

ZMIANA IZOLACYJNOŚCI I POJEMNOŚCI CIEPLNEJ BETONU KOMÓRKOWEGO W WYNIKU ROZPRZESTRZENIAJĄCEGO SIĘ ZAWILGOCENIA KAPILARNEGO

H. Garbalińska, A. Matkowska, N. Mierzwa

Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin, Polska

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono ocenę wpływu zawilgocenia kapilarnego na zmianę parametrów cieplnych przykładowo wybranego betonu komórkowego o gęstości 600 kg/m^3 . Realizacja wytyczonego celu w pierwszej kolejności wymagała przeprowadzenia badania podciągania kapilarnego, które polegało na rejestracji zmieniającej się wilgotności masowej. Odtworzona dla poszczególnych próbek zależność zmiany masy w czasie posłużyła do wyznaczenia składowych współczynników sorpcji. W trakcie trwania procesu podciągania kapilarnego prowadzono równoczesne pomiary podstawowych parametrów cieplnych, tj. współczynnika przewodzenia ciepła i objętościowej pojemności cieplnej. Stwierdzono znaczące różnicowanie tych parametrów po grubości przegrody o skali zmieniającej się wraz z czasem trwania procesu podciągania kapilarnego.

WPROWADZENIE

Wilgoć wywiera jednoznacznie negatywny wpływ na przegrody budowlane. Woda zawarta w materiale pogarsza jego parametry izolacyjne, co przyczynia się do zwiększenia zużycia energii niezbędnej do ogrzewania, a to przekłada się na wzrost emisji CO_2 .

Ponadto pojawienie się stref zwiększonej wilgotności pogarsza komfort użytkowania pomieszczenia. Rozwój grzybów i pleśni na ścianach powoduje choroby dróg oddechowych oraz reakcje alergiczne.

Korozja konstrukcji wskutek wielokrotnych procesów zamarzania – rozmarzania i korozja mikrobiologiczna, prowadzą do przyspieszonego starzenia materiałów i obniżenia ich właściwości wytrzymałościowych. Pojawianie się wilgoci w przegrodach budowlanych wiąże się w perspektywie czasu z nakładami finansowymi ponoszonymi na ich renowację.

Jedną z bardziej znaczących przyczyn zawilgocenia zewnętrznych przegród budowlanych jest podciąganie kapilarne wody. Większość materiałów budowlanych to materiały porowate, w których rolę klasycznych rurek włosowatych spełniają pory i kapilary oraz strefy graniczne występujące np. na styku ziaren kruszywa z matrycą. Zjawisko podciągania kapilarnego występuje w warunkach, gdy dostępne dla wody przestrzenie mają dostatecznie małe wymiary.

Naczynia włosowate obecne w materiałach porowatych mogą podciągać wodę wprowadzając ją do wnętrza

tych materiałów w przypadku, gdy: wilgoć gruntuwa przenika do ścian budynków pozbawionych dostatecznej izolacji poziomej i pionowej; występują deszcze, szczególnie ukośne, powodujące głębokie, a nawet całkowite zamoczenie ściany zewnętrznej zbyt cienkiej, niewłaściwie skonstruowanej bądź osłoniętej (tynki, okładziny); pojawia się kondensacja dyfundującej pary wodnej (Alsabry, 2010, Klemn, 2005, Dylla, 2009, Garbalińska, 2002, Ickiewicz I., Ickiewicz J., Sarosiek, 2000, Trochonowicz, 2010, Wyrwał, Świrski, 1998).

W praktyce pojawiają się także przypadki skrajnie silnego zawilgocenia będącego wynikiem wystąpienia awarii instalacji, jak również klęsk żywiołowych, w tym działających pod znacznym ciśnieniem wód powodziowych.

Parametry cieplne są silnie uzależnione od stopnia zawilgocenia. Wraz ze wzrostem wilgotności znacząco rośnie współczynnik przewodzenia ciepła oraz objętościowa pojemność cieplna materiału porowatego. Celem badań, przedstawionych w niniejszym artykule, było zdiagnozowanie na przykładzie betonu komórkowego z jakim nasileniem tych zmian należy się liczyć w trakcie miesięcznego rozprzestrzeniania się w przegrodzie wody ciekłej niesionej siłami podciągania kapilarnego.

PRZEBIEG BADAŃ PODCIĄGANIA KAPILARNEGO

Przeprowadzone badania podciągania kapilarnego polegały na pomiarze zmieniającej się masy poszczególnych próbek testowanego materiału wprowadzonych w kontakt z wodą. Eksperyment obejmował dwa etapy: przygotowanie próbek, a następnie badanie przyrostu masy próbek w wyniku procesu podciągania kapilarnego.

Przygotowano próbki z betonu komórkowego (typ 600) o wymiarach $14 \times 24 \times 6 \text{ cm}$. Próbkę badano w stanie naturalnym, bez uprzedniego suszenia.

W etapie drugim bloczki z betonu komórkowego zostały umieszczone pionowo na specjalnych podkładkach ażurowych w kuwetach o wymiarach $50 \times 50 \text{ cm}$. Kuwety wypełniono wodą destylowaną o temperaturze $T_w = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ – tak, aby jej poziom sięgał do wysokości 2 mm licząc od spodu próbki. Ilość wody była syste-

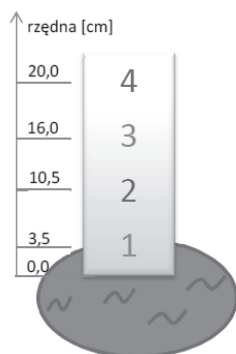
matycznie uzupełniana, w celu zagwarantowania niezmiennego jej poziomu. Temperatura pomieszczenia, w którym przeprowadzono doświadczenie wynosiła $T_p = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Czas rozpoczęcia badania stanowiła chwila wprowadzenia próbki w kontakt z wodą. Systematycznie prowadzone ważenie pozwalało na określenie przyrostów masy każdej próbki w stosunku do jej masy pierwotnej. Przez pierwsze trzy godziny pomiar wykonywano co pół godziny, następnie co godzinę, dwie, dwanaście, dwadzieścia cztery, czterdzieści osiem i siedemdziesiąt dwie. Badania prowadzono łącznie przez okres 28 dni.

PRZEBIEG BADAŃ PARAMETRÓW CIEPLNYCH

Badania parametrów cieplnych przeprowadzono metodą niestacjonarną, przy zastosowaniu aparatu pomiarowego ISOMET model 2104. Aparat ten działa w oparciu o metodę nieustalonego przepływu ciepła, współpracując z przyłgowymi czujnikami temperatury o odpowiednio dobranym zakresie pomiarowym. Należy podkreślić, że rozprzestrzeniające się w obrębie próbki zawilgocenie kapilarne spowodowało konieczność doboru sond o różnych zakresach pomiarowych, dobieranych stosownie do aktualnego stanu wilgotnościowego.

Powierzchnie, do których przykładano sondy pomiarowe, zostały wcześniej wyszlifowane – tak, aby zapewnić dokładne przyleganie sond do badanego materiału. Następnie na wyszlifowanej powierzchni zaznaczono cztery punkty pomiarowe, aby badanie zawsze było przeprowadzane w tym samym miejscu.

Próbkę wprowadzono w kontakt z wodą, która rozprzestrzeniając się po jej wysokości powodowała stopniowe jej zawilgacanie, skutkujące zmianą badanych parametrów cieplnych tj. współczynnika przewodzenia ciepła λ i objętościowej pojemności cieplnej c_p . Schemat ilustrujący ideę pomiarów przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy położenia rzędnych środkowych punktów przyłożenia sondy pomiarowej

Celem badania było określenie wpływu przebiegu podciągania kapilarnego na parametry cieplne testowanego materiału budowlanego. Dlatego też próbki za każdym razem przed pomiarem Isometem ważono

na wadze laboratoryjnej o dokładności do 0,01g, aby zdiagnozować ich przyrost wilgotności w czasie trwania procesu.

Badania współczynnika przewodzenia ciepła λ oraz objętościowej pojemności cieplnej c_p objęły okres 28 dni. Pierwszego dnia pomiary wykonywano średnio co dwie godziny. W kolejnych dniach odstępy między pomiarami wydłużono i prowadzono je najpierw co dwanaście, a później co dwadzieścia cztery, czterdzieści osiem i siedemdziesiąt dwie godziny.

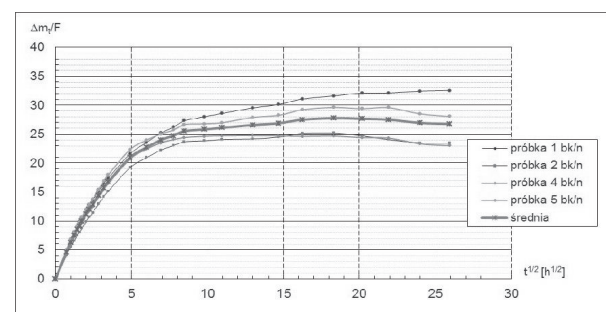
WYNIKI BADAŃ PODCIĄGANIA KAPILARNEGO

Na rys. 2 zilustrowano wyniki uzyskane bezpośrednio w eksperymencie podciągania kapilarnego dla testowanego betonu komórkowego. Na osi rzędnych naniesiono stosunek masy wody podciąganej kapilarnie przez próbki do powierzchni ssącej $\Delta m_t/F$, zaś na osi odciętych pierwiastek z czasu trwania procesu \sqrt{t} . Funkcja ta uwzględnia liniową zależność między masą wchłoniętej wody Δm_t a pierwiastkiem z czasu \sqrt{t} .

W odniesieniu do przedziału czasu, w którym zmiany masy były proporcjonalne do pierwiastka z czasu, wyznaczono dla każdej pojedynczej próbki współczynnik sorpcji kapilarnej A , korzystając ze wzoru o następującej postaci (Garbalińska, 2002):

$$A = \frac{\Delta m_t}{F \Delta \sqrt{t}} \quad (1)$$

Na podstawie wyników uzyskanych dla pojedynczych próbek, wyznaczono średnią wartości współczynnika A [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$]. Dla betonu komórkowego typu 600 współczynnik ten wyniósł 4,4 [$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$].



Rys. 2. Zależność $\Delta m_t/F = f(\sqrt{t})$ dla betonu komórkowego typ 600

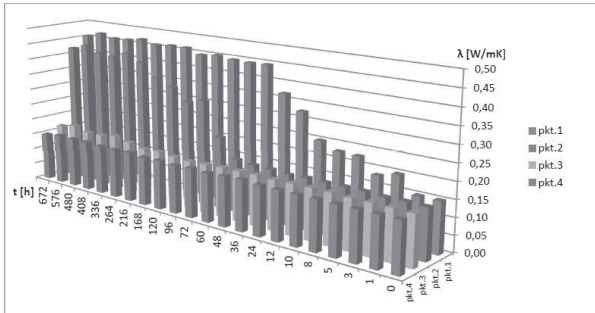
WYNIKI BADAŃ PARAMETRÓW CIEPLNYCH

W trakcie realizowanych badań podciągania kapilarnego równolegle wyznaczano za pomocą Isometu parametry cieplne, m.in. współczynnik przewodzenia ciepła λ i objętościową pojemność cieplną c_p .

Na rys. 3 przedstawiony został wykres obrazujący zmienność współczynnika przewodzenia ciepła w fun-

kcji czasu dla każdego punktu pomiarowego próbki betonu komórkowego, szkicowo przedstawionej na rys. 1.

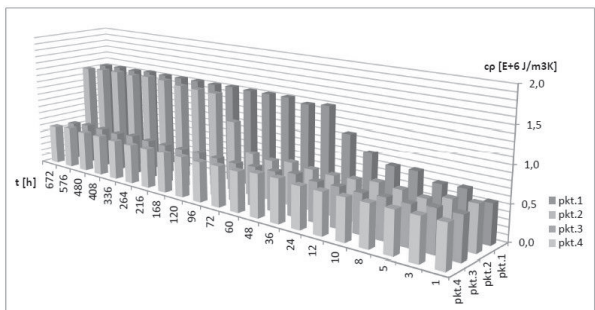
Na poniższym rysunku poszczególne osie prezentują: oś rzędnych – współczynnik przewodzenia ciepła λ , oś odciętych – czas trwania procesu t , oś głębokości – kolejne punkty pomiarowe – pkt.1, pkt.2, pkt.3, pkt.4.



Rys. 3. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ betonu komórkowego typ 600 od czasu t trwania procesu podciągania kapilarnego

Na rys. 4 przedstawiony został wykres obrazujący zależność objętościowej pojemności cieplnej c_p w funkcji czasu t w odniesieniu do każdego punktu pomiarowego próbki wykonanej z betonu komórkowego o schemacie zaprezentowanym na rys. 1.

W tym przypadku poszczególne osie przedstawiają: oś rzędnych – objętościową pojemność cieplną c_p , oś odciętych – czas trwania procesu t , oś głębokości – kolejne punkty pomiarowe – pkt.1, pkt.2, pkt.3, pkt.4.



Rys. 4. Zależność współczynnika objętościowej pojemności cieplnej c_p betonu komórkowego typ 600 od czasu t trwania procesu podciągania kapilarnego

PODSUMOWANIE

W ramach pracy (Matkowska, Mierzwa, 2013) przeprowadzono badania w opisanym powyżej zakresie w odniesieniu do trzech podstawowych materiałów ściennych, testując cegłę ceramiczną, cegłę wapienno-piaskową oraz beton komórkowy, opisany w niniejszym artykule. Dotyczące tego materiału badania przebiegu podciągania kapilarnego i towarzyszące pomiary właściwości cieplnych, zmieniających się w trakcie trwania procesu, pozwalają stwierdzić co następuje:

– W testowanym materiale odnotowano występowanie liniowej zależności $\Delta m_t = f(\sqrt{t})$ w szerokim i sto-

sunkowo łatwo dającym się wydzielić przedziale czasowym.

– Ustalając tangens kąta nachylenia prostoliniowego odcinka doświadczalnie odtworzonej funkcji $\Delta m_t = f(\sqrt{t})$ można z dobrą dokładnością określić wartość współczynnika sorpcji kapilarnej A testowanego materiału.

– Wyznaczone w badaniach współczynniki przewodności cieplnej λ wykazują tendencję do znacznego wzrostu swojej wartości wraz ze wzrostem zawilgocenia, będącego wynikiem podciągania kapilarnego.

– Stwierdzono również wzrost wartości objętościowej pojemności cieplnej c_p testowanego materiału wraz z postępującym zawilgoceniem

– Tendencje wzrostowe najszybciej i najsilniej ujawniły się w najniższych ułożonych punktach pomiarowych badanych próbek.

– Wykazano, że współczynnik λ po 28 dniach trwania badania w punkcie pomiarowym, gdzie materiał miał bezpośredni kontakt z wodą, wzrósł 3-krotnie w stosunku do λ , w punktach pomiarowych, do których nie dotarł strumień wilgoci.

– Analogiczny wzrost objętościowej pojemności cieplnej c_p wyniósł około 2,8 razy.

W przypadku bezpośredniego działania wody na przegrodę, a także pojawienia się kondensacji kapilarnej w jej obrębie, dochodzi do bardzo wyraźnej zmiany właściwości cieplnych, które osiągają wartości silnie zróżnicowane po grubości przegrody.

W planach jest wykonanie dokładnych obliczeń energetycznych ścian wykonanych z różnych materiałów z uwzględnieniem specyfiki redystrybucji wody rozprzestrzeniającej się w efekcie podciągania kapilarnego i jej oddziaływania na przewodność cieplną oraz objętościową pojemność cieplną materiałów wchodzących w skład poszczególnych przegród.

SPIS SYMBOLI

A	współczynnik sorpcji	$\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}^{1/2})$
c_p	objętościowa pojemność cieplna	$\text{J}/(\text{m}^3\text{K})$
λ	współczynnik przewodzenia ciepła	$\text{W}/(\text{mK})$
F	powierzchnia ssania	m^2
Δm_t	przyrost masy próbki	kg
$\Delta\sqrt{t}$	przyrost pierwiastka z czasu	$\text{h}^{1/2}$

LITERATURA CYTOWANA

Alsabry A., 2010, *Dynamika podciągania kapilarnego w murach budowlanych*, Przegląd budowlany No 9/2010, pp. 46-48

- Budownictwo ogólne. Fizyka budowli*, 2005, praca zbiorowa pod kierunkiem Klemma P., Arkady, Warszawa
- Dylla A., 2009, *Praktyczna fizyka ciepła budowli*, Uniwersytet Technologiczno - Przyrodniczy, Bydgoszcz
- Garbalińska H., 2002, *Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin
- Ickiewicz I., Sarosiek W., Ickiewicz J., 2000, *Fizyka budowli. Wybrane zagadnienia*, Dział Wydawnictw i Poligrafii, Białystok
- Matkowska A., Mierzwa N, 2013, *Wpływ podciągania kapilarnego na parametry cieplne wybranych materiałów ściennych*. Praca dyplomowa inżynierska, Wydział Budownictwa i Architektury ZUT, Szczecin
- Trochonowicz M., 2010, *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, Budownictwo i Architektura No 7/2010, pp. 131-144
- Wyrwał J., Świrski J., 1998, *Problemy zawilgocenia przegród budowlanych*, PAN, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, Instytut Podstawowych Problemów Techniki, Warszawa