerowym zapotrzebowaniu na chłodzenie. Ponadto, w dalszej części pracy, w ocenie środowiska cieplnego rozpatrywano praktycznie cały rok, w tym okres letni, od 1 czerwca do 31 sierpnia, a także przejściowy, marzec-maj i wrzesień-listopad. Przy czym problem „przechłodzenia”, w wyniku pasywnego chłodzenia, nie dotyczył lata, rys. 5.9.
- b) Proszę o doprecyzowanie zależności pomiędzy przegrzewaniem się budynków a występowaniem syndromu chorego budynku (SBS) i jego skutków wymienionych w rozdziale 1, na stronie 17.
- c) W przeglądzie aktualnego stanu wiedzy dominują pozycje dotyczące pasywnych metod chłodzenia, danych klimatycznych, modelowania CFD oraz wpływu systemów HVAC na środowisko. Z tytułu pracy wynika natomiast problematyka ogrzewania, chłodzenia i wentylacji budynków mieszkalnych. Proszę o uwzględnienie uwagi dotyczącej zawartości i celu pracy (którym była „ocena skuteczności konwencjonalnych i alternatywnych sposobów chłodzenia pomieszczeń”) w odniesieniu do jej tytułu, zwłaszcza w kontekście ogrzewania.
- d) Kolejna uwaga dotyczy opisu na stronie 28 w nawiązaniu do drugiej i trzeciej grupy metod pasywnego chłodzenia. W obu przypadkach odnoszą się one do wykorzystania materiałów fazowo-zmiennych, czyli uwzględniają magazynowanie ciepła. Proszę o doprecyzowanie roli magazynowania ciepła w przypadku „techniki rozpraszającej ciepło”, grupa trzecia. Podobna niekonsekwencja widoczna jest na rysunku 3.1, strona 30.
- e) Proszę o doprecyzowanie co oznacza pojęcie „prawidłowe otwieranie okien”, strona 31.
- f) Proszę o doprecyzowanie pojęć systemy hybrydowe i wentylacja hybrydowa, str. 33. Czy chodzi o wentylację wspomaganą mechanicznie („chłodzenie pasywne odbywające się w sposób wymuszony”, str. 34), czy też o systemy chłodzenia pasywnego i aktywnego, mechanicznego?
- g) Proszę o wyjaśnienie czym spowodowany jest efekt wzrostu zapotrzebowania ciepła na ogrzewanie, przy zastosowaniu chłodzenia powietrzem zewnętrznym, strona 34. Czy wynika to z faktu, że budynki były zbyt silnie schładzane (przechłodzone)? Czy rozwiązanie tego problemu nie leży po stronie niewłaściwej, zbyt intensywnej wentylacji

i braku uwzględnienia krótkoterminowych, prognozowanych danych pogodowych? Uwaga dotyczy okresu przejściowego, w tym m.in. wyników omówionych w podrozdziale 8.1.7.

- h) Czy wybór budynku z wentylacją naturalną ale bez zastosowania nawiewników jest reprezentatywny i właściwy, str. 49? Z dyskusji przedstawionej w rozdziale 10 wynika, że budynek był niewystarczająco wentylowany w okresach nieobecności użytkowników co mogło skutkować jego zwiększonym przegrzewaniem oraz niską jakością powietrza wewnętrznego.
- i) Dlaczego badania komfortu cieplnego oraz prędkości strugi powietrza w pokojach 1 i 2 prowadzono w sezonie grzewczym, kiedy główny celem pracy była ocena skuteczności chłodzenia w lecie, rozdział 5.2.3? Podobne pytanie dotyczy analiz CFD, rozdział 7, wraz z walidacją, wykonanych dla zimy i okresu przejściowego, nie zaś dla okresu lata, dla którego badano skuteczność pasywnego chłodzenia.
- j) W pracy nie doprecyzowano jakie wyniki zamieszczono w tabelach 5.4 i 5.5. Czy są to wyniki średnie dla 15 stycznia, jakiegoś dłuższego okresu, czy też są to wartości chwilowe, ekstremalne? Czy dla tego samego okresu badano wskaźniki PMV, PPD i DR, tabele 5.6 i 5.7? Czy monitorowano jednocześnie parametry środowiska zewnętrznego, na przykład prędkość i kierunek wiatru? Jaka jest przydatność wyników uzyskanych dla zimy w kontekście analiz skuteczności chłodzenia w okresie lata?
- k) Dlaczego w obliczeniach symulacyjnych przyjęto średnio sezonowe wartości sprawności (cieplną kotła, str. 71 i systemu chłodzenia, str. 74) a nie wartości godzinowe, a przynajmniej średniomiesięczne?
- l) Jakie inne parametry, poza temperaturą, analizowano w kontekście aktualnych i przyszłych danych klimatycznych, rozdział 6.4.6? Czy rozpatrywano na przykład promieniowanie słoneczne jako czynnik zwiększający ryzyko przegrzewania się budynków?
- m) W jaki sposób symulowano zamykanie okien na czas wystąpienia deszczu, str. 104? Czy w ramach plików klimatycznych posiadano dane dotyczące opadów?
- n) Proszę wyjaśnić w jakich przypadkach, str. 107, „stosowanie rolet może spowodować pogorszenie warunków cieplnych”?
- o) Proszę o doprecyzowanie w jaki sposób „martwe strefy powietrza mogą powodować dyskomfort u osób przebywających w pomieszczeniu”? Czy chodzi o dyskomfort termiczny czy też dyskomfort wynikający z lokalnego stężenia zanieczyszczeń?
- p) Na jakiej podstawie przyjęto kryterium temperatury powietrza zewnętrznego 12°C, powyżej której mieszkańcy decydowali się na pozostawienie otwartego okna? Tak przyjęta wartość, nie podyktowana względami komfortu cieplnego, powodowała z pewnością zbyt intensywne wychładzanie pomieszczenia w okresie nocy i zwiększone zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania.

6. Uwagi o charakterze edytorskim i ogólnym

Autorka w tekście pracy używa niezbyt trafnych określeń, które przy dalszej publikacji wyników rozprawy należałoby skorygować. Są to na przykład pojęcia: „wyobrażone czarne pomieszczenie”, str. 15; „natężenie promieniowania światła dziennego”, str. 16; „temperatura ciepła”, str. 29; „masa cieplna”, str. 34; „wydajność radiacyjna” i „zawartość wcielonego węgla”, str. 40; „modelowanie symulacyjne”, str. 47; „światło widzialne”, str. 69; „siłowniki solarne”, str. 147; „klimat ocieplony”, str. 151; „budownictwo mieszkalne”, str. 153. Pozostałe błędy o charakterze edytorskim występują w niewielkiej liczbie i nie zostały przytoczone w niniejszej recenzji.

7. Wniosek końcowy

Uwagi jakie zawarłem w swojej opinii w dużym stopniu mają charakter dyskusyjny i nie podważają w istotny sposób wartości naukowej pracy, jak również nie obniżają bardzo pozytywnej oceny samej Doktorantki. Stwierdzam, że Autorka opracowania podejmując istotny problem naukowy rozwiązała go samodzielnie, poprawnymi metodami badawczymi przez co wykazała się umiejętnością wymaganą od osób ubiegających się o stopień doktora. Otrzymane wyniki wnoszą nowe elementy do wiedzy w obszarze efektywności energetycznej budynków, w ramach dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, które obok aspektu poznawczego posiadają również istotną wartość użytkową.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Izabeli Sarny pt.: „Energetyczna i środowiskowa efektywność ogrzewania, chłodzenia i wentylacji budynków mieszkalnych” spełnia wymagania Ustawy z dnia 20.07.2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 wraz z późniejszymi zmianami), dlatego wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Śląskiej w Gliwicach o jej przyjęcie i dopuszczenie Kandydatki do publicznej obrony.

Ponadto uważam, że z uwagi na:

- szeroki zakres przeprowadzonych badań i kompleksowe rozwiązanie problemu,
- dogłębną i zaawansowaną analizę uzyskanych wyników,
- użytkowy charakter sformułowanych wniosków,

a ponadto, w odniesieniu do samej Doktorantki:

- za jej bardzo dobrą znajomość technik numerycznych,
- oraz podjęcie próby modelowania systemów HVAC z uwzględnieniem zachowania się użytkowników,

praca zasługuje na wyróżnienie.



Prof. dr hab. inż. Dariusz Heim