

Damian BĘBEN\*  
Politechnika Opolska

## BADANIA MOSTU DROGOWEGO WYKONANEGO ZE STALOWYCH BLACH FALISTYCH TYPU SUPER COR

**Streszczenie.** W referacie przedstawiono przebieg i analizę wyników badań doświadczalnych przeprowadzonych pod znanym obciążeniem statycznym jednoprzęsłowego stalowego mostu drogowego wykonanego z blach falistych typu Super Cor. Badany obiekt o konstrukcji „skrzynkowej” usytuowany jest nad rzeką Bystrzyca Dusznicka w Polanicy Zdroju. Wnioski z przeprowadzonych badań mogą być pomocne głównie przy określeniu współpracy konstrukcji stalowej (blachy falistej) z gruntem. Ze względu na coraz częstsze stosowanie w Polsce tego typu konstrukcji na mosty o małych i średnich rozpiętościach teoretycznych wnioski z tych badań można uogólnić i odnieść do całej klasy tych rozwiązań.

## RESEARCH OF ROAD BRIDGE MADE OF STEEL CORRUGATED PLATES OF SUPER COR TYPE

**Summary.** This paper presents a procedure of making a research and analysis of results under static load of single span of a road bridge made of steel corrugated plates of Super Cor type. The tested object of box structure is situated across Bystrzyca Dusznicka River in Polanica Zdrój. Conclusions from the passed research can be helpful mostly at qualification of co-operation of steel structure (corrugated plate) with soil. In consideration of most often application in Poland this type structure in the case of small and middle effective span bridges, conclusions of conducted research will be to generalize to all class of such solutions.

### 1. Wstęp

W pracy omówiono sposób przeprowadzenia badań oraz wyniki pomiarów pod obciążeniem statycznym nowo wybudowanego jednoprzęsłowego mostu drogowego, złożonego z powłoki podatnej wykonanej ze stalowych blach falistych typu Super Cor SC-54B, położonego nad rzeką Bystrzyca Dusznicka w km 2+470 w ciągu drogi powiatowej nr 45117 Polanica Zdrój – Szczytna w miejscowości Polanica Zdrój (rys. 1).

---

\* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Zbigniew Mańko, prof. Politechniki Opolskiej i Politechniki Wrocławskiej



Rys. 1. Widok z boku na most wykonany ze stalowych blach falistych położony w Polanicy Zdroju  
 Fig. 1. Side view on the bridge made of the steel corrugated plates located in Polanica Zdrój

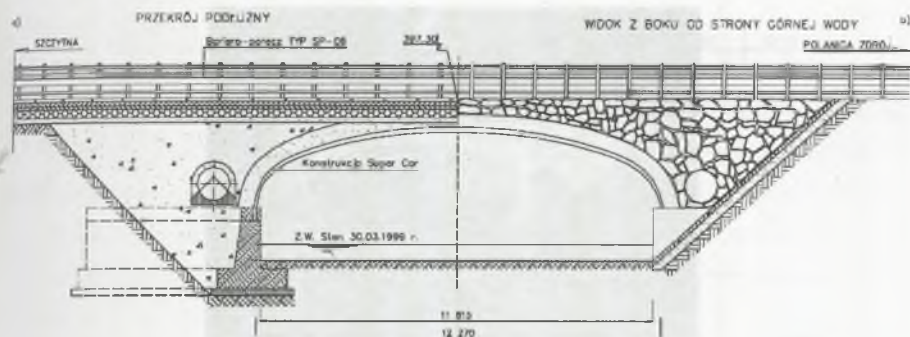
Celem badań była ocena zachowania się konstrukcji mostu pod znanym obciążeniem statycznym dla stwierdzenia słuszności założeń przyjętych w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych oraz w projekcie próbnego obciążenia, a także określenie jego aktualnej nośności. Badania dotyczyły głównie oceny rzeczywistych sztywności takiego ustroju nośnego [1], [2].

Badany most został zaprojektowany na klasę obciążeń B według PN-82/S-10052. Sprecyzowane wnioski końcowe dotyczą przede wszystkim weryfikacji słuszności przyjętych założeń projektowych, gdyż jest to jeden z pierwszych obiektów o tak dużej rozpiętości teoretycznej w Europie (drugi obiekt znajduje się w Szczytnej – na tej samej drodze co prezentowany most, a trzeci wybudowany został w 2002 roku w Szwecji (Bracke)). Wszystkie te obiekty zostały także przebadane przez Zakład Konstrukcji Mostowych Wydziału Budownictwa Politechniki Opolskiej), przy czym należy podkreślić, że brak jest dotychczas odpowiednich wytycznych do ich projektowania i określenia warunków dopuszczających tego typu konstrukcje mostowe do normalnej eksploatacji [5].

## 2. Krótki opis obiektu

Most w przekroju podłużnym stanowi ustrój w postaci jednoprzęsłowej, sztywno utwierdzonej w żelbetowych fundamentach, stalowej konstrukcji „skrzynkowej” (powłoki) o rozpiętości teoretycznej wynoszącej  $l_1 = 12,270$  m (rys. 2). Powłokę oparto w ceownikach spoczywających na dwóch podporach wykonanych w postaci ścian oporowych z betonu klasy B30.

Przęsło w przekroju poprzecznym składa się z arkuszy blachy falistej o wymiarach fali  $140 \times 380$  mm połączonych między sobą za pomocą śrub sprężających M20 klasy 8.8.



Rys. 2. Przekrój podłużny i widok z boku od strony górnej wody na most typu Super Cor  
 Fig. 2. Longitudinal section and side view of headwater side on the bridge of Super Cor type

Obiekt ten, w celu uzyskania większej sztywności poprzecznej oraz możliwości przenoszenia dużych obciążeń normowych, został wzmocniony w pięciu miejscach, tj. w kluczu i w 2/3 wysokości konstrukcji oraz przy ławach fundamentowych od strony gruntu z obu stron obiektu za pomocą dodatkowych arkuszy blachy falistej w rozstawie co 380 mm (szerokość fali). Ustrój przęsła skonstruowano jako powłokę złożoną ze stalowych blach falistych obsypaną warstwami gruntu (po około 0,20 m) odpowiednio zagęszczonymi ( $I_D = 0,98$  oraz o  $I_D = 0,95$  przy bezpośrednim styku gruntu z konstrukcją stalową – według Proctora), umożliwiającymi ułożenie nawierzchni drogowej na podsypce z tłucznią. Grunt otaczający konstrukcję stalową przenosi dużą część obciążeń (około 70%) poprzez powstające w nim tzw. przesklepienia, a pozostałą część obciążeń przenosi sama konstrukcja stalowa [3], [4]. Długości obiektu wynoszą: górą  $l_g = 14,00$  m i dołem  $l_d = 21,50$  m, zaś światło pionowe – 3,85 m. Na krawędziach przęsła wykonano żelbetowe wieńce dla uzyskania większej sztywności poprzecznej oraz w celu zabezpieczenia pochylenia skarp. Obiekt ten został także wyposażony w dwie rury przepływowe o średnicy wynoszącej  $\varnothing = 1000$  mm (rys. 1 i 2).

### 3. Zakres i technika przeprowadzonych badań

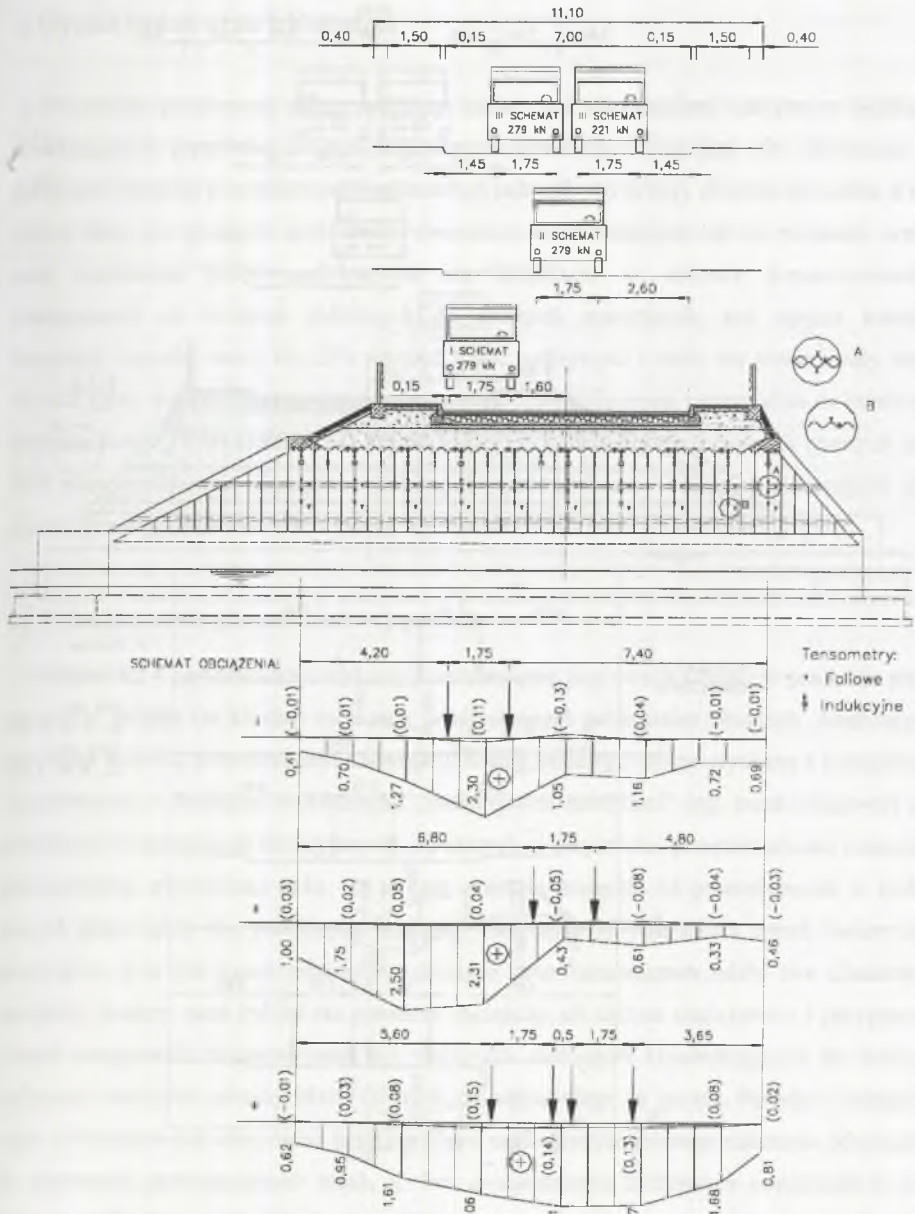
Do realizacji badań pod obciążeniem statycznym użyto dwóch samochodów ciężarowych typu Jelcz Steyr – DKLL 997 i Kamaz 5511 – WYB 3750 (rys. 3). Łączny ciężar obu samochodów wynosił ponad 500 kN. Obliczono spodziewane wielkości statyczne, odkształcenia jednostkowe, naprężenia normalne i przemieszczenia od obciążeń pochodzących od samochodów. Przewidziano badania w pełnym zakresie statycznym i dynamicznym, obejmującym po-



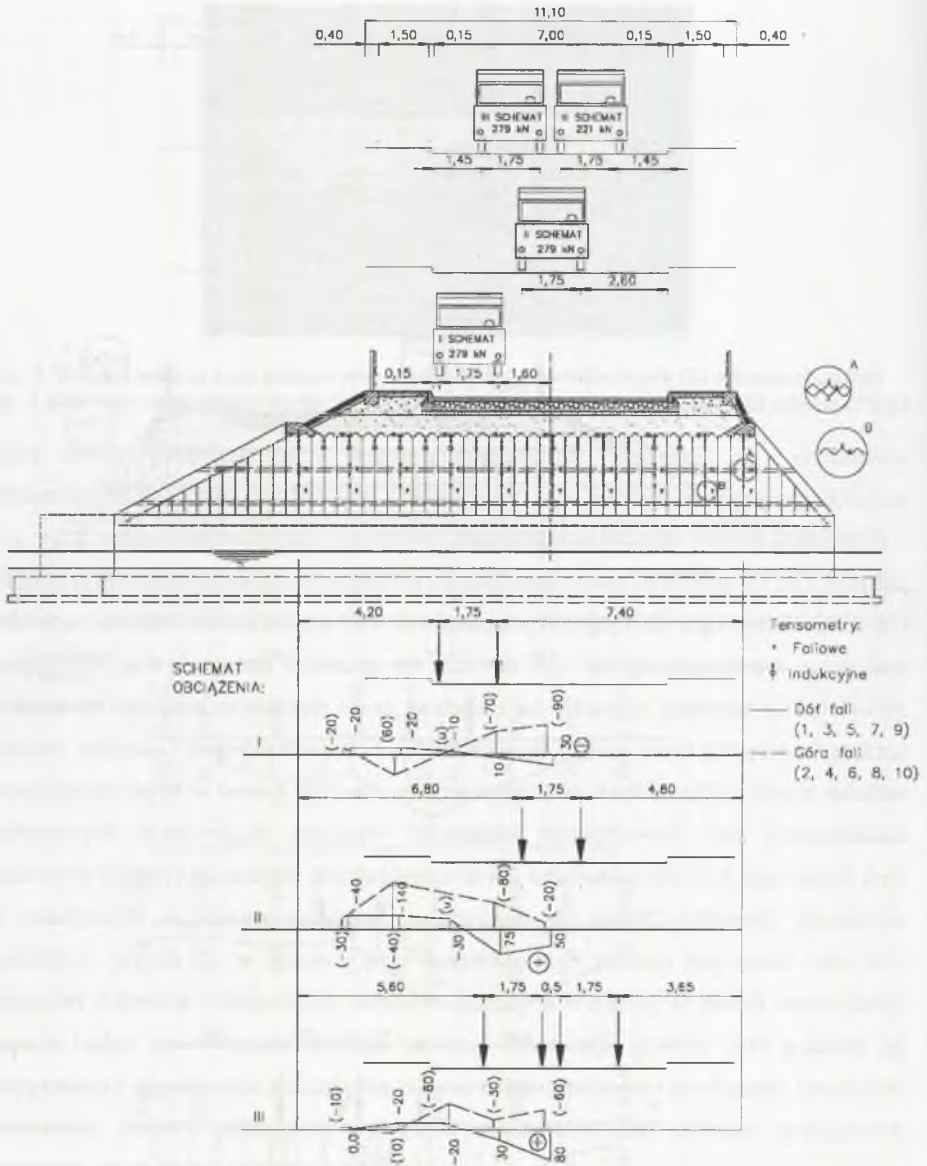
Rys. 3. Widok z boku na most podczas prowadzenia badań doświadczalnych (III schemat obciążeń)  
Fig. 3. Side view on the bridge during the conducted research (the field load tests) – III scheme of load

miary zarówno przemieszczeń w wybranych przekrojach konstrukcji, jak i odkształceń jednostkowych (naprężeń normalnych). Zaplanowano trzy podstawowe schematy obciążeń (rys. 4), tj. jeden niesymetryczny (ustawienie obu samochodów przy jednym krawężniku – schemat I) oraz dwa symetryczne względem osi podłużnej mostu (schematy II i III). Ponadto, pominięto pomiary osiadań podpór (ław fundamentowych), gdyż dla tego typu konstrukcji i zalegającego pod nią gruntu skalistego nie miało to zbyt dużego znaczenia, a ewentualne znikome ich osiadania można było uznać, że zostały już dokonane, ponieważ nie było widać żadnych odchyżeń i nieprawidłowości w ich zachowaniu i pracy przed podjęciem i podczas zasadniczych badań w terenie. Badania wykonano na bazie dwóch podstawowych układów pomiarowych służących do pomiarów odkształceń jednostkowych oraz przemieszczeń pionowych (ugięć) i poziomych. Dla każdego z trzech schematów obciążeń statycznych (rys. 4) ustawionych w połowie rozpiętości teoretycznej dla trzech wybranych przekrojów podłużnych przęsła (tj. w kluczu i przy wzmocnieniu – zmianie sztywności oraz przy podporze) dokonano kilkakrotnych pomiarów podanych wielkości w dwóch zasadniczych etapach badań, tj. w czasie montażu stalowej konstrukcji powłoki oraz podczas jej zasypywania i zagęszczania poszczególnymi warstwami gruntu oraz po ułożeniu konstrukcji nawierzchni jezdni i całkowitym wykonaniu mostu, czyli pod próbnym obciążeniem, następujących wielkości wybranych fal blach:

- odkształceń jednostkowych w kierunku podłużnym i poprzecznym przęsła,
- przemieszczeń pionowych (ugięć) i poziomych,
- efektów oddziaływań dynamicznych na wielkości przemieszczeń i odkształceń,
- ciśnień w gruncie.



Rys. 4. Wykresy ugięć w przekroju poprzecznym przęsła (w kluczu) od trzech schematów obciążeń  
 Fig. 4. Graphs of vertical displacements in cross section of span (in key) from three load schemes



Rys. 5. Wykresy odkształceń w przekroju poprzecznym w kluczu od trzech schematów obciążenia  
 Fig. 5. Graphs of unit strains in cross section in key from three load schemes

## 4. Wyniki badań oraz ich analiza

Warunkiem pozytywnej oceny wyników badań pod obciążeniem statycznym według obowiązujących przepisów i norm odbiorczych (PN-89/S-10050) jest, aby obliczone i pomierzone wartości przemieszczeń i odkształceń jednostkowych były zbliżone do siebie, a w efekcie badań nie wystąpiły uszkodzenia elementów konstrukcyjnych lub ich połączeń, oraz sama konstrukcja przeszła odkształcała się sprężysto w zakresie dopuszczalnych przemieszczeń od obciążeń zbliżonych do obciążeń normowych, zaś ugięcia trwałe konstrukcji wynosiły mniej niż 25% wartości ugięć sprężystych i ażeby nie przekraczały one wartości ugięć dopuszczalnych i naprężeń normalnych obliczonych teoretycznie za pomocą programu Robot Millennium v.15.0. Opracowano kilka modeli obliczeniowych opartych na MES uwzględniających współpracę stalowej konstrukcji blachy falistej z otaczającym ją gruntem (z uwzględnieniem tarcia pomiędzy dwoma ośrodkami i przesklepień gruntu).

### 4.1. Przemieszczenia pionowe stalowej powłoki

Na rysunku 4 przedstawiono wykresy przemieszczeń pionowych (ugięć) w przekroju poprzecznym przeszła (w kluczu) od trzech zrealizowanych schematów obciążeń. Analizując otrzymane wartości przemieszczeń konstrukcji nośnej badanego mostu uzyskane z pomiarów w porównaniu z obiektami wykonanymi „tradycyjnymi metodami” (np. most betonowy) o podobnych rozpiętościach teoretycznych, na których w przeszłości przeprowadzano badania doświadczalne stwierdzono m.in., że są one znacznie mniejsze od przemieszczeń w tych samych przekrojach dla podobnych obciążeń. Dotyczyło to wszystkich trzech badanych przekrojów, i to dla trzech schematów obciążeń oraz każdorazowo miały one charakter sprężysty. Badany most był po raz pierwszy obciążany tak dużym obciążeniem i przypuszczalnie następowało dopasowywanie się niektórych elementów konstrukcyjnych do siebie, zwłaszcza stalowych arkuszy blach falistych do otaczającego je gruntu. Ponadto, wartości ugięć obliczeniowych otrzymano przy przyjęciu najniekorzystniejszego założenia odnośnie do sztywności poszczególnych blach, tj. bez uwzględnienia usztywnień poprzecznych w miejscu nakładania się blach itp. Przeprowadzono również obliczenia wielkości przemieszczeń przy przyjęciu sztywności projektowanych elementów, z których otrzymano wartości bardziej do siebie zbliżone, a więc korzystniejsze z punktu widzenia analizy teoretycznej.

Najbardziej niekorzystnym schematem obciążeń był schemat II, w którym oba samochody były ustawione symetrycznie względem osi poprzecznej jezdni, a największe przemieszczenia osiągnęły wartości rzędu 2,50 mm w kierunku występowania skosu obiektu. W schemacie obciążeń III największe przemieszczenia pionowe (ugięcia) stalowej powłoki wynosiły 2,41 mm, natomiast w I schemacie koncentracja największych ugięć przebiegała w pobliżu osi podłużnej mostu – pod kołami samochodów i osiągnęła wartość 2,30 mm (rys. 4).

#### 4.2. Odształcenia jednostkowe w stalowej powłoce

Na rysunku 5 przedstawiono wykresy odształceń jednostkowych w przekroju poprzecznym w kluczu od trzech schematów obciążenia. Wielkości odształceń jednostkowych w wybranych przekrojach konstrukcji przęsła były mniejsze do odształceń spodziewanych we wszystkich analizowanych przekrojach na długości mostu i w poszczególnych punktach na wysokości blach falistych.

Największe odształcenia jednostkowe od obciążenia statycznego uzyskano w górnych przekrojach fali przy ustawieniu taboru samochodowego według II schematu obciążeń. Wynosiły one blisko 30 MPa (rys. 5), co stanowi około 20% wykorzystania normowych naprężeń dopuszczalnych (150 MPa) przy granicy plastyczności stali wynoszącej 275–380 MPa dla konstrukcji Super Cor.

Jednocześnie z pomiarów odształceń jednostkowych w kierunku prostopadłym do osi podłużnej fal wynika, że występowały poprzeczne wygięcia fal wzdłuż ich wysokości, co uwidaczniało się w występowaniu naprężeń rozciągających lub ściskających po odpowiednich ich stronach, czyli że doznawały one zginania poprzecznego. Odształcenia jednostkowe, podobnie jak przemieszczenia, stalowej konstrukcji nośnej przęsła (powłoki) podczas obciążeń statycznych powracały, w zasadzie, do pierwotnego położenia, choć należało na to stosunkowo długo czekać – przeciwnie niż ma to miejsce podczas badań np. stalowych przęseł blachownicowych lub skrzynkowych. Zachowanie się przęsła podczas badań pod obciążeniem statycznym nie budziło żadnych zastrzeżeń, jedynie fakt braku szybkiego ustabilizowania się gruntu otaczającego konstrukcję powłoki mógł budzić pewne obawy, ale porównując wyniki badań tego mostu z wynikami badań na obiekcie położonym w Starym Waliszowie o konstrukcji typu Multiplate [2], który został oddany do eksploatacji przeszło 4 lata temu, stwierdzono, że tego typu konstrukcje tak właśnie „pracują”, tzn. im obiekt dłużej jest eksploatowany, tym jego współpraca z gruntem jest lepsza (zespoleenie się obu ośrodków konstrukcyjnych).



Z porównania uzyskanych rezultatów wynika, że wielkości spodziewanych wartości naprężeń normalnych były znacznie większe od wartości naprężeń otrzymanych na podstawie pomiarów. I w tym przypadku, podobnie jak w przypadku przemieszczeń konstrukcji nośnej mostu, można mówić o występujących rezerwach nośności w tym obiekcie.

## 5. Wnioski końcowe

W wyniku przeprowadzonych badań stalowej konstrukcji przęsła wykonanego z blach falistych pod obciążeniem statycznym otrzymano wielkości przemieszczeń i odkształceń jednostkowych (pośrednio naprężeń normalnych), które porównano z wartościami spodziewanymi, co pozwoliło na sformułowanie następujących wniosków o charakterze ogólnym:

1. Przemieszczenia pomierzone konstrukcji powłoki były znacznie mniejsze od wielkości obliczeniowych we wszystkich trzech badanych przekrojach na długości przęsła.
2. W świetle przeprowadzonych badań stalowa konstrukcja przęsła nie budziła żadnych większych zastrzeżeń. Średnie wartości przemieszczeń i odkształceń jednostkowych były mniejsze od spodziewanych prawie we wszystkich rozpatrywanych punktach i przekrojach powłoki i dopuszczalnych, podanych w projekcie budowlano-wykonawczym mostu [1].
3. Położenie osi obojętnej w przekrojach poprzecznych fal stalowej konstrukcji nośnej oraz wartości naprężeń dowodzą, że z tą konstrukcją współpracują otaczający ją grunt oraz nawierzchnia (podbudowa) drogowa umieszczona na przęśle.
4. Różnice w spodziewanych wartościach ugięć i odkształceń jednostkowych powłoki w stosunku do pomierzonych wynikają najprawdopodobniej z bardzo dobrej współpracy gruntu i nawierzchni (podbudowy) drogowej z konstrukcją obiektu.
5. Odkształcenia jednostkowe w stalowych elementach konstrukcji powłoki połączonych na śruby sprężające, wywołane zastosowanym w badaniach obciążeniem nie budziły większych obaw i miały one praktycznie charakter sprężysty. Niewielkie odkształcenia trwałe mogły pochodzić od pewnych niedokładności pomiarów tensometrycznych. Również przemieszczenia trwałe stwierdzone podczas badań mogły pochodzić najczęściej od osiadania podpór oraz dopasowywania się poszczególnych elementów blach, a także błędów odczytu bądź błędów urządzeń pomiarowych (zmiana temperatury i wilgotności powietrza w czasie trwania pomiarów).
6. Na podstawie przeprowadzonych badań pod obciążeniem statycznym można było dopuścić most do badań dynamicznych, a następnie do normalnej jego eksploatacji.

Badania mostu pod próbnym obciążeniem wykonano po około jednym miesiącu od momentu przeprowadzenia pierwszego etapu badań (tj. bez nawierzchni jezdni). Analizując i porównując otrzymane wyniki badań z tych dwóch etapów, można stwierdzić, że przemieszczenia i odkształcenia jednostkowe pomierzone podczas próbnego obciążenia są około 25% mniejsze od pomierzonych w pierwszym etapie badań. Zatem można stwierdzić jednoznacznie, że bardzo duży wpływ na stalową konstrukcję powłoki wykonaną z blach falistych ma rodzaj i grubość wykonanej zasyпки oraz podbudowy, jak i samej nawierzchni drogowej, na znaczne zmniejszenie wielkości przemieszczeń i odkształceń jednostkowych.

## LITERATURA

1. Bęben D., Mańko Z.: Sprawozdanie z badań statycznych dwóch obiektów mostowych położonych nad rzeką Bystrzyca Kłodzka w Polanicy Zdroju wykonanych z blach falistych typu Super Cor. Centrum Naukowo-Badawcze, Rozwoju Budownictwa MOSTAR, Wrocław, wrzesień 2001.
2. Bęben D., Mańko Z.: Sprawozdanie z badań doświadczalnych mostu przez potok Pławna w Starym Waliszowie wykonanego z blach falistych typu Multiplate. Centrum Naukowo-Badawcze Rozwoju Budownictwa MOSTAR, Wrocław, marzec 2002.
3. Madaj A., Janusz L., Vaslestad J.: Badania ceglano-przepustu wzmocnionego konstrukcją stalową z blach falistych. *XI Seminarium „Współczesne Metody Wzmacniania i Przebudowy Mostów”*, Poznań–Kiekrz, 26–27 czerwca 2001, s. 98–105.
4. Madaj A., Vaslestad J., Janusz L.: Badania *in situ* przepustu stalowego z blach falistych użytego do przebudowy ramowego wiaduktu kolejowego. *IX Seminarium „Współczesne Metody Wzmacniania i Przebudowy Mostów”*, Poznań–Kiekrz, 8–9 czerwca 1999, s. 106–117.
5. Wysokowski A., Korusiewicz L., Kunecki B.: Sprawozdanie z wykonanych badań dla konstrukcji przepustów w systemie MultiPlate i rur DV/AROT OPTIMA. Część I: MultiPlate (TW 26999/W-374), IBDiM, Żmigród–Węglewo, luty 1999.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Kazimierz Furtak

## Abstract

Conclusions with this research will be useful for practice engineering chiefly with subject matter design and experimentation load testing of road bridges made of steel corrugated plates of Super Cor and Multiplate types.