

Dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. PŁ

Łódź, dn. 10.05.2021

Katedra Inżynierii Środowiska

Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Politechnika Łódzka

Recenzja

pracy doktorskiej mgr inż. Grzegorza Majewskiego

**pt. „Analiza komfortu cieplnego w wybranych budynkach inteligentnych
na terenie Polski”**

**wykonanej na Wydziale Budownictwa i Architektury,
Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.**

Promotor: dr hab. inż. Łukasz Orman, prof. PŚk

Promotor pomocniczy: dr inż. Marek Telejko

1. Podstawa opracowania recenzji

Recenzję opracowano na podstawie uchwały Rady Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Świętokrzyskiej nr 302/19 z dnia 30.09.2019 r. o powołaniu recenzenta oraz na prośbę Dyrektora Naukowego Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport – prof. dr hab. inż. Jerzego Wawrzeńczyka, z dnia 15.02.2021 r., sformułowaną w piśmie RNB/3/2021.

2. Ocena zasadności podjęcia tematu

Rozwój współczesnego budownictwa, w tym technologii budowlanych oraz systemów utrzymania technicznego budynków, zdeterminowany jest wielorakimi kryteriami o charakterze techniczno-użytkowym, w tym wymaganiami z zakresu komfortu użytkowania, ochrony środowiska oraz efektywności energetycznej. Jakość środowiska wewnętrznego zawsze była silnie powiązana z energochłonnością obiektów budowlanych. W przypadku budynków, w których zastosowano rozwiązania o niskim stopniu zaawansowania technicznego utrzymanie wysokich parametrów komfortu cieplnego było trudne i wiązało się z wysokim wydatkiem energetycznym. Wprowadzanie systemów o większym potencjale

regulacji pozwalało poprawić parametry komfortu w okresie użytkowania przy jednoczesnym obniżeniu zużycia energii. Był to jeden z pierwszych kroków w kierunku budownictwa inteligentnego wyposażonego w najnowsze technologie monitoringu jakości środowiska i efektywności energetycznej oraz sterowania systemami utrzymania technicznego budynków. Należy przy tym pamiętać, że nie zawsze zastosowanie nowoczesnych systemów zarządzania budynkiem (BMS) musi przynieść oczekiwany skutek. Ponadto w takich obiektach systemy sterowania parametrami środowiska wewnętrznego są często pozbawione możliwości bezpośredniej ingerencji samych użytkowników, nawet jeżeli dotyczy ona tak podstawowego działania jak na przykład otwarcie okna. Mając powyższe na uwadze należy zgodzić się z głównym problemem sformułowanym w pracy, że odczucia komfortu cieplnego w budynkach „inteligentnych” mogą różnić się względem obiektów tradycyjnych. Problem badawczy określony przez Doktoranta w postaci celów i tez pracy jest niewątpliwie zadaniem ambitnym, oryginalnym i istotnym z punktu widzenia projektowania i eksploatacji współczesnych budynków. Niewątpliwie należy uznać, że aktualny stan wiedzy na temat funkcjonowania budynków inteligentnych jest niepełny i wymaga szczegółowych badań, zaś prezentowana rozprawa doktorska jest odpowiedzią na tę potrzebę. Stwierdzam, że tematyka podjęta w recenzowanej rozprawie jest niezwykle aktualna, ważna z poznawczego i aplikacyjnego punktu widzenia, a także istotna z uwagi na nowe trendy w budownictwie oraz prognozowane zmiany klimatyczne. Uzyskane przez Doktoranta wyniki badań doświadczalnych przyczynią się z pewnością do lepszego poznania sposobów funkcjonowania współczesnych obiektów użyteczności publicznej. Tym samym tematykę podjętą w rozprawie doktorskiej uważam za oryginalną w kontekście prowadzonych w Polsce i na świecie badań, zaś jej wybór za trafny i uzasadniony.

3. Krótka charakterystyka pracy i zakres rozprawy

Praca pt. „Analiza komfortu cieplnego w wybranych budynkach inteligentnych na terenie Polski” została przygotowana w formie maszynopisu i liczy łącznie 158 stron, nie licząc załączników. Zawiera 37 rysunków, 17 fotografii i 26 tabel. Napisana jest w sposób przejrzysty i poprawny pod względem językowym, zaś wyniki przedstawione są w syntetycznej formie. Główny i najbardziej obszerny 6 rozdział pracy zawiera opis metody badawczej, uzyskane rezultaty i ich analizę. Być może mógłby zostać podzielony na mniejsze podrozdziały. Podsumowanie i wnioski są wyjątkowo krótkie. Praca zawiera ponadto streszczenie w języku polskim i angielskim, zestawienie użytych oznaczeń i skrótów,

bibliografię, spisy tabel, rysunków oraz fotografii. Na końcu pracy znajduje się 6 załączników.

Rozdział 1 to wstęp wprowadzający czytelnika w podjętą tematykę dotyczącą budynków inteligentnych i zagadnień komfortu cieplnego. Podobnej wielkości jest rozdział 2, w którym przedstawiono czynniki wpływające na komfort cieplny. Rozdział 3 zatytułowany modelowanie komfortu cieplnego zawiera szczegółowe wzory służące do wyznaczania poszczególnych parametrów. Kolejne dwa rozdziały są wyjątkowo krótkie i mogłyby być połączone w jeden. Rozdział 4 zawiera wnioski wynikające z przeglądu literatury, zaś w rozdziale 5 sformułowano cele i tezy pracy. Najbardziej obszernym jest rozdział 6 stanowiący niewątpliwie oryginalny element pracy. Pracę kończy 6 krótkich wniosków, w którym brakuje jednak zarówno szczegółowego odniesienia do tezy pracy jak i chociażby krótkiego podsumowania.

W pracy wykorzystano 130 pozycji literaturowych, w tym 19 norm i 4 prace własne. Większość cytowanych prac to pozycje anglojęzyczne. W dużej części są to artykuły, które ukazały się po roku 2000. Należą do nich 4 prace własne doktoranta, w tym pozycje opublikowane w dobrych czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

4. Ocena formalna

Przedstawiona praca ma charakter badawczo - teoretyczny z obszaru fizyki budowli. Celem pracy, jak pisze autor było między innymi wykonanie badań parametrów mikroklimatu w wybranych budynkach na terenie Polski, określenia dodatkowego czynnika decydującego o odczuciach cieplnych a tym samym modyfikacja wskaźników PMV i PPD. Moim zdaniem badania przeprowadzone jedynie na dwóch obiektach mogą nie być miarodajne dla innych przypadków na terenie Polski. Ponadto dwa ostatnie cele pracy stanowią z założenia tezę, iż w przypadku budynków inteligentnych istniejąca normowa metoda oceny komfortu cieplnego jest nieprecyzyjna, co zostało sformułowane w tezie nr 1. Teza nr 2 doprecyzowuje, iż czynnikiem dodatkowym mającym wpływ na komfort cieplny jest stężenie dwutlenku węgla. Biorąc pod uwagę ograniczony mimo wszystko zakres badań teza nr 3 udowodniona została jedynie na podstawie wyników z dwóch obiektów. Uwaga mówiąca o konieczności prowadzenia dalszych badań w dłuższym okresie czasu i na innych obiektach byłaby pożądana w końcowej części pracy. Uwzględniając te ograniczenia należy stwierdzić, że tezy sformułowane przez Autora zostały udowodnione. Praca ma klasyczny układ rozprawy doktorskiej. Część eksperymentalna pracy została poprzedzona przeglądem aktualnego stanu

wiedzy. W części badawczej zastosowano czteroczynnikową analizę Boxa-Behnkena oraz wzbogacono o metodę analizy regresji. Zastosowanie planów Boxa-Behnkena pozwoliło na uwzględnienie czwartej stałej, którą przyjęto jako stężenie dwutlenku węgla.

W mojej opinii praca jest wystarczająco obszerna pod względem ilości wykonanych i opisanych badań, przeanalizowanych przypadków budynków oraz uzyskanych wyników. Liczy łącznie 342 strony, choć niemalże połowę stanowią załączniki. Zakres badań, przyjęta metodyka, kolejność prowadzonych analiz, jak i końcowa zawartość rozprawy nie budzą zastrzeżeń.

Praca napisana jest prawidłową polszczyzną, jednak ze znaczną liczbą błędów edytorskich. Autor stara się dogłębnie opisać wykorzystane metody badawcze, przeanalizować uzyskane wyniki i sformułować wynikające z nich wnioski. Jest precyzyjny w wyrażaniu własnych opinii, choć czasami brakuje pewnego dystansu w formułowaniu wniosków. Szczególnie dotyczy to prowadzonych badań, zastosowanych metod pomiarowych i przyrządów (ich dokładności) a także ograniczeń wynikających z badań ankietowych. Na szczególną pochwałę natomiast zasługuje dogłębna analiza statystyczna. Błędy o charakterze ogólnym i redakcyjnym wykazane w dalszej części recenzji nie mają istotnego wpływu na całościową pozytywną ocenę końcową.

5. Ocena merytoryczna

Z uwagi na trafnie sformułowany problem badawczy, zakres przeprowadzonych badań oraz prawidłową interpretację uzyskanych wyników moja ocena merytoryczna prezentowanej pracy jest wysoka. Jednakże dokładna analiza dysertacji nakłada na mnie obowiązek sformułowania kilku uwag, być może o charakterze dyskusyjnym, nie umniejszających jednak pierwotnej opinii.

5.1. Uwagi krytyczne wymagające odpowiedzi w czasie publicznej obrony

Proszę o doprecyzowanie różnic pomiędzy parametrami określonymi w normach: PN-78/B-03421 oraz PN-EN 15251. Dlaczego w podsumowaniu rozdziału 2 Autor odnosi się do normy PN-78/B-03421 nie zaś PN-EN 15251, która różnicuje budynki ze względu na kategorie. Jak określone w normie PN-EN 15251 poziomy aktywności fizycznej oraz izolacyjności termicznej odzieży korespondują z założeniami przyjętymi w rozprawie. Pytanie to nabiera znaczenia w kontekście interpretacji uzyskanych wyników, na przykład strona 96. „Zgromadzone w pracy obszerne dane eksperymentalne wskazują, że respondenci

w badanych inteligentnych budynkach opowiadali się za cieplejszym środowiskiem.” Czy uzyskane odpowiedzi nie wynikały z faktu różnicy w zakładanej i rzeczywistej izolacyjności cieplnej odzieży, lub też parametrów pracy instalacji HVAC?

Na podstawie przeglądu literatury oraz określając cele i tezy pracy Autor przyjął „a priori”, że dodatkowym czynnikiem mającym wpływ na odczucia ciepłe, a nieuwzględnionym w modelu Fangera jest stężenie dwutlenku węgla (str. 63 i 64). Czy w badaniach budynków „inteligentnych” próbowano także rozważać wpływ innych czynników? Czy wpływ stężenia dwutlenku węgla może mieć znaczenie jedynie w przypadku budynków „inteligentnych” czy też można go uwzględnić także w innych obiektach? Jakimi cechami charakteryzują się budynki inteligentne, które mogłyby spowodować iż właśnie w ich przypadku stężenia dwutlenku CO₂ nabiera istotnego znaczenia? Proszę przygotować odpowiedź w kontekście interpretacji wyników zamieszczonych przykładowo na rysunku 18, z którego wynika zmiana nachylenia linii trendu względem „linii pełnej zgodności”, nie zaś jej przesunięcie. Tym samym nie jest uzasadnionym wniosek nr 3 (str. 143).

5.2. Pozostałe uwagi merytoryczne

Proszę doprecyzować jak należy tłumaczyć słowo „Vote”. W spisie symboli raz pojawia się tłumaczenie jako „osób” (str. 3), raz natomiast jako „ocena” (str. 4). W niektórych pracach skrót HPV rozwijany jest jako „Humidity Perception Vote” zamiast „Humidity Preference Vote”. Proszę doprecyzować o jaki parametr chodzi.

W przypadku parametru „tempo metabolizmu” Autor nie podaje nazwy angielskiej. Czy chodzi o „metabolic rate”? Jeżeli tak to jednostka powinien być W/m² lub met, 1 met = 58W/m² (str. 4).

Cel sformułowany we wstępie jest nieco lakoniczny (str. 6) „identyfikacja wybranych zagadnień nie do końca poznanych”. Takie zdanie nakreśla ogólny kierunek badań, który jest charakterystyczny dla początkowego etapu pisania pracy. Tym bardziej, że ostateczny cel pracy dotyczy jednego, mierzalnego czynnika.

Komfort cieplny jest obszarem badań, nie zaś dyscypliną sensu stricto (str. 15).

Jaka jest definicja pojęcia „rzeczywisty średni głos” (str. 22), którego nie podano w spisie oznaczeń?

Na stronie 23 Autor podaje, że „powszechnie akceptowane kryterium akceptowalności” odpowiada wartości PMV z przedziału $-0,5$ a $+0,5$. Proszę o doprecyzowanie stwierdzenia powszechnie w kontekście zapisów normy PN-EN 15251.

Proszę doprecyzować definicję „temperatura powietrza to temperatura wokół ciała ludzkiego” (str. 41). Proszę podać ewentualne ograniczenia dotyczące odległości.

Proszę doprecyzować stwierdzenie (str. 42) iż „Duża wilgotność powietrza zmniejsza odparowanie potu, stanowi więc obciążenie termiczne dla człowieka”. Czy to stwierdzenie obowiązuje w każdych warunkach?

Zgodnie ze stwierdzeniem na stronie 42 „Wilgotne powietrze jest mieszaniną kilku gazów ...” do których należy „para wodna”. Para wodna jest gazowym stanem skupienia wody, tak samo jak tlen, azot, itp. są związkami chemicznymi, które mogą występować w stanie gazowym ale nie tylko.

Proszę doprecyzować stwierdzenie „parowanie potu pod powierzchnią skóry”, użyte w opisie na stronie 50.

Czym podyktowany jest dokładny opis systemu BMS budynku w Radomiu (str. 70-71)? Czy w dalszej części pracy informacje te są w jakikolwiek sposób wykorzystywane? Podobnych informacji brakuje dla budynku Energis.

Proszę o doprecyzowanie czy pojęcia „temperatura operatywna” (np. str. 88) i „temperatura operacyjna” (np. str. 93) należy traktować jako tożsame? Co skłoniło autora do poszukiwania korelacji pomiędzy temperaturą operatywną a wilgotnością względną powietrza (rys. 3, str. 88)?

Nie zgodzę się, że „... źródłem dwutlenku węgla są biozanieczyszczenia ...” (str. 111).

Czy zaproponowana modyfikacja wskaźnika PPD (równanie 74 i rysunek 37) oznacza, że nie jest możliwe uzyskanie wartości $PPD=100\%$? W celu porównania proszę o wyznaczenie współczynnika R^2 również dla funkcji oznaczonej jako 3, czyli PPD wg normy.

6. Uwagi o charakterze edytorskim i ogólnym

Str. 3, jest „Zintegroany Systsem”, powinno być „Zintegrowany System”;

Str. 3, jeżeli wskaźnik DR podawany jest w % powinine on być zdefiniowany jako „względny”;

Str. 4, WBGT jest nazwana „wskaźnik”, powinno być „temperatura”;

Str. 4, jest h_a powinno być h_c oraz nazwane współczynnikiem wymiany ciepła przez konwekcję;

Str. 4, q_c i q_r jest „wielkość”, powinno być „strumień”;

Str. 5, t_o i t_r powinno być oznaczane konsekwentnie jako T_o i T_r

Str. 13, jest „oszczędnym”, powinno być „ograniczonym”;

Str. 16, jest „większą”, powinno być „większą”;

Str. 18, jest IO_v powinno być IO_v ;

Str. 20, fragment „wskaźniki te są nadal aktualne zalecane aktualną normę europejskie” jest niezrozumiałe;

Str. 22, „globe temperature”, należałoby raczej tłumaczyć jako „temperatura kuli” nie zaś „temperatura globu”;

Str. 25, jest „miarkowanym”, powinno być „umiarkowanym”;

Str. 25, jest „uwzględnieniu odzieży”, powinno być „uwzględnieniu izolacyjności odzieży”

Str. 26, jest „wydajność”, powinno być „dokładność”;

Str. 26, zamiennie stosuje się „neuronowy model sieciowy” i „model sieci neuronowej”, co definiuje różne pojęcia;

Str. 27, nieprecyzyjnym jest określenie „jedne model na pokój”;

Str. 30, jest „nauka spowolniona”, powinno być „nauka jest spowolniona”;

Str. 32, niezrozumiały jest fragment „... zaproponowane do oceny wrażenia termiczne w pojazdach mogą być skuteczną alternatywą ...”;

Str. 32, niezrozumiały jest fragment „Wyniki badań terenowych wykazały poparcie dla adaptacji modelu, ...”;

Str. 32, niezrozumiały jest fragment „... pasywna konstrukcja chłodzenia może w niektórych przypadkach tworzyć temperatury podobne do ...”;

Str. 33, niezrozumiały jest fragment „... analiz dla naturalnego rodzaju chłodzenia mikroklimatu wewnątrz budynku.”;

Str. 40, jest „obektach”, powinno być „obiektach”;

Str. 41, błędy edytorskie w słowach: można, użytkownikom, różnych, mieściła;

Str. 41, jest „temperatury samego pomieszczenia”, powinno być „temperatury przegród w pomieszczeniu”;

Str. 44, jest „maja”, powinno być „mają”;

Str. 44, jest „kelvinach”, powinno być „Kelvinach”;

Str. 48, jest „nalezy”, powinno być „należy”;

Str. 49, słowo „modelowanie” nie do końca odpowiada zawartości rozdziału 3. Nie ma w nim bowiem mowy o modelowaniu w rozumieniu budowania modeli fizycznych lub numerycznych. Raczej są to „metody oceny komfortu cieplnego”.

Str. 56, jest „należą”, powinno być „zależą”;

Str. 57, w równaniu 43 błędnie wpisano „-” przed przedostatnim członem;

Str. 66, błędy edytorskie w słowach: fundamentowych, działowe, odwróconego, polistyren, znajdując, oskarżonych;

Str. 68, błędy edytorskie w słowach: serwerem, sterowanie;

Str. 73, jest „zawira”, powinno być „zawiera”;

Str. 90, rys. 5, jest „częstość” powinno być „udział”;

Str. 110, błędy edytorskie w słowach: skorelowana, ze;

Str. 111, jest „pomarańczowym”, powinno być „pomarańczowym”;

Str. 118, jest „liczny”, powinno być „liczby, jest „powinien rozsądny”, powinno być „powinien być rozsądny”;

Str. 121, jest „oszczowane”, powinno być „oszacowane”, jest „ananlize”, powinno być „analize”;

Str. 122, jest „podsatwie”, powinno być „podstawie”;

Str. 125, jest „oszczowanych”, powinno być „oszacowanych”,

Str. 137, jest „Wyniku”, powinno być „Wyniki”,

Str. 140, jest „rownania”, powinno być „równania”, jest „pomiarowe”, powinno być „pomiarowe”;

Str. 141, jest „podsatwie”, powinno być „podstawie”;

Str. 142, błędy edytorskie w słowach: jedynnie, łączneej, niezadowoonych, przebywajacych;

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 pozytywnej oceny samego Doktoranta. Stwierdzam, że Autor opracowania podejmując istotny problem naukowy rozwiązał go samodzielnie, poprawnymi metodami badawczymi przez co wykazał się umiejętnością wymaganą od osób ubiegających się o stopień doktora. Otrzymane wyniki wnoszą nowe elementy do wiedzy na temat komfortu cieplnego w budynkach inteligentnych pomimo, że badania ograniczają się do obiektów zlokalizowanych na terenie Polski.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr inż. Grzegorza Majewskiego pt. „Analiza komfortu cieplnego w wybranych budynkach inteligentnych na terenie Polski” spełnia wymagania art. 13 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki wraz z późniejszymi zmianami, dlatego wnioskuję do Rady Wydziału Budownictwa i Architektury, Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach o jej przyjęcie i dopuszczenie Kandydata do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Dariusz Heim, prof. uczelni