

Mgr inż. Michał Wasik
Autor pracy

Streszczenie rozprawy doktorskiej nt.:

**„Rozwój i przykłady zastosowania nierównowagowego modelu wymiany ciepła, powietrza
i wilgoci w porowatych materiałach budowlanych”**

Według statystyk Eurostatu w 2020 roku około 14.8% populacji Unii Europejskiej doświadczało problemów z nadmierną obecnością wilgoci w budynkach poczynając od ciekących dachów, poprzez zawilgocone ściany, aż po zgniliznę w mieszkaniu. Takie budynki wymagają renowacji i modernizacji obejmujących niejednokrotnie osuszanie ścian i zabezpieczenie ich przed ponownym powrotem wilgoci. Proces osuszania jest nie tylko czasochłorny, ale również energochłonny. Teoretycznie, aby odparować kilogram wody potrzeba 0.7kWh energii, natomiast rzeczywiste zapotrzebowanie na energię sięga około 2 kWh na kilogram wilgoci usuniętej z muru.

Niestety tylko kilka badań prowadzono w celu analizy i optymalizacji procesu osuszania murów. Istniejące prace naukowe skupiają się na eksperymentach w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych lub monitorowaniu pracy osuszaczy podczas prowadzenia procesu wewnątrz budynków. Brakuje symulacji numerycznych, które pozwoliłyby zoptymalizować proces. Modelowanie osuszania materiałów budowlanych oparte jest na założeniu równowagi pomiędzy parą wodną a wilgocią ciekłą w porach materiału budowlanego. Takie podejście zakłada odparowanie lub skraplanie z bardzo dużą prędkością, przez co parametry nasycenia w materiale osiągnęte są niemal od razu. Nierównowagowe modelowanie wymiany ciepła i wilgoci podczas osuszania murów nie było do tej pory stosowane.

Niniejsza praca skupia się na badaniach numerycznych procesu osuszania materiałów budowlanych. W ramach doktoratu sformułowano nierównowagowy model wymiany ciepła i wilgoci w materiałach budowlanych. Model został zaimplementowany w środowisku ANSYS Fluent przy życiu zaawansowanych interfejsów użytkownika takich jak: User-Defined Function (UDF), User-Defined Scalar (UDS) oraz User-Defined Memory (UDM). Program komercyjny posłużył jako platforma do rozwiązywania własnych równań transportu, a bez użycia wymienionych interfejsów UDF, UDS i UDM nie umożliwiał symulowania procesu osuszania z powodu braku odpowiedniego wbudowanego modelu. Następnie model został zweryfikowany przy użyciu danych otrzymanych za pomocą dwóch modeli równowagowych.

Przygotowany model został wykorzystany do symulowania procesu osuszania fragmentu ściany budynku przy użyciu metody termoiniekcji. Przeprowadzono dwuwymiarowe symulacje procesu osuszania trwającego tydzień dla średniej zawartości wilgoci w powietrzu osuszającym dla czterech pór roku (zima, wiosna, lato i jesień) oraz dla warunków atmosferycznych w Warszawie. Wykonano obliczenia dla stałych, ale różnych temperatur powietrza osuszającego wynoszących 20, 30, 40, 50 i 60°C. Zauważono, że w początkowym etapie osuszania energochłonność procesu dla temperatury powietrza wynoszącej 20°C była najniższa. W drugim etapie osuszania, do uzyskania niskich zawartości wilgoci w ścianie konieczne było użycie wyższej temperatury powietrza osuszającego. Największe różnice w przebiegu procesu dla różnych temperatur powietrza osuszającego dla tej samej pory roku były dla zimy, a najmniejsze dla lata. Spowodowane było to niższą zawartością wilgoci w powietrzu dla zimy w stosunku do lata, i efektywniejszym osuszaniem przy niskich temperaturach.

Kolejny etap badań obejmował przeprowadzenie symulacji dla zmiennych temperatur powietrza podczas procesu osuszania. Porównano cztery strategie osuszania: jednosegmentową – strategia ze stałą temperaturą powietrza (60°C); dwusegmentową – najpierw osuszanie prowadzone jest przy niskiej temperaturze powietrza (20°C), a po upływie zadanego czasu przy wysokiej (60°C); wielosegmentową – proces początkowo prowadzony jest przy niskiej temperaturze (20°C), a po upływie zadanego czasu temperatura podnoszona jest o 10 K, aż do osiągnięcia 60°C; oraz przemianą – osuszanie jest prowadzone na zmianę powietrzem o temperaturze 20°C i 60°C, z zadanym czasem zmiany parametrów. Symulacje zostały wykonane dla wilgotności względnej odpowiadającej trzem porom roku (zima, wiosna i lato), dla trzech zadanych czasów zmiany parametrów (12, 24 i 48 h) oraz dla procesu trwającego dwa tygodnie. Wyniki wykazały możliwość obniżenia energochłonności osuszania przy wykorzystaniu zmiennego profilu temperatury. Największą oszczędność energii, sięgającą do 5.9%, uzyskano dla zimy przy wykorzystaniu strategii wielosegmentowej z przedziałem czasowym 48 h. Ponadto, strategia wielosegmentowa dla zimy i wiosny dawała lepsze wyniki niż dwusegmentowa. Dłuższy czas zmiany parametrów wpływał pozytywnie na oszczędności energii. Dla lata oszczędności energii były bardzo małe, około 0.5%. Strategia przemianowa nie pozwoliła na poprawę efektywności procesu. Opracowana strategia dwusegmentowa została wdrożona przez przedsiębiorstwo SILTEN POLSKA sp. z o.o. sp. k. zajmujące się osuszaniem murów.

W ostatnim etapie doktoratu dopracowano model wymiany ciepła i wilgoci w materiałach budowlanych. Uwzględniono transport powietrza w materiale. Zaprojektowano i wykonano stanowisko eksperymentalne do celów sprawdzenia poprawności obliczeń. Pomiary wykonano na prostopadłościowej próbce wykonanej z betonu komórkowego o wymiarach podstawy 92 mm na 92 mm i wysokości 30.5 mm nasyconej wodą. Eksperyment trwał 24 h. Uzyskano dobrą zgodność pomiędzy obliczeniami a pomiarem w pierwszej fazie procesu, tj. podobne wartości temperatury przez pierwsze 6 godzin oraz zbliżone ubytki masy przez pierwsze 12 h. Przy dłuższym czasie procesu symulowana temperatura była niższa niż zmierzona, a ubytek masy większy.

Słowa kluczowe: osuszanie murów, wymiana ciepła i wilgoci, model nierównowagowy, obliczenia numeryczne

.....
Michał Cwaśnik

Podpis Doktoranta