

dr hab. inż. Adam Wysokowski, prof. UZ*
mgr inż. Jerzy Howis**

Trwałość przepustów komunikacyjnych

Przepusty, wznoszone w technologii tradycyjnej bądź nowoczesnej, stanowią istotny element infrastruktury komunikacyjnej zarówno w ciągu dróg, linii kolejowych, jak i na lotniskach. Stosowane są do przeprowadzenia cieków wodnych, jako przejścia dla pieszych, przejścia gospodarcze, przepusty techniczne, a ostatnio coraz częściej jako przejścia dla zwierząt. Bardzo ważnym aspektem jest ich trwałość, szczególnie w przypadku stale rosnących potrzeb komunikacyjnych. W związku z tym ich stan techniczny i sposób utrzymania są niezwykle ważne.






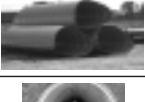


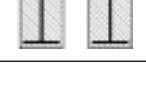
Rozwiązania materiałowe

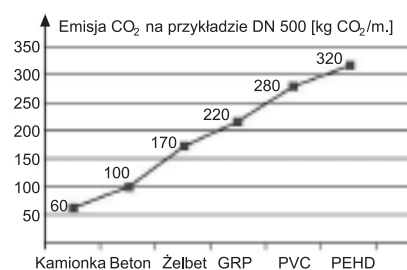
Przegląd materiałów stosowanych do budowy przepustów komunikacyjnych przedstawiono w tabeli. Oprócz materiałów tradycyjnych, typu kamień, cegła czy beton, wykorzystuje się materiały uszlachetniane, jak np. cienkościennie blachy faliste ze stali bądź aluminium, tworzywa sztuczne, w tym m.in. polimery zbrojone włóknem szklanym GRP, PE, PEHD, PVC, kamionka bądź beton modyfikowany dodatkami. Stosowane modyfikacje materiałów tradycyjnych znacznie polepszają ich parametry wytrzymałościowe, a w efekcie ich trwałość.

Ze względu na ochronę środowiska, w infrastrukturze komunikacyjnej coraz szerzej stosowane są metody oceny cyklu życia konstrukcji LCA, opracowane i wdrożone w Ameryce Północnej. Obecnie powszechnie wykorzystywane są one również w Europie, w tym i w Polsce. LCA bierze pod uwagę emisję zanieczyszczeń podczas produkcji komponentów, z których wykonuje się przepusty [11]. Wielkość emisji CO₂ podczas produkcji rur z różnych materiałów pokazano na rysunku.

Kamień i cegła jako materiały naturalne i łatwo dostępne są jednymi z najpopularniejszych materiałów, aczkolwiek w coraz mniejszym stopniu, stosowanych w budownictwie komunikacyjnym. Są sto-

Najczęściej stosowane materiały do budowy przepustów i przejść dla zwierząt

Materiały stosowane do budowy konstrukcji przepustów komunikacyjnych	
Kamień	
Cegła	
Beton, beton sprężony, żelbet	
Polimerobeton	
Kamionka	
Blachy faliste	
Polimery zbrojone włóknem szklanym (Glass Reinforced Polymer)	
Tworzywa sztuczne (PEHD, PE, PP, PVC, itp.)	
Stalowe dźwigary obetonowane itp.	



Orientacyjna wielkość emisji CO₂ przy produkcji rur osłonowych z różnych materiałów (na przykładzie średnicy DN 500) [11]

sunkowo trwałe, ale pod wpływem erozji środowiskowej z czasem ulegają powolnej destrukcji. Najmniej trwałym elementem przepustów ceglanych/kamiennych są spoiny. Konstrukcje tego typu najczęściej wykonywano jako sklepione. W przypadku niewłaściwego utrzymania spoin wypadają bloki kamienne bądź też cegły, szczególnie w kluczu czy wezłowiach (fotografia 1).



Fot. 1. Przykład przepustu z cegły z początku XX w. W sklepieniu przepustu widoczne ubytki
Fot. A. Wysokowski

Beton i żelbet jako materiały ekonomiczne i wytrzymałe już bardzo wcześnie odgrywały decydującą rolę w budowie przepustów komunikacyjnych. Początkowo beton wytwarzano na placu budowy, a rurę prefabrykowaną wprowadzono dopiero z początkiem uprzemysłowienia technologii w XIX w. Obecnie beton należy do materiałów powszechnie stosowanych zwłaszcza do budowy przepustów mało- i średniogabarytowych [2].

Tradycyjny, najczęściej stosowany przekrój przepustów to okrągły oraz ramowy. W ostatnich latach ze względu na znaczny postęp technologiczny oraz poprawę walorów użytkowych wprowadzono również przekroje zbliżone do owalnego (przekrój gardzielowy i jajowy).

Elementy betonowe do budowy przepustów są stosunkowo trwałe, pod warunkiem że grunt i woda gruntowa nie wykazują właściwości korozyjnych. Na fotografii 2 przedstawiono przepust w technologii betonowej eksploatowany w niesprzyjających warunkach. W ostatnim czasie podjęto próby zlikwidowania jednej z podstawowych wad przepustów z rur betono-

* Uniwersytet Zielonogórski

** Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o.



Fot. 2. Przepust kolejowy z betonu z początku XX w. Widoczna korozja betonu w wyniku wieloletniego oddziaływania cieku wodnego
Fot. A. Wysokowski

wych, jaką jest duży opór przepływu. Poprzez zautomatyzowanie i podniesienie jakości produkcji rur znacznie poprawiono ich gładkość.

W celu uszczelnienia połączeń rur betonowych stosuje się zintegrowane uszczelki (inne do rur kielichowych wykonywanych metodą wykopu otwartego, a inne w przypadku elementów przepustowych do budowy metodą przecisku). Natomiast w celu zapewnienia szczelności połączeń rur osłonowych, szczelina między rurą a złączem musi być wypełniona materiałem ulegającym odwracalnemu odkształceniu, odpornym na wodę oraz substancje chemiczne. Przykładowe uszczelnienie pokazano na fotografii 3. Jest ono odpowiednie, pod warunkiem że hydroizolacja zewnętrzna jest odpowiednia, a beton konstrukcyjny ma odpowiednią wodoszczelność. W innym przypadku w połączeniach będzie gromadziła się woda, m.in. ze skraplania się pary wodnej na skutek różnicy temperatur i w efekcie beton będzie poddawany destrukcji mrozowej.



Fot. 3. Przykład zastosowania uszczelki wewnętrznych w przepustach betonowych
Fot. A. Wysokowski

Elementy rurowe z polimerobetonu produkowane są na świecie od ok. 25 lat. W Polsce wprowadzono je na rynek kilkanaście lat temu. Ich zaletą, w stosunku do tradycyjnych rur betonowych, jest mniejsza masa. Polimerobeton, zwany betonem żywicznym, jest kompozytową odmianą betonu, w którym tradycyjne spoiwo mineralne (cement), zastąpiono utwardzaczem w postaci żywicy, a dodatkowo oprócz mieszanki

piaskowo-żwirowej stosowane są wypełniacze w postaci mączki kwarcowej. W efekcie poprawiono dwie kolejne cechy w stosunku do betonu tradycyjnego, tj. uzyskano większą chemoodporność i większy współczynnik przepływu. Wynika to z faktu, że w procesie produkcji stosuje się dodatkową warstwę żywicy, tzw. żelkot tworzący powierzchniową warstwę zamykającą, która zapewnia dodatkową gładkość, chemoodporność i wodoszczelność. Oznacza to, że polimerobeton i wyroby z niego wykonane odznaczają się zwiększoną trwałością, pod warunkiem zachowania m.in. specjalnego reżimu technologicznego.

Kamionka jest najstarszym materiałem, z którego wykonywano rury (już ok. 3500 r. p.n.e. na terenie dzisiejszej Syrii). Obecnie jest wciąż ulepszana. Modyfikowane są surowce wejściowe, ich przygotowanie oraz technologia formowania i wypalania. W przypadku gdy na przepust działają znaczne obciążenia, zaleca się stosować rury kamionkowo-betonowe, w których kamionka stanowi wykładzinę wewnętrzną [4]. Proces produkcji rur wymaga dużego doświadczenia i specjalnych zabiegów technologicznych, co procentuje uzyskaniem trwałych i ekologicznych wyrobów.

Rury z tworzywa sztucznego (PVC oraz PVC-U) zaczęto z powodzeniem stosować już na początku XX w. Jako pierwsze stosowano rury z polichlorku winylu PVC w Niemczech w połowie lat trzydziestych XX w. Polichlorek winylu wyróżnia się dużą sztywnością i niewielką udurowalnością. Na fotografii 4 przedstawiono rury z PVC do zastosowania w budownictwie komunikacyjnym. PVC nadaje się do recyklingu na wszystkich stadiach produkcji, co jest jego niebywałą zaletą. Do odnowy PVC wykorzystuje się jego właściwości termoplastyczne. Największą wadą jest brak odporności na promienie UV, co ma bardzo duże znaczenie dla trwałości obiektów inżynier-



Fot. 4. Wnętrze rury z PVC do budowy przepustu. Widoczna gładka powierzchnia wnętrza rury [17]

skich. W związku z tym w przypadku przepustów komunikacyjnych, które z oczywistych względów narażone są na promieniowanie UV, od kilku lat zaczęto stosować zmodyfikowane PVC.

Rury polietylenowe (fotografia 5) wytwarzane są z wysokoudarowej odmiany polietylenu HDPE (*high-density polyethylene*, tj. polietylen dużej gęstości), przy czym w Polsce przyjęła się nazwa PEHD. Materiał ten charakteryzuje się nieuporządkowaną (amorficzną) lub częściowo uporządkowaną (kryształiczną) strukturą wewnętrzną, co ma decydujący wpływ na jego właściwości fizyczne i mechaniczne. Rury z polietylenu są w pełni spawalne, dlatego też można je z powodzeniem dowolnie kształtować, łącząc poszczególne ich fragmenty. Wykazują dużą odporność na działanie różnych substancji chemicznych, co przekłada się na ich trwałość.



Fot. 5. Dwuścienne rury z PEHD, do budowy przepustów, z gładką wewnętrzną powierzchnią rur [17]

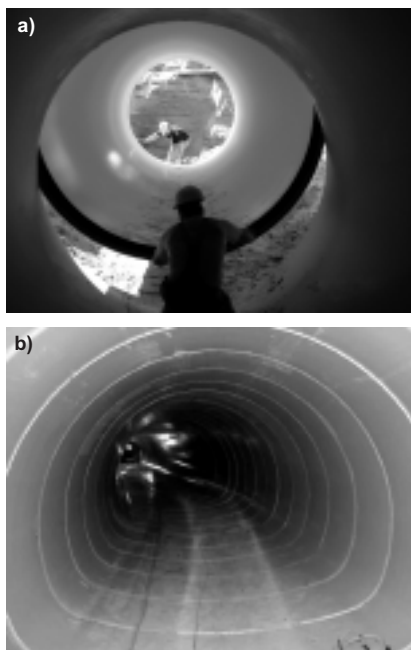
Polipropylen (PP), podobnie jak polietylen, jest termoplastem o strukturze częściowo krystalicznej, ale o zwiększonej wytrzymałości, sztywności i wyższej temperaturze topnienia krystalitów przy niewielkiej gęstości. Charakteryzuje się bardzo dobrą odpornością chemiczną i dobrą odpornością na korozję naprężeniową. Jest odporny na kwasy (z wyjątkiem kwasów utleniających), zasady, roztwory soli, rozpuszczalniki i alkohole, a nie jest odporny na węglowodory aromatyczne i chlorowane, a także benzen i ligninę. Technologia wytwarzania rur osłonowych z polipropylenu do budowy przepustów komunikacyjnych jest zbliżona do produkcji rur z polietylenu. Do budowy przepustów stosowane są na ogół rury dwuścienne [3].

Kolejnym materiałem często stosowanym do budowy przepustów jest **polimer wzmocniany włóknem szklanym (Glass Reinforced Polymer – GRP)**, które stanowi wewnętrzne zbrojenie rury. Produkcja rur z GRP odbywa się dwiema metodami umożliwiającymi uzyskanie rur o kształcie kołowym, jak i niekołowym (w zależności od zastosowanej matrycy):

- nawojową;

- odlewania odśrodkowego (w skrócie CC). Zalety rur z GRP:
 - duża wytrzymałość;
 - zatopione w żywicy włókna wzmacniające polepszają stabilność kształtu (sztywność), wytrzymałość na zginanie i na rozciąganie;
 - duża odporność na ścieranie wewnętrznej powierzchni rury, co zwiększa trwałość przepustu;
 - duża odporność na korozję i związki chemiczne;
 - duża odporność na uderzenia mechaniczne;
 - możliwość produkcji kształtów dopasowanych do remontowanych przepustów.

Ze względu na zastosowane materiały wsadowe i technologię produkcji rury GRP odznaczają się dużą trwałością, a ich odporność chemiczna powoduje, że dotychczas zrealizowane obiekty eksploatowane nawet w warunkach cieków agresywnych nie wykazują śladów zużycia. Z uwagi na konstrukcję rur ze zbrojeniem wewnętrznym są one również w dużo mniejszym stopniu narażone na uszkodzenia na etapie wykonywania obiektów. W warunkach eksploatacji istotny jest brak osadzania się zanieczyszczeń wewnątrz przepustów zmniejszających ich światło z uwagi na wyjątkowo mały współczynnik szorstkości wewnątrz rur (dotyczy to szczególnie materiałów CC-GRP) [12]. Przykładowe przepusty z rur GRP przedstawiono na fotografii 6.



Fot. 6. Przepusty kompozytowe CC-GRP, a) o dużej średnicy (w fazie realizacji); b) z rur niekołowych w systemie NC-Line firmy Hobas [17]

Przepusty z blach falistych zaczęto stosować już pod koniec XIX w. na terenie USA, a następnie Rosji. Najczęściej stosowane są konstrukcje z ocynkowanych blach falistych połączonych śrubami oraz z karbowanych rur spiralnych produkowanych w sposób ciągły z blach ocynkowanych [1]. Jako podstawowy materiał stosowane są blachy stalowe, rzadziej stopy aluminiowe, choć z uwagi na ich niezaprecjalne zalety są coraz częściej wykorzystywane w niektórych krajach [6]. W przypadku małych i średnich średnic taśmy stalowe poddawane są karbowaniu na specjalnej giętarnie i w zależności od żądanej średnicy wyginane i łączone za pomocą szwu maszynowego. Z uwagi na przycinanie rur do właściwej długości miejsca cięć są najbardziej newralgiczne. W przypadku większych średnic konstrukcja przepustów podzielona jest na segmenty w postaci arkuszy blach z otworami na śruby mocujące. Wymiary blach, rozstaw oraz liczba otworów na śruby mocujące zależą od profilu fali, przekroju poprzecznego konstrukcji oraz jego wymiarów. Po uformowaniu blach dokonuje się ścięcia krawędzi nadających odpowiednie skosy. Końcowym procesem produkcji jest zabezpieczenie antykorozyjne blach przez cynkowanie ogniowe, po uprzednim wytrawieniu i oczyszczeniu arkuszy. Segmenty łączy się za pomocą specjalnych śrub. Połączenia poszczególnych arkuszy blach rury osłonowej, których nieuszczelnność może powodować przecieki wody w tych miejscach, są newralgicznymi miejscami konstrukcji. Na fotografii 7 przedstawiono przepust z blachy karbowanej.

O trwałości przepustów gruntowo-powłokowych z blach falistych decyduje ochrona antykorozyjna blachy stalowej [5]. Najtrwalszym zabezpieczeniem powierzchni stalowej są cynkowe powłoki nanoszone metodą zanurzeniową, głównie ze względu na wytworzenie podczas procesu cynkowania trwałego połączenia powłoki cynkowej z powierzchnią stalową. Trwałość powłok cynkowych z dodatkiem aluminium (ZnAl) w stanie niemalowanym jest ok. 50% większa od trwałości powłok cynkowych, z uwagi na wyższą odporność korozyjną [13].

W celu zwiększenia trwałości konstrukcji podatnych z blach falistych można zastosować system Duplex, czyli powłokę cynkową z dodatkową powłoką malarską, której trwałość jest zwykle większa niż suma okresu ochrony obu powłok i wyraża się wzorem:



Fot. 7. Przepust z blach falistych z dodatkową powłoką polimerową

Fot. A. Wysokowski

$$S_{Du} = 1,2 + 2,5 (S_{Zn} + S_{Powt.})$$

gdzie:

S_{Du} – okres ochrony (trwałości) systemu Duplex;

S_{Zn} – okres ochrony (trwałości) powłoki cynkowej lub alucynkowej;

$S_{Powt.}$ – okres ochrony (trwałości) powłoki malarskiej.

Najbardziej newralgicznym miejscem konstrukcji gruntowo-powłokowych jest ich dolna część narażona na abrazję, szczególnie w przypadku lokalizacji obiektów w terenach podgórskich i górskich, ze zwiększoną prędkością przepływu wody często również z piaskiem i pospółką. Przykłady uszkodzeń tego typu konstrukcji zostały zaprezentowane na europejskiej konferencji w Rydzyńcu w referacie [16].

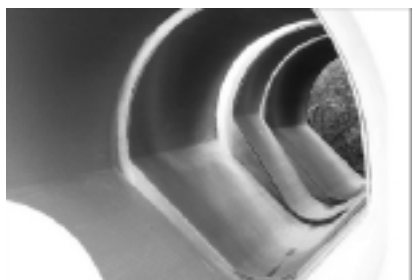
Ze względu na podatność tego typu konstrukcji są one również odporne na trwałość zmęczeniową. Wykazał to m.in. autor artykułu na podstawie licznych badań terenowych i laboratoryjnych, m.in. pod kątem zmęczeniowym, przeprowadzonych pod jego kierunkiem [7], [10], [14], [15]. Badania wykazały również stosunkowo duże zapasy nośności doraźnej i to zarówno w przypadku obciążeń drogowych, jak i kolejowych. Wynika to głównie z faktu współpracy konstrukcji stalowej z zasypką gruntową. Wyniki przeprowadzanych badań przedstawiono w [16].

Zwiększanie trwałości przepustów

W przypadku betonowych rur przepustowych istnieją dwie metody zwiększania ich trwałości. Pierwsza polega na odpowiedniej modyfikacji mieszanki betonowej w fazie produkcji rur przez odpowiedni dobór uziarnienia kruszywa i modyfikatorów chemicznych, co znacznie poprawia wytrzymałość betonu konstrukcyjnego, szczelność i nasiąkliwość. Druga metoda polega na łączeniu zalet materiałów, np. przez wykonywanie wykładzin z tworzyw sztucznych wewnątrz rur betonowych. Dzięki temu łączy się dużą wytrzymałość betonu z antykoroz-

zynnymi właściwościami tworzy sztucznych. Ponadto wyprawy polimerowe, dzięki swojej gładkości, poprawiają również współczynnik przepływu. Przykład takiego rozwiązania pokazano na fotografii 8.

W przypadku przepustów z blach falistych stosuje się polimerową powłokę ochronną Trenchcoat™ (fotografia 9). Znacznie podwyższa ona stopień ochrony antykorozyjnej i łączy zalety ocynkowanej



Fot. 8. Przykład wykorzystania powłoki z tworzywa sztucznego w celu eliminacji zagrożeń korozyjnych i poprawy współczynnika przepływu w przepustach betonowych firmy Haba-Beton [17]



Fot. 9. Przejście dla zwierząt z blach falistych typu SuperCor z dodatkową powłoką polimerową Fot. A. Wysokowski

blachy stalowej z odpornością chemiczną polimerów [1]. W ostatnich latach do wykonywania przepustów z blach falistych stosuje się również blachy ze stopów aluminium. Technologia ta rozpowszechnia się w coraz większym stopniu ze względu na zwiększoną trwałość korozyjną niektórych stopów aluminium jako pierwiastka o jednym z najmniejszych potencjałów elektrochemicznych.

Postęp technologiczny oraz liczne badania i analizy umożliwiają uzyskiwanie tworzyw sztucznych o większej odporności na działanie silnie agresywnych środków chemicznych. Poprzez modyfikację polichlorku winylu uzyskano materiał odporny na działanie promieni ultrafioletowych UV.

Trwałość przepustów często zależy od zastosowanych w ich konstrukcji materiałów. W przyszłości można będzie pokusić się o bardziej jednoznaczne i szczegółowe wnioski i wskazówki konstrukcyjne. Konstrukcjom inżynierskim w ciągu dróg

kołowych i linii kolejowych poświęcono publikacje [8], [9], [11]. Zagadnienia te są również na bieżąco omawiane na cyklicznych Świętecznych Drogowo-Mostowych Konferencjach Naukowo-Technicznych *Przepusty i przejścia dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej* w Żmigrodzie, której kolejna XII edycja odbędzie się w grudniu br.

Do podniesienia trwałości, funkcjonalności i bezpieczeństwa przepustów w infrastrukturu-



Fot. A. Wysokowski

rze komunikacyjnej przyczyniają się nowe sposoby ich konstruowania, materiały i technologie. Nie bez znaczenia jest fakt, że konstrukcje te są projektowane i wykonywane w sposób coraz bardziej ekonomiczny przy uwzględnieniu aspektów ekologicznych.

Artykuł powstał na bazie referatu przygotowanego i wygłoszonego na Seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Trwałość Obiektów Mostowych”, Politechnika Wroclawska 22 – 23 listopada 2012 r.

Abstract

Culverts were built from the very beginning when the first road and railway lines. Therefore, at the moment, we are dealing with traditional culverts and arising in Poland recently – modern culverts. In the construction of culverts we have a great variety of materials and technology. Like the other constructions that are part of a modern transport infrastructure, besides functional values is important an aspect of durability of these structures. The paper compares materials and construction technology of culverts in aspect of their service life.

Literatura

- [1] Janusz L., Madaj A. *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo*. WKiŁ. Warszawa 2007 r.
- [2] Jasiński W., Madryas C., Rowińska W., Wysokowski A. *Metodyka badań betonowych żelbetonowych rur kanalizacyjnych oraz elementów prefabrykowanych studni kanalizacyjnych*. Materiały konferencyjne Konferencji Dni Betonu Tradycja i Nowoczesność 2004. Wydawca Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2004 r.
- [3] Jasiński W., Łęgosz A., Nowak A., Pryga-Szulc A., Wysokowski A. *Zalecenia projektowe i tech-*

nologiczne dla podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z tworzyw sztucznych. GDDKiA-IBDiM Żmigród 2006 r.

[4] Kuliczkowski A. *Rury kanalizacyjne. Własności materiałowe*. Monografie, Studia, Rozprawy nr 28. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2001 r.

[5] Machelski CZ. *Obliczanie mostów gruntowo-powłokowych*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne Wrocławskie Seria Wydawnicza Inżynierii Mostowej. Wrocław 2008 r.

[6] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A. *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*, GDDKiA-IBDiM Żmigród, 2004 r.

[7] Wysokowski A., Łęgosz A., Siwowski A., Janusz L. *Full Scale Testing Program Of Large-Diameter Multi-Plate Corrugated Culverts Made From Aluminium Plate*. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Aluminium 2005. Listopad, Kliczków, 2005 r.

[8] Wysokowski A., Howis J. *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. I-XI*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne 2008 – 2012 r.

[9] Wysokowski A., Howis J. *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej. Tradycja i nowoczesność*. II Międzynarodowa Konferencja Mostowa im. Rudolfa Modrzejewskiego Mosty Tradycja i Nowoczesność, Bydgoszcz 2010 r.

[10] Wysokowski A., Janusz L., Mońka M. *Testing of the influence of the foundation kind on settlement of combined soli-steel structures under static loads*. VIII Conference „Composite Structures”, Publishing House of University of Zielona Góra, Zielona Góra 2008 r.

[11] Wysokowski A., Madryas C., Howis J. *Stosowanie rurowych elementów betonowych jako przejść dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej*. Konferencja Dni Betonu 2008. Tradycja i Nowoczesność. Wisła, październik 2008. Polskie Stowarzyszenie Producentów Cementu Kraków 2008 r.

[12] Wysokowski A., Madryas C., Skomorowski L. *Development of the transport infrastructure in Poland with the application no-dig with CC-GRP materials*. International No-Dig 2010 28th International Conference and Exhibition 8-10 November 2010r., Singapore.

[13] Wysokowski A., Pryga A. *Trwałość eksploatacyjna podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. V Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Problemy Projektowania, Budowy oraz Utrzymania Mostów Małych i Średnich Rozpiętości. Wrocław 2004 r.

[14] Wysokowski A. *Badania odporności zmęczeniowej przepustów ze stali karbowanej i tworzyw sztucznych w skali naturalnej*. IV Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna pt. Problemy Projektowania, Budowy oraz Utrzymania Mostów Małych, Wrocław 1999 r.

[15] Vaslestadt J., Wysokowski A. *Full scale testing of Multi Plate corrugated steel culverts including fatigue problems*. Archives of Civil Engineering, XLV, 2, 1999 r.

[16] Materiały Konferencyjne II Europejskiej Konferencji pt: Konstrukcje podatne z blach falistych w inżynierii komunikacyjnej. Rydzyna 2012 r.

[17] Katalog i materiały informacyjne firm produkujących materiały i wyroby do budowy przepustów.