

Dr. hab. inż. Robert Wójcik, prof. UWM

Olsztyn 28.10 2018 r.

Wydział Geodezji, Inżynierii Przestrzennej i Budownictwa

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski W Olsztynie

10-724 Olsztyn, ul. Heweliusza 4

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt. „*Uściślony sposób oceny przewodności cieplnej materiałów termoizolacyjnych*”

autorstwa mgr inż. Beaty Łobody opracowana na podstawie umowy nr GF-1131-0034/2018/UDHO wynikającej z uchwały Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej z dnia 28 czerwca 2018 r. oraz zlecenia DZ-04647R:21/EB/18 skierowanego przez Panią dr hab. inż. Jadwigę Fangrad, prof. ITB, sekretarza Rady Naukowej ITB w sprawie wyznaczenia recenzentów w przewodzie doktorskim.

1. Tematyka rozprawy

Rozprawa doktorska pt. „*Uściślony sposób oceny przewodności cieplnej materiałów termoizolacyjnych*” została przygotowana przez mgr inż. Beatę Łobodę, pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Jana Ślusarka w Instytucie Techniki Budowlanej w Warszawie.

Oceniana praca doktorska stawia sobie za cel opracowanie modelu matematycznego służącego do obliczania współczynnika przewodzenia ciepła wybranych materiałów termoizolacyjnych w oparciu o sieci neuronowe. Założono, że opracowany model pozwoli na obliczenie współczynnika przewodzenia ciepła materiałów o różnej gęstości, dla różnych temperatur stosowania bez konieczności przeprowadzenia dodatkowych badań. Uzasadniając wybór tematyki nie postawiono tez naukowych ograniczając się do uściślenia zakresu, który obejmował:

1. Przegląd literatury dotyczącej zagadnienia przepływu ciepła przez izolacje.
2. Przegląd literatury na temat zastosowania sztucznych sieci neuronowych w różnych dziedzinach nauki, w tym zagadnieniach inżynierskich.
3. Analizę wpływu geometrii próbki, warunków klimatyzowania próbek, obecności szczeliny powietrznej między rurką badawczą a próbką oraz wpływ zawilgocenia próbki na wynik pomiaru współczynnika przewodzenia ciepła.

4. Analizę wpływu gęstości pozornej oraz temperatury na współczynnik przewodzenia ciepła.
5. Wykonanie modeli sieci neuronowych współczynnika przewodzenia ciepła materiałów termoizolacyjnych.
6. Wykonanie aplikacji do obliczania współczynnika przewodzenia ciepła opartej na modelu neuronowym.
7. Przyjęcie wariantów obliczeniowych (określenie wybranych czynników technicznych i technologicznych).

Zdefiniowany zakres jest interesujący zarówno w aspekcie praktycznym, jak i naukowym. Tematyka dotycząca wyznaczania właściwości ciepłochronnych przegród jest bardzo aktualna, gdyż pomiary *in situ*, z uwagi na konieczność spełnienia coraz rzadziej występujących sprzyjających warunków pogodowych, mogą być realizowane jedynie w bardzo wąskim okresie sezonu grzewczego. Obliczanie wartości współczynnika przewodzenia ciepła, na podstawie parametrów pośrednich zmierzających do wyznaczenia rzeczywistych strat ciepła w istniejących budynkach, otwiera więc nowe możliwości działań eksperckich. Wg założeń doktorantki do tego celu będzie potrzebna identyfikacja materiału oraz jego gęstość. Dotychczas czynności te, przy braku technicznych możliwości przeprowadzenia pomiaru, budzą wiele kontrowersji, ponieważ szacowanie przewodności cieplnej opiera się na intuicji eksperta.

2. Charakterystyka rozprawy

Pracę, podzielono na IX rozdziałów obejmujących zdefiniowany na wstępie zakres przewidywanych badań i analiz. Na uwagę zasługuje trafnie ujęty opis podstaw teoretycznych transportu ciepła w materiałach zaprezentowany w rozdziale I. Omówiono tu wybrane problemy przewodzenia ciepła w składniku stałym, gazowym, konwekcję, a także promieniowanie i wpływ transportu wilgoci. Zaprezentowano również równania bilansowe i dotychczas opracowane modele opisujące efektywną przewodność cieplną materiałów porowatych.

Po wprowadzeniu w tematykę transportu ciepła, w drugim rozdziale przedstawiono wpływ różnych czynników na wartość współczynnika przewodzenia ciepła, jak: ciężar objętościowy, kształt porów, temperatura czy zawilgocenie. W rozdziale III przedstawiono przegląd ogólnie stosowanych metod badawczych przewodności cieplnej. Do tej grupy słusznie zaliczono metodę ścianki pomocniczej, która w dobie dostępności również w polskich laboratoriach do wysokiej klasy komór klimatycznych zaczyna odgrywać istotną rolę przy wyznaczaniu efektywnej przewodności cieplnej materiałów wbudowanych.

Wspomniano również skrótowo metodę sondową, jednak z uwagi na bogate tradycje doskonalenia tej techniki pomiarowej, zapoczątkowane w ITB już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku przez profesora Marka Bomberga - omówienie tej metody mogło by być potraktowane nieco szerzej. Autor jednej z pierwszych prac doktorskich o ówczesnym nazwisku Marian Gołembowicz z powodzeniem zasługuje na zacytowanie jako prekursor metody.

Po zaprezentowaniu w rozdziale IV celu i zakresu prac w rozdziałach V i VI omówiono i przeanalizowano własne badania wstępne oraz badania zasadnicze przeprowadzone z wykorzystaniem wielu urządzeń pomiarowych, co w warunkach polskich laboratoriów jest rzadkością i wymaga podkreślenia. Uzyskane wyniki są interesujące z uwagi na prowadzenie pomiarów porównawczych na materiale pobranym z jednego bloku produkcyjnego.

W rozdziale VII przedstawiono ogólną charakterystykę sztucznych sieci neuronowych oraz przedstawiono przykłady zastosowania, co w sposób zwięzły uzasadniało przyjęcie proponowanej drogi postępowania w przypadku, gdy badany współczynnik przewodzenia ciepła wykazuje liniową zależność od temperatury oraz nieliniową zależność od gęstości materiału.

Uzyskane wyniki badań oraz opracowany model podsumowano w rozdziale VIII. Doktorantka zauważa, że sieć SN_3, do której na wejściu jest podawana zmienna określająca zawartość wilgoci w materiale nie daje zadowalających wyników. Co prawda za przyczynę wskazuje się zbyt małą liczbę uzyskanych wyników pomiarowych, a nie zastrzeżenia proceduralne dotyczące pomiaru, to jednak konkluzja jest słuszna i zasługuje to na podkreślenie.

Dla poparcia stawianych w pracy zadań ogółem zacytowano i skomentowano wyniki badań zaprezentowanych w 69 źródłach z czego kilka nie znalazło prawdopodobnie odzwierciedlenia w tekście, co można przypisać pomyłce redakcyjnej. Ilość przytoczonej literatury, w tym jedna doktorantki, nie jest imponująca, ale potwierdza, że temat jest ważki, a nad jego rozwiązaniem pracują liczne ośrodki naukowe. Sposób ustosunkowania się do zaprezentowanego piśmiennictwa jest poprawny.

3. Uwagi ogólne i szczegółowe

Niedosyt budzi dość oszczędne potraktowanie zagadnienia dotyczącego wpływu wielkości i kształtu porów z odniesieniem do problematyki budowy zamkniętokomórkowej, otwartokomórkowej i mieszanej materiałów. Nie są to jednak zagadnienia jednoznacznie rozpoznane i niestety w wielu przypadkach opisują je teorie hipotetyczne.

Szczególną uwagę zwraca sposób wyznaczania wpływu zawartości wilgoci na współczynnik przewodzenia ciepła (na poziomie wilgotności sorpcyjnej oraz nasycenia). Z uwagi na trudność prowadzenia tego typu badań, związaną z występowaniem zjawiska termodyfuzji

wody, jest to pomiar dość kontrowersyjny. Badania realizowane w laboratorium UWM w Olsztynie wykazały, że w przypadku próbek wilgotnych przepływ stacjonarny ciepła między płytami uzyskuje się w niektórych przypadkach nawet dopiero po upływie 30 i więcej dób utrzymywania próbki w określonym gradiencie temperatury. Woda stale przemieszcza się do strefy chłodniejszej, co skutkuje brakiem stabilności pomiaru. Dodatkowy problem stanowi para wodna kondensująca się pod powierzchnią folii osłonowej. Należy zadać pytanie czy doktorantka zaobserwowała podobny efekt? Problem ten uniemożliwia praktycznie uzyskanie w krótkim okresie oczekiwanej, pełnej stabilizacji pola temperatury w badanej próbce, co w metodach stacjonarnych stanowi warunek *sine qua non*. W stanie ustalonym natomiast zawartość wilgoci w próbce nie jest jednorodna. Przy działaniu siły napędowej w postaci termodyfuzji, woda przemieszcza się do strefy chłodniejszej uzyskując stan nasycenia w skrajnie oddalonym od cieplejszej płyty położeniu. Eksperymenty te z uwagi na długi czas pomiaru nie należą do łatwych, tak więc uzyskanie w pełni satysfakcjonującego rozwiązania wymaga kontynuacji badań – korzystnie przy współpracy innych ośrodków naukowych dysponujących nowoczesną aparaturą pomiarową. Równie kontrowersyjne są problemy związane z przygotowaniem próbek przy zastosowaniu techniki cięcia materiału, co jest szczególnie zauważalne w przypadku konieczności wykonania bardzo cienkich płyt materiału. W takich przypadkach poza typowym efektem przezroczystości materiału na przenikanie promieniowania cieplnego, występuje trudny do oszacowania wpływ defektów materiałowych, które są zróżnicowane przy stosowaniu cięcia termicznego i mechanicznego. Odrębny problem stanowi równoległe do powierzchni cięcie płyt z wełny mineralnej, które niejednokrotnie nie jest akceptowane przez producentów z uwagi na zauważalne pogorszenie się właściwości ciepłochronnych.

4. Ocena osiągnięć zawartych w rozprawie

Pomimo oczywistych problemów natury proceduralnej, co wynika z braku jednoznacznych wytycznych i aktów normatywnych dotyczących w szczególności prowadzenia badań materiałów wilgotnych, należy uznać, że wstępne pomiary rozpoznawcze przeprowadzono starannie, a uzyskane wyniki doktorantka oceniła krytycznie, co znalazło odzwierciedlenie na etapie opracowywania aplikacji LAMBDA NN opisanej w rozdziale VIII. Na podstawie analizy wyników badań zasadniczych przedstawionych w rozdziale VII zrezygnowano z uwzględnienia wpływu wilgoci, co należy uznać za słuszną decyzję.

Ostatecznie wykorzystano głównie badania własne dotyczące pomiarów współczynnika przewodzenia ciepła w różnych średnich temperaturach oraz materiałów o zróżnicowanej gęstości. Procedury pomiarowe w takich przypadkach są jednoznaczne, tak więc uzyskane wyniki

nie budzą zastrzeżeń. Zatem bez przeszkód mogły być wykorzystane do zaproponowania modelu matematycznego przewodności cieplnej wybranych materiałów termoizolacyjnych.

Za główny rezultat analizowanej pracy doktorskiej uważam opracowanie aplikacji LAMBDA NN. Wyniki uzyskiwane przy wykorzystaniu załączonego do pracy programu wskazują, że zaproponowana droga obliczeniowa może być wykorzystywana w pracach eksperckich dotyczących oceny izolacyjności termicznej istniejących przegród. Dotyczy to szczególnie sytuacji, gdzie występują bardzo ograniczone możliwości pobierania prób, a także prowadzenia pomiarów *in situ*. Opracowana aplikacja LAMBDA NN jest rozwiązaniem oryginalnym potwierdzającym realizację przyjętego na wstępie pracy celu.

Poza wyżej wymienionymi uwagami związanymi z osobistymi spostrzeżeniami poczynionymi podczas prowadzonych badań cieplno-wilgotnościowych istniejących przegród, nie stwierdzam występowania problemów wymagających dodatkowych wyjaśnień. Praca ma swój udział w postępie nauki a autorka wykazała odpowiednie przygotowanie naukowe do prowadzenia badań. Pracę należy uznać za cenną i twórczą w szczególności w aspekcie wyników dotychczasowych badań prowadzonych w omawianym obszarze. Na szczególne podkreślenie zasługuje oryginalne podejście do wykorzystania sztucznych sieci neuronowych do uwierzytelnienia uzyskiwanych odczytów i ich interpretacji. Jest wskazana kontynuacja badań zmierzających do uzyskania kolejnych rozszerzeń aplikacji LAMBDA NN o kolejne parametry, co może wyznaczać dalszą drogę rozwoju naukowego kandydatki.

Pozytywnie oceniam przyjętą w pracy metodologię, jej wartość jako opracowania naukowego oraz wnioski. Problematykę zaprezentowano w sposób zrozumiały, z wyważonym przytoczeniem podstaw teoretycznych wymiany ciepła oraz możliwości wykorzystania sztucznych sieci neuronowych. Pomimo wykorzystywania programu matlab, opracowanie wyników z wykorzystaniem nowoczesnych metod analitycznych wymagało dużej wiedzy i przygotowania doktorantki do prowadzenia tego typu analiz.

Układ pracy jest logiczny a kilka zauważonych literówek i interpunkcji, nie wpływa na ogólnie bardzo pozytywną ocenę językową.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując, uzyskane wyniki zawarte w pracy doktorskiej oraz rozmiar poniesionego wysiłku naukowego, należy uznać że z naukowego i praktycznego punktu widzenia stanowią one ważny wkład w rozwiązanie istotnego problemu. Uzyskane wyniki wskazują, że skutecznie uściślono dotychczas stosowane sposoby oceny przewodności cieplnej wybranych materiałów

termoizolacyjnych. Opracowanie aplikacji jest przykładem uzyskania również rozwiązania użytkowego. Wykonanie badań wymagało od kandydatki zdobycia szerokiej wiedzy z zakresu nowoczesnych metod pomiarowych. Przygotowanie rozprawy wskazuje na posiadanie wiedzy i umiejętności do samodzielnego prowadzenia przez doktorantkę badań naukowych. Recenzowana praca spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym, a jej wyniki mają istotne znaczenie praktyczne*. Dlatego wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej pt. ***Uściślony sposób oceny przewodności cieplnej materiałów termoizolacyjnych*** oraz dopuszczenie mgr inż. Beaty Łobody do publicznej obrony.

dr hab. inż. Robert Wójcik, prof. UWM