

dr hab. inż. Michał Turski, prof. PCz

Częstochowa, 01.12.2023

Politechnika Częstochowska

Wydział Infrastruktury i Środowiska

Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr. inż. Natalii Krawczyk  
pt. „Analiza komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego  
w budynkach użyteczności publicznej”

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Zastępcy Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Świętokrzyskiej, dr hab. inż. Łukasza Ormana, prof. PŚk, z dnia 30.10.2023 r., poprzedzone uchwałą Rady Naukowej tej dyscypliny, podjętą w dniu 25.10.2023 r.

**1. Przedstawienie podstawowych danych o kandydacie**

Pani Natalia Krawczyk uzyskała tytuł magistra inżyniera dnia 17 lipca 2019 roku, nadany przez Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechniki Świętokrzyskiej. Jednocześnie stwierdzam, że uprzednio Kandydatka nie ubiegała się o nadanie stopnia doktora.

Dotychczasowy przebieg pracy naukowo-zawodowej Pani Natalii Krawczyk od początku związany był z Politechniką Świętokrzyską w Kielcach oraz dyscypliną inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki. Zarówno studia pierwszego, jak i drugiego stopnia Kandydatka ukończyła na kierunku Inżynieria



Katedra Zaawansowanych Technologii Energetycznych

Wydział Infrastruktury i Środowiska

Politechnika Częstochowska

ul. Dąbrowskiego 73, 42-201 Częstochowa

[wis.pcz.pl](http://wis.pcz.pl)

środowiska. Pani Natalia Krawczyk uzyskała tytuł inżyniera w lutym 2018 r. w specjalności Zaopatrzenia w Wodę i Unieszkodliwiania Ścieków i Odpadów, a tytuł magistra w specjalności Sieci i Instalacje Sanitarne w lipcu 2019 r. Ponadto Kandydatka uzyskała kwalifikacje pedagogiczne w sierpniu 2021 r., kończąc studia podyplomowe w Wyższej Szkole Humanistyczno-Ekonomicznej w Brzegu.

Oprócz zdobywania powyższych kwalifikacji Pani Natalia Krawczyk była członkiem koła naukowego Ekolog.

W 2019 r. Kandydatka podjęła się dalszego rozwoju naukowego w charakterze doktorantki na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechniki Świętokrzyskiej, realizując temat recenzowanej rozprawy doktorskiej. Podczas realizacji doktoratu Pani mgr inż. Natalia Krawczyk pozostawała aktywna w środowisku naukowym, czego wymiernymi efektami były wyniki badań prezentowane na 14 konferencjach naukowych, w znacznej większości międzynarodowych, organizowanych za granicą. Na szczególną uwagę zasługuje 17 publikacji naukowych w międzynarodowych czasopiśmie z listy ministerialnej, których Kandydatka jest autorką lub współautorką. Wśród publikacji można wyróżnić dwustupunktową publikację w Production Engineering Archives z 2023 r., w której udział kandydatki wynosi 50%. Ponadto kandydatka posiada w swoim dorobku łącznie 29 publikacji, z których w 20 posiada udziały 50% lub większe.

Pani mgr inż. Natalia Krawczyk posiada również doświadczenie w pracy zawodowej nauczyciela w Zespole Szkół Zawodowych nr 1 w Kielcach.

Oprócz deklarowanej przez Panią mgr inż. Natalię Krawczyk gotowości do dalszej pracy naukowo-dydaktycznej, sądzę, że prezentowany dorobek potwierdza jej predyspozycje.

---

## 2. Przedstawienie informacji o ocenianej rozprawie doktorskiej

### 2.1. Tytuł oraz ocena układu rozprawy doktorskiej

Pani mgr inż. Natalia Krawczyk w rozprawie doktorskiej pt. „Analiza komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w budynkach użyteczności publicznej”, stanowiącej podstawę ubiegania się o nadanie stopnia doktora, przedstawiła swoje argumenty na 144 stronach (bez załączników). Całość opracowania obejmuje 236 stron tekstu, z czego wyodrębniona część teoretyczna stanowi 47 stron, a część praktyczna i eksperymentalna została zawarta na 68 stronach. Stwierdzam, że treść rozprawy doktorskiej nie odbiega w żadnym względzie od tematu zawartego w tytule, a sam układ rozprawy doktorskiej, struktura podziału treści oraz kolejność prezentowanych rozdziałów są poprawne. Rozprawa doktorska stanowi zwięzłe i kompletne opracowanie pod względem edycyjnym.

### 2.2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa

Autorka dokonała obszernego przeglądu literaturowego w zakresie komfortu cieplnego i badań z nim związanych, jak również zagadnień modelowania komfortu cieplnego, który obejmował 156 pozycji literaturowych, z czego 29 pozycji to prace własne. Fakt ten świadczy m.in. o istotnym wkładzie Kandydatki w rozwój tematyki dotyczącej komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego już na etapie pisania rozprawy doktorskiej. Przegląd literatury ocenia się jako aktualny i wyczerpujący.

### 2.3. Ocena celu pracy

W rozdziale 4 przedstawione zostały tezy i cele badawcze. Pani mgr inż. Natalia Krawczyk wskazała stężenie dwutlenku węgla w pomieszczeniu, wartość indeksu BMI osób tam przebywających, liczbę osób na jednostkę kubatury oraz

natężenie oświetlenia jako czynniki mające wpływ na odczucia cieplne. Czynniki te nie są obecnie uwzględniane w modelu Fanger'a. Ponadto Kandydatka stwierdziła na podstawie przeglądu literatury, że wskaźniki PMV i PPD nie przewidują w sposób prawidłowy rzeczywistych odczuć cieplnych. Ostatecznie Kandydatka proponuje modyfikację modelu Fanger'a poprzez uwzględnienie w nim dodatkowych czynników wpływających na komfort cieplny i dobranie stałych eksperymentalnych w celu poprawy dokładności przewidywania wskaźników PMV i PPD.

Cele rozprawy doktorskiej dotyczyły:

- wykonania badań ankietowych odczuć cieplnych dla dużej grupy osób z uwzględnieniem danych umożliwiających obliczenie indeksu BMI i oporu cieplnego odzieży każdego uczestnika badania, przy jednoczesnym pomiarze parametrów mikroklimatu pomieszczeń (w tym stężenie dwutlenku węgla, natężenia oświetlenia) i parametrów geometrycznych pomieszczeń w celu określenia wielkości liczby osób przypadających na jednostkę kubatury;
- określenia czynników, wpływających na odczucia cieplne, a nieuwzględnionych w modelu Fanger'a,
- modyfikacji wskaźników PMV i PPD w oparciu o własne dane eksperymentalne.

Stwierdzam, że Kandydatka mocno osadziła tezy rozprawy doktorskiej we wnioskach płynących z przeprowadzonego przeglądu literatury. Cele rozprawy doktorskiej są jasne i precyzyjne, jak również określają bezpośrednio kierunek realizacji rozprawy doktorskiej. Nie stwierdza się nieprawidłowości w tym zakresie.

#### 2.4. Ocena metod badawczych

Badania komfortu cieplnego zostały przeprowadzone od 19.03.2021 r. do 28.06.2022 r. w budynkach użyteczności publicznej, na Politechnice Świętokrzyskiej. Badania obejmowały budynki o różnej charakterystyce

energetycznej, co samo w sobie stanowi interesujący element pracy. Badania polegały na analizie percepcji środowiska wewnętrznego badanej grupy społecznej dla wybranych 6 budynków. Badania zostały przeprowadzone dwoma metodami, tj. jako pomiar parametrów mikroklimatu za pomocą specjalistycznego sprzętu: miernika Testo 400 i jego sond oraz wykonaniu wraz z analizą anonimowych ankiet. Badaniu poddano 1302 osób, w tym 640 kobiet i 662 mężczyzn. Ponadto badania zostały rozszerzone o wykorzystanie komory klimatycznej oraz kamery termowizyjnej. Na podstawie pomiarów mikroklimatu i ocen zawartych w ankietach określono wskaźniki PMV i PPD wg normy PN-EN ISO 7730 i porównano je z rzeczywistymi odczuciami.

Dobór metod badawczych oraz wykorzystaną aparaturę badawczą, jak również poprawność samej procedury pomiarowej i przeprowadzenia badania komfortu cieplnego wśród respondentów uważam za poprawne i miarodajne. Dobór obiektów budowlanych do przeprowadzenia badań również oceniam jako nieprzypadkowy. Podział wiekowy i ilościowy badanej grupy osób, podobnie jak ilość respondentów świadczą o rzetelności pozyskanych wyników badań. Atutem przeprowadzonych badań było wykorzystanie komory klimatycznej, miernika Testo 400 oraz kamery termowizyjnej.

## 2.5. Ocena omówienia wyników badań

Wyniki badań przeprowadzonych przez Kandydatkę dotyczą zasadniczych wskaźników komfortu cieplnego, tj. wilgotności względnej powietrza i temperatury operatywnej, stężenia dwutlenku węgla i temperatury powietrza, oraz zależności pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV) a preferencjami ankietowanych (TPV), zależności pomiędzy wrażeniami termicznymi (TSV), a oceną aktualnej temperatury (TAV), zależności pomiędzy preferencjami (TPV), a oceną aktualnej temperatury (TAV), zależności między głosem wrażenia termicznego, a temperaturą operacyjną, zależności pomiędzy oceną wilgotności powietrza,

a zmierzoną wilgotnością powietrza, zależności pomiędzy średnią oceną jakości powietrza (IAQ) a stężeniem CO<sub>2</sub>, zależności pomiędzy średnią oceną ogólnego odczucia (GSV) a średnią oceną jakości powietrza (IAQ), zależności pomiędzy średnią oceną oświetlenia w badanych pomieszczeniach a natężeniem oświetlenia, średniej oceny ogólnego odczucia a średniej oceny natężenia światła, zależności pomiędzy wrażeniami termicznymi a ogólnymi odczuciami, średniej oceny produktywności w zależności od temperatury w badanych pomieszczeniach, średniej oceny produktywności a oceny natężenia oświetlenia oraz zależności pomiędzy średnią oceną produktywności a średnią oceną dobrostanu. Każda z tych zależności była odniesiona do częstości udzielanych odpowiedzi przez ankietowanych. Do każdej z zależności zostały sprecyzowane wnioski szczegółowe, których jednak nie sposób omówić w recenzji, poza stwierdzeniem, że są logiczne i rzeczowe. Współczynniki determinacji R<sup>2</sup> w większości rozpatrywanych zależności są zadowalające. W przypadku zależności pomiędzy średnią oceną jakości powietrza (IAQ) a stężeniem CO<sub>2</sub> współczynnik determinacji na poziomie 0,02 nie prowadził do żadnych miarodajnych wniosków. Podobnie stało się przy próbie podjęcia określenia produktywności względem oświetlenia.

Kolejnym, niewątpliwym i interesującym wkładem Kandydatki do zwiększenia wiedzy w zakresie komfortu cieplnego były modyfikacje wskaźników PMV i PPD oraz określenie wpływu BMI, liczby osób na jednostkę kubatury, oświetlenia, stężenia CO<sub>2</sub> na wrażenia termiczne. Na podstawie przedstawionych wyników Doktorantka stwierdziła, że istotny wpływ na komfort cieplny miały wskaźniki w postaci BMI i stężenia CO<sub>2</sub>, co stanowiło częściowe potwierdzenie sformułowanej tezy badawczej.

Na tej podstawie Pani mgr. inż. Natalia Krawczyk zaproponowała modyfikację modelu Fanger'a, czego wynikiem było opracowanie nowego wzoru do oceny wrażeń cieplnych i wyznaczania PPD. Model Fanger'a został zmodyfikowany od

wartości średniej odległości  $d$  wynoszącej dla modelu pierwotnego 0,77 do ostatecznej wartości 0,343 dla zaproponowanej modyfikacji. Zastosowano m.in. liniową modyfikację modelu oraz metodę najmniejszych kwadratów. Te i inne zastosowane metody uznaje się za poprawne, a uzyskany wynik za satysfakcjonujący.

Zaprezentowane wyniki wskazywały na to, że zaproponowany przez Kandydatkę model był istotnie lepszy od modelu pierwotnego, co zostało potwierdzone na podstawie wyników badań w komorze klimatycznej. Tym samym Kandydatka udowodniła dwie pozostałe tezy badawcze.

Informacje zawarte w podsumowaniu i wnioskach szczegółowych oraz końcowych mają charakter syntetyczny i są sformułowane w sposób przejrzysty. Akcentują one najważniejsze uzyskane wyniki prac teoretycznych i eksperymentalnych oraz w sposób jednoznaczny odnoszą się do postawionych tez, będących przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej. Cele pracy uznaje się za zrealizowane.

## 2.6. Praktyczne zastosowanie uzyskanych wyników badań

Wyniki badań zawarte w rozprawie doktorskiej, zarówno w formie przeprowadzonych ankiet, jak również danych wynikających z ich obróbki i wyznaczonych zależności są niezwykle wartościowe w ujęciu poznawczym, jak i utylitarnym. Opracowanie wyników badań odzwierciedla ogrom pracy wykonanej przez Autorkę rozprawy.

Uzyskane wyniki są unikatowe, a ich wykorzystanie do modyfikacji modelu Fangera, w celu jego optymalizacji, stanowi o ich niewątpliwym, praktycznym zastosowaniu. Z uwagi na dość popularne narzędzie, jakim jest model Fangera, uzyskane wyniki świadczą o wysokiej aplikacyjności zaproponowanego rozwiązania.



## 2.7. Informacja o nieprawidłowościach w rozprawie doktorskiej

Niezależnie od aktualności podjętej problematyki badawczej oraz jej oryginalności, czy praktycznego wymiaru należy wspomnieć o elementach pracy, które wymagają doprecyzowania lub uzupełnienia:

- a) Doktorantka powołuje się wielokrotnie na prace własne, lecz nie jest ujęte w kilku słowach, co z tych prac wynika. W miejscach powołań na prace własne uzasadnione byłyby informacje o przeprowadzonych analizach, badaniach oraz najważniejszych wnioskach – konsekwentnie, jak zostało to zrobione w pozostałej części przeglądu literatury dla innych autorów.
- b) W rozdziale „Przedmiot i zakres badań” (s. 54) podano informacje na temat budynków, w których przebywali respondenci. Informacje te dotyczą charakterystyk wymiarowych i konstrukcyjnych. Cennym uzupełnieniem byłoby odniesienie uzyskanych wyników do klasy energetycznej tych budynków, a nie wyłącznie ich konstrukcji. Proponuję odniesienie się do warunków technicznych jakim odpowiada obecna klasa energetyczna budynku (w zależności od roku budowy lub ostatniej termomodernizacji). Dokładniejszym sposobem, który również mógłby wykazać korelację z odczuciami cieplnymi respondentów byłoby odniesienie się do wartości wskaźników zapotrzebowania na energię końcową i pierwotną EK i EP. Przy takim podejściu byłoby możliwe sklasyfikowanie obiektów badań wg wskaźników liczbowych. Obecnie, choć informacje dotyczące budynków są szczegółowe, to trudno się do nich odnieść, poza rolą informacyjną.
- c) s.122, w. 1 (s – strona, w – wiersz) – została zamieszczona informacja o wpływie błędów pomiarowych. O jakie konkretnie błędy pomiarowe chodzi i jaki wpływ mogła mieć dokładność pomiarowa zastosowanego sprzętu?



- d) We wnioskach użyte zostaje stwierdzenie „silna zależność”. Sądzę, że określenie liczbowe byłoby doprecyzowaniem tej informacji.
- e) Wniosek nr 3 jest nieprecyzyjny – „zaobserwowaną silną między”. Proszę poprawić sformułowanie.
- f) Wniosek 8 – jak istotny był to wpływ?
- g) Brakuje informacji odniesienia uzyskanych wyników do prezentowanego przeglądu literatury i podobnych badań. Czy wyniki prezentowanej rozprawy doktorskiej wypadły korzystnie na tle innych pokrewnych wyników badań?

Uwagi edytorskie:

- s. 5 – t<sub>cl</sub> oznaczenie powtarza się,
- TO – pozostałe temperatury w pracy w °C zostały oznaczone małą literą t,
- LLJK – „liczbę” – powinno być „liczba”,
- uwaga informacyjna – główne rozdziały pracy mogłyby zaczynać się od nowej strony (wstęp, przegląd literatury, itd.),
- HVAC – skrót nie został ujęty w wykazie.
- s. 7, w. 8 – „biorąc pod uwagę” – powinno być „biorąc to pod uwagę”,
- uwaga informacyjna – proponowałbym w całej pracy unikać stosowania pierwszej osoby, poza obszarami pracy, kiedy jest to faktycznie uzasadnione i dotyczy bezpośredniego wkładu Autorki,
- s. 11, w. ostatni – „chodzenie około” – sądzą, że intencją było „chodzenie wokół”, choć proponowałbym zmianę na „chodzenie z intensywnością...”,
- s. 12, w. 2 – „Wraz z rozwojem” – proponuję potwierdzić stwierdzenie powołując się na literaturę,
- s. 26, w. 26 – „Artykuł bada” – może „W artykule zbadano”,
- rozdział 2.1, w. 27 – „tracenie ciepła przez różne ścieżki” wydaje się być niefortunnym sformułowaniem,

- 
- s. 33, w. 8 – powinno być „jeśli tracone ciepło” – choć nadal będzie to sformułowanie mało techniczne,
  - uwaga informacyjna – w wykazie oznaczeń pominięto znaczną część wielkości, które zostały użyte we wzorach; są one wyjaśnione w treści pracy, choć w mojej opinii mogłyby być w jednym miejscu,
  - w niektórych wzorach brak jest jednostek, a jeżeli nie występują to oznaczenia braku jednostki – skoro jednostki są podawane w części wzorów postępowałbym konsekwentnie,
  - s. 66, w. 8 – powinno być „wentylację mechaniczną”,
  - s. 68, w. 16 – „kobiet” – powinno być „kobiety”,
  - s. 68, w. 20 – „które” – powinno być „która”,
  - s. 69, w. 19 – „dla kobiet jest” – powinno być „było”,
  - s. 71, w. 6 – powinno być „zmniejszenia”,
  - s. 72, w. 2 – „jest i wyniósł” – proponuję konsekwentnie czas przeszły „był”,
  - s. 75, w. 17 – „31,12% mężczyzn” – zdanie niezrozumiałe, czego dotyczy ten procent?,
  - s. 77, w. 2 – „wilgotność była bardziej wilgotna” – rozumiem zabieg, choć brzmi to nieco dziwnie, może zastąpić takie stwierdzenie wartościami liczbowymi zamiast „dużo”, „mało” podać wartości,
  - s. 93, w. 6 – „Takich osób...” – zdanie niezrozumiałe,
  - s. 94, w. 13 – o jaką gęstość chodzi?,
  - s. 96, w. 13 – „cielne” – powinno być „cieplne”,
  - s. 102, w. 19 – „miał” – powinno być „były” lub „był wskaźnik BMI”,
  - s. 105, w. 5 – „do odczuwania mniej zimna” niezrozumiałe stwierdzenie,
  - s. 121, w. 13 – „bardziej dokładniejsze” – powinno być „bardziej dokładne” lub „dokładniejsze”,
  - s. 123, w. 6 – „ankietowaniu” – powinno być „ankietowani”.

---

## 2.8. Ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego

Niewątpliwymi atutami pracy, pod względem oryginalności i nowości, są przeprowadzone modyfikacje wskaźników PMV i PPD, określenie parametrów, wpływających na komfort cieplny, a nieuwzględnionych w modelu Fanger'a, modyfikacja modelu Fanger'a o te wskaźniki, czyniąc go bardziej precyzyjnym narzędziem do przewidywania faktycznych odczuć użytkowników budynków. Oprócz tego, do wkładu w rozwój tematyki komfortu cieplnego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka zalicza się wykazanie wpływu BMI na odczucia cieplne dużej grupy osób, kompleksowe podejście i analizę, dodatkowe parametry zastosowane w modelu Fanger'a (BMI, CO<sub>2</sub>, ilość osób na kubaturę oraz oświetlenie). W skali kraju jest to podejście oryginalne.

## 2.9. Ocena, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Kandydatki w dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Biorąc pod uwagę zakres tematyczny rozprawy doktorskiej wraz z realizacją przyjętych badań uznaje się, że Doktorantka wykazała się znaczną umiejętnością planowania i realizacji poszczególnych etapów pracy. Żaden element pracy nie odbiega jakościowo od wysokiego poziomu zaprezentowanego przez Doktorantkę. Choć w literaturze badania komfortu cieplnego, jak również sam model Fanger'a są przedmiotami prac naukowych wielu zagranicznych ośrodków naukowych, to niewiele jest takich prac w literaturze krajowej. Natomiast kompleksowe podejście, jakie zostało zaprezentowane w prezentowanej rozprawie doktorskiej oraz szeroki zakres i rzetelność przeprowadzonych badań są oryginalne i świadczą o ogólnej wiedzy Kandydatki z zakresu dyscypliny inżynierii środowiska górnictwa i energetyki.

### 3. Wniosek końcowy

Podsumowując moją ocenę rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Natalii Krawczyk pragnę stwierdzić, że rozprawa doktorska dotyczy interesującego zagadnienia w obszarze zapewnienie komfortu cieplnego, a tym samym prezentowana problematyka ma istotne znaczenie praktyczne. Niezależnie od szeregu uwag krytycznych praca zawiera wiele wartościowych rezultatów. Moje uwagi o charakterze krytycznym i polemicznym, choć wymagają oczywiście, aby Doktorantka się do nich ustosunkowała w dalszej części postępowania, nie podważają głównych celów pracy ani jej podstaw. Autorka wykazała się wystarczającą umiejętnością samodzielnego formułowania problemów naukowych i ich rozwiązywania.

Uważam tym samym, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska Pani mgr inż. Natalii Krawczyk pt. „Analiza komfortu cieplnego i jakości powietrza wewnętrznego w budynkach użyteczności publicznej” odpowiada warunkom stawianym rozprawom doktorskim w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2023.742 t.j. z dnia 20.04.2023 ze zm.). W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie do publicznej obrony.

dr hab. inż. Michał Turski, prof. PCz