

prof. dr hab. inż. Adam Wysokowski<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0002-4547-2453

# Renowacja obiektów podziemnej infrastruktury komunikacyjnej metodą CIPP w aspekcie zasad zrównoważonego rozwoju

## *CIPP method for renovation and reinforcement of underground and transport infrastructure*

DOI: 10.15199/33.2022.02.06

**Streszczenie.** Infrastruktura podziemna, głównie sieci przesyłowe mediów oraz inne konstrukcje zagłębione w gruncie, w tym obiekty inżynierskie infrastruktury komunikacyjnej, były budowane od czasu, gdy zaczęły powstawać pierwsze aglomeracje miejskie oraz ciągi komunikacyjne – drogi i linie kolejowe. Należy podkreślić, że znajdują się one w eksploatacji, mimo że dla części z nich zakładany przepisami okres trwałości już dawno został przekroczony i wymagają pilnych remontów lub przebudowy.

Artykuł przedstawia zagadnienia dotyczące jednej z najmniej inwazyjnych metod renowacji tego typu obiektów z wykorzystaniem bezwykopowej technologii *Cured In Place Pipe* (CIPP), której założenia są spójne z obecną polityką UE dotyczącą zasad zrównoważonego rozwoju.

**Słowa kluczowe:** renowacja infrastruktury podziemnej; technologia CIPP; ekologia; efektywność ekonomiczna; obiekty inżynierskie.

**Abstract.** The underground infrastructure, mainly transmission networks for utilities and other structures buried in the ground, including engineering structures of communication infrastructure, have been built since the time when the first urban agglomerations and communication routes – roads and railroad lines – were established. Many of these objects, or traffic culverts are historical objects. It should be emphasized that most of these objects are still in use, even though their lifespan assumed by general regulations has long been exceeded and they require urgent renovation or reconstruction.

This paper presents one of the least invasive methods of rehabilitation of such objects using trenchless technology *Cured In Place Pipe* (CIPP), which assumptions are consistent with current EU policy for sustainable development.

**Keywords:** rehabilitation of underground infrastructure; CIPP technologies; ecology; economic efficiency; engineering structures.

Intensywny rozwój infrastruktury transportowej, a także dostępność nowych materiałów i technologii, przyczyniły się do wprowadzenia do praktyki inżynierskiej nowoczesnych, specjalistycznych metod renowacji infrastruktury podziemnej, w tym komunikacyjnej. Do niedawna przebudowa lub remont tych obiektów były prowadzone metodami tradycyjnymi polegającymi na wykonaniu wykopu otwartego, rozbiórce istniejącego obiektu, a następnie budowie nowego wraz z odtworzeniem nawierzchni jezdni. Wiąże się to nie tylko z dużym nakładem kosztów i czasu niezbędnego do realizacji inwestycji, ale także ze znacznymi kosztami społecznymi wynikającymi z konieczności tymczasowego zamknięcia lub ograniczenia ruchu na drodze albo linii kolejowej.

<sup>1)</sup> Uniwersytet Zielonogórski; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; awysokowski@infra-kom.eu

W celu minimalizacji wpływu prowadzonych inwestycji na środowisko wykorzystuje się w jak największym stopniu istniejącą infrastrukturę, poddając ją renowacji z użyciem nowoczesnych technologii i materiałów. Budowa nowego obiektu, zamiast jego renowacji lub przebudowy, generuje prace rozbiórkowe, a w efekcie – odpady, które mimo utylizacji w dalszym ciągu zanieczyszczają środowisko. Przy budowie lub remoncie obiektów pomocne są zasady analiz LCA (*Life Cycle Assessment*). W ostatnich latach przeprowadziłem wiele takich analiz, które wykazały, że znacznie bardziej opłacalny pod względem ekonomicznym i środowiskowym jest remont lub wzmocnienie użytkowanych obiektów niż budowa nowych.

**Istnieje realna techniczna możliwość przebudowy istniejącej infrastruktury m.in. z wykorzystaniem technologii *Cured In Place Pipe* (CIPP), której założenia są spójne z obecną po-**

lityką Unii Europejskiej dotyczącą zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska, która bazuje na zasadach „ostrożności” oraz zapobiegania zanieczyszczeniom i ich usuwania u źródła. Zasada ostrożności jest narzędziem zarządzania ryzykiem inwestycji, na które można się powołać, gdy istnieje niepewność co do przypuszczalnego zagrożenia dla środowiska, wynikającego np. z przyjętej technologii prowadzenia inwestycji. Jeżeli więc pojawiają się wątpliwości dotyczące potencjalnie szkodliwego wpływu danej technologii na środowisko, np. przez długotrwałą emisję zanieczyszczeń, hałasu itp. z powodu wykorzystywania ciężkiego sprzętu budowlanego, i jeżeli – po dokonaniu obiektywnej oceny naukowej – niepewność ta będzie się utrzymywać, to można tę technologię zoptymalizować lub zamienić na mniej inwazyjną [3]. Środki takie muszą być oczywiście stosowane z poszanowaniem zdrowej konku-

rencji i proporcjonalne do wielkości inwestycji. Zgodnie z najnowszymi trendami prowadzenia inwestycji podziemnych, zamiana technologii np. wykopowej na bezwykopową może przynieść wiele korzyści społecznych, gospodarczych i środowiskowych. Działania tego typu promują jednocześnie zrównoważony i inteligentny sposób rozwoju miast.

Przykładem takiej inicjatywy są założenia obecnie realizowanego programu „Horyzont Europa”, którego łączny budżet wynosi aż 95,5 mld euro. Jest on częścią wieloletnich działań UE (2021 – 2027), które mają na celu wzmocnienie europejskiej przestrzeni badawczej, realizację założeń ekologicznych w aspekcie zrównoważonego rozwoju oraz zwiększenie innowacji w Europie (podobny program, ale o mniejszym potencjale, nosił nazwę „Horyzont 2020”). W obu programach aktywnie uczestniczą jako jeden z niezależnych ekspertów.

Rozwiązania polegające na stosowaniu „zielonych” technologii, do których zalicza się m.in. metodę CIPP, mogą przynieść wymierne korzyści i powinny zostać włączone do większości obszarów rozwoju UE. Są też istotne dla lepszego wdrażania narzędzi planowania przestrzennego i moim zdaniem powinny zostać uwzględnione w procedurach oceny oddziaływania inwestycji na środowisko. Konieczne jest rozważne podejście do możliwości dalszego wykorzystania istniejących elementów konstrukcji podziemnej infrastruktury komunikacyjnej.

### Ogólna charakterystyka technologii CIPP

W Polsce i na świecie opracowano wiele nowych technologii wzmocnienia i renowacji infrastruktury podziemnej, w tym przepustów komunikacyjnych, wykorzystujących nowoczesną chemię budowlaną oraz dodatkowe struktury nośne (m.in. rękawy kompozytowe). Należą do nich w szczególności **metody z grupy CIPP (Cured In Place Pipe)**.

We wcześniejszych latach do budowy kolektorów instalacji podziemnych oraz przepustów komunikacyjnych stosowano zazwyczaj konstrukcje typu „szywnego”: sklepienie kamienne; ceglano lub tradycyjne rury betonowe. Obecnie coraz częściej wykorzystuje się konstruk-

cje hybrydowe z materiałów „podatnych”, np. kompozytów PVC, PEHD, bądź betonów wysokomodyfikowanych.

W przypadku wzmocnienia konstrukcji zagłębionych w gruncie, zasadniczym problemem jest wyznaczenie wielkości oraz rozkładu obciążeń działających na ich powierzchnię zewnętrzną (przede wszystkim od ciężaru gruntu nad konstrukcją), które zależą od sztywności konstrukcji nośnej.

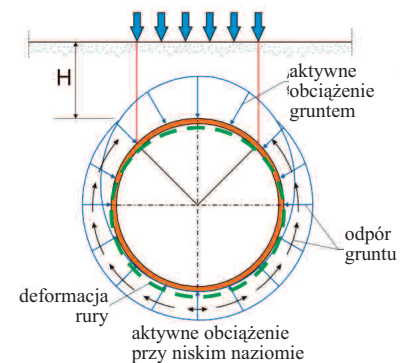
Stosowane obecnie metody obliczeń konstrukcji (głównie tradycyjne) różnią się od siebie, co może być przyczyną częstego przewymiarowania i utrudnia możliwość weryfikowania wyników analiz. W tabeli 1 zestawiono metody obliczeń stosowane w analizie konstrukcji zagłębionych w gruncie.

Z badań i obliczeń numerycznych wynika, że ośrodek gruntowy nie stanowi tylko obciążenia budowli, jak zakładano wcześniej, ale także element przenoszący obciążenia i to w sposób istotny [4, 8]. Efektem współpracy konstrukcji z gruntem jest poprawa rozkładu obciążeń, tzn. obciążenie jest równomiernie rozłożone wokół przekroju, co powoduje, że momenty zginające mają mniejszą wartość. Przy doborze metod obliczeniowych należy więc mieć na uwadze fakt, że w obecnym stanie wiedzy technicznej istniejąca konstrukcja przepustu może być traktowana jako element zasypki współpracującej z nową konstrukcją wzmocniającą, co potwierdzają m.in. przeprowadzone przez mnie badania laboratoryjne i terenowe oraz analizy obliczeniowe. Na fotografii 1 przedstawiono ideowy

schemat degradacji przepustu komunikacyjnego pod obciążeniem eksploatacyjnym, a na rysunku 1 schemat modelu obliczeniowego konstrukcji podatnej wg metody Klöppela i Glöcka bazującej na badaniach niszczących. Współpraca pomiędzy konstrukcją obiektu a ośrodkiem gruntowym przyczynia się do optymalizacji przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych [9, 10].



Fot. 1. Ideowy schemat degradacji obiektu na przykładzie przepustu komunikacyjnego  
Photo 1. Idealized scheme of structure degradation on the example of road culvert under live load



Rys. 1. Strefy oddziaływania obciążenia na konstrukcję podatną wg teorii Klöppela i Glöcka [9]

Fig. 1. Load action zones on a flexible buried structure based on the theory of Klöppel and Glöck [9]

W przypadku zastosowania technologii CIPP w renowacji obiektów wykonywana jest nowa konstrukcja na trasie istniejącego, wzmocnianego obiektu stanowiącego formę szalunku traconego, umożliwiającego montaż rękawa, który po stwardnieniu pełni rolę powłoki osłonowej, „nadającej kształt konstrukcji”. Dzięki wytrzymałości uzyskanej w wyniku innowacyjnego procesu utwardzania, rękaw może pełnić funkcję samodzielnego elementu konstrukcyjnego. Idea ta została wdrożona, pod moim kierunkiem, w wielu projektach technicznych wzmocnień i renowacji przepustów w ciągu dróg kołowych i linii kolejowych. Tak wzmocnia-

Tabela 1. Metody obliczeń stosowane w analizie konstrukcji zagłębionych w gruncie  
Table 1. Calculation methods used in the analysis of buried structures

Teoria Ściskania Pierścieniowego
Metoda American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)
Metoda Duncana i Drawskiego
Metoda Ontario Highway Bridge Design Code (OHBDC)
Metoda Canadian Highway Bridge Design Code (CHBDC)
Metoda Vaslestada
Metoda Klöppela – Glöcka
Analityczna Metoda Sprężysta
Metoda Sundquista-Pettersona
Metoda Skandynawska – obliczanie przepustów podatnych
Metoda Elementów Skończonych (MES)

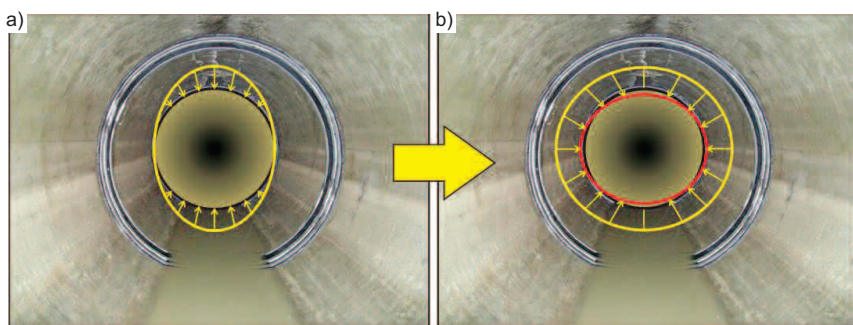
ny obiekt pracuje jak zintegrowana konstrukcja zespolona – powłoka współpracująca z otaczającym ośrodkiem (fotografia 2).

W wielu krajach metoda CIPP jest wdrażana w sieciach podziemnych, a zalecenia dotyczące stosowania są rozwijane wraz z postępem wiedzy technicznej. W przypadku budownictwa komunikacyjnego w dalszym ciągu nie ma odpowiednich norm, wytycznych i zaleceń, a także standardów obejmujących metody określania nośności. Ich opracowanie umożliwi powszechne wdrożenie metod CIPP również w obiektach infra-

### Efektywność ekonomiczna technologii CIPP

Efektywność ekonomiczna remontu lub przebudowy obiektów infrastruktury podziemnej, w tym przepustów komunikacyjnych, stanowi stosunek pomiędzy wielkością poniesionych nakładów i zużytych materiałów a wartością uzyskanych efektów. Technologie CIPP stosowane w renowacji i odbudowie dają lepsze efekty niż tradycyjne metody polegające na rozbiórce istniejącego obiektu, a następnie wykonaniu nowego. W przypadku konstrukcji przepustów często występują wysokie

Na potrzeby artykułu przeprowadzono skróconą analizę porównawczą całkowitych kosztów renowacji przekładowego przepustu żelbetowego o przekroju kołowym (średnica rury przepustowej DN1200; długość części przelotowej 36,00 m) wg dwóch różnych technologii. W pierwszej kolejności wykonano analizę kosztów bezpośrednich remontu metodą tradycyjną, polegającą na całkowitej rozbiórce obiektu (wykop i demontaż rur betonowych), a następnie budowie nowego (montaż nowych rur betonowych, zasypanie gruntem z zagęszczeniem, wykonanie nowej nawierzchni drogowej oraz umocnienie skarp). Oszacowano koszty społeczne (wyłączenie drogi z ruchu samochodowego) w przypadku założonego okresu realizacji obiektu wynoszącego 4 miesiące. Drugi etap obejmował określenie szacunkowej wartości inwestycji polegającej na wzmocnieniu istniejącej konstrukcji w technologii CIPP. Analiza nie musiała obejmować kosztów rozbiórki istniejącego obiektu oraz kosztów społecznych wynikających z zamknięcia drogi dla użytkowników. Czas realizacji został skrócony do 2 miesięcy, biorąc pod uwagę konieczność wykonania robót wykończeniowych. Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami założono, że trwałość obiektu wynosi 40 lat. Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono graficzną analizę porównawczą kosztów inwestycyjnych w zależności od zastosowanej metody renowacji. W przypadku technologii CIPP całkowity koszt renowacji, biorąc pod uwagę koszty bezpośrednie i społeczne, jest o ok. 9,5%



Fot. 2. Idea pracy kolektora wzmocnionego przy użyciu technologii CIPP: a) schemat obciążeń w początkowej fazie „pracy”; b) schemat obciążeń w funkcji czasu (eksploatacji) [2]  
Photo. 2. Idea of operation of a reinforced pipeline using CIPP technology: a) load scheme in the initial phase of „operation”, b) load scheme as a function of time (operation) [2]

struktury drogowej i kolejowej. Przykład zastosowania technologii CIPP przy wzmocnianiu przepustu kolejowego w Wielkiej Brytanii przedstawiono na fotografii 3 [7].

W celu wzmocnienia zasypki nad konstrukcją obiektów z powrotem można zastosować materiały geotekstylne, które pełniąc funkcję zbrojenia mają pozytywny wpływ na przenoszenie obciążeń eksploatacyjnych, co potwierdzają wyniki badań w skali naturalnej [11, 12].

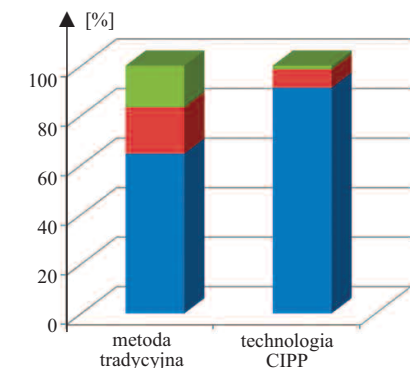


Fot. 3. Przykład zastosowania technologii CIPP – rękawa utwardzanej na miejscu do renowacji przepustu zabytkowego w Wielkiej Brytanii [7]

Photo 3. Example of using CIPP technology – sleeve hardened in place for renovation of the historic culvert in UK [7]

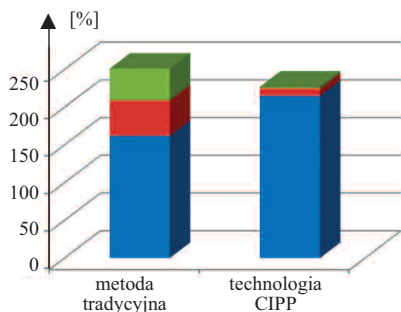
nasypy drogowe lub kolejowe i efekty techniczne oraz koszty rozbiórki tych obiektów są znaczne. Konieczność objazdów i zamykania głównych linii komunikacyjnych z powodu robót w wykopach otwartych również generuje duże straty, głównie społeczne i środowiskowe.

Zrozumienie wpływu cyklu życia obiektu budowlanego, m.in. z wykorzystaniem oceny LCA (Life Cycle Assessment) jest kluczowe do osiągnięcia celów zrównoważonego budownictwa – jak najbardziej neutralnego dla środowiska. Koncepcja LCA to podejście teoretyczne, które wykorzystuje wielowymiarową ocenę wpływu inwestycji na środowisko. Określa wszystkie oddziaływania środowiskowe obiektu przez cały okres jego życia, dlatego też nazywana jest „analizą od kołyski do grobu”. W analizach obiektów infrastruktury podziemnej określa się poszczególne warianty realizacji inwestycji, które zapewniają minimalny wpływ na środowisko podczas budowy, eksploatacji oraz rozbiórki.



Oznaczenia: ■ koszty społeczne; ■ koszty rozbiórki; ■ koszty bezpośrednie

Rys. 2. Analiza kosztów w zależności od technologii renowacji przepustu DN1200  
Fig. 2. Costs analysis depending on renovation technology of the DN1200 culvert



Oznaczenia: ■ koszty społeczne; ■ koszty rozbiórki; ■ koszty bezpośrednie

**Rys. 3. Analiza porównawcza całkowitych kosztów inwestycyjnych w zależności od technologii renowacji przepustu DN1200 – metodą tradycyjną i CIPP**

Fig. 3. Total investment costs comparative analysis depending on the renovation technology of the DN1200 culvert – using the traditional and CIPP method

niejszy w porównaniu z metodą tradycyjną z uwzględnieniem całkowitych kosztów rozbiórki.

## Nowe wytyczne dotyczące wykorzystania metody CIPP

Opracowywane od dwóch lat wytyczne odbiorowe instalacji wykładzin CIPP (*Cured In Place Pipe*) w rurociągach sieci i obiektach inżynierskich są przed fazą wdrażania do krajowej praktyki inżynierskiej [5]. Porządkują wszystkie etapy realizacji inwestycji i określają wymagania dotyczące typu budowli. Są szczególnie ważne w przypadku tzw. prac zanikających, gdyż po zamknięciu inwestycji nie ma możliwości kontroli jakości ich wykonania. Wytyczne powstały z inicjatywy Polskiego Stowarzyszenia Technologii Bezwykopowych (PSTB), a w ich opracowanie zaangażowani byli eksperci m.in. z Politechnik Wrocławskiej, Warszawskiej i Śląskiej, Jednostki Badawczej z Kielc, Uniwersytetu Zielonogórskiego oraz przedstawiciele firm branżowych. Tekst projektu wytycznych został zaopiniowany przez autorytety z branży, tj. **prof. Mariana Kwietniewskiego** z Politechniki Warszawskiej i **prof. Cezarego Madryasa** z Politechniki Wrocławskiej.

W wytycznych ujęto wiele zagadnień istotnych dla prawidłowego odbioru wykładzin oraz zasady i wymagania dotyczące prowadzenia badań terenowych (na obiekcie) i laboratoryjnych, które uzupełniono o badania alternatywne i rozszerzające. Wytyczne dotyczą wszystkich rodzajów wykładzin CIPP, niezależnie od

średnicy przewodu, rodzaju żywicy, metody utwardzania oraz rodzaju przesyłanych mediów. Obejmują przewody grawitacyjne i ciśnieniowe. Uwzględniają też zestaw badań wykładzin CIPP, które są rekomendowane w odpowiednich normach.

O znaczeniu tych wytycznych świadczy następujący przykład: jeżeli w przypadku zasadniczej konstrukcji obiektu podziemnej infrastruktury komunikacyjnej bądź elementów jego wyposażenia:

- nie przeprowadzimy właściwej diagnostyki konstrukcji z wykorzystaniem niezbędnych metod i procedur diagnostycznych;
  - nie dobierzemy odpowiedniej technologii renowacji lub wzmocnienia dostosowanej do warunków środowiskowych – w przypadku technologii CIPP m.in. odpowiedniej grubości powłoki („re-kawa”) i rodzaju matrycy (filc, osnowa tkana itp), właściwej metody utwardzania, czy użyjemy materiałów o nieodpowiedniej jakości lub nie zapewnimy reżimu technologicznego na etapie wykonawstwa;
- to „źle” wykonane prace renowacyjne nie zapewnią odpowiedniej wytrzymałości, a także trwałości naprawionego obiektu, co będzie wiązało się również ze szkodą dla środowiska naturalnego.

## Podsumowanie

Zgodnie z dyrektywą UE, budowla musi spełniać wymagania użytkowe, środowiskowe oraz być bezpieczna i trwała. Biorąc pod uwagę obecne tendencje w UE dotyczące rozwoju infrastruktury podziemnej i komunikacyjnej, bazujące na dynamice, heterogeniczności i złożoności systemów przesyłowych i transportowych, należy dążyć do zwiększenia bezawaryjności obiektów, co wiąże się niejednokrotnie z koniecznością ich renowacji i wzmocnienia [13]. Wprowadzenie i skuteczne wdrażanie takich rozwiązań, jak technologia CIPP, może znacznie wpłynąć na efektywność obiektów infrastrukturalnych oraz wydłużenie ich trwałości z zachowaniem zasad zrównoważonego rozwoju oraz ochrony środowiska [1]. W ciągu ostatniej dekady ogólne koszty renowacji metodą CIPP uległy zmniejszeniu, a poziom reżimu technologicznego wykonawstwa znacznie się zwiększył. Stale pogarszający się stan techniczny infrastruktury podziemnej wymaga przeprowadzania renowacji lub

wzmocnienia budowli w sposób jak najbardziej efektywny ekonomicznie, przy jak najmniejszych zakłóceniach [6].

Moim zdaniem, istnieje „pełna” możliwość współistnienia budownictwa inżynierskiego ze środowiskiem bez negatywnego oddziaływania na nie. Należy dążyć do równowagi w „zrównoważonym rozwoju”.

## Literatura

- [1] Donaldson B. 2009. *Environmental Implications of Cured-in-Place Pipe Rehabilitation Technology Journal of the Transportation Research Board*. DOI: 10.3141/2123-19.
- [2] <https://www.mswmag.com>.
- [3] Informacje Komisji Europejskiej dotyczące polityki ochrony środowiska [https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/policy/index\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/policy/index_en.htm).
- [4] Jasiński W., A. Łęgosz, A. Nowak, A. Pryga-Szulc, A. Wysokowski. 2006. *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z tworzyw sztucznych*. Żmigród: IBDiM Filia-Wrocław 73 s. ISBN: 8391121380.
- [5] Kolonko A., F. Piechurski, P. Popielski, B. Przybyła, A. Wysokowski, D. Zwierchowski, pod kierunkiem Kośmidr P. 2021. *Wytyczne pt. Badania odbiorowe wykładzin CIPP instalowanych w rurociągach sieci i instalacji zewnętrznych (Projekt)*. Polskie Stowarzyszenie Technologii Bezwykopowych (PSTB). Kraków.
- [6] Kolonko A. 2003. „Polskie doświadczenia w renowacji przewodów kanalizacyjnych CIPP”. *Inżynieria Bezwykopowa* (3): 24 – 34.
- [7] Materiały dotyczące technologii renowacji przepustów firmy Lanesgroup. (<https://www.lanesfordrains.co.uk/company-news/news/new-uv-lining-technology-just-ticket-rail-culvert-renewal/>).
- [8] Rowińska W., A. Wysokowski, A. Pryga. 2004. *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. GDDKiA-IBDiM Żmigród.
- [9] Wysokowski A., J. Howis. 2013. „Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 15. Projektowanie przepustów według eurokodów”. Cz. III. *Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie* Listopad – Grudzień.
- [10] Wysokowski A., J. Howis. 2010. „Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 7. Metody obliczeń konstrukcji przepustów. Cz. I. Ogólne zasady obliczeń”. *Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie*. Marzec – Kwiecień.
- [11] Wysokowski A. 2020. *Influence of single-layer geotextile reinforcement on load capacity of buried steel box structure based on laboratory full-scale tests Thin-Walled Structures*. pp. 1 – 7. ISSN: 0263-8231, eISSN: 1879-3223.
- [12] Wysokowski A. 2019. *Trwałość i współczesne technologie wzmocnienia przepustów i przejść dla zwierząt, Awarie budowlane: zapobieganie, diagnostyka, naprawy, rekonstrukcje*. Wyd. Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego, s. 541 – 544, ISBN: 9788376632865.
- [13] Wysokowski A. 2015. „Innowacje w infrastrukturze drogowej w aktualnym programie Unii Europejskiej”. *Materiały Budowlane* 519 (11).

Przyjęto do druku: 13.01.2022 r.