Wrocławskie Dni Mostowe
WYZWANIA WSPÓŁCZESNEGO MOSTOWNICTWA
Wrocław, 24–25 listopada 2022

Michał KAŁUŻYŃSKI[1]
Anna BANAŚ[2]
Andrzej KURYŁOWICZ[3]

INNOWACYJNE ZASTOSOWANIE BETONU JAMISTEGO PERVIA, JAKO WARSTWY ODSĄCZAJĄCEJ W TUNELU NA WĘŹLE MPL OKĘCIE W WARSZAWIE

1. Wstęp

W naturze człowieka istnieje ciągła potrzeba ulepszania, rozwoju i szukania nowych rozwiązań. W ostatnich dekadach szczególnie widocznie jest to w branży informatycznej, czy elektronicznej. Z tej perspektywy mogłoby się wydawać, że w budownictwie panuje prawdziwa stagnacja. Najpopularniejszym materiałem obecnie jest beton, którego pierwsze zastosowania datuje się na 7000 r. p.n.e.. Szczyt jego rozwoju nastąpił po wynalezieniu w 1824 roku cementu portlandzkiego, który znacznie poprawił właściwości tego materiału. O prawdziwym rozkwicie betonu można powiedzieć, że zadecydował przypadek, gdy wersalskiemu ogrodnikowi do płynnej mieszanki betonowej wpadł druciany kosz. Natomiast już w 1892 roku francuski konstruktor Francois Hennebique opatentował metodę wznoszenia szkieletowych konstrukcji żelbetowych. Mimo, iż mogłoby się wydawać, że od tego czasu potrafimy wykorzystać beton na wszystkie dostępne sposoby, to wciąż prowadzone są prace nad udoskonaleniem jego właściwości, które umożliwią rozszerzenie zakresu stosowania. Jednym z przykładów są betony jamiste, które mogą stać się znakomitym materiałem do wykonywania warstw filtracyjnych i nawierzchni komunikacyjnych zapewniających sprawne odprowadzenie wody opadowej. Mimo, że są materiałem znanym od dawna, bo już w latach 60 ubiegłego wieku prowadzono badania nad ich zastosowaniem i właściwościami [1, 2], wciąż możemy poznać ich nowe ulepszone warianty.
Drugim aspektem szybkiego rozwoju jest bardzo intensywna urbanizacja, która z jednej strony ma wiele zalet, w tym na przykład podniesie jakości życia. Proces ten jednak bardzo często wiąże się, z coraz większą ekspansją miast, wycinką drzew, zagospodarowaniem obszarów zielonych pod osiedla, spadkiem poziomu wód gruntowych, bądź jego podniesieniem w wyniku prowadzonych prac budowlanych. Dodatkowo, jednym z największych problemów w ostatnich dziesięcioleciach jest ocieplenie klimatu. Efektem, czego jest stopniowy wzrost

1 mgr inż. CEMEX Polska sp. z o.o.

2 dr inż. |Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Konstrukcji Inżynierskich

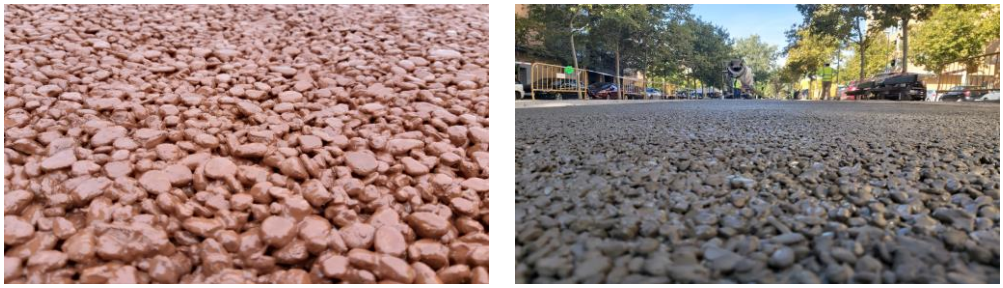
3 mgr inż. KURYŁOWICZ PROJECT SP. Z O.O.

średniej rocznej temperatury globu, która wywołuje zwiększoną cyrkulację wody w cyklu hydrologicznym, a tym samym i nasilenie się ekstremalnych zjawisk pogodowych. W obecnych czasach nastąpiła zmiana struktury opadów właściwie na całym obszarze Polski. Polega ona na zdecydowanym wzroście liczby dni z opadem dobowym o dużym natężeniu [3]. Tym samym odprowadzenie wód opadowych, jest obecnie jednym w większych problemów zwłaszcza w aglomeracjach miejskich. Stale poszerzająca się szczelna zabudowa miast powoduje, że woda ma coraz mniej miejsc ujścia. Powszechne jest zapychanie się studzienek kanalizacyjnych, wysychanie wód gruntowych, czy wysychanie zieleni w terenach silnie zurbanizowanych, w wyniku niedostatecznego nawodnienia. W ostatnich latach niemal każde większe miasto borykało się z problem podtopień, czy zalania większych powierzchni. Kolejnym ważnym aspektem jest fakt, że jakość i wydolność systemu odwadniania ma bardzo istotny wpływ na nawierzchnię dróg. Niewłaściwie działający system odwodnienia powoduje: pogorszenie bezpieczeństwa użytkowników dróg na skutek zawilgocenia jezdni, wysadziny, rozmiękczenie poboczy drogowych, zmniejszenie nośności podłoża, które pociąga za sobą deformacje nawierzchni oraz zjawiska osuwiskowe [4].
W niniejszym artykule przedstawiono innowacyjne zastosowanie betonu jamistego, jako warstwy odsączającej w tunelu, na przykładzie tunelu na Węźle „OPL Okęcie" w Warszawie. Użycie betonu jamistego w tym przypadku pozwoliło na ekologiczne rozwiązanie, uniknięcie nadmiernej przebudowy obiektu 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. Charakterystyka betonu jamistego

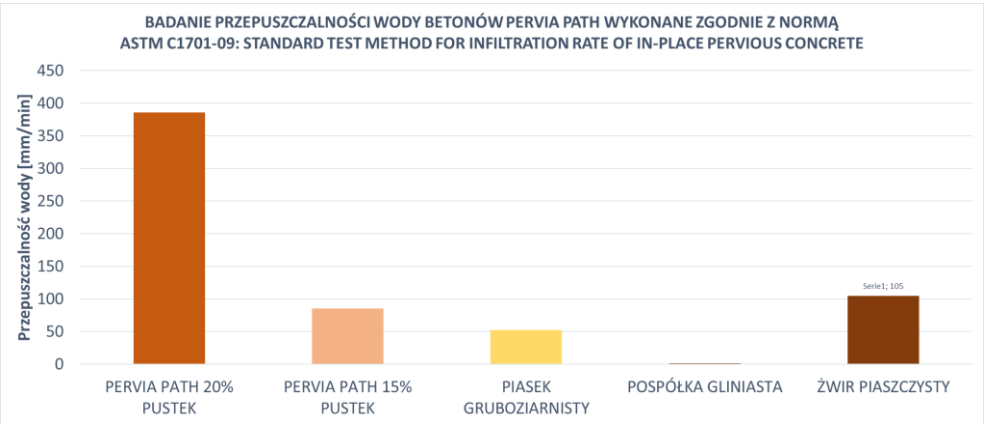
Jako betony jamiste określamy kompozyty betonowe o strukturze zbliżonej do luźno wysypanego, przepuszczalnego dla wody kruszywa, które jednocześnie jest tak wytrzymałe jak betony standardowe. Ich główna zaleta sprawia, że doskonale sprawdzają się przy wykonywaniu warstw filtracyjnych, czy budowie nawierzchni komunikacyjnych, zapewniając sprawne odprowadzenie wody opadowej.
Do grupy betonów jamistych możemy zaliczyć również nowoczesny beton PERVIA, który jest produktem specjalistycznym o strukturze otwartej (rys. 1). Do jego podstawowych zalet można zaliczyć zdolność do swobodnego i szybkiego odprowadzania wód opadowych z powierzchni do głębiej położonych warstw (rys. 2). Dzięki swoim właściwościom, PERVIA absorbuje wodę i przenosi ją na głębsze poziomy konstrukcji nawierzchni, zapobiegając w ten sposób gwałtownej kumulacji wody na nawierzchniach podczas ulewnych deszczy. Objętość pustek zwykle wynosi od 10% do 25%. Zawsze należy wybrać i zaprojektować odpowiedni materiał, który będzie kompromisem pomiędzy wytrzymałością, a przepuszczalnością betonu. Oczywistym jest, że niska ilość pustych przestrzeni daje niższą przepuszczalność, ale wyższą wytrzymałość, natomiast duża ilość pustych przestrzeni daje większą przepuszczalność, ale niższe wytrzymałości (rys. 3, tab. 1).
Beton jamisty PERVIA, może być jedną z odpowiedzi na problemy z gospodarką wodną, zwłaszcza w aglomeracjach miejskich. Im więcej powierzchni przepuszczalnych, tym mniej wody opadowej gwałtownie spływa do kanalizacji i do rzek, nie tracąc tym samym zasobów, które są niezbędne do funkcjonowania całego ekosystemu. Do największych zalet betonu PERVIA można zaliczyć to, że: zabezpiecza przed gwałtownym przyborem wód w rzece po ulewnych opadach i po wiosennych roztopach, odprowadza wodę gruntową, zapobiega przeciążaniu studzienek, zapobiega powstawaniu kałuż, zwiększa retencję wody w przyrodzie oraz ogranicza skutki ulew oraz suszy.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 1. Beton jamisty PERVIA.

Rysunek 2. Zachowanie betonu PERVIA pod wpływem wody.



Rysunek 3. Zależność pomiędzy rodzajem podłoża i zawartością pustek w betonie PERVIA, a szybkością odprowadzenia wody.

Poza najistotniejszą cechą betonu jamistego PERVIA, jaką jest znacznie szybsze odprowadzanie dużych ilości wody z powierzchni, ma on jeszcze szereg innych zalet. Jedną z nich, związaną z szybkim odprowadzeniem wody z powierzchni, jest jego zdecydowanie mniejsza podatność na oblodzenie oraz większa odporność na mróz, w porównaniu z innymi nawierzchniami o strukturze zamkniętej, co zwiększa bezpieczeństwo zarówno w ruchu kołowym jak i pieszym. Beton ten pozwala na dużą swobodę kształtowania powierzchni, z uwagi na to, że nie wymaga obrzeży jak nawierzchnia z kostki betonowej. Ma także wiele bardzo przydatnych cech architektonicznych, takich jak duża baza dostępnych kolorów, co pozwala swobodnie aranżować przestrzeń. Dodatkowo istnieje możliwość zastosowania lub zatopienia w nim kruszywa typu otoczaki.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Tablica 1. Dane techniczne i charakterystyki wytrzymałościowe betonu PERVIA.

Parametr	Wartość
Norma (zgodność)	PN-EN 206+A2:2021-08 i PN-B-06265:2022-08
Przepuszczalność wody	100-1000 l/min/m^2
Klasa wytrzymałości na ściskanie	C8/10; C12/15; C16/20; C20/25 LC8/9; LC12/13; LC16/18
Grubość układania warstw	min. 8 cm
Zawartość pustek	od 10% do 25 %
Uziarnienie	do 8 mm lub 16 mm
Temperatura stosowania	od +5°C do +25°C
Maksymalny czas użycia	90 minut
Szybkość obciążania	● Ruch pieszy po ok. 12-24 godzinach ● Unikać naprężeń punktowych oraz przeciążeń ● Pełna wytrzymałość po 28 dniach od ułożenia

Nawierzchnie wykonane z betonu jamistego PERVIA należą do grupy tzw. nawierzchni sztywnych. Dlatego w tym przypadku szczególny nacisk należy postawić na prawidłowe prognozowanie obciążenia ruchem projektowanej nawierzchni, jak również dokonać dokładnego rozpoznania warunków gruntowo-wodnych na miejscu budowy. Jest to szczególnie istotne w Polsce, z uwagi na klimat i zmiany dobowe temperatur oraz częste przechodzenie temperatury dobowej przez 0°C. W takim przypadku, kiedy dodatkowo występuję nieodpowiednie podłoże może dochodzić do wysadzin, a w ich konsekwencji do przełomów w wykonanych nawierzchniach. Z tego powodu zawsze, aby poprawnie zaprojektować warstwy podłoża nawierzchni, należy określić rodzaj podłoża, na którym zostanie ona posadowiona. Jeśli na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono występowanie podłoża należącego do grupy nośności G2-G4 (grunty wysadzinowe o niższym wskaźniku nośności), należy je wzmocnić poprzez wymianę gruntu na grunt nośności G1. I tak w przypadku gruntów G2 i G3 należy wymienić gruntu na niewysadzinowy na głębokość 15 cm, natomiast dla gruntów G4 głębokość ta powinna wynosić 30 cm.

Beton jamisty PERVIA na budowę dostarczany jest jako produkt gotowy do użycia. Ważnym, aspektem przy jego wbudowywaniu jest odpowiednie zaplanowanie zarówno transportu jak i rozładunku betonu. Istotnym parametrem jest tu czas, który od chwili produkcji mieszanki do zakończenia wbudowania nie powinien przekroczyć 90 minut. Po rozprowadzeniu mieszanki betonowej na pożądaną grubość, powierzchnię należy bezzwłocznie wyrównać, zagęścić oraz zabezpieczyć przed uszkodzeniami mechanicznymi. Mieszankę można rozkładać ręcznie lub za pomocą rozściełacza do betonu. Do zagęszczenia warstwy betonu jamistego stosuje się lekkie zagęszczarki płytowe oraz walec drogowy. Kolejnym krokiem jest natychmiastowe zabezpieczenie powierzchni przed utratą wilgoci, poprzez zraszanie mgiełką wodną i przykrycie folią na minimum 7 dni. Planując termin betonowania, zawsze należy wziąć pod uwagę warunki pogodowe. Temperatura otoczenia w trakcie wykonywania prac powinna wynosić od +5°C do +25°C. Jednym z ważniejszych etapów wykonywania nawierzchni jest ustalenie rozmieszczenia dylatacji, które powinno zostać zaplanowane jeszcze przed rozpoczęciem robót. Podstawowe zasady rozmieszczenia dylatacji są takie same jak dla innych nawierzchni betonowych. Dodatkowo nawierzchnię należy dylatować również w narożnikach wypukłych, wokół studzienek kanalizacyjnych, słupów, latarni, itp. Istotnym aspektem projektowo – wykonawczym jest także to, że przy wykorzystaniu betonu PERVIA nie ma konieczności wykonywania pochylenia poprzecznego na warstwie ścieralnej, ponieważ zakłada się przenikanie wody w głąb konstrukcji nawierzchni. W przypadku podłoża przepuszczalnego również nie ma konieczności wykonywania pochylenia poprzecznego na

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

warstwie podbudowy zasadniczej, ponieważ zakłada się przefiltrowanie wody bezpośrednio do podłoża gruntowego.

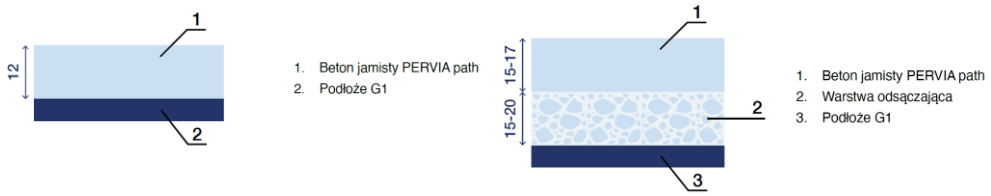
3. Zastosowanie betonu jamistego

Beton jamisty PERVIA ma bardzo szeroki zakres stosowania (rys. 4). Do tej pory głównie wykorzystywany jest między innymi do realizacji ścieżek i chodników dla pieszych oraz ścieżek rowerowych. Z uwagi na swoje właściwości doskonale sprawdza się w parkach, gdyż ścieżki wykonane z betonu PERVIA będąc w pełni przepuszczalne dla wody, pozwalają na nawodnienie roślin. Idealne, więc wydaje się zastosowanie go wszędzie tam gdzie mamy niezbyt duże obciążenie i potrzebę odprowadzenia wody. Z tego powodu chętnie stosowany jest na różnego rodzaju powierzchniach dla pieszych, tarasach oraz w otoczeniu basenów. Jego właściwości również idealnie spełnią wymagania, jakie stawiane są dla nawierzchni obiektów sportowych, w tym kortów tenisowych, boisk do gry w koszykówkę, piłkę nożną, itd. (rys. 5). Betony jamiste PERVIA są także doskonałym rozwiązaniem w przypadku nawierzchni parkingów samochodowych.
Konstrukcja nawierzchni z betonu jamistego PERVIA jest różna w zależności od miejsca wbudowania, gruntu rodzimego i prognozowanego obciążenia. Podstawowy sposób rozłożenia warstw nawierzchni przy obciążeniu głównie ruchem pieszym i rowerowym przedstawiono na Rysunku 6. W przypadku obciążenia głównie ruchem samochodowym o masie do 2,5 tony układ warstw w zależności od pokrycia parkingu może wyglądać w sposób pokazany na Rysunku 7. Beton typu PERVIA (jako podbudowa) może być również stosowany w przypadku obciążenia stanowisk postojowych czy jezdni manewrowych przeznaczonych dla samochodów ciężarowych. Wymagane jest wtedy jednak znaczenie zwiększenie grubości warstwy betonu jamistego (rys. 8).

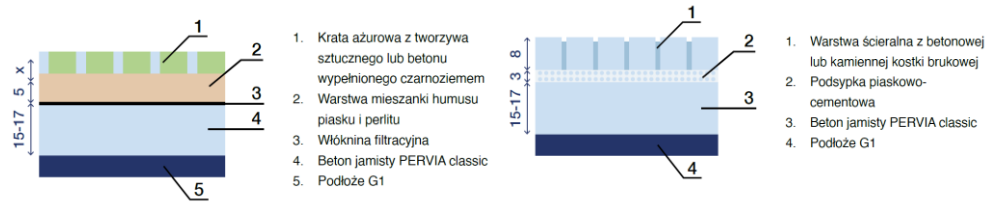
Rysunek 4. Przykłady zastosowań betonu PERVIA.

Rysunek 5. Zastosowanie betonu PERVIA w obiektach sportowych.

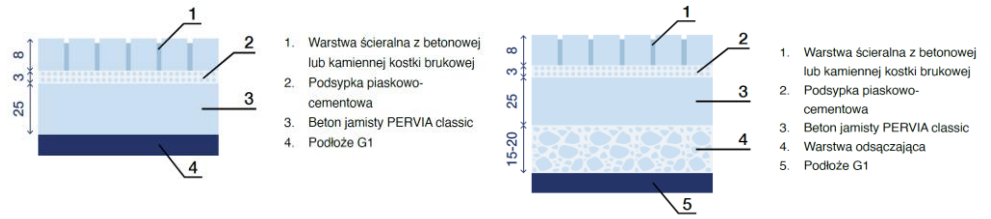
MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl



Rysunek 6. 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.



Rysunek 7. 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.



Rysunek 8. 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.

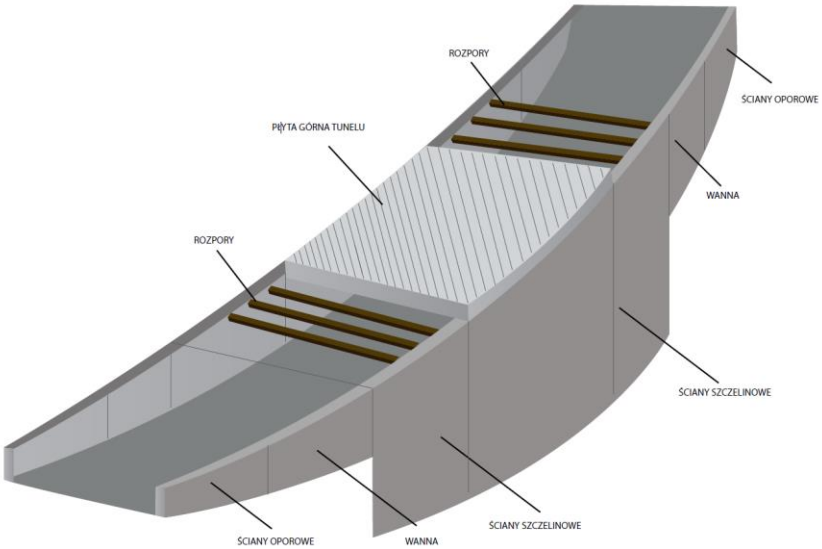
4. Tunel na węźle „MPL Okęcie”

Tunel będący przedmiotem niniejszego artykułu usytuowany jest w ciągu łącznicy Ł1 drogi krajowej S79a w KM 1+665 w miejscowości Warszawa. Przeprowadza on w jednym kierunku ruch kołowy z drogi krajowej S79a w kierunku Międzynarodowego Portu Lotniczego Okęcie i tym samym stanowi ważny element komunikacyjny doprowadzający ruch kołowy na lotnisko. Tunel jest konstrukcją ramową, jednokomorową, żelbetową wykonywaną w technologii ścian szczelinowych. Na drodze doprowadzającej ruch do tunelu wykonstruowano rampy prowadzone w konstrukcji oporowej. W zależności od zagłębienia ściany, rampy wykonane są w różnych technologiach: ścian szczelinowych, w wannach i w kątowych ścianach oporowych (rys. 9-10). Ściany ramp od strony zewnętrznej tunelu wystają ok. 90 cm ponad poziom terenu. Całkowita długość tunelu wynosi 145,00 m, natomiast całkowita długość tunelu wraz z rampami dojazdowymi 501,80 m. Skrajnia pionowa na obiekcie wynosi 5,05 m.

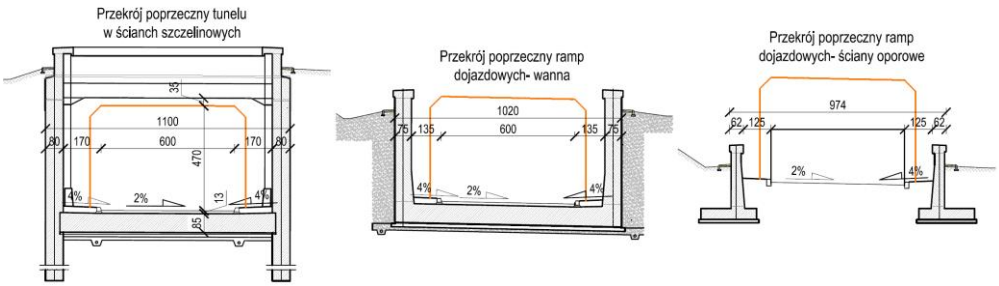
Grunty występujące w obrębie obiektu to kompleks glin zwałowych przewarstwionych piaskami średnimi, kompleks utworów wodnolodowcowych oraz grunty antropogeniczne w nasypach. Ściany oporowe oraz żelbetowe wanny zasypane są od strony zewnętrznej gruntami nasypowymi (piaski, pospółki), które dodatkowo zwiększają dopływ wody do obiektu.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Według archiwalnej dokumentacji z badań pierwsze zwierciadło wód gruntowych nawiercono na głębokości ok. 25,0 m powyżej „0” Wisły, czyli ok. 1m poniżej płyty dennej. Po wybudowaniu skarp stanowiących dojazd do wiaduktów węzła „MPL Okęcie” zwierciadło wód gruntowych uległo jednak lokalnemu podwyższeniu. Przy budynku pobliskiej stacji energetycznej woda utrzymuje się na powierzchni terenu (ok. 28m powyżej „0” Wisły).



Rysunek 9. Szkic tunelu wraz z graficznym przedstawieniem podziałem tunelu na sekcje.



Rysunek 10. Typowe przekroje poprzeczne tunelu przed remontem.

Przed przeprowadzeniem remontu, na nawierzchnię jezdni obiektu składa się warstwa wiążąca z betonu asfaltowego oraz warstwa ścieralna z mastyksu grysowego ułożone bezpośrednio na izolacji płyty dennej. Odwodnienie tunelu zrealizowano poprzez zachowanie wymaganych spadków podłużnych i poprzecznych oraz polipropylenowe dreny podłużne i poprzeczne zatopione w grysie otoczonym żywicą. Na czas budowy tunel został odwodniony dzięki drenażowi roboczemu z gruntu filtracyjnego oraz dwóch rur ϕ100 mm, znajdującego się pod płytą denną. Tunel wyposażono w łącznie 9 studni odwadniających z indywidualnym odpompowaniem wody poza obiekt, rozstawionych co ok. 50 m. Podczas prowadzonych dotychczas remontów na obiekcie wykonano bruzdy przykrawężnikowe i drenaże podłużne za kapami chodnikowymi, a także wykonano przewierty ze studni odbierające wodę spod płyty.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

5. Stan techniczny tunelu na węźle „MPL Okęcie”

Mimo 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 stwierdzono między innymi powstawanie rys poprzecznych do osi obiektu, a także rozszerzanie się szczelin styków roboczych na płycie dennej. Spowodowane jest to początkowym skurczem betonu oraz odkształceniami termicznymi. Należy tu podkreślić, że płyta na odcinku konstrukcji w ścianach szczelinowych (łącznie ok. 300 m) nie jest zdylatowana. Przy swobodzie odkształceń konstrukcja o takiej długości uległaby skróceniu o 60 mm przy zmianie temperatury o 20ºC. Zespolenie płyty ze ścianami szczelinowymi oraz tarcie o grunt powoduje jednak otwieranie się wszystkich rys skurczowych.

W obrębie wanien żelbetowych występowały również nieszczelności dylatacji, zarówno pionowych jak i poziomych, a widoczne przecieki występowały także w rejonie płyty przejściowej (na styku ze ścianami oporowymi) (rys. 11a). Przecieki były szczególnie widoczne od strony wyjazdu z tunelu, to jest od „MPL Okęcie”. Dodatkowo na płycie dennej powstały rysy wzdłuż styku ze ścianami szczelinowymi, jako skutek niedostatecznego zbrojenia zszywającego płytę ze ścianami oraz w wyniku pracy termicznej w poprzek płyty. W trakcie budowy obiektu zrezygnowano z dodatkowych prętów wklejanych w ściany szczelinowe, co mogłoby ograniczyć problem. W okresie zimowym styk rozszerza się nawet o ok. 1 mm. Okresowo widoczne są wycieki na kapy chodnikowe (rys 11b).

Występujące zwłaszcza w okresie zimowym przecieki świadczą o tym, że zwierciadło wody znajduje się powyżej płyty dennej na rampach i woda może dostawać się na nawierzchnię wpływając po płycie przejściowej. Wszystkie ściany szczelinowe zakończone są w gruntach nieprzepuszczalnych. Filtracja wody przez ściany szczelinowe jest niewielka. Głównym źródłem wody przedostającej się pod płytę denną w obrębie ścian szczelinowych są więc końce ścian szczelinowych, gdzie nie zaprojektowano poprzecznej przegrody mogącej odciąć dopływ wody do obiektu.

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 (rys. 12). Wyżej wymienione uszkodzenia powodują nadmierną filtrację wody do środka obiektu. Dopływ wody zwiększa się w okresie zimowym, kiedy obiekt ulega odkształceniom termicznym i wszystkie rysy oraz szczeliny dylatacyjne się rozszerzają.

Filtracja wody skutkuje powstawaniem zacieków na nawierzchni, izolacji i kapach chodnikowych, co przyspiesza korozję elementów konstrukcji i wyposażenia obiektu. Najbardziej istotnym skutkiem nieszczelności jest jednak wypływ wody na powierzchnię jezdni i tworzenie się oblodzenia przy ujemnych temperaturach, co stanowi bezpośrednie niebezpieczeństwo dla uczestników ruchu drogowego.

Oprócz wyżej wymienionych uszkodzeń występują także inne typowe uszkodzenia, związane z estetyką oraz należytym utrzymaniem obiektu takie jak: wegetacja roślin, spękania poprzeczne nawierzchni, odpryski, łuszczenie się powłok malarskich i inne.

Obiekt od czasu budowy wielokrotnie poddawany był procesom naprawczym. Jeszcze w trakcie budowy w latach 2010-2012, a następnie kilkukrotnie po jej zakończeniu w latach 2013-2014 wykonywano iniekcję rys oraz połączeń elementów konstrukcyjnych. W roku 2014 wykonano przewierty oraz osadzono rury mające odbierać wodę z drenaży roboczych (w przekroju ze ścianami szczelinowymi) do istniejących studni, co pozwoliło na przejęcie części wody spod płyty dennej. W kolejnym roku, w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego wykonano instalację grzewczą (przeciwoblodzeniową) w ściekach przykrawężnikowych oraz

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

lokalnie pod nawierzchnią bitumiczną. Ostatnim etapem było w 2015 roku, wykonanie drenaży podłużnych w narożach za kapami chodnikowymi oraz w warstwie ścieralnej nawierzchni jezdni wzdłuż krawężników.

a) b)

Rysunek 11. a) Przecieki wody w strefie płyty przejściowej na nawierzchni b) Przecieki wody w strefie połączenia płyty dennej ze ścianami szczelinowymi.

a) b)

Rysunek 12. a) Przecieki wody na nawierzchnię na połączeniu konstrukcji w ścianach szczelinowych z konstrukcją wanny b) Przecieki wody na nawierzchnię na połączeniu konstrukcji dwóch konstrukcji wanny.

Najważniejszym wnioskiem płynącym z przeprowadzonych remontów, na przykładzie dotychczasowych prób uszczelnienia obiektu jest fakt, 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.

6. Innowacyjne zastosowanie betonu jamistego PERVIA jako warstwy filtracyjnej

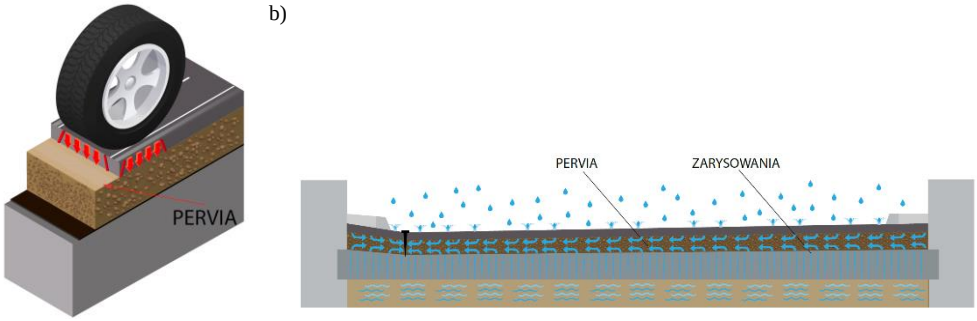
Brak dylatacji na długości obiektu w ścianach szczelinowych (~300 m) sprawił, że nie można było wykluczyć powstawania kolejnych rys w ścianach szczelinowych i płycie dennej pod wpływem zmian temperatury. Aby uniknąć okresowego powtarzania napraw mających na celu zwiększenie szczelności obiektu, zaprojektowano rozwiązanie uwzględniające powstanie przecieków w dłuższym czasie eksploatacji obiektu. Woda przesączająca się przez szczeliny w płycie dennej oraz w ścianach szczelinowych zostanie odebrana przez drenaże oraz warstwę filtracyjną wykonaną z betonu jamistego PERVIA wybudowaną na całej szerokości obiektu. Następnie woda zostanie odprowadzona do istniejących studni i wypompowana poza obiekt. Jest to pierwsze tego typu zastosowanie betonu jamistego PERVIA w Polsce, a prawdopodobnie i w Europie.

Warstwę filtracyjną stanowi beton jamisty PERVIA wykonany z kruszywa naturalnego o frakcji do 16 mm i klasie wytrzymałości C16/20. Zastosowana mieszanka pozwala na

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

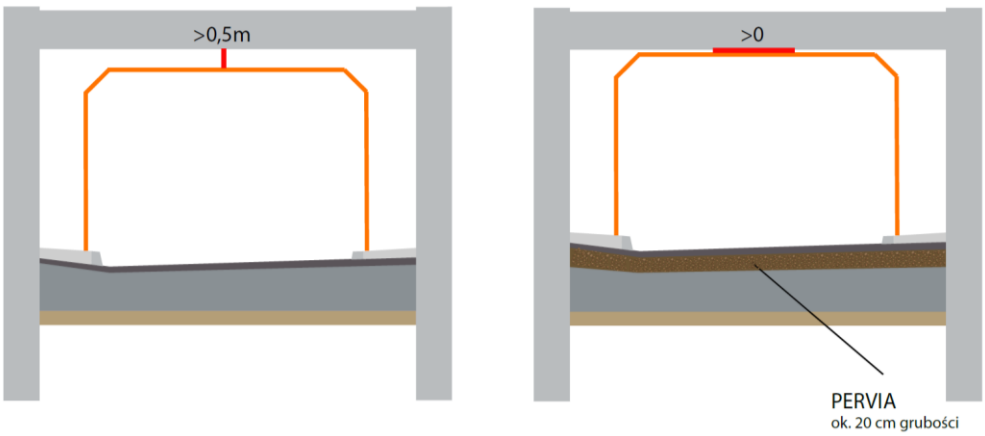
bezpieczne przeniesienie obciążeń ruchem kołowym (rys. 13a), przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej przepuszczalności. Umożliwia to skuteczne odprowadzanie wody do istniejących studni, zanim dotrze ona ponad nawierzchnię drogową (rys. 13b). Dzięki temu zostanie zwiększone bezpieczeństwo użytkowników obiektu.

a) b)



Rysunek 13. a) Rozkład obciążeń od ruchu drogowego na warstwę PERVI b) Odprowadzenie wody przez warstwę PERVI .

Na czas robót związanych z przebudową nawierzchni tunelu konieczne było wyłączenie obiektu z ruchu kołowego. Rozwiązanie zakładało stopniowe podwyższenie niwelety drogi na łukach pionowych ramp zjazdowych, docelowo do 29 cm na odcinku podziemnym tunelu (podwyższenie w stosunku do istniejącej niwelety). Lokalnie podwyższenie zgodnie z projektem wynosi do 42 cm na wjeździe do tunelu. Co bardzo istotne, została zachowana skrajnia pionowa równa 470 cm, z ok. 5-centymetrowym zapasem na wysokości tunelu. Z uwagi na bardzo niską wysokość tunelu, dzięki użyciu betonu jamistego jako warstwy filtracyjnej, z dużym prawdopodobieństwem uda się skutecznie odprowadzić całą zbierającą się wodę, jednocześnie zachowując przy tym wysokość skrajni drogowej (rys. 14). 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.



Rysunek 14. Zmiana wysokości światła w tunelu po dodaniu warstwy betonu PERVA jako warstwy odsączającej.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

Wykonana pod kapami chodnikowymi warstwa filtracyjna z betonu PERVIA rozprowadzana była ręcznie, a następnie zagęszczana zagęszczarką płytową. W drugim etapie, wykonywana była podbudowa w ciągu komunikacyjnym za pomocą rozściełacza (rys. 15). Łącznie na zrealizowanie tego zadania, zostało dostarczone ponad 600 m3 betonu PERVIA classic, z węzła w Pruszkowie.

Rysunek 15. Układanie betonu jamistego PERVIA w tunelu na węźle „MPL Okęcie".

W ramach remontu tunelu zaprojektowano również wykonanie iniekcji żywicami wysokoelastycznymi w konstrukcję oraz odcięcie napływu wody pomiędzy ścianami szczelinowymi oraz w strefie dylatacji, przy zastosowaniu iniekcji strukturalnych (objętościowych) w grunt.
Dodatkowo w tunelu planowano zastosowanie specjalnych odwodnień w postaci prefabrykowanych krawężników polimerobetonowych (korytka szczelinowe), dedykowanych dla tuneli. Krawężniki te mają budowę zbliżoną do koryt i pozwalają na odbieranie całości wody z nawierzchni, dzięki czemu zastoiska nie tworzą się nawet na opaskach. W tym wypadku jednak wykonawca robót zdecydował się na własną optymalizację tego rozwiązania stosując uliczne krawężniki betonowe wzmocnione włóknem szklanym z systemem odwodnienia.

7. Wnioski

Mimo, że beton jamisty stosowany jest w budownictwie od wielu lat, często jest niedocenianym elementem konstrukcyjnym mimo swoich wyjątkowych właściwości odprowadzających wodę. Spowodowane jest to zbyt niską wytrzymałością, która wywołana jest brakiem frakcji piaskowej. Patrząc jednak na problem z drugiej strony, prawidłowe odwodnienie powierzchni komunikacyjnych jest podstawowym zadaniem, które musi rozwiązać projektant. Szybkie odprowadzenie wody z powierzchni drogi jest konieczne, gdyż odpowiada za prawidłową przyczepność pomiędzy oponą i nawierzchnią, a tym samym za bezpieczeństwo ruchu.
W tunelu przedstawionym w niniejszej pracy, z uwagi na uwarunkowania konstrukcyjne w tym niską wysokość skrajni drogowej, poszukiwano rozwiązania, które będzie optymalne zarówno pod względem szybkiego odprowadzenia wody, jak i zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości i zapobiegania koleinowaniu się nawierzchni. Zdecydowano się na zastosowanie betonu jamistego PERVIA jako elementu podbudowy i warstwy filtracyjnej jezdni tunelu. To innowacyjne rozwiązanie, nie tylko pozwoliło na rozwiązanie problemu przenikającej wody przez płytę denną, ale i znacznie poprawiło bezpieczeństwo ruchu drogowego poprzez eliminację wody oraz oblodzenia na nawierzchni. Dodatkowo wspiera ono

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

odpowiedzialną gospodarkę wodną, wpływając na zwiększenie wód gruntowych oraz zachowanie równowagi w środowisku naturalnym.

Literatura

[1] WIELOCH R.: Badania nad ustaleniem metody projektowania betonów jamistych o z góry określonych cechach. Drukarnia UMK, Toruń – Gdańsk, 1962.

[2] LEWICKI B.: Budownictwo betonowe. Tom IV: Betony lekkie. Wyd. Arkady, Warszawa, 1967.

[3] MAJER S., Wybrane zagadnienia odwodnienia dróg i ulic. Magazyn Autostrady 1/2020

[4] ŁACH K,. Problematyka prawidłowego zaprojektowania systemu odwodnienia dróg. Drogi Publiczne 1/2021

[5] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton - Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność

[6] PN-B-06265:2022-08 Beton - Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność - Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08

INNOVATIVE USE OF PERVIA CAVERNOUS CONCRETE AS A DRAINAGE LAYER IN THE TUNNEL AT THE MPL OKĘCIE JUNCTION IN WARSAW

Summary

Although cavity concrete has been used in the construction industry for many years, it is often an underestimated construction element despite its exceptional drainage properties. This is due to its insufficient strength, which is caused by the lack of a sand fraction. Looking at the problem from the other side, proper drainage of traffic surfaces is a fundamental task that the designer must solve. The rapid drainage of water from the road surface is essential, as it is responsible for the correct grip between the tyre and the road surface and thus for traffic safety. In the tunnel presented in this paper, due to the structural considerations including the low height of the road verge, a solution was sought that would be optimal both in terms of fast water drainage and in terms of providing adequate strength and preventing rutting of the pavement. It was decided to use PERVIA cavity concrete as the sub-base and filter layer of the tarmac roadway. This innovative solution not only solved the problem of water seeping through the bottom slab, but also promotes responsible water management, increasing groundwater and preserving the environmental balance.

MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl