

Łukasz GUZ¹, Zbigniew SUCHORAB¹, Betina ALCOBIA² i Henryk SOBCZUK¹

WYZNACZANIE KRZYWEJ RETENCJI WODY MATERIAŁÓW POROWATYCH ZA POMOCĄ SOND PSYCHROMETRYCZNYCH I TDR

DETERMINATION OF THE WATER RETENTION CURVES FOR POROUS MATERIALS USING PSYCHROMETRIC PROBES COMBINED WITH TDR METHODOLOGY

Abstrakt: Woda jest bardzo ważnym składnikiem produkcji materiałów budowlanych. Jest również jednym z najbardziej destrukcyjnych czynników podczas późniejszej eksploatacji obiektów z nich zbudowanych. Z tego względu niezbędna jest znajomość właściwości wilgotnościowych materiałów, takich jak: podsiąkanie kapilarne, opór dyfuzyjny czy nasiąkliwość. Właściwości materiałów porowatych związanych z wilgotnością bardzo dobrze opisuje krzywa retencji wody. Określa ona, jaką ilość wody materiał porowaty jest w stanie wchłonać oraz z jaką siłą utrzymuje wodę w przestrzeniach porowatych. Jest to zależność pomiędzy ciśnieniem ssącym wodę a zawartością wody. W niniejszej pracy przedstawiono krzywe retencji wody wyznaczone dla gazobetonu o gęstości 450; 550 i 650 kg/m³. Krzywa została wyznaczona poprzez sprzężenie dwóch technik pomiarowych: psychrometrycznej i reflektometrycznej TDR. Ciśnienie ssące było zmierzone za pomocą sond psychrometrycznych Peltiera, a wilgotność objętościowa poprzez sondy TDR. Krzywa retencji opisana w publikacji została wyznaczona tylko w wąskim zakresie, determinowanym czułością sond psychrometrycznych, który mieścił się w granicach od 0,03 do 0,12 m³/m³ wilgotności objętościowej materiału porowatego.

Słowa kluczowe: psychrometria, sonda TDR, krzywa retencji, materiały porowate

Do wyznaczania krzywej retencjonowania stosowanych jest obecnie wiele metod, m.in. talerze ciśnieniowe, metoda tensjometryczna czy psychrometryczna. Do wyznaczenia krzywej retencji w całym zakresie wilgotności materiału zazwyczaj należy użyć kilku metod.

Uzupełnieniem istniejących metod wyznaczania charakterystyk retencjonowania jest sprzężony pomiar za pośrednictwem sondy psychrometrycznej do pomiaru potencjału ciśnieniowego oraz sondy TDR (*Time Domain Reflectometer*) do pomiaru objętościowej zawartości wilgoci w materiale. Metoda TDR jest metodą elastyczną, gdyż pomiarów można dokonywać w szerokim zakresie temperatur, a wszystkie otrzymane wyniki można porównywać po uprzednim przeliczeniu ich do temperatury standardowej. Jest to alternatywa dla metody suszarkowo-wagowej: bardzo dokładnej, aczkolwiek destrukcyjnej, gdyż wymagającej wycięcia próbki materiału.

W celu zainstalowania sond wykonuje się niewielkie, niepowodujące większych szkód nawiercenia w materiale porowatym.

Stanowisko pomiarowe

Schemat instalacji pomiarowej przedstawiono na rysunku 1. Najważniejszymi elementami stanowiska są multipleksowane mierniki: Psychrometer PS-1, umożliwiający

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 81 538 44 81, email: L.Guz@wis.pol.lublin.pl, Z.Suchorab@wis.pol.lublin.pl, H.Sobczuk@wis.pol.lublin.pl

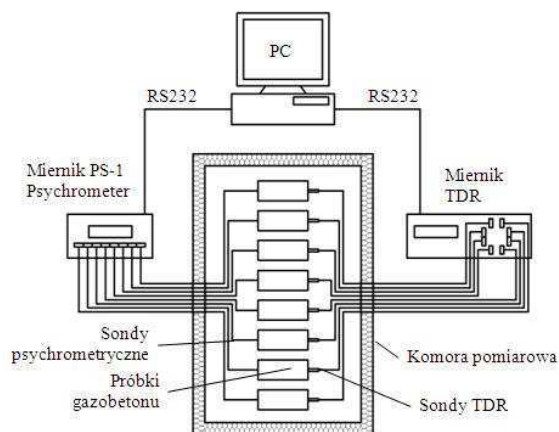
² Faculty of Science and Technology, New University of Lisbon, tel. +351 93 850 80 26, email: betinaalc@gmail.com

pomiar 8 sondami psychrometrycznymi, oraz miernik TDR MTS-1 dla 8 sond reflektometrycznych. Urządzenia pomiarowe sterowane są z poziomu komputera z odpowiednim oprogramowaniem. Wilgotność materiału oraz potencjał ciśnieniowy rejestrowane i zapisywane są periodycznie co 20 minut.

Sondy reflektometryczne służą do wyznaczenia zawartości wilgoci w materiale porowatym. Są to klasyczne inwazyjne sondy TDR z prętami o długości 108 mm i rozstawie 2 cm. Miernik TDR jest źródłem krótkiego impulsu elektromagnetycznego o częstotliwości 1 GHz, który emitowany jest przez sondę do materiału porowatego [1]. Odbity sygnał od materiału odbierany jest z powrotem przez sondę. Sygnał powrotny wyraża się w postaci zmiany napięcia w czasie, w formie tzw. reflektogramu. Znając prędkość propagacji impulsu elektromagnetycznego, można wyznaczyć stałą dielektryczną ϵ badanego ośrodka porowatego, która służy jako punkt wyjścia do obliczeń zawartości wilgoci Θ .

Sondy psychrometryczne służą do pomiaru potencjału ciśnieniowego panującego w materiale porowatym. Umożliwiają one pomiar dzięki zastosowaniu zjawiska fizycznego Peltiera oraz Seebecka. Wartość wygenerowanego napięcia przez sondę zależy od prędkości parowania wykroplonej na termoparze pary wodnej, przez co możliwe jest wyznaczenie potencjału ciśnieniowego Ψ . W badaniach zastosowano sondy psychrometryczne Wescor PST-55 z termoparą mierniczą powstałą z połączenia bardzo cienkich drutów z chromelu i konstantanu. Szczegółowy sposób pomiaru za pomocą wyżej wspomnianych technik oraz odpowiednie wzory opisano w [2-5].

Próbki z zainstalowanymi sondami umieszczono w zaizolowanej termicznie komorze, co minimalizowało krótkoterminowe wahania temperatury.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Fig. 1. Scheme of the experiment setup

Przygotowanie próbek i metodyka pomiaru

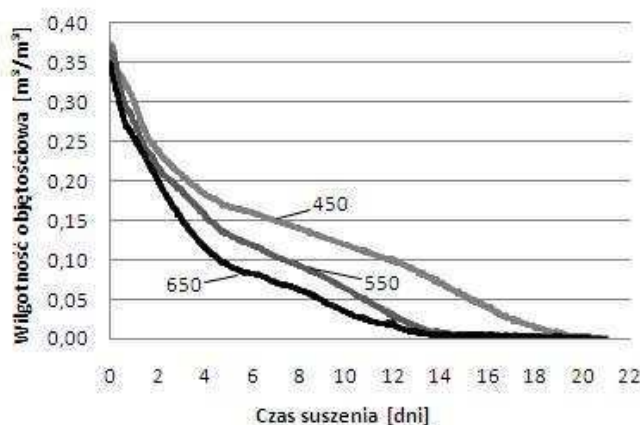
Próbki o wymiarach zewnętrznych 150x50x50 mm zostały wycięte z bloczków gazobetonu o gęstościach 450, 550 oraz 650 kg/m³. Wykonano po 8 próbek dla

poszczególnych gęstości. W ściankach o najmniejszej powierzchni każdej próbki został wykonany otwór o średnicy 5 mm i głębokości 40 mm, w którym zainstalowano sondę psychrometryczną. Na przeciwległej ściance umieszczono pręty pomiarowe inwazyjnej, klasycznej sondy TDR. Próbki suszono w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 105°C przez okres 1 doby. Próbki schłodzono w eksykatorze z żelazem krzemionkowym, a następnie ważono. Kolejną czynnością było nasylenie próbek wodą poprzez zanurzenie ich w szczelnym szklanym pojemniku wypełnionym wodą i wytworzeniu podciśnienia za pomocą pompy próżniowej przez okres 4 godzin.

Po nasyleniu próbek wodą zainstalowano w nich sondy i umieszczono w komorze, gdzie poddane były procesowi naturalnej desorpcji. Wartości wilgotności oraz potencjału ciśnieniowego były rejestrowane i zapisywane periodycznie co 20 min.

Wyniki

Zmianę zawilgocenia w czasie badanych próbek za pomocą techniki reflektometrycznej przedstawiono na rysunku 2. Maksymalna wartość wilgotności objętościowej, jaką udało się uzyskać dla wszystkich próbek, wyniosła 0,37 m³/m³. W początkowej fazie wysychania wartości wilgotności poszczególnych próbek są zbliżone. Średnia zmiana wilgotności dla wszystkich próbek wynosi 0,073 cm³/cm³·d. Po okresie 5 dni następuje widoczna zmiana w tempie wysychania oraz powiększa się różnica między poszczególnymi próbkami. Spośród próbek gazobeton o gęstości 450 kg/m³ jest najbardziej zawilgocony, natomiast o gęstości 650 kg/m³ najmniej. Średni spadek wilgotności na dobę dla próbek jest porównywalny i wynosi 0,00105 cm³/cm³·d. Po upływie 14 dni próbki o gęstości 450 i 550 kg/m³ są suche, dla próbki o gęstości 450 kg/m³ wymagane było do tego 20 dni.

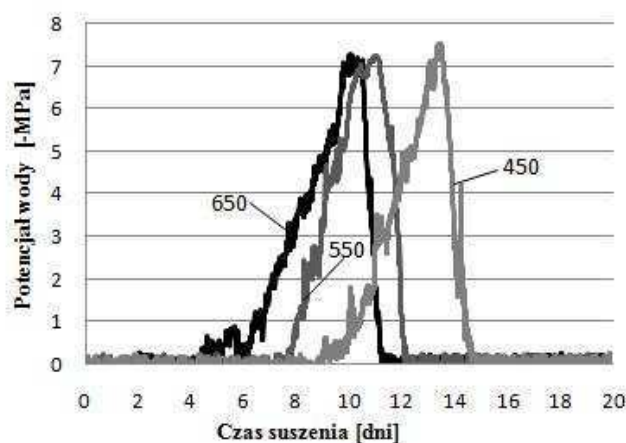


Rys. 2. Objętościowa zawartość wilgoci w materiale zmierzona techniką reflektometryczną

Fig. 2. Volumetric water content determined by reflectometric technique

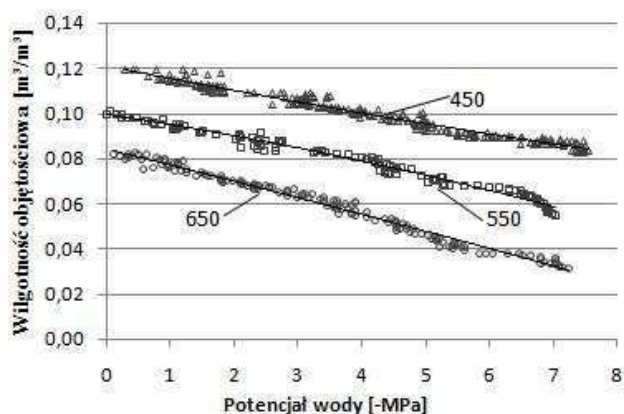
Zmianę zawilgocenia badanych próbek za pomocą techniki psychrometrycznej przedstawiono na rysunku 3. Na wykresie uwidacznia się wąski zakres czułości sond

psychrometrycznych. W początkowej fazie suszenia, gdy wilgotność materiału wynosiła $0,37 \text{ m}^3/\text{m}^3$, wykroplona para woda na termoparze wyparowuje w niewielkim stopniu, dlatego generowane napięcie jest bliskie $0 \text{ }\mu\text{V}$. Zakres czułości sond zaczyna się, gdy wilgotność materiału obniża się do wartości, dla której wykroplona na termoparze para wodna paruje z intensywnością pozwalającą na ochłodzenie termopary i wygenerowanie napięcia spowodowanego zjawiskiem Seebecka (narastające zbocza na wykresie). Powyższy zakres czułości zaobserwowano dla gazobetonu o gęstości $450 \text{ kg}/\text{m}^3$ między 10 a 14 dobą, dla gazobetonu $550 \text{ kg}/\text{m}^3$ od 8 do 11 doby oraz dla gazobetonu $650 \text{ kg}/\text{m}^3$ od 6 do 10 doby suszenia. Zakres czułości sondy kończy się, gdy materiał jest na tyle suchy, że nie jest możliwe wykroplenie pary wodnej na termoparze spowodowane zjawiskiem Peltiera.



Rys. 3. Potencjał ciśnieniowy w gazobetonie zmierzony techniką psychrometryczną

Fig. 3. Pressure potential determined with psychrometric technique



Rys. 4. Krzywa retencjonowania wody wyznaczona sprzężeniem techniki psychrometrycznej i reflektometrycznej

Fig. 4. Water retention curve determined with coupled psychrometric and reflectometric technique

Poprzez korelacje odczytów wilgotności objętościowej i potencjału ciśnieniowego zostały wykreślone krzywe retencionowania wody (rys. 4). Zakres krzywych determinowany jest zakresem czułości sond psychrometrycznych i mieści się w granicach od 0,12 dla gazobetonu o gęstości 450 kg/m³ i 0,03 dla gazobetonu o gęstości 650 kg/m³.

Wnioski

Wilgotność objętościowa gazobetonu może być wyznaczona w zakresie od 0,0 do 0,37 m³/m³ poprzez sondy reflektometryczne. Zakres krzywej retencionowania wody, jaką można otrzymać dzięki sprzężeniu technik reflektometrycznej i psychrometrycznej, mieści się w granicach od 0,03 do 0,12 m³/m³ wilgotności objętościowej gazobetonu o gęstościach 450, 550 i 650 kg/m³.

Podziękowania

Powyższe badania były przeprowadzone w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Polsce Nr 4952/B/T02/2008/34.

Literatura

- [1] Skierucha W., Walczak R.T. i Wilczek A.: Monitoring System for Verification of Mass and Energy Transport Models in Porous Media. Institute of Agrophysics PAS, Lublin 2004, 40-50.
- [2] Pavlík Z., Pavlíková M., Fiala L., Černý R., Sobczuk H. i Suchorab Z.: *Application of time-domain reflectometry method for measuring moisture content in porous building materials*. Trends Appl. Sci. Res., 2007, 2(3), 188-200.
- [3] Suchorab Z., Barnat-Hunek D. i Sobczuk H.: *Technika reflektometryczna w badaniach wilgotnościowych murów*. Builder, 2007, 2, 84-86.
- [4] Guz Ł. i Sobczuk H.: *Badanie potencjału wody w materiałach budowlanych za pomocą sondy psychrometrycznej*. Proc. of ECOpole, 2008, 2(1), 185-190.
- [5] Andraski B.J. i Scanlon R.: *Thermocouple psychrometry*. [W:] H. Dane, G.C. Topp: Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of America, Madison, Wisc. 2002, 609-649.

DETERMINATION OF THE WATER RETENTION CURVES FOR POROUS MATERIALS USING PSYCHROMETRIC PROBES COMBINED WITH TDR METHODOLOGY

¹ Faculty of Environmental Engineering, Lublin University of Technology

² Faculty of Science and Technology, New University of Lisbon

Abstract: Water is an important compound of building materials production technology. On the other hand it is one of the most destructive factor during exploitation of building objects. That is why it is necessary to know the moisture parameters of the materials like porosity, maximum water content, capillary rise and water conductivity. Water parameters of the porous materials can be described by water retention curve, which valuates what amount of water can be absorbed by the material and what force remains water in air gaps. It is dependence between water potential and moisture. In this work there are presented water retention curves determined for aerated concrete with the apparent density of 450, 550 and 650 kg/m³. Determination of water retention curve was achieved by combination of two measuring techniques: Peltier psychrometric probes for water potential and TDR for water content. Water retention curve described in the paper was established only in a small range of moisture which is mainly caused by the sensitivity of the psychrometric probes, which value was varying in the frames of material moisture between 0.03 and 0.12 m³/m³.

Keywords: psychrometric probe, TDR probe, water retention curve, porous materials