

JACEK PARTYKA^{*}, ZYGMUNT LIPNICKI^{}**

**KONCEPCJA STANOWISKA DO BADANIA
PROCESU KRZEPNIĘCIA W WILGOTNYCH
BUDOWLANYCH MATERIAŁACH POROWATYCH**

Streszczenie

W niniejszej pracy przedstawiono projekt koncepcyjny stanowiska badawczego do badania procesu krzepnięcia wilgotnych budowlanych materiałów porowatych. Planowany eksperyment polega na rejestracji frontu krzepnięcia w czasie, w zależności od warunków zewnętrznych. Idea pomiaru frontu krzepnięcia oparta jest na wykorzystaniu zmiany właściwości fizycznych wody w procesie krzepnięcia

Słowa kluczowe: krzepnięcie, front krzepnięcia, porowaty materiał budowlany

WSTĘP

Krzepnięcie jest powszechnie obserwowanym zjawiskiem w przyrodzie. W technice procesy krzepnięcia są spotykane w materiałach i procesach, gdzie technologie kontrolujące procesy krzepnięcia są istotne, decydujące o wytwarzaniu wysokiej jakości produktów i rozwoju nowych materiałów [Weaver, Viskanta, 1986; Lipnicki, Weigand 2008; Derek, Ingham, 2005; Kimura, 2005].

Problem krzepnięcia cieczy w materiałach porowatych może występować w konstrukcjach inżynierskich, takich, jak wilgotne fundamenty w budownictwie, wilgotne izolacje, materiały włókniste i także w wilgotnych materiałach zmienofazowych (PCM – phase – change material), podczas akumulacji ciepła [Lipnicki, Weigand, 2012].

Przemarzanie wilgotnych budowlanych materiałów porowatych wpływa na własności techniczne materiałów, a nawet może prowadzić do ich destrukcji. Wymienione zjawiska są wystarczającym motywem decydującym o prowadzeniu badań procesu krzepnięcia wilgotnych budowlanych materiałów porowa-

* doktorant w Instytucie Budownictwa UZ

** Instytut Inżynierii Środowiska UZ

tych. Zjawiskom krzepnięcia towarzyszy zwiększenie objętości zamrożonej wody występującej w porach wilgotnych materiałów.

Ekspansja powstającego lodu, może być jedną z wielu również, przyczyną migracji wilgoci, zawartej w porach materiałów budowlanych, lub jej ograniczenia.

Badania eksperymentalne służą zrozumieniu procesów oddziaływania zamrażającej wody w porach wilgotnych budowlanych materiałów porowatych, na te materiały.

Porównanie badań eksperymentalnych z modelami teoretycznymi, które są oparte na teorii termodynamiki i mechaniki, pozwoli je zweryfikować.

Dokładne poznanie zjawiska zamrażania pozwoli skutecznie przeciwdziałać szkodliwym następstwom procesu krzepnięcia wody w wilgotnych budowlanych materiałach porowatych.

MATERIAŁY POROWATE STOSOWANE W BUDOWNICTWIE

Ciała stałe stosowane w budownictwie, w których występują przestrzenie wypełnione powietrzem o objętości względnie małej w porównaniu z objętością całego ciała, nazywamy materiałami porowatymi, a „puste” przestrzenie, niezależnie od ich kształtu, nazywane są porami. Do ciał stałych pochodzenia naturalnego i sztucznego, posiadających strukturę porowatą można zaliczyć: glebę, drewno, skórę, kości zwierzęce, materiały budowlane, ceramiczne, metale otrzymywane według technologii proszków stosowanej w metalurgii itp.

Materiały budowlane, takie, jak cegły, beton, wapień, piaskowiec, są wszystkie ze swojej natury porowate. Dzięki porowatej strukturze, należą one do materiałów dobrze izolujących przepływ ciepła. Materiały stosowane w budownictwie dzięki swej dużej porowatości posiadają dobre właściwości izolacyjne. Wpływa na tę właściwość powietrze zatrzymane w porach. Drewno, oprócz innych zalet, dzięki porowatości jest również dobrym izolatorem ciepła [Dullien, 1992].

Porowatość materiałów jest właściwością, która sprzyja wchłanianiu wody przez te materiały. Głównym parametrem materiałów porowatych jest porowatość efektywna, która wyrażona jest wzorem [Klemm, 2008]:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V} \quad (1)$$

gdzie: V_p jest objętością porów otwartych zawartych w elementarnym obszarze wypełnionym materiałem porowatym, V jest objętością całego obszaru.

W tab. 1 zestawiono, wyznaczone za pomocą pozymetrii rtęciowej, podstawowe parametry strukturalne kilku przykładowych wybranych materiałów budowlanych [Klemm, 2008].

Tab. 1. Podstawowe parametry struktury wewnętrznej wybranych materiałów budowlanych [Gawin, 2000]

Tab.1. Basic parameters of the internal structure of selected construction materials [Gawin, 2000]

Materiał	Gęstość pozorna kg/m ³	Gęstość szkielet u kg/m ³	Porowatość, %	Całkowita objętość porów dm ³ /kg	Całkowita powierzchnia porów m ² /g
Zaprawa cementowa	2019	2535	20,04	0,1008	1,317
Cegła zwykła	1780	2668	33,3	0,1870	7,867
Gips budowlany	935	2334	60,5	0,6407	3,041
Gazobeton	1002	2334	57,1	0,5694	26,743

Przedstawione właściwości wybranych materiałów budowlanych w powyższej tabeli, są dowodem na to, że porowatość takich materiałów jest bardzo powszechna. Z porowatością związana jest bardzo mocno skłonność do pochłaniania wilgoci [Klemm, 2008], a co za tym idzie dalej, zdolność do ich przemarzania w warunkach niskich temperatur. Na temat przemarzania materiałów porowatych powstało wiele prac teoretycznych i doświadczalnych. Przykładem mogą być wybrane tu prace Weavera, Viskanty [1986] i Lipnickiego, Weiganda [2008].

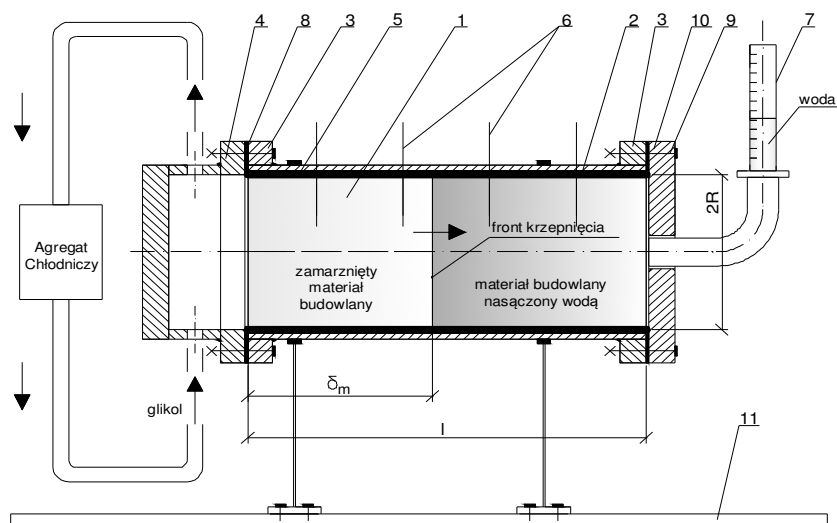
W wymienionych publikacjach badane jest teoretycznie i eksperymentalnie przemarzanie modelowych materiałów porowatych w połączeniu z migracją wilgoci.

Problem krzepnięcia materiałów porowatych w połączeniu z migracją wilgoci ma duże znaczenie naukowe i techniczne. Brakuje szczególnie badań eksperymentalnych, ze względu na trudność obserwacji procesu krzepnięcia w nieprzezroczystych materiałach, jakimi są materiały porowate. Dlatego niniejsza praca podejmuje próbę przedstawienia nowej metody badań eksperymentalnych na oryginalnym stanowisku badawczym.

Celem badań jest obserwacja pośrednia frontu krzepnięcia. W badaniu procesu krzepnięcia planuje się wykorzystać wilgotne budowlane materiały porowate, dostępne w ogólnym obrocie i mające powszechne zastosowanie w budownictwie: pustaki, bloczki i płytki.

PROJEKT STANOWISKA BADAWCZEGO I PROPOZYCJA BADAŃ

Proponowana koncepcja badawcza wywodzi się z wcześniej już stosowanych badań eksperymentalnych w Instytucie Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego [Lipnicki, Weigand, 2012; Paszkowicz, Lipnicki, 1999].



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego
Fig.1. Schematic of the research station

Budowa stanowiska badawczego

Schemat stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1. Przedmiotem badań jest walcowa próbka 1 o promieniu R i długości l nawilżona wodą i umieszczona w rurze przezroczystej 2, wykonanej z pleksiglasu. Powierzchnia walcowa badanej próbki kontaktująca się z rurą, pokryta jest cienką warstwą przezroczystego silikonu 5.

Od czoła z lewej strony, próbka kontaktuje się z zimnym glikolem poprzez płaską płytę miedzianą 8. Płyta bardzo dobrze przylega do powierzchni czołowej próbki.

Z drugiej strony płyty, wewnątrz komory chłodniczej 4, przepływa zimny glikol, o temperaturze niższej od 0°C . Zimny glikol dostarczany jest do komory z agregatu chłodniczego i po odebraniu ciepła krzepnięcia wraca z powrotem do agregatu.

Komora przymocowana jest do rury za pomocą kołnierzy 3 i śrub 9. Z drugiej strony, badana próbka przykryta jest pokrywą 10 przymocowaną do kołnierza rury 3, również śrubami mocującymi 9.

W środku pokrywy 10 znajduje się otwór, wewnątrz którego umieszczona jest szczelnie rurka, połączona z pionowym cylindrem miarowym 7. Cylinder miarowy służy do pomiaru objętości wypieranej wody z zamarzającego materiału porowatego. W celu zapewnienia szczelności stanowiska badawczego, zastosowano pierścienie uszczelniające typu O-ring. Wewnątrz próbki rozmieszczono równomiernie termopary 6, w celu pomiaru temperatury.

Przebieg badań

Próbka walcowa wstępnie nawilżona jest zimną wodą destylowaną i umieszczona precyzyjnie w rurze z pleksiglasu. Następnie, wewnątrz próbki przez małe otwory wykonane w rurze zewnętrznej, umieszczone są równomiernie na długości czujniki temperatury.

Cylinder miarowy zalany jest zimną wodą destylowaną o określonej temperaturze do skali początkowej. W chwili początkowej (początek eksperymentu), włączony jest przepływ zimnego glikolu etylowego o ściśle zadanej temperaturze do lewej komory stanowiska badawczego. Postępujący proces krzepnięcia obserwowany będzie w czasie, przez obserwację optyczną frontu krzepnięcia i określany pośrednio przez pomiar przyrostu wody w cylindrze miarowym.

Równocześnie, będzie mierzona temperatura materiału porowatego za pomocą termopar.

Średnia grubość warstwy zakrzepłej δ_m (rys. 1), mierzona będzie podobnie jak w pracy [Lipnicki, Weigand, 2012]. Z analizy zachowania masy, przyrost objętości wody w cylindrze miarowym ΔV , określa równanie:

$$\Delta V = V_L \left(1 - \frac{\rho_L}{\rho_w} \right) = V_L \frac{\rho_w - \rho_L}{\rho_w} = \varphi \pi R^2 \delta_m \frac{\rho_w - \rho_L}{\rho_w}, \quad (2)$$

a stąd, średnią grubość warstwy zakrzepłej, wzór

$$\delta_m = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_L} \frac{\Delta V}{\varphi \pi R^2}, \quad (3)$$

gdzie oznaczono odpowiednio:

$V_L = \varphi \pi R^2 \delta$ jest objętością lodu, R jest promieniem badanej próbki, φ jest wilgotnością względną materiału porowatego, ρ_w jest gęstością wody, a ρ_L jest gęstością lodu.

Pomiar temperatury porowatego materiału budowlanego podczas badania, dokonywany będzie za pomocą czujników temperatury 6, umieszczonych

w badanej próbce w ustalonym rozstawie, natomiast wskazania temperatury odczytywane będą z wykorzystaniem przenośnego miernika.

Komora badawcza umieszczona zostanie na wspornikach zamocowanych w podstawie 11.

W celu umożliwienia bieżącej obserwacji eksperymentu, w szczególności powierzchni międzyfazowej woda-lód, przewiduje się barwienie wody, z użyciem fluoresceiny – barwnika lub innego, o zastosowaniu w badaniach diagnostycznych. Proces krzepnięcia porowatych materiałów budowlanych, będzie rejestrowany poprzez wykonywanie zdjęć w ustalonych odstępach czasu.

W czasie eksperymentu, prowadzony będzie ciągły monitoring temperatury glikolu i temperatury ścianki miedzianej 8, oddzielającej komorę badawczą od przestrzeni, w której przepływa glikol.

Dla wyraźnego zobrazowania wyników eksperymentu, fotografie szczegółów badania, będą odpowiednio powiększone.

PODSUMOWANIE

Stanowisko badawcze wykonane według przedstawionego projektu, służy do wykonywania badań eksperymentalnych pomiaru frontu krzepnięcia w wilgotnych budowlanych materiałach porowatych.

Celem proponowanych badań doświadczalnych jest weryfikacja badań teoretycznych prowadzonych przez autorów na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego.

Projekt stanowiska badawczego jest oryginalnym rozwiązaniem, opartym na oryginalnej koncepcji badawczej. Pomiar eksperymentalny rozwoju frontu krzepnięcia, szczególnie w wilgotnych materiałach porowatych, jest zadaniem bardzo trudnym.

Dlatego przedstawiona koncepcja, pomiaru trudno obserwowalnego frontu krzepnięcia, wydaje się interesująca i warta realizacji.

LITERATURA

1. WEAVER, JA.; VISKANTA, R.; 1986. Melting of frozen, porous media contained in a horizontal or a vertical, cylindrical capsule. *Int J Heat Mass Transf* 29: 1943–1951.
2. LIPNICKI, Z.; WEIGAND B.; 2008. Natural convection flow with solidification between two vertical plates filled with a porous medium. *Heat Mass Transfer* 44, 1401–1407.

3. LIPNICKI, Z.; WEIGAND, B.; 2012. An experimental and theoretical study of solidification in a free-convection flow inside a vertical annular enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 655–664.
4. DEREK, B.; INGHAM POP.I.J.; 2005. *Transport Phenomena in porous media III*, s.400.
5. KIMURA, S.; 2005. *Dinamic Solidification in a water-saturated porous medium cooled from above*, Institute of Nature and Enviromental Technology, Kanazawa University, Japan, s.400.
6. DULLIEN, F.A.L.; 1992. *Porous Media Fluid Transport and Pore Structure*, Second Edition, San Diego Kalifornia, s.2.
7. KLEMM, P.; 2005-2008. *Praca zbiorowa: Budownictwo Ogólne, tom 2 Fizyka budowli*, Arkady, Warszawa, s.10,14.
8. GAWIN, D.; 2000. *Modelowanie sprzężonych zjawisk ciepłno-wilgotnościowych w materiałach i elementach budowlanych*. Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej. *Rozprawy Naukowe z. 279*, Łódź.
9. PASZKOWICZ, M. A.; LIPNICKI, Z.; 1999. *Koncepcja stanowiska laboratoryjnego do badania procesu zamarzania zwilżonych materiałów porowatych*, *Studia i Materiały, Technika*, 1, nr 48, s.115-118.

THE CONCEPTION OF POSITION TO TEST OF SOLIDIFICATION PROCESS IN WET BUILDING POROUS MATERIALS

S u m m a r y

The test stand taken by the proposed project is to perform experimental studies measuring the solidification front in moist building porous materials. The objective of the proposed research is verification of theoretical experimental research conducted by the authors at the Department of Civil and Environmental Engineering University of Zielona Góra. Project research station is an original solution based on the original concept of the research. The experimental measurement of development of solidification front, especially in moist porous materials is a very difficult task. Therefore, the concept was difficult to measure observable solidification front seems to be interesting and worth implementing.

Key words: solidification, porous building material, solidification front