



BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

**Teresa Możaryn\***  
**Aleksander Lamenta\*\***  
**Joanna Kokowska\*\*\***

## **BADANIE ZWILŻALNOŚCI W OCENIE SKUTECZNOŚCI IMPREGNACJI HYDROFOBIZUJĄCEJ BETONU**

Impregnacja hydrofobizująca jest metodą obróbki powierzchniowej betonu, zabezpieczającej go przed zawilgoceniem oraz wnikaniem substancji agresywnych. Stosowana jest głównie jako zabezpieczenie przed czynnikami agresywnymi obecnymi w warunkach atmosferycznych. Impregnacja hydrofobizująca, odpowiednio dobrana do warunków użytkowania i właściwie wykonana, korzystnie wpływa na trwałość obiektów betonowych i żelbetonowych. Opisanie w artykule badania stanowią próbę wykorzystania pomiarów zmian dynamicznego kąta zwilżania do określenia skuteczności impregnacji hydrofobizującej betonu.

### **1. Badanie właściwości impregnacji hydrofobizującej**

Kilkuczęściowa norma zharmonizowana PN-EN 1504 obejmuje wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. W części drugiej [1] zostały określone, między innymi, wymagania dotyczące właściwości użytkowych systemów i wyrobów przeznaczonych do impregnacji hydrofobizującej.

Impregnację hydrofobizującą betonu wykonuje się głównie za pomocą wyrobów: silikonowych, silanowych, siloksanowych i akrylowych. Wnikają one w przypowierzchniową warstwę betonu i adsorbują się na powierzchniach porów i kapilar. Pory i kapilary nie zostają wypełnione, a jedynie ich ścianki są powleczone preparatem. Nie uzyskuje się powłoki o skończonej grubości, a wygląd powierzchni betonu pozostaje zwykle bez zmian lub zmieniony w niewielkim stopniu. Ta metoda zabezpieczania betonu nadaje jego powierzchni zdolność „odpychania” wody. Dzięki tej właściwości w powierzchnię betonu w ograniczonych ilościach wnika woda niewywierająca parcia – czyli woda

---

\*dr inż., Zakład Materiałów Budowlanych ITB

\*\* mgr inż., zakład jw.

\*\*\*mgr, zakład jw.

kondensacyjna lub opadowa. Impregnacja hydrofobizująca pozwala na utrzymanie odpowiedniej wilgotności betonu, poprzez ograniczenie jego nawilżania i wysychania. Ogranicza przebieg szkodliwej reakcji alkaliów z kruszywem zawartym w betonie, zabezpieczając powierzchnię betonu przed wnikaniem z otoczenia wody będącej jednym z reagentów. Chroni beton przed zniszczeniami powodowanymi zamarzaniem i rozmrażaniem. Zapobiega wnikaniu w głąb betonu lub zbrojenia rozpuszczalnych w wodzie soli agresywnych [2].

Wymaganyymi we wszystkich zastosowaniach właściwościami użytkowymi wyrobów do impregnacji hydrofobizującej są: głębokość wnikania, nasiąkliwość wodą, odporność na alkalia, szybkość wysychania. Oznacza się również odporność na zamrażanie i rozmrażanie w obecności soli, jeżeli impregnacja hydrofobizująca przewidywana jest do stosowania na konstrukcjach, które będą się stykały z solami odladzającymi.

Receptura betonu oraz sposób przygotowania powierzchni przed wykonaniem impregnacji istotnie wpływają na jej skuteczność. Z tego względu, w celu określenia właściwości techniczno-użytkowych różnych wyrobów przeznaczonych do impregnacji hydrofobizującej, aplikuje się je na podłoża betonowe o ustalonym składzie, warunkach pielęgnacji i sposobie przygotowania powierzchni [3].

Przy ocenie skuteczności impregnacji hydrofobizujących kamieni naturalnych, ceramicznych wyrobów okładzinowych czy impregnacji przeciw graffiti, stosowany jest laboratoryjny test absorpcji kropli wody [4], [5]. Szybkość wsiąkania kropli wody w podłoże betonowe zabezpieczone metodą impregnacji hydrofobizującej zależy od wielu czynników. Są to między innymi: zwilżalność, chropowatość, porowatość, mikropęknięcia, reaktywność chemiczna [6], [7]. Doświadczenia z badania zwilżalności polimerów porowatych wskazują na znaczną niepewność pomiarów [8], [9]. Metoda pozwala natomiast na wykonywanie pomiarów na tych samych próbkach po różnych czasach ekspozycji starzeniowych, co może być zaletą w badaniach skuteczności i trwałości impregnacji hydrofobizującej.

## 2. Zwilżalność podłoża

Zwilżalność podłoża wynika ze współdziałania napięcia powierzchniowego (swobodnej energii powierzchniowej) cieczy i podłoża oraz międzyfazowej energii powierzchniowej. Międzyfazowa energia powierzchniowa na granicy ciało stałe/ciecz jest miarą siły przyciągającej cząsteczki cieczy do podłoża. Jej wartość można określić przez pomiar kąta zwilżania jednej lub kilku cieczy o dobrze znanych właściwościach, w tym napięcia powierzchniowego. Kąt zwilżania to kąt, jaki tworzy styczna powierzchni cieczy i powierzchni ciała stałego. Jeżeli swobodna energia powierzchniowa jest równa lub większa niż napięcie powierzchniowe cieczy, następuje efekt pełnego zwilżenia i kąt zwilżenia jest zerowy. Jeśli ciecz o dużym napięciu powierzchniowym (np. woda) znajdzie się na podłożu o niskiej energii powierzchniowej, kąt zwilżania będzie stosunkowo duży [6], [7], [10].

Kąt zwilżania mierzy się goniometrem, umożliwiającym obserwację punktu styczności faz przy dużym powiększeniu. Statyczny kąt zwilżania mierzy się w momencie, gdy rozmiar podstawy kropli umieszczonej na stałej, nienasiąkliwej powierzchni przestaje się zmieniać.

Dynamiczny kąt zwilżania jest charakterystyczny dla materiałów chłonących oraz dla sytuacji, gdy zachodzi reakcja chemiczna z podłożem powodująca zmianę napięcia powierzchniowego cieczy lub własności powierzchni materiału. Pomiar dynamicznego kąta zwilżania („szybkość pochłaniania” i „szybkość rozptywania”) wymaga zarejestrowania sekwencji zmieniających się obrazów, na których widoczna będzie dynamika całego procesu. Badając powierzchnie mineralne (zaprawy cementowe, beton, kamienie naturalne, ceramikę) charakteryzujące się chropowatością/mikrochropowatością, należy brać pod uwagę fakt, że pomiary dynamicznego kąta zwilżania są przybliżone, ponieważ dynamicznie zmieniają się punkty odniesienia, przyjmowane automatycznie przez układ pomiarowy goniometru. Wpływ chropowatości podłoża na wyniki pomiarów dynamicznego kąta zwilżania nie był uwzględniany w niniejszej pracy.

### **3. Badanie zwilżalności impregnacji hydrofobizującej betonu**

Badania zwilżalności impregnacji hydrofobizujących przeprowadzono na próbkach sześciennych o boku 100 mm, wykonanych z betonu C (0,70) [8]. Przygotowano trzy serie impregnacji hydrofobizujących trzema różnymi impregnatami na bazie silanów (A, B, C), które spełniły wymagania normy zharmonizowanej [1]. Wyroby do impregnacji hydrofobizującej nakładano pędzlem na wszystkie powierzchnie próbek, stosując dozowanie zgodnie z kartami technicznymi wyrobów.

Pomiary kątów zwilżania wykonano goniometrem, rejestrującym zmiany obrazu kropli w czasie oraz parametry kropli – długość podstawy, wysokość i objętość. Wyznaczano dynamiczne kąty zwilżania. Aplikowane krople wody dejonizowanej miały objętość 4  $\mu$ l. Założono badany czas wsiąkania: 1200 sek. Pomiary wykonywano na każdej powierzchni próbek, w miejscach bez widocznych porów otwartych.

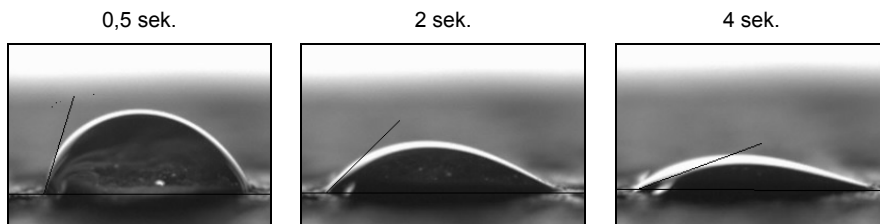
Wykonano następujące badania zmian:

- dynamicznych kątów zwilżania na 6 powierzchniach próbki nieimpregnowanej,
- dynamicznych kątów zwilżania na 6 powierzchniach próbki zaimpregnowanej wyrobem A,
- dynamicznych kątów zwilżania próbek zaimpregnowanych wyrobem A, po 1 i 3 miesiącach ekspozycji w zmiennych warunkach ciepłno-wilgotnościowych (zakres zmian: temperatury od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $60^{\circ}\text{C}$ , wilgotności 5% – 95% RH),
- dynamicznych kątów zwilżania próbek zaimpregnowanych wyrobami B i C po teście zamrażania i rozmrażania w obecności soli [1].

Na podstawie analizy zarejestrowanych zmian dynamicznych kątów zwilżania wnioskowano o właściwościach hydrofobowych badanych powierzchni betonowych zabezpieczonych metodą impregnacji hydrofobizującej.

#### 4. Wyniki badania zwilżalności impregnacji hydrofobizującej betonu

Nałożona na powierzchnię niezaimpregnowanego betonu C (0,70) kropla wody wsiąkała w czasie 3–5 sek. Zarejestrowany wygląd zmian kształtu kropli i kąta zwilżania (rys.1) odpowiadał powierzchni hydrofilowej – kąt zwilżania w chwili aplikacji kropli był mniejszy niż 90 stopni.

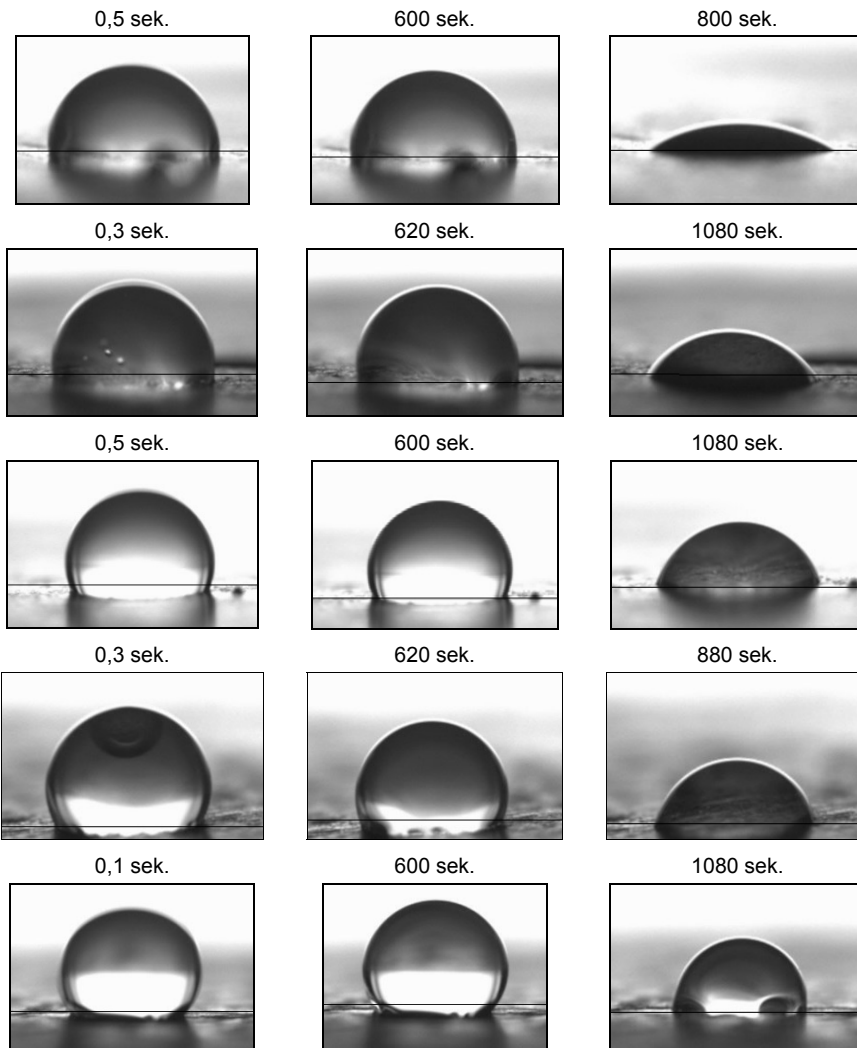


*Rys. 1. Wsiąkanie kropli wody w próbkę betonową*  
*Fig. 1. Penetration of the water drop into the concrete sample*

Zaobserwowano niesymetryczny rozptył kropli, którego przyczyną mogła być nierównomiernie aktywna powierzchnia próbki, na przykład wpływ powierzchni styku stwardniałego zaczynu cementowego i kruszywa lub porowatości podłoża [3], [6]. Zwilżanie podłoża następowało bardzo szybko – praktycznie po 5 sekundach od naniesienia kropli.

Badania zwilżalności próbki betonowej z betonu C (0,70) zabezpieczonej impregnatem A wykonano na wszystkich ścianach. Poglądowe fotografie (rys. 2) zarejestrowane podczas pomiaru dynamicznego kątów zwilżania w różnych punktach pomiarowych wykazały, że krople nałożone na zaimpregnowane podłoże utrzymywały się na powierzchni przez 600 sek., zachowując kąt zwilżania przekraczający 90 stopni. Po tym czasie zaobserwowano zmniejszanie się kątów zwilżania i wsiąkanie kropli w podłoże. W punktach pomiarowych zaobserwowano istotne różnice w szybkości wsiąkania kropli w podłoże, w długości podstawy i w wysokości kropli. Przyczyną takiego zjawiska mogła być między innymi zróżnicowana powierzchniowa energia swobodna zaimpregnowanego podłoża betonowego. Nie zaobserwowano natomiast asymetrii kropli w żadnym punkcie pomiarowym, jak to miało miejsce w przypadku próbki niezaimpregnowanej.

Podsumowując wyniki analizy zarejestrowanych obrazów można stwierdzić, że potwierdzone zostały właściwości hydrofobowe impregnacji hydrofobizującej – kąt zwilżania przekraczał 90 stopni, czas wsiąkania kropli był wielokrotnie dłuższy w porównaniu z próbką niezaimpregnowaną.

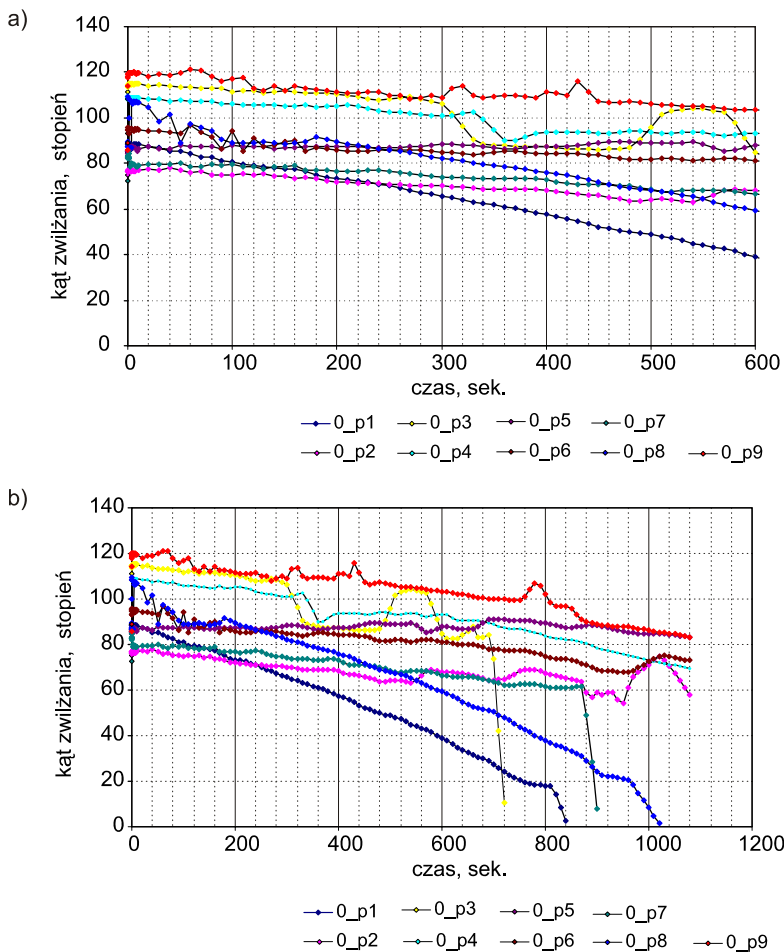


Rys. 2. Wsiąkanie kropli wody w próbkę betonową zabezpieczoną metodą impregnacji hydrofobizującej wyrobem A (5 pomiarów, czas badania 0 – 1200 sek.)

Fig. 2. Penetration of the water drops into the concrete sample impregnated with the product A (5 measurements, test time 0 – 1200 s)

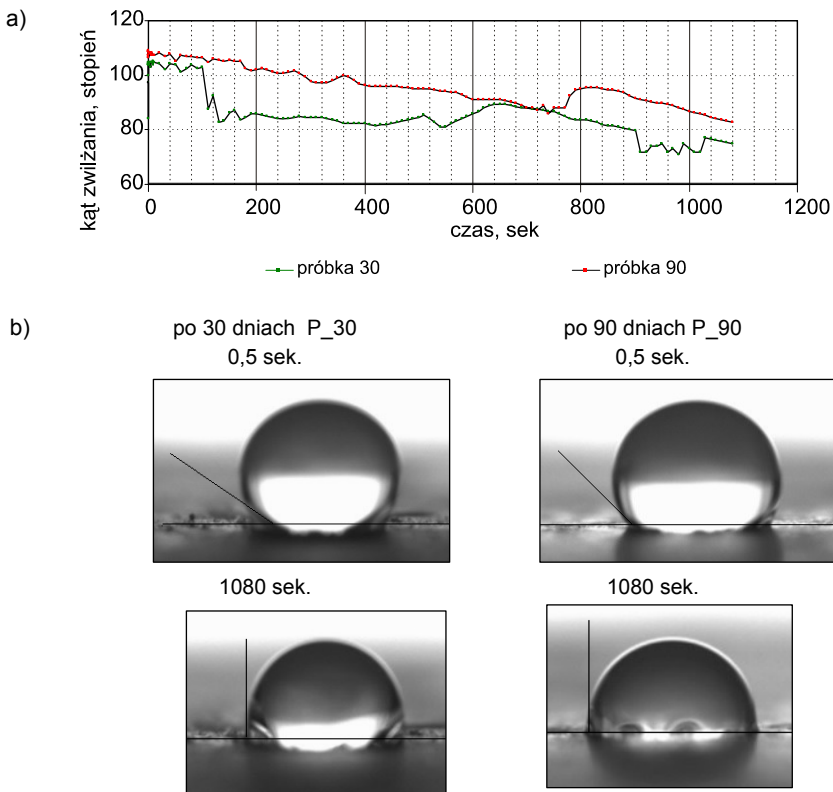
Na wykresach (rys. 3a, b) przedstawiono wyniki oznaczeń dynamicznego kąta zwilżania w dziewięciu punktach pomiarowych wykonanych na próbce betonowej zaimpregnowanej preparatem A. W początkowym etapie wsiąkania kropli kąty zwilżania były w zakresie od 78 do 120 stopni. W czasie do 600 sek. dynamika zmian w siedmiu

punktach pomiarowych była zbliżona (rys. 3a, p2-p7 i p9), a w dwóch punktach pomiarowych wsiąkanie kropli następowało szybciej (rys. 3a, p1 i p8). Po upływie 700–1100 sek. w czterech punktach pomiarowych krople wody wnikały w głąb próbki betonowej (rys. 3b, p1, p3, p6, p8). W pozostałych punktach ostatnie pomiary dynamicznego kąta zwilżania zostały zarejestrowane po upływie 1080 sek., przy wartościach kątów zwilżania w zakresie od 60 do 80 stopni.



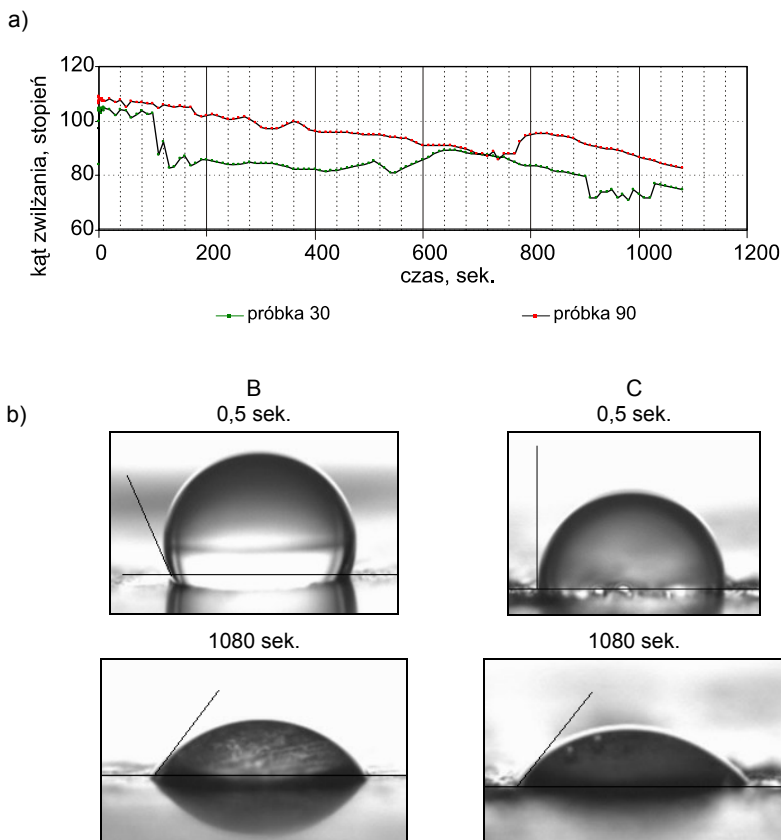
Rys. 3a,b. Wyniki oznaczenia dynamicznych kątów zwilżania na powierzchniach próbki betonowej (100 x 100 x 100 mm), zabezpieczonej metodą impregnacji hydrofobizującej wyrobem A Fig. 3a,b. The results of dynamic contact angle determination on the surfaces of the concrete sample (100 x 100 x 100 mm) impregnated with the product A

Próbki zaimpregnowane preparatem A poddano ekspozycji starzeniowej przez 30 i 90 dni w cyklicznie zmieniających się warunkach ciepłno-wilgotnościowych, w zakresie temperatur od  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  oraz wilgotności względnej powietrza w zakresie 5%–95%. Wykonane po ekspozycjach badania zwilżalności zaimpregnowanych powierzchni wykazały, że jej właściwości hydrofobowe nieznacznie się poprawiły. Dynamiczne kąty zwilżania zmierzone po 1080 sek. od naniesienia kropli wynosiły: 75 stopni w przypadku impregnacji po 30 dniach ekspozycji starzeniowej, a 85 stopni przy impregnacji po 90 dniach ekspozycji starzeniowej (rys. 4a). Porównanie zarejestrowanych kształtów kropli wody na powierzchni próbek nie poddanych ekspozycji starzeniowej i próbek starzonych potwierdziło brak negatywnego wpływu warunków ekspozycji na zaimpregnowane powierzchnie betonowe (rys. 4b).



Rys. 4a, b. Wyniki oznaczenia dynamicznych kątów zwilżania impregnacji hydrofobizującej betonu po zakończeniu ekspozycji ciepłno-wilgotnościowej  
Fig. 4a, b. The results of dynamic contact angle determination of the concrete hydrophobic impregnation, after thermal-moisture exposure

Badanie zwilżalności impregnacji hydrofobizującej betonu wyrobami B i C, wykonane po zakończeniu 20 cykli ekspozycji w warunkach zamrażania i rozmrażania w obecności soli odladzających wykazało, że zaimpregnowane podłoża miały dobre właściwości hydrofobowe. Zaimpregnowane podłoża różniły się powierzchniową energią swobodną – kąty zwilżania w początkowej fazie pomiaru wynosiły: w przypadku impregnacji hydrofobizującej wykonanej wyrobem B 78 stopni, a w przypadku impregnacji hydrofobizującej wykonanej wyrobem C 100 stopni. Dynamika wsiąkania kropli w zaimpregnowane podłoża była różna, a kąty zwilżania po 1080 sekundach trwania pomiaru (rys. 5a, b) osiągnęły, dla obydwu impregnacji, taką samą wartość (48 stopni).



Rys. 5a, b. Wyniki oznaczenia dynamicznych kątów zwilżania impregnacji hydrofobizujących wykonanych wyrobami B i C na próbkach betonowych, po zakończeniu 20 cykli zamrażania i rozmrażania w obecności soli odmrażającej

Fig. 5a, b. The results of dynamic contact angle determination of hydrophobic impregnations made with the products B and C on the concrete samples, after 20 freezing-thawing cycles in the presence of deicing salts



## 5. Podsumowanie

Impregnacja hydrofobizująca nie zmienia wyglądu powierzchni betonu i określenie utraty przez nią właściwości ochronnych wymaga wykonania czasochłonnych badań. Wykorzystanie goniometru umożliwia szybką ocenę właściwości hydrofobowych zaimpregnowanej powierzchni betonowej na podstawie pomiarów kąta zwilżania.

Przeprowadzone badania zmian dynamicznego kąta zwilżania i analiza zarejestrowanych przez goniometr zmian kształtu kropli wody naniesionych na zaimpregnowane podłoże betonowe dostarczyły informacji, że metoda ta jest przydatna szczególnie do jakościowej oceny skuteczności tej ochrony powierzchniowej betonu. Badania te umożliwiają porównanie właściwości hydrofobowych powierzchni betonów zaimpregnowanych różnymi preparatami oraz określanie wpływu różnych czynników degradujących na właściwości hydrofobowe zaimpregnowanych powierzchni.

W pracy skupiono się nad możliwością badania impregnacji na próbkach znormalizowanych, aby dokładniej śledzić zmiany właściwości ochronnych impregnacji hydrofobizującej powstające na skutek działania czynników niszczących wyspecyfikowanych w normie zharmonizowanej [1]. Opracowanie procedury badania ochrony powierzchniowej betonu – impregnacji hydrofobizującej, impregnacji oraz powłok – pozwoliłoby na szersze wykorzystanie badania zwilżalności do oceny trwałości, a szczególnie do kontrolowania postępu procesów degradacji. Przygotowanie powierzchni próbki badawczej używanej w takiej procedurze wymaga określenia wpływu chropowatości impregnowanego podłoża betonowego na pomiar kąta zwilżania.

## Bibliografia

- [1] PN-EN 1504-2:2006 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu
- [2] Sokalska A.: Ochrona powierzchniowa betonu w warunkach agresji chemicznej. Seria: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. 453/2009. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2009
- [3] PN-EN 1766:2000 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Betony wzorcowe do badań
- [4] Barnat-Hunek D.: Hydrofobizacja opoki wapnistej w obiektach zabytkowych Kazimierza Dolnego. Monografie Wydziału Budownictwa i Architektury. Vol. 3. Politechnika Lubelska 2010
- [5] Szymura T., Barnat-Hunek D.: Środki przeciw graffiti. *Materiały Budowlane* 2011, 9, s. 29–31
- [6] Courard L., Garbacz A., Piotrowski T.; Inżynieria powierzchni betonu. Część 3. Termodynamiczne uwarunkowania adhezji. *Materiały Budowlane* 2007, 2, s. 6–7
- [7] Czarnecki, L., Chmielewska B.; Uwarunkowania adhezji w włączach budowlanych. *Cement Wapno Beton* 2005, 2, s. 74–85

- [8] Zielecka M.: Metody pomiaru kąta zwilżania jako sposób charakteryzowania zwilżalności polimerów. *Polimery* 2004, 5 (49), s. 327–332
- [9] Żenkiewicz M.: Analiza głównych metod badania swobodnej energii powierzchniowej materiałów polimerowych. *Polimery*, 2007, 10 (52), s. 760–767
- [10] Courard L.: Parametric study for the creation of the interface between concrete and repair products. *Materials and Structures*, Vol. 3, January-February 2000, pp. 65–72

#### TEST OF CHANGES OF DYNAMIC CONTACT ANGLE OF THE CONCRETE HYDROPHOBIC IMPREGNATION

Hydrophobic impregnation is a method of concrete surface protection against the ingress of moisture and aggressive substances. It is used mainly as a protection against corrosive agents present in the atmospheric conditions. Hydrophobic impregnations, chosen according to the conditions of use and properly executed, have a beneficial effect on the durability of concrete and reinforced concrete. Research works described in this paper constitute the attempt to recognize the possibility of using measurements of dynamic contact angle to determine the effectiveness of the hydrophobic impregnation.

*Praca wpłynęła do Redakcji 12 II 2013*