

mgr inż. Patryk Ślęczka
Cemex Polska Sp. z o.o.

mgr inż. Marta Skorniewska
Cemex Polska Sp. z o.o.

mgr inż. Michał Kałużyński
Cemex Polska Sp. z o.o.

Betony wodoprzepuszczalne *PERVIA* dla poprawy retencji wody – praktyczne przykłady zastosowań

PERVIA water-permeable concretes for improved water retention - practical application examples

Streszczenie

Jaka jest trwałość betonów jamistych oraz jak sprawdzić, czy filtracja wody nadal działa? - to pytanie pojawiło się po jednej z prezentacji na XII Konferencji Dni Betonu. Wówczas nie uzyskano w pełni satysfakcjonującej odpowiedzi. Kontynuując tę dyskusję, przedstawiamy nasze praktyczne doświadczenia ze stosowania betonów wodoprzepuszczalnych jako warstwy nawierzchniowej. To rozwiązanie, z uwagi na unikatową zdolność do filtracji wody, przyczynia się do poprawy gospodarki wodnej oraz estetyki, szczególnie w miejskich przestrzeniach publicznych.

Beton ten, nazywany potocznie „jamistym” czy „drenażowym”, ponownie zyskuje na popularności również w Polsce. W ostatnich latach jest aplikowany nie tylko na podbudowy, ale coraz częściej także jako nawierzchnia. Prowadzone są ponadto badania nad jego nowymi, potencjalnymi zastosowaniami np. w fotokatalizie czy immobilizacji metali ciężkich. Jak każdy materiał, beton wodoprzepuszczalny ma swoje ograniczenia, zwłaszcza w zakresie wytrzymałości - gdzie natomiast leży granica jego odporności na agresję środowiskową oraz zachowania właściwości filtracyjnych?

Autorzy referatu od lat poszukują odpowiedzi na te pytania, prowadząc prace laboratoryjne oraz zbierając doświadczenia z wykonanych realizacji. W artykule opisano zastosowania betonów wodoprzepuszczalnych *PERVIA* przy rewitalizacji parków, ulic, budowie parkingów, chodników, skwerów i ścieżek rowerowych. Szczególną uwagę poświęcono innowacyjnemu zastosowaniu jako warstwy odsączającej w tunelu na węźle „MPL Okęcie” w Warszawie. Takie rozwiązanie pozwoliło uniknąć nadmiernej przebudowy obiektu i skutecznie wspiera odprowadzenie wody.

Doświadczenia autorów pokazują, że użycie betonu wodoprzepuszczalnego jest uzasadnione nie tylko z powodów ekologicznych, ale także estetycznych i funkcjonalnych.

Abstract

What is the durability of porous concretes and how to check if water filtration is still working? - this question arose after one of the presentations at the 12th Concrete Days Conference. At the time, there was no fully satisfactory answer. Following on from this discussion, here is our practical experience of using water-permeable concrete as a top layer. This solution, due to its unique ability to filter water, contributes to improved water management and aesthetics, especially in urban public spaces.

This type of concrete is gaining popularity again in Poland. In recent years, it has not only been applied to substructures, but increasingly also as pavements. In addition, research is being conducted into its new potential applications, e.g. in photocatalysis or heavy metal immobilisation. Like any material, water-permeable concrete has its limitations, especially in terms of strength - but where do the limits of its resistance to environmental aggression and water retention properties lie?

The authors of the paper have been searching for answers to these questions for years, carrying out laboratory work and gathering experience from completed projects. The paper describes the use of *PERVIA* water-permeable concretes in the revitalisation of parks, streets, the construction of car parks, pavements, squares and bicycle paths. Special attention was given to the innovative use as a drainage layer in the tunnel at the 'MPL Okęcie' junction in Warsaw. This solution avoided excessive reconstruction of the facility and effectively promotes water drainage.

The authors' experience shows that the use of water-permeable concrete is justified not only for ecological, but also for aesthetic and functional reasons.

1. Wprowadzenie, charakterystyka i zastosowanie betonów przepuszczalnych dla wody z grupy *PERVIA*

Postępująca urbanizacja prowadzi do ograniczania naturalnych przestrzeni biologicznie czynnych, co niesie ze sobą liczne negatywne konsekwencje, z którymi jako społeczeństwo musimy się mierzyć. Wśród wyzwań, które już dziś stają się odczuwalne, należy wymienić: zanieczyszczenie powietrza, ograniczoną retencję wód opadowych, coraz częstsze okresy suszy oraz wzrastające ryzyko powodzi.

Jednym z rozwiązań umożliwiających częściowe ograniczenie skutków intensywnej zabudowy miejskiej jest stosowanie betonów porowatych, przepuszczalnych dla wody, w miejsce tradycyjnych powierzchni szczelnych. Wpływa to korzystnie nie tylko na retencję wód (umożliwiając większy odpływ bezpośrednio do gruntu i odciążając sieć kanalizacji deszczowej), ale również przyczynia się do chłodzenia i oczyszczania utwardzonych powierzchni, zmniejszając tym samym efekt miejskich wysp ciepła [8]. Betony z grupy *PERVIA* to specjalistyczne rozwiązanie służące do budowy trwałych i wodoprzepuszczalnych nawierzchni, umożliwiających infiltrację wody deszczowej bezpośrednio do gruntu. Znajdują one zastosowanie zarówno w warstwach filtracyjnych pełniących funkcję podbudowy (wersja *PERVIA Classic*), jak i w warstwach wierzchnich (wersja *PERVIA path*).

Podstawową zaletą betonu jamistego jest jego zdolność do szybkiego i swobodnego odprowadzania wód opadowych z powierzchni do głębszych warstw konstrukcji. Ogranicza to ryzyko zalegania wody podczas intensywnych opadów oraz zmniejsza zagrożenie gwałtownego przyboru wód w rzekach po silnych deszczach lub wiosennych roztopach. Właściwości te są możliwe do osiągnięcia dzięki specjalnie zaprojektowanej strukturze – systemowi połączonych ze sobą pustek o łącznej objętości wynoszącej od 10 do 25%. Projektując recepturę do zastosowań nawierzchniowych należy dobrać odpowiednie surowce wsadowe oraz ich proporcje, tak aby znaleźć balans pomiędzy wytrzymałością, porowatością i przepuszczalnością, które w tym przypadku są ze sobą silnie powiązane. Podstawowe parametry techniczne obu rozwiązań zestawiono w tabeli numer 1.

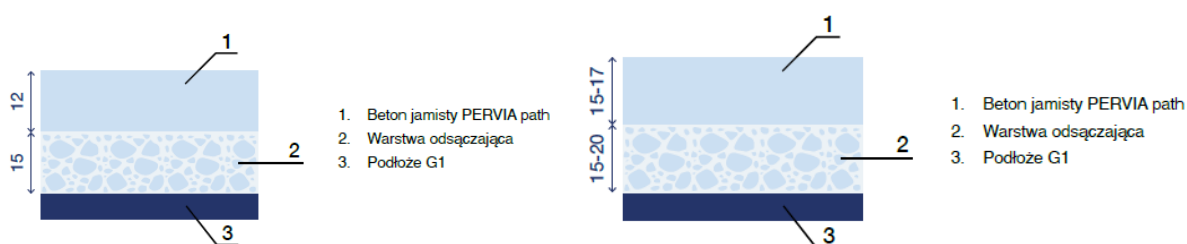
Tab. 1. Zestawienie podstawowych parametrów betonów *PERVIA classic* oraz *PERVIA path* (na podstawie kart technicznych obu produktów). [14]

<i>PERVIA path</i>	Właściwość betonu	<i>PERVIA classic</i>
C16/20	Wytrzymałość na ściskanie	max. C20/25
≥ 3 MPa	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	≥ 1 MPa
≥ 100 L/min/m ²	Przepuszczalność wody	≥ 100 L/min/m ²
F100	Mrozoodporność	nie deklarowana (w razie potrzeby spełnia F25/F50)
D _{max} = 8 mm	Wymiar kruszywa	D _{max} = 16 mm
15 – 20 %	Zawartość pustek	10 – 25 %

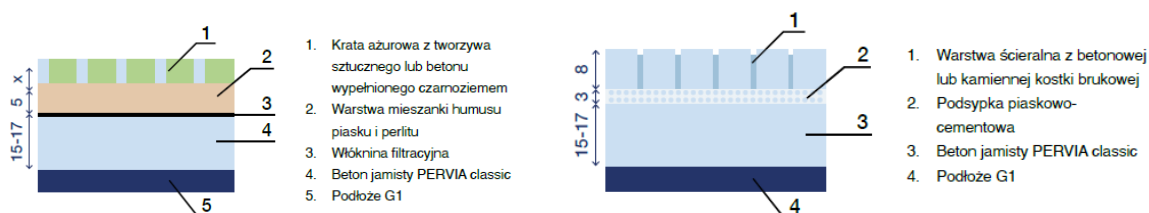
Pomimo, że betony porowate znane są od dziesięcioleci, przez długi czas były niedoceniane jako pełnoprawny materiał konstrukcyjny – ich zastosowanie ograniczano głównie do warstw podbudowy, najczęściej pod nawierzchnie obiektów sportowych. Warto w tym kontekście wspomnieć o znaczącym wkładzie dra inż. prof. PRz Grzegorza Bajorka [6] w propagowanie i wdrażanie tej technologii na polskim rynku już w latach 90. XX wieku. Obecnie jednak zyskuje ona większe znaczenie – głównie za sprawą pojawienia się nowych obszarów aplikacji. Przykładem może być zastosowanie betonu *PERVIA* jako warstwy odsączającej w tunelu „MPL Okęcie” (opisane szczegółowo w rozdziale 3). Stosowanie betonów wodoprzepuszczalnych przy projektowaniu konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego, pozwala wyeliminować ryzyko związane ze zjawiskiem erozji podbudowy – wypłukiwania drobnoziarnistych części z jej górnej warstwy [7]. Coraz liczniejsze są zastosowania betonu jamistego jako warstwy nawierzchniowej – w niniejszej publikacji przedstawiono wybrane przykłady takich realizacji.

Nawierzchnie wykonane z betonu jamistego należą do grupy tzw. nawierzchni sztywnych, jednak nie powinny być traktowane tożsamo z klasycznym betonem drogowym. Mimo licznych zalet, ich zastosowanie wiąże się z pewnymi ograniczeniami (m.in. maksymalna wytrzymałość na ściskanie zazwyczaj nie przekracza 25–30 MPa), dlatego kluczowe jest prawidłowe prognozowanie obciążeń ruchem oraz analiza warunków gruntowo-wodnych w miejscu budowy. Jest to szczególnie istotne w Polsce, ze względu na klimat i zmiany dobowe temperatury oraz częste przejścia przez 0°C. W przypadku, gdy dodatkowo występuje nieodpowiednie podłoże, może dochodzić do wysadzin, a w konsekwencji przełomu nawierzchni. W celu poprawnego zaprojektowania warstwy podłoża należy określić jego rodzaj. Jeśli na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że podłoże ma nośność G2–G4 (grunty wysadzinowe o niewielkim wskaźniku nośności), należy je wymienić na grunt o kategorii G1.

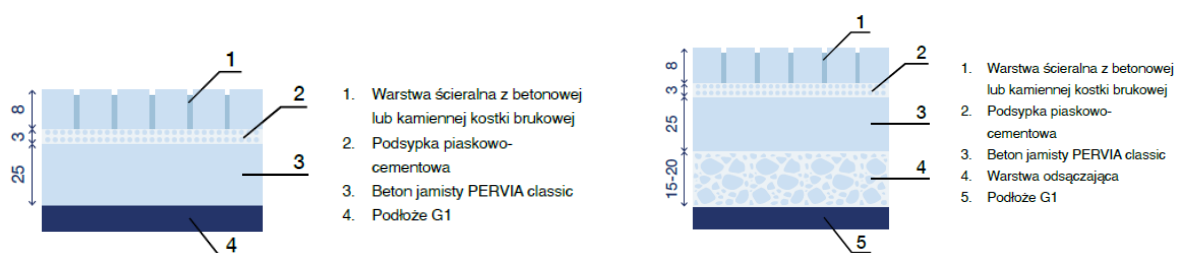
Przykładowe przekroje nawierzchni z wykorzystaniem betonu *PERVIA* przedstawiono na Rys. 1, 2 oraz 3 [14].



Rys.1. Warstwy nawierzchni z wykorzystaniem betonu *PERVIA* w przypadku: a) ruchu pieszego i rowerowego b) ruchu pieszego i rowerowego z możliwością sporadycznego wjechania pojazdem do 2,5 tony.



Rys.2. Warstwy nawierzchni z wykorzystaniem betonu *PERVIA* w przypadku ciągów komunikacji samochodowej o masie nie przekraczającej 2,5 tony w przypadku a) obsiania trawą b) obłożenia kostką brukową.



Rys.3. Warstwy nawierzchni z wykorzystaniem betonu *PERVIA* w przypadku ciągów komunikacji samochodowej o masie przekraczającej 2,5 tony w przypadku a) bez zastosowania dodatkowej warstwy odsączającej b) z zastosowaniem dodatkowej warstwy odsączającej.

Pierwsze dostawy betonów wodoprzepuszczalnych *PERVIA* na warstwę wierzchnią miały miejsce w 2019 r. Od tego czasu wykonano dziesiątki realizacji, obejmujących przede wszystkim budowę nawierzchni alejek, chodników dla pieszych, placów, skwerów, tarasów, a także ścieżek rowerowych. Coraz częściej inwestorzy przy wyborze rodzaju nawierzchni, szczególnie w przestrzeniach miejskich, uwzględniają nie tylko aspekty kosztowe, lecz także funkcjonalność, estetykę i trwałość rozwiązania konstrukcyjnego. Z uwagi na fakt, że niektóre z wymienionych nawierzchni poddane są już użytkowaniu przez okres kilku lat, warto było pokusić się o zestawienie i podsumowanie realizacji z użyciem betonu *PERVIA path*.

2. Wybrane przykłady realizacji nawierzchniowych z wykorzystaniem betonu *PERVIA path*.

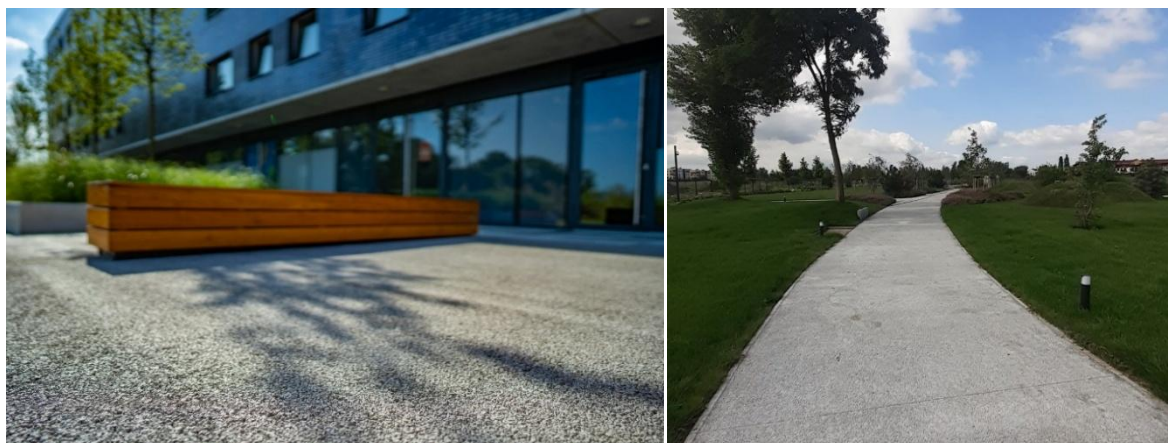
Poniżej przedstawiono przykładowe realizacje, w których wykorzystano beton *PERVIA path* w latach 2019-2024, z opisem charakterystycznych aspektów wybranych inwestycji.

2.1. Park osiedlowy *Slow City* w Krakowie

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: alejki i chodniki dla pieszych
- Grubość nawierzchni: 10 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~1000 m²

Pierwsza komercyjna realizacja betonu *PERVIA path* miała miejsce w 2019 r. na osiedlu *Mieszkaj w Mieście*. Kraków stał się swoistą „mekką” nowego rozwiązania, o czym świadczą realizacje w kolejnych latach, m.in. na nowych osiedlach *Slow City* oraz *Sitowie*, przy przystani *Bagry* czy w leśnym w parku kieszonkowym przy stadionie KS Wieczysta. Nawierzchnie wykonane 3–5 lat temu w dalszym ciągu spełniają swe funkcje użytkowe i nie uległy negatywnym skutkom działania mrozu.

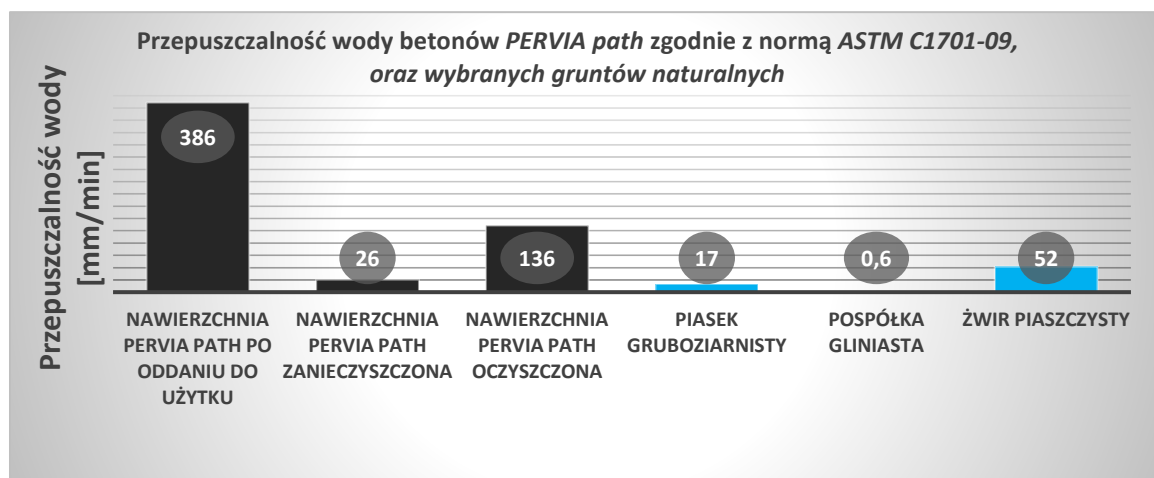
Fot.1 i 2. Realizacja na osiedlach *Mieszkaj w Mieście* (po lewej) oraz *Slow City* (po prawej).



Warto zaznaczyć, że pełnię swoich właściwości nawierzchnia utrzymuje w przypadku odpowiedniego podejścia do jej eksploatacji – szczególnie w zakresie czyszczenia i konserwacji. *PERVIA path* należy traktować jak system filtracyjny, który działa pod warunkiem, że jego struktura porów jest regularnie udrażniana. Kluczowe jest monitorowanie stanu nawierzchni oraz jej systematyczne mycie, dlatego zaleca się przeprowadzanie kompleksowego czyszczenia co najmniej dwa razy w roku – przed i po okresie zimowym. Najbardziej efektywne jest jednoczesne mycie ciśnieniowe i odkurzanie za pomocą specjalistycznego sprzętu.

Tabela 2 przedstawia wpływ czyszczenia na jakość filtracji betonu *PERVIA path* o zawartości pustek wynoszącej 20% – takiej samej, jaka została zastosowana w realizacji na osiedlu *Slow City*. Przed pomiarem nawierzchnia została celowo „ekstremalnie” zanieczyszczona mieszaniną piasku, pyłu, ziemi oraz substancji organicznych. Następnie została oczyszczona w najprostszy możliwy sposób przy użyciu myjki ciśnieniowej. Badania przepuszczalności wykonano zgodnie z normą ASTM C1701-09 [9]. Wyniki eksperymentu dowodzą, że nawet silnie zabrudzona nawierzchnia zachowuje zadowalające właściwości filtracyjne, porównywalne z niektórymi gruntami naturalnymi. Co istotne, nadal jest w stanie skutecznie odprowadzać wodę podczas deszczów nawaalnych V stopnia (czyli o intensywności opadu na poziomie 8,0 mm/min).

Tab.2. Szybkość odprowadzenia wody dla betonu *Pervia Path* o zawartości pustek 20%, w porównaniu do wybranych gruntów naturalnych (wartości orientacyjne).



2.2. Dom Studenta przy ulicy Smyczkowej w Warszawie

- Klasa betonu: C20/25
- Zastosowanie: warstwa wierzchnia na chodniki wokół domu studenckiego
- Grubość nawierzchni: 15 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~1000 m²

W latach 2023–2024 w otoczeniu Domu Studenckiego nr 5 „Smyczkowa”, będącego częścią kampusu Uniwersytetu Warszawskiego, zrealizowano inwestycję, gdzie do budowy nowych ścieżek pieszych wykorzystano beton jamisty *PERVIA path* barwiony w masie. Oczywiście głównym celem jego zastosowania było zapewnienie efektywnego odprowadzania wód opadowych bezpośrednio do gruntu, co jest szczególnie istotne w kontekście otaczającej roślinności oraz dbałości o lokalny mikroklimat. Dzięki strukturze *PERVIA* woda deszczowa nie zalega na powierzchni, lecz swobodnie przenika przez nawierzchnię, wspierając naturalne procesy hydrologiczne i ograniczając ryzyko podtopień. Dodatkowo, zastosowanie barwienia matrycy betonowej pozwoliło na uzyskanie estetycznej i trwałej nawierzchni, która harmonijnie wpisuje się w otoczenie Domu Studenckiego. Kolorystyka ścieżek została dobrana tak, aby współgrała z zielenią oraz architekturą budynku, tworząc spójną i przyjazną przestrzeń dla mieszkańców i odwiedzających. Ta inwestycja stanowi przykład nowoczesnego podejścia do projektowania infrastruktury miejskiej, łączącego funkcjonalność, estetykę oraz troskę o środowisko naturalne.

Fot.3. Realizacja przy Domu Studenta w Warszawie.



2.3. Rewitalizacja ulic miejskich na przykładzie miasta Wrocław

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: ciągi piesze oraz pieszo-rowerowe
- Grubość nawierzchni: 10-12 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~3500 m²

W dobie zmian klimatycznych i coraz wyższych wymagań dotyczących zrównoważonego rozwoju, projektowanie infrastruktury pieszo-rowerowej nie może ograniczać się wyłącznie do aspektów użytkowych i ekonomicznych – dziś liczy się również jej wpływ na środowisko, trwałość w warunkach zmiennego klimatu oraz zdolność do współpracy z systemami retencji miejskiej. Odpowiedzią na te wyzwania jest beton jamisty *Pervia Path* – wodoprzepuszczalna nawierzchnia, która idealnie sprawdza się w miastach stawiających na zrównoważony rozwój. Technologia ta jest doskonałą, z uwagi na swą wysoką trwałość oraz estetykę, alternatywą dla ścieżek i chodników z kostki brukowej czy nawierzchni MMA – dla przykładu, została już z powodzeniem zastosowana we Wrocławiu (ulice Pomorska oraz Różyckiego).

Wrocław od kilku lat konsekwentnie realizuje politykę adaptacji miasta do zmian klimatycznych. Decyzja o zastosowaniu betonowych nawierzchni wodoprzepuszczalnych wynikała z kilku powodów. Po pierwsze, nawierzchnie jamiste pozwalają na szybkie wchłanianie i odprowadzanie wód deszczowych do gruntu, odciążając miejską kanalizację deszczową i zmniejszając ryzyko lokalnych podtopień w czasie gwałtownych opadów. Po drugie, powierzchnie te pomagają ograniczać efekt miejskiej wyspy ciepła, co przekłada się na większy komfort mieszkańców w okresach letnich upałów. Dodatkowo, wodoprzepuszczalne ścieżki korzystnie wpływają na kondycję zieleni miejskiej, zapewniając lepsze nawodnienie dla drzew i nasadzeń w pasach zieleni. Władze miasta podkreślają, że inwestycje w rozwiązania retencyjne są nie tylko odpowiedzią na bieżące wyzwania, ale także elementem długofalowej

strategii zwiększania odporności Wrocławia na zmiany klimatyczne. Podobne decyzje podjęli władze w innych miastach – w Tychach (ul. Nowokościelna oraz ul. Curie-Skłodowskiej, a także przy II LO im. C.K. Norwida), w Krakowie oraz w Warszawie (realizacje opisywane szerzej w innych podrozdziałach), a także w Trójmieście (Gdynia - ul. Rolnicza, Gdańsk - ul. Pniewskiego). Przykłady tych realizacji, gdzie powstały nowoczesne ciągi piesze bądź pieszko-rowerowe z nawierzchnią wodoprzepuszczalną pokazują, że możliwe jest połączenie trwałości, funkcjonalności i proekologicznego podejścia bez kompromisów.

Fot.4 i 5. Realizacje we Wrocławiu (po lewej) oraz w Tychach (po prawej).



2.4. Ścieżka pieszko-rowerowa wzdłuż wałów rzeki Rudawy w Krakowie

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: ścieżka rowerowo-piesza
- Grubość nawierzchni: 15 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~13 000 m² (wykonana częściowo z betonu *PERVIA path*)

Beton wodoprzepuszczalny, w kontekście infrastruktury rowerowej, to rozwiązanie, które skutecznie łączy dostępność nawierzchni dla rowerów, wózków dziecięcych oraz wózków inwalidzkich z wymogiem efektywnego odprowadzania wody opadowej. Dobrym przykładem takiej realizacji jest nawierzchnia przy wałach rzeki Rudawy w Krakowie — ciąg pieszko-rowerowy o łącznej długości ok. 6,5 km, w całości wykonany z betonu porowatego, w tym częściowo z zastosowaniem technologii *PERVIA Path*. Nowa nawierzchnia zastąpiła dotychczasową ścieżkę gruntową, znacząco podnosząc komfort jej użytkowania, a jednocześnie zachowując proekologiczny charakter inwestycji [4]. Wybór nawierzchni z betonu wodoprzepuszczalnego okazał się w tym przypadku jedynym możliwym kompromisem pomiędzy wymaganiami technicznymi, środowiskowymi i użytkowymi. Został on

wypracowany wspólnie z inwestorem – Zarządem Zieleni Miejskiej w Krakowie – i uwzględniony w dokumentacji projektowej przy wsparciu przedstawicieli dostawcy technologii, firmy Cemex. Wykonana nawierzchnia betonowa gwarantuje nie tylko przepuszczalność wody, ale również zapewnia trwałość ścieżki w momencie wezbrania wód Rudawy, co od czasu jej wykonania w 2023 r. zdarzyło się już kilkakrotnie.

Fot.6. Realizacja ścieżki rowerowej przy rzece Rudawie w Krakowie.



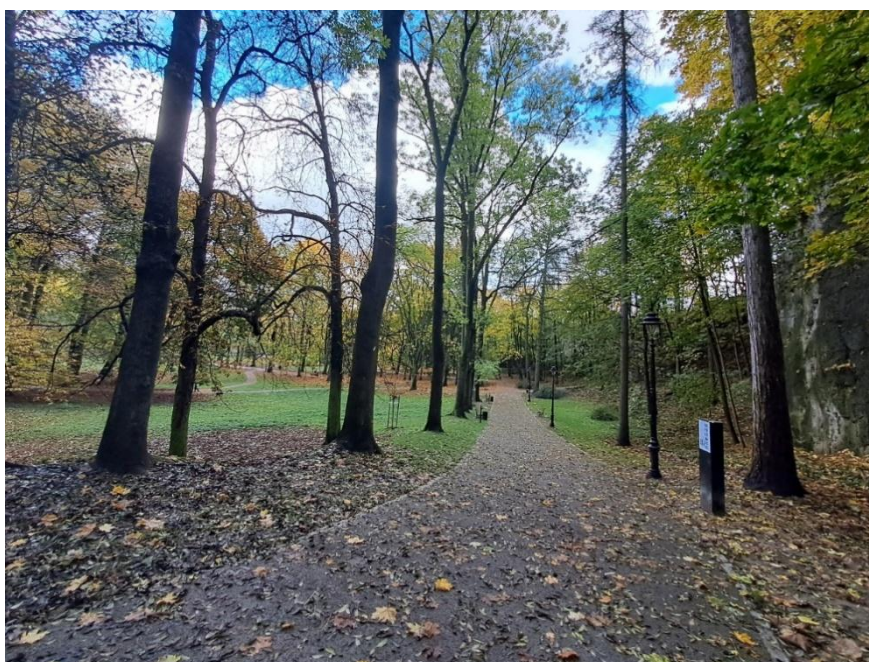
2.5. Park im. Wojciecha Bednarskiego w Krakowie

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: alejki piesze oraz ciągi komunikacyjne
- Grubość nawierzchni: 10-15 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~ 3500 m²

Beton wodoprzepuszczalny zastosowany w Parku Bednarskiego w Krakowie nie tylko zapewnia skuteczne odprowadzanie wód opadowych, ale także łączy dostępność nawierzchni dla pieszych, rowerzystów oraz osób poruszających się na wózkach z ochroną istniejącego starodrzewia w zabytkowym parku [3]. Szczególne ukształtowanie alejek w parku, wśród licznie rosnących drzew, stanowiło wyzwanie dla dostawcy oraz wykonawcy inwestycji, z uwagi na fakt, że mieszanka nie może być podawana pompą. Wobec tego była transportowana przy użyciu wozideł, co opóźniało czas dostarczenia jej w miejsce aplikacji, która w całości odbywała się przy użyciu narzędzi ręcznych. Zadanie ponadto komplikowała charakterystyka mieszanki, która w okresie letnim ma tendencję do szybkiego wysychania (z uwagi na niewielką zawartość wody w recepturze), co wymusza na uczestnikach całego procesu zachowanie ścisłego reżimu i powtarzalności. Dostawy zakończyły się w 2022 r., więc

beton przeszedł 3 lata naturalnych cykli zamrażania i rozmrażania, nie wykazując po tym czasie objawów destrukcji mrozowej. Wykonane alejki nie posiadają ponadto innych istotnych wad technicznych czy usterek, pomimo że nawierzchnia utrzymywana jest w sposób „naturalny” tzn. nie jest regularnie czyszczona z zabrudzeń oraz materiałów organicznych, szczególnie liści, które w okresie jesiennym sownie wypełniają powierzchnię ścieżek (Fot.7).

Fot.7. Realizacja w Parku Bednarskiego w Krakowie.



2.6. Park Szymańskiego w Warszawie jako przykład maszynowego układania nawierzchni z betonu porowatego

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: nawierzchnia drogi przeznaczona dla ruchu pieszego i rowerowego, ze sporadycznym wjazdem samochodów do 3,5 t
- Grubość nawierzchni: 16 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~3000 m²

W 2024 r. zrealizowano pierwszą w Polsce inwestycję na tak dużą skalę, gdzie nawierzchniowy beton jamisty *PERVIA path* został ułożony z wykorzystaniem rozścielacza. Dotychczas beton tego typu na warstwę wierzchnią był aplikowany wyłącznie ręcznie (wcześniej rozścielacze stosowano do rozwiązań *PERVIA classic* na podbudowy). Wybór technologii układania maszynowego w Parku Szymańskiego był podyktowany uzyskaniem bardziej jednolitej, estetycznej powierzchni oraz ograniczeniem ryzyka wyrywania kruszywa w trakcie eksploatacji. Jednak największą zaletą tej metody jest zwiększenie szybkości aplikacji materiału. W ciągu 8 godzin ekipa wykonawcza układała ok. 130 m³ mieszanki, co byłoby niewykonalne przy układaniu ręcznym. Podczas realizacji wykazano, że rozścielacz pozwala na bardziej

równomierne rozłożenie mieszanki i skuteczniejsze „zatopienie” kruszywa przy powierzchni. Efektem jest gładka, zwarta struktura, w której kruszywo nie wystaje ponad powierzchnię betonu. Dzięki temu wykonaną nawierzchnię cechuje nie tylko funkcjonalność, ale również estetyka i trwałość.

Fot.8. Realizacja w Parku Szymańskiego w Warszawie.



2.7. **PERVIA jako nawierzchnia dróg i parkingów**

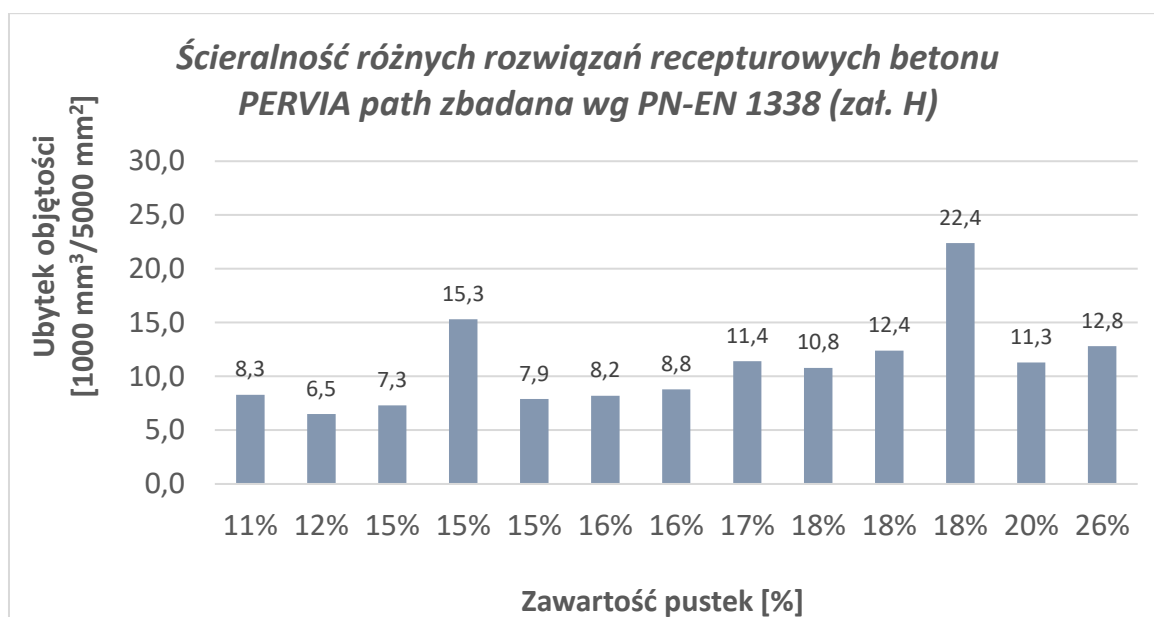
W Stanach Zjednoczonych już od dziesięcioleci betony porowate wykorzystywane są do wykonywania nawierzchni dróg i parkingów. Skutkiem zdobytego w tej materii doświadczenia było wydanie dedykowanych norm ASTM (2009 r. uznaje się moment oficjalnego ich wprowadzenia) dotyczących standaryzacji podejścia materiałowego przy projektowaniu i badaniu, jak również propagowanie dobrych praktyk wykonawczych, kładąc na ten aspekt szczególny nacisk [12]. Natomiast jeżeli chodzi o Europę, doświadczenia te są zdecydowanie krótsze, co oznacza, że prawdopodobnie jeszcze daleka droga do ustanowienia odrębnych norm dla tego wyrobu. W tym kontekście szczególnie cenne będą kolejne realizacje, stanowiące referencje dla potwierdzenia zasadności przywoływanych zastosowań betonów wodoprzepuszczalnych. Najdłużej funkcjonująca nawierzchnia parkingu z betonu *PERVIA path* ma już 9 lat i wykonana została przed cementownią Cemex w miejscowości Rüdersdorf w Niemczech [14]. Parking ten jest obiektem referencyjnym, który po tak wielu latach w dalszym ciągu spełnia swoje funkcje użytkowe (co roku wykonywane jest czyszczenie oraz badania przepuszczalności) i nie wykazuje wad z perspektywy trwałości. Nie zanotowano również wystąpienia zjawiska wrywania

kruszywa (z j.ang. „raveling”). Załączone zdjęcie (Fot.10) przedstawia stan nawierzchni po jej ostatnim odświeżeniu w 2024 r.

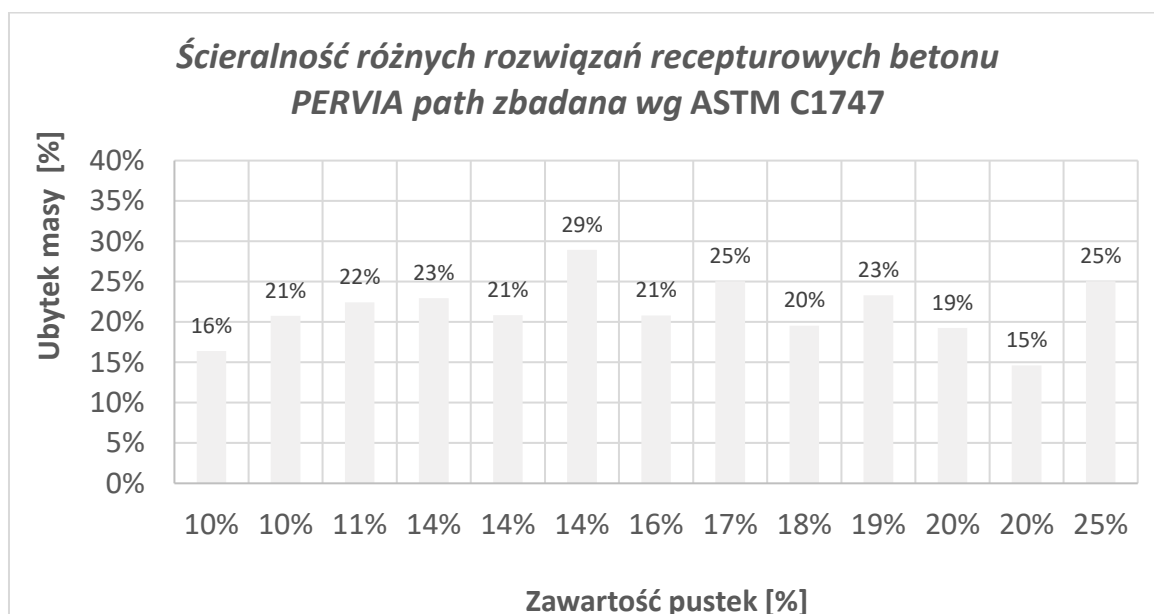
Fot.10. Parking z betonu *PERVIA* przy cementowni Cemex Rüdersdorf w Niemczech.



„Raveling” może być istotnym zagrożeniem dla trwałości betonu porowatego, w przypadku jego niewłaściwego zaprojektowania i/lub wbudowania, doprowadzając do uszkodzeń wodoprzepuszczalnej nawierzchni parkingu czy drogi, szczególnie na skutek ruchów skrętnych kół pojazdów. Aby zmniejszyć ryzyko związane z tym zjawiskiem, można posłużyć się klasycznym badaniem ścieralności zgodnie z normą PN-EN 1338 [11], lub skorzystać z doświadczeń amerykańskich i przetestować receptury zgodnie ze standardem ASTM C1747 [10]. Dla wybranych rozwiązań *PERVIA path* wykonano badania ścieralności, przy wykorzystaniu obu przywołanych metod. Badania te nie są w stanie w pełni odzwierciedlić rzeczywistych oddziaływań abrazyjnych, którym poddana jest nawierzchnia parkingu w rzeczywistych warunkach. Jednakże takie testy można wykorzystać, aby zminimalizować ryzyko „ravelingu”, poprzez wybór najbardziej optymalnych rozwiązań recepturowych. Norma PN-EN 1338 (Zał. H) wskazuje wartość ubytku masy poniżej $18\,000\text{ mm}^3/5000\text{ mm}^2$, jako najwyższą klasę odporności badanej przy użyciu tarczy Bohmego, natomiast doświadczenia amerykańskie sugerują ubytek masy w badaniu wg ASTM C1747 nie wyższy niż 25-30%. Na podstawie wykonanych testów można stwierdzić, że możliwe jest uzyskanie dla betonu porowatego wyników na poziomie nie gorszym niż betony nawierzchniowe zbadane tą samą metodą [13]. Warto jednak nadmienić, że uzyskanie wysokiej odporności na ścieranie w tym przypadku zależy nie tylko od porowatości, ale wpływ na ten parametr mają również rodzaj zastosowanego kruszywa, wskaźnik w/c, czy nawet konsystencja mieszanki oraz sposób pielęgnacji betonu (a więc również aspekty związanych z wbudowaniem produktu).



Rys.4. Badania ścieralności betonu wodoprzepuszczalnego wg PN-EN 1338 (zał. H), dla różnych zawartości pustek (rozwiązania recepturowe różniły się ponadto wskaźnikiem w/c oraz rodzajem kruszywa).



Rys.5. Badania ścieralności betonu wodoprzepuszczalnego wg ASTM C1747, dla różnych zawartości pustek (rozwiązania recepturowe różniły się ponadto wskaźnikiem w/c oraz rodzajem kruszywa).

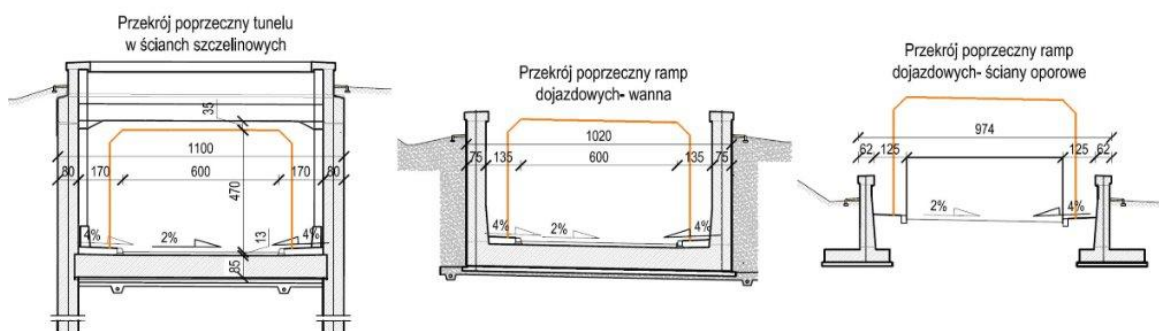
3. PERVIA jako warstwa odsączająca w tunelu na węźle „MPL Okęcie” w Warszawie

- Klasa betonu: C16/20
- Zastosowanie: podbudowa pod nawierzchnię asfaltową oraz kapy chodnikowe

- Grubość nawierzchni: 20-25 cm
- Powierzchnia zabudowana: ~3500 m²

W ciągu drogi ekspresowej S79 w Warszawie, prowadzącej na lotnisko Okęcie, w 2022 r. przeprowadzony został remont tunelu drogowego TD-34. Innowacyjne zastosowanie betonu jamistego *PERVIA*, jako warstwy odsączającej w tunelu na węźle „MPL Okęcie”, pozwoliło na uniknięcie nadmiernej jego przebudowy i sprawne odprowadzenie wody. Rozwiązanie to wpisuje się w trendy zrównoważonego rozwoju miast i stanowi kompromis pomiędzy rozbudową infrastruktury drogowej, a zapewnieniem swobodnego ujścia wód gruntowych [2].

Tunel na węźle MPL Okęcie, zlokalizowany w ciągu łącznicy Ł1 drogi krajowej S79a (km 1+665) w Warszawie, prowadzi ruch kołowy w kierunku Międzynarodowego Portu Lotniczego Okęcie, stanowiąc istotny element infrastruktury dojazdowej. Obiekt ma konstrukcję żelbetową, jednokomorową, w technologii ścian szczelinowych. Wjazdy do tunelu prowadzą przez rampy oporowe, których ściany wystają ok. 90 cm ponad teren. Długość tunelu wynosi 145 m, a z rampami – 501,8 m. Skrajnia pionowa to 5,05 m. Podłoże stanowią gliny zwałowe, piaski wodnolodowcowe oraz grunty antropogeniczne. Ściany oporowe i żelbetowe wanny zasypane są gruntami nasypowymi (piaski, pospółki), co zwiększa dopływ wód gruntowych. Zgodnie z dokumentacją, pierwsze zwierciadło wód gruntowych występuje ok. 1 m poniżej płyty dennej. Po wykonaniu skarp dojazdowych poziom wód lokalnie wzrósł – w rejonie stacji energetycznej woda utrzymywała się na poziomie terenu. Przed remontem jezdnia składała się z betonu asfaltowego i mastyksu grysowego, ułożonych bezpośrednio na izolacji płyty dennej. System odwodnienia obejmował spadki podłużne i poprzeczne oraz dreny z polipropylenu zatopione w grysie z żywicą.



Rys. 6. Typowe przekroje poprzeczne tunelu przed remontem.

Pomimo prowadzonych wielu prac naprawczych, pierwsze już na etapie budowy, tunel na węźle „MPL Okęcie” wymagał uszczelnienia. Główne uszkodzenia obiektu związane były z nieszczelnościami konstrukcji. W trakcie przeglądów oraz ekspertyz zaobserwowano m.in. powstawanie rys poprzecznych do osi obiektu, a także rozszerzanie się szczelin styków roboczych na płycie dennej. Stwierdzono, że spowodowane było to początkowym skurczem betonu oraz odkształceniami termicznymi. Należy tu podkreślić, że płyta na odcinku konstrukcji w ścianach szczelinowych (łącznie ok. 300 m) nie była zdylatowana. Przy swobodzie odkształceń konstrukcja o takiej długości uległaby skróceniu o 60 mm przy zmianie temperatury o

20°C. Zespoleńie płyty ze ścianami szczelinowymi oraz tarcie o grunt powoduje jednak otwieranie się wszystkich rys skurczowych. Lokalizacja przecieków na obiekcie wskazuje na napływ wody przez warstwy filtracyjne. Następnie woda wydostaje się do wnętrza obiektu poprzez najbardziej osłabione miejsca konstrukcji, takie jak dylatacje – zwłaszcza na styku ścian szczelinowych i wanien. Wyżej wymienione uszkodzenia powodują nadmierną filtrację wody do środka obiektu. Dopływ wody zwiększa się ponadto w okresie zimowym, kiedy obiekt ulega odkształceniom termicznym i wszystkie rysy oraz szczeliny dylatacyjne się rozszerzają. Na przykładzie dotychczasowych prób uszczelnienia obiektu można było stwierdzić, że naprawy metodą iniekcji poliuretanowych mają skuteczność ograniczoną w czasie. Jest to najprawdopodobniej związane z niewystarczającą elastycznością iniektowanej mieszanki, która pęka pod wpływem odkształceń termicznych płyty dennej. [1].

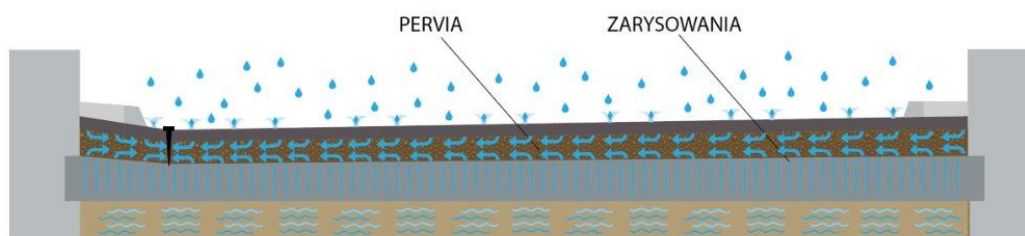
Brak dylatacji sprawił, że nie można było wykluczyć powstawania kolejnych rys w ścianach szczelinowych i płycie dennej pod wpływem zmian temperatury. Aby uniknąć okresowego powtarzania napraw mających na celu zwiększenie szczelności obiektu, zaprojektowano rozwiązanie uwzględniające powstanie przecieków w dłuższym czasie eksploatacji obiektu. Woda przesączająca się przez szczeliny w płycie dennej oraz w ścianach szczelinowych zostaje odebrana przez drenaże oraz warstwę filtracyjną wykonaną z betonu wodoprzepuszczalnego *PERVIA* wybudowaną na całej szerokości obiektu. Następnie woda jest odprowadzona do istniejących studni i wypompowana poza obiekt. Jest to o pierwsze tego typu zastosowanie betonu jamistego w Polsce, a prawdopodobnie również w Europie. Warstwę filtracyjną stanowi beton *PERVIA path* wykonany z grys granitowego o frakcji do 8 mm oraz klasie wytrzymałości C16/20. W tym przypadku nie zastosowano rozwiązania dedykowanego na warstwy podkładowe tj. *PERVIA classic*, z uwagi na podwyższone wymagania wytrzymałościowe oraz trwałościowe wobec tej warstwy konstrukcyjnej, które zostały uwzględnione w SST. W trakcie realizacji spełnienie parametrów zostało sprawdzone m.in. przez laboratorium nadzoru GDDKiA. Wymagania specyfikacji oraz wyniki badań (z etapu zatwierdzania receptury) zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wymagania SST oraz wyniki badań betonu jamistego na potrzeby wykonania warstwy filtracyjnej w tunelu przy węźle „MPL Okęcie”.

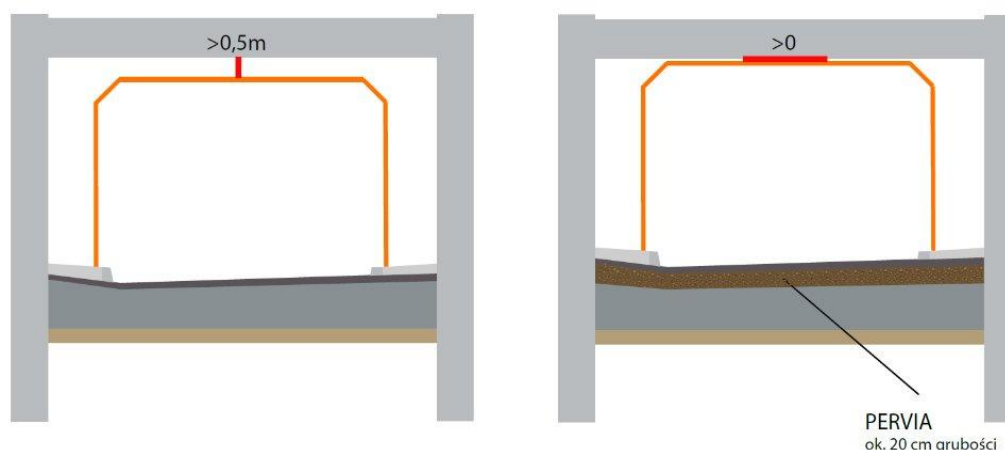
L.p.	Właściwości betonu	Wymagania	Metoda badania	Wyniki badań (wartości uśrednione)
1	Gęstość, tolerancja w stosunku do betonu wg zatwierdzonej receptury	± 3,0 %	PN-EN 12390-7	2059 kg/m ³
2	Klasa wytrzymałości na ściskanie w 28 dniu wg PN-EN 206, nie niższa niż (dla kategorii ruchu KR5+KR7)	C16/20	PN-EN 12390-3	26,1 MPa
3	Wytrzymałość betonu na zginanie w 28 dniu twardnienia (średnia z trzech próbek) nie niższa niż (dla kategorii ruchu KR5+KR7)	3 MPa	PN-EN 12390-5	4,3 MPa
4	Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu w 28 dniu twardnienia (średnia z trzech próbek) nie niższa niż (dla kategorii ruchu KR5+KR7)	2 MPa	PN-EN 12390-6	3,3 MPa

5	Mrozoodporność F100, przy badaniu odporności betonu na działanie mrozu, w 28 dniu • ubytek masy próbki, nie więcej niż • spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż	5 % 20 %	PN-B-06265	0,1 % 11,7 %
6	Przepuszczalność	≥ 20 mm/min	ASTM C1701-09	134 mm/min

Zastosowanie betonu drenażowego pozwoliło na bezpieczne przeniesienie obciążeń ruchem kołowym, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej przepuszczalności. Umożliwia to skuteczne odprowadzanie wody do istniejących studni, zanim dotrze ona ponad powierzchnię drogową. Dzięki temu zostało zwiększone bezpieczeństwo użytkowników obiektu. Z uwagi na bardzo niską wysokość tunelu, dzięki użyciu betonu jamistego jako warstwy filtracyjnej, zbierająca się woda jest skutecznie odprowadzana, jednocześnie zachowano przy tym wysokość skrajni drogowej. Obecnie na rynku polskim nie istnieje alternatywne rozwiązanie, umożliwiające skuteczne odprowadzenie wody przy tak małej grubości warstwy filtracyjnej. Powszechnie w tym celu stosowane kruszywa niespoiste o wysokim współczynniku filtracji, wymagają zastosowania znacznie grubszych warstw, a tym samym prowadzą do nadmiernego przegłębiania nowopowstających tuneli.



Rys.7. Innowacyjne zastosowanie betonu jamistego *PERVIA* jako warstwy filtracyjnej.



Rys.8. Zmiana wysokości światła w tunelu po dodaniu warstwy betonu *PERVIA*.

Wykonana pod kapami chodnikowymi warstwa filtracyjna o grubości ok. 25 cm z betonu *PERVIA* rozprowadzana była ręcznie, a następnie ubijana zagęszczarką płytową. W drugim etapie, wykonywana była podbudowa o grubości ok. 20 cm w ciągu komunikacyjnym za pomocą rozścielacza. Dostawy realizowane były w okresie letnim, więc aby złagodzić skutki wpływu wysokiej temperatury oraz uniknąć korków w czasie transportu, mieszankę dostarczano w godzinach nocnych. Łącznie na zrealizowanie tego zadania wyprodukowano ponad 700 m³ betonu *PERVIA path*, z węzła Cemex w Pruszkowie. Opisany system funkcjonuje już z powodzeniem trzeci rok, skutecznie rozwiązując problem przenikającej wody przez płytę denną i wydalnie przyczyniając się do poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez eliminację wody oraz oblodzenia na nawierzchni.

Fot.10 i 11. W trakcie wykonywania warstwy filtracyjnej kap chodnikowych (po lewej) oraz podbudowy w ciągu komunikacyjnym za pomocą rozścielacza (po prawej).



Fot.12. Gotowa podbudowa z *PERVIA path* w ciągu komunikacyjnym.



4. Podsumowanie, perspektywy rozwoju dla betonów wodoprzepuszczalnych

Nowoczesne miasta dążą dziś nie tylko do zaspokajania bieżących potrzeb mieszkańców, ale również – zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju – poszukują trwałych, przyszłościowych rozwiązań. Kluczowe staje się projektowanie nawierzchni, które nie będą wymagały częstych napraw ani generalnych remontów. Każda ingerencja w infrastrukturę to potencjalne utrudnienia komunikacyjne oraz spadek atrakcyjności inwestycyjnej danego obszaru. Wszystkie opisane w artykule realizacje łączy wspólny cel: stworzenie nawierzchni nie tylko funkcjonalnych (ze względu na właściwości filtracyjne), ale też trwałych, estetycznych i łatwych w utrzymaniu. Betony wodoprzepuszczalne *PERVIA* spełniają te oczekiwania – są odporne na czynniki atmosferyczne, dobrze komponują się z innymi materiałami (np. kostką brukową, drewnem, szkłem), a nawet w przypadku zaniedbania konserwacji nadal zachowują swoją funkcję. Obserwowany obecnie wzrost zainteresowania tego typu nawierzchniami w miastach, gminach i powiatach stanowi pozytywny sygnał. Odpowiedzialną rolą branży betonowej jest wspieranie lokalnych inicjatyw poprzez profesjonalne doradztwo, projektowanie i realizację inwestycji. Stosowanie przytoczonych w artykule dobrych praktyk to klucz do utrzymania i dalszego rozwoju tego trendu.

Zdaniem autorów, tylko świadome i profesjonalne podejście do każdej – nawet najmniejszej – realizacji pozwoli kontynuować popularyzację technologii betonów wodoprzepuszczalnych. W obliczu coraz bardziej odczuwalnych wyzwań

środowiskowych, każde działanie wspierające retencję wód opadowych ma znaczenie. Warto w tym miejscu przytoczyć znane powiedzenie: „*kropla drąży skałę*” – każda nawierzchnia wodoprzepuszczalna to krok w stronę bardziej odpornego i zrównoważonego miasta. Równolegle w tym temacie rozwija się też zaplecze naukowe – wybrane jednostki badawcze prowadzą intensywne prace nad poszerzeniem możliwości wykorzystania unikalnych właściwości betonów porowatych. Wśród nich znajduje się m.in. wykorzystanie zwiększonego rozwinięcia powierzchni adsorpcji do redukcji zanieczyszczeń, co może wspomagać oczyszczanie spływów powierzchniowych z zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych, w tym metali ciężkich, takich jak ołów czy cynk [5].

Przytoczone w artykule przykłady pokazują rosnącą rolę betonów wodoprzepuszczalnych w polskich projektach infrastrukturalnych – zarówno w kontekście gospodarowania wodami, jak i kreowania bardziej atrakcyjnej i nowoczesnej przestrzeni publicznej. Autorzy mają nadzieję, że publikacja ta będzie nie tylko podsumowaniem dotychczasowych działań, ale również inspiracją do dalszego rozwoju tej technologii – także jako ciekawej, estetycznej alternatywy dla powszechnie stosowanych klasycznych rozwiązań nawierzchniowych.

5. Literatura

- [1] Kałużyński M., Banaś A., Kuryłowicz A. - *Innowacyjne zastosowanie betonu jamistego Pervia, jako warstwy odsączającej w tunelu na węźle MPL Okęcie w Warszawie*, Wrocławskie Dni Mostowe, Wrocław, 11/2022
- [2] Kałużyński M. - *Beton wodoprzepuszczalny – główny bohater remontu tunelu lotniska Okęcie*, Budownictwo Technologie Architektura, 3/2024
- [3] Piestrzyński P. - *Beton jamisty zwiększy retencję wody w krakowskim parku Bednarskiego*, Budownictwo Technologie Architektura, 4/2023
- [4] Piestrzyński P. - *Rowerem wzdłuż Rudawy po betonie wodoprzepuszczalnym*, Budownictwo Technologie Architektura, 4/2023
- [5] Kalinowski M., Chilmon K., Jackiewicz-Rek W., Jaworska B., Wojtkowska M. - *Filtracja spływu powierzchniowego przez beton wodoprzepuszczalny – immobilizacja metali ciężkich*, Dni Betonu 2023
- [6] Bajorek G., *Porowaty beton wodoprzepuszczalny – wpływ doboru składników na jego właściwości i trwałość*, Rozprawa doktorska, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1994
- [7] Beblacz D., *Właściwości betonu przepuszczalnego do podbudów drogowych w konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego*, Drogi i Mosty 20 (2021), s. 359-378
- [8] Siedlecka M., Suchocka M., *Wodoprzepuszczalne nawierzchnie a zrównoważony rozwój terenów miejskich*, Drogownictwo 2/2017, s. 60-67

- [9] ASTM C 1701/C 1701M-09 Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete
- [10] ASTM C 1747/C 1747M-11 Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion
- [11] PN-EN 1338 Betonowe kostki brukowe -- Wymagania i metody badań
- [12] ACI 522 R10 Reported by ACI Committee 522 Report on Pervious Concrete
- [13] Ślęczka P., Rymek M., *Czynniki determinujące odporność betonu na agresję wywołaną ścieraniem*, Dni Betonu 2016
- [14] Materiały wewnętrzne Cemex Polska Sp. z o.o.