

mgr inż. Remigiusz Gut*
dr inż. Leszek Korusiewicz**

Badania laboratoryjne pełnowymiarowych konstrukcji gruntowo-powłokowych

Wzrastająca popularność oraz coraz szerszy obszar zastosowania konstrukcji gruntowo-powłokowych z karbowanych powłok metalowych lub z tworzyw sztucznych, szczególnie w budownictwie komunikacyjnym (przepusty, przejścia dla zwierząt, mosty o małej i średniej rozpiętości), implikuje potrzebę prowadzenia badań tego typu obiektów. Badania rozpatrywanych konstrukcji w skali naturalnej można podzielić na badania *in situ* oraz badania laboratoryjne. Te ostatnie są rzadko stosowane ze względu na konieczność zapewnienia odpowiedniego wyposażenia badawczego oraz wystarczającej przestrzeni laboratoryjnej ze względu na rozmiary testowanych konstrukcji. Zaletą badań laboratoryjnych jest przede wszystkim możliwość różnorodnych zmian parametrów eksperymentu, prowadzenie badań nietypowych czy też przyspieszonych, symulujących rzeczywiste obciążenie obiektu rozłożone w dłuższym czasie. Laboratorium Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Żmigrodzie jest jednym z niewielu na świecie, umożliwiającym badanie omawianych obiektów w skali naturalnej. Prowadzone od kilkunastu lat badania z wykorzystaniem konstrukcji gruntowo-powłokowych można podzielić na dwie kategorie: badania o charakterze czysto naukowym oraz badania o charakterze użytkowym, prowadzone w ramach procesu aprobacyjnego. O ile te pierwsze nie podlegają generalnie ograniczeniom ze względu na sposób i metodykę prowadzenia badań, o tyle te drugie powinny podlegać pewnemu usystematyzowaniu, umożliwiającemu powtarzalność i porównywalność wyników. W artykule podano ogólne procedury stosowane w IBDiM podczas ba-

dania przydatności do stosowania w inżynierii komunikacyjnej przepustów ze stalowych blach falistych (badania aprobacyjne).

Metodologię badań prowadzonych w ramach procesu aprobacyjnego przedstawiono na przykładzie zrealizowanych postępowań aprobacyjnych dla dwóch różnych przepustów ze stalowych blach falistych o profilu zamkniętym. Przedstawione procedury stosowane są również w przypadku przepustów o profilu otwartym.

Wposażenie badawczo-pomiarowe

Stanowisko do Badań Dynamicznych i Zmęczeniowych STEND, znajdujące się w IBDiM w Żmigrodzie, tworzy fundament żelbetowy długości 80,0 m i szerokości 12,0 m wraz z halą oraz stalową ramą stanowiącą konstrukcję oporową dla dwóch hydraulicznych siłowników wymuszających obciążenia o maksymalnej sile 1000 kN każdy i maksymalnym przesuwie 400 mm. Szczegółowy opis stanowiska przedstawiono w pracy [1].

W skład standardowo wykorzystywanego oprzyrządowania pomiarowego wchodzi indukcyjne i zegarowe czujniki przemieszczenia, tensometryczne czujniki odkształcenia oraz opcjonalnie czujniki naporu gruntu. Do rejestracji oraz dalszej analizy danych uzyskanych za pomocą czujników indukcyjnych i tensometrycznych stosuje się system pomiarowy, składający się z: urządzenia pomiarowego UPM 100 (pomiar statyczny) i DMC 9012A (pomiar dynamiczny) firmy Hottinger Baldwin Messtechnik oraz komputera wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem „Beam” do sterowania i kontrolowania tych urządzeń.

Przedmiot badań

Przedmiotem badań były dwa obiekty wykonane z dwóch różnych rodzajów rur. Pierwsza to rura przepustowa

o przekroju eliptycznym wysokości 2394 mm, szerokości 2158 mm i długości ok. 8,6 m, ze stalowych blach falistych grubości nominalnej 3,5 mm ocynkowanych ogniowo, bez dodatkowych powłok antykorozyjnych. Badana rura miała karbowanie o wymiarach fali 152,4 x 50,8 mm. Druga to rura ze stalowych blach falistych spiralnie nawijanych, ze szwem, o średnicy nominalnej 2200 mm i długości ok. 8 m, w jednym odcinku, bez złązek i spawów. Rura została wykonana z blachy grubości nominalnej 3,5 mm, z profilowaniem 125 x 26 mm, ocynkowanej ogniowo i dwustronnie powlekanej powłoką typu Trenchcoat.

Omówione rury zostały zabudowane w gruncie, tworząc modele konstrukcji gruntowo-powłokowych (przepustów) w skali naturalnej. Wbudowanie w grunt wykonano zgodnie z obowiązującymi przepisami i normami z zakresu budownictwa komunikacyjnego i wykonawstwa robót budowlanych [2, 3]. Parametry gruntu sprawdzane przed wbudowaniem to: wskaźnik różnoziarnistości, wskaźnik krzywizny uziarnienia, wskaźnik piaskowy, gęstość maksymalna szkieletu gruntu metodą II, średnia wilgotność optymalna. Zasypkę układano warstwami grubości 0,25 – 0,30 m, naprzemiennie z obu stron rury. Grunt zagęszczano za pomocą płyt wibracyjnych. W zagęszczanych warstwach oznaczany był wskaźnik zagęszczenia I_s i wilgotność.

Przed wbudowaniem rur w grunt należało zainstalować czujniki przemieszczeń i odkształceń (tensometry) w celu wyznaczenia deformacji i naprężeń w powłoce podczas procesu zasypania. Czujniki umieszcza się od strony wewnętrznej badanego przepustu w przekroju środkowym ($\frac{1}{2}L$ – gdzie L długość przepustu) oraz opcjonalnie w dodatkowych przekrojach położonych np. w odległościach $\frac{1}{3}L$ i $\frac{2}{3}L$ lub

* Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie – Filia Wrocław

** Politechnika Wrocławska

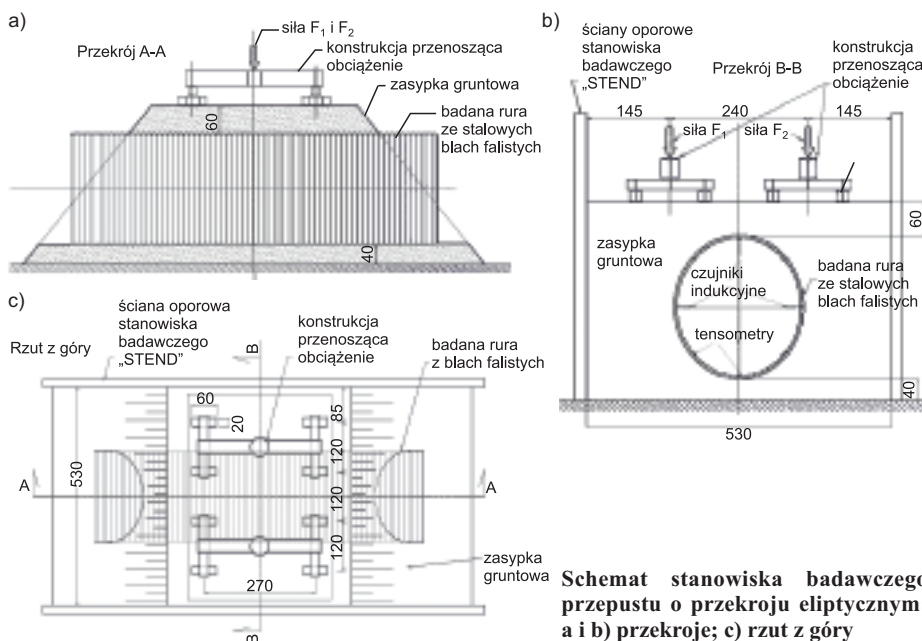
$\frac{1}{4} L$ i $\frac{3}{4} L$. Deformacje powłoki mierzy się przynajmniej w dwóch kierunkach – w linii maksymalnego wymiaru poprzecznego (rozpiętość konstrukcji) i w linii maksymalnego wymiaru pionowego (wysokość konstrukcji). Tensometry, rozmieszczone równomiernie na obwodzie powłoki, naklejane są w kierunku obwodowym i wzdłużnym na wierzchołku i w dolinie fali. Szczegóły dotyczące pomiarów odkształceń w powłokach z blach falistych oraz metody wyznaczania naprężeń i sił wewnętrznych przedstawiono w pracy [4].

Obciążenia

Rodzaj, sposób i wielkość obciążenia zależy od przewidywanego zastosowania testowanego obiektu oraz zakresu aprobaty technicznej.

Generalnie, na konstrukcję działają dwa rodzaje obciążeń: obciążenia wywołane oddziaływaniem ruchu drogowego oraz obciążenia wywołane oddziaływaniem ruchu kolejowego. W celu zamodelowania danego rodzaju obciążenia wykorzystuje się przede wszystkim dane zawarte w pracy [5] oraz w pracach [2, 6]. Omawiane w artykule przepusty poddano obciążeniom drogowym klasy A (wg [6]). Trudność w realizacji danego schematu obciążenia polega na konieczności zastosowania specjalnego układu przeniesienia sił z siłowników maszyny wytrzymałościowej na badany obiekt. Na rysunku przedstawiono schemat stanowiska badawczego wraz z układem przeniesienia obciążenia oraz rozmieszczeniem czujników pomiarowych, natomiast na fotografii widok stanowiska z zabudowanym przepustem.

Ze względu na charakter zmian obciążenia rozróżnia się obciążenia statyczne (wolnozmiennie – cykl trapezowy opisany w pracy [7]) oraz zmęczeniowe (dynamiczne – cykl sinusoidalny o częstotliwości $0,2 \div 2$ Hz). Przyjęto ogólną zasadę, że minimalna liczba cykli obciążenia statycznego nie może być mniejsza niż 5, a minimalna liczba cykli zmęczeniowych nie może być mniejsza niż 100 000. W pewnych przypadkach, po uzgodnieniu ze zleceniodawcą, wykonuje się próbę zniszczenia w celu określenia wartości obciążeń krytycznych.



Schemat stanowiska badawczego przepustu o przekroju eliptycznym: a i b) przekroje; c) rzut z góry



Widok stanowiska badawczego z zabudowanym przepustem w czasie badań

Uzyskane wyniki pomiarów przedstawia się w postaci tabel i wykresów. Wartości przemieszczeń i naprężeń (sił wewnętrznych) porównuje się z wartościami dopuszczalnymi oraz w miarę możliwości z obliczonymi teoretycznie. Dwa podstawowe kryteria oceny badanych konstrukcji to kryterium sztywności (przemieszczeniowe) oraz kryterium wytrzymałościowe. Pierwsze z nich określa graniczne wartości przemieszczeń, które zgodnie z pracą [2] nie powinny przekraczać 2% rozpiętości przepustu na żadnym etapie jego budowy oraz podczas obciążeń eksploatacyjnych. Drugie kryterium można sformułować ogólnie w postaci wymagania dotyczącego nieprzekroczenia przez pomierzone naprężenia (przy obciążeniach

normowych powiększonych o odpowiednie współczynniki bezpieczeństwa) wartości granicy plastyczności materiału powłoki przepustu.

W procesie aprobowym wykorzystywane są dodatkowe dokumenty dostarczane przez zleceniodawcę, takie jak: rysunki techniczne, instrukcje montażu, raporty z badań materiału przepustu, blach falistych i ich połączeń, obciążenia teoretyczne.

Literatura

- [1] Wysokowski A., Korusiewicz L.: Możliwości badawcze stanowiska do badań statycznych i dynamicznych konstrukcji inżynierskich w skali naturalnej. IV Konferencja Naukowa – Metody Doświadczalne w Budowie i Eksploatacji Maszyn, Tom 2, Wrocław – Szklarska Poręba 1999, s. 335 – 344.
- [2] Zalecenia projektowe i technologiczne dla podatnych konstrukcji inżynierskich z blach falistych. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Żmigrod 2004.
- [3] PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- [4] Korusiewicz L., Chruścielski G., Jasiński R.: Practical aspects of strains, stresses and internal forces estimation during field and laboratory tests of corrugated culverts. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 12, 2012, Wydawnictwo Polit. Poznańskiej 2012, s. 117 – 131.
- [5] PN-EN 1991-2:2007. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [6] PN-S-10030:1985 (wycofana). Obiekty mostowe. Obciążenia.
- [7] Korusiewicz L., Kunecki B., Wysokowski A.: Raport IBDiM-TW 26999/W-374. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Filia Wrocław, Żmigrod 1999.