

Prof. dr hab. inż. JERZY WYRWAŁ
Politechnika Opolska
Wydział Budownictwa i Architektury

Opole, 9 kwietnia 2016 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. MAGDALENY BOCHENEK

Ocena zmienności parametrów higro-termicznych betonu komórkowego o zróżnicowanej gęstości

1. Wprowadzenie

Jedną z głównych przyczyn powodujących obniżenie wartości użytkowych i trwałości przegród budowlanych jest zawilgocenie materiałów, z których te przegrody są wykonane. Wilgoć zawarta w materiałach budowlanych wywołuje ich biologiczną i chemiczną korozję, mechaniczną destrukcję oraz zmniejszenie oporu cieplnego przegród, powodując zwiększenie strat ciepła i kosztów ogrzewania pomieszczeń. Wilgoć wpływa także bardzo niekorzystnie na zdrowie mieszkańców.

Poprawny opis teoretyczny zjawisk fizycznych zachodzących w zawilgoconych materiałach budowlanych jest zagadnieniem trudnym i złożonym, gdyż wymaga uwzględnienia ich rzeczywistej, wielofazowej i wieloskładnikowej struktury, zmian właściwości pod wpływem zawilgocenia, oraz złożonych zjawisk przepływu ciepła i wilgoci przy występujących przemianach fazowych. Ponieważ zachodzące w zawilgoconych przegrodach budowlanych procesy wymiany ciepła i wilgoci są skomplikowane, a także zmienne w czasie i przestrzeni, zatem nie można ich opisać prostymi zależnościami. Zwiększenie możliwości poznawczych i dokładności modelu matematycznego opisującego przenoszenie ciepła i wilgoci w materiałach budowlanych można uzyskać tylko kosztem jego większej złożoności, a tym samym większej liczby współczynników materiałowych

występujących w równaniach modelu. Współczynniki te, a właściwie funkcje materiałowe, są silnie zależne od rodzaju materiału, jego struktury wewnętrznej, zawartości wilgoci w materiale i jego temperatury; często są to zależności nieliniowe.

Badania eksperymentalne pozwalające wyznaczyć wspomniane współczynniki są trudne do przeprowadzenia (głównie z uwagi na złożoną strukturę porowatych materiałów budowlanych oraz skomplikowaną stronę fizyczną badanych zjawisk), trwają długo (z uwagi na powoli przebiegające procesy wymiany wilgoci) i cechują się stosunkowo małą powtarzalnością uzyskanych wyników. Badania te wymagają pomysłowości, sumienności, staranności, dużej dokładności i pogłębionej wiedzy z zakresu fizyko-chemii ośrodków porowatych, termodynamiki procesów nierównowagowych oraz technik eksperymentalnych. Złożona natura powiązania cząstek wody z silnie rozwiniętą powierzchnią wewnętrzną materiału porowatego powoduje, że dostępne obecnie metody pomiarowe oraz wykorzystywane techniki eksperymentalne, których obszerny przegląd Autorka przedstawiła w swojej rozprawie, nie zawsze są wystarczająco precyzyjne, zaś uzyskane przy ich pomocy rezultaty mogą się charakteryzować stosunkowo małą powtarzalnością i dokładnością.

Można zatem uznać, że podjęte przez Autorkę rozprawy zadanie eksperymentalnego wyznaczenia parametrów cieplno-wilgotnościowych betonu komórkowego o różnej gęstości jest zadaniem jednocześnie ważnym i trudnym. Ważnym dlatego, że dotyczy bardzo istotnego problemu fizyki budowli, czyli eksperymentalnego wyznaczenia wybranych parametrów cieplnych (przewodności i pojemności ciepłej) oraz wilgotnościowych (izoterm sorpcji i desorpcji, współczynników dyfuzji, współczynników podciągania kapilarnego oraz czasu wysychania) zawilgoconego materiału budowlanego o strukturze porowatej jakim jest beton komórkowy. Parametry te mają ważny aspekt praktyczny, gdyż mogą zostać wykorzystane do bardziej precyzyjnego obliczania strat ciepła z budynków wykonanych z bloczków gazobetonowych. Zadanie to jest jednocześnie trudne z uwagi na to, iż wiele problemów badawczych związanych z doświadczalnym wyznaczeniem zawilgocenia materiału budowlanego i określeniem wpływu tego zawilgocenia na właściwości fizyczne materiału nie zostało w chwili obecnej rozwiązanych w sposób satysfakcjonujący.

2. Cel i zakres rozprawy

Opiniowana rozprawa poświęcona jest analizie teoretyczno-eksperymentalnej właściwości cieplno-wilgotnościowych czterech klas betonu komórkowego, zaś jej celem było wykazanie, iż właściwości te są silnie zależne od struktury wewnętrznej materiału oraz poziomu jego zawilgocenia.

Rozprawa zawiera wykaz podstawowych oznaczeń, wstęp, osiem rozdziałów oraz wnioski końcowe i spis wykorzystanej literatury.

Warto zaznaczyć, że każdy z rozdziałów od drugiego do dziewiątego (poza trzecim) charakteryzuje się jednolitą strukturą formalną, gdyż zawiera: przegląd literatury, badania własne, w tym opis stanowiska badawczego, przebieg badań, uzyskane wyniki i ich analizę, a także ocenę podsumowującą. Pozwala to w razie potrzeby studiować wybrane rozdziały rozprawy niezależnie od pozostałych.

We wstępie rozprawy przedstawiono znaczenie problemu, podano aktualny stan wiedzy dotyczący wybranego obszaru badań, scharakteryzowano badany materiał oraz omówiono układ rozprawy.

Rozdział 2 poświęcony jest krytycznemu i wyczerpującemu przeglądowi literatury dotyczącej wpływu wilgotności na podstawowe parametry techniczne betonu komórkowego; przedstawiono w nim także wstępne badania struktury, właściwości cieplnych i mechanicznych analizowanego materiału.

W rozdziale 3 sformułowano tezę rozprawy oraz przedstawiono jej cel i zakres.

Rozdział 4 poświęcony jest badaniom izoterm sorpcji i desorpcji gazobetonu. Izotermy te wyznaczono dwiema niezależnymi metodami badawczymi – przy wykorzystaniu techniki tradycyjnej (grawimetrycznej) oraz techniki DVS (Dynamic Vapor Sorption).

Rozdziały 5 i 6 zawierają wyniki badań współczynników dyfuzji pary wodnej w materiale, przy czym w pierwszym z nich wykorzystano w tym celu metody niestacjonarne (\sqrt{t} oraz logarytmiczną), zaś w drugim – metody stacjonarne (miscozkową normową oraz miscozkowe zmodyfikowane).

Rozdział 7 poświęcony jest wyznaczeniu współczynników sorpcji kapilarnej przy wykorzystaniu metody grawimetrycznej.

W rozdziale 8 dokonano pomiarów właściwości cieplnych gazobetonu oraz zaproponowano matematyczne formuły wiążące współczynnik przewodności cieplnej oraz pojemność cieplną z zawartością wilgoci w całym zakresie wilgotności materiału.

Wieloetapowy eksperyment dotyczący oceny właściwości cieplnych i wilgotnościowych badanego materiału kończy rozdział 9, który poświęcony jest ocenie wysychania przegród wykonanych z gazobetonu poddanych silnemu zawilgoceniu (modelującemu np. skutki powodzi).

Pracę zamykają wnioski końcowe, a także propozycje kierunków dalszych badań.

Zamieszczona literatura zawiera obszerny wykaz 257 prac naukowych i naukowo-technicznych oraz 15 aktów prawnych wykorzystanych w rozprawie. Zamieszczony na końcu rozprawy spis rysunków (164) i tabel (37) znacznie ułatwia jej studiowanie.

3. Ocena rozprawy

Oceniana rozprawa stanowi ważny krok na drodze do pogłębienia i poszerzenia stanu wiedzy na temat przewodzenia ciepła i migracji wilgoci w materiałach i przegrodach budowlanych, zaś podjęty przez jej Autorkę problem stanowi trudne i złożone wyzwanie naukowe.

Tematyka rozprawy jest ważna, aktualna oraz poznawczo zasadna, i dobrze się wpisuje w światowy i krajowy trend badań naukowych z zakresu fizyki budowli. Tym samym dobrze nadaje się na temat rozprawy doktorskiej w dyscyplinie budownictwo. Warto też podkreślić, że tematyka rozprawy ma także charakter aplikacyjny, czyli jej wyniki mogą być wykorzystane w praktyce budowlanej.

Rozprawa jest napisana z dużą dbałością o rygor formalny, co przy rozległości tematyki, znacznej liczbie istotnych szczegółów, konieczności przedstawienia wielu informacji z zakresu modelowania oraz eksperymentalnego wyznaczania właściwości badanego materiału czyni ją ważną i użyteczną, o dużych walorach poznawczych i metodologicznych. Dużą zaletą rozprawy jest też kompleksowe

ujęcie trudnego i ważnego problemu fizyki budowli, jakim jest określenie cieplnych i wilgotnościowych charakterystyk gazobetonu.

Prowadzone przez Autorkę rozważania szczegółowe są logiczne oraz metodycznie uporządkowane. Studiowanie rozprawy ułatwiają czytelne oraz dobrze opisane rysunki i tabele, staranny układ graficzny, a także dobrze uwypuklone i przeanalizowane najistotniejsze elementy i wnioski. Na uwagę zasługuje też bardzo obszerny, pogłębiony i krytyczny przegląd literatury, który świadczy o tym, że Autorka ma bardzo dobre rozeznanie w problematyce prowadzonych badań. Widoczne jest też, że cytowane w rozprawie prace zostały przez Autorkę nie tylko przeczytane ale również gruntownie przemyślane, o czym świadczą liczne odwołania i dyskusja nad wnioskami z nich płynącymi. Bardzo wysoko oceniam też zestawienie wybranych prac w postaci tabel zawierających nie tylko nazwiska autorów prac ale też przedmiot badań i stosowane techniki badawcze. Ujęcie takie bardzo ułatwia wszelkiego rodzaju porównania i analizy.

W celu określenia wpływu zawilgocenia na parametry ciepłno-wilgotnościowe badanego materiału Autorka wykonała szereg ciekawych, użytecznych i długo trwających badań eksperymentalnych, oraz dokonała pogłębionej i krytycznej analizy uzyskanych wyników. Mocną stroną rozprawy jest też duża liczba zebranych i uzyskanych danych doświadczalnych.

Poza wyznaczeniem przez Autorkę najważniejszych parametrów ciepłno-wilgotnościowych czterech klas gazobetonu, do niewątpliwych i oryginalnych Jej osiągnięć, uzyskanych w trakcie wieloetapowych i złożonych badań eksperymentalnych, można zaliczyć:

- (1) określenie zakresu stosowalności różnych technik wyznaczania izoterm sorpcji i desorpcji wilgoci;
- (2) wykazanie, że model PELEGA daje najdokładniejszy opis matematyczny izoterm sorpcji i desorpcji;
- (3) wykazanie, że obie niestacjonarne techniki wyznaczania współczynnika dyfuzji wilgoci mogą być wykorzystane tylko przy najwyższych wartościach wilgotności względnej powietrza;
- (4) dowiedzenie skuteczności zmodyfikowanej stacjonarnej metody miseczkowej do wyznaczaniu współczynnika dyfuzji wilgoci w całym zakresie wilgotności higroskopijnej;

- (5) wykazanie, że parametry wilgotnościowe gazobetonu, czyli współczynniki dyfuzji i współczynniki podciągania kapilarnego, silnie zależą od jego struktury wewnętrznej;
- (6) zaproponowanie postaci zależności matematycznych łączących współczynniki przewodności cieplnej i ciepło właściwe z wilgotnością materiału (zarówno objętościową, jak i masową), a także zaproponowanie postaci związku przewodności cieplnej z wilgotnością względną powietrza;
- (7) określenie przebiegu, tempa i czasu wysychania badanych próbek gazobetonu.

Można zatem uznać, że Autorka rozprawy sformułowała i samodzielnie rozwiązała oryginalne zagadnienie naukowe, przy zastosowaniu właściwych metod badawczych odpowiadających aktualnemu stanowi wiedzy naukowej i technicznej. Należy też podkreślić, że Autorka poddała analizie i ocenie nie tylko otrzymane wyniki, ale również wykorzystane do ich uzyskania techniki badawcze.

4. Uwagi językowe i redakcyjne

Rozprawa została napisana bardzo starannie, dobrą polszczyzną (co nie zdarza się zbyt często) i pod względem redakcyjnym może być stawiana za wzór. Do tekstu rozprawy mam tylko następujące uwagi językowe:

Str. 7¹¹. Niepotrzebne powtórzenie słów „*przeplynie wypadkowym*”

Str. 7⁴ i 53⁵. Użycie frazy „*specyficznej mikrostruktury poszczególnych klas gęstości*” nie jest właściwe, gdyż to nie klasy gęstości cechują się strukturą ale beton komórkowy.

Str. 12². Sformułowanie „*bardziej wyeskalowane wymagania*” brzmi trochę dziwnie. Lepiej, moim zdaniem, brzmiałoby sformułowanie *większe wymagania*.

Str. 15¹². Sformułowanie „*nie wszystkie istotne kwestie zostały dostatecznie rozwiązane*” nie jest zbyt precyzyjne.

Str. 91⁹. Sformułowanie „*metoda tradycyjna dostarcza 3,8 razy większą wartość wilgotności równowagowej*” nie jest właściwe, gdyż żadna metoda nie może dostarczać wilgotności.

Str. 120⁹. Sformułowanie „ $\partial c/\partial x$ - **szybkość zmiany koncentracji dyfundującej masy względem zmiennej X**” nie jest zbyt precyzyjne, gdyż określenia szybkość używamy w stosunku do zmiany wielkości fizycznej w czasie a nie w przestrzeni.

Str. 136¹⁵. Zamiast „**wartość**” powinno być *wartość*.

Str. 150⁷. Zamiast „**ilość punktów**” powinno być *liczba punktów*.

Str. 206. Normy nie są literaturą i powinny być zamieszczone w spisie norm.

Str. 223¹⁶. Brak roku wydania pozycji [222].

Str. 225⁴. Brak roku wydania pozycji [240].

Jeśli chodzi natomiast o stronę redakcyjną rozprawy, to moim zdaniem jest ona zbyt „gruba”. Tytuł pracy brzmiałby lepiej, gdyby określenie „**higro-termiczne**” zamienić na **cieplno-wilgotnościowe**. Natomiast we wnioskach końcowych zabrakło mi takich sformułowań, jak np.:

- oryginalnym osiągnięciem Autorki rozprawy jest...,
- następujące elementy rozprawy stanowią własny wkład Autorki w dyscyplinę budownictwo...,
- przedstawione rozwiązanie zagadnienia stanowi istotny postęp w stosunku do...,
- w odróżnieniu od rozwiązań znanych z literatury Autorka zaproponowała metodę..., itp.

Tego typu sformułowania (rzadko jednak spotykane w pracach naukowych), uwypukliłyby z pewnością dojrzałość naukową Autorki rozprawy.

Powyższe drobne błędy językowe oraz uwagi redakcyjne nie mają jednak dla meritum rozprawy istotnego znaczenia.

5. Podsumowanie i wniosek końcowy

Reasumując stwierdzam, że temat rozprawy jest aktualny, a jego opracowanie odpowiada potrzebom dyscypliny budownictwo i specjalności fizyka budowli.

Ponieważ mgr inż. Magdalena Bochenek:

- sformułowała i rozwiązała oryginalny problem naukowy dowodząc prawdziwości postawionej tezy;

- wykazała się odpowiednią wiedzą teoretyczną i umiejętnością prowadzenia badań naukowych;
- udowodniła, że badania te potrafi prowadzić samodzielnie, zatem osiągnęła założony cel rozprawy.

Stwierdzam więc, że opiniowana rozprawa doktorska mgr inż. MAGDALENY BOCHENEK spełnia wymogi stawiane przez *Ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki*, zaś jej wyniki mają istotne znaczenie poznawcze i praktyczne dla dyscypliny budownictwo. Dlatego **wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie do publicznej obrony.**

Uważam też, że **rozprawa zasługuje na wyróżnienie** z uwagi na jej duże walory poznawcze i metodologiczne, a także na zawarte w niej cenne wyniki złożonych, wieloetapowych, długotrwałych i kompleksowych badań wpływu zawilgocenia gazobetonu na jego właściwości cieplno-wilgotnościowe.

