

Róża Krzywołocka-Laurów*

HYDROFOBIZACJA WYROBÓW BUDOWLANYCH

Opracowano metodę oceny preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych z kamienia naturalnego, ceramiki, zapraw i betonu. Wykonano badania porównawcze próbek z tych wyrobów przed i po zabiegu hydrofobizacji preparatami typu krzemoorganicznego. Oznaczono wygląd wyrobów po hydrofobizacji, czas wnikania kropli wody, wskaźnik absorpcji oraz nasiąkliwość powierzchniową. Podano wymagania odnośnie do oceny i identyfikacji samych preparatów do hydrofobizacji, jak również oceny ich efektywności po zastosowaniu w wyrobach budowlanych.

1. Wprowadzenie

Hydrofobizacja powierzchni wyrobu budowlanego polega na nadaniu jej właściwości odpychania wody, czyli niezwilżalności. Zjawisko to spowodowane jest dużą różnicą napięć powierzchniowych między zhydrofobizowaną odpowiednim preparatem powierzchnią wyrobu i wodą.

Do niedawna preparaty do hydrofobizacji były stosowane przede wszystkim do zabezpieczenia powierzchni elewacji obiektów budowlanych. Obecnie zyskują coraz większe zastosowanie na przykład do zabezpieczania betonowych nawierzchni drogowych i lotniskowych przed agresywnym, szkodliwym działaniem soli odładzających. Preparaty do hydrofobizacji produkowane są przez różne firmy krajowe i zagraniczne, najczęściej w postaci płynnej, rzadziej jako pasty. Niektóre z preparatów dodatkowo rozcieńcza się rozpuszczalnikami organicznymi, a niektóre stosuje się w postaci emulsji wodnych.

Dotychczas brak jest kryteriów oceny skuteczności działania preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych. Do niedawna brak też było dokumentów normatywnych dotyczących metod stosowanych do badań preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej tych wyrobów.

W Instytucie Techniki Budowlanej podjęto przed kilku laty prace nad metodami badań i oceny efektywności preparatów do hydrofobizacji powierzchni wyrobów budowlanych.

Efektorem dotychczas prowadzonych w ITB prac nad badaniem preparatów do hydrofobizacji są publikacje w prasie technicznej [1, 2] oraz Zalecenia udzielania aprobat technicznych dotyczące preparatów do powierzchniowej hydrofobizacji wyrobów budo-

* doc. dr n.t.

wlanych [3]. Opracowano je głównie na podstawie literatury i wyników badań laboratoryjnych [4]. Zalecenia te są wykorzystywane przez ITB przy udzielaniu aprobat technicznych i rekomendacji dotyczących preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej.

2. Cel i zakres badań preparatów do hydrofobizacji

W związku z zainteresowaniem preparatami do hydrofobizacji i wzrostem ich stosowania w budownictwie powstała potrzeba przeprowadzenia szerszych badań tych preparatów w celu opracowania kompleksowej metody ich oceny na potrzeby praktyki budowlanej. W pracach prowadzonych w ITB w latach 2003–2005 skoncentrowano się na:

- badaniu efektywności stosowania preparatów do hydrofobizacji kamieni budowlanych, szczególnie piaskowców drobnoziarnistych, które były i są często stosowane zarówno na okładziny zewnętrzne, jak i wewnętrzne we współczesnych i zabytkowych obiektach budowlanych;

- analizie wpływu preparatów do hydrofobizacji na nasiąkliwość wyrobów ceramicznych typu cegła i dachówka oraz zapraw wapiennych, cementowo-wapiennych i cementowych. Należy także zaznaczyć, że w związku z uzyskaniem od dnia 30 IV 2005 r. statusu Polskiej Normy przez normę europejską EN 1504-2:2004 *Products and systems for protection and repair of concrete structures Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity Part 2: Surface protection systems for concrete* (PN-EN 1504-2 marzec 2005) wystąpiono do Komisji Aprobat Technicznych ITB z wnioskiem o wycofanie wcześniej opracowanego ZUAT dotyczącego preparatów do hydrofobizacji betonu. Komisja przychyliła się do tego wniosku. W związku z tym uznano za celowe przy ocenie preparatów do hydrofobizacji betonu – w zależności od zakresu ich stosowania – uwzględnić wyniki badań wykonanych według norm:

- PN-EN13579 luty 2004 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Badanie schnięcia przy impregnacji hydrofobizującej,*

- PN-EN13580 luty 2004 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Nasiąkliwość i odporność na alkalia przy impregnacji hydrofobizującej,*

- PN-EN13581 luty 2004 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie ubytku masy betonu hydrofobizowanego przez impregnację po działaniu zamrażania-rozmrażania w obecności soli;*

- przeglądzie dotychczas stosowanych metod identyfikacji preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych i oznaczenia ich właściwości oraz porównaniu tych metod z aktualnymi dokumentami o charakterze normatywnym;

- opracowywaniu własnych procedur badawczych dotyczących badania skuteczności działania preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych, które zawierają opis metody: „Oznaczanie wskaźnika absorpcji kropli wody” oraz „Oznaczanie nasiąkliwości powierzchniowej” [4].

Dodatkowo opracowano wzór karty informacyjnej o preparacie do hydrofobizacji powierzchniowej wyrobów budowlanych. Odpowiednio opracowane karty powinny znajdować się w bazie informacyjnej ITB. Karty preparatów do hydrofobizacji, które uzyskały rekomendację lub aprobatę techniczną ITB lub innej uprawnionej jednostki, mogłyby

stanowiąc nie tylko informację dla zainteresowanych zastosowaniem tego rodzaju preparatów, ale także bodziec dla producentów i dystrybutorów do uzyskiwania w ITB tego typu dokumentów. Karta informacyjna preparatu do hydrofobizacji zawiera następujące dane:

- nazwę handlową preparatu,
- dane producenta (adres, telefon, fax, e-mail, adres internetowy),
- opis ogólny preparatu,
- zastosowanie,
- przeciwwskazania,
- charakterystykę preparatu (wygląd zewnętrzny, gęstość, jakościowy skład chemiczny, stosowany lub zalecany rozpuszczalnik, zawartość suchej pozostałości),
- sposób użycia,
- dokumenty dopuszczające preparat do stosowania w budownictwie (numer i tytuł aprobaty technicznej lub rekomendacji jednostki upoważnionej do wydawania tego rodzaju dokumentów, numer atestu PZH),
- bibliografię i ewentualnie opinie użytkowników,
- nazwisko autora karty informacyjnej,
- datę opracowania karty.

3. Metody oceny efektywności działania preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych

Obecnie w kraju znane są następujące metody badań efektywności stosowanych zabezpieczeń preparatami do hydrofobizacji powierzchni materiałów budowlanych przed działaniem wody:

- obserwacje wizualne zachowania się powierzchni zabezpieczonych elementów pod wpływem obfitego polewania wodą, w miarę upływu czasu; tego rodzaju badania zalecała Instrukcja ITB nr 263 *Instrukcja silikonowania powierzchni elewacyjnych ścian i elementów budowlanych* [5];
- określanie czasu „wnikania” i kształtu kropli wody naniesionej na zabezpieczoną powierzchnię wyrobu,
- określanie prędkości wnikania wody do zabezpieczonego materiału z odpowiednich rurek przylegających do jego powierzchni,
- oznaczanie nasiąkliwości wodą lub inną wybraną cieczą próbek zabezpieczonego wyrobu,
- oznaczanie prędkości kapilarnego podciągania wody lub innej wybranej cieczy przez zabezpieczony wyrób,
- oznaczanie odporności zabezpieczonego wyrobu na cykliczne oddziaływanie niektórych soli rozpuszczalnych w wodzie, na przykład siarczanu sodu.

Pierwsze trzy z wymienionych metod pozwalają na ocenę skutków zastosowanego zabezpieczenia wyrobu znajdującego się zarówno w obiekcie, jak i występującego w postaci ciał próbnych przygotowanych laboratoryjnie lub pobranych z obiektu i badanych w warunkach laboratoryjnych. Następne z tych metod mogą być stosowane jedynie w przypadku badań laboratoryjnych.

Obserwacje wizualne zachowania się materiału, na przykład piaskowca, wymagają długiego czasu, koniecznego do zaobserwowania skuteczności zastosowanego zabezpieczenia. Ocena taka, nie oparta na wartościach mierzalnych, jest bardzo przybliżona nawet w aspekcie jakościowym i subiektywna. Z tego względu obserwacje materiału zabezpieczonego najczęściej są uzupełniane badaniem czasu wnikania kropli wody naniesionej na jego powierzchnię. Jest to szybki i bardzo użyteczny test orientacyjny. Ze względu na użyteczność – zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i terenowych – metody określania czasu wnikania kropli wody, w ITB opracowano na podstawie dokumentów RILEM [6] i doświadczeń własnych odpowiednią metodykę badań [4]. Znacznie dokładniejszy od tego testu jest pomiar prędkości wsiąkania wody do zabezpieczonego wyrobu z odpowiednich rurek szklanych przyklejonych do jego powierzchni. Należy zaznaczyć, że sposób badania zabezpieczonego materiału z wykorzystaniem odpowiednich rurek (Karstena), mimo że stosunkowo prosty, jest w Polsce mało znany.

W Instytucie Chemii Przemysłowej prowadzono badania nad korelacją wyników pomiarów dynamicznego kąta zwilżania (DCA) oraz obliczeń swobodnej energii powierzchniowej z właściwościami użytkowymi powierzchni zabezpieczonych różnymi preparatami do hydrofobizacji. Umożliwia to bezwzględną ocenę zwilżalności powierzchni i stanowi nowoczesną metodę oznaczania hydrofobowości. Metoda ta wymaga stosowania kosztownej aparatury. Należy jednak zaznaczyć, że we wnioskach z Konferencji Hydrophobe III [7] podkreślono, że pomiary kąta zwilżania są zbyt zróżnicowane, żeby móc na podstawie wyników tej metody badań, szczególnie w odniesieniu do porowatych powierzchni większości wyrobów budowlanych, oceniać obiektywnie efektywność zabiegu hydrofobizacji.

Mimo dotychczasowego braku wymagań normowych dotyczących efektywności działania preparatów do hydrofobizacji materiałów i wyrobów budowlanych, zainteresowanie zastosowaniem tych preparatów jest coraz większe. Świadczy o tym nie tylko wzrost zużycia preparatów do hydrofobizacji w budownictwie, ale i organizowane w ostatnich latach konferencje międzynarodowe na temat hydrofobizacji. Pierwsza z nich odbyła się w Delft w 1995 r. Druga, pod nazwą „Hydrophobe II Second International Conference on Surface Technology Using Repellent Agents” w 1998 r. w Zurychu [8].

Trzecia konferencja, „Hydrophobe III”, miała miejsce w 2001 r. w Niemczech. We wnioskach z tej konferencji [7] podkreślono konieczność prowadzenia badań podstawowych w celu wyjaśnienia mechanizmu hydrofobizacji i jego oceny. Szczególnie przydatne są do oceny efektywności hydrofobizacji wspomniane już odpowiednie szklane rurki wypełnione wodą, zwane rurkami Karstena lub rurkami RILEM, za pomocą których mierzy się odporność materiału na penetrację słupa wody pod ciśnieniem. Zalecane są one przede wszystkim do badań drobnoziarnistych, jednorodnych kamieni budowlanych.

Z prac konferencji wynika również potrzeba odpowiedniej charakterystyki pod względem składu chemicznego i możliwości identyfikacji nowo wprowadzonych na rynek preparatów do hydrofobizacji.

Jako ważne zagadnienie podkreślono sprawę odpowiedniego doboru preparatu hydrofobizującego do wybranego wyrobu budowlanego, gdyż nie ma jednego uniwersalnego preparatu, który mógłby być zastosowany do hydrofobizacji wszystkich wyrobów

budowlanych. Każdy wyrób budowlany, na przykład z wapienia, piaskowca, betonu, ceramiki lub innych materiałów, wymaga doboru optymalnego rodzaju preparatu do hydrofobizacji, co pociąga za sobą konieczność wykonania niezbędnych badań i opracowania obiektywnych kryteriów oceny.

Następna, IV Konferencja „Hydrophobe” odbyła się w 2005 r. w Szwecji, w Sztokholmie [9]. Podobnie jak poprzednie, miała na celu promocję badań i rozwoju preparatów do hydrofobizacji w celu poprawy trwałości i przedłużenia użytkowania konstrukcji inżynierskich, a także wymianę informacji na ten temat. Materiały z tej konferencji zawierają 20 referatów przygotowanych przez 31 autorów i współautorów z 9 krajów. Komitet naukowy konferencji podzielił referaty na pięć następujących grup tematycznych:

- Preparaty do hydrofobizacji a karbonatyzacja betonu,
- Mechanizm wnikania i reakcje chemiczne w trakcie hydrofobizacji,
- Preparaty do hydrofobizacji jako ochrona przed wnikaniem chlorków do betonu,
- Preparaty do hydrofobizacji jako ochrona innych materiałów budowlanych,
- Inne wpływy preparatów do hydrofobizacji na konstrukcje betonowe.

Wiele uwagi na konferencji poświęcono dodatniemu wpływowi hydrofobizacji betonu na przebieg jego karbonatyzacji i korozję zbrojenia [10, 11], a także ochronie betonu przed penetracją chlorków w konstrukcje betonowe, pracujące w środowisku morskim [12, 13]. Za szczególnie interesujące ze względu na zastosowanie praktyczne należy uznać badania nad aktywną konserwacją mostów w Szwecji przez ich hydrofobizację [14].

Obecnie w literaturze, podobnie jak i na wspomnianej konferencji „Hydrophobe IV”, największą uwagę poświęca się zastosowaniu preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej betonów.

Beton stosowany jest w wielu konstrukcjach infrastruktury. Konstrukcje te w większości są narażone na działanie czynników atmosferycznych, co często prowadzi do poważnych zniszczeń. Metodą, która zapobiega lub zmniejsza te zniszczenia, jest impregnacja betonu za pomocą preparatów do hydrofobizacji. Jakość impregnacji zależy od typu preparatu do impregnacji, składu betonu i jakości jego warstwy powierzchniowej, wilgotności betonu oraz zdolności betonu do podciągania kapilarnego preparatów do hydrofobizacji. Obszerne badania laboratoryjne dotyczące skuteczności różnych preparatów do hydrofobizacji betonu przeprowadzono w Szwecji [15]. Zbadano 11 serii betonu o różnym składzie i odmiennych rodzajach powierzchni. Każda seria betonu była badana przy 3 różnych wilgotnościach betonu i 10 różnych czasach absorpcji preparatu do hydrofobizacji: od 20 s do 7 dni. Dodatkowo był badany wpływ rodzaju powierzchni lub osadów na powierzchni, takich jak zabezpieczenie antygraffiti, pył drogowy i wylugowane wapno – na głębokości penetracji. Preparaty do hydrofobizacji były badane w postaci roztworu, kremu i żelu. Łącznie przebadano 1124 próbki betonu.

Na podstawie wykonanych badań stwierdzono, że skład betonu, a szczególnie dodatek krzemionki bezpostaciowej, ma istotny wpływ na głębokość penetracji preparatów do hydrofobizacji. Krzemionka bowiem powoduje wzrost gęstości objętościowej betonu i obniża głębokość penetracji impregnatu.

Wzrost wartości współczynnika w:c od 0,40 do 0,50 wpływa na wzrost głębokości penetracji zastosowanego preparatu do hydrofobizacji o blisko 80%. Wykazano to na

przykładzie betonu wykonanego przy użyciu cementu CEM I i przechowywanego w komorze o wilgotności względnej 65%. Przy wyższej wilgotności wpływ wartości współczynnika w:c wzrasta jeszcze bardziej.

Wzrost współczynnika w:c od 0,50 do 0,60 i od 0,60 do 0,70 w przypadku betonu wykonanego z cementu CEM II powoduje mniejszy wzrost głębokości penetracji preparatów do hydrofobizacji niż w betonach wykonanych z CEM I.

Dodatek domieszek napowietrzających jest bez znaczenia, jeśli chodzi o głębokość penetracji. Podstawowe znaczenie dla głębokości penetracji ma wilgotność względna warunków przechowywania betonu. Na przykład dla betonu o współczynniku w:c 0,40 i 0,50, przechowywanym w warunkach wilgotności względnej 90%, głębokość penetracji preparatów do hydrofobizacji jest bliska 0.

Biorąc pod uwagę wnioski wynikające z szeroko zakrojonych badań szwedzkich nad dodatnim wpływem hydrofobizacji na trwałość betonu, należałoby dążyć do rozpropagowania tego zabiegu w stosunku do betonów wykonywanych w kraju, szczególnie narażonych na agresywne oddziaływanie środowiska pracy konstrukcji. Działalność taka powinna być jednak poprzedzona wynikami badań nad hydrofobizacją betonów wykonanych z materiałów krajowych i poddanych hydrofobizacji dostępnymi u nas preparatami.

4. Charakterystyka i metody badań efektywności preparatów do hydrofobizacji

Oceniając środki do powierzchniowej hydrofobizacji materiałów budowlanych, należy przede wszystkim sprawdzić jakość samego preparatu do hydrofobizacji, a następnie efektywność jego oddziaływania w stosunku do zmiany wybranych charakterystyk wyrobu po zabezpieczeniu preparatem. Preparat do hydrofobizacji musi mieć jednoznaczne, podane przez producenta cechy identyfikacyjne i właściwości techniczne. Do wymaganych cech identyfikacyjnych podawanych przez producenta zaliczono wygląd zewnętrzny preparatu, jego stan skupienia, zabarwienie i wygląd preparatu po rozcieńczeniu wodą lub innym rozcieńczalnikiem. Należy zaznaczyć, że nie dopuszcza się wystąpienia w preparacie rozwarstwień i obcych zanieczyszczeń. Producent jest zobowiązany podać gęstość preparatu w określonych warunkach cieplno-wilgotnościowych oraz – jeśli preparat jest palny lub użyto do niego palnego rozcieńczalnika – wymaga się podania temperatury zapłonu preparatu oryginalnego po ewentualnym rozcieńczeniu go rozpuszczalnikiem organicznym stosowanym lub zalecanym przez producenta.

Zgodnie z praktyką większości krajów europejskich do identyfikacji preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej stosuje się badania ich widm absorpcyjnych w podczerwieni [16]. W Instytucie Techniki Budowlanej do badań widma w podczerwieni preparatów do hydrofobizacji stosuje się metodę podaną w PN-EN480-6 [17].

Należy zaznaczyć, że badania w podczerwieni wykonywane są także na potrzeby aprobat technicznych i rekomendacji opracowywanych w ITB na preparaty do hydrofobizacji, zgodnie z ZUAT-15/VI.11.

Wymagane właściwości techniczne preparatów do hydrofobizacji powierzchni wyrobów budowlanych, a zarazem ich cechy identyfikacyjne i metody badań zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Charakterystyka preparatu stosowanego do hydrofobizacji powierzchniowej, wymagania i metody badania

Table 1. Specification of water repellent agent, requirements and test methods

Cechy identyfikacyjne	Wymagania i dopuszczalny zakres zmienności	Metoda badania
<p>Wygląd zewnętrzny:</p> <ul style="list-style-type: none"> • stan skupienia • zabarwienie • obecność zanieczyszczeń widocznych okiem nieuzbrojonym <p>Wygląd preparatu: po rozcieńczeniu wodą lub innym rozcieńczalnikiem</p> <ul style="list-style-type: none"> • oryginalnego 	<p>jednorodna ciecz bez rozwarstwień zgodnie z danymi producenta</p> <p>nie dopuszcza się</p> <p>bez zmian widocznych okiem nieuzbrojonym, dopuszcza się jedynie zmianę zabarwienia na jaśniejszą odpowiednio do rozcieńczenia</p>	ZUAT 15/VI.11
Gęstość preparatu w określonych warunkach, g/ml	godnie z danymi producenta, z tolerancją $\pm 0,02$ g/ml	PN-92/C-04504
<p>Temperatura zapłonu*, °C:</p> <ul style="list-style-type: none"> • preparatu oryginalnego • preparatu po rozcieńczeniu organicznym rozpuszczalnikiem palnym, np. alkoholem 	<p>zgodnie z danymi producenta, z tolerancją $\pm 10^{\circ}\text{C}$</p> <p>zgodnie z danymi producenta, z tolerancją $\pm 10^{\circ}\text{C}$</p>	PN-82/C-04008
pH preparatu	zgodnie z danymi producenta	PN-89/C-04963
Widmo absorpcyjne w podczerwieni	widmo w podczerwieni przy porównaniu z widmem wzorcowym, dostarczonym przez producenta lub znajdującym się w archiwum laboratorium badawczego, nie wykazuje zmian**	PN-EN 480-6
<p>* Temperaturę zapłonu oznacza się tylko w odniesieniu do preparatów zawierających w swoim składzie składniki palne.</p> <p>** W przypadku braku widma preparatu należy wykonać odpowiedni wzorzec.</p>		

Preparat do hydrofobizacji powinien mieć pozytywną opinię sanitarno-higieniczną, wydaną przez upoważnioną jednostkę.

Ze względu na znaczną alkaliczność preparatów do hydrofobizacji i związane z tym działanie żrące, a także szkodliwość dla zdrowia związków organicznych stosowanych do ich rozcieńczania, wszystkie czynności związane z przygotowaniem preparatów i nanoszeniem ich na powierzchnie wyrobów budowlanych, należy wykonywać z dużą ostrożnością i w odzieży ochronnej, stosując również rękawiczki i okulary ochronne.

Do charakterystyki wyrobów budowlanych po hydrofobizacji wybrano ich następujące właściwości techniczne:

- wygląd zewnętrzny powierzchni wyrobu po hydrofobizacji w porównaniu do stanu przed zabezpieczeniem,
- wskaźnik absorpcji kropli wody, %,
- nasiąkliwość powierzchniowa wyrobu, kg/m^2 , po 1, 3 i 7 dniach,
- nasiąkliwość powierzchniowa wyrobu po hydrofobizacji, kg/m^2 , po 1, 3 i 7 dniach,
- wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej wyrobu po hydrofobizacji (W/H), po 1 i 7 dniach, liczba niemianowana.

Do badań wyżej wymienionych właściwości stosowane są następujące metody badań:

a) wygląd zewnętrzny preparatu do hydrofobizacji

Wygląd zewnętrzny preparatu do hydrofobizacji powierzchniowej wyrobu budowlanego – w postaci oryginalnej i po ewentualnym rozcieńczeniu – należy sprawdzić przez oględziny okiem nieuzbrojonym w świetle dziennym z odległości około 100 mm, a wynik obserwacji porównać z wynikami podanymi w tablicy 1.

b) wygląd zewnętrzny powierzchni wyrobu po hydrofobizacji

Wygląd zewnętrzny powierzchni wyrobu z kamienia budowlanego, betonu, cegły, zaprawy budowlanej (cementowej, cementowo-wapiennej i wapiennej) po hydrofobizacji należy sprawdzić przez oględziny okiem nieuzbrojonym w świetle dziennym z odległości 300 mm. Powierzchnia wyrobu nie powinna wykazywać zmian zabarwienia; dopuszcza się jedynie lekki połysk powierzchni wyrobu po hydrofobizacji.

c) wskaźnik absorpcji kropli wody

Wstępną ocenę efektu hydrofobizacji powierzchni wyrobu budowlanego przeprowadza się zgodnie z testem absorpcji lub wskaźnika kropli wody. Jest to zmodyfikowany test No. II 86 według zaleceń RILEM [6].

W teście tym mierzy się tzw. wskaźnik absorpcji kropli wody. Określa on czas absorpcji określonej ilości wody przez powierzchnię materiału. Pomiar absorpcji kropli wody jest zalecany jako test laboratoryjny dla zhydrofobizowanej i niezhydrofobizowanej powierzchni poziomej wyrobu budowlanego, na przykład z betonu, cegły ceramicznej, kamienia budowlanego, zaprawy budowlanej i z innych materiałów budowlanych. Liczebność próbek do badania zależy od jednorodności materiału, z którego wykonano wyrób. Badania laboratoryjne przeprowadza się na co najmniej dwóch próbkach o łącznej powierzchni nie mniejszej niż 200 cm^2 , które przed pomiarem wysuszono do stałej masy w temperaturze $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$. Na powierzchnię próbek nanosi się minimum od 10 do 20 kropli wody o objętości $0,025 \text{ cm}^3$ każda, co odpowiada masie kropli wody $0,025 \text{ g}$. Krople nanosi się z mikropipety, z wysokości $0,5 \text{ cm}$, w odległości co 1 cm . Taka sama liczba pomiarów powinna być przeprowadzona na próbkach przyjętych jako próbki odniesienia, czyli bez hydrofobizacji.

Mierzy się czas potrzebny do całkowitej absorpcji kropli wody przez powierzchnię zhydrofobizowaną (t_x) i przez powierzchnię bez hydrofobizacji (t_n). Dodatkowo, w celu określenia czasu parowania (t_e) kropli wody w trakcie pomiaru, analogicznie nanosi się z mikropipety krople o objętości $0,025 \text{ cm}^3$ na odtłuszczoną powierzchnię płytki z pleksiglasu. Dłuższy czas absorpcji wody przez powierzchnię zhydrofobizowaną w porównaniu do

niezhydrofobizowanej wskazuje na zmniejszoną porowatość powierzchni wyrobu. Powierzchnia całkowicie odporna na działanie wody nie wchłania jej. W tym przypadku czas, w którym kropla wnika w powierzchnię, jest porównywalny z czasem parowania (t_g). W celu porównania czasu absorpcji kropli wody przez różne preparaty do hydrofobizacji korzysta się z następującego wzoru:

$$WA (\%) = \frac{t_n}{t_x} 100\% \quad (1)$$

gdzie: WA – wskaźnik absorpcji kropli wody, %,

 t_n – czas absorpcji w powierzchnię próbki bez hydrofobizacji, min lub s,

 t_x – czas absorpcji w powierzchnię zhydrofobizowaną, min lub s.

W teście RiLEM [6] stosowany jest także termin: wskaźnik nieprzepuszczalności kropli wody, oznaczony WR . Oblicza się go ze wzoru:

$$WR (\%) = 100\% - WA \quad (2)$$

d) nasiąkliwość powierzchniowa

Nasiąkliwość powierzchniową materiału, nazywaną też kapilarną, oznacza się jako podciąganie kapilarne wywołane przez przenikanie wody od strony powierzchni próbki stykającej się z wodą. Wyróżnia się ją w kg/m^2 i oznacza w określonych odcinkach czasowych.

Metodę badania nasiąkliwości powierzchniowej zapraw cementowo-wapiennych opracowano na podstawie PN-B-10106 [18], PN-EN 1925:2001 [19] i PN-EN 13057:2002 [20]. Zasada metody polega na pomiarze zmiany masy próbki wyrobu z kamienia, zaprawy, cegły, betonu lub innego materiału budowlanego pod wpływem podciągania kapilarnego wody przez jedną z jej powierzchni w funkcji czasu. W tym celu próbki suszy się do stałej masy w temperaturze $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$, a następnie umieszcza się je w kuwecie na podkładce z włókniny nasyconej wodą, zapewniając w ten sposób stały kontakt powierzchni próbki z wodą, i oznacza się przyrost masy próbki po określonym czasie. Liczba próbek do jednego oznaczenia wynosi minimum 6 sztuk, z czego 3 sztuki z tych próbek pozostają bez hydrofobizacji, 3 pozostałe jej podlegają. Hydrofobizuje się tylko jedną powierzchnię każdej badanej próbki, która styka się z wodą. Jest to górna powierzchnia próbki, jeśli jest to próbka zaprawy lub betonu, która nie miała styczności ze ściankami formy. Wybór taki jest podyktowany faktem, że próbki betonu lub zaprawy są wykonywane w formach, których ścianki zazwyczaj pokrywa się preparatami antyadhezyjnymi. W odniesieniu do próbek z kamienia lub cegły należy zawsze uwzględnić powierzchnię, która będzie wystawiona na wpływy atmosferyczne.

Wyniki oznaczania nasiąkliwości powierzchniowych próbek bez hydrofobizacji stanowią punkt odniesienia dla wyników badań próbek po hydrofobizacji.

Dla wyrobów z różnych materiałów budowlanych przyjęto zróżnicowane wielkości próbek: dla próbek z kamienia sześciany o boku (70 ± 5) mm lub (50 ± 5) mm, dla zapraw cementowo-wapiennych beleczyki o wymiarach $(40 \times 40 \times 160)$ mm, dla betonu sześciany o boku 100 mm.

Przed pomiarem próbki należy wysuszyć do stałej masy w temperaturze $(70^\circ\text{C} \pm 5)^\circ\text{C}$. Stałą masę osiąga się wtedy, gdy różnica między dwoma kolejnymi ważeniami w czasie

(24 ± 2) h nie jest większa niż 0,1% masy próbki. Próbki po suszeniu powinny być przechowywane w temperaturze pokojowej (20 ± 5)°C. Wymiary próbek przed oznaczeniem należy zmierzyć linijką z dokładnością do 1 mm. Powierzchnię próbki stykającej się z wodą należy wyrazić w metrach kwadratowych.

Po wysuszeniu należy zważyć próbki z dokładnością do 0,01 g i masę wyrazić w kg. Próbki umieszcza się w kuwecie z włókniną nasyconą wodą. Należy zanotować czas umieszczenia próbek w kuwecie. Kuwetę trzeba przykryć folią, aby uniknąć parowania wilgoci z próbek. Po określonym czasie należy wyjmować kolejno próbki, delikatnie osuszyć wilgotną ściereczką część każdej próbki stykającej się z wodą, aż do usunięcia kropeł wody, i natychmiast zważyć. Następnie należy włożyć je ponownie do kuwety. Należy notować czas, który upłynął od początku badania do momentu każdego ważenia. Okresy te powinny być mierzone z dokładnością do 5%. Konieczne jest przeprowadzenie badań w minimum 3 okresach. Badanie uznaje się za zakończone, kiedy różnica między dwoma kolejnymi ważeniami jest nie większa niż 1% masy wody pochłoniętej przez próbkę.

Zgodnie z uzyskanymi doświadczeniami, w trakcie badań zhydrofobizowanych i nie zhydrofobizowanych wyrobów z kamienia, zapraw cementowo-wapiennych, betonu i cegieł, odpowiednimi okresami, po których należy badać ich nasiąkliwość powierzchniową są: 1, 3 i 7 dni, a na specjalne życzenie zlecniodawcy – 6 h i 14 dni.

Nasiąkliwość powierzchniową wyrobu bez i po hydrofobizacji oblicza się ze wzoru

$$n_p = \frac{m_w - m_s}{F} \quad (3)$$

gdzie: n_p – nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m^2 ,
 m_w – masa wilgotnej próbki, kg,
 m_s – masa suchej próbki, kg,
 F – powierzchnia próbki stykająca się z wodą, m^2 .

Wynik stanowi średnia arytmetyczna ze wszystkich badanych próbek, oddzielnie – próbek bez i po hydrofobizacji. Zarówno wyniki dotyczące próbek po hydrofobizacji, jak i próbek bez hydrofobizacji nie powinny się różnić między sobą więcej niż 20%. Jeżeli różnice są większe, badania należy powtórzyć.

Nasiąkliwość powierzchniowa po hydrofobizacji powinna być oceniana w stosunku do nasiąkliwości takiego samego wyrobu bez hydrofobizacji, w określonych wyżej terminach. We wszystkich terminach badań wartość nasiąkliwości powierzchniowej próbek po hydrofobizacji powinna być znacząco mniejsza od próbek bez hydrofobizacji.

Do oceny efektywności hydrofobizacji wyrobów budowlanych wprowadzono wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji i oznaczono go symbolem WH_t , w którym t oznacza czas, po którym oblicza się ten wskaźnik ze wzoru

$$WH_t = \frac{N_b}{N_h} \quad (4)$$

gdzie: N_b – nasiąkliwość powierzchniowa wyrobu bez hydrofobizacji po czasie t , kg/m^2 ,
 N_h – nasiąkliwość powierzchniowa wyrobu po hydrofobizacji po czasie t , kg/m^2 .

Należy jednak zaznaczyć, że PN-B-10106 i PN-EN 1925 oprócz oznaczeń nasiąkliwości powierzchniowej podają oznaczenia współczynnika nasiąkliwości kapilarnej. Współczynnik ten wyraża się jako iloraz nasiąkliwości powierzchniowej wyrażonej w kg/m^2 i wartości pierwiastka kwadratowego z czasu kontaktu z wodą jednej powierzchni próbki, wyrażonego w sekundach. Oblicza się go ze wzoru

$$\alpha = \frac{n_p}{\sqrt{t}} \quad (5)$$

gdzie: α – współczynnik nasiąkliwości kapilarnej, $\text{kg/m}^2/\text{h}^{0,5}$,
 n_p – nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m^2 ,
 t – czas badania, s.

Biorąc pod uwagę bardziej skomplikowaną interpretację uzyskiwanych wyników badań porównawczych próbek bez i po hydrofobizacji w odniesieniu do współczynnika nasiąkliwości kapilarnej w zestawieniu z pomiarem nasiąkliwości powierzchniowej, do oceny efektywności hydrofobizacji w przeprowadzonych badaniach wybrano ten drugi pomiar i obliczenie wskaźnika nasiąkliwości powierzchniowej próbek po hydrofobizacji (WH_t).

5. Wyniki badań efektywności hydrofobizacji wybranych wyrobów budowlanych

5.1. Kamienie budowlane

Badania przeprowadzono na dwóch piaskowcach drobnoziarnistych, stosując dwa preparaty do hydrofobizacji typu krzemooorganicznego. Oznaczenia próbek były następujące: dwa piaskowce drobnoziarniste 1 i 2 oraz dwa preparaty do hydrofobizacji A i B.

5.1.1. Badania makroskopowe

Wyniki analiz makroskopowych dwóch badanych preparatów do hydrofobizacji na powierzchniach dwóch piaskowców drobnoziarnistych zestawiono w tablicy 2.

Tablica 2. Wygląd zewnętrzny powierzchni elementów z piaskowców po hydrofobizacji
 Table 2. Appearance of surface of sandstone elements after water repellent treatment

Oznaczenie		Właściwość	Wynik	Wymagania
preparatu	piaskowca			
A	nr 1	wygląd powierzchni elementu z piaskowca nr 1 po hydrofobizacji w porównaniu ze stanem przed zabiegiem	bez zmian	spełnia: bez widocznych zmian zabarwienia, nalotów i złuszczeń; dopuszcza się lekki połysk powierzchni
B	nr 2	wygląd powierzchni elementu z piaskowca nr 2 po hydrofobizacji w porównaniu ze stanem przed zabiegiem	bez zmian	spełnia: bez widocznych zmian zabarwienia, nalotów i złuszczeń; dopuszcza się lekki połysk powierzchni

5.1.2. Czas wnikania, wskaźnik absorpcji i nieprzepuszczalności kropli wody

Wyniki oznaczeń czasu wnikania, wskaźników absorpcji i nieprzepuszczalności kropli wody w odniesieniu do piaskowców drobnoziarnistych bez i po hydrofobizacji zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Czas wnikania, wskaźniki absorpcji i nieprzepuszczalności kropli wody w odniesieniu do piaskowców

Table 3. Time of absorption, water drop absorption and waterproof indexes for sandstones

Oznaczenie		Czas wnikania t , min	Wskaźniki, %	
preparatu	piaskowca		absorpcji	nieprzepuszczalności
A	nr 1	121	1,0	99,0
Bez hydrofobizacji		poniżej 1		
B	nr 2	137	1,0	99,0
Bez hydrofobizacji		poniżej 1		

5.1.3. Nasiąkliwość powierzchniowa

Wyniki oznaczeń nasiąkliwości powierzchniowej (średnie z 6 pomiarów) piaskowców drobnoziarnistych po i bez hydrofobizacji zestawiono w tablicy 4.

Tablica 4. Nasiąkliwość powierzchniowa piaskowców po i bez hydrofobizacji

Table 4. Surface absorbability of sandstones after and without water-repellent treatment

Oznaczenia		Nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m^2 po liczbie godzin (h) i dni (d)						
preparatu	piaskowca	1 h	3 h	6 h	1 d	3 d	7 d	14 d
Po hydrofobizacji preparatem A	nr 1	0,12	0,12	0,12	0,15	0,32	0,46	0,56
Bez hydrofobizacji		7,93	10,89	10,92	11,89	11,80	12,37	12,88
Po hydrofobizacji preparatem B	nr 2	0,04	0,04	0,04	0,08	0,09	0,26	0,26
Bez hydrofobizacji		5,11	6,65	7,50	10,21	10,71	11,00	11,30

Do oceny preparatów do hydrofobizacji piaskowców drobnoziarnistych w odniesieniu do nasiąkliwości powierzchniowej obliczono z danych zawartych w tablicy 4 wartości wskaźników nasiąkliwości powierzchniowej piaskowca po hydrofobizacji – WH .

Do porównań wybrano terminy oznaczeń po 1 i 7 dniach ze względu na fakt, że nasiąkliwość powierzchniowa piaskowców po hydrofobizacji zaczyna się zmieniać dopiero po 1 dniu, wykazując w okresach krótszych stosunkowo mały wzrost, a nasiąkliwość powierzchniowa piaskowców bez hydrofobizacji stabilizuje się dopiero po 1 dniu, wykazując w krótszych okresach stosunkowo duży wzrost. Wartości wskaźnika WH obliczone z badań doświadczalnych zestawiono w tablicy 5.

Tablica 5. Wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej (*WH*) piaskowców po hydrofobizacji
 Table 5. Surface absorbability index (*WH*) of sandstones after water-repellent treatment

Oznaczenia		Wskaźnik <i>WH</i> , %, po liczbie godzin (h) i dni (d)						
preparatu	piaskowca	1 h	3 h	6 h	1 d	3 d	7 d	14 d
A	nr 1	66,1	90,8	91,0	79,3	36,9	26,9	23,0
B	nr 2	127,8	166,3	187,5	127,6	119,0	42,3	43,5

Jako kryterium oceny efektywności działania preparatu do hydrofobizacji dla piaskowców drobnoziarnistych przyjęto wstępnie wartość *WH* po 1 dniu nie mniejszą niż 50, a po 7 dniach nie mniejszą niż 20, niezależnie od stosowanego preparatu.

Przyjęte kryterium może jeszcze zostać zweryfikowane po wykonaniu większej serii pomiarów nasiąkliwości powierzchniowej z zastosowaniem różnych preparatów do hydrofobizacji na piaskowcach, różniących się głównie nasiąkliwością masową i składem mineralnym.

5.1.4. Badania w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM)

Do badań efektów hydrofobizacji w odniesieniu do materiałów budowlanych coraz częściej zaczyna się stosować obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym [21, 22].

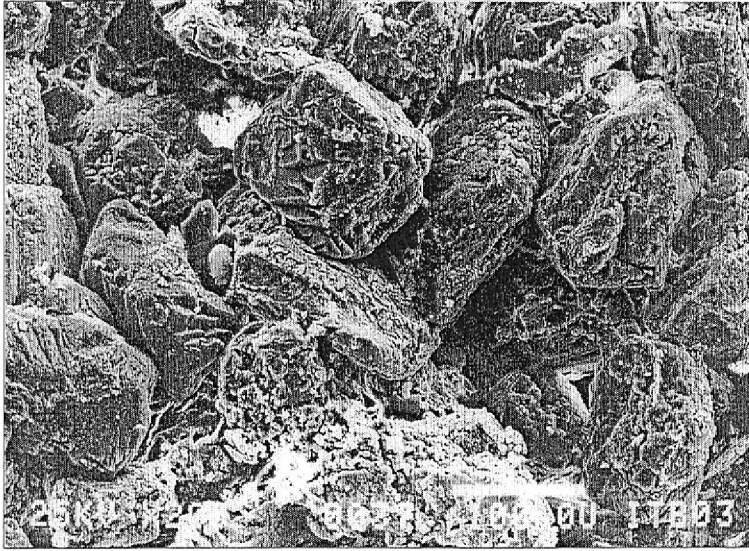
Badania w SEM przeprowadzono na dwóch powierzchniach dwóch drobnoziarnistych piaskowców bez i po hydrofobizacji dwoma preparatami oraz na ich przelamach, wykonanych prostopadłe do powierzchni próbki poddanej hydrofobizacji. Łączna liczba preparatów wynosiła 8 sztuk. Preparaty napyłano przewodzącą warstwą złota w urządzeniu „Fine coat”. Obserwacji dokonano na mikroskopie typu JEOL 35-C. Zakres stosowanych powiększeń: od 20x do 3000x.

Obserwacje w skaningowym mikroskopie elektronowym wykazały, że oba preparaty do hydrofobizacji (A i B) zastosowane do dwóch piaskowców drobnoziarnistych (nr 1 i nr 2) pokrywają cienką warstwą zarówno przestrzeń porową piaskowców, jak i powierzchnie ziarn kwarcu. Z obserwacji mikroskopowych wynika, że piaskowiec nr 1 charakteryzował się większymi ziarnami kwarcu i większymi porami w porównaniu do piaskowca nr 2. Oszacowana na podstawie pomiaru w SEM zawartość porów w piaskowcach wynosiła w próbce piaskowca nr 1 – 37% obj., a w próbce piaskowca nr 2 – 18% obj. Tłumaczy to zróżnicowanie w wartości nasiąkliwości powierzchniowej obu próbek piaskowców, szczególnie w krótszych okresach oddziaływania na nie wody.

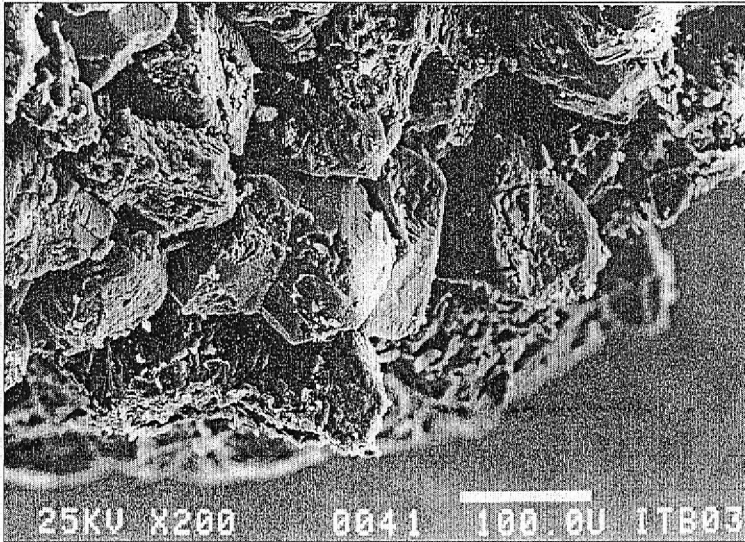
Efektom hydrofobizacji badanych piaskowców drobnoziarnistych było znaczące obniżenie ich nasiąkliwości powierzchniowej. W odniesieniu do piaskowca nr 1 i preparatu A nasiąkliwość po 1 dniu zmniejszyła się 79 razy, po 7 dniach 27 razy, a po 14 dniach 23 razy w stosunku do piaskowca bez hydrofobizacji.

W odniesieniu do piaskowca nr 2 i preparatu B po 1 dniu nasiąkliwość powierzchniowa zmniejszyła się 127 razy, a po 7 dniach i 14 dniach 42 razy.

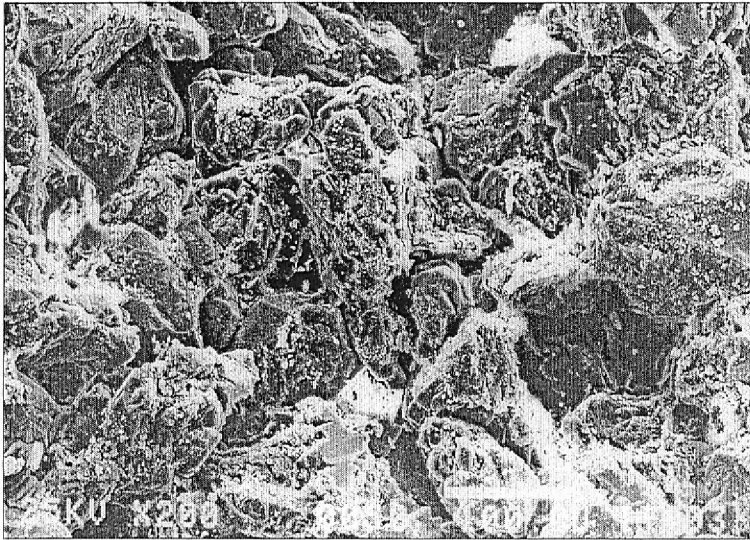
Przykładowe charakterystyczne fotografie przelamów piaskowców bez i po hydrofobizacji w SEM przedstawiono na stronie następczej (rys. 1–4).



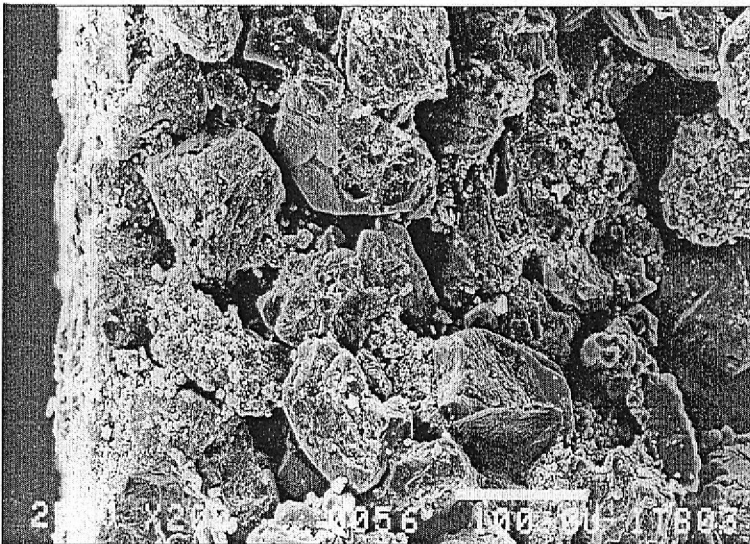
Rys. 1. Przełam piaskowca nr 1 bez hydrofobizacji, SEM, pow. 200x
Fig. 1. Fracture of sandstone 1 without water repellent treatment, SEM, enlargement 200x



Rys. 2. Przełam piaskowca nr 1 po hydrofobizacji, SEM, pow. 200x
Fig. 2. Fracture of sandstone 1 after water repellent treatment, SEM, enlargement 200x



Rys. 3. Przełam piaskowca nr 2 bez hydrofobizacji, SEM, pow. 200x
Fig. 3. Fracture of sandstone 2 without water repellent treatment, SEM, enlargement 200x



Rys. 4. Przełam piaskowca nr 2 po hydrofobizacji, SEM, pow. 200x
Fig. 4. Fracture of sandstone 2 after water repellent treatment, SEM, enlargement 200x

5.2. Zaprawy cementowo-wapienne

Do hydrofobizacji próbek zapraw cementowo-wapiennych wybrano 3 preparaty oznaczone I, II i III. Charakterystyki tych preparatów zestawiono w tabelicy 6.

Badaniom poddano zaprawy cementowo-wapienne o dwóch różnych składach: serię A o masowej proporcji składników cement : wapno : piasek jak 1:1:4 i serię B jak 1:1:5. Wyniki badań nasiąkliwości masowej próbek zapraw cementowo-wapiennych serii A i B zestawiono w tabelicy 7.

Tablica 6. Charakterystyka preparatów do hydrofobizacji zapraw cementowo-wapiennych
Table 6. Specification of water repellent agents for cement-lime mortars

Cecha badana	Wynik		
	nr 1	nr 2	nr 3
Wygląd: • stan skupienia • zabarwienie • obecność zanieczyszczeń widocznych okiem nieuzbrojonym	jednorodna ciecz o ostrym zapachu bezbarwna nie stwierdzono	ciecz bez zapachu białawe nie stwierdzono	ciecz o ostrym zapachu bezbarwna nie stwierdzono
Gęstość, g/ml	0,806	0,997	0,816
Temperatura zapłonu, °C	33	nie dotyczy	46
pH preparatu	8,8	7,0	5,0
Wygląd zewnętrzny powierzchni wyrobu z zaprawy cementowo-wapiennej po hydrofobizacji w porównaniu ze stanem przed zabiegiem	bez zmian	bez zmian	bez zmian

Tablica 7. Wyniki oznaczeń nasiąkliwości masowej próbek zapraw cementowo-wapiennych
Table 7. Results of determinations of absorbability of cement-lime mortars

Oznaczenie serii zaprawy	Nasiąkliwość masowa, kg/m ² , po liczbie godzin (h) i dni (d)				
	3 h	6 h	1 d	7 d	14 d
A (1:1:4)					
1	3,47	6,75	10,52	10,75	10,77
2	3,08	3,08	10,53	10,75	10,78
3	3,17	3,17	10,61	10,81	10,84
4	3,80	6,46	10,54	10,73	10,74
5	4,18	7,16	10,60	10,76	10,84
6	5,69	10,39	10,44	10,63	10,64
Średnia	3,90	6,17	10,54	10,74	10,77

Oznaczenie serii zaprawy	Nasiąkliwość masowa, kg/m ² , po liczbie godzin (h) i dni (d)				
	3 h	6 h	1 d	7 d	14 d
B (1:1:5)					
1	3,19	5,23	10,28	10,50	10,55
2	4,45	8,84	10,14	10,34	10,38
3	4,41	10,11	10,19	10,38	10,41
4	4,20	10,02	10,09	10,25	10,28
5	5,46	9,99	10,07	10,30	10,29
	5,84	10,00	10,05	10,17	10,22
Średnia	4,59	9,03	10,14	10,32	10,35

Tablica 8. Porównanie wybranych danych o makrostrukturze, mikrostrukturze, składzie fazowym i cechach fizykomechanicznych zapraw cementowo-wapiennych

Table 8. Comparison of selected data connected with macrostructure, microstructure, phase composition and physico-mechanical features of cement-lime mortars

Cecha badana	Oznaczenie zaprawy			
	A		B	
Zabarwienie* • powierzchni • przelamu	bardzo jasny szary (N8) bardzo jasny szary (N8)		bardzo jasny szary (N8) bardzo jasny szary (N8)	
Obecność defektów struktury	brak		brak	
Wynik reakcji na powierzchni i przelamie: • z HCl • z fenoloftaleiną	powierzchnia + -	przelam - +	powierzchnia + -	przelam - +
Zawartość wybranych składników zaczynu w zaprawie, kg/m ³ • woda związana: – w produktach hydratacji spoiwa – w wodorotlenku wapnia Razem • wodorotlenek wapnia • węglan wapnia**	97,0 48,0 145,0		92,0 46,0 138,0	
	199,0 293,0		189,0 266,0	
Jakościowy skład fazowy***	kwarc, uwodnione krzemiany typu C-S-H, portlandyt, kalcyt, relikty nieuwodnionego klinkieru		kwarc, uwodnione krzemiany typu C-S-H, portlandyt, kalcyt, relikty nieuwodnionego klinkieru	
* Przy oznaczaniu zabarwienia korzystano z Karty barw „Rock-Color Chart”, The Geological Society of America. Printed in the USA by Munsell Color, 1991, zalecanej przez PN-EN 12407. ** Zawartość węgla wapnia ustalono z wyników analizy termicznej zapraw. W badanych zaprawach węglan ten występuje w postaci kalcytu; pochodzi on zarówno od składników użytych do wykonania zapraw, jak i z produktów karbonatyzacji spoiwa. *** Oznaczono na podstawie obserwacji w SEM i wyników rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej.				

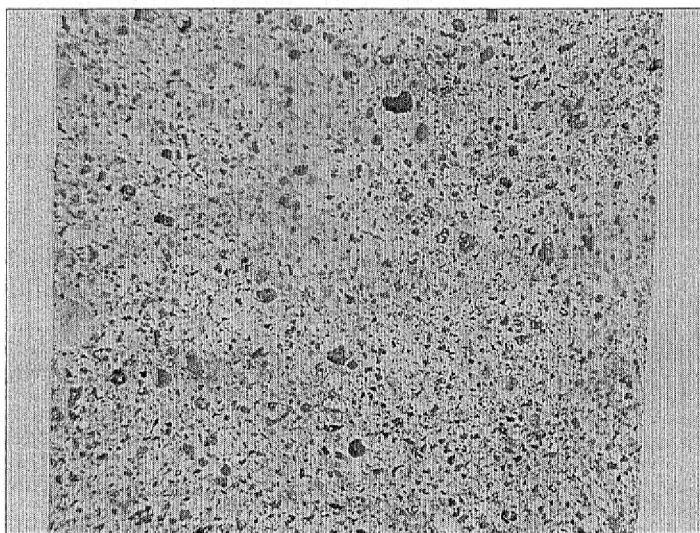
Z badań nasiąkliwości masowej próbek zapraw o różnej zawartości piasku wynika, że ich porowatość po 1 dniu i dłuższym okresie – do 14 dni – nie różni się znacząco. Dość istotne różnice występują tylko po krótszych okresach, rzędu 3 h i 6 h. Zwracają również uwagę stosunkowo duże różnice w wartościach nasiąkliwości badanej po 3 h i 6 h próbek zapraw zarówno serii A, jak i B. W skrajnych przypadkach różnica między maksymalną a minimalną wartością nasiąkliwości masowej w obu seriach badanych próbek po 3 h wynosi 2,6%, a po 6 h jest jeszcze większa. Dopiero po 1 dniu w obu seriach próbek nasiąkliwość stabilizuje się, osiągając wartość od 10,1% do 10,8%, z minimalnymi różnicami, nie przekraczającymi 0,2% między poszczególnymi próbkami w każdej serii.

Zestawienie wybranych danych o makrostrukturze, mikrostrukturze i cechach fizyko mechanicznych tych zapraw zestawiono w tablicy 8.

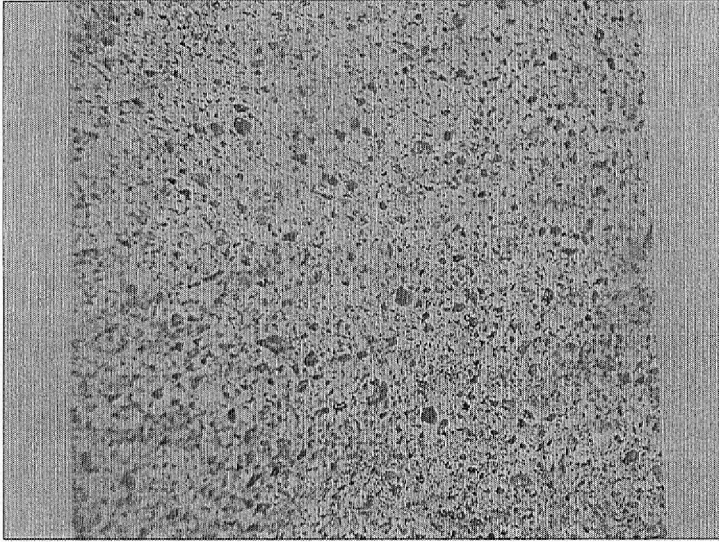
Pod względem jakościowym mikrostruktura zapraw serii A i B jest bardzo zbliżona. Wyróżniono w niej oprócz wypełniacza, który przeważnie stanowią ziarna kwarcu, bardzo drobne utwory igiełkowate o długości do 1 μm , które przypisano uwodnionym krzemianom wapnia typu C-S-H, heksagonalne tabliczki wodorotlenku wapnia, relikty nieuwodnionego klinkieru oraz drobnokrystaliczny węglan wapnia w postaci kalcytu. Obecność tych wszystkich składników – oprócz C-S-H, które są prawie rentgenoamorficzne – została potwierdzona wynikami rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej.

Biorąc pod uwagę stosunkowo małe zróżnicowanie w składzie i mikrostrukturze, a także nasiąkliwości masowej obu serii zapraw po 1 dniu, badania czasu wnikania i współczynnika absorpcji kropli wody oraz wskaźnika nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji przeprowadzono na zaprawie cementowo-wapiennej serii B (1:1:5).

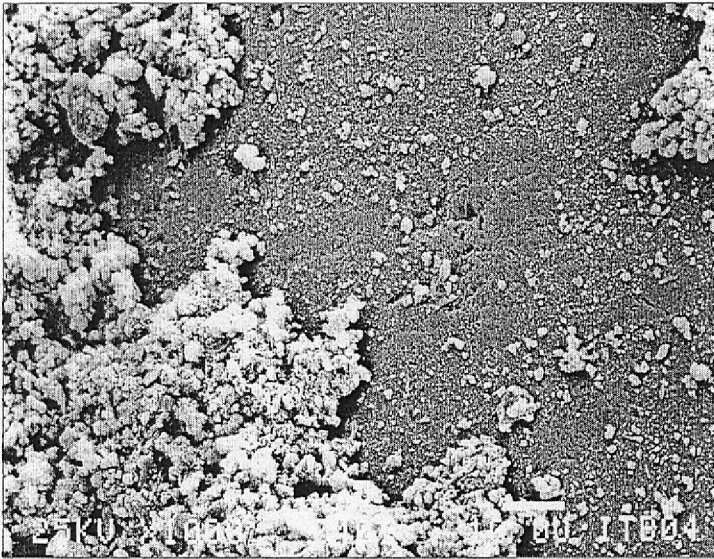
Niżej przedstawiono fotografie makrostruktury świeżych przełamów zapraw cementowo-wapiennych serii A i B, ich mikrostrukturę badaną w SEM (rys. 5–10).



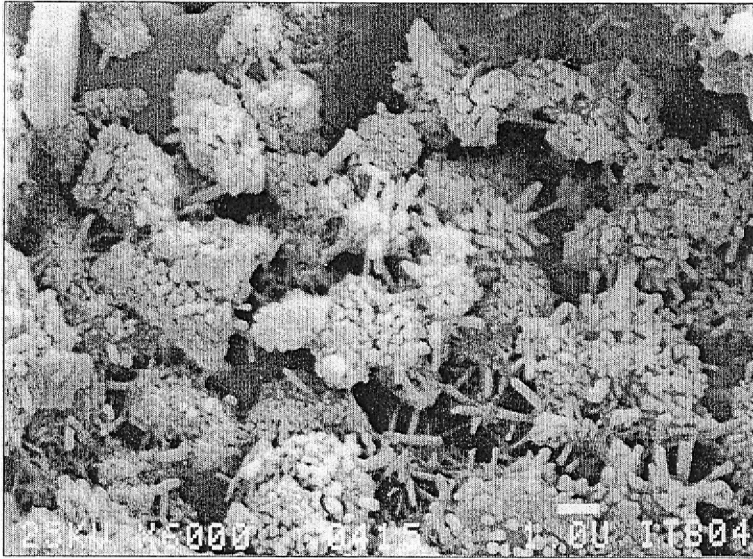
Rys. 5. Zaprawa cementowo-wapienna, seria A (1:1:4)
Fig. 5. Cement-lime mortar, series A (1:1:4)



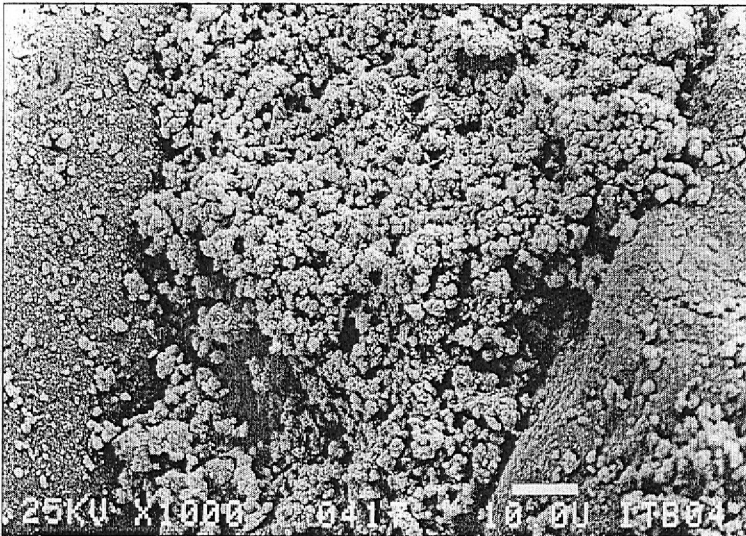
Rys. 6. Zaprawa cementowo-wapienna, seria B (1:1:5)
Fig. 6. Cement-lime mortar, series B (1:1:5)



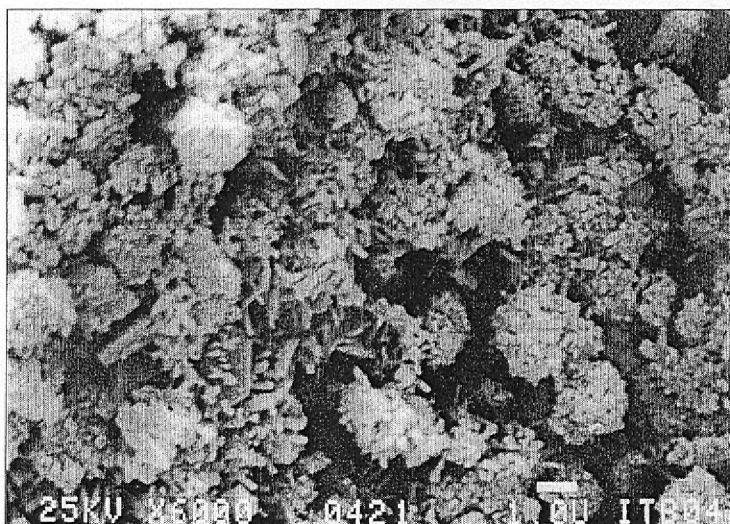
Rys. 7. Zaprawa cementowo-wapienna, seria A (1:1:4), przełam, SEM, pow. 1000x
Fig. 7. Cement-lime mortar fracture, series A (1:1:4), SEM, enlargement 1000x



Rys. 8. Zaprawa cementowo-wapienna, seria A (1:1:4), przełam, SEM, pow. 6000x
Fig. 8. Cement-lime mortar fracture, series A (1:1:4), SEM, enlargement 6000x



Rys. 9. Zaprawa cementowo-wapienna, seria B (1:1:5), przełam, SEM, pow. 1000x
Fig. 9. Cement-lime mortar fracture, series B (1:1:5), SEM, enlargement 1000x



Rys. 10. Zaprawa cementowo-wapienna, seria B (1:1:5), przełam, SEM, pow. 6000x
 Fig. 10. Cement-lime mortar fracture, series B (1:1:5), SEM, enlargement 6000x

5.2.1. Badania makroskopowe zapraw

Wstępną ocenę efektu hydrofobizacji zapraw przeprowadzono zgodnie z wymaganiami ZUAT 15/VI.11 w odniesieniu do wyglądu powierzchni przed i po hydrofobizacji. Wyniki badań makroskopowych zapraw po hydrofobizacji preparatami nr I, II i III zestawiono w tablicy 9.

Tablica 9. Wyniki badań makroskopowych zapraw cementowo-wapiennych serii A i B po hydrofobizacji preparatami I, II i III

Table 9. Results of macroscopic investigations of cement-lime mortars (A and B series) after water repellent treatments I, II and III

Cecha badana	Wynik		Wymagania
	zaprawa A	zaprawa B	
Wygląd powierzchni zaprawy po hydrofobizacji w porównaniu z powierzchnią bez hydrofobizacji w odniesieniu do preparatów: nr I nr II nr III	lekki połysk bez zmian bez zmian	lekki połysk bez zmian bez zmian	bez widocznych zmian zabarwienia, nalotów i złuszczeń; dopuszcza się lekki połysk powierzchni spełnia spełnia spełnia

5.2.2. Czas wnikania i wskaźnik absorpcji kropli wody

Badania czasu wnikania kropli wody i oznaczenia wskaźnika absorpcji wykonano stosując 3 preparaty do hydrofobizacji, oznaczone numerami I, II i III. Oddziaływanie tych

preparatów na powierzchnię zapraw cementowo-wapiennych było podobne, co przejawiało się w bardzo zbliżonych czasach wnikania kropli wody: w granicach od 137 min do 150 min i zbliżonymi wartościami wskaźnika absorpcji od 3,3% do 3,6% (tablica 10).

Tablica 10. Wyniki badań czasu wnikania i wskaźników absorpcji kropli wody w zaprawę cementowo-wapienną bez i po hydrofobizacji

Table 10. Test results of time absorption and water drop absorption indexes for cement-lime mortar without and after water repellent treatment

Cecha badania	Wynik
1. Czas wnikania kropli wody w powierzchnię zaprawy cementowo-wapiennej, min bez hydrofobizacji*	ok. 5
po hydrofobizacji preparatem I	150
po hydrofobizacji preparatem II	137
po hydrofobizacji aparatem III	143
2. Wskaźnik absorpcji kropli wody zaprawy cementowo-wapiennej, %	
po hydrofobizacji preparatem I	3,3
po hydrofobizacji preparatem II	3,6
po hydrofobizacji preparatem III	3,5
* Zazwyczaj w wyroby budowlane typu zaprawa cementowo-wapienna krople wody wsiąkają natychmiast. Czas wnikania kropli wody dla tej zaprawy przyjęto jako czas zaniku wilgotnego śladu po kropli wody na powierzchni zaprawy.	

Jak zaznaczono wcześniej, do badań efektywności preparatów do hydrofobizacji wybrano zaprawę cementowo-wapienną o większej wartości nasiąkliwości masowej po krótszych okresach (seria B o składzie 1:1:5) – tablica 7.

Wyniki oznaczeń nasiąkliwości powierzchniowej serii B zapraw cementowo-wapiennych po i bez hydrofobizacji trzema preparatami zestawiono w tablicy 11.

Tablica 11. Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej zaprawy cementowo-wapiennej B (1:1:5) po i bez hydrofobizacji 3 preparatami

Table 11. Test results of surface absorbability of cement-lime mortar B (1:1:5) without and after water repellent treatment using three agents

Oznaczenia preparatu do hydrofobizacji	Nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m ² po liczbie godzin (h) i dni (d)			
	6 h	1 d	3 d	7 d
I	0,60	2,54	3,75	4,92
II	0,23	0,82	1,42	2,15
III	0,06	0,31	0,62	1,10
Bez hydrofobizacji	8,61	8,78	8,80	8,87

Tablica 12. Wskaźniki nasiąkliwości powierzchniowej (*WH*) zaprawy cementowo-wapiennej (1:1:5) po hydrofobizacji

Table 12. Surface absorbability indexes (*WH*) of cement-lime mortar (1:1:5) after water-repellent treatment

Oznaczenie preparatu do hydrofobizacji	Wskaźnik <i>WH</i> po liczbie godzin (h) i dni (d)			
	6 h	1 d	3 d	7 d
I	14,4	3,5	2,3	1,8
II	37,4	10,7	6,2	4,1
III	143,5	28,3	14,2	8,1

Do oceny preparatów do hydrofobizacji zapraw cementowo-wapiennych w odniesieniu do nasiąkliwości powierzchniowej obliczono, podobnie jak dla wyrobów z kamienia, wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji (*WH*) – tablica 12.

Wskaźniki *WH* zapraw cementowo-wapiennych zawierają się w dość szerokich granicach, w zależności od zastosowanego preparatu i terminu badania. Wskaźniki te są wyższe po 6 h, mieszcząc się w granicach od 14,4 do 143,5, a następnie wyraźnie maleją, w zależności od zastosowanego preparatu do hydrofobizacji; po 1 dniu zawierają się w przedziale od 3,5 do 28,3, po 7 dniach osiągają wartość od 1,8 do 8,1.

Jako kryterium oceny efektywności działania preparatu do hydrofobizacji dla zapraw cementowo-wapiennych przyjęto wartość *WH* po 1 i 7 dniach nie mniejszą niż 4, niezależnie od stosowanego preparatu. Należy zaznaczyć, że preparat nr I nie spełnia tego kryterium.

Przyjęte kryterium może jeszcze zostać zweryfikowane po wykonaniu większej serii pomiarów nasiąkliwości powierzchniowej i po zastosowaniu różnych preparatów do hydrofobizacji zapraw cementowo-wapiennych, różniących się przede wszystkim nasiąkliwością masową i składem fazowym.

5.3. Wyroby ceramiczne

Do badań wyrobów ceramicznych zastosowano 2 preparaty krzemooorganiczne produkcji krajowej, oznaczone X i Y. Charakterystyki preparatów zestawiono w tablicy 13.

Tablica 13. Charakterystyka preparatów do hydrofobizacji cegieł

Table 13. Specification of water repellent agents for bricks

Cecha badana	Wynik – preparat X	Wynik – preparat Y
Wygląd: <ul style="list-style-type: none"> • stan skupienia • zabarwienie • obecność zanieczyszczeń widocznych okiem nieuzbrojonym 	ciecz bezbarwny brak	ciecz bezbarwny brak
Gęstość, g/ml	brak danych	brak danych
Temperatura zapłonu, °C	brak danych	brak danych
pH preparatu	brak danych	brak danych

Hydrofobizacji poddano cegły ceramiczne pełne, klasy 15, pochodzące z bieżącej produkcji krajowej. Cegły te były sezonowane w warunkach laboratoryjnych przez okres około 4 lat. Przed zabiegiem hydrofobizacji wysuszono je do stałej masy w temperaturze $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Zawartość części nierozpuszczalnych w badanych ceglach w roztworze wodnym HCl (1 + 3) zawierała się w granicach od 75,2% do 76,7% m/m, a zawartość soli rozpuszczalnych w wodzie od 0,19% do 1,1% m/m. W składzie fazowym cegieł wyróżniono dwie fazy krystaliczne: kwarc i mullit oraz bezpostaciowe szkliwo.

5.3.1. Badania makroskopowe

Wyniki badań makroskopowych dwóch badanych preparatów do hydrofobizacji na powierzchni cegieł zestawiono w tablicy 14.

Tablica 14. Wyniki badań makroskopowych cegły po hydrofobizacji preparatami X i Y
Table 14. Results of macroscopical investigations of brick after water repellent treatment with agents X and Y

Cecha badana	Wynik	Wymagania
Wygląd powierzchni po hydrofobizacji w porównaniu z powierzchnią bez hydrofobizacji w odniesieniu do preparatów: X Y	bez zmian bez zmian	bez widocznych zmian zabarwienia, nalotów i złuszczeń; dopuszcza się lekki połysk powierzchni spełnione spełnione

5.3.2. Czas wnikania i wskaźnik absorpcji kropli wody

Wyniki badania czasu wnikania i wskaźnika absorpcji kropli wody dwóch preparatów do hydrofobizacji zestawiono w tablicy 15.

Tablica 15. Wyniki badań czasu wnikania i wskaźników absorpcji kropli wody w odniesieniu do cegły bez i po hydrofobizacji preparatami X i Y

Table 15. Test results of time absorption and water drop absorption indexes relating to brick without and after water repellent treatment with agents X and Y

Cecha badana	Wynik
Czas wnikania kropli wody w powierzchnię cegły, min • bez hydrofobizacji* • po hydrofobizacji preparatem X • po hydrofobizacji preparatem Y	≈ 1 130 161
Wskaźnik absorpcji kropli wody, % • po hydrofobizacji preparatem X • po hydrofobizacji preparatem Y	0,77 0,62
* W wyroby z cegły krople wody wsiąkają zazwyczaj natychmiast. Czas wnikania kropli wody w przypadku badanych cegieł przyjęto jako czas zaniku wilgotnego śladu po kropli wody na powierzchni cegły	

Z uzyskanych wyników można wnioskować, że preparat do hydrofobizacji Y wydłuża czas wnikania kropli wody w zabezpieczoną nim powierzchnię cegły o przeszło 20% w sto-

sunku do preparatu X, co znajduje też potwierdzenie w mniejszym wskaźniku absorpcji kropli wody na powierzchni cegły pokrytej preparatem Y.

5.3.3. Nasiąkliwość powierzchniowa

Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej cegieł po i bez hydrofobizacji dwoma preparatami zestawiono w tablicy 16.

Tablica 16. Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej cegieł po i bez hydrofobizacji preparatami X i Y

Table 16. Surface absorbability of bricks after and without water-repellent treatment with agents X and Y

Oznaczenie próbki	Nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m ² , po liczbie godzin (h) i dni (d)				
	6 h	1 d	3 d	7 d	14 d
Po hydrofobizacji X	0,03	0,17	0,23	0,24	0,31
Bez hydrofobizacji	11,35	15,02	16,64	17,00	17,37
Po hydrofobizacji Y	0,02	0,02	0,18	0,27	0,33
Bez hydrofobizacji	12,59	17,29	17,62	17,96	18,30

Z pomiarów nasiąkliwości powierzchniowej cegieł bez i po hydrofobizacji dwoma preparatami X i Y (tabl. 16) wynika, że oddziaływanie tych preparatów jest bardzo zbliżone. Na uwagę zasługują jednak stosunkowo znaczące różnice w nasiąkliwości powierzchniowej cegieł pochodzących z jednej partii, szczególnie po 6 h i 1 dniu, bez hydrofobizacji, które wynoszą odpowiednio: po 6 h – 1,24%, po 1 dniu – 2,27%, po 3 dniach – 0,98%, po 7 dniach – 0,96% i po 14 dniach – 0,93%.

Do oceny efektywności preparatów do hydrofobizacji cegieł pod względem nasiąkliwości powierzchniowej obliczono, podobnie jak dla wyrobów z kamienia i zapraw cementowo-wapiennych, wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji *WH* (tabl. 17).

Tablica 17. Wskaźniki nasiąkliwości powierzchniowej (*WH*) cegieł po hydrofobizacji

Table 17. Surface absorbability indexes (*WH*) of bricks after water-repellent treatment

Oznaczenie preparatu	Wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej <i>WH</i> po hydrofobizacji po liczbie godzin (h) i dni (d)			
	6 h	1 d	3 d	7 d
X	378,3	88,4	72,3	70,8
Y	629,5	864,5	97,9	66,5

Jako kryterium oceny efektywności działania preparatu do hydrofobizacji dla cegieł przyjęto wartość *WH* po 1 i 7 dniach, nie mniejszą niż 80 po 1 dniu i nie mniejszą niż 50 po 7 dniach. Uzyskany wynik wzrostu wartości wskaźnika *WH* po 1 dniu dla preparatu Y

może być wytłumaczony dużym wzrostem nasiąkliwości powierzchniowej próbek odniesienia bez hydrofobizacji, spowodowanej najprawdopodobniej odmienną strukturą porowatości tej serii cegieł. Dodatkowo obliczone wskaźniki nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji po 14 dniach, które wynoszą w przypadku preparatu X – 56,0, a w przypadku preparatu Y – 55,5 wskazują, że po dłuższym okresie wskaźniki te są bardzo do siebie zbliżone.

5.4. Beton

Do badań betonu zastosowano dwa preparaty krzemoorganiczne, te same, których użyto do hydrofobizacji cegieł (p. 4.3.). Hydrofobizacji poddano próbki betonu w postaci kostek o boku 100 mm, klasy 42,5, w wieku powyżej 0,5 roku. Przed zabiegiem hydrofobizacji próbki wysuszono do stałej masy w temperaturze $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$. Próbki betonu oznaczone literą C charakteryzowały się gęstością objętościową w zakresie od 2245 kg/m^3 do 2340 kg/m^3 , próbki betonu oznaczone literą D miały gęstość objętościową od 2580 kg/m^3 do 2600 kg/m^3 .

5.4.1. Badania makroskopowe

Wyniki badań makroskopowych próbek betonu po hydrofobizacji zestawiono w tablicy 18.

Oba preparaty do hydrofobizacji, zarówno preparat X, jak i preparat Y, nie zmieniały wyglądu makroskopowego powierzchni próbek betonu i pod tym względem spełniały wymagania stawiane tego typu preparatom.

Tablica 18. Wyniki badań makroskopowych betonu po hydrofobizacji preparatami X i Y
Table 18. Results of macroscopical investigations of concrete after water repellents treatment with agents X and Y

Cecha badana	Wynik		Wymagania
	beton C	beton D	
Wygląd powierzchni betonu po hydrofobizacji w porównaniu z powierzchnią bez hydrofobizacji w odniesieniu do preparatów: X Y	bez zmian bez zmian	bez zmian bez zmian	bez widocznych zmian zabarwienia, nalotów i złuszczeń; dopuszcza się lekki połysk powierzchni spełnia spełnia

5.4.2. Czas wnikania i wskaźnik absorpcji kropli wody

Badania czasu wnikania i wskaźnika absorpcji kropli wody wykonano stosując dwa preparaty do hydrofobizacji (wcześniej zastosowane do cegieł), oznaczone X i Y (tabl. 19).

Z danych uzyskanych z pomiarów czasu wnikania kropli wody w powierzchnię betonu bez hydrofobizacji zwraca uwagę stosunkowo długi czas wnikania i to zarówno w powierzchnię betonu C, jak i betonu D, co świadczy o stosunkowo małej porowatości powierzchniowej tych betonów.

Tablica 19. Wyniki badań czasu wnikania i wskaźników absorpcji kropli wody w odniesieniu do betonu C i D bez i po hydrofobizacji preparatami X i Y

Table 19. Test results of time absorption and water drop absorption indexes relating to concrete C and D without and after water repellent treatment with agents X and Y

Cecha badana	Wynik
Czas wnikania kropli wody w powierzchnię betonu, min	
Beton C	
• bez hydrofobizacji	10
• po hydrofobizacji preparatem X	219
• po hydrofobizacji preparatem Y	209
Beton D	
• bez hydrofobizacji	29
• po hydrofobizacji preparatem Y	177
Wskaźnik absorpcji kropli wody, %	
• po hydrofobizacji betonu C preparatem X	4,57
• po hydrofobizacji betonu C preparatem Y	4,78
• po hydrofobizacji betonu D preparatem Y	16,38

5.4.3. Nasiąkliwość powierzchniowa

Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej próbek betonu po i bez hydrofobizacji zestawiono w tablicy 20.

Tablica 20. Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej betonu po i bez hydrofobizacji preparatami X i Y

Table 20. Test results of surface absorbability of concrete without and after water repellent treatment with agents X and Y

Oznaczenie		Nasiąkliwość powierzchniowa, kg/m ² , po liczbie godzin (h) i dni (d)				
		6 h	1 d	3 d	7 d	14 d
Beton C	preparat do hydrofobizacji X	0,0	0,30	0,80	1,0	1,50
	preparat do hydrofobizacji Y	0,20	0,80	1,10	1,60	2,10
	bez hydrofobizacji	1,30	2,30	3,00	3,40	3,80
Beton D	preparat do hydrofobizacji Y	0,20	0,50	1,00	1,20	1,70
	bez hydrofobizacji	0,70	1,40	1,90	2,20	2,40

Z uzyskanych wyników badań nasiąkliwości powierzchniowej badanych próbek betonów bez hydrofobizacji wynika, że betony te są stosunkowo mało nasiąkliwe. Mimo to zabieg hydrofobizacji jeszcze znacząco zmniejsza ich nasiąkliwość.

Do oceny efektywności preparatów do hydrofobizacji betonu w zakresie ich nasiąkliwości powierzchniowej obliczono na podstawie danych doświadczalnych, podobnie jak dla innych wyrobów, wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji WH , (tabl. 21).

Jako kryterium oceny efektywności działania preparatu do hydrofobizacji betonu przyjęto wartość WH po 1 i 7 dniach, nie mniejszą niż 2 po 1 dniu i nie mniejszą niż 1,5 po 7 dniach.

Tablica 21. Wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej (WH) betonu po hydrofobizacji
 Table 21. Surface absorbability index (WH) of concrete after water-repellent treatment

Oznaczenie		Wskaźnik WH po liczbie godzin (h) i dni (d)				
Beton	preparat do hydrofobizacji	6 h	1 d	3 d	7 d	14 d
C	X	0,0	7,7	3,8	3,4	2,5
	Y	0,0	2,9	2,7	2,1	1,8
D	Y	3,5	2,8	1,9	1,8	1,4

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy dostępnej literatury opracowano dwie grupy wniosków: wnioski z przeprowadzonych badań i wnioski dotyczące dalszych badań.

6.1. Wnioski z badań

- Wybrane charakterystyki i opracowane metody badań w odniesieniu do identyfikacji samych preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej wyrobów budowlanych, zawarte w ZUAT 15/VI.11, obecnie są wystarczające. Badania efektywności tych preparatów w zastosowaniu do wyrobów budowlanych wymagają natomiast odpowiednich uzupełnień, szczególnie w zakresie doboru kryteriów oceny w odniesieniu do różnych wyrobów.

- Wyniki badań czasu wnikania kropli wody w powierzchnie zhydrofobizowanych wyrobów budowlanych wykazały, że czas wnikania kropli wody jest szybkim testem oceny skuteczności preparatu. Z tego względu do wymaganych właściwości technicznych wyrobów oprócz wskaźnika absorpcji kropli wody należy wprowadzić dane dotyczące czasu wnikania kropli wody.

- Wyniki badań nasiąkliwości powierzchniowej wyrobów budowlanych bez i po hydrofobizacji wykazały wyraźny wpływ rodzaju preparatu na nasiąkliwość powierzchniową.

- Do oceny efektywności hydrofobizacji wyrobów budowlanych zaproponowano wskaźnik nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji, w skrócie WH_t . Jest to wartość stosunku nasiąkliwości powierzchniowej wyrobów bez hydrofobizacji do nasiąkliwości powierzchniowej tego wyrobu po hydrofobizacji, po określonym czasie t .

- Na obecnym etapie badań jako kryterium oceny efektywności działania preparatu do hydrofobizacji dla poszczególnych badanych wyrobów przyjęto następujące wartości wskaźnika nasiąkliwości powierzchniowej po hydrofobizacji:

- dla kamieni budowlanych typu piaskowców droбноziarnistych po 1 dniu $WH > 25$, po 7 dniach $WH > 20$,
- dla zapraw cementowo-wapiennych o składzie 1:1:5 po 1 dniu i 7 dniach $WH > 4$,
- dla cegły ceramicznej klasy 15 po 1 dniu $WH > 80$, po 7 dniach $WH > 50$,
- dla betonu klasy powyżej 42,5 po 1 dniu $WH > 2$, po 7 dniach $WH > 1,5$.

6.2. Wnioski dotyczące dalszych badań

- W związku z szerokim zastosowaniem preparatów do hydrofobizacji powierzchniowej do obiektów betonowych, szczególnie w konstrukcjach infrastruktury, w dalszych pracach należy uwzględnić wpływ składu betonu i jego wilgotności na efektywność preparatów do hydrofobizacji.
- Na potrzeby optymalizacji wyboru preparatów do hydrofobizacji dla poszczególnych wyrobów budowlanych niezbędne są pogłębione badania związane z oddziaływaniem tych preparatów na mikrostrukturę i cechy fizykomechaniczne wyrobu.
- W związku z danymi z literatury dotyczącymi wpływu zasolenia na trwałość hydrofobizacji wyrobów budowlanych zagadnienie to powinno być przebadane, ze szczególnym uwzględnieniem cegieł i kamieni w obiektach zabytkowych, a w odniesieniu do betonu – wpływu środków odładzających.
- W związku z coraz szerszym stosowaniem w budownictwie preparatów do hydrofobizacji wyrobów budowlanych postuluje się stworzenie skomputeryzowanej bazy danych dotyczących tych preparatów.

Bibliografia

- [1] Krzywobłocka-Laurów R.: Metody badań i kryteria oceny środków do powierzchniowej hydrofobizacji betonu. *Materiały Budowlane*, 6, 2000, s.126–127
- [2] Krzywobłocka-Laurów R.: Ocena preparatów do hydrofobizacji kamieni budowlanych. Mat. Konferencji Naukowej „Kamień architektoniczny i dekoracyjny”, wrzesień 2003. Wyd. AGH, Kraków 2003, s. 103–106
- [3] Krzywobłocka-Laurów R.: ZUAT 15/VI.11 Preparaty do powierzchniowej hydrofobizacji materiałów budowlanych, części: 1–4 (cz. 1: Wyroby betonowe, cz. 2: Wyroby ceramiczne, cz.3: Kamienie budowlane, cz. 4: Zaprawy wapienne, cementowo-wapienne i cementowe). ITB, Warszawa 2000/2005
- [4] Krzywobłocka-Laurów R.: Kompleksowa metoda oceny preparatów do hydrofobizacji. Sprawozdania z pracy badawczej nr NB-54/03, NB-54/04 i NB-54/05, 2003–2005, maszynyopisy, biblioteka ITB
- [5] Instrukcja ITB nr 263 Instrukcja silikonowania powierzchni elewacyjnych ścian i elementów budowlanych. ITB, Warszawa 1994
- [6] Recommended test to measure the deterioration of stone and to assesses the effectiveness of treatment methods. *Material and Structure*, 1980, pp. 201–205, 213–217
- [7] Charola A. E., De Witte E., Littmann K., Wittmann F. H.: Conclusions from the Third International Conference on Surface Technology with Water Repellent Agents Hydrophobe III and Recommendations for Future Research. *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege* 8, Jahrgang, Heft 2/3, 2002, s. 303–305
- [8] Hydrophobe II Second International Conference on Surface Technology using Repellent Agents, Zürich 1998
- [9] Proceedings of Hydrophobe IV International Conference on Water Repellent Treatment of Building Materials, Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm – Sweden, 2005

- [10] Mattila J. S.: Effect of Water Repellent Coatings on the Corrosion Rate of Reinforcement in Carbonated Concrete Facade Panels in a Nordic Climate, poz. [9], s. 3–15
- [11] Giessler S. i in.: A New Silane System for Corrosion Reduction of Steel Reinforced Concrete, poz. [9], s. 17–26
- [12] Liu G. i in.: Effect of Surface Hydrophobation for Protection of Early Age Concrete Against Chloride Penetration, poz. [9], s. 93–94
- [13] Zhao T. J. i in.: Water Repellent Surface Treatment in Order to Establish an Effective Chloride Barrier, poz. [9], s. 105–118
- [14] Silfwerbrand J.: Impregnation as a Method of Active Bridge Maintenance, poz. [9], s. 241–251
- [15] Bofeldt M., Nyman B.: Penetration depth of hydrophobic impregnating agents for concrete. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege 8, Jahrgang, Heft 2/3. s. 217–232
- [16] Krzywobłocka-Laurów R.: Sprawozdanie z uczestnictwa w konferencji „Hydrofobe II”, 1998, maszynopis, biblioteka ITB
- [17] PN-EN 480-6:1999 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Metody badań. Analiza w podczerwieni
- [18] PN-B-10106:1997 Tynki i zaprawy budowlane. Masy tynkarskie do wykonywania pocienionych wypraw elewacyjnych. Wymagania i badania. P.3.4.4. Badania podciągania kapilarnego wody. Współczynnik nasiąkliwości powierzchniowej
- [19] PN-EN 1925:2001 Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie współczynnika nasiąkliwości kapilarnej
- [20] PN-EN 13057:2002 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Oznaczanie odporności na absorpcję kapilarną
- [21] Silicones for stone conservation; opracowanie firmy WACKER, marzec 2000
- [22] Rembiś M., Smoleńska A.: Wpływ wykształcenia piaskowców na efektywność ich wzmacniania strukturalnego. Mat. Konferencji Naukowej „Kamień architektoniczny i dekoracyjny”, wrzesień 2003. Wyd. AGH, s. 141–147

WATER REPELLENT TREATMENT OF BUILDING PRODUCTS

Summary

The paper contains specification of test methods and results of tests of water repellent agents for the surface of building products (natural stone, ceramics, plasters and concrete). Paper includes the requirements concerning the water repellent agents and the elements made of stones, ceramics, plasters and concrete treated by these agents.

Praca wpłynęła do Redakcji 12 XII 2006