

Prof. dr hab. inż. Halina Koczyk
Instytut Inżynierii Środowiska
Politechnika Poznańska
ul. Berdychowo 4
61-131 Poznań

Poznań, 30 marca 2016

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Krzysztofa WĄSA

**pt.: „Wpływ konstrukcji ściany lekkiej szkieletowej na zjawiska
cieplno-wilgotnościowe w budynku pasywnym”**

Promotor: prof. Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie
dr hab. inż. Jan RADOŃ

Promotor pomocniczy: dr inż. Agnieszka FLAGA-MARYAŃCZYK

1. Podstawa opracowania recenzji.

Recenzję opracowano na zlecenie Pani Dziekan Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej prof. dr hab. inż. Elżbiety Nachlik, zgodnie z decyzją Rady Wydziału z dnia 15 grudnia 2015 r. (pismo nr Ś0mm-520-153/16).

2. Krótka charakterystyka pracy.

Praca pt. „Wpływ konstrukcji ściany lekkiej szkieletowej na zjawiska cieplno-wilgotnościowe w budynku pasywnym” obejmuje 144 strony wraz z rysunkami i tablicami, 50 stron załączników oraz 4 strony streszczeń w językach: polskim i angielskim. Tekst podzielono na 7 rozdziałów i bibliografię zawierającą 152 pozycje literatury, w większości anglojęzycznej (80), w tym 3 pozycje współautorskie Doktoranta.

Jednym z warunków rozwoju współczesnego świata jest ciągłe dążenie do zmniejszenia zużycia energii w różnych procesach. Dotyczy to również procesów służących do utrzymania komfortu klimatycznego w budynku. W budynku traktowanym jako całościowo powiązany system energetyczny o nadrzędnym celu, jakim jest ograniczenie zużycia energii przy zachowaniu satysfakcjonującej jakości powietrza, decyduje całokształt

zastosowanych rozwiązań projektowych: budynek, a więc rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne jego przegród i szczelność powietrzna budynku oraz zastosowane techniczne wyposażenie budynku.

Cechą charakteryzującą efektywne energetycznie budynki jest m. in. stosowanie ścian lekkich szkieletowych, których wadą może być podatność na zawilgocenie i porażenia pleśniowe.

Wybór przez Doktoranta tematu wpływu konstrukcji lekkich ścian na zjawiska ciepłno-wilgotnościowe w budynku pasywnym jest aktualny i potrzebny.

Celem użytkowym pracy, według Doktoranta, jest określenie kształtowania się warunków ciepłno-wilgotnościowych w ośmiu różnych konstrukcjach ściany zewnętrznej w polskich rzeczywistych warunkach klimatycznych i eksploatacyjnych oraz ocena ich przydatności.

Wykorzystano istniejący i zasiedlony budynek pasywny zlokalizowany w miejscowości Boruszowice w powiecie tarnogórskim.

W analizach wykorzystano dwie metody, a mianowicie: długoterminowe badania eksperymentalne we wspomnianym budynku pasywnym oraz obliczenia symulacyjne wykonane z zastosowaniem profesjonalnego oprogramowania WUFI@Plus.

Celem rozprawy jest wzajemna ocena w/w metod analizy. Punkt ciężkości rozprawy został położony na długoterminowe badania doświadczalne, które posłużyły również do dalszej walidacji użytego oprogramowania.

Praca stanowi logicznie uporządkowaną i przejrzystą całość.

W pracy można wyróżnić cztery części: wstępną, przeglądową, podstawową badawczą oraz podsumowującą.

W części wstępnej pracy (wstęp, cel i zakres oraz tezy pracy) naświetlono umiejscowienie tematu pracy w tematyce fizyki budowli na potrzeby dyscypliny inżynierii środowiska.

Rozdziały 2 i 3 (29 stron) zawierają charakterystykę budownictwa pasywnego oraz wprowadzenie teoretyczne w zjawiska ciepłno-wilgotnościowe w przegrodach.

W rozdziale 2 naświetlono aktualny stan budownictwa energooszczędnego na tle jego historycznego rozwoju, prowadzone utylitarne projekty badawcze z tego zakresu oraz wymagania stawiane budynkom pasywnym. Rozdział ten ma charakter encyklopedyczny.

W rozdziale 3 zaprezentowano wprowadzenie w budownictwo oraz w zagadnienia przenikania ciepła i wilgoci. Podrozdział 3.1 to: systematyka budynków, podstawowe definicje elementów konstrukcyjnych oraz charakterystyka lekkich konstrukcji szkieletowych. W pozostałych podrozdziałach przedstawiono podstawowe równania różniczkowe wymiany ciepła i wilgoci, modele i narzędzia do symulacji procesów cieplno-wilgotnościowych, a także przykłady realizacji badań eksperymentalnych przegród. Te ostatnie podrozdziały można uznać jako przegląd literatury i stanu wiedzy związanej z tematem (potraktowany „z lotu ptaka”).

Dalsza część pracy stanowi podstawowy segment badawczy i zawiera kolejne trzy rozdziały (4 – 6).

W rozdziale czwartym (materiał i metody) w podrozdziale 4.1 scharakteryzowano obiekt badań – budynek pasywny w Boruszowicach wraz z opisem i przekrojami przegród oraz jego instalacjami technicznego wyposażenia.

Podrozdział 4.2 zawiera opis badań eksperymentalnych, w tym metodykę i zakres badań, a także użytą aparaturę kontrolno-pomiarową oraz oprogramowanie LBX. Badania eksperymentalne były długoterminowe, trwały ponad trzy lata w okresie od 05.2011 do 07.2014. Analizie szczegółowej poddano wyniki z rocznego okresu – roku 2012, który charakteryzował się stosunkowo dużymi wahaniami temperatury i był wolny od awarii systemu pomiarowego i jego elementów. Mierzono parametry klimatu zewnętrznego i wewnętrznego, temperaturę i wilgotność w przegrodach i gruncie, natomiast w systemie HVAC: przepływ, temperatury czynników, czas pracy urządzeń oraz pobór energii. Badaniom poddano osiem konstrukcji przegród lekkich o szkielecie drewnianym, różniących się rozwiązaniem izolacji cieplnych, przeciwwilgociowych oraz warstwami pokrycia. W przekroju każdej z badanych przegród zamontowano trzy czujniki temperatury i cztery czujniki wilgotności. Zastosowano częstotliwość zapisu danych pomiarowych początkowo co 6 minut, a od połowy stycznia 2012 co 1 minutę. Podano szczegółowe charakterystyki zastosowanych elementów komputerowego systemu pomiarowego oraz rozmieszczenie elementów i urządzeń pomiarowych.

W podrozdziale 4.3 przeprowadzono obliczeniową analizę zjawisk cieplno-wilgotnościowych w przegrodach budynku pasywnego w warunkach brzegowych klimatu zewnętrznego i wewnętrznego odpowiadających pomiarowym z roku 2012. Obliczenia symulacyjne przebiegów temperatur i wilgotności wykonano z zastosowaniem profesjonalnego oprogramowania WUFI@Plus. Obliczono temperatury i wilgotności dla ośmiu przebadanych eksperymentalnie przegród. Dodatkowo oceniono podatność tych

przegród na porażenia pleśniowe przy pomocy programu WUFI-Bio. W celu weryfikacji poprawności wyników symulacji wykonano opracowanie statystyczne wyników pomiarów przy pomocy programu Statistica 10. Do określenia korelacji wyników eksperymentu i symulacji wykorzystano test Pearsona dla rozkładu normalnego oraz test rang Spearmana dla innych rozkładów, przy czym dla sprawdzenia normalności rozkładu zastosowano test Kołmogorowa-Smirnowa.

Rozdział 5 zawiera wyniki pomiarów i obliczeń wraz z analizą dokładności obliczeń oraz oceną zagrożenia biologicznego dla analizowanych przegród.

Podsumowanie wyników pracy podają rozdziały 6 i 7, w których zaprezentowano dyskusję wyników, w tym ocenę opisową błędów pomiarowych wynikających z dokładności czujników i aparatury pomiarowej oraz sposobu zamocowania czujników w konstrukcji przegrody, a także wnioski końcowe z badań eksperymentalnych i analiz obliczeniowych dla zastosowanych w budynku pasywnym konstrukcji przegród lekkich szkieletowych i występujących w nich zjawisk cieplno-wilgotnościowych.

3. Uwagi krytyczne

W trakcie przygotowania oceny zaprezentowanego w pracy zakresu rozwiązania sformułowanych zadań nasunęły mi się następujące uwagi krytyczne wyrażające głównie niedociągnięcia opisowe pracy:

1. W tabelach wyników analizy statystycznej w Załączniku 9 wskazane byłoby pokazanie, dla których przypadków testowych testu Kołmogorowa-Smirnowa, przyjęto odpowiednio parametryczny lub nieparametryczny test korelacji.
2. Dla czytelności opisu wyników klimatu zewnętrznego warto byłoby przytoczyć definicję średniej dynamicznej temperatury zewnętrznej i wilgotności. Mój niedosyt budzi również brak zależności podających sposób przeliczeń natężenia promieniowania słonecznego bezpośredniego na płaszczyznę dowolnej orientacji (jako komentarz do uwzględniania promieniowania słonecznego w warunkach brzegowych temperatur na powierzchni zewnętrznej przegród) w obliczeniach teoretycznych. Warto byłoby również podać, jakie były emisyjności powierzchni przegród.
3. Przy uznanej renomie użytego narzędzia obliczeniowego, jakim jest WUFI@Plus, wydaje mi się niezbyt potrzebne przeprowadzenie cząstkowych obliczeń uogólniających dla przegrody D1 w warunkach klimatu zewnętrznego Lizbony (Portugalia) oraz Trondheim (Norwegia), zawartych w podrozdziale 5.2.

4. Najniższe korelacje (dla punktów wewnątrz przegród D3, D4 i D7) mogłyby być bardziej precyzyjnie uzasadnione.

Autor nie ustrzegł się drobnych niedociągnięć i nieścisłości. Niektóre z nich, z obowiązku Recenzenta, przytaczam:

- 1) Tekst nie został dokładnie czytany. Występuje dużo literówek zwłaszcza w bibliografii.
- 2) W literaturze, ustawionej w kolejności cytowania, niektóre pozycje są powtórzone.
- 3) W Tabl. 3.1 zestawiono również 3 narzędzia do symulacji procesów cieplnych, a nie tylko do symulacji ciepłno-wilgotnościowych.
- 4) Brak spisu załączników i numeracji ich stron w całości pracy utrudnia szczegółową analizę wyników pracy.

Przedstawione powyżej uwagi nie umniejszają wartości pracy, a jedynie mogą pozwolić na usunięcie usterek przy przygotowywaniu publikacji.

4. Ocena pracy i wniosek końcowy.

Mgr inż. Krzysztof Wąs w rozprawie doktorskiej, przygotowanej pod opieką prof. Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie dr hab. inż. Jana Radonia, rozważał ważną problematykę analizy wpływu lekkiej szkieletowej obudowy zewnętrznej na zjawiska ciepłno-wilgotnościowe w istniejącym budynku pasywnym i połączył w sposób właściwy eksperyment doświadczalny z obliczeniami symulacyjnymi wykonanymi z zastosowaniem profesjonalnego oprogramowania WUFI@Plus.

Przedstawione uwagi nie umniejszają wartości pracy. Założony cel naukowy został zrealizowany, a uzyskane wyniki mają charakter użytkowy. Stwierdzam, że Doktorant potrafi formułować i rozwiązywać problemy naukowe oraz potrafi je wykorzystać również dla celów inżynierskich.

Jestem przekonana, że przedstawiona praca doktorska mgr inż. Krzysztofa Wąsa odpowiada wymaganiom Ustawy o stopniach i tytułach naukowych oraz o stopniach i tytułach w zakresie sztuki.

Wnoszę więc do Wysokiej Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej o dopuszczenie jej do publicznej dyskusji.

Kłoczyk