



fot. M. Drobacz, Lafarge Cement

# Zastosowanie i projektowanie porowatego betonu wodoprzepuszczalnego

## Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości i zalety zastosowania betonu wodoprzepuszczalnego jako komunikacyjnych nawierzchni przepuszczalnych, podbudów drogowych czy też wodoprzepuszczalnych konstrukcji oporowych. Wskazano wymagane ich właściwości w celu zapewnienia prawidłowej pracy jako warstw odwadniających lub ochronnych konstrukcji, przy jednoczesnym spełnieniu kryteriów nośności i trwałości. Stały się one podstawą do zaproponowanej procedury projektowania betonu, wyznaczającej obszar dopuszczalnego uziarnienia możliwego do zastosowania kruszywa oraz stopnia wypełnienia go zaczynem.

## Słowa kluczowe:

beton, drenaż, wodoprzepuszczalność, porowatość, trwałość, projektowanie betonu

## Abstract

The article presents the possibilities and advantages of using water-permeable concrete as communication permeable surfaces, road foundations or water-permeable retaining structures. Their required properties are indicated in order to ensure proper operation as drainage or protective layers of structures, while meeting the criteria of load-bearing capacity and durability. They became the basis for the proposed concrete design procedure, determining the area of acceptable granularity of the aggregate that can be used and the degree of filling it with grout.

## Keywords:

concrete, drainage, water permeability, porosity, durability, procedure for concrete designing

## 1. Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat wśród ofert węzłów betoniarskich pojawił się nowy wyrób betonowy, którego zamierzonym zastosowaniem ma być wykonywanie podbudów oraz zewnętrznych nawierzchni komunikacyjnych, a także wodoprzepuszczalnych konstrukcji oporowych. Cechą charakterystyczną tego betonu jest nieszczelna struktura umożliwiająca wchłanianie, a później przepływ nadmiaru gromadzącej się wody – opadowej lub gruntowej. Z uwagi na brak jakichkolwiek dokumentów normatywnych dla takiego materiału oraz fakt, że nie jest on objęty mandatem udzielonym przez Komisję Europejską do stosowania w budownictwie, opracowywane są dokumenty formalizujące możliwość użycia, a jednocześnie definiujące wymagane właściwości użytkowe w odniesieniu do określonego zamierzonego zastosowania.

Przykładem takiego dokumentu jest „Rekomendacja Techniczna” Instytutu Badawczego Dróg i Mostów nr RT/2015-02-0155 [1] dla wyrobu „Beton kruszywowy o otwartej strukturze” o nazwie handlowej „Hydromedia”. Jego zamierzone zastosowanie do konstruowania odwodnień (zarówno poziomych, jak i pionowych) w inżynierii komunikacyjnej wpisuje się w aktualne trendy dotyczące zrównoważonego rozwoju między innymi terenów miejskich [2], gdzie użycie wodoprzepuszczalnych nawierzchni ma poprawić retencję i spływy wód opadowych, zapobiegając skutkom, jakie niesie ze sobą wszechobecne doszczelnianie powierzchni terenu materiałami nieprzepuszczalnymi, np. asfaltem lub betonem.

Podobne przesłanie przedstawiono w artykule [3] omawiającym pozytywne efekty zastosowania przepuszczalnych nawierzchni betonowych w ramach wprowadzanych systemów wielokryterialnej oceny budynków (np. Leed, Bream), wymuszających na inwestorach implementację innowacyjnych działań proekologicznych i środowiskowych. Możliwe do uwzględnienia w tym kontekście mogą być m.in. następujące aspekty:

- zagospodarowanie i kontrola jakości wód opadowych poprzez gromadzenie nadmiaru oraz ich filtrację (oczyszczanie)
- zmniejszanie efektu wysp ciepła dzięki stosunkowo otwartej strukturze skutkującej mniejszą absorpcją promieniowania słonecznego
- efektywność wykorzystania wody – dzięki ograniczeniu zużycia wody pitnej lub innych zasobów wód naturalnych
- równomierne nawadnianie całej powierzchni bez lokalnych zastoisk
- redukcja negatywnego wpływu powierzchni utwardzonej na rozwój roślinności – ułatwia oddychanie systemu korzeniowego.

Beton wodoprzepuszczalny może być także stosowany do wykonywania warstwy podbudowy

w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego [4]. Rozwiązania takie w Polsce do tej pory nie były stosowane w budownictwie komunikacyjnym, natomiast z powodzeniem używa się ich m.in. w Niemczech i Francji. Ich zaletą jest eliminacja możliwości wystąpienia negatywnego zjawiska „pompowania” wody spod górnej warstwy konstrukcyjnej na skutek jej cyklicznego dociskania i odciążania kolejno przejeżdżającymi pojazdami. Wyflukiwane wraz z wodą drobne cząstki materiału podbudowy pozostawiają po sobie pustki, a to prowadzić może do klawiszowania wydzielonych płyt nawierzchni. Znane są natomiast zastosowania tego materiału jako warstwy podbudowy nawierzchni sportowych stadionów czy boisk szkolno-treningowych.

Kolejnym zastosowaniem wodoprzepuszczalnego betonu porowatego może być drenaż ochronny pionowych elementów konstrukcyjnych (np. ściany oporowe, przyczółki mostowe itp.) [5], którego zadaniem jest zapobieganie hydrostatycznemu oddziaływaniu wód zawartych w gruncie na chronioną powierzchnię materiałów hydroizolacyjnych. W tym wypadku konieczne jest zapewnienie zarówno właściwych przepływów wody przez betonowy materiał drenażu, jak i właściwych warunków filtracji wody, zapobiegających kolmatacji pustek w strukturze drenu materiałem wyflukiwanym ze stykającego się z konstrukcją gruntu.

## 2. Wymagane właściwości betonów wodoprzepuszczalnych

Betony wodoprzepuszczalne (lub przepuszczalne) bardzo często nazywane są również porowatymi (jamistymi). Właśnie te pustki w strukturze zasadniczo odróżniają je od betonów zwykłych, w których dąży się z reguły do szczelnej, a często bardzo szczelnej struktury (np. betony wodoszczelne – fot. powyżej). Przy tym porowatość ta (jamistość) musi charakteryzować się wzajemnie ze sobą połączonymi pustkami, aby zapewnić w miarę swobodny przepływ wody przez materiał. Ta charakterystyka kształtu porów odróżnia z kolei betony wodoprzepuszczalne od porowatych betonów izolacyjnych, dla których wymaga się dużej ilości porów, ale zamkniętych. Tak więc zarówno kształt porów, jak i ich udział ilościowy w objętości materiału determinuje podstawową funkcjonalną właściwość betonu, czyli przepuszczalność wody. Dla danej struktury betonu reprezentuje ją współczynnik wodoprzepuszczalności, który wyznacza się badaniami następująco:

$$k_T = \frac{Q}{A \cdot t \cdot i} \quad (1)$$

gdzie:

$k_T$  – współczynnik wodoprzepuszczalności (stała Darcy’ego) dla temperatury  $T$  (mm/s)

$Q$  – objętość przepływu (mm<sup>3</sup>)

$A$  – pole przekroju próbki prostopadłe do kierunku przepływu (mm<sup>2</sup>)

$t$  – czas przepływu (s)

$i$  – spadek hydrauliczny (-), wyliczany ze wzoru:

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad (2)$$

w którym:

$\Delta h$  – różnica wysokości poziomów piezometrycznych wody (mm)

$l$  – długość drogi przepływu (mm)



fot. M. Drabczak Lafarge Cement

po czym powinien być zredukowany do wartości  $k_{10}$ , odpowiadającej temperaturze +10°C:

$$k_{10} = \frac{k_T}{0,7 + 0,03T} = k_c \quad (3)$$

gdzie:

$T$  – temperatura przepływającej wody (°C)

$k_c$  – współczynnik wodoprzepuszczalności betonu (mm/s)

Metodyka badania współczynnika wodoprzepuszczalności może być analogiczna do zaproponowanej dla badania tego parametru dla gruntów w normie PN-B-04492:1955 [6], przy czym aparat powinien umożliwiać umieszczenie w nim przygotowanej próbki betonowej (sześcienniej o boku  $\geq 100$  mm, lub walcowej o średnicy/wysokości  $\geq 100$  mm). Można też wykorzystać metody opisane np. w „Rekomendacji IBDiM” [1] lub w wytycznych ASTM [7,8]. Te ostatnie pozwalają na przeprowadzenie badania in situ, na wykonanej warstwie przepuszczalnej.

Uzyskana w badaniach wartość współczynnika wodoprzepuszczalności, z punktu widzenia wykorzystania tego betonu jako warstwy nawierzchniowej, im jest wyższa, tym jest lepsza. Natomiast jeśli beton ma być wykorzystywany jako materiał drenażowy, to oprócz koniecznego przepływu przez strukturę, ważny jest też napływ wody w materiał, czyli jego właściwości filtracyjne.

Na podstawie analiz przeprowadzonych w pracach [9,10,11] wyznaczono dla betonu drenażowego oczekiwany przedział wartości współczynnika wodoprzepuszczalności:

$$0,14 \leq k_c \leq 0,50 \text{ (mm/s)} \quad (4)$$

Jednocześnie wyznaczono zakres wypełnienia zaczynem pustek międzyziarnowych w stosie okrucowym, który zapewni uzyskanie oczekiwanej wodoprzepuszczalności:

$$0,63 \leq \alpha = \frac{z}{n} \leq 0,77 \quad (5)$$

gdzie:

$\alpha = z/n$  – stopień wypełnienia stosu okrucowego zaczynem (-)

$z$  – objętość zaczynu (m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> mieszanki betonowej)

$n$  – porowatość (jamistość) stosu okrucowego (-)

Przyjmując, że możliwa porowatość stosu okrucowego kruszywa równoziarnistego (tylko takie

Beton wodoprzepuszczalny vs. beton wodoszczelny



Źródło: Magara Lafarge Cement

znajduje zastosowanie w betonach wodoprzepuszczalnych) mieści się w przedziale:

$$0,258 \leq n \leq 0,476 \quad (6)$$

to w efekcie uzyskuje się możliwy zakres porowatości finalnego materiału, czyli betonu:

$$0,163 \leq n_c \leq 0,367 \quad (7)$$

W przedziale tym mieszczą się również prezentowane w prowadzonych ostatnio badaniach nad tym materiałem wartości porowatości betonów wodoprzepuszczalnych – np. zakres  $0,15 \div 0,37$  [12] lub zakres  $0,18 \div 0,28$  [13].

Tworzenie porowatej wodoprzepuszczalnej struktury betonu pozostaje w zdecydowanym konflikcie z pozostałymi wymaganymi właściwościami materiału zapewniającymi jego nośność i trwałość. Dotyczy to w szczególności wytrzymałości na ściskanie  $f_c$  oraz w przypadku ekspozycji na warunki atmosferyczne – mrozoodporności.

W przeprowadzonym procesie optymalizacji wielokryterialnej [9,10] założono jako minimalne wymaganie uzyskanie wytrzymałości  $f_c \geq 1,3 f_{ck}$  dla betonu klasy C12/15, czyli  $f_c \geq 19,5$  MPa. Realizując wszystkie przedstawione wcześniej ograniczenia dotyczące stopnia wypełnienia struktury zaczynem cementowym  $\alpha = z/n$  wynikające z konieczności zapewnienia potrzebnej wodoprzepuszczalności materiału, potwierdzono również możliwość speł-

nienia wymogu wytrzymałości  $f_c \geq 19,5$  MPa, uzyskując maksymalne wartości na poziomie 28 MPa. W przeprowadzonym procesie badawczym zastosowano cement CEM I odpowiadający klasie wytrzymałości 42,5R, a dla zaczynu ustalono jako optymalny wskaźnik  $w/c = 0,40$ .

Przedstawiane w literaturze badania mrozoodporności betonów porowatych [9,12] potwierdzają możliwość uzyskania stopnia F25 (a nawet F75), przy czym nie jest to możliwe w przypadku zastosowania kruszywa o wymiarze miarodajnym ziaren kruszywa poniżej 1,0 mm [9]. Z kolei w badaniach [12] potwierdzono bardzo korzystny wpływ napowietrzenia zaczynu na mrozoodporność betonu.

### 3. Projektowanie betonów porowatych wodoprzepuszczalnych

Podstawową zasadą w projektowaniu tego specjalnego betonu jest potwierdzona dotychczasowymi doświadczeniami zależność zarówno wytrzymałości tego materiału na ściskanie, jak i jego wodoprzepuszczalności od stopnia wypełnienia stosu okruszowego zaczynem  $\alpha = z/n$ . Oczywiście jest również, że doszczelnianie struktury powoduje wzrost wytrzymałości, ale jednocześnie zmniejsza możliwość przepływu wody. Pierwszym krokiem w projektowaniu jest dobór kruszywa. Zdecydowanie najlepsze w dotychczasowej praktyce okazują się kruszywa naturalne otoczkowe jednofrakcyjne. W badaniach i analizach przeprowadzonych w pracach [9,10,11] wyznaczony został obszar dopuszczalnego kruszywa (rys. 1), określony poprzez ograniczenia uziarnienia stosu okruszowego oraz przez możliwą porowatość stosu okruszowego. Uziarnienie może być w tym wypadku zdefiniowane jako średnica miarodajna według definicji Hazena [14], to znaczy: „skała wodonośna zbudowana z różnych ziaren ma taką samą przepuszczalność, jak skała złożona z ziaren kulistych o jednakowej i określonej średnicy” – Hazen przyjął, że jest to  $d_{10}$ , czyli średnica, od której 10% wagowych ziaren ma średnicę mniejszą, a 90% większą. Po wybraniu kruszywa spełniającego ograniczenia wykazane na rys. 1, konieczne staje się analityczne wyliczenie jego wskaźnika wodoprzepuszczalności  $k_a$ , z zastosowaniem wzoru Krügera:

$$k_a = 13,5 \frac{n}{S^2} \quad (8)$$

w którym:

$S$  – sumaryczna powierzchnia ziaren kruszywa zawartych w  $1 \text{ mm}^3$  ( $\text{mm}^2$ ), zależna od ich wymiaru, wyrażona wzorem:

$$S = 60(1 - n) \sum_{i=1}^N \frac{g_i}{d_i} \quad (9)$$

gdzie:

$N$  – liczba przedziałów obliczeniowych w próbce

$i$  – kolejny numer przedziału obliczeniowego

$g_i$  – część całkowitej objętości próbki stanowiąca  $i$ -ty przedział obliczeniowy, wyrażona ułamkiem właściwym

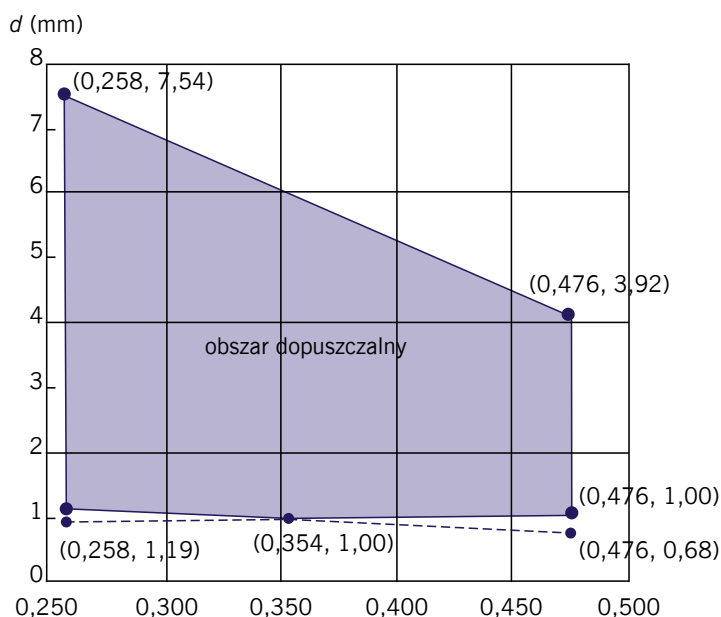
$d_i$  – przeciętna średnica ziaren  $i$ -tego przedziału obliczeniowego (mm), przy czym:

$$d_i = \frac{d_{g(i)} + d_{d(i)}}{2} \quad (10)$$

w którym:

$d_{g(i)}$ ,  $d_{d(i)}$  – górne i dolne ograniczenie  $i$ -tego przedziału obliczeniowego (mm)

Rys. 1. Obszar dopuszczalnego kruszywa dla betonu wodoprzepuszczalnego [9, 10, 11]



Dysponując pełną wiedzą o krzywej uziarnienia kruszywa, wskaźniku jego wodoprzepuszczalności oraz jego porowatości (jamistości) można przystąpić do „wypełniania” tych pustek zaczynem w zakresie ograniczeń wyznaczonych wzorem (5), kierując się jednocześnie wspomnianą wcześniej wskazówką: *mniej-  
sze wypełnienie » lepsza przepuszczalność » niższa wytrzymałość, i odwrotnie: większe wypełnienie » gorsza przepuszczalność » wyższa wytrzymałość.*

W celu dokładnego wyliczenia współczynnika wodoprzepuszczalności betonu  $k_c$ , można zastosować wzór przedstawiony w pracach [9,10]:

$$k_c = k_a \left( 1 - 2,46 \left( \frac{z}{n} \right) + 1,51 \left( \frac{z}{n} \right)^2 \right) \quad (11)$$

gdzie:

$z, n$  – jak we wzorze (5)

$k_a$  – współczynnik wodoprzepuszczalności zastosowanego kruszywa wyliczony wg wzoru (8)

Z kolei do wyliczenia spodziewanej wytrzymałości betonu na ściskanie można wykorzystać wzór Fereta:

$$f_c = F \left( \frac{c}{c+w+j_c} \right)^2 = F \left( \frac{c}{z+j_c} \right)^2 \quad (12)$$

w którym:

$c, w, z$  – objętość właściwa cementu, wody, zaczynu ( $z = c + w$ ) w mieszance betonowej w  $m^3$  na  $1 m^3$  mieszanki betonowej

$F$  – współczynnik zależny od rodzaju i klasy cementu oraz rodzaju kruszywa

$j_c$  – objętość porów w mieszance betonowej w  $m^3$  na  $1 m^3$  mieszanki betonowej:

$$j_c = j_c(\alpha) = j_c \left( \frac{z}{n} \right) = n - 0,9 z \quad (13)$$

gdzie:

$\alpha, z, n$  – jak we wzorze (5)

W obliczeniach można wykorzystać wyznaczoną badaniami i analizami [9,10] stałą  $F = 275$ , w których użyto CEM I odpowiadający klasie wytrzymałości 42,5R, kruszywo naturalne otoczakowe o miarodajnych średnicach ziaren od 1 do 8 mm, oraz zaczyn o wskaźniku  $w/c = 0,40$ .

#### 4. Wykonawstwo robót

##### z użyciem betonów wodoprzepuszczalnych

Beton porowaty wodoprzepuszczalny to nie tylko jego specjalne właściwości użytkowe, ale także odmiennosc w sensie technologicznym wytwarzania i aplikacji. Na tym etapie szczególnie trzeba zwrócić uwagę przynajmniej na te najważniejsze aspekty:

- Składniki betonu wymagają bardzo dokładnego wymieszania, aby zapewnić jednorodną strukturę materiału, to znaczy ziarna kruszywa muszą być bardzo dokładnie otoczone warstwą zaczynu o jednakowej grubości – dobór czasu i rodzaju mieszalnika. Mieszanka jest bardzo czuła na zmiany lepkości zaczynu (jego kleistości) – przy zbyt ciekłym trudno jest uzyskać jednakową, wystarczająco dużą grubość otoczki na ziarnach, bo będzie grawitacyjnie ściekać i doszczelniać dolne strefy kształtowanej warstwy betonu, osłabiając jednocześnie górne. Zbyt suchy zaczyn może powodować zbijanie się ziaren w szczelne konglomeraty o lokalnie odmiennych właściwościach.
- W przypadku stosowania betonu porowatego wodoprzepuszczalnego do wytwarzania prefabrykatów – np. drenażowych [5], konieczne jest dodatkowe sprawdzenie zdolności mieszanki betonowej do utrzymania kształtu zaformowanego elementu po zdjęciu formy.



**CENTRUM TECHNOLOGICZNE  
BUDOWNICTWA  
INSTYTUT BADAŃ I CERTYFIKACJI  
Sp. z o.o.**



AB 535



AC 205

### LABORATORIUM BUDOWLANE

- ▶ laboratorium akredytowane AB 535
- ▶ laboratorium notyfikowane NB 2039
- ▶ wieloletnie doświadczenie
- ▶ ekspertyzy, opinie budowlane
- ▶ ocena betonu w konstrukcji
- ▶ ponad 200 badań w ofercie, w tym ponad 80 metod akredytowanych

### JEDNOSTKA CERTYFIKUJĄCA WYROBY

- ▶ akredytowana i notyfikowana jednostka certyfikująca wyroby AC 205, NB 2039
- ▶ certyfikacja zakładowej kontroli produkcji wyrobów budowlanych
- ▶ szkolenia otwarte

- ▶ Centrum Technologiczne Budownictwa Instytut Badań i Certyfikacji Sp. z o.o.  
ul. Przemysłowa 23, 35-105 Rzeszów  
tel. +48 17 864 04 50, e-mail: [ctb@ctb-ibc.pl](mailto:ctb@ctb-ibc.pl)  
[www.ctb-ibc.pl](http://www.ctb-ibc.pl)





foto: J. Magiera Lafarge Cement

Powierzchnia górna ułożonej warstwy przepuszczalnej podbudowy

- Bardzo ważny jest dobór parametrów technologicznych związanych z rozkładaniem, a zwłaszcza z zagęszczaniem mieszanki betonowej w miejscu docelowym – np. zbyt intensywne wibrowanie może powodować ściekanie zaczynu i brak jednorodności materiału w przekroju elementu.
- Mieszanka betonowa z uwagi na swoją otwartą strukturę jest mało odporna na przesuszanie w trakcie mieszania, transportu dalekiego, transportu w ramach budowy, w trakcie rozkładania i zagęszczania. Trzeba maksymalnie skracać czas jej ekspozycji na promieniowanie słoneczne i wiatr. Z kolei opady atmosferyczne mogą powodować wypłukiwanie i grawitacyjne spływanie zaczynu cementowego.
- Otwarta struktura betonu w zaformowanym elemencie finalnym jest szczególnie narażona na wysychanie, zwłaszcza w początkowej fazie dojrzewania – bardzo ważną zatem jest jej dokładna pielęgnacja wilgotnościowa.

### 5. Podsumowanie

Przedstawione możliwości świadomego kształtowania właściwości użytkowych betonów wodoprzepuszczalnych potwierdzają perspektywy poszerzenia zakresu ich stosowania zarówno w budownictwie komunikacyjnym, jak i ogólnym. Ze względu na ich specyfikę zaliczyć je trzeba do grupy betonów specjalnych, dla których wymaga się specjalnych procedur projektowania, wykonawstwa i kontroli właściwości, w tym także kontroli jakości. Zwłaszcza przedstawione tutaj propozycje teoretycznych rozwiązań na etapie projektowania muszą się zakończyć doświadczalną weryfikacją – zarówno na etapie laboratoryjnym, jak i później w realnych warunkach produkcji na węźle betoniarskim, a w końcu w trakcie wykonawstwa robót na konkretnym obiekcie.

**dr inż. Grzegorz Bajorek, prof. PRZ  
Politechnika Rzeszowska  
Centrum Technologiczne Budownictwa  
Instytut Badań i Certyfikacji  
mgr inż. Joanna Magiera  
inż. Łukasz Wielgos  
Lafarge Cement SA, Dział Jakości i Rozwoju**

#### Literatura

1. Rekomendacja Techniczna IBDiM nr RT/2015-02-0155 [1] dla wyrobu „Beton kruszywowy o otwartej strukturze o nazwie handlowej „Hydromedia”, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 25 lutego 2015 r.

2. Siedlecka M., Suchocka M., *Wodoprzepuszczalne nawierzchnie a zrównoważony rozwój terenów miejskich*, *Drogownictwo* 2/2017, s. 60-67
3. Wcisto A., Kurpińska M., *Betonowe nawierzchnie przepuszczalne – w obliczu systemów wielokryterialnej oceny*, IX Konferencja Dni Betonu Tradycja i Nowoczesność, *Wiśła* 10-12 października 2016 r.
4. Beblacz D., *Podbudowy z betonu przepuszczalnego do zastosowań w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego*, *Magazyn Autostrady* 10/2019, s. 31-33
5. Bajorek G., Filipowska J., Leski E., *System drenazowy z prefabrykowanych elementów z betonu porowatego do ochrony pionowych powierzchni budowli przed wodą zawartą w gruncie wraz z Wytycznymi Technicznymi Wykonania i Odbioru GDDP (WTW nr 2M/90)*, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, *Studia i Materiały*, zeszyt 34, Warszawa 1990
6. PN-B-04492:1955 *Grunty budowlane. Badania właściwości fizycznych. Oznaczanie wskaźnika wodoprzepuszczalności*
7. ASTM C 1701/C 1701M-09 *Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete*
8. ASTM C 1781/C 1781M-13 *Standard Test Method for Surface Infiltration Rate of Permeable Unit Pavement Systems*
9. Bajorek G., *Porowaty beton wodoprzepuszczalny – wpływ doboru składników na jego właściwości i trwałość. Rozprawa doktorska*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1994
10. Bajorek G., *Optimization of Water-Permeable Concrete, Chapter 7 in Modern Concrete Technology 7 – Optimization Methods for Material Design of Cement-Based Composites* edited by A.M. Brandt, E&FN Spon, London and New York 1998
11. Bajorek G., *Technological Problems of Porous Permeable to Water Concrete*, Proc. Int. Conf. Concrete in the Service of Mankind – Concrete for Infrastructure and Utilities (eds R.K Dhir and N.A. Henderson), University of Dundee, Scotland, UK, 24-26 June 1996, pp. 215-222
12. Beblacz D., *Właściwości betonu przepuszczalnego do podbudów drogowych w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego*, *Drogi i Mosty* 20 (2021), s. 359-378
13. Kurpińska M., Wcisto A., *Wpływ parametrów kruszywa na właściwości betonu przepuszczającego*, X Konferencja Dni Betonu Tradycja i Nowoczesność, *Wiśła* 8-10 października 2018 r.
14. Praca zbiorowa, *Poradnik hydrogeologa*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1971

Wodoprzepuszczalna nawierzchnia parkingowa



foto: M. Drabczyński Lafarge Cement