

Zbigniew SUCHORAB¹, Magdalena JARMUŁA¹, Henryk SOBCZUK¹
Zbyšek PAVLIK² i Robert ČERNÝ²

ZASTOSOWANIE METODY TDR DO POMIARU PODCIĄGANIA KAPILARNEGO W ŚCIANCE MODELOWEJ Z CEGŁY CERAMICZNEJ PEŁNEJ

APPLICATION OF THE TDR METHOD FOR CAPILLARY RISE MEASUREMENT IN A MODEL WALL MADE OF RED BRICK

Abstrakt: Woda przepływająca przez porowatą strukturę przegród budowlanych jest znaczącym problemem wielu obiektów. Pojawia się w ścianach z wielu źródeł, głównie z gruntu, opadów deszczy lub w wyniku uszkodzeń instalacji sanitarnych. Powoduje szereg problemów eksploatacyjnych - niszczenie materiału budowlanego, które z kolei prowadzi do uszkodzeń konstrukcji budynku, obniża parametry powietrza wewnętrznego i jest przyczyną niezdrowego środowiska. W pracy przedstawiamy zastosowanie reflektometrycznej metody TDR do monitoringu przepływającej wody wewnątrz jednowarstwowej przegrody budowlanej wymurowanej z cegły ceramicznej pełnej. Modelowa ścianka została wyposażona w sondy i wystawiona na działanie wody. Urządzenia TDR umożliwiły długoterminowy, ciągły monitoring wartości i zmiany wilgotności w przegrodzie, które z kolei mogą być przydatne w detekcji zagrożeń, a co idzie za tym - pomocne w usuwaniu nadmiaru wilgoci w przegrodach.

Słowa kluczowe: przegrody budowlane, woda, pomiary reflektometryczne (TDR), monitoring, cegła ceramiczna pełna

Woda warunkuje życie na Ziemi, jest niezbędna w funkcjonowaniu wszystkich istot żywych. Z drugiej jednak strony jej występowanie może prowadzić do różnego rodzaju kłopotów, w tym również związanych z eksploatacją obiektów budowlanych.

Obecność wody w materiałach budowlanych jest powszechnie spotykanym zjawiskiem. Zagadnienie to nie dotyczy wyłącznie starych, zabytkowych obiektów. Pojawia się również w nowych budynkach, na skutek wykonywania robót niezgodnie ze sztuką budowlaną. Bardzo ważne jest uwzględnienie tego problemu już na etapie projektowania, bowiem woda obecna w przegrodach wywołuje nie tylko chemiczną i biologiczną korozję, destrukcję mechaniczną materiałów budowlanych oraz zmniejszenie oporu cieplnego, ale również może doprowadzić do dużych strat gospodarczych.

Woda w przegrodach budowlanych pojawia się we wszystkich trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym. Obecność wilgoci w nowo powstałych budynkach związana jest z procesem technologicznym wytwarzania materiałów budowlanych. W trakcie eksploatacji budowle mogą ulegać wysychaniu i zawilgoceniu w zależności od warunków zewnętrznych, wewnętrznych i właściwości użytych wyrobów.

Stwierdzono, że na stan wilgotnościowy budynków nie wpływa zasadniczo woda związana chemicznie. Również woda w postaci pary wodnej występuje w małych ilościach w porównaniu z innymi rodzajami wilgoci. Decydujące znaczenia ma natomiast wilgoć sorpcyjna oraz wilgoć podciągana kapilarnie [1].

¹ Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Lubelska, ul. Nadbystrzycka 40B, 20-618 Lublin, tel. 081 538 43 22, 081 538 44 81, email: Z.Suchorab@wis.pol.lublin.pl, magdalenajarmula@interia.eu, H.Sobczuk@wis.pol.lublin.pl

² Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University, Thákurova 7, 166 29 Praha, tel. 2-2435-4371, 2-2435-4429, email: pavlikz@fsv.cvut.cz, cernyr@fsv.cvut.cz

Problem migracji wody w przegrodach budowlanych jest zagadnieniem trudnym do opisu ze względu na niejednorodną strukturę przegród oraz fakt, iż są one wykonywane z wielu materiałów (np. mury są wznoszone z cegły, lecz poszczególne elementy są ze sobą wiązane za pomocą zaprawy o odmiennych parametrach od głównego materiału). Wszystkie powyżej wymienione problemy stwarzają znaczne trudności w opisie teoretycznym i ujęciu doświadczalnym tego zjawiska.

W pracy skupiono się na zjawisku podciągania kapilarnego jako głównej przyczynie zniszczeń budowli. Powszechnie stosowanymi materiałami budowlanymi, które są podatne na ten proces ze względu na swoją porowatą strukturę, są cegła ceramiczna pełna i zaprawa cementowa. Wyroby te posłużyły tu jako model migracji wody.

Praca omawia szerzej technikę pomiarową TDR jako metodę umożliwiającą stały monitoring stanów wilgotnościowych przegród budowlanych. Wiedza na temat tej techniki jest wciąż pogłębiana, a sama metoda jest udoskonalana i wdrażana przez nowoczesne laboratoria.

Zjawisko podciągania kapilarnego

W przegrodach budowlanych, do których zaliczamy mury, zjawisko podciągania kapilarnego zależy od parametrów użytego materiału. W przypadku cegły na zaprawie cementowo-wapiennej transport kapilarny zachodzi w całym przekroju, zaś w przypadku muru z niskoporowatych kamieni tylko w zaprawie [2]. Jest on uwarunkowany kształtem i rozmiarami porów, których geometria warunkuje wysokość podnoszenia kapilarnego oraz siły ssania (potencjału ciśnieniowego). Generalna jest zasada, iż im pory mniejsze i liczniejsze, tym wartość siły ssącej jest większa. I tak w porach o promieniu w zakresie 10^{-4} do 10^{-7} m podciąganie kapilarne jest zjawiskiem typowym. W porach mniejszych (poniżej 10^{-7} m) zjawisko to nie zachodzi (występują inne procesy, związane z kondensacją kapilarną). Również pory większe (średnica powyżej 10^{-4} m) nie sprzyjają zjawisku podciągania kapilarnego ze względu na zbyt małe oddziaływanie ścianek na wodę, co powoduje przerywanie procesu [3]. Należy tutaj zaznaczyć, iż istnieje wiele podziałów porów występujących w materiałach budowlanych determinujących proces podciągania kapilarnego, których omówienie wykracza poza temat tej pracy, niezależnie jednak od wszystkich podziałów istnieje taka prawidłowość, że im cieńsze będą kapilary, tym mniejsza będzie szybkość, ale teoretycznie większa wysokość podciągania kapilarnego. Należy jednak tutaj zaznaczyć, że przy bardzo małej prędkości podciągania duże wysokości mogą nie zostać osiągnięte ze względu na zachodzący niezależnie w przegrodzie proces odparowywania wody.

Scharakteryzowane w skrócie powyższe zagadnienia związane z budową materiałów budowlanych, jak i ich wpływem na proces podciągania kapilarnego wykazują, jak skomplikowane jest to zjawisko i jak trudno znaleźć doskonały model oddający zachowanie się przegrody budowlanej lub muru dotkniętego zjawiskiem podciągania kapilarnego.

Należy podkreślić że zjawisko to stwarza wiele problemów eksploatacyjnych związanych z niszczeniem obiektów na skutek destrukcji struktury materiału (procesy zamarzania i rozmarzania wody w okresie zimowym, krystalizacja soli zawartych w przenoszonej wodzie), niszczenia zewnętrznych powłok tynkarskich (rys. 1).



Rys. 1. Budynek dotknięty zjawiskiem podciągania kapilarnego (opracowanie własne)

Fig. 1. Building touched with capillary rise phenomenon (own photograph)

Dodatkowo woda, która pojawia się w przegrodach w nadmiernych ilościach wywołuje szereg negatywnych skutków, takich jak obniżenie izolacyjności cieplnej [4], negatywny wpływ na mikroklimat pomieszczeń, zagrożenie zagrzybienia [5, 6]. W czasach, kiedy coraz więcej uwagi zwraca się na poprawienie izolacyjności przegród, a co za tym idzie - na zmniejszenie kosztów energii ogrzewania pomieszczeń, oraz zapewnienie odpowiedniego mikroklimatu w budynkach, skupienie się na istocie tego procesu i sposobach eliminacji podciągania kapilarnego jest niezwykle ważne.

W celu zahamowania postępującego procesu destrukcji wilgotnościowej zawilgoconych przegród niezbędne jest prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie zabezpieczeń przeciwwilgociowych zarówno poziomych, jak i pionowych. Aby właściwie dobrać odpowiednie sposoby zabezpieczeń i użyte w tym celu materiały, konieczna jest znajomość stopnia zawilgocenia wzdłuż wysokości i grubości ścian.

Opis przeprowadzonego eksperymentu

Do pomiaru podciągania kapilarnego przez badany ośrodek, jakim jest ścianka modelowa wykonana z cegły ceramicznej pełnej i zaprawy cementowej, wykorzystano metodę pomiarową TDR (*Time Domain Reflectometry*), która zapewnia stały monitoring procesów wilgotnościowych.

Przed przystąpieniem do pomiaru wilgoci przygotowano stanowisko pomiarowe. W tym celu wybudowano ściankę z cegły ceramicznej pełnej i zaprawy cementowej o wymiarach 510×120×290 mm przy grubości warstwy zaprawy między cegłami wynoszącej 10 mm. W przygotowanej i wysuszonej ścianie wywiercono siedem otworów w celu wprowadzenia sond TDR. Cztery otwory wykonano w cegle, trzy zaś w zaprawie. Następnie do otworów wprowadzono siedem sond LP/mts firmy Easy Test. W cegle umieszczono cztery sondy kolejno na wysokości 33 mm (sonda nr 1), 108 mm (sonda nr 2), 183 mm (sonda nr 3) oraz 258 mm (sonda nr 4), zaś w zaprawie trzy sondy na wysokości 70 mm (sonda nr 5), 145 mm (sonda nr 6) oraz 220 mm (sonda nr 7). Dla zapewnienia

precyzyjnego pomiaru konieczne było wypełnienie pyłem wiertniczym wolnych przestrzeni między badanym ośrodkiem a sondą TDR tak, aby sonda ściśle przylegała do ośrodka. Następnie ściankę umieszczono w kuwecie na trzech plastikowych podstawkach w celu zapewnienia maksymalnego kontaktu podstawy badanego ośrodka ze środowiskiem wodnym. Kuwetę wypełniono wodą do wysokości 10 mm powyżej dolnej podstawy ścianki (rys. 2).



Rys. 2. Ścianka wraz z sondami umieszczona w kuwecie na plastikowych podstawkach

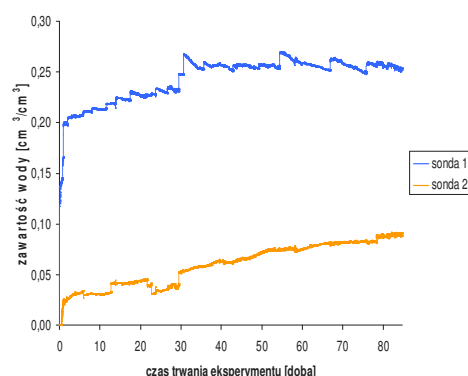
Fig. 2. Model wall with installed TDR probes, placed in water container

Badania zdolności do podciągania kapilarnego cegły ceramicznej pełnej i zaprawy cementowej prowadzono przez 84 dni do momentu braku dostrzegalnego przyrostu zawartości wody w badanym ośrodku. Aparaturę pomiarową zaprogramowano na pomiar wilgotności i temperatury. Pomiar dokonywany był co 5 minut. W sumie dla każdej sondy uzyskano 24 400 wyników zarówno dla wilgotności, jak i dla temperatury. Badania prowadzone były w stabilnych warunkach cieplno-wilgotnościowych (temperatura powietrza 20°C oraz wilgotność względna powietrza 30%).

Wyniki i ich analiza

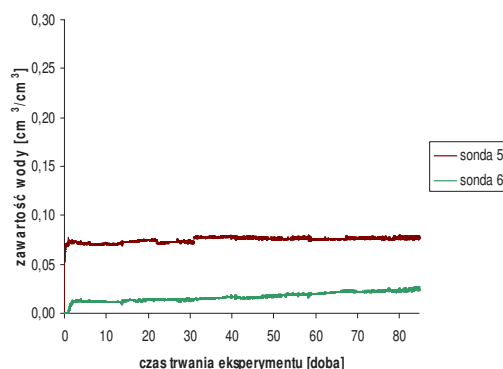
Na podstawie pomiarów wilgotnościowych wykonanych metodą TDR zmierzono dynamikę przyrostu zawartości wody w cegle ceramicznej pełnej i zaprawie cementowej na skutek podciągania kapilarnego. Poniższe wykresy przedstawiają zależność zawartości wody od czasu trwania eksperymentu osiągniętą kolejno dla sond zlokalizowanych w cegle i w zaprawie cementowej (rys. rys. 3 i 4).

Przebieg krzywej uzyskany na podstawie wyników z sondy 1 wyraźnie odbiega od przebiegu krzywej otrzymanej z wyników dla sondy 2. W pierwszym przypadku obserwuje się wyraźny wzrost zawartości wody i osiągnięcie przez cegłę położoną najniżej maksymalnego nasycenia materiału wodą. Cegła usytuowana na drugim poziomie od dołu nie osiągnęła najwyższego poziomu nasycenia wodą. Zaś w sondach 3 i 4 nie odnotowano żadnego wzrostu zawartości wody - materiał budowlany, w którym umieszczone były te sondy, w czasie trwania eksperymentu cały czas był suchy.



Rys. 3. Zależność zawartości wody od czasu trwania eksperymentu uzyskana na podstawie wyników ze wszystkich sond zlokalizowanych w cegle

Fig. 3. Water content changes in time during experiment monitored by the TDR probes installed in red brick



Rys. 4. Zależność zawartości wody od czasu trwania eksperymentu uzyskana na podstawie wyników ze wszystkich sond zlokalizowanych w zaprawie cementowej

Fig. 4. Water content changes in time during experiment monitored by the TDR probes installed in cement mortar

Przebiegi krzywych uzyskane na podstawie wyników z sond 5 i 6 również nie pokrywają się ze sobą. W przypadku sondy 5 zauważono większy wzrost zawartości wody i osiągnięcie przez warstwę zaprawy cementowej położonej najniżej maksymalnego nasycenia tego materiału wodą. Środkowa warstwa zaprawy nie osiągnęła największego nasycenia wodą, choć obserwuje się stały przyrost wilgotności. Zaś w zaprawie cementowej zlokalizowanej najwyżej nie zanotowano żadnego wzrostu zawartości wody - warstwa materiału budowlanego w czasie trwania eksperymentu cały czas była sucha.

Cegła ceramiczna pełna charakteryzuje się większą zdolnością do kapilarnego podciągania wody niż zaprawa cementowa. Maksymalna zawartość wody, jaką podciągnęła cegła wynosi 27% wilgotności objętościowej, zaś dla zaprawy cementowej największa wartość wilgotności objętościowej to 8%_{vol}. Krzywe sporządzone dla cegieł posiadają

znacznie większe skoki przyrostu, co można wytłumaczyć niejednorodną, porowatą budową materiału. Można tu rozróżnić dwa etapy narastania wilgotności. W pierwszym etapie następuje wypełnienie porów o mniejszej średnicy, gdzie szybkość podciągania kapilarnego jest największa. Po całkowitym wypełnieniu porów o mniejszej objętości ma miejsce drugi etap wzrostu wilgotności, w którym wypełnione zostają pory o większej średnicy. Krzywe odpowiadające zaprawie cementowej charakteryzuje prawie liniowy przebieg, co świadczy o ich jednorodnej strukturze.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu można sformułować następujące wnioski:

- ❖ Cegła ceramiczna pełna charakteryzuje się większą zdolnością do kapilarnego podciągania wody niż zaprawa cementowa.
- ❖ Cegła ceramiczna pełna ma niejednorodną budowę, stąd też proces transportu kapilarnego można podzielić na etapy: pierwszy, szybszy, w którym wypełniają się pory o mniejszych średnicach oraz drugi, trwający znacznie dłużej, w którym wypełniają się pory o większych rozmiarach.
- ❖ Najszybszy i największy przyrost wilgotności obserwuje się w materiałach budowlanych mających bezpośredni kontakt z lustrem wody.
- ❖ W tym przypadku zaprawa cementowa stanowi barierę dla transportu kapilarnego. Działając jako warstwa hamująca wzrost wilgotności, nie pozwala na podciągnięcie wody przez cegły położone na trzecim poziomie i wyżej. Wynika to z faktu, że dzięki stabilnym warunkom cieplno-wilgotnościowym otaczającym ściankę nie nastąpiło zniszczenie struktury zaprawy cementowej, przez co zaprawa ta pełni funkcje izolacji.

Podziękowanie

Powyższe badania były przeprowadzone w ramach projektu finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w Polsce Nr 2008/CZ-1.

Literatura

- [1] Płoński W. i Pogorzelski J.A.: Fizyka budowli. Zasady projektowania przegród budowlanych w zakresie cieplno-wilgotnościowym. Arkady, Warszawa 1979.
- [2] Rokiel M.: Poradnik. Hydroizolacje w budownictwie. Medium, Warszawa 2006.
- [3] Frössel F.: Osuszanie murów i renowacja piwnic. Polcen Spółka z o.o., Warszawa 2007.
- [4] Budownictwo ogólne. Tom 2, Fizyka budowli. Klemm P. (red.). Wyd. Arkady, Warszawa 2005.
- [5] Bogacka E. i Matkowski K.: Wpływ grzybów na zdrowie ludzi. Mikol. Lek., 2001, **8**(3-4), 175-178.
- [6] Dyląg M. i Bień M.: Negatywne zjawiska związane z obecnością grzybów w pomieszczeniach zamkniętych. Mikol. Lek., 2006, **13**(1), 49-54.

APPLICATION OF THE TDR METHOD FOR CAPILLARY RISE MEASUREMENT IN A MODEL WALL MADE OF RED BRICK

Abstract: Water flowing through the building envelopes is a big problem for many objects. It appears inside the walls from many sources, mainly from the ground, rainfalls or sanitary system fails. It causes many exploitation problems - disintegration of the building material which runs to the building destruction, decreases the indoor air parameters and causes unhealthy conditions. In this paper the application of a reflectometric method (TDR) for

constant monitoring of water movement inside the one layer building barrier made of red brick is presented. A model wall was build and equipped with probes and exposed on the water influence. The TDR instrumentation enabled long-term and constant monitoring of water states inside the barrier and their changes in time. Such measurements can be helpful in threats detection and may enable water removal.

Keywords: building barriers, water, TDR, reflectometric measurement, monitoring, red brick