

WYSYCHANIE MATERIAŁÓW POROWATYCH W UKŁADACH WARSTWOWYCH – BADANIA EKSPERYMENTALNE

Andrzej KUCHARCZYK
Politechnika Opolska, Opole

1. Wprowadzenie

Materiały budowlane szczególnie narażone na oddziaływanie wody to przede wszystkim elementy obiektów zabytkowych, ściany piwnic czy też tynki elewacyjne. Wszędzie tam występuje styk co najmniej dwóch materiałów porowatych a woda jest główną przyczyną ich uszkodzeń. W ostatnich latach w literaturze przedmiotu podjęto badania związane z przepływami warstwowymi w gruntach budowlanych [3, 4] oraz w ścianach budynków [1]. Są to badania wymagające użycia skomplikowanych urządzeń pomiarowych wykorzystujących radiografię neutronową i gamma. W artykule podjęto natomiast próbę analizy takich przepływów na podstawie badań kinetyki i szybkości wysychania.

2. Wysychanie materiałów porowatych

W trakcie usuwania wilgoci z materiału jednorodnego równomiernie nasyconego można wyróżnić dwa etapy [2]. Pierwszy etap charakteryzuje się stałą szybkością wysychania a odprowadzenie wody następuje z powierzchni całkowicie zawilgoconej. Ten okres wysychania jest szybki i odbywa się wyłącznie za pośrednictwem sieci ciekłej wody. Jego prędkość zależy przede wszystkim od różnicy wilgotności względnej na powierzchni przegrody i z dala od niej, od współczynnika przejmowania masy z powierzchni przegrody i od ruchu powietrza wzdłuż powierzchni przegrody.

W drugim etapie wysychania, rozkład migrującej cieczy jest uzależniony od porowatej struktury materiału, czego konsekwencją są różne siły kapilarne wywierane przez pory o różnej wielkości i różnym kształcie. Drobne pory mają tendencję do zasysania wody, w wyniku gradientów ciśnienia, podczas gdy woda w dużych porach odparowuje. Woda w pobliżu cofającego frontu wysychania zaczyna tworzyć pojedyncze skupiska. Przepływ kapilarny w tym regionie staje się nieciągły a transport odbywa się w fazie gazowej. Woda z tych miejsc odparowuje w wyniku dużej różnicy między wilgotnością względną na powierzchni wody i na powierzchni materiału.

Zgodnie z równaniem Laplace'a różnica ciśnienia między gazem i cieczą w pojedynczej kapilarze wynosi

$$P_c = P_G - P_w = \frac{2\sigma \cos \theta}{R} \quad (1)$$

gdzie P_C , P_G , P_W to ciśnienie kapilarne, gazu i wody oraz σ , θ , R napięcie powierzchniowe, kąt zwilżania, promień menisku.

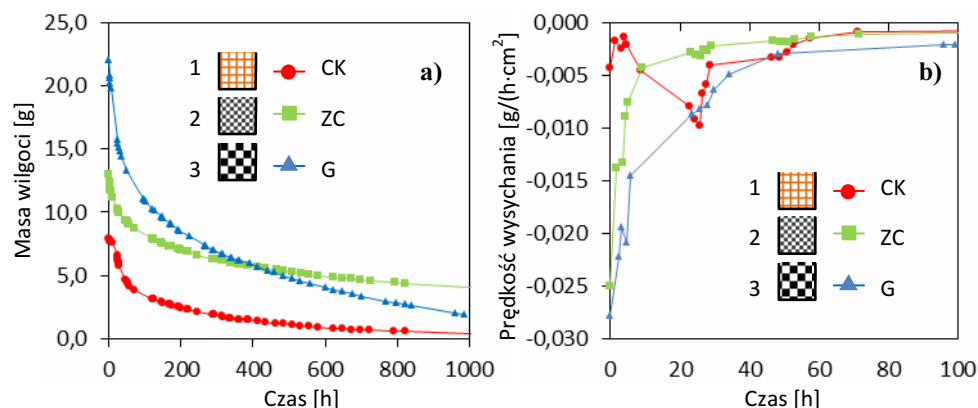
Z powyższego równania wynika, że podczas wysychania, dla $P_G = \text{const}$, powietrze będzie wypełniać największe pory, w którym ciśnienie wody jest najmniejsze.

W przypadku układów warstwowych przepływ wilgoci, oprócz wcześniej wymienionych mechanizmów, zależy również od grubości, kolejności ułożenia warstw, właściwości kapilarnych każdej z warstw oraz od oporu warstwy kontaktowej między warstwami.

3. Badania eksperymentalne

W celu określenia wpływu właściwości warstw na kinetykę wysychania wykonano badania układów dwuwarstwowych zaprawa cementowa - cegła klinkierowa (ZC - CK) i zaprawa cementowa - gazobeton (ZC - G) oraz w celach porównawczych przebadano próbki jednorodne z zaprawy cementowej (ZC), cegły klinkierowej (CK) i gazobetonu (G).

W układach jednorodnych próbki sześciennie o wymiarach 4x4x4cm były zaizolowane w taki sposób, aby do wysychania dochodziło wyłącznie na jednej górnej powierzchni. Dla takich w pełni nasyconych próbek wyznaczono krzywe wysychania oraz prędkości wysychania (rys. 1).



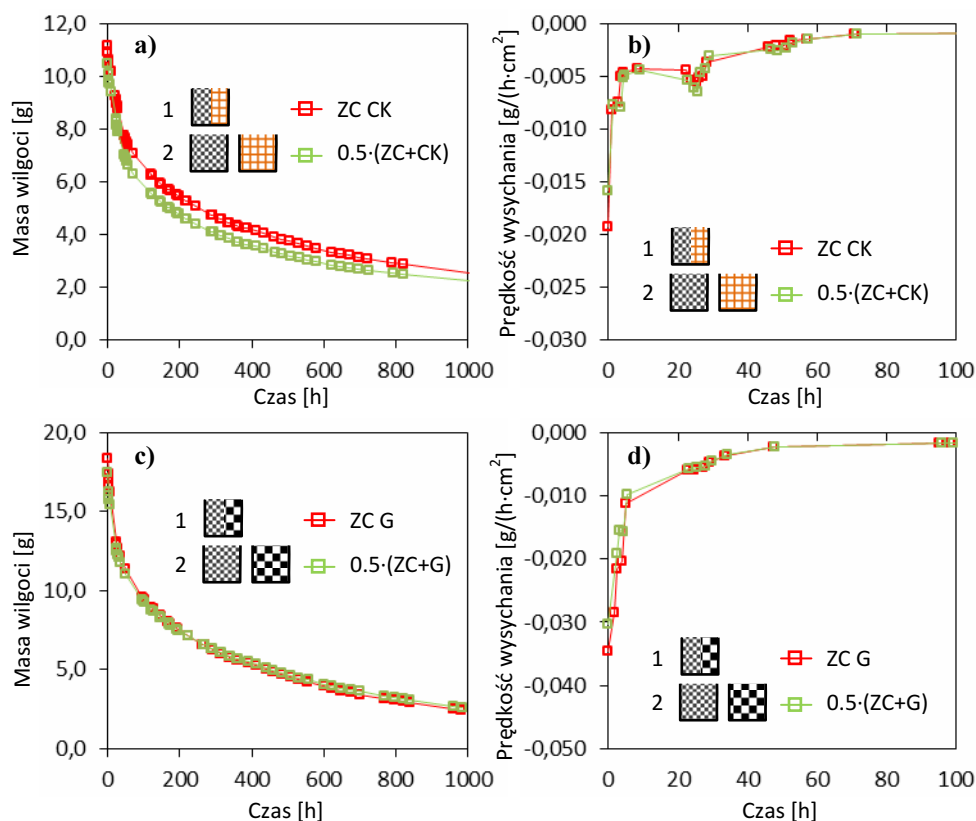
Rys. 1. Układ warstwowy: a) kinetyka wysychania, b) prędkość wysychania
Fig. 1. The system of layer: a) drying kinetics, b) velocity of drying

Najszybciej wysycha próbka gazobetonowa a podobną szybkością wysychania charakteryzują się cegła klinkierowa i zaprawa cementowa. W przypadku cegły klinkierowej występuje długi okres pierwszego etapu wysychania (około 30h), gdzie na szybkość wpływ ma otoczenie próbki. Tłumaczyć tym można również skoki prędkości wysychania w tym etapie. W związku z powyższym w analizie prędkości wysychania rozważa się tylko drugi etap.

W przypadku układów warstwowych przeprowadzono wysychanie dla dwóch warstw ułożonych poziomo i pionowo. W przypadku poziomego ułożenia warstw wykonano dwa warianty, gdy zaprawa cementowa stanowiła górną oraz dolną warstwę. Próbki zostały wycięte w kształcie prostopadłościanów 2x2x4cm a następnie umieszczone w formie do której wprowadzono zaprawę cementową, aby uzyskać wymiar 4x4x4cm. Tak przygotowane przechowywano przez 28dni w wodzie destylowanej. Następnie zaizolowano je, aby do odparowania mogło dochodzić wyłącznie na jednej górnej powierzchni

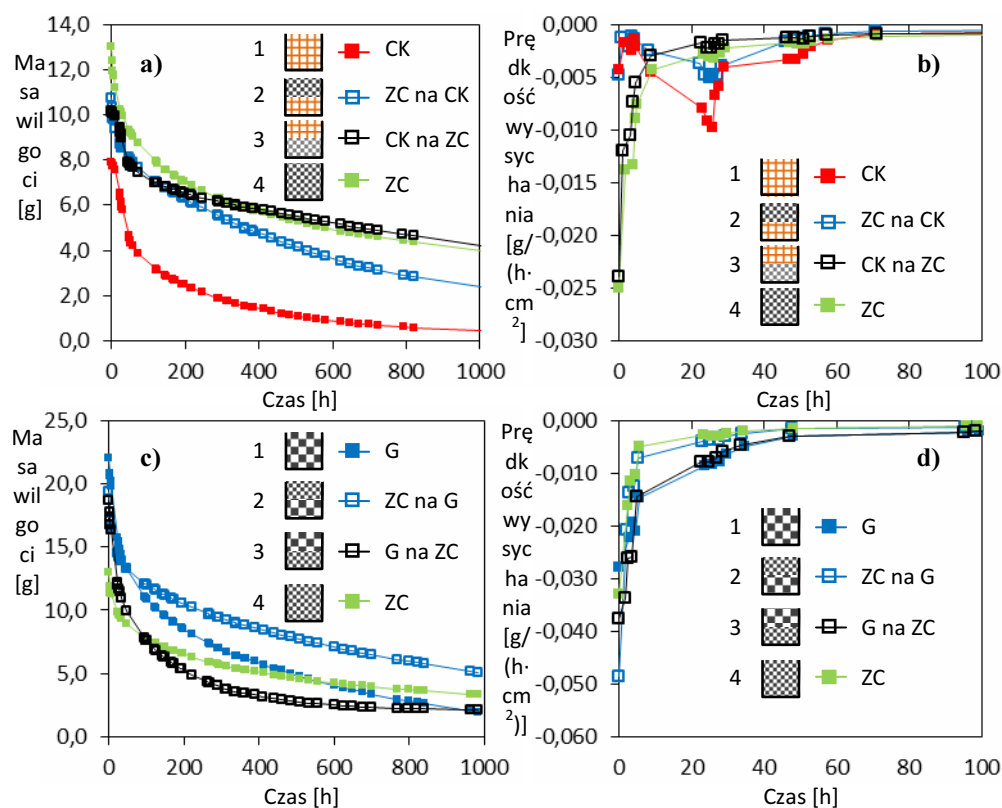
i umieszczono w komorze klimatycznej w stałej temperaturze i wilgotności ($T=20^{\circ}\text{C}$, $Rh=50\%$). W ten sposób uzyskano kinetyki wysychania układów zaprawa cementowa - cegła ceramiczna oraz zaprawa cementowa - gazobeton.

Dla warstw pionowych (rys. 2) wpływ warstwy kontaktowej jest znikomy. Zarówno rozkłady wilgoci jak i szybkość wysychania dla układów zaprawa cementowa - cegła klinkierowa (ZC CK, rys. 2a, 2c), zaprawa cementowa - gazobeton (ZC G, rys. 2b, 2d) są takie same jak dla średniej arytmetycznej dla układów jednorodnych ($0.5 \cdot (ZC+CK)$ i $0.5 \cdot (ZC+G)$). Duże różnice występują natomiast w przypadku krzywych wysychania układu zaprawa cementowa - gazobeton, na co jednak wpływ ma początkowe nasycenie.



Rys. 2. Kinetyka i prędkość wysychania w układzie warstw pionowych: a), b) zaprawa cementowa - cegła klinkierowa; c), d) zaprawa cementowa - gazobeton
 Fig. 2. The kinetics and velocity of drying in system of vertical layers: a), b) cement mortar - clinker brick, c), d) cement mortar - aerated concrete

W przypadku warstw poziomych ich układ ma znaczący wpływ na zmiany wilgoci w materiale co obrazują krzywe 2 i 3 na rys. 3. Występują tutaj duże różnice zarówno w rozkładzie jak w szybkości wysychania.



Rys. 3. Kinetyka i prędkość wysychania w układzie warstw poziomych: a), b) zaprawa cementowa - cegła klinkierowa; c), d) zaprawa cementowa - gazobeton
 Fig. 3. The kinetics and velocity of drying in system of horizontal layers: a), b) cement mortar - clinker brick, c), d) cement mortar - aerated concrete

Literatura

- [1] De Freitas M. V. P. i inni: Moisture Migration in Building Walls - Analysis of the Interface Phenomena, Building and Environment 31, 1996
- [2] Pel L. i inni: Physical principles and efficiency of salt extraction by poulticing, Journal of Cultural Heritage 11, 2010
- [3] Prommas R.: Theoretical and experimental study of heat and mass transfer mechanism during convective drying of multi-layered porous packed bed. International Communications in Heat and Mass Transfer 38, 2011
- [4] Shokri N. i inni: Evaporation from layered porous media. Journal Of Geophysical Research 115, 2010

DRYING OF LAYERED POROUS MATERIALS – LABORATORY INVESTIGATIONS

Summary

The article includes a theoretical and laboratory analysis of moisture flow in drying layered porous media. The lab-results concern the investigations of kinetics and velocity of drying for the specimens of two layers situated in the vertical and horizontal configuration.