

Domieszki hydrofobowe w produkcji wyrobów wibroprasowanych

Na rynku domieszek chemicznych pojawiają się coraz nowsze rozwiązania przeznaczone dla producentów wyrobów wibroprasowanych. Przedmiotem artykułu są domieszki hydrofobowe, ich właściwości, klasyfikacja oraz metody badań ich skuteczności.

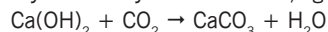
Jednym ze sposobów zabezpieczania wyrobów betonowych przed niekorzystnym oddziaływaniem warunków atmosferycznych, a tym samym zwiększania ich trwałości, jest hydrofobizacja.

Domieszki hydrofobizujące modyfikujące skład betonów wibroprasowanych nie stanowią blokady dla wody pod ciśnieniem oraz dla pary wodnej, natomiast w znacznym stopniu ograniczają absorpcję kapilarną. Woda znajdująca się w porach kapilarnych w trakcie przejścia z fazy ciekłej w fazę stałą w temp. 0°C obniża swoją gęstość z 999,9 kg/m³ do około 916,8 kg/m³, co odpowiada wzrostowi objętości o ok. 9,06%. W sytuacji, gdy brakuje miejsca na ekspansję zamrażanej wody, powstaje ciśnienie, którego wartość jest wprost proporcjonalna do spadku temperatury i szybko przekracza wytrzymałość ścianek porów na rozciąganie. Woda dodatkowo jest doskonałym medium, które transportuje łatwo rozpuszczalne związki na powierzchnię betonu, przyczyniając się do powstawania tzw. wykwitów.

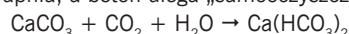
Czynnikami, które mają największy wpływ na transport cieczy w betonie, jest porowatość oraz struktura porów. Obie te wartości są ściśle powiązane ze stosunkiem w/c oraz stopniem hydratacji. Wraz ze zmniejszaniem się stosunku wodno-cementowego zmniejsza się udział porów w betonie, analogiczny wpływ na porowatość ma postępująca hydratacja (rys. 1). Na porowatość betonu wpływa głównie zaczyn cementowy, gdyż porowatość kruszywa jest z reguły niska. Najgroźniejsze są pory ciągłe, czyli kapilary powstające podczas parowania wody niewykorzystanej do hydratacji cementu oraz niewłaściwego zagęszczenia struktury betonu. W betonie stykającym się ze źródłem wody zachodzi tzw. podciąganie kapilarne, czyli wnikanie wody do kapilar pod wpływem napięcia powierzchniowego wody. Ciecz, wnikając w głąb wyrobu, wywołuje niemal wszystkie mechanizmy destrukcji materiału: uszkodzenia mechaniczne (cykliczne zamrażanie i odmrażanie), korozję chemiczną, rozwój drobnoustrojów oraz odbarwienia (wykwity) [1].

Na temat wykwitów pojawiło się wiele artykułów w literaturze

naukowej. Przypomnijmy tylko, iż główną przyczyną powstawania wykwitów węglanowych (fot.1) jest karbonatyzacja wodrotlenku wapniowego, powstającego w wyniku hydrolizy krzemianów wapniowych zawartych w cemencie, zgodnie z reakcją:



W produkcji wyrobów wibroprasowanych stosuje się głównie cementy wysokich klas 42,5 oraz 52,5 o podwyższonej zawartości alitu, co skutkuje dużą, bo nawet 25% zawartością Ca(OH)_2 w stosunku do ilości cementu w betonie. W późniejszym czasie trudno rozpuszczalny kalcyt w wyniku reakcji z CO_2 zawartym w powietrzu przechodzi w łatwo rozpuszczalny w wodzie kwaśny węglan wapnia, a beton ulega „samooczyszczeniu” [2]:



Powstawanie wykwitów można zminimalizować poprzez:

- właściwe zaprojektowanie składu mieszanki betonowej oraz jej wykonanie
- uzyskanie wysokiego stopnia zagęszczenia wyrobu
- zastosowanie dodatków mineralnych (popioły lotne, mielony żużel wielkopieczowy, mikrokrzemionka)
- właściwą pielęgnację wyrobów w czasie ich dojrzewania
- prawidłowe składowanie i magazynowanie
- zastosowanie domieszek hydrofobizujących zarówno w warstwie konstrukcyjnej, jak i fakturowej (zabezpieczenie kostki tylko w warstwie fakturowej powoduje, iż podczas składowania kostek na palecie wykwit, który powstaje w warstwie konstrukcyjnej, schodzi na warstwę fakturową kostki spakowanej w warstwie niżej). Przykład kostki zabezpieczonej tylko w warstwie fakturowej pokazuje fot. 1 – kostka nie wykazuje wykwitów na powierzchni, a tylko na spodzie.

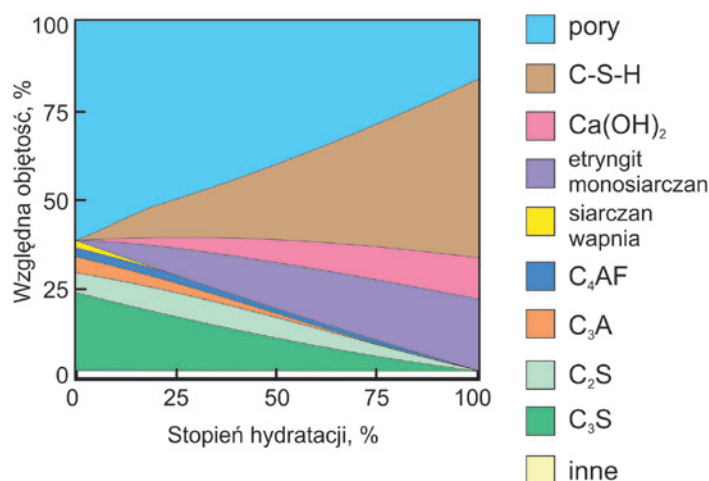
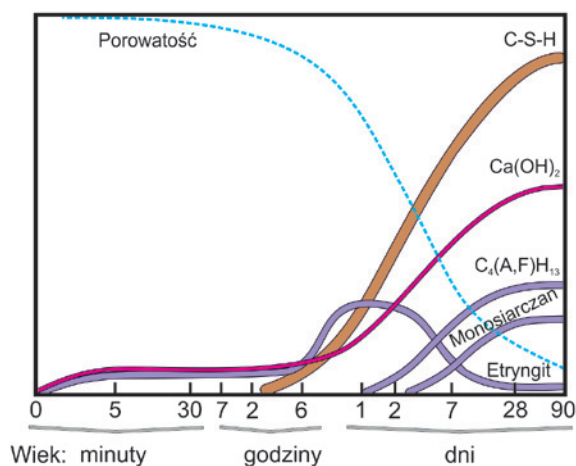
Domieszki hydrofobizujące mogą działać na wiele sposobów, mechanizm uszczelnienia polega głównie na zwiększeniu kąta zwilżania (rys 2.) między ściankami porów kapilarnych betonu a wodą lub zmniejszeniu światła ich przekroju (rys 3.).

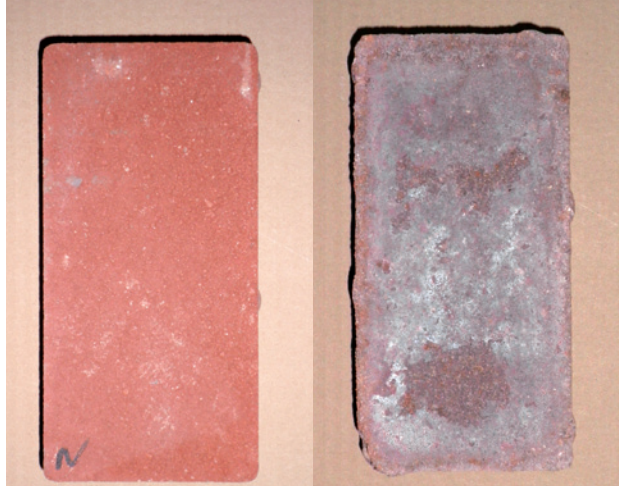
Pełna hydrofobizacja wszystkich kapilar w betonie w praktyce okazuje się niezwykle trudna, a czasem niemożliwa. Na rynku można spotkać różne co do składu chemicznego oraz mechanizmu działania domieszki hydrofobowe. Można je podzielić na trzy grupy:

- stearyniany
- oleiniany
- silany/siloksany.

Stearyniany, jako sole kwasów tłuszczowych, zaliczane są do substancji hydrofobizujących niereaktywnych. Najczęściej wykorzystuje się stearyniany wapnia, magnezu, sodu oraz cynku.

Rys. 1. Z lewej – Zmiany objętości produktów hydratacji zaczynu cementowego w funkcji czasu [6]
Z prawej – Symulacja zmian udziału objętościowego produktów hydratacji zaczynu cementowego o współczynniku w/c=0,5 [7]



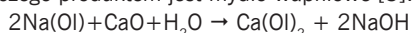


Fot. 1. Przykład zabezpieczenia kostki w warstwie fakturowej przez dodatek domieszki hydrofobizującej (z lewej) oraz powstanie wykwitów w niezabezpieczonej warstwie konstrukcyjnej (z prawej)

Stearyniany można otrzymywać dwiema metodami:

- dwuetapową, w której najpierw w silnie zasadowym środowisku ze stearyny i wodorotlenku sodu powstaje rozpuszczone w wodzie mydło alkaliczne, potem po dodaniu soli metalu wytrąca się nierozpuszczalny stearynian tego metalu,
- jednoetapową, w której w wyniku reakcji w temp. powyżej 100°C otrzymuje się stearynian bezpośrednio ze stearyny i tlenku lub wodorotlenku metalu.

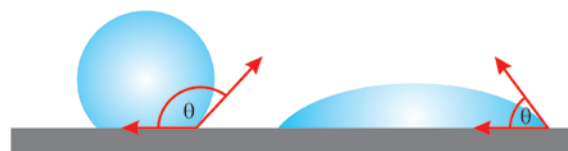
Stearyniany składają się z nieorganicznego jonu metalu i dwóch długich łańcuchów węglowodorowych przyłączonych do niego przez hydrofilowe grupy karboksylowe. Składnik metaliczny odpowiada za jego reaktywność, rozpuszczalność i lepkość, zaś łańcuch pochodzący od kwasów tłuszczowych decyduje o właściwościach smarnych oraz nadaje wodoodporność gotowego wyrobu. Środki te są nierozpuszczalne w wodzie i występują w postaci emulsji. Stearyniany stanowią tylko fizyczną barierę przeciwwodną, szybko nadając wyrobom wibroprasowanym właściwości hydrofobowe. Przykładem domieszki na bazie stearynianów z oferty Schomburg jest produkt Purcolor 6000 (DM). Drugą grupę domieszek hydrofobowych stanowią oleiniany (Purcolor 5000), zaliczane do substancji reaktywnych. Najpopularniejszy jest rozpuszczalny w wodzie oleinian sodu. Właściwa hydrofobizacja następuje w wyniku reakcji z zawartym w betonie wapnem, czego produktem jest mydło wapniowe [3].



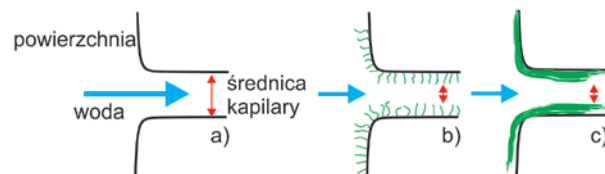
gdzie O to reszta kwasu oleinowego.

Substancje reaktywne dają efekt hydrofobizacji dopiero po ok. 6 dniach. Stąd też często łączy się pozytywne strony substancji reaktywnych i niereaktywnych, aby zoptymalizować efekt hydrofobizacji gotowego wyrobu, przy jednoczesnym nadaniu „poślizgu” w celu lepszego zagęszczenia struktury i uzyskania jednolitej, gładkiej powierzchni. Doskonałym połączeniem tych dwóch grup jest seria domieszek chemicznych REMICRETE VB.

Ostatnią omawianą grupę stanowią silany/siloksany. Jest to najmłodsza generacja środków hydrofobowych, ale zarazem o największym potencjale. Są to związki krzemooorganiczne, które zawierają przynajmniej jedną grupę organiczną przyłączoną do krzemu bezpośrednio poprzez atom węgla. Silany i siloksany między sobą nie różnią się działaniem, lecz budową i wielkością cząsteczki. Silany są to związki monomerowe, a siloksany oligomery (połączenie kilku cząsteczek silanów tworzy siloksan). Masa cząsteczkowa silanów wynosi około 178, zaś siloksanów ok. 400-600. Wielkość cząsteczek zawiązków krzemooorganicznych ma duży wpływ na szybkość oraz zasięg penetracji matrycy cementowej [4]. Wielką zaletą związków krzemooorganicznych jest tworzenie trwałego połączenia z matrycą cementową gotowego wyrobu w wyniku reakcji chemicznej, odporność na promieniowanie UV i warunki atmosferyczne, wysoka redukcja absorpcji i odporność na zabrudzenia. Zastosowanie silanów/siloksanów nie powoduje



Rys. 2. Kąt zwilżania θ , z lewej słabe zwilżanie



Rys. 3. Średnica kapilary:

- a) bez dodatku środków hydrofobizujących
- b) zmniejszona przez działanie molekuł kwasu stearynowego
- c) zmniejszona przez przyłączone do powierzchni cząsteczki wosków

je powstania żadnych dodatkowych soli w materiale. W wyniku wytworzonych wiązań chemicznych powierzchnia porów staje się hydrofobowa, a wnikanie wody w strukturę kostki jest zablokowane, przy jednoczesnym zachowaniu paroprzepuszczalnych zdolności. Firma Schomburg jest wyjątkowym przedstawicielem na rynku polskim firmy Betra, która dostarcza domieszki hydrofobizujące oparte na silanach/siloksanach, stanowiące trwałe zabezpieczenie betonu, z gwarancją wysokiej jakości i skuteczności.

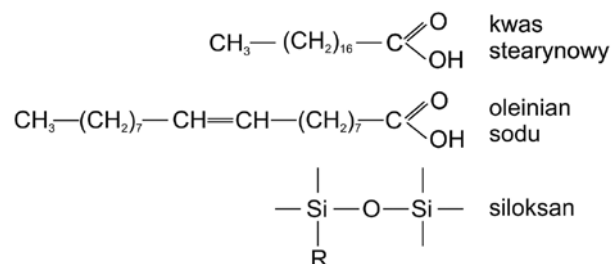
Domieszki uszczelniające klasyfikowane zgodnie z wymaganiami PN-EN 934-2: T9 powinny spełniać wymagania podstawowe dotyczące m.in. zawartości chlorków, alkaliów oraz wymagania dodatkowe przedstawione w tablicy 1. Cechą szczególną tej grupy domieszek jest zmniejszanie absorpcji kapilarnej oznaczanej po 7 i 90 dniach dojrzewania próbek zaprawy.

W przypadku producentów wyrobów wibroprasowanych skuteczność działania domieszek hydrofobizujących można określić za pomocą kilku innych prostych i niewymagających dużych nakładów finansowych metod badań, tj.: nasiąkliwość, test kropli, podciąganie kapilarne czy absorpcja wody za pomocą rurek Karstena. Normy PN-EN 1338, PN-EN 1339 oraz PN-EN 1340 wymuszają na producentach badanie nasiąkliwości gotowych wyrobów. Pozostałe wymienione badania dają szerszy obraz na temat prawidłowego zabezpieczenia środkami hydrofobowymi. Badanie nasiąkliwości polega na nasyceniu wodą próbki do osiągnięcia stałej masy, a następnie suszenia do stałej masy. Ubytek masy jest wyrażony w procentach masy suchej próbki.

Test kropli polega na nałożeniu na powierzchnię wyrobu kropli wody i jej obserwacji w czasie. Zazwyczaj test trwa ok. 12-24 godzin, później kropla przy dobrym zabezpieczeniu powierzchni szybciej odparuje niż zostanie wchłonięta przez beton. Przykład takiego badania pokazuje fot. 2.

Kolejny test – podciąganie kapilarne – polega na zanurzeniu próbki w wodzie tak, aby jej podstawa była zanurzona na głębokość ok. 1 cm. Poziom wody w naczyniu pomiarowym powinien być uzupełniany tak, aby próbka była stale zanurzona na tę samą głębokość. W różnych odstępach czasu mierzy się wysokość podciągania (ewentualnie waży się próbki) oraz dokonuje oceny wizualnej. Wynik badania można przedstawić w formie graficznej podając zależność wysokości podciągania kapilarnego

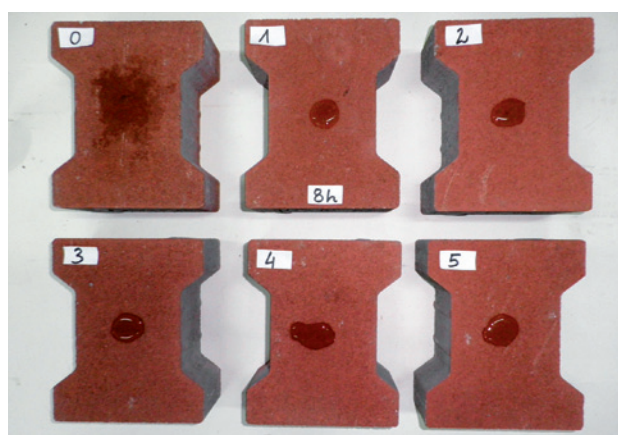
Rys. 4. Wzory przykładowych związków hydrofobizujących



Tablica 1. Wymagania dotyczące domieszek uszczelniających zgodnie z PN-EN 934-2 (przy zachowaniu jednakowej konsystencji albo przy jednakowym współczynniku w/c*) [8]

Nr	Właściwość	Zaprawa/beton wzorcowy	Metoda badania	Wymagania
1	Absorpcja kapilarna	EN 480-1	EN 480-5	Badanie przez 7 dni, po 7 dniach dojrzewania zaprawa badana $\leq 50\%$ masy zaprawy kontrolnej Badanie przez 28 dni, po 90 dniach dojrzewania zaprawa badana $\leq 60\%$ masy zaprawy kontrolnej
2	Wytrzymałość na ściskanie	EN 480-1 beton wzorcowy I	EN 12390-3	Po 28 dniach: beton badany $\geq 85\%$ wytrzymałości betonu kontrolnego
3	Zawartość powietrza w mieszance betonowej	EN 480-1 beton wzorcowy I	EN 12390-7	Mieszanka badana $\leq 2\%$ objętości powyżej zawartości w mieszance kontrolnej, o ile producent nie ustalił inaczej.

* wszystkie badania należy przeprowadzić albo zachowując jednakową konsystencję albo jednakowy współczynnik w/c



Fot. 2. Test kropli: po 8 godzinach

w jednostce czasu lub zmiany masy w jednostce czasu. Na fot. 3 pokazano próbkę po 24 godzinach badania. Można zauważyć, iż w niezabezpieczonej domieszką hydrofobizującą warstwie konstrukcyjnej podciąganie kapilarne jest bardzo duże, natomiast zabezpieczona warstwa fakturowa podciągania nie wykazuje. Metodą Karstena możemy ocenić głębokość penetracji wody wy-

Fot. 3. Wynik badania podciągania kapilarnego kostki po 24 godz.



wołanej ciśnieniem słupa wody w jednostce czasu na określonej powierzchni. Jest to odzwierciedlenie naturalnych warunków atmosferycznych, np.: „wciskanie” siłą wiatru, ulewnego deszczu w powierzchnię materiału. Sama procedura jest dość prosta. Tester składa się ze szklanego zbiorniczka o średnicy 30 mm połączonego z wyskalowaną rurką. Tester umieszczamy na powierzchni pionowej lub poziomej (fot. 4) i przyklejamy za pomocą plasteliny. Wypełniamy go wodą i mierzymy spadek jej poziomu w jednostce czasu.

Podsumowując można stwierdzić, iż dobrze zabezpieczone wyroby wibroprasowane powinny być nieprzepuszczalne dla wody i roztworów wodnych przy jednoczesnym zapewnieniu zdolności do respiracji, tzn. swobodnego wyparowywania wody znajdującej się w materiale. Hydrofobizacja, powodując obniżenie nasiąkliwości, jest jednym z elementów prawidłowej ochrony betonu przed mrozem oraz działaniem środków odładzających. Wpływa również bardzo korzystnie na obniżenie ryzyka wystąpienia wykwitów węglanowych. Zabezpieczając wyroby wibroprasowane już na etapie produkcji zwiększamy ich trwałość oraz estetykę na wiele lat.

Arkadiusz Ignierowicz

Michał Oleksik

Schomburg Polska Sp. z o. o.

Literatura:

- 1 A.M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, Kraków 2012
- 2 W. Brylicki, Estetyka i chemia, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, październik 1998
- 3 M. Gaczek, S. Fiszer, ABC tynków, „Kalejdoskop Budowlany”, grudzień 2003.
- 4 D. Barnat-Hunek, Hydrofobizacja opoki wapnistej w obiektach zabytkowych Kazimierza Dolnego, „Monografie Wydziału Budownictwa i Architektury” 2010
- 5 W. Brylicki, Wyroby wibroprasowane: produkcja, domieszki chemiczne, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, numer specjalny 2003, str. 40-43
- 6 F.W. Locher, W. Richartz, S. Sprung, Setting of Cement-Part I: Reaction and Development of Structure, ZKG INTERN. 29, No. 10, 1976, s. 435-442
- 7 P.D. Tennis, H.M. Jennings, A Model for Two Types of Calcium Silicate Hydrate in the Microstructure of Portland Cement Pastes, “Cement and Concrete Research”, Pergamon, June 2000, s. 855-863
- 8 PN-EN 934-2+A1:2012 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu -- Część 2: Domieszki do betonu -- Definicje, wymagania, zgodność, oznakowanie i etykietowanie

Fot. 4. Metoda Karstena – badanie wnikania wody w głąb kostki brukowej

