

PRZEPUSTY

i mosty ekologiczne

Wykonawstwo konstrukcji gruntowo-powłokowych ze stalowych blach falistych, cz. 1

Parametry konstrukcyjne powłok stalowych



tekst:

prof. UZ dr hab. inż. ADAM WYSOKOWSKI, kierownik Zakładu Dróg i Mostów, Uniwersytet Zielonogórski

mgr inż. JERZY HOWIS, konstruktor, Infrastruktura Komunikacyjna Sp. z o.o., Żmigród

Po omówieniu w poprzednich artykułach z niniejszej serii zagadnień związanych z wykonawstwem przepustów typu sztywnego, czyli z betonu i żelbetu [4], kolejnym ważnym zagadnieniem jest wykonawstwo przepustów podatnych, czyli konstrukcji wykonywanych jako gruntowo-powłokowe.

Tematyka ta, z uwagi na specyfikę konstrukcji przepustów podatnych, jest bardzo szeroka i w porównaniu z konstrukcjami sztywnymi obejmuje swoim zakresem wiele innych zagadnień, głównie związanych z prawidłowym wykonywaniem zasypki gruntowej, która w przypadku omawianych konstrukcji stanowi istotny element nośny przepustu.

Niniejszy artykuł – jako pierwszy z kilku o tej tematyce – porusza zagadnienia związane z rodzajem materiałów konstrukcyjnych stosowanych przy wykonywaniu stalowych przepustów gruntowo-powłokowych.

1. Wprowadzenie

Rozwój technologii w znaczny sposób zmienił również metody konstruowania przepustów komunikacyjnych. Przepusty z materiałów tradycyjnych, jak omówione w poprzednim artykule – beton czy żelbet, najczęściej o konstrukcji masywnej – są w coraz większym stopniu zastępowane lekkimi konstrukcjami gruntowo-powłokowymi, które współpracują z zasypką gruntową w przenoszeniu obciążeń.

W przypadku powłok podatnych wykorzystuje się współpracę cienkiej powłoki z zasypką gruntową, a więc zarówno zasypka, jak i powłoka są tu elementami konstrukcyjnymi, a nie jak w przypadku konstrukcji sztywnych jedynie wypełnieniem. Konstrukcją nośną są więc posiadające właściwości sprężyste powłoki i sypek materiał gruntowy [2, 3, 5]. Z tego względu konstrukcje gruntowo-powłokowe wymagają innego podejścia przy ich wykonywaniu przede wszystkim

ze względu na wymagany wysoki reżim technologiczny na placu budowy w celu zapewnienia optymalnych warunków pracy konstrukcji w przyszłej eksploatacji.

W niniejszym artykule omówiono podstawowe parametry materiałowe (z uwagi na ograniczone ramy artykułu), jakim powinny się charakteryzować nowoczesne konstrukcje osłonowe z blach falistych.

2. Konstrukcje powłokowe z blach falistych

Konstrukcje wykonane z blach falistych zaczęto stosować w XIX w. [1, 4]. Obiekty te spotykane są przeważnie w dwóch postaciach w zależności od wielkości ich gabarytów:

- jako rury spiralne produkowane w sposób ciągły z blach ocynkowanych formowanych technologicznie,
- jako konstrukcje składające się z ocynkowanych blach falistych połączonych ze sobą łącznikami w postaci śrub.

W porównaniu do konstrukcji tradycyjnych, czyli wykonanych z betonu lub żelbetu, charakteryzują się one niższymi kosztami budowy i mniejszą masą.

Konstrukcje podatne z blach falistych wykonywane są w bardzo wielu typach kształtów przekroju poprzecznego.

Przykładowy widok rodzajów rur osłonowych z blach falistych stosowanych do budowy obiektów gruntowo-powłokowych przedstawia rycina 1.

Ogólnie można podzielić je na zamknięte (ułożone na wyprofilowanym fundamencie kruszywowym) i otwarte, najczęściej typu skrzynkowego (oparte na fundamentach, np. żelbetowych lub podatnych w postaci blach falistych).



Ryc. 1. Przykładowy widok rodzajów rur osłonowych z blach falistych stosowanych do budowy obiektów gruntowo-powłokowych, fot. A. Wysokowski

Wieloletnie doświadczenia wynikające ze stosowania konstrukcji z blach falistych pokazują, że konstrukcje o kształcie łukowym oparte na fundamentach są bardziej ekonomiczne od konstrukcji o kształcie zamkniętym, przy rozpiętości powyżej 8,0 m. Warunkiem koniecznym jest jednak występowanie dobrych warunków gruntowych i związanych z tym relatywnie niskich kosztów posadowienia konstrukcji. Popularne w przypadku budowy małych mostów i przepustów konstrukcje oparte na fundamentach pozwalają na minimalną ingerencję w środowisko naturalne, nie naruszając dna cieków, nad którymi przechodzą [6].

2.1. Konstrukcje osłonowe z blach karbowanych związanych spiralnie

Taśmy stalowe poddawane są karbowaniu na specjalnie przystosowanej do tego celu giętarnie i – w zależności od pożądanej średnicy – wyginane oraz jednocześnie łączone za pomocą szwu maszynowego. Przy użyciu pracującej współbieżnie piły rury przycinane są na wymaganą długość. Łączna długość konstrukcji tych rur jest praktycznie nieograniczona dzięki możliwości ich łączenia za pomocą specjalnych „zaprasowywanych” złączy [1].

Rury spiralnie karbowane produkowane są obecnie z blach o grubościach od 1,5 mm do 3,5 mm w dwóch rodzajach wielkości korugacji (karbowania):

- 68 x 13 mm,
- 125 x 26 mm.

Przykładowy widok konstrukcji powłokowych z rur spiralnie karbowanych zabezpieczonych powłoką polimerową przedstawia rycina 2.



Ryc. 2. Widok konstrukcji powłokowych z rur spiralnie karbowanych. Widoczne ukształtowane na etapie produkcji skosy wlotu i wylotu przepustu, zgodnie z projektowym nachyleniem skarpy, fot. A. Wysokowski

2.2. Konstrukcje osłonowe z blach falistych wykonywane z segmentów

Segmenty przepustu w postaci arkuszy blach formowane są w procesie walcowania na zimno. Jednocześnie wierci się otwory na śruby mocujące. Po uformowaniu blach wykonuje się

ścięcia krawędzi nadające odpowiednie skosy. Końcowym procesem produkcji jest zabezpieczenie antykorozyjne blach przez cynkowanie ogniowe, po uprzednim wytrawieniu i oczyszczeniu arkuszy – proces ten opisano w rozdziale 3 niniejszego artykułu.

Segmenty blaszane łączone są następnie za pomocą specjalnych śrub [7, 8].

Stosowany falisty kształt przekroju poprzecznego blach zwiększa sztywność przekroju przy jednoczesnej jego sprężystości, co jest szczególnie ważne w trakcie wykonywania konstrukcji.

Blachy produkowane są w różnych rozmiarach fal. Ich wielkość dobiera projektant, biorąc pod uwagę wymaganą przez rurę osłonową sztywność oraz parametry zasypki gruntowej.

Spośród dostępnego na krajowym rynku asortymentu przekrojów blach stalowych możemy wyróżnić trzy zasadnicze wysokości fali w stalowych konstrukcjach podatnych, które zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Zasadnicze wysokości fali w stalowych konstrukcjach podatnych [1, 11]

Nazwa konstrukcji	Szerokość fali [mm]	Wysokość fali [mm]	Grubość ścianek [mm]
1	2	3	4
Multiplate	150; 200	50	3,0–8,0 co 1,0 mm
SuperCor®	381	140	5,5; 7,0; 8,0
UltraCor®	500	240	7,8; 8,0; 9,5; 12,5

Przedstawione w tabeli 1 konstrukcje SuperCor® należą do nowszej generacji konstrukcji podatnych z blach falistych i charakteryzują się dużą sztywnością.

Ich nośność jest dużo większa od nośności tradycyjnych, dotychczas stosowanych konstrukcji z blach falistych. Konstrukcje te stosuje się do budowy obiektów inżynierskich o rozpiętości do 25,0 m [11]. Mają szerokie zastosowanie w przypadku coraz częściej budowanych w naszym kraju przejść dla zwierząt, tzw. ekomostów, w ciągu autostrad i dróg ekspresowych.

Przykładowy widok elementu konstrukcyjnego typu SuperCor® przedstawiono na rycinie 3.



Ryc. 3. Przykładowy widok elementu konstrukcyjnego typu SuperCor® w fazie produkcji. Widoczna wysokość fali charakterystyczna dla tego typu przekroju, fot. A. Wysokowski



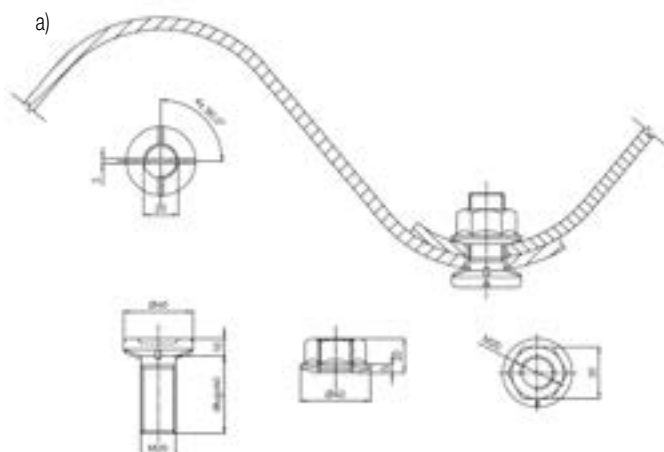
Ryc. 4. Widok segmentów blach o dużej korugacji na placu budowy konstrukcji przejścia dla zwierząt o dużej rozpiętości, fot. A. Wysokowski

Natomiast konstrukcje UltraCor® należą do najnowszej generacji konstrukcji podatnych z blach falistych o największym dotychczas stosowanym profilu fali. Dzięki temu łączą w sobie wszystkie zalety lekkich konstrukcji z nieznaną dotąd wytrzymałością i trwałością. Pozwala to na budowanie obiektów podatnych o rekordowych rozpiętościach [11].

Widok segmentów blach o dużej korugacji na placu budowy konstrukcji przejścia dla zwierząt przedstawiono na rycinie 4.

Wielu producentów podaje katalogowe przekroje poprzeczne. Jednakże podkreślają oni jednocześnie, że możliwe jest projektowanie innych niż standardowe kształtów przekroju poprzecznego. Kształt przekroju można dobierać indywidualnie, projektując krzywiznę poszczególnych elementów konstrukcji. Wymaga to jednak konsultacji z producentem, tak aby zaprojektowany kształt był wykonalny z punktu widzenia technologii wytwarzania konstrukcji. Kształt w kierunku podłużnym obiektu wynika z indywidualnych uwarunkowań terenowych i jest każdorazowo ustalany dla danego przypadku. Przy kształtowaniu w kierunku podłużnym bardzo ważne jest uwzględnienie wpływu skosu konstrukcji w stosunku do osi drogi na jej długość góra i dołem. Bardzo często zapomina się o wpływie skosu na długość i ukształtowanie podłużne konstrukcji, a ma to istotne znaczenie wykonawcze, a także decyduje niekiedy dość istotnie o koszcie realizacji obiektu.

Wymiary blach, rozstaw oraz liczba otworów przeznaczonych na śruby mocujące zależą od profilu fali, przekroju poprzecznego konstrukcji oraz jego wymiarów.



Ryc. 5. Sposób połączenia poszczególnych segmentów blach za pomocą śrub: a) schemat typowego połączenia [11], b) widok wykonanego połączenia konstrukcji typu Multiplate na etapie budowy, fot. A. Wysokowski



Ryc. 6. Przykładowy widok połączenia poszczególnych segmentów blach od wewnątrz konstrukcji przejścia dla pieszych w trakcie realizacji. Widoczne trzpienie śrub zlicowane z powierzchnią blach konstrukcyjnych, fot. A. Wysokowski

Na rycinie 5a i 5b przedstawiono przykładowy schemat oraz widok połączenia poszczególnych segmentów blach.

Arkusze łączą się ze sobą za pomocą ocynkowanych śrub. Sposób połączeń jest opracowany indywidualnie przez producenta konstrukcji oraz dobrany do typu konstrukcji. Śruby, nakrętki i podkładki powinny być zgodne z wymaganiami zawartymi w deklarowanych przez producentów normach.

Na rycinie 6 przedstawiono przykładowy widok połączenia poszczególnych segmentów blach od wewnątrz konstrukcji przejścia dla pieszych w trakcie realizacji.

2.3. Parametry materiałowe blach falistych

Stal do produkcji blach odznacza się wysokimi właściwościami zarówno plastycznymi, jak i wytrzymałościowymi. W każdym kraju określają je odpowiednie normy i zalecenia. W Polsce do produkcji blach falistych stosuje się stal, w zależności od grubości blachy o granicy plastyczności od 235 do 400 MPa i wytrzymałości na rozciąganie w granicach od 340 MPa do 630 MPa.

Tab. 2. Parametry wytrzymałościowe stali stosowanej do produkcji rur spiralnie karbowanych [11]

Gatunek stali	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
1	2	3
DX51D	–	270–500
S250GD	250	330



W przypadku produkcji rur spiralnie karbowanych stosuje się najczęściej stale o symbolach DX51D oraz S250GD. Parametry tych materiałów zestawiono w tabeli 2.

Natomiast w przypadku produkcji blach falistych używanych w konstrukcjach typu segmentowego stosuje się najczęściej stale o symbolach S235JR lub stal S355J2GE, których parametry wytrzymałościowe przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Parametry wytrzymałościowe stali stosowanej do produkcji blach falistych [1, 11]

Gatunek stali	Grubość wyrobu [mm]	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
1	2	3	4
S235JR	do 3	235	360 ÷ 510
	3 ÷ 100		340 ÷ 470
S355J2G3	do 3	355	510 ÷ 680
	3 ÷ 100		490 ÷ 630

Do produkcji wykorzystuje się również stop aluminium o granicy plastyczności 165 MPa. Aluminium jest materiałem o dobrych właściwościach antykorozyjnych, z czego wynika, że nie ma konieczności zabezpieczania go przed tym zjawiskiem. Stop ten posiada jeden z najniższych potencjałów elektrochemicznych, jest więc pierwiastkiem bardzo aktywnym, ale pod wpływem powietrza lub wody staje się materiałem pasywnym.

W tabeli 4 zestawiono przykładowe parametry wytrzymałościowe dla stopu aluminium 5052-H141, najczęściej wykorzystywanego do produkcji blach falistych [1, 9, 10].

Tab. 4. Parametry wytrzymałościowe stopu aluminium [1]

Grubość wyrobu [mm]	Granica plastyczności [MPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]
1	2	3
2,54 ÷ 3,81	245	165
4,44 ÷ 6,35	235	165
Moduł sprężystości wynosi 70 GPa		

Do zasadniczych zalet materiałów stosowanych do produkcji blach falistych należą:

- uniwersalność stosowania,
- mały ciężar rur pozwalający na ręczny transport na placu budowy i łatwy montaż,
- wysoka wytrzymałość,
- duża odporność na korozję,
- minimalizacja kosztów utrzymania obiektów.

3. Zabezpieczenie antykorozyjne konstrukcji powłokowych ze stalowych blach falistych

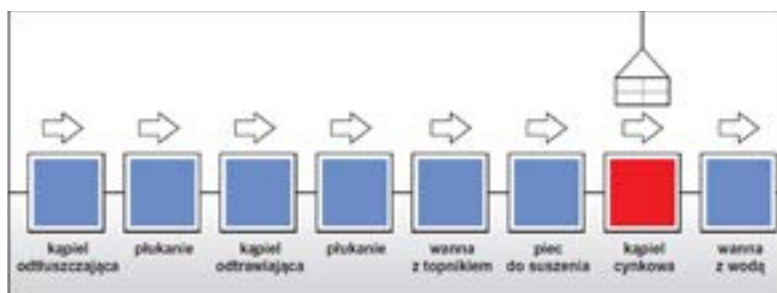
Podstawowym zabezpieczeniem przed korozją blach stosowanych do budowy konstrukcji podatnych jest powłoka meta-

liczna – cynkowa lub alucynkowa, nakładana metodą ogniową (zanurzeniową). Powłokę cynkową wykonuje się z czystego cynku (Zn), natomiast powłokę alucynkową ze stopu cynku (Zn) i aluminium (Al) – potocznie nazywanego znal.

Cynkowanie to zespół czynności mający na celu pokrycie powierzchni przedmiotów stalowych cienką warstwą cynku w celu zabezpieczenia ich przed korozją powodowaną przez warunki atmosferyczne. Najbardziej rozpowszechnioną metodą wykonywania przedmiotowego zabezpieczenia antykorozyjnego jest cynkowanie ogniowe, zwane także cynkowaniem zanurzeniowym. Metoda ta należy do najskuteczniejszych spośród wszystkich metod zabezpieczeń antykorozyjnych stali przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych.

Metoda zanurzeniowa polega na przygotowaniu powierzchni (odtłuszczenie, odtrawianie, topnikowanie), a następnie na pokrywaniu cynkiem (cynkowanie) przez zanurzenie elementów stalowych w wannach zawierających kąpiele o odpowiednim składzie chemicznym. Metoda ta pozwala na równomierne pokrywanie warstwą cynku, który dociera do każdej szczeliny, np. do wnętrza profilu [12].

Na rycinie 7 przedstawiono schemat graficzny procesu cynkowania ogniowego.



Ryc. 7. Schemat graficzny procesu cynkowania ogniowego elementów stalowych [12]

Dodatkowo w tabeli 5 przedstawiono aktualnie wymagane minimalne grubości powłok cynkowych i alucynkowych dla konstrukcji podatnych według [3].

Tab. 5. Wymagania dotyczące minimalnych grubości powłok cynkowych i alucynkowych dla konstrukcji podatnych [3]

Element konstrukcyjny	Typ zabezpieczenia antykorozyjnego	Wymagana średnia grubość powłoki [mm]
1	2	3
Elementy konstrukcyjne	Cynkowanie zanurzeniowe	min. 55 dla $g^1 > 1,5$ mm min. 70 dla $3,0 \leq g < 6,0$ mm min. 85 dla $g \geq 6,0$ mm
Rury spiralnie karbowane		min. 42
Śruby i nakrętki		min. 45
¹ g – grubość elementu stalowego		

Dla uzyskania dodatkowej niezbędnej ochrony antykorozyjnej ocynkowane taśmy używane do produkcji blach falistych (w szczególności o zamkniętych przekrojach poprzecznych) pokryte są dodatkową specjalną powłoką Trenchcoat™ oraz W-Protect™, które razem z powłoką cynkową tworzą tzw. system Duplex [11]. Technologia ta została opracowana w taki sposób, aby połączyć zalety ocynkowanej taśmy stalowej z doskonałą odpornością chemiczną i własnościami polimerów.

Powłoka ta nanoszona jest obustronnie w wysokiej temperaturze i przy wysokim ciśnieniu na uprzednio oczyszczoną chemicznie powierzchnię ocynkowaną. Powłoka nakładana jest za pomocą pras rolkowych. Proces ten wykonuje się przed karbowaniem i formowaniem blach na rury.

Tak wykonane powłoki podwyższają stopień ochrony antykorozyjnej w konstrukcjach służących do przeprowadzania cieków wodnych, w tym o dużym stężeniu agresywnych związków chemicznych. Zastosowanie tego systemu również zabezpiecza konstrukcję – zwłaszcza strefę denną – przed skutkami abrazyj spowodowanej przez kruszywo niesione przez ciek wody w trakcie eksploatacji przepustu.

Należy dodać, że zastosowanie systemu Duplex stanowi zabezpieczenie przed korozyjnym oddziaływaniem tzw. prądów błędzących. Ma to szczególne znaczenie w przypadku konstrukcji gruntowo-powłokowych wykonywanych w nasypach zelektryfikowanych linii kolejowych.

Obecnie trwają prace dotyczące optymalizacji technologii skutecznej ochrony antykorozyjnej omawianych konstrukcji. Na podstawie doświadczeń praktycznych i najnowszych tendencji według firmy ViaCon Polska Sp. z o.o. istnieją techniczne możliwości wykonania powłok cynkowych metodą ogniową grubszych niż wyspecyfikowane w normie PN-EN 1461, która to określa maksymalną grubość powłoki cynkowej na poziomie 85 µm.

Jak ogólnie wiadomo, trwałość przedmiotowych obiektów w rozporządzeniu *Warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie* (Dz.U. 2000, nr 63, poz. 735) jest określona na okres 100 lat. Powłoki cynkowe o grubościach określonych w normie nie spełniają wymogu 100-letniej żywotności bez dodatkowego zabezpieczenia w postaci powłok malarskich.

W 2016 r. wspomniana wyżej firma przeprowadziła badania, w wyniku których osiągnięto grubości powłok cynkowych o grubościach na poziomie 200 µm. Zwiększenie grubości powłoki zapewni wzrost trwałości konstrukcji stalowej w założonym okresie eksploatacji tak wykonanego obiektu bez konieczności doszczelniania powłokami malarskimi.

4. Podsumowanie

Jak opisano w niniejszym artykule, dobór typu konstrukcji rury osłonowej z blach falistych ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo i trwałość obiektu gruntowo-powłokowego. W przypadku omawianych konstrukcji podatnych bardzo istotnym parametrem wpływającym na nośność i stateczność wykonanej konstrukcji gruntowo-powłokowej jest odpowiednia sztywność profilu. Ma to duże znaczenie w trakcie budowy obiektu. Sztywność ta powinna być tak dobrana, aby jednocześnie umożliwić włączenie do współpracy otaczającą zasypkę gruntową w przenoszeniu obciążeń eksploatacyjnych.

W przypadku doboru optymalnego profilu blach do projektowanej konstrukcji gruntowo-powłokowej należy również brać pod uwagę czynniki ekonomiczne. Warto podkreślić, że obecnie na polskim rynku budowlanym producenci tego typu rozwiązań posiadają pomocne narzędzia w postaci zaawansowanych programów obliczeniowych, mających na celu optymalizację tych konstrukcji.

Ze względu na obszerność zagadnienia wykonawstwa przepustów o charakterze podatnym artykuł został podzielony na kilka spójnych części. Kolejny artykuł z tej serii będzie stanowił kontynuację opisywanej tematyki i dotyczył zagadnień związanych z wykonywaniem zasypki gruntowej, jako istotnego – często niedocenianego – „elementu konstrukcyjnego” w obiektach gruntowo-powłokowych. Zapraszamy do lektury!

Literatura

- [1] Janusz L., Madaj A.: *Obiekty inżynierskie z blach falistych. Projektowanie i wykonawstwo*. WKiŁ. Warszawa 2007.
- [2] Jasiński W., Łęgosz A., Nowak A., Pryga-Szulc A., Wysokowski A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych drogowych konstrukcji inżynierskich z tworzyw sztucznych*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2006.
- [3] Rowińska W., Wysokowski A., Pryga A.: *Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych*. GDDKiA, IBDiM. Żmigród 2004.
- [4] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. I–XXI*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2008–2017.
- [5] Wysokowski A., Staszczuk A., Bosak W.: *Przejścia dla zwierząt w budownictwie komunikacyjnym*. „Inżynier Budownictwa” 2007, nr 12, s. 72–75.
- [6] Materiały konferencyjne XII Świątecznej Drogowo-Mostowej Żmigrodzkiej Konferencji Naukowo-Technicznej *Przepusty i przejścia dla zwierząt w infrastrukturze komunikacyjnej*. Żmigród, grudzień 2013. Infrastruktura Komunikacyjna Żmigród, wydawnictwo Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. Kraków 2013.
- [7] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 6. Materiały do budowy przepustów – cz. I*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 3, s. 99–104.
- [8] Wysokowski A., Howis J.: *Przepusty w infrastrukturze komunikacyjnej – cz. 6. Materiały do budowy przepustów – cz. II*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2009, nr 6, s. 18–25.
- [9] Wysokowski A., Łęgosz A., Siwowski T., Janusz L.: *Full Scale Testing Program of Large-Diameter Multi-Plate Corrugated Culverts Made From Aluminium Plate*. Materiały Międzynarodowej Konferencji *Aluminium 2005*. Kliczków, listopad 2005.
- [10] ASTM B 746/B 746M *Standard Specification for Corrugated Aluminum Alloy Structural Plate for Field-Bolted Pipe, Pipe-Arches, and Arches*.
- [11] Katalogi i materiały informacyjne firm produkujących materiały do budowy przepustów z blach falistych.
- [12] Materiały informacyjne ze strony www.cynkowanieogniowe.pl.

