

# PRZEPUSTY i mosty ekologiczne

## Trwałość ceglanych przepustów i mostów ekologicznych



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

Z upływem lat następuje ciągły rozwój technologii stosowanych w budownictwie komunikacyjnym, co dotyczy także realizacji przepustów. Jednym z rozdziałów historii budowy tych obiektów jest wykorzystywanie konstrukcji ceglanych, które należą do grupy przepustów tradycyjnych. Szczególnie często wykonywane były na początku XX w., co wiąże się z długim okresem eksploatacji wielu z nich. Przy dalszym rozwoju technologicznym, zorientowanym na m.in. optymalizację procesu budowy oraz stosowanych konstrukcji, przy realizacji nowych przepustów wykorzystuje się obecnie inne, bardziej efektywne metody budowy tego rodzaju obiektów.

Niemniej jednak w ciągu dróg kołowych i linii kolejowych w naszym kraju w dalszym ciągu z powodzeniem eksploatowanych jest wiele tego typu obiektów. Są to najczęściej przepusty, a mosty ekologiczne w praktyce inżynierskiej stanowią wyjątek. Należy podkreślić, że zbudowane dawniej obiekty ceglane są z powodzeniem wykorzystywane przez herpetofaunę oraz małe ssaki i stanowią tym samym obiekty o funkcji zespolonej.

W niniejszym, jubileuszowym, już 30. artykule z serii o przepustach i mostach ekologicznych, autorzy przedstawili główne zagadnienia dotyczące trwałości istniejących przepustów ceglanych, a także omówili wybrane działania zwiększające trwałość tych konstrukcji.

### 1. Wprowadzenie

Jak już wielokrotnie autorzy wspominali, przepusty stanowią nieodzowny element infrastruktury komunikacyjnej zarówno w drogownictwie, jak i w kolejnictwie. Konstruowane są już od wielu lat w nasypach ciągów komunikacyjnych z wykorzystaniem materiałów i technologii stosowanych w poszczególnych okresach rozwoju tego typu konstrukcji. W związku z tym wśród przepustów występuje duża różnorodność konstrukcyjna i architektoniczna.

Tematem niniejszego artykułu są przepusty o konstrukcji ceglanej, które, podobnie jak przepusty kamienne i betonowe, są zaliczane do przepustów tradycyjnych. Wiele tego rodzaju konstrukcji zbudowano w XIX oraz na początku XX w., co wiązało się z rozbudową linii kolejowych oraz sieci dróg kołowych. Długi okres eksploatacji przepustów ceglanych wynika często z wpasowania się tych konstrukcji na stałe w otoczenie naturalne oraz z ich okresowego wykorzystywania przy niskich stanach wód jako dolnych przejść dla zwierząt, niejednokrotnie mimo



Ryc. 1. Przykład przepustu o konstrukcji mieszanej, ceglano-betonowej, który wykorzystywany jest jako dolne przejście dla zwierząt (widoczne tropy zwierząt kopytnych i drapieżników), fot. A. Wysokowski

małych wymiarów przekroju poprzecznego (bez uwzględnienia stosowanego obecnie współczynnika względnej ciasnoty [1]). Świadczą o tym liczne zaobserwowane ślady przemieszczania się zwierząt, w tym średnich ssaków. Przykład takiego obiektu pokazano na rycinie 1.

Z wykorzystaniem elementów drobnowymiarowych w postaci cegieł budowano całe konstrukcje przepustów lub poszczególne ich części, tworząc konstrukcje mieszane, np. ceglano-betonowe lub ceglano-kamienne. Obecnie nie wykonuje się już raczej przepustów o konstrukcji ceglanej m.in. z uwagi na ich słabsze parametry hydrauliczne, fizykochemiczne i wytrzymałościowe oraz wydłużony czas realizacji w stosunku do przepustów budowanych w innych technologiach. Jednak z uwagi na to, że w ciągu

dróg samochodowych i kolejowych wciąż zlokalizowanych jest jeszcze wiele przepustów ceglanych, zagadnienia związane z ich trwałością oraz metodami ich wzmacniania i renowacji są szczególnie istotne.

## 2. Czynniki wpływające na trwałość przepustów ceglanych

Liczba oraz lokalizacja przepustów ze względu na pełnione funkcje, obejmujące m.in. łączenie odcinków systemu odwodnienia oraz przeprowadzanie cieków wodnych, urządzeń technicznych, dróg o charakterze gospodarczym lub tras migracji zwierząt przez konstrukcję nasypu, jest uzależniona od warunków środowiskowych, przemysłowych i gospodarczych. Szacuje się, że w ciągu dróg samochodowych i kolejowych znajduje się łącznie 60 tys. przepustów. Liczba ta prawdopodobnie jest jednak zaniżona z uwagi na trudności w prawidłowej ewidencji tych obiektów [2, 3], często zlokalizowanych w miejscach trudno dostępnych, szczególnie w przypadku linii kolejowych. Z tego względu występują problemy z prawidłowym utrzymaniem przepustów, a ich stan techniczny zależy głównie od trwałości pierwotnie zrealizowanej konstrukcji oraz warunków eksploatacji. Właściwe utrzymanie tego typu obiektów jest także ograniczone z powodu częstego nieuwzględniania ich przez zarządców w planie finansowym bieżącego utrzymania obiektów mostowych i przepustów [3].

Poniżej zestawiono wybrane czynniki, które mają bezpośredni wpływ na trwałość omawianych konstrukcji przepustów ceglanych.

### 2.1. Zastosowana grubość elementów konstrukcyjnych

W przypadku przepustów ceglanych najczęściej stosowany przekrój poprzeczny konstrukcji stanowiło sklepienie. Przy mniejszych rozpiętościach wykonywano głównie sklepienia półkoliste, a czasem odcinkowe. W przepustach o większych rozpiętościach jako przekrój poprzeczny stosowano kształt łuku kosowego lub łuk zgodny z linią ciśnień. W początkowym okresie budowy przepustów ceglanych brakowało jednak dokładnych metod optymalizacji przekrojów poszczególnych elementów ich konstrukcji. Skutkowało to wykorzystywaniem intuicyjnego podejścia do wymiarowania tych obiektów i stosowaniem często zawyżonych wymiarów przy jednoczesnym dążeniu do naprężeń jednego znaku. Wiązało się to z powstawaniem zapasów nośności tych obiektów. Potwierdzeniem tego są liczne konstrukcje ce-



Ryc. 2. Przykład kolejowego przepustu ceglanego z początku XX w. o konstrukcji w postaci sklepienia półkolistego, zachowanego w dobrym stanie technicznym, fot. J. Howis

glane zachowane w dobrym stanie mimo zwiększenia obciążeń eksploatacyjnych działających na te obiekty, co przykładowo pokazano na rycinie 2.

W wielu przypadkach wyznacznik trwałości przepustów ceglanych może stanowić więc zastosowana grubość elementów konstrukcyjnych. Dopiero w wyniku wieloletnich doświadczeń i obserwacji zaczęto stosować różnego rodzaju wzory empiryczne przy ich projektowaniu. Jak podano już wcześniej, w trzeciej części niniejszego cyklu, która dotyczyła przepustów tradycyjnych [4], grubość sklepienia ceglanoego w kluczu  $d_0$  przyjmowano jako funkcję promienia krzywizny sklepienia  $r_1$  [5], która według Heinzerlinga wynosi:

- przy nadsypce  $h_1 \leq 1,5$  m  $d_0 = 0,43 + 0,028 r_1$ ,
- przy nadsypce  $h_1 \geq 1,5$  m  $d_0 = 0,051 + 0,033 r_1$ .

Grubość ścian przyczółków projektowano według wzorów Ebermaiera. Dla sklepienia półkolistego jako grubość ściany w mierzoną w środku wysokości przyczółka  $h$  przyjmowano:

- przy nadsypce  $h_1 \leq 2$  m  $w = 0,3 + 0,02l + 0,17h$ ,
- przy nadsypce  $h_1 \geq 2$  m  $w = (0,7 + 0,03l + 0,07h) \times (1 + 0,1h)$ .

Przyjęte wymiary sprawdzano następnie za pomocą wykresu linii ciśnienia, określającej przejście przez środek przekroju w kluczu, a na wezłowniu – czy leży poniżej środka przekroju przy sklepieniu obciążonym lub powyżej przy sklepieniu nieobciążonym. W fundamencie idealnym rozwiązaniem było przejście przez środek jego przekroju, a rozwiązaniem dopuszczalnym – znajdowanie się w jego obrysie.

Wraz z upływem lat i nowymi osiągnięciami w rozwoju techniki wykorzystywane metody projektowania przepustów ceglanych były doskonalone, a stosowane przekroje konstrukcji coraz bardziej optymalizowane.

### 2.2. Zastosowane materiały

Trwałość przepustów ceglanych zależy często od zastosowanych w ich konstrukcji materiałów – cegieł i zaprawy [6]. Cegła jest materiałem naturalnym, stosunkowo trwałym i odpornym na działanie wielu czynników zewnętrznych, w tym silnie agresywnych, ale pod wpływem erozji środowiskowej z czasem ulega powolnej destrukcji. Jako podstawowe przyczyny degradacji materiału ceglanoego można wymienić cykliczne oddziaływanie ujemnej temperatury, zanieczyszczenie surowców wykorzystanych w procesie produkcji, zanieczyszczenia pochodzące z procesu wypalania, a także oddziaływanie agresywnego środowiska zewnętrznego, np. przez wpływ łatwo rozpuszczalnych soli siarczanowych lub chlorkowych [7].

Najmniej trwałym elementem konstrukcji ceglanych są spoiny. W przypadku ich niewłaściwego utrzymania może dojść do wypadania i ubytków cegieł, szczególnie w kluczu konstrukcji lub w jej wezłowniach, co przykładowo przedstawiono na rycinie 3. Uszkodzenia spoin powstają często w wyniku postępującej korozji chemicznej i fizycznej. Proces degradacji tworzywa spoin może być spowodowany przez działanie wody przepływającej przez konstrukcję przepustu, przeciekanie i filtrację wody opadowej, a także przez wpływ wody przenikającej w głąb konstrukcji w wyniku podciągania kapilarnego. Może być również skutkiem przeciążenia konstrukcji lub innych wad, np. niskiej jakości materiałów zastosowanych do wykonania spoin. Istotny wpływ na trwałość przepustów ceglanych ma więc rodzaj użytej zaprawy. Powinna ona zapobiegać wnikaniu wody w głąb konstrukcji





Ryc. 3. Przykłady uszkodzeń przepustów w postaci ubytków spoin i cegieł, fot. A. Wysokowski



Ryc. 4. Przykłady wykwitów i nacieków na powierzchni konstrukcji przepustów ceglanych, fot. A. Wysokowski

murowanej, a także umożliwić jej odprowadzenie w przypadku, gdy dojdzie do przesączenia się wody [8].

W większości obiektów o konstrukcji ceglanej, w tym przepustów, już w początkowym okresie eksploatacji pojawiają się wykwitki. Uwarunkowane jest to jakością połączenia elementu murowanego z zaprawą, decydującego o szczelności na wnikanie wody deszczowej do wnętrza konstrukcji (ryc. 4).

Wykwitki powstają najczęściej na skutek wytrącania się soli w postaci krystalicznej z przesyconego roztworu solnego na powierzchni materiału, a także związków pochodzących z zapraw, głównie  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , lub też z niewłaściwie zabezpieczonych wkładek stalowych, które w obecności wody ulegają korozji i przetransportowane na powierzchnię tworzą naloty i nacieki [9]. Do czynników powodujących powstawanie wykwitów solnych należą m.in. [10]:

- obecność źródła soli rozpuszczalnych w wodzie,
- przenikanie do konstrukcji muru wody, w której zostały rozpuszczone sole,
- występowanie czynnika powodującego przenikanie roztworu soli.

Wieloletnia praktyka inżynierska autorów, wynikająca m.in. z wielu przeprowadzonych przeglądów tego typu konstrukcji, wskazuje, że oprócz skutków negatywnych wspomniane produkty wytrącania się związków na powierzchni murowanych posiadają właściwości uszczelniające strukturę nośną konstrukcji.

### 2.3. Jakość wykonania obiektu

Realizacja przepustów tradycyjnych, szczególnie w początkowej fazie ich stosowania, charakteryzowała się brakiem mechanizacji prac, często zarówno na etapie wykonywania wykopów i szalunków,



Ryc. 5. Przykłady uszkodzeń ceglanych elementów konstrukcyjnych przepustów w postaci deformacji, przemieszczeń i spękań, fot. A. Wysokowski



jak i wznoszenia obiektu. Jakość wykonania konstrukcji przepustu zależała więc od dokładności realizacji poszczególnych etapów budowy. W przypadku konstrukcji murowanych istotna jest uzyskana jakość połączenia pomiędzy elementami drobnowymiarowymi a zaprawą. Jak już wspomniano, decyduje ona o szczelności chroniącej przed wnikaniem wody do wnętrza konstrukcji.

Szczególnie istotnym zagadnieniem jest także odpowiednie wykonanie zasyпки konstrukcji przepustu i zagęszczenie gruntu nadłuczca. Błędy wykonawcze popełnione na tym etapie budowy skutkują m.in. osiadaniem lub wypłukiwaniem materiału zasyпки. Następnie stanowią przyczynę uszkodzeń w postaci deformacji toru kolejowego lub jezdnii, a także spękań i przemieszczeń ścian czołowych, wezłowi i podpór (ryc. 5).

Z wieloletnich obserwacji wynika, że jakość cegieł oraz sposób, w jaki są one ułożone i spięte, bezpośrednio wpływają na trwałość przepustu. Jeśli cegły są niewłaściwie ułożone lub są niskiej jakości, przepust może łatwiej ulegać uszkodzeniom mechanicznym czy też korozyjnym w funkcji czasu.

#### 2.4. Warunki eksploatacji

Główne warunki eksploatacji, które mają wpływ na trwałość przepustów ceglanych, obejmują m.in. czynniki atmosferyczne, warunki hydrogeologiczne, występujące zanieczyszczenia chemiczne.

W przypadku czynników atmosferycznych szczególnie istotne jest cykliczne oddziaływanie ujemnej temperatury na konstrukcję ceglana. Woda przenikająca w głąb konstrukcji, zwiększając swoją objętość pod wpływem działania niskich temperatur, powoduje uszkodzenia cegieł oraz spoin w postaci spękań i ubytków. Degradacja konstrukcji ceglanej postępuje głównie w zależności od liczby i częstotliwości cykli zamrażania i rozmrażania oraz poziomu szczelności na połączeniu cegieł i zaprawy. Zależy także od geometrii obiektu, np. przez ograniczenie oddziaływania niskich temperatur wewnątrz przepustów o mniejszych średnicach i znacznych długościach.

Kolejnym czynnikiem wpływającym na trwałość przepustów ceglanych jest oddziaływanie wód znajdujących się w ośrodku gruntowym. Opiera się ono na zdolności przenikania wody do elementów konstrukcyjnych przy jednoczesnym oddziaływaniu ciśnienia hydrostatycznego. Zjawisko to występuje w przypadku różnicy ciśnień po obu stronach konstrukcji. Gradient hydrauliczny może powodować wtedy ruch wody przez strukturę przepustu.

W zakresie występujących zanieczyszczeń istotny wpływ na trwałość obiektu mają związki chemicznie agresywne pochodzące zarówno z ośrodka gruntowego, jak i z przepływającego

przez przepust cieką wodnego, a także zanieczyszczenia związane ze stosowaniem środków do zwalczania gołoleddi. Środki te zawierają głównie chlorek sodu i chlorek wapnia, a ich negatywne oddziaływanie obejmuje przede wszystkim powierzchnie zewnętrznych elementów przepustów, tj. głowic i skrzydeł na wlotach i wylotach. Przyspieszoną degradację przepustów może także powodować woda opadowa zanieczyszczona solami ołdadzającymi przenikająca w głąb konstrukcji z ośrodką gruntowego pod wpływem działania ciśnienia hydrostatycznego.

Należy także brać pod uwagę wpływ cieką wodnego na konstrukcję dna przepustu, szczególnie w zakresie występowania zwiększonych prędkości przepływów oraz przenoszonych materiałów ze względu na stopniową erozję konstrukcji dna.

#### 2.5. Poziom utrzymywania

Jak już wspomniano, znaczną część przepustów ceglanych zbudowano w XIX w. oraz na początku XX w., co powoduje, że część z nich nie jest nawet uwzględniona w ewidencji zarządców infrastruktury komunikacyjnej. Obiekty te są jednocześnie często pomijane przy planowaniu działań związanych z utrzymaniem [3], co bezpośrednio wpływa nie tylko na ich trwałość, ale także na bezpieczeństwo eksploatacji oraz na całkowite koszty ich użytkowania.

Przy braku odpowiednio szybkiej i skutecznej identyfikacji uszkodzeń następuje dalsza degradacja obiektu związana z pogłębianiem się istniejących uszkodzeń, co w znacznym stopniu obniża jego trwałość. Jednocześnie wzrastają koszty potencjalnych napraw i remontów ze względu na stopniowe zwiększanie się ich zakresu.

Do głównych uszkodzeń przepustów ceglanych należą ubytki materiału ceglanoego i spękania na powierzchni konstrukcji. Ubytki mogą mieć charakter powierzchniowy i występować w formie złuszczeń w sposób miejscowy lub obejmować znaczną powierzchnię elementu. Mogą także powstawać w wyniku uderzenia mechanicznego, wskutek zaawansowanego procesu degradacji wynikającego ze złej jakości materiału lub jako następstwo postępujących uszkodzeń spoin. W konstrukcji sklepień ceglanych mogą występować natomiast następujące rodzaje rys [11]:

- podłużne – powstające równoległe do osi podłużnej obiektu zarówno na dolnej powierzchni sklepienia, jak i wzdłuż połączenia ściany czołowej ze sklepieniem,
- poprzeczne – na dolnej oraz na bocznych powierzchniach sklepienia,
- ukośne – przebiegające najczęściej schodkowo wzdłuż spoin bloków ceglanych, przechodzące czasami na powierzchnie boczne sklepienia.



Ryc. 6. Przykłady uszkodzeń przepustów ceglanych w postaci regularnych spękań, fot. A. Wysokowski



Ryc. 7. Przykład degradacji ściany czołowej ceglano-przewodowego w wyniku intensywnej wegetacji roślinnej na jej powierzchni, fot. A. Wysokowski

W sytuacji występowania dużej koncentracji naprężeń w konstrukcji lub przy obniżonej wytrzymałości bloków ceglanych, np. w wyniku postępującej degradacji, rysy mogą przebiegać także przez cegły (ryc. 6). Jako najczęstsze przyczyny powstawania rys w sklepieniach ceglanych można wymienić cykliczne zmiany temperatury występujące niejednokrotnie przy jednoczesnym zawilgoceniu konstrukcji, przeciążenie konstrukcji czy też nierównomierne osiadanie obiektu [12]. W przypadku korpusów podpór przepustów ceglanych najczęściej występują rysy pionowe na zewnętrznej ich powierzchni oraz rysy ukośne, przebiegające schodkowo wzdłuż spoin lub przechodzące przez cegły.

Częstym problemem wynikającym z braku bieżącego utrzymania przepustów ceglanych jest występowanie roślin na powierzchni ich konstrukcji. Intensywnie rozwinięta wegetacja roślinna może prowadzić do osłabienia elementów konstrukcyjnych lub nawet degradacji obiektu, co przedstawiono przykładowo na rycinie 7.

Oprócz wykwitów i nacieków na powierzchni przepustów ceglanych powstaje często powłoka z zanieczyszczeń pochodzących z produktów korozji lub też powstających jako osad z przepływającej przez przepust wody. Szczególnie niekorzystne są zanieczyszczenia powodujące ograniczenie drożności przepustu, a następnie spiętrzanie wody przed lub za obiektem. Regularne udrażnianie przepustów jako działanie z zakresu bieżącego utrzymania zmniejsza ryzyko powstawania uszkodzeń na powierzchni elementów konstrukcyjnych przepustu oraz w obrębie nasypu ciągu komunikacyjnego.

Opisane uszkodzenia, głównie w postaci ubytków cegieł i spoin, wegetacji roślinnej, rys, spękań oraz deformacji związanych z osiadaniem konstrukcji w wyniku uszkodzeń zasyпки, powodują dalszą intensywną degradację przepustów ceglanych. Uszkodzenia te przy braku odpowiedniego utrzymania mogą powodować awarie przepustów, które w konsekwencji, podobnie jak w przypadku obiektów mostowych, mogą prowadzić do ograniczeń lub wyłączenia z ruchu danego ciągu komunikacyjnego. Z tego względu istnieje potrzeba naprawy, wzmocnienia lub przebudowy tych obiektów przy jednoczesnej poprawie w ich ewidencjonowaniu oraz utrzymaniu.

### 3. Badania przepustów ceglanych

Z uwagi na zaawansowany wiek wielu przepustów ceglanych istnieje ryzyko, że w trakcie eksploatacji zmieniły się warunki

ich użytkowania, w tym głównie oddziaływania wynikające z działających na obiekt obciążeń dynamicznych rejestrowanych na danym ciągu komunikacyjnym. Zwiększenie obciążeń wiąże się z koniecznością sprawdzenia nośności konstrukcji. Ma to szczególne znaczenie w przypadku obiektów, które mają zostać dostosowane do nowych funkcji użytkowych lub zmiany warunków eksploatacji, np. w sytuacji przebudowy linii kolejowej w związku z planowanym zwiększeniem dopuszczalnej prędkości poruszania się taboru.

W celu ustalenia parametrów wytrzymałościowych konstrukcji ceglanych, w tym przepustów, wykonuje się badania obejmujące metody nieniszczące i mało niszczące. Metody nieniszczące stosuje się głównie jako badania pomocnicze i porównawcze przy ocenie jednorodności struktury muru [13]. Przykładem tego typu metody jest badanie wytrzymałości konstrukcji murowej metodą ultradźwięków, wykorzystujące głowice eksponencjalne o punktowym kontakcie z badanym materiałem. Istniejąca baza porównawcza utworzona na podstawie pomiarów laboratoryjnych cegieł wzorcowych umożliwia otrzymanie zależności korelacyjnej pomiędzy prędkością fali powierzchniowej a wytrzymałością cegły. Uzyskując pomiary średniej prędkości fali powierzchniowej w materiale ceglany, można ocenić wytrzymałość cegieł w konstrukcji murowej przy wykorzystaniu krzywej skalowania.

W przypadku badań mało niszczących podstawowe znaczenie mają badania na próbkach muru pobranych z konstrukcji. Wytrzymałość konstrukcji przepustów ceglanych określa się na podstawie badań odwiertów rdzeniowych, które umożliwiają ocenę wytrzymałości na ściskanie cegieł oraz muru [13]. Zgodnie z normą [14] wytrzymałość na ściskanie cegieł uzyskuje się po uwzględnieniu stanu zawilgocenia badanych elementów oraz efektu skali według wzoru:

$$f_b = \eta_w \cdot \delta \cdot f_B$$

gdzie:

$f_b$  – średnia wytrzymałość na ściskanie badanych cegieł,  
 $\eta_w$  – uwzględniający stan zawilgocenia badanych elementów,  
 $\delta$  – współczynnik przeliczeniowy uwzględniający wpływ efektu skali elementów murowych.

Wpływ na wyniki badań wytrzymałościowych próbek rdzeniowych cegieł ma także m.in. kierunek wykonania odwiertów, sposób pobrania próbek oraz ich przygotowanie do badań. Na rycinie 8 przedstawiono pobieranie próbki rdzeniowej do badań oraz widok uzyskanego materiału badawczego.

Podstawowym sposobem obciążania uzyskanych próbek konstrukcji murowej jest realizacja obciążenia ściskającego z wykorzystaniem odpowiednio wyprofilowanych przekładek stalowych. Na podstawie uzyskanej siły niszczącej można następnie obliczyć wytrzymałość muru na ściskanie z wzoru:

$$f = \eta \cdot \frac{F}{\emptyset \cdot l}$$

gdzie:

$F$  – siła niszcząca,  
 $\emptyset$  – średnica próbki,  
 $l$  – długość próbki,  
 $\eta$  – współczynnik korelacji.

Przy określonej znormalizowanej wytrzymałości cegieł na ściskanie oraz średniej wytrzymałości zaprawy do dalszych analiz można także wykorzystać wzór [15]:

$$f_k = K f_b^{0,70} \cdot f_m^{0,30}$$



gdzie:

$f_k$  – wytrzymałość charakterystyczna muru na ściskanie,

$K$  – współczynnik zależny od rodzaju zaprawy,

$f_b$  – wytrzymałość na ściskanie cegieł,

$f_m$  – wytrzymałość na ściskanie zaprawy.

Wartości przyjmowanych do obliczeń współczynników należy indywidualnie weryfikować na podstawie badań materiałowych istniejących cegieł i zaprawy oraz oceny makroskopowej uzyskanych próbek rdzeniowych w zakresie inwentaryzacji geometrii struktury muru [13].

Opisana metoda badań oparta na pobieraniu odwiertów rdzeniowych z istniejących konstrukcji ceglanych, w tym przepustów, oprócz określenia wytrzymałości na ściskanie umożliwia także zbadanie innych dodatkowych parametrów dotyczących istniejącego obiektu. Należą do nich gęstość objętościowa, stopień zasolenia i degradacji warstw powierzchniowych, niejednorodność struktury czy też obecność ewentualnych zarysowań lub rozwarstwień [13]. Ułatwiają one właściwą ocenę stanu technicznego konstrukcji ceglanej oraz mogą stanowić podstawę do ustalenia zakresu prac naprawczych, wyboru metody wzmocnienia obiektu lub sposobu jego przebudowy.



Ryc. 8a, 8b, 8c. Widok badań wytrzymałościowych (etap pobrania próbek rdzeniowych przez współautora artykułu) oraz przykładowa próbka konstrukcji ceglanej, fot. archiwum firmy Infrastruktura komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród

#### 4. Naprawy, wzmocnianie i przebudowa przepustów o konstrukcji ceglanej

Ze względu na często zły stan techniczny przepustów ceglanych występuje konieczność podjęcia działań związanych z przedłużeniem ich trwałości i poprawy warunków ich użytkowania, szczególnie w sytuacji planowanej rozbudowy infrastruktury komunikacyjnej, powodującej potrzebę wydłużenia lub poszerzenia istniejących przepustów.

Pierwszą grupę działań stanowią prace naprawcze istniejącego obiektu. Obejmują one przede wszystkim naprawę i zabezpieczenie konstrukcji ceglanej z wykorzystaniem metod mechanicznych oraz nowoczesnej chemii budowlanej.

Metody mechaniczne obejmują m.in. różne sposoby ściągania rozdzielonych w wyniku spękań fragmentów konstrukcji przepustu ceglanego z zastosowaniem kotwionych elementów stalowych, np. skręconych spiralnie prętów ułożonych w spoinach poziomych, oczyszczonych z zaprawy. Spoiny wypełnia się następnie przez wtłaczanie niskoskurczowej, tiksotropowej zaprawy cementowej lub zapraw na bazie żywic.

Do oczyszczania powierzchni przepustów stosuje się takie metody mechaniczne, jak mycie strumieniem zimnej lub gorącej wody (90–100 °C) pod ciśnieniem, parą wodną o temperaturze rzędu 150 °C, a także przy wykorzystaniu ścierniwa oraz dyszy pozwalających na regulowanie ciśnienia i kształtowanie strumienia czyszczącego. W przypadku metod chemicznych do usuwania zanieczyszczeń stosuje się preparaty na bazie fluorków amonu oraz kwasu fluorowodorowego w postaci roztworów lub tiksotropowych past nakładanych bezpośrednio na przeznaczoną do czyszczenia powierzchnię.

Szczególnie istotnym sposobem prac naprawczych jest reprofiliacja spoinowania konstrukcji ceglanej. Wymaga ona zastosowania materiałów kompatybilnych zarówno z istniejącą zaprawą, jak i z cegłami. Parametry wytrzymałościowe, nasiąkliwość oraz dyfuzyjność zaprawy wykorzystywanej do naprawy spoin powinny być jak najbardziej zbliżone do parametrów zastosowanych pierwotnie cegieł oraz zaprawy. Ponadto zaprawa naprawcza powinna charakteryzować się dobrą przyczepnością do podłoża, niskim skurczem, zdolnością do wiązania i twardnienia w warstwach o różnej grubości, współczynnikiem rozszerzalności termicznej zbliżonym do pierwotnie użytych materiałów, a także odpornością na czynniki atmosferyczne.

W celu zabezpieczenia konstrukcji przepustów ceglanych stosuje się hydrofobizację z wykorzystaniem wodnych roztworów mikroemulsji silikonowych oraz preparatów głównie na bazie związków krzemorganicznych i żywic silikonowych. Wyróżnia się hydrofobizację powierzchniową oraz strukturalną, przy której zastosowany materiał hydrofobizujący powinien wnikać na głębokość min. 5 cm. Przy prowadzeniu prac zabezpieczających istotna jest m.in. wilgotność podłoża, obecność hydroizolacji oraz poziom zasolenia konstrukcji ceglanej. Mury niezasolone oraz skutecznie zabezpieczone przeciwwilgociowo można hydrofobizować powierzchniowo. W innych przypadkach należy wykonać hydrofobizację strukturalną.

Kolejna grupa działań zwiększających trwałość przepustów ceglanych obejmuje wzmocnianie istniejących obiektów. Ich celem oprócz zapewnienia odpowiedniej trwałości eksploatacyjnej oraz funkcjonalności użytkowej jest przywrócenie pierwotnej nośności lub jej zwiększenie w zależności od potrzeb komunikacyjnych. Do najczęściej stosowanych metod zalicza się metodę reliningu (tzw. metoda rura w rurę) oraz metodę wykorzystującą kompozytowe rękawy wzmocniające. Metoda reliningu polega na wprowadzeniu dodatkowej konstrukcji nośnej do wnętrza istniejącego przepustu oraz na dokładnym wypełnieniu przestrzeni pomiędzy tymi dwiema strukturami. Przykład takiej renowacji przedstawiono na rycinie 9.

Dzięki temu powstaje konstrukcja quasi-zespolona. Jako konstrukcje wzmocniające można stosować rury charakteryzujące się podatnością, m.in. z blach falistych (np. konstrukcje typu MultiPlate o przekroju





Ryc. 9. Widok przykładowego obiektu ceglanoego po renowacji z wykorzystaniem technologii reliningu z użyciem stalowych blach falistych, fot. A. Wysokowski

zamkniętym), z tworzyw sztucznych (np. rury z wysoko udarowej odmiany polietylenu HDPE) lub z materiałów kompozytowych (np. rury kompozytowe GRP i CC-GRP), a także prefabrykowane elementy żelbetowe [16]. W celu wypełnienia przestrzeni pomiędzy konstrukcjami istniejącą i wzmacniającą stosuje się głównie mieszanki żwirowo-piaskowe lub odpowiednio modyfikowane mieszanki betonowe w zależności od kształtu przekroju poprzecznego wzmacnianego obiektu. Głównym zadaniem wykonanego wypełnienia jest zapewnienie odpowiedniej współpracy pomiędzy konstrukcjami, dlatego niedopuszczalne jest powstawanie pustek powietrznych w materiale wypełniającym. Metoda ta umożliwiła wzmacnianie przepustów ceglanych będących w złym stanie technicznym bez konieczności przeprowadzenia ewentualnych prac rozbiórkowych oraz wstrzymywania ruchu samochodowego lub kolejowego. Przy stosowaniu tej metody konieczne jest jednak ponowne przeliczenie światła obiektu oraz weryfikacja, czy wciąż spełnia on założone parametry użytkowe [17].

Kolejna metoda wzmacniania przepustów polega na wprowadzeniu do jego wnętrza specjalistycznej wykładziny w postaci rękawa nasączonego żywicą z tworzyw polimerowych i poddaniu jej procesowi utwardzania [18, 19]. Dzięki temu uzyskuje on wymagane parametry wytrzymałościowe [20]. Proces utwardzania umożliwia także uszczelnienie istniejącego obiektu wraz z występującymi rysami i pęknięciami. Utwardzony rękaw staje się nowym, samodzielnym elementem konstrukcyjnym, dla którego pierwotny przepust może stanowić formę szalunku traconego, umożliwiającego montaż rękawa [16].

Eliminuje to ewentualne prace związane z rozbiórką uszkodzonego przepustu oraz ograniczenia ruchu na danym ciągu komunikacyjnym. Do podstawowych elementów zestawu umożliwiającego realizację wzmacnienia według tej metody należy elastyczna membrana zewnętrzna, rękaw z włókniyny poliestrowej o strukturze filcowej i właściwościach absorbujących żywicę oraz wypełniacz w postaci żywicy poliestrowej, winyloestrowej lub epoksydowej, która tworzy na rękawie elastyczną i wytrzymałą powłokę. Stosuje się również rękawy wykonane z włókien węglowych, polimerowych lub szklanych. W celu utwardzenia rękawa można zastosować system wykorzystujący przemieszczające się wewnątrz powłoki lampy oddziałujące promieniowaniem UV.

Istotnym zagadnieniem przy wzmacnianiu konstrukcji przepustów ceglanych znajdujących się w złym stanie technicznym

jest fakt, że konstrukcje te mogą być traktowane jako element zasyпки współpracującej z nową podatną konstrukcją wzmacniającą [21, 22]. Przyczynia się to do optymalizacji przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych przez uzyskanie efektu zintegrowanej konstrukcji zespolonej – powłoki współpracującej z otaczającym ośrodkiem [23, 24, 25, 26].

W sytuacji stwierdzonych uszkodzeń zasyпки nad konstrukcją przepustów można wykonać jej wzmocnienie przy użyciu odpowiednio dobranych materiałów geotekstylnych, poprawiających efektywność przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych.

Przy wyborze metody wzmocnienia konstrukcji przepustu ceglanoego należy uwzględnić m.in. właściwy dobór konstrukcji wzmacniającej, trwałość wzmocnienia oraz minimalizację ograniczeń komunikacyjnych podczas robót budowlanych, co pozwoli na uzyskanie zakładanej trwałości obiektu przy zminimalizowaniu nakładów materiałowych i ekonomicznych.

W przypadku przebudowy istniejących przepustów konieczność podjęcia działań wynika najczęściej z potrzeby poszerzenia istniejących ciągów komunikacyjnych, co wymusza przedłużenie konstrukcji przepustów. Przebudowa obejmuje wtedy dołożenie dodatkowych elementów nośnych z uwzględnieniem światła obiektu pierwotnego.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Wieloletnia eksploatacja przepustów o konstrukcji ceglanoego, a także ich gorsze wraz z upływem czasu parametry techniczne powodują, że konstrukcje te są wypierane przez inne technologie przy realizacji nowych obiektów. Stąd też zagadnienia związane z trwałością przepustów ceglanych dotyczą głównie działań związanych z poprawą trwałości obiektów istniejących. Niezbędnym elementem tych działań jest aktualna ocena stanu technicznego oraz właściwy dobór prac naprawczych lub wzmacniających. W tym celu konieczne jest prowadzenie dokładnej ewidencji przepustów, a następnie uwzględnianie tych obiektów w planach bieżącego utrzymania przez zarządców ciągów komunikacyjnych. Mimo mniej spektakularnych wymiarów i rodzajów konstrukcji w porównaniu z obiektami mostowymi liczba przepustów oraz pełnione funkcje sprawiają, że obiekty te stanowią dużą wartość w majątku narodowym, a ich stan techniczny nie powinien być bagatelizowany. Szczególnie w przypadku przepustów w złym

stanie technicznym, których dalsza degradacja może spowodować awarię obiektu, a w konsekwencji utrudnienia w płynności ruchu na danym ciągu komunikacyjnym i konieczność budowy nowego obiektu. Jest to niekorzystne nie tylko pod względem ekonomicznym, ale także z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju, który słusznie zyskuje coraz większe znaczenie w infrastrukturze komunikacyjnej.

W przypadku przepustów ceglanych zasady zrównoważonego rozwoju można realizować przede wszystkim przez wspomniane działania związane z naprawą i wzmocnieniem uszkodzonych obiektów, zanim nastąpi konieczność budowy nowego obiektu. Szczególne znaczenie pod tym względem mają opisane metody bezwykopowe, do których należy metoda relingu i metoda wykorzystująca rękawy kompozytowe. Stanowią one przykład optymalnych i zrównoważonych rozwiązań inżynierskich stosowanych do remontów i renowacji, które przynoszą korzyści nie tylko dla użytkowników ciągów komunikacyjnych, ale także dla środowiska naturalnego. Metody te umożliwiają zwiększenie trwałości istniejących przepustów ceglanych, przedłużenie okresu ich eksploatacji, jak również zwiększenie nośności. Często nie wymagają prowadzenia prac naprawczych przed realizacją wzmocnienia, ponieważ istniejąca konstrukcja ceglana może pełnić funkcję szalunku traconego.

Warto też wspomnieć że wiele z użytkowanych obiektów ceglanych jest zachowanych w dobrym lub bardzo dobrym stanie technicznym mimo upływu dziesiątek lat eksploatacji, dzięki zastosowanym zapasom nośności i wysokiej jakości wykonania konstrukcji. W ich przypadku należy szczególnie dbać o usunięcie ewentualnych uszkodzeń i odpowiednie zabezpieczenie istniejącej konstrukcji ceglanej, co w znacznym stopniu wydłuży ich trwałość i estetykę, jak również pozwoli na zachowanie ich walorów zabytkowych dla przyszłych pokoleń.

## Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz.U. 2000, nr 63, poz. 735.
- [2] Zarządzanie obiektami mostowymi i przepustami przez administrację drogową. Informacja o wynikach kontroli. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Infrastruktury. Warszawa 2016.
- [3] Zarządzanie obiektami mostowymi i przepustami przez administrację drogową. Informacja o wynikach kontroli. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Infrastruktury. Warszawa 2022.
- [4] Wysokowski A., Kubiak Z., Howis J.: Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 3. Przepusty tradycyjne. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2008, nr 4, s. 54–59.
- [5] Solanowski J., Linder F.: Budowa mostów. Warszawa 1956.
- [6] Wysokowski A., Howis J.: Trwałość przepustów komunikacyjnych. „Materiały Budowlane” 2013, nr 5, s. 21–24.
- [7] Stryzewska T.: Dobór cechy diagnostycznej w badaniach wpływu soli rozpuszczalnych w wodzie na trwałość cegły zwykłej. „Materiały Budowlane” 2012, nr 5, s. 69–71.
- [8] Technical Notes 7 on Brick Construction BIA – Water Resistance of Brick. Masonry, Disagn and Detailing Materials, Part 2, August 2001.
- [9] Wesołowska M., Kaczmarek A.: Wpływ zapraw na jakość ceglanych obiektów mostowych. „Materiały Budowlane” 2014, nr 7, s. 64–65.
- [10] Frössel F.: Osuszanie murów i renowacja piwnic. Polcen. Warszawa 2007.
- [11] Załącznik do Zarządzenia nr 48/2014 Zarządu PKP Polskich Linii Kolejowych S.A. z dnia 1 grudnia 2014 r. Instrukcja utrzymania kolejowych obiektów inżynierskich na liniach kolejowych do prędkości 200/250 km/h, Id-16. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Warszawa 2014.
- [12] Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności. Warszawa 2010.
- [13] Gruszczyński M., Matysek P.: Ocena wytrzymałości murów ceglanych na podstawie badań odwiertów rdzeniowych. „Czasopismo Techniczne” 2011, R. 108, z. 3-B, s. 57–69.
- [14] PN-EN 772-1+A1:2015-10 Metody badań elementów murew. Cz. 1. Określenie wytrzymałości na ściskanie.
- [15] PN-EN 1996-1-1: 2010 Projektowanie konstrukcji murew. Cz. 1-1. Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murew.
- [16] Wysokowski A.: Remonty i renowacje przepustów drogowych w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. I. „Inżynier Budownictwa” 2019, nr 2, s. 45–49.
- [17] Kuliczkowski A., Dańczuk P.: Redukcja przekroju nie zawsze oznacza zmniejszenie przepustowości. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2008, nr 3, s. 93–96.
- [18] Wysokowski A.: Trwałość i współczesne technologie wzmocnienia przepustów i przejść dla zwierząt. W: Awaryjne budowlane. Zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje: monografia. Red. nauk. M. Kaszyńska. Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. Szczecin 2019, s. 541–544.
- [19] Wysokowski A.: Efektywne metody wzmocnienia przepustów infrastruktury kolejowej. „Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej w Krakowie. Seria Materiały Konferencyjne” 2020, nr 2 Nowoczesne technologie i systemy zarządzania w transporcie szynowym, s. 181–207.
- [20] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L.: Konstrukcje przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
- [21] Jasiński W., Łęgosz A., Nowak A., Pryga-Szulc A., Wysokowski A.: Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z tworzyw sztucznych. IBDiM, Żmigród, filia Wrocław, 2006.
- [22] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A.: Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych. GDDKiA, IBDiM, Żmigród 2004.
- [23] Wysokowski A., Howis J.: Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 7. Metody obliczeń konstrukcji przepustów. Cz. I. Ogólne zasady obliczeń. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2010, nr 2, s. 88–95.
- [24] Wysokowski A., Howis J.: Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 9. Metody obliczeń konstrukcji przepustów. Cz. III. Nowe metody obliczeń. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2010, nr 5, s. 72–81.
- [25] Wysokowski A., Howis J.: Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 15. Projektowanie przepustów według eurokodów. Cz. III. „Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie” 2013, nr 6, s. 20–25.
- [26] Wysokowski A., Machelski C., Howis J.: Ekologiczne obiekty gruntowo-powłokowe w budownictwie komunikacyjnym. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne. Wrocław 2022.



Czytaj więcej