

Prof. dr hab. Marzenna R. Dudzińska,
Katedra Jakości Powietrza Wewnętrznego i Zewnętrznego
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Lubelska

Recenzja

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Seyedkeivana Nateghi
*„Analyses of selected methods of limiting the spread of air pollutants in the
occupied ventilated rooms”*

Podstawa formalna

Podstawą opracowania recenzji jest pismo RIE-BD.512.32.2025 z dnia 24.06.2025 r. (otrzymano 30.07.2025r.) Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej.

Formalną podstawą jest Ustawa Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dn. 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2018, poz. 1669) z późniejszymi zmianami.

Znaczenie tematyki badawczej

Zrozumienie zagrożeń środowiska i zagrożeń dla człowieka nieustannie rośnie w społeczeństwach wielu krajów, jednak najczęściej przedmiotem dyskusji są zmiany klimatu, wyczerpywanie się surowców, degradacja zasobów wodnych czy zanieczyszczenia atmosfery, popularnie zwane smogiem, a ostatnio oszczędności energii. Są to problemy, dotyczące całej ekosfery i zwykle wymagające rozwiązań na poziomie ponadnarodowym. Jednak największy i bezpośredni wpływ na człowieka ma środowisko, które sam kreuje, często w sposób nieumiejętny, bo to w pomieszczeniach, czyli w środowisku wewnętrznym, człowiek spędza ponad 90% swojego życia.

W wielu krajach badania nad jakością środowiska wewnętrznego mają kilkudziesięcioletnią historię. Od opublikowania pierwszej wersji dokumentu WHO „*The Right to Healthy Indoor Air*” (WHO, 2000) zainteresowanie badaniami wzrosło na całym świecie, a swoje apogeum osiągnęło w czasie pandemii, gdy spędzaliśmy więcej czasu w pomieszczeniach i uzmysłowiliśmy sobie, że w środowisku zamkniętym jesteśmy narażeni nie tylko na zanieczyszczenia chemiczne czy dyskomfort termiczny, ale na zanieczyszczenia biologiczne – bakterie, grzyby i wirusy.

Wydaje się jednak, że jakość środowiska wewnętrznego to w Polsce w dalszym ciągu niedoceniany obszar badawczy.

W naszym kraju podjęto wiele działań termo-modernizacyjnych, bo drożące nośniki energii spowodowały zainteresowanie oszczędnością energii, w tym najprostszym sposobem, uszczelnianiem budynków mieszkalnych, biurowych i szkolnych. Przy najpopularniejszej wciąż w Polsce wentylacji naturalnej, powoduje to najczęściej problemy z wilgotnością względną w pomieszczeniach i tworzeniem warunków sprzyjającym rozwojowi grzybów pleśniowych, ale słaba wymiana i cyrkulacja powietrza to także problem z bioerozalami bakteryjnymi czy wirusowymi, których głównymi źródłami w pomieszczeniach jest człowiek.

Negatywny wpływ zanieczyszczeń powietrza wewnętrznego możemy ograniczyć przez odpowiednie systemy wentylacji, jednak wentylacja mechaniczna, szczególnie duża krotność wymian powietrza, wymaga dużych nakładów energii.

Jednym z środowisk wewnętrznych, budzących duże zainteresowanie, są pomieszczenia edukacyjne. Przebywają tam dzieci i młodzież, czyli populacja bardziej wrażliwa na czynniki zewnętrzne, zwłaszcza na zagrożenia chorobotwórcze. Przebywają kilka godzin dziennie w grupach, w których niemożliwa jest izolacja, zatem bardziej podatnych na zagrożenia przenoszone drogą powietrzną czy kropelkową. Epidemiolodzy dowiedli także wpływ dzieci na rozprzestrzenianie się chorób zakaźnych w całej populacji, zarażone dziecko jest głównym czynnikiem zagrożenia dla opiekujących się nim rodziców i dziadków, przy czym, szczególnie dla starszych osób, skutki zakażenia mogą być poważne.

Zatem każde badania, mające na celu minimalizację przenoszenia zanieczyszczeń biologicznych w budynkach edukacyjnych, mają istotne znaczenie zarówno naukowe, jak i aplikacyjne.

Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana rozprawa nie jest klasyczną dysertacją, ale posumowaniem wyników, opublikowanych przez Doktoranta w sześciu artykułach naukowych, z których pięciu jest pierwszym autorem. Artykuły ukazały się w latach 2023-2025 w czasopiśmie z listy Ministerstwa, wydawanym przez Elsevier (5 artykułów, o IF od 6.7 do 10.5) oraz MDPI – 1 artykuł, IF = 3.

Są to:

1. Grygierek K., Nateghi S., Ferdyn-Grygierek J., Kaczmarczyk J., (2023), Controlling and limiting infection risk, thermal discomfort, and low indoor air quality in a classroom through natural ventilation controlled by smart windows, *Energies* 16, 592. IF = 3
2. Nateghi S., Kaczmarczyk J., (2023), Multi-objective optimization of window opening and thermostat control for enhanced indoor environmental quality and

Energy efficiency in contrasting climates, *Journal of Building Engineering* 78, 10617. IF = 6.7

3. Nateghi S., Behzadi A., Kaczmarczyk J., Wargocki P., Sadrizadeh S., (2025), Optimal control strategy for cutting-edge hybrid ventilation system in classrooms: Comparative analysis based on air pollution levels across cities, *Building and Environment* 267, 112295. IF = 7.1.
4. Nateghi S., Kaczmarczyk J., Zabłocka-Godlewska E., Przysaś W., (2025), Investigating the Impact of Physical Barriers on Air Change Effectiveness and Aerosol Transmission Under Mixing Air Distribution, *Building and Environment* 272, 112676. IF = 7.1.
5. Nateghi S., Kaczmarczyk J., (2024), Compatibility of integrated physical barriers and personal exhaust ventilation with air distribution systems to mitigate airborne infection risk, *Sustainable Cities and Society* 103, 105282. IF = 10.5
6. Nateghi S., Marashian S., Kaczmarczyk J., Sadrizadeh S., (2025), Resource-efficient design of integrated personal exhaust ventilation and physical barriers for airborne transmission mitigation: A numerical and experimental evaluation, *Building and Environment* 268, 112336. IF = 7.1.

W dwóch publikacjach deklarowany udział doktoranta wynosi ponad 50% (80 i 70% odpowiednio), w jednej 50%, a w trzech - po 35%, co stanowi ponad połowę sumarycznego wkładu.

Pełne teksty artykułów zamieszczono jako załączniki do 60-cio stronicowego opracowania zawierającego streszczenie w języku polskim i angielskim, zestawienie używanych skrótów (nie w kolejności alfabetycznej) oraz 5 rozdziałów. Rozdział pierwszy to wprowadzenie, cele i hipotezy badawcze, rozdział 2 – podsumowanie badań opublikowanych w artykułach 1-3, rozdział 3 – podsumowanie badań z artykułów 4-5. Rozdział 4 zawiera badania nie opublikowane w prezentowanych artykułach, a rozdział 5 – podsumowanie. Nie jest to więc typowa praca w oparciu o serię publikacji, gdyż zawiera także dodatkowe badania, przeprowadzone w ostatnim roku i nie opublikowane w chwili składania rozprawy. Jednak struktura pracy jest czytelna i logiczna, poszczególne artykuły opisują kolejne etapy badań, powiązane ze sobą i wynikające jedne z drugich. Co zresztą ciekawie zaprezentowano graficznie (Fig.1) – wykazując powiązanie poszczególnych etapów badań, opisanych w kolejnych publikacjach.

Spis literatury dołączony do omówienia zawiera 97 pozycji z lat 2000-2025, przy czym zasadniczą większość stanowią prace z ostatnich 6-ciu lat. Niestety spis jest w kolejności cytowania (system vancouver), a nie w systemie harwardzkim (ewentualnie

APA) czyli alfabetycznie, co utrudnia sprawdzenie, w jakim stopniu zawiera pozycje inne niż cytowane w załączonych publikacjach.

Ocena merytoryczna

W rozdziale zatytułowanym „*Objectives and scope*”, Doktorant nie formułuje jednego celu pracy, ale podaje trzy podstawowe cele:

- *Evaluating different ventilation strategies in maintaining IAQ and reducing airborne infection risks in densely occupied spaces;*
- *Investigating localized mitigation measures such as physical barriers, personal ventilation, mask and portable air cleaners in controlling aerosol transmission in densely occupied space;*
- *Analysing energy and comfort impacts with various IAQ improvement and infection control strategies.*

Sformułowanie drugiego z celów jest dyskusyjne, gdyż sama „*investigation*” nie jest raczej celem, jest to raczej etap badań, który ma służyć celowi jakim jest ocena różnych „*mitigation strategies*”.

Jakkolwiek jeden główny cel, który posiada zwykle każda dysertacja, nie został formalnie sformułowany, to podane cele „częstkowe” są powiązane logicznie i pozwoliły na przeprowadzenie spójnych badań, odpowiadających, jak się wydaje naczelnemu celowi, który można by sformułować następująco: ocena metod minimalizacji rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń powietrza w pomieszczeniach wentylowanych.

Dla zaplanowanych przez siebie trzech celów, Doktorant przedstawił 5 pytań (problemów badawczych) i adekwatnie do nich postawił 5 hipotez, będących próbą odpowiedzi na powyższe pytania.

Recenzentka nie jest zwolennikiem hipotez, które często są oczywiste, formułowane na przesłankach wynikających z literatury lub nawet już po rozwiązaniu problemu. Jednak niezależnie od prywatnych preferencji, należy uznać hipotezy za prawidłowo postawione.

Pierwszy rozdział zatytułowany „*Introduction*” zawiera przesłanki do prowadzenia badań, podstawowe informacje o zanieczyszczeniach środowiska wewnętrznego, a także o metodach ich ograniczenia (*mitigation methods*). Informacje na temat zanieczyszczeń – VOC, PM, bioaerozoli oraz CO₂ są ogólne, jakkolwiek poparte źródłami literaturowymi oraz wystarczające jako wprowadzenie do prowadzonych badań. Podrozdział 1.4: „*Methods to mitigate spread of indoor pollutants*” zawiera w syntetyczne podsumowanie wiedzy literaturowej na temat metod opartych o techniki wentylacji z uwzględnieniem hybrydowej, mieszanej, personalnej i wyporowej, indywidualnych środków ochrony, barier fizycznych, popularnych w

pierwszym okresie pandemii oraz technik filtracyjnych i oczyszczania powietrza. Są to metody, którym poświęcono poszczególne publikacje, składające się na przedstawiony do oceny doktorat.

W kolejnym podrozdziale powiązano te problemy z komfortem termicznym i zużyciem energii.

Kolejne rozdziały pracy zawierają podsumowanie badań i syntetyczne omówienie metod i wyników. Trochę denerwująca manierą jest powtarzanie w prawie każdym rozdziale i podrozdziale „*This chapter summarizes..*”, „*This section presents ...*”, „*This chapter employs...*”, ale konstrukcja pracy jest spójna i poprawnie łączy wyniki opublikowane w poszczególnych artykułach.

Pierwsze trzy publikacje, zgodnie z przedstawioną listą, a nie chronologią w jakiej zostały opublikowane, (Grygierek K., Nateghi S., Ferdyn-Grygierek J., Kaczmarczyk J., (2023), Nateghi S., Kaczmarczyk J., (2023), Nateghi S., Behzadi A., Kaczmarczyk J., Wargocki P., Sadrizadeh S., (2025)), są poświęcone różnym technikom wentylacji i badania w nich opublikowane podsumowano w rozdziale 2 (*Chapter 2: Ventilation strategies and smart control*). Prace dotyczą możliwości optymalizacji wentylacji naturalnej (system otwierania okien) w połączeniu z optymalizacją kontroli poziomu ogrzewania w klasie szkolnej oraz z uwzględnieniem jakości powietrza na zewnątrz i temperatury zewnętrznej. Badano przypadki zastosowania tylko wentylacji naturalnej lub mechanicznej a także dodatkowo maseczek lub maseczek i oczyszczacza powietrza. We wszystkich badanych przypadkach analizowano wpływ proponowanej optymalizacji na zużycie energii. Prace te zawierają wyniki symulacji komputerowych.

Najważniejszym stwierdzeniem wydaje się to, że optymalizacja wentylacji może być wystarczająca dla zachowania pożądanych warunków termicznych i poziomu CO₂, ale nie, jeśli chodzi o zapobieganie infekcjom. Natomiast stwierdzenia o poprawie zarówno jakości powietrza, jak i obniżeniu ryzyka infekcji przy zmniejszonej liczbie uczestników pomieszczenia wydają się oczywiste i zostały sformułowane na podstawie jednego przypadku, gdy liczba użytkowników pomieszczenia była mniejsza o 50%. Jednak powiązanie wyników dla tego przypadku z wpływem na stężenie ditlenku węgla oraz zwiększeniem zużycia energii przy braku oczyszczacza powietrza jest interesujące.

Rozdział kolejny (*Chapter 3: Local strategies for infection control*) podsumowuje badania przedstawione w następnych trzech publikacjach (Nateghi S., Kaczmarczyk J., Zabłocka-Godlewska E., Przysaś W., (2025); Nateghi S., Kaczmarczyk J., (2024); Nateghi S., Marashian S., Kaczmarczyk J., Sadrizadeh S., (2025)), poświęcone wpływowi barier (ekranów) fizycznych oraz osobistej wentylacji wyporowej na rozprzestrzenianie się zanieczyszczeń. Ze względu na powszechność stosowania barier w czasie ostatniej pandemii, jest to istotne zagadnienie. Bariery to

rozwiązania proste, nie wymagające wysokich nakładów inwestycyjnych i nie ingerujące w strukturę budynku, zatem mogące znaleźć powszechne zastosowanie. Ich rola jest jednak ograniczona i mogą ewentualnie wpływać na przemieszczanie się cząstek, czyli na przykład bioaerozoli, a nie na jakość powietrza. Badania wykazały, że także w przypadku cząstek, efekt barier jest ograniczony i zależy od zastosowanej wentylacji. Natomiast połączenie wentylacji wywiewnej z barierami fizycznymi może znacząco zmniejszać ekspozycję na zanieczyszczenia. Badania opisane w dwóch publikacjach (papers 3-4) zostały przeprowadzone w komorze modelowej, gdzie uczniów symulowały podgrzewane walce. Tak zaprojektowana komora umożliwiała przetestowanie różnych systemów wentylacji, rozprowadzania kontrolowanej, wygenerowanej ilości aerozoli, czyli prowadzenia eksperymentu w kontrolowanych warunkach. W ostatniej publikacji z tej części badań wpływ wysokości barier i natężenia przepływu powietrza wentylacyjnego potwierdzono przy pomocy symulacji CFD.

Rozdział 4 (*Chapter 4: Life cycle assessment of infection control strategies*) zawiera nie opublikowaną (przynajmniej w chwili pisania rozprawy) ocenę środowiskową metodami LCA różnych, proponowanych strategii kontroli rozprzestrzeniania się infekcji. Rozważano bariery, środki ochrony indywidualnej (maseczki) i bariery połączone z wentylacją waporową. Przy czym na oszacowanie kosztów i zużycie energii miało także wpływ założenie, w każdym rozważanym scenariuszu, działania wentylacji mechanicznej mieszającej, dostarczającej 148 L/s powietrza atmosferycznego (zewnętrznego).

Jest to interesujący aspekt, wynikający nie tylko z kosztów stosowanych rozwiązań (materiały, surowce, energia), ale i z konieczności zagospodarowania odpadów (zużyte maseczki, ekrany), i to odpadów medycznych, skażonych lub potencjalnie skażonych. W czasie rosnącej liczby zakażeń i rozwoju pandemii, nie są to koszty, które się uwzględnia, ale przy ocenie minimalizacji rozprzestrzeniania się bioaerozoli w czasie sezonowych infekcji ma to oczywiście znaczenie i stwierdzenie, że zintegrowany system barier fizycznych i lokalnej wentylacji waporowej to rozwiązanie pozwalające na najlepsze zbalansowanie ryzyka infekcji i oddziaływania na środowisko ma znaczenie aplikacyjne. Przy czym ze społecznego punktu widzenia i jako element nacisku na decydentów, powinno się te aspekty zestawić z kosztami leczenia infekcji.

Rozprawę zakończono rozdziałem 5, zatytułowanym „Wnioski (*Chapter 5: Conclusions*)”, czyli tak, jak w klasycznej dysertacji. Rozdział 5 zawiera krótkie posumowanie (jeszcze raz skrótowne opisanie co wykonano w ramach badań) oraz siedem wniosków. Doktorant odnosi się w tej części do hipotez, które przedstawił na początku i krytycznie ocenia ich trafność, co stanowi zaletę pracy. Wszystkie wnioski są dość ogólne i sformułowane jakościowo, nie ilościowo, jakkolwiek potwierdzone wykonanymi badaniami, a badania te i obliczenia, w niektórych wypadkach,

pozwalalaby na wnioski ilościowe. Niektóre z wniosków, na przykład dotyczące otwierania okien, przy braku wentylacji mechanicznej, powinny zostać rozpowszechnione nie tylko w środowisku naukowym.

Na zakończenie Doktorant przedstawił propozycje przyszłych kierunków badań (podrozdział 5.1.), co jest zgodne z obecnymi trendami w pisaniu dysertacji, jednak z edycyjnego punktu widzenia rozdział nie powinien mieć tylko jednego wyróżnionego podrozdziału. Natomiast sugerowane kierunki badań zostały trafnie określone, gdyż istnieje pilna konieczność podjęcia działań zmierzających do poprawy jakości powietrza wewnętrznego, którym oddychamy przez większość naszego życia.

Uwagi i pytania:

Praca w zasadniczej części składa się z publikacji, które już zostały zrecenzowane i opracowane edytorsko w uznanych wydawnictwach, zatem brak istotnych uchybień edytorskich. Język pracy jest zrozumiały, nazewnictwo poprawne.

Najistotniejsze uwagi edycyjne dotyczą spisu literatury dołączonego do opracowania publikacji przez Doktoranta (strony 56-62), gdzie nie ujednolicono formatu, np. rok wydania czasami jest czcionką pogrubioną („bold”) a czasami nie. Zastrzeżenia może także budzić kolejność wyjaśnień stosowanych skrótów, gdyż nie jest ani alfabetyczna, ani zgodna z kolejnością pojawiania się w tekście.

Natomiast poniższe pytania nie stanowią zarzutów do prezentowanej rozprawy, raczej są przejawem ciekawości Recenzentki.

1/ Dlaczego zakładając poziom bazowy ditlenku węgla na 400 ppm (paper 1/Chapter 1), jako próg optymalizacji wyznaczono 1200 ppm. Oczywiście 400 ppm to wartość uznawana obecnie (w XXI wieku) za poziom dla czystego powietrza. Jako miasto z polskiej strefy klimatycznej wybrano Warszawę, a nie Gliwice, jednak czy w Warszawie albo Gliwicach stężenie CO₂ w powietrzu atmosferycznym jest na poziomie 400 ppm?

2/ W publikacji 5 (Nateghi S., Kaczmarczyk J.,(2024), Compatibility of integrated physical barriers and personal exhaust ventilation with air distribution systems to mitigate airborne infection risk, Sustainable Cities and Society 103, 105282), w opisie metody jest mowa o 6 walcach, symulujących uczniów i dla nich są prezentowane wyniki na rys. 2. Natomiast na fotografii na rys. 1 widać znacznie więcej obiektów symulujących uczniów. Proszę wyjaśnić trochę dokładniej metodę.

3/ Obiekty (walce) symulujące uczniów miały symulować osoby o niskiej aktywności fizycznej (heat load 60W), czyli pracę przy biurku. Jednak dzieci rzadko siedzą spokojnie, temperatura ciała też może być inna po przerwie spędzonej na bieganiu, a inna na siedzeniu ze smartfonem. Czy uważa Pan, że ewentualne zyski ciepła „od ludzi”, założenie wyższych temperatur, lub uwzględnienie większej liczby uczniów, miałyby wpływ na wyniki?

4/ Wśród proponowanych dalszych badań, wspomina Pan, i słusznie, o badaniach w warunkach rzeczywistych. Czy spodziewa się Pan potwierdzenia (tylko uściślenia) wyników symulacji i badań w warunkach laboratoryjnych czy może uważa Pan, że ze względu na ograniczenia stosowanych modeli wyniki mogą się znacząco różnić?

Podsumowanie

Niezależnie od kilku uwag krytycznych, należy stwierdzić, że Doktorant wykazał umiejętności formułowania i rozwiązywania problemu naukowego, poprawnej prezentacji uzyskanych wyników, ich krytycznej analizy oraz wyciągania wniosków. Przeprowadzone badania zostały dobrze udokumentowane, zastosowano prawidłowe metody badawcze. Metody i procedury analityczne zostały zweryfikowane i udokumentowane.

Na podstawie lektury zarówno opisowej części dysertacji, jak i opublikowanych prac, można stwierdzić, że badania przeprowadzone przez Doktoranta oraz dyskusja ich wyników wnoszą istotny wkład w badania nad jakością powietrza wewnętrznego i metodami jego poprawy i zawiera elementy nowości naukowej.

Wniosek końcowy

Uwzględniając wszystkie elementy oceny, należy stwierdzić, że rozprawa doktorska zawiera oryginalne badania naukowe i spełnia kryteria ustawowe dla prac doktorskich. zatem rekomenduję Radzie Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach dopuszczenie rozprawy: „*Analyses of selected methods of limiting the spread of air pollutants in the occupied ventilated rooms*” mgr inż. Seyedkeivana Nateghi do publicznej obrony.

Analizując zakres badań i udokumentowanie wyników oraz ich opublikowanie w uznanych czasopismach naukowych można stwierdzić, że prezentowana praca kwalifikuje się do wyróżnienia.

Lublin, 30.08.2025 r.

Podpisała Marzenna R. Dudzińska