

PRZEPUSTY i mosty ekologiczne

Trwałość betonowych oraz żelbetowych przepustów i mostów ekologicznych



tekst: **prof. dr hab. inż. ADAM WYSOKOWSKI**, kierownik Zakładu Dróg, Mostów i Kolei, Uniwersytet Zielonogórski, **mgr inż. JERZY HOWIS**, konstruktor, Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród

W ostatnich latach w odpowiedzi na stale rosnące wymagania ekologiczne związane ze zrównoważonym rozwojem coraz większą uwagę poświęca się trwałości konstrukcji budowlanych. Dotyczy to również tytułowych obiektów – przepustów, dolnych przejść dla zwierząt i mostów ekologicznych. Trwałość betonowych i żelbetowych przepustów wymaga holistycznego podejścia, uwzględniającego różnorodne czynniki, począwszy od materiałów i projektu, przez budowę i eksploatację, a skończywszy na utrzymaniu. Należy podkreślić, że innowacje w dziedzinie materiałów oraz monitoringu stanu technicznego mają kluczowe znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa i niezawodności infrastruktury przez jak najdłuższy okres [1].

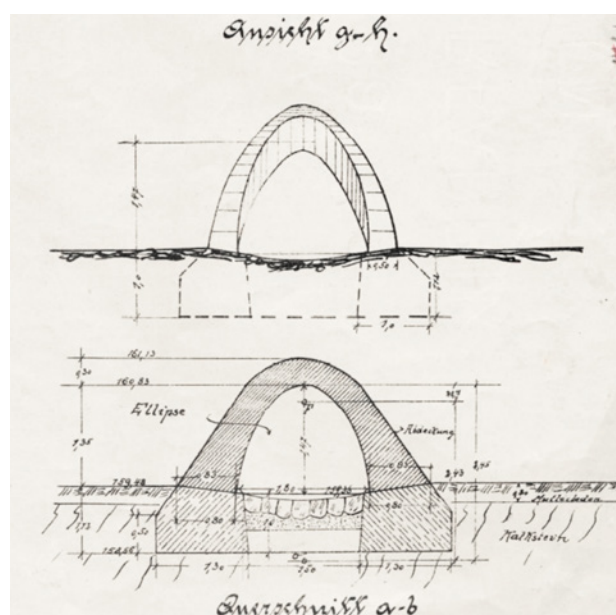
W niniejszym artykule autorzy skupili się na zagadnieniach dotyczących trwałości betonowych i żelbetowych przepustów oraz mostów ekologicznych w aspekcie eksploatacyjnym oraz przedstawili najistotniejsze problemy dotyczące trwałości tych konstrukcji.

1. Wprowadzenie

Trwałość materiału, z którego wykonana jest konstrukcja przepustu (rura lub inne elementy konstrukcyjne [2]), jest równie ważna jak jego zdolność do wykonywania zamierzonych funkcji hydraulicznych lub ekologicznych. W tym przypadku zdolność do pełnienia założonych parametrów eksploatacyjnych przez ekonomicznie akceptowalny okres jest podstawowym parametrem inżynierskim. Niestety szacowanie trwałości samego przekroju konstrukcyjnego przepustu wykonanego z betonu nie może być wykonane z takim samym stopniem dokładności, jak w przypadku określania parametrów hydraulicznych.

Trwałość ogólna konstrukcji przepustu dotyczy w głównej mierze charakterystyk wytrzymałościowych i strukturalnych betonu. Dotychczas przeprowadzono wiele badań w celu określenia zunifikowanej trwałości cienkościennych konstrukcji betonowych zagłębionych w gruncie. Jednakże zróżnicowany charakter warunków eksploatacyjnych (czynniki atmosferyczne, rodzaj gleby, warunki geologiczne, zanieczyszczenia chemiczne itp.) uniemożliwia rozwój systematycznego i praktycznego przewidywania trwałości tych konstrukcji z większą dokładnością. Problem dotyczy również postrzegania omawianych konstrukcji przez zarządców dróg i linii kolejowych. Powszechnie (na szczęście nie jest to regułą) przyjmuje się, że rura przepustu musi mieć trwałość praktycznie nieograniczoną.

Należy brać pod uwagę, że wiele z tych obiektów to obiekty zabytkowe, często o wyjątkowej wartości historycznej i technicznej (pomimo że z uwagi na ich lokalizację i założoną niedostępność ich walory architektoniczne nie są doceniane) [3]. W przypadku



Ryc. 1. Przykład rysunku wykonawczego zabytkowego przepustu z betonu niezbrojonego z XIX w. Na rysunku można zaobserwować stosowaną ówczesnie grubość konstrukcyjną sklepienia wynoszącą 0,50–0,80 m, źródło: archiwum Z. Kubiaka

obiektów budowanych w XIX i na początku XX w. wyznacznikiem ich trwałości (pomijając poziom zaawansowania metod obliczeniowych) była głównie grubość elementów konstrukcyjnych oraz dążenie do naprężeń jednego znaku. Przykład schematu takiego obiektu zabytkowego przedstawiono na rycinie 1.

Obecnie, biorąc pod uwagę rozwój technologii i materiałów, w dalszym ciągu nie istnieje żaden znany materiał całkowicie obojętny na działanie chemiczne i odporny na fizyczną degradację strukturalną. Beton w środowisku o małej agresywności wyróżnia się dużą trwałością. Jednakże, biorąc pod uwagę specyfikę konstrukcji przepustów komunikacyjnych wykonanych z tego materiału i złożone warunki eksploatacyjne, ich trwałość w kontekście niezawodności nabiera szczególnego znaczenia [4, 5].

Dotyczy to również coraz częściej budowanych w ciągu autostrad i dróg ekspresowych mostów ekologicznych wykonanych w tej technologii. W tym przypadku, w odróżnieniu od klasycznych konstrukcji mostowych, mamy do czynienia ze specyficznym rodzajem zastosowanej nawierzchni biologicznie czynnej. Przykładem może być tutaj konstrukcja przejścia dla zwierząt przedstawiona na rycinie 2.



Ryc. 2. Przykład żelbetowej, masywnej konstrukcji ramowej przejścia dla zwierząt, fot. A. Wysokowski

Jak autorzy wielokrotnie podkreślali, trwałość tych obiektów jest kluczowa dla ich długotrwałej skuteczności i efektywności w zapewnianiu ciągłości ekosystemów oraz minimalizowaniu ryzyka kolizji pomiędzy zwierzętami a pojazdami [6].

Trwałość wykonanych z betonu dużych przejść dla zwierząt jest w dużej mierze uzależniona od odpowiedniego odizolowania zasadniczej konstrukcji żelbetowej od warstw biologicznie czynnych [1, 7]. Oznacza to, że istotne jest zabezpieczenie konstrukcji betonowej przed działaniem czynników korozyjnych, takich jak wilgoć i substancje chemiczne obecne w glebie. W pierwszej kolejności osiąga się to przez zastosowanie odpowiednich materiałów ochronnych, jak powłoki, farby lub inne środki zapobiegające degradacji betonu. Jednak jednym z istotnych wyzwań w przypadku takich przejść jest fakt, że ich nawierzchnia jest przepuszczalna. W przeciwieństwie do sklepionych konstrukcji gruntowo-powłokowych, gdzie woda sprawnie jest odprowadzana do systemów drenarskich, nawierzchnia betonowych przejść dla zwierząt wymaga zastosowania odpowiednich rozwiązań, które umożliwią skuteczne odprowadzenie wód opadowych z powierzchni przejścia. Niekontrolowany, zalegający na nawierzchni stale wilgotny obszar może przyczynić się do uszkodzenia betonu oraz sprzyjać rozwojowi korozji.

W związku z tym, planując i konstruując betonowe przejścia dla zwierząt, istotne jest uwzględnienie systemów odwodnienia i drenażu, które skutecznie odprowadzą wody opadowe. Mogą to być rowy odwadniające, specjalne otwory odpływowe czy inne rozwiązania techniczne, które zapobiegą zaleganiu wody na nawierzchni biologicznie czynnej. Również regularna konserwacja i utrzymanie takich przejść, włącznie z regulacją wegetacji roślinności, pomoże w zachowaniu ich trwałości i funkcjonalności na dłuższy okres.

2. Główne czynniki mające wpływ na trwałość konstrukcji betonowych i żelbetowych przepustów

Specyficzne czynniki eksploatacyjne (fizyczne i chemiczne), które mogą być agresywne wobec elementów betonowych i żelbetowych, łącznie odpowiadają za praktycznie wszystkie obserwowane mankamenty strukturalne dotyczące trwałości tych elementów. W przypadku rurociągów zagłębionych w gruncie jednoczesne występowanie tych czynników jest mało prawdopodobne (np. stała temperatura, mało zmienne warunki gruntowo-wodne) [8], jednakże w przypadku przepustów komunikacyjnych oraz ekomostów wykonanych w technologii betonowej połączenie tych negatywnych czynników jest wysoce prawdopodobne, tym samym mogą one spowodować rzeczywiste problemy z trwałością tych obiektów [9, 10].

Dodatkowo obecnie notujemy coraz większą liczbę anomalii oraz ekstremalnych zdarzeń klimatycznych, sejsmicznych i eksploatacyjnych. Dlatego też opracowywanie i wdrażanie nowych materiałów, technologii i systemów do projektowania, budowy, eksploatacji i utrzymania przepustów jest kluczowe w celu zapewnienia niezawodnego funkcjonowania transportu w warunkach niekorzystnych i ekstremalnych.

Poniżej autorzy zestawili podstawowe czynniki, które mają bezpośredni wpływ na trwałość omawianych konstrukcji. Poparte zostały one praktycznymi przykładami wynikającymi z własnych doświadczeń autorów.

2.1. Oddziaływanie agresywnych czynników środowiskowych

W prawie wszystkich procesach chemicznych i fizycznych wpływających na trwałość konstrukcji betonowych biorą udział dwa dominujące czynniki: woda w obrębie porów betonu i spękania strukturalne. W przypadku przepustów betonowych należy dodatkowo brać pod uwagę czynniki wynikające ze wspomnianych wcześniej złożonych warunków eksploatacji, m.in. są to:

- duża liczba cykli zamrażania i rozmrażania,
- wpływ soli odladzających,
- penetracja związków chemicznie agresywnych z ośrodka gruntowego,
- reakcja alkaliczno-krzemionkowa w betonie,
- karbonatyzacja betonu w związku z przenikaniem CO₂,
- wpływ agresywnych wód ciekłego wodnego,
- korozja biologiczna.

Równoczesne działanie tych czynników należy do najbardziej krytycznego procesu degradacji betonu, gdyż może doprowadzić do całkowitego zniszczenia elementu w relatywnie krótkim czasie [11]. Opisywane negatywne zjawiska chemiczne związane z trwałością żelbetu są dobrze znane i opisane w literaturze technicznej, m.in. w pracach [12–15].

Według opisywanych w literaturze przedmiotu doświadczeń wielu specjalistów od betonu, w tym tych tworzących Eurokod

w 1992 r., prawidłowo zaprojektowany i wykonany beton, przy odpowiedniej otulinie prętów zbrojeniowych, stanowi jedną z najlepszych metod ochrony stali przed korozją (zob. prace Steena Rostama, np. [16]).

Jednak, jak uczy doświadczenie, przy nieodpowiednich jego parametrach wyjściowych, z czasem eksploatacji w trudnych warunkach ekspozycji, beton zmienia swoje właściwości chemiczne i przy nieodpowiedniej grubości otuliny prętów staje się agresywny dla stali. Z tego względu zamiast stanowić ochronę antykorozyjną prętów stali zbrojeniowej, jego sąsiedztwo przyspiesza ich korozję. Produkty korozji, zwiększając swoją objętość, rozsadzają otulinę betonową, która w pierwszej fazie tego procesu pęka, a następnie odpada i odsłania pręty zbrojeniowe. Przykłady uszkodzeń tego typu przedstawiono na rycinach 3 i 4.



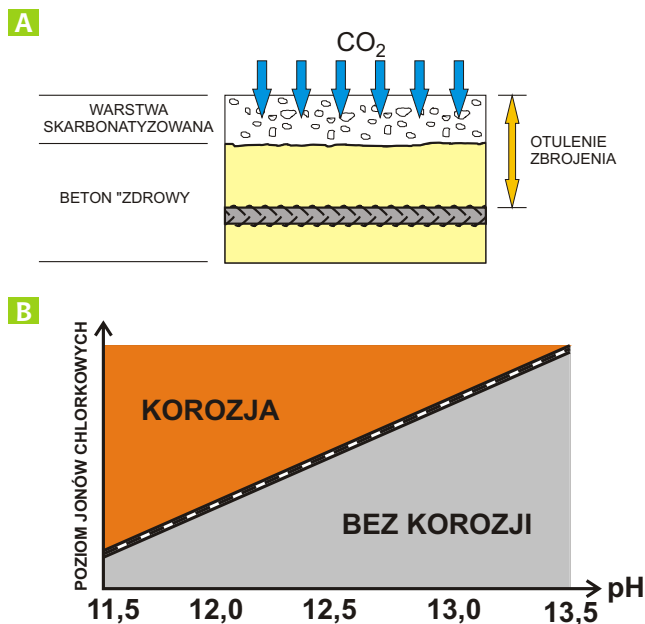
Ryc. 3. Przykład odsłoniętych i skorodowanych prętów zbrojeniowych stropu przepustu żelbetowego na skutek obniżenia pH betonu, fot. A. Wysokowski



Ryc. 4. Przykład degradacji warstwy przypowierzchniowej skrzydła żelbetowego. Widoczne charakterystyczne regularne ubytki otuliny betonowej na skutek obniżenia pH betonu i oddziaływania produktów korozji prętów zbrojeniowych, fot. A. Wysokowski

Na podstawie licznych doświadczeń należy stwierdzić, że taka degradacja betonu przepustu, szczególnie o mniejszych średnicach, powoduje często brak możliwości skutecznej naprawy konstrukcji. Wynika to z faktu, że zmiany chemiczne, które nastąpiły w betonie, są nieodwracalne. Powierzchniowa naprawa, bez skucia i usunięcia zdegradowanego betonu aż do betonu o właściwych parametrach ochronnych dla stali zbrojeniowej, jest najczęściej nieskuteczna. Następuje wtedy dalsza degradacja uszkodzonych miejsc pomimo wykonanej naprawy konstrukcji betonowych, czasami dużym nakładem (ryc. 5).

Podstawowym czynnikiem obniżającym pH betonu konstrukcyjnego jest proces nazywany karbonatyzacją. Jest to przemiana tlenku wapnia (CaO) lub jego wodorotlenku (CaOH) w węglan wapnia (CaCO₃) na skutek obecności w powietrzu dwutlenku



Ryc. 5. Mechanizm degradacji otuliny betonowej: a) wpływ CO₂ na karbonatyzację warstwy przypowierzchniowej betonu, b) zależność pomiędzy zawartością jonów chlorkowych a pH betonu, oprac. A. Wysokowski

węgla (CO₂). Rozpuszczony w wodzie obecny w betonie wodorotlenek wapnia reaguje z dwutlenkiem węgla obecnym w powietrzu, tworząc węglan wapnia.

Analizując schemat degradacji betonu, należy dodać, że woda w porach uwodnionego cementu jest silnie zasadowa (pH w zakresie od 12 do 13). Zasadowość tej wody w porach betonu zapewnia podwójny efekt, polegający na zapewnieniu ochronnej warstwy pasywacyjnej wokół stali zbrojenia, zapobiegając korozji i tworząc proces określany jako autogeniczne gojenie [17]. W tym procesie woda przepływająca przez beton zostaje nasycona wodorotlenkiem wapnia. Ze względu na warunki eksploatacyjne betonowych obiektów zagłębionych w gruncie, w szczególności konstrukcji przepustów, zjawisko to nabiera szczególnego znaczenia. Po ekspozycji na działanie dwutlenku węgla z powietrza części wewnętrznej przepustu (rury lub przekroju skrzynekowego) na powierzchni mikropęknięć wodorotlenek wapnia jest przekształcany w mniej rozpuszczalny węglan wapnia. Substancja ta wytrąca się na powierzchni pęknięcia, a powolny proces osadzania ostatecznie wypełnia pęknięcie lub pustkę w betonie, jednocześnie uszczelniając strukturę betonu.

Zjawisko to jest powszechne w konstrukcjach żelbetowych znajdujących się w ośrodku gruntowym ze względu na obecność wilgoci zarówno po stronie gruntu, jak i wewnątrz samej rury osłonowej. Zjawisko to pomimo miejscowego częściowego doszczelnienia świadczy o degradacji wewnętrznej struktury betonu i stanowi niepożądany efekt w ogólnej ocenie elementu konstrukcyjnego. Na rycinie 6 pokazano powierzchnię betonową przepustu po ponad 70 latach eksploatacji z oznakami opisywanego zjawiska.

Kolejnym czynnikiem o równie dużym znaczeniu dla trwałości przepustów betonowych jest obecność i poziom zawartości chlorków w betonie. Podobnie jak w poprzednim przypadku, zjawisko to jest dobrze rozpoznane i opisane w literaturze technicznej. Jednak pomimo jego dużego znaczenia nadal poświęca się mu zbyt mało uwagi. Zawartość chlorków w betonie jest o tyle groźna, że powoduje zarówno korozję betonu, jak i stali. Wynika to głównie ze stosowania środków do zwalczania goło-



Ryc. 6. Przykład skrajnego efektu wytrącania się produktów pasywacyjnych na powierzchni betonowej przepustu drogowego. Widoczna degradacja i obniżenie estetyki powierzchni betonowej przy jednoczesnym doszczelnieniu powstałych spękań na skutek tzw. autogenicznego gojenia – doszczelnienia spękań produktami reakcji chemicznych, fot. A. Wysokowski

ledzi, zwłaszcza chlorku sodu i chlorku wapnia. Znajdują się one w większym stężeniu na powierzchni zewnętrznych elementów przepustów (głowic i skrzydeł na wlotach i wylotach), co jest szczególnie groźne dla ich elementów wykończeniowych i samych skrajnych żelbetowych elementów konstrukcyjnych przepustu.

2.2. Mrozoodporność konstrukcji betonowych

Uszkodzenia spowodowane zamarzaniem i rozmarzaniem przez wodę przenikającą do betonu w przypadku konstrukcji przepustów są równie ważne z punktu widzenia ich trwałości. Naprężenia rozciągające powstające w wyniku zwiększania objętości wody w porach niszczą strukturę betonu. Tempo degradacji jest uzależnione głównie od liczby cykli zamrażania i rozmrażania i ich częstotliwości w funkcji czasu, a także od wielu czynników towarzyszących. Dodatkowa ekspozycja atmosferyczna powierzchni betonowej przepustu w rezultacie powoduje zwiększenie powierzchni parowania. To z kolei wywołuje efekt koncentracji i krystalizacji różnych rozpuszczalnych soli w strukturze porów betonu, co powoduje dodatkowo przyspieszony efekt erozji.

W przypadku przepustów o mniejszych średnicach oraz o znacznej długości zjawisko to jest ograniczone ze względu na zmniejszone oddziaływanie niskich temperatur wewnątrz przepustu otoczonego ośrodkiem gruntowym. W przypadku przepustów o większych średnicach zjawisko to jest powszechne, dlatego też przy doborze klasy i właściwości fizycznych betonu lub jakości gotowych elementów prefabrykowanych należy je bezwarunkowo uwzględnić. Warto dodać, że obecnie produkowane betonowe elementy prefabrykowane wysokiej jakości odznaczają się doskonałą odpornością na te negatywne zjawiska. Mrozoodporność betonu w tym przypadku jest zwiększona przez wprowadzenie do mieszanek specjalnych dodatków powierzchniowo czynnych o działaniu hydrofilizującym. Dodatki te, uplastyczniając mieszanki betonowe, zmniejszają ilość potrzebnej wody zarobowej, a zatem również liczbę otwartych porów w stwardniałym betonie, oraz sprzyjają tworzeniu się w nim porów zamkniętych. Na mrozoodporność betonu wpływa w pewnym stopniu mrozoodporność samego kruszywa. Praktyka wykazuje, że po to, aby rozpoczął się proces niszczenia betonu wskutek małej mrozoodporności grubego kruszywa, musi najpierw ulec zniszczeniu i złuszczyć się warstwa zaprawy cementowej, narażając na bezpośrednią ekspozycję ziarna kruszywa.

2.3. Nasiąkliwość konstrukcji betonowych

Jak powszechnie wiadomo, niska nasiąkliwość betonu zbrojonego jest ważna dla jego odporności na korozję zbrojenia. Niektóre agresywne czynniki osłabiają i degradują beton stopniowo od powierzchni, inne wnikają w głąb betonu, niekoniecznie zmniejszając jego wytrzymałość, ale ostatecznie neutralizują zdolność betonu do ochrony zbrojenia przed korozją. Należy jednocześnie dodać, że beton o małej nasiąkliwości ma również tendencję do zatrzymywania wilgoci, co pomaga w kontynuowaniu zjawiska hydratacji w początkowym okresie wiązania mieszanek betonowych pomimo wpływu dalszego cyklu zwilżania i suszenia.

Beton o wysokiej wytrzymałości charakteryzuje się niewielką pustą przestrzenią zdolną do gromadzenia nadmiaru wody, stąd poziom absorpcji wody jest często wskaźnikiem jakości betonu. Aby zademonstrować opisywane właściwości, autorzy posłużyli się typowym przykładem z literatury przedmiotu [18]. Opisuje on wpływ stosunku wody do cementu na trwałość warstwy powierzchniowej w aspekcie głębokości jej karbonatyzacji. Zależności te zostały powiązane z klasą wytrzymałości, jak pokazano w tabeli 1.

Tab. 1. Głębokości karbonatyzacji betonu w zależności od wytrzymałości oraz stosunku w/c [18]

| Wytrzymałość betonu [MPa] | | 32 | 40 | 50 | 60 |
|-------------------------------|---------------|-------|-------|------|------|
| Stosunek w/c | | 0,63 | 0,52 | 0,43 | 0,37 |
| Głębokość karbonatyzacji [mm] | po 50 latach | 29,30 | 17,70 | 6,20 | 1,90 |
| | po 100 latach | 41,50 | 25,00 | 8,80 | 2,70 |

Szybkość postępu karbonatyzacji jest zależna zatem od stopnia szczelności betonu. Porowaty, nieuszczelniony lub spękany beton umożliwia przyspieszenie negatywnego procesu karbonatyzacji. Można więc stwierdzić, że im „lepszy” i szczelniejszy beton, tym problem karbonatyzacji jest bardziej ograniczony, co podnosi trwałość betonu, którego utrzymanie nie wymaga specjalistycznych zabiegów.

2.4. Hydrokinetyka i hydrologia w obrębie konstrukcji

W przypadku konstrukcji betonowych zagłębionych w gruncie często pomijanym aspektem mającym wpływ na trwałość tych obiektów jest oddziaływanie wód znajdujących się w ośrodku gruntowym. Zjawisko to należy w tym przypadku rozpatrywać jako zdolność przenikania wody do elementów konstrukcyjnych przy jednoczesnym oddziaływaniu ciśnienia hydrostatycznego. Przy równym ciśnieniu wody po obu stronach ścianki rury lub konstrukcji skrzynkowej stabilność hydrostatyczna zostaje osiągnięta i zjawisko to jest ograniczone. W przypadku różnicy ciśnień gradient hydrauliczny powoduje ruch wody przez strukturę ścianki. Ma to szczególne znaczenie w przypadku przepustów



Ryc. 7. Przykład przecieków agresywnej wody przez ściany i strop konstrukcji drogowego przepustu skrzynkowego na skutek wieloletniego oddziaływania wód gruntowych (obiekt znajduje się w lokalnym zagłębieniu terenu), fot. J. Howis

drogowych, gdzie niejednokrotnie woda opadowa jest nasycona solami pochodzącymi z zimowego utrzymania nawierzchni drogowych. Na rycinie 7 przedstawiono przykład oddziaływania ciśnienia hydrostatycznego wód gruntowych na ściany przepustu drogowego o konstrukcji skrzynkowej.

W celu ograniczenia opisywanego zjawiska istnieje konieczność stosowania dodatkowych warstw doszczelniających zewnętrzne powierzchnie przepustów w postaci hydroizolacyjnych powłok malarskich typu ciężkiego lub izolacji arkuszowych. Dodatkowo w przypadku typowych elementów prefabrykowanych stosowane są taśmy uszczelniające w obrębie styków elementów (w strefie zamków prefabrykatów).

2.5. Oddziaływanie cieku wodnego na konstrukcję dna

W przypadku przepustów komunikacyjnych wykonanych w technologii betonowej prędkość wód i ścieków sama w sobie nie stwarza znacznych problemów eksploatacyjnych. Biorąc pod uwagę liczne doświadczenia ze świata, graniczną prędkością wód dla przepustów betonowych jest 12.0 m/s. Należy oczywiście brać pod uwagę dodatkowe parametry, m.in. charakterystykę przenoszonych materiałów, które powodują stopniową erozję dna przepustu, oraz częstotliwość występowania zwiększonych prędkości przepływów.

Dla powierzchni betonowych powyżej opisanej prędkości może wystąpić efekt kawitacji, co znacznie potęguje zjawisko erozji (ścieranie powierzchni). Ma to szczególne znaczenie w przypadku terenów górskich oraz w przepustach będących elementami systemów kanalizacji sanitarnej lub burzowej.

Na rycinie 8 zamieszczono przykład częściowej destrukcji powierzchni dna na skutek turbulentnego przepływu wody przez przepust betonowy. Natomiast na rycinie 9 przedstawiono



Ryc. 8. Przykład turbulentnego przepływu wody przez przepust betonowy. Widoczne lokalne uszkodzenia na skutek abrazji dna rur osłonowych (widoczne szare przebarwienia), fot. J. Howis



Ryc. 9. Przykłady osadów w postaci materiału mineralnego stanowiącego podstawowe zagrożenie dla trwałości dna i parametrów przepływu w betonowych rurach osłonowych przepustów komunikacyjnych, fot. A. Wysokowski

przykładowe osady mineralne jako główny czynnik wpływający negatywnie na parametry przepływu i zjawisko abrazji.

W celu ochrony rur osłonowych przed opisywanym zjawiskiem możliwe jest zastosowanie konstrukcji prefabrykowanych o lepszych parametrach wytrzymałościowych (klasie betonu), które z założenia posiadają większą odporność na ścieranie.

Dodatkowo, co autorzy opisali m.in. w artykule [4], istnieje możliwość stosowania specjalnych wkładek z tworzyw sztucznych w miejscu narażonym na zjawisko abrazji (strefa dna przepustu) lub na całym obwodzie wewnętrznym rury osłonowej. Wkładki te są zespalane z konstrukcją rury na etapie jej produkcji i charakteryzują się również wysoką odpornością na agresywne związki chemiczne.

3. Poziom utrzymania konstrukcji betonowych i żelbetowych

Współczesna infrastruktura drogową, podążając za dynamicznym wzrostem ruchu samochodowego, nieustannie stawia przed nami wyzwania związane z utrzymaniem i konserwacją konstrukcji przepustów betonowych i żelbetowych. Poziom utrzymania tych przepustów odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu ich trwałości, bezpieczeństwa użytkowników dróg oraz minimalizacji kosztów eksploatacji.

Konstrukcje przepustów drogowych, w tym te wykonane z betonu i żelbetu, są narażone na wiele wspomnianych wcześniej w artykule czynników zewnętrznych, takich jak zmienne warunki atmosferyczne, obciążenia dynamiczne, korozja i erozja. Właściwy poziom utrzymania i konserwacji stanowi kluczowy element w zachowaniu integralności tych struktur. Regularne przeglądy i konserwacja pozwalają na wczesne wykrywanie ewentualnych uszkodzeń, co umożliwia szybką interwencję naprawczą oraz minimalizację dalszego rozwoju problemów.

Jednym z istotnych aspektów utrzymania przepustów jest konieczność regularnego udrożniania. Dzięki temu zapobiega się spiętrzeniu wody przed lub za przepustem, co z kolei minimalizuje potencjalne ryzyko uszkodzeń strukturalnych oraz zwiększa bezpieczeństwo na drogach. Spiętrzona woda może prowadzić do nadmiernego nacisku na przepust oraz może destabilizować nasypy drogowy. Regularne czyszczenie przepustów pozwala na swobodny przepływ wód opadowych i roztopowych, redukując ryzyko erozji i osadzania się zanieczyszczeń. Typowe problemy tego rodzaju zilustrowano na rycinach 10 i 11.

Trwałość konstrukcji przepustów betonowych i żelbetowych w dużej mierze zależy od zdolności do szybkiej i skutecznej identyfikacji uszkodzeń. Przy odpowiedniej diagnostyce można



Ryc. 10. Negatywny przykład utrzymania przepustu drogowego (przykład z Ameryki Południowej), fot. A. Wysokowski



Ryc. 11. Przykład przepustu dwuotworowego z ograniczonym światłem jednej z rur osłonowych powodującym częściowe spiętrzenie wody na wlocie przepustu, fot. A. Wysokowski

wykręć pęknięcia, korozję, ubytki materiału oraz inne problemy, zanim staną się one poważniejsze i bardziej kosztowne w naprawie. Wczesna interwencja pozwala na zastosowanie skutecznych metod naprawczych, minimalizując konieczność długotrwałych i kosztownych remontów.

Utrzymanie i konserwacja konstrukcji przepustów betonowych i żelbetonowych to kluczowy element zapewnienia bezpieczeństwa i trwałości infrastruktury drogowej. Właściwie prowadzona konserwacja umożliwi kontrolę stanu technicznego i identyfikację potencjalnych problemów. Regularne udrożnianie przepustów zapobiega spiętrzeniu wody oraz minimalizuje oddziaływanie wód na rury przepustów i nasypy drogowe. Wszystko to składa się na optymalne funkcjonowanie sieci drogowej i ograniczenie kosztów związanych z naprawami i renowacjami.

4. Zabezpieczenie antykorozyjne betonu

W obliczu wymagających warunków środowiskowych, na jakie narażone są konstrukcje przepustów drogowych, zabezpieczenie antykorozyjne betonu staje się równie ważnym elementem w zapewnieniu ich trwałości. Korozja może prowadzić do degradacji strukturalnej, osłabienia nośności i skrócenia cyklu życia przepustów. W odpowiedzi na te wyzwania rozwijane są innowacyjne metody zabezpieczeń antykorozyjnych, które skutecznie opóźniają procesy degradacji i tym samym kosztowne zabiegi utrzymaniowe.

Zabezpieczenia antykorozyjne mają głównie za zadanie stworzyć barierę ochronną pomiędzy betonem a szkodliwymi czynnikami, chroniąc w ten sposób przed korozją, która mogłaby osłabić strukturę betonu.

Współczesne metody zabezpieczeń antykorozyjnych betonu przepustów drogowych opierają się na innowacyjnych technologiach, które wydłużają żywotność konstrukcji. Jedną z tych metod jest hydrofobizacja, czyli nanoszenie powłok hydrofobowych na powierzchnię betonu. Te hydrofobowe warstwy działają jako bariera przeciwko penetracji wody i agresywnych związków chemicznych, ograniczając wnikanie wilgoci i substancji korodujących w strukturę betonową. Przykład powierzchni betonowej przejścia dla zwierząt przygotowanej do aplikacji dodatkowych środków zabezpieczających w trakcie budowy przedstawiono na rycinie 12.

W przypadku przepustów prefabrykowanych oraz konstrukcji stosowanych w metodach bezwykopowych coraz w większym stopniu stosuje się specjalne domieszki do betonu, które podnoszą jego wytrzymałość i odporność na korozję w strefie przypowierzchniowej. Te domieszki mogą zawierać dodatki chemiczne,



Ryc. 12. Przykład powierzchni betonowej przejścia dla zwierząt przygotowanej do aplikacji dodatkowych środków zabezpieczających w trakcie budowy, fot. A. Wysokowski

włókna lub specjalne plastyfikatory, które wzmacniają strukturę betonu oraz zwiększają jego odporność na oddziaływanie czynników zewnętrznych.

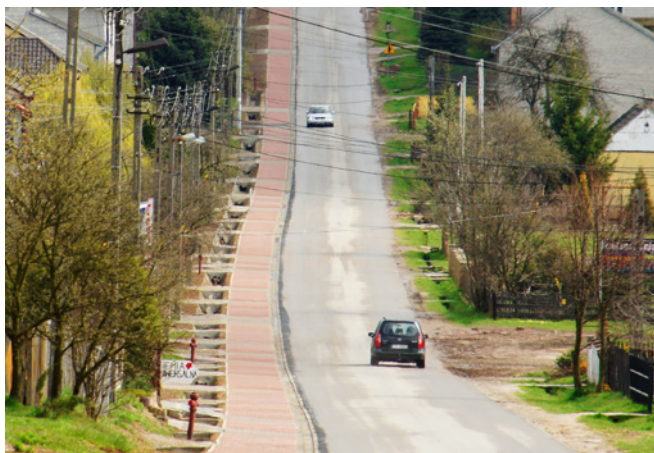
5. Podsumowanie i wnioski

Wieloletnie doświadczenia z eksploatacji przepustów wykonanych z betonowych rur i przekrojów skrzynkowych zdecydowanie potwierdzają dużą trwałość tych konstrukcji. Jednakże podobnie jak w przypadku mostowych obiektów żelbetonowych, trwałość tych elementów głównie zależy od warunków użytkowania i agresywnych czynników środowiskowych, a nie tylko jest wynikiem dobrej trwałości materiału konstrukcyjnego.

Należy mieć świadomość, że nawet krótka przerwa w użytkowaniu przepustu, będąca wynikiem degradacji jego struktury (np. awarii) lub braku właściwego utrzymania, może powodować poważne niedogodności w funkcjonowaniu infrastruktury i skutkować znaczącymi kosztami. Z tego względu proces projektowania, wykonawstwa i późniejszego utrzymania tych konstrukcji tworzą mechanizm, który ma na celu zagwarantowanie, niezakłóconego funkcjonowania w jak najdłuższym czasie.

Na rycinie 13 przedstawiono odcinek drogi w terenie zabudowanym z licznymi zjazdami do posesji z użyciem przepustów zlokalizowanych w ciągu przydrożnego rowu odwadniającego. Liczba tych obiektów dobrze ilustruje ważność omawianej tematyki. Należy podkreślić, że jakkolwiek awaria lub ograniczenie światła pojedynczej konstrukcji przepustu implikuje poważne problemy eksploatacyjne wskazanego odcinka drogi, szczególnie podczas intensywnych opadów atmosferycznych.

Oprócz właściwości wytrzymałościowych i hydraulicznych niezwykle ważne jest uwzględnienie trwałości zbrojonych rur betonowych już na etapie projektowania. Zdaniem autorów, biorąc pod uwagę doświadczenie dotyczące zarówno



Ryc. 13. Przykład jednego z odcinków drogi powiatowej w terenie zabudowanym. Widoczne liczne przepusty pod zjazdami do posesji potwierdzają ważność omawianej problematyki, fot. A. Wysokowski

projektowania samych konstrukcji, jak również mieszanek betonowych, do podstawowych elementów trwałego betonu należą:

- trwałe kruszywa, które są odpowiednio dobrane, badane oraz składowane;
- skrupulatne przestrzeganie zasad projektowania mieszanki;
- efektywny stosunek wody do cementu w betonie;
- skuteczne zagęszczanie, szczególnie w przypadku mieszanek o niskiej urabialności;
- zachowanie odpowiedniej grubości otuliny betonowej, zgodnie ze średnicą zbrojenia;
- pełna kontrola dojrzewania betonu;
- odpowiednie systemy zapewnienia jakości na etapie produkcji i wykonawstwa.

Równie ważnym elementem mającym wpływ na trwałość eksploatacyjną konstrukcji przepustów komunikacyjnych, oprócz jakości samych rur osłonowych, jest odpowiednie wyposażenie tych obiektów. Biorąc pod uwagę praktykę inżynierską, należy stwierdzić, że to właśnie elementy wyposażenia w pierwszej kolejności ulegają uszkodzeniom, a nie same konstrukcje rur przepustów. Dlatego też zdaniem autorów w przypadku budowy nowych obiektów w większym stopniu powinno się stosować elementy wyposażenia wykonane w technologii prefabrykowanej, które, jak już wspomniano w artykule, charakteryzują się zwiększoną trwałością i odpornością na negatywne czynniki eksploatacyjne.

Należy podkreślić, że rozwój nowych technologii oraz coraz bardziej precyzyjne dopracowywanie składów mieszanek betonowych w kontekście ich parametrów trwałościowych, a nie wyłącznie wytrzymałościowych, przynosi wiele pozytywnych rezultatów. Trwałość konstrukcji przepustów betonowych oraz żelbetonowych zagłębionych w gruncie ulega zatem istotnej poprawie [19]. Ten korzystny trend dotyczy nie tylko samych materiałów, lecz także ogólnej poprawy jakości wykonawstwa tych obiektów oraz elementów ich wyposażenia.

W kontekście globalnych dążeń do zrównoważonego rozwoju warto podkreślić, że podejście to przyczynia się do wzrostu niezawodności infrastruktury komunikacyjnej w naszym kraju [20]. Wysokiej jakości konstrukcje betonowe, które cechuje duża trwałość, wymagają mniejszej liczby napraw i renowacji w przyszłości, co prowadzi do redukcji generowanego śladu ekologicznego. Zatem trwałość takich konstrukcji przekłada się bezpośrednio na oszczędności zarówno finansowe, jak i środowiskowe.

Literatura

- [1] Wysokowski A., Pryga A.: *Trwałość eksploatacyjna podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. Materiały V Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej Problemy Projektowania, Budowy oraz Utrzymania Mostów Małych i Średnich Rozpiętości. Wrocław 2004.
- [2] Gustowski Z., Łęgosz A.: *Instrukcja opisu przepustów*. Biblioteka Systemu Gospodarki Mostowej 3.0. GDDP. Żmigród 1996 (seria pod redakcją A. Wysokowskiego).
- [3] Wysokowski A., Howis J.: *Trwałość przepustów komunikacyjnych*. „Materiały Budowlane” 2013, nr 5, s. 21–24.
- [4] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej. Tradycja i nowoczesność*. Materiały II Międzynarodowej Konferencji Mostowej im. Rudolfa Modrzejewskiego Mosty, Tradycja i Nowoczesność. Bydgoszcz 2010.
- [5] Wysokowski A., Madryas C., Howis J.: *Stosowanie rurowych elementów betonowych jako przejść dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej*. Materiały konferencji Dni Betonu 2008 Tradycja i Nowoczesność. Wisła, październik 2008. Polskie Stowarzyszenie Producentów Cementu. Kraków 2008.
- [6] Wysokowski A., Machelski C., Howis J.: *Ekologiczne obiekty gruntowo-powłokowe w budownictwie komunikacyjnym*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2022.
- [7] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty i mosty ekologiczne – cz. 28. Trwałość gruntowo-powłokowych przepustów i mostów ekologicznych ze stalowych blach falistych*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2023, nr 2, s. 82–87.
- [8] Kuliczowski A.: *Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe*. Monografie, Studia, Rozprawy, nr 28. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej. Kielce 2001.
- [9] Bień J.: *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2010.
- [10] Bęben D., Mańko Z.: *Typowe uszkodzenia obiektów mostowych*. „Polskie Drogi” 2005, nr 9, s. 38–43.
- [11] Ernens M., Cremer J.-M., Dotreppe J.-C.: *Cracking and durability of concrete slabs of composite bridges*. „IABSE reports” 1997, Vol. 999, pp. 187–192.
- [12] Jamroży Z.: *Beton i jego technologie*. PWN. Warszawa 2015.
- [13] Kurdowski W.: *Chemia cementu i betonu*. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2010.
- [14] Kurdowski W.: *Podstawy chemiczne mineralnych materiałów budowlanych i ich właściwości*. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2018.
- [15] Wysokowski A.: *Trwałość mostów stalowych w funkcji zjawisk zmęczeniowych i korozyjnych*. Studia i Materiały, z. 53. IBDiM. Warszawa 2001.
- [16] Rostam S.: *Reinforced concrete structures—shall concrete remain the dominating means of corrosion prevention?*. „Materials and Corrosion” 2003, Vol. 54, Issue 6, pp. 369–378.
- [17] Zając B., Gołębiowska I.: *Samoleczenie betonu. Cz. 1. Metody naturalne i chemiczne*. „Inżynieria i Aparatura Chemiczna” 2016, t. 55, nr 4, s. 160–161.
- [18] Beckett D., Snow F.: *Carbonation and its Influence on Durability of Reinforced Concrete Buildings*. „Construction Repairs and Maintenance” 1986 (January), pp. 14–16.
- [19] Jasiński W., Madryas C., Rowińska W., Wysokowski A.: *Metodyka badań betonowych żelbetonowych rur kanalizacyjnych oraz elementów prefabrykowanych studni kanalizacyjnych*. Materiały konferencji Dni Betonu Tradycja i Nowoczesność 2004. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2004.
- [20] Wysokowski A.: *Trwałość mostów stalowych*. PWN. Warszawa 2022.



Czytaj więcej



INFRASTRUKTURA KOMUNIKACYJNA

Sp. z o.o.

OBIEKTY INŻYNIERSKIE

MOSTY - PRZEPUSTY - PRZEJŚCIA DLA ZWIERZĄT



- **BADANIA**
- **EKSPERTYZY**
- **OPINIE TECHNICZNE**



- **SZKOLENIA**
- **WARSZTATY**



- **DORADZTWO TECHNICZNE**
- **PROJEKTOWANIE**
- **NADZORY**

ul. 1-go Maja 26
55-140 Żmigród

tel. kom. 603 97 44 17
infra-kom@infra-kom.eu

WWW.INFRA-KOM.EU