

BADANIA POD PRÓBNYM OBCIĄŻENIEM STATYCZNYM WIELODŹWIGAROWEGO MOSTU DROGOWEGO WYKONANEGO Z DŹWIGARÓW KABLOBETONOWYCH

Arkadiusz MADAJ, Katarzyna MOSSOR, Krzysztof STURZBECHER
Politechnika Poznańska

W artykule przedstawiono wyniki badań pod próbnym obciążeniem statycznym przęseł mostu wykonanych z prefabrykowanych belek sprężonych, zespolonych z płytą betonową, w których stwierdzono uszkodzenia (rysy pionowe) oraz duże ugięcia trwałe. Badania wykazały dużą sztywność poprzeczną przęseł. Ustalono na podstawie badań linie wpływu rozdziału poprzecznego są prostoliniowe i zbliżone do uzyskanych przy wykorzystaniu metody sztywnej poprzecznicy. Badania wskazują, że do analizy numerycznej przy wykorzystaniu modelu przęsła jako rusztu prętowego o sztywnych węzłach należy stosować sztywność na skręcanie prętów modelu większą od obliczonej (w omawianym przęsłach 7x). Badania potwierdziły zmniejszenie sztywności dźwigarów sprężonych spowodowane zarysowaniem oraz wyraźny wpływ zmian sztywności wywołanych zarysowaniem na rozdział poprzeczny obciążenia.

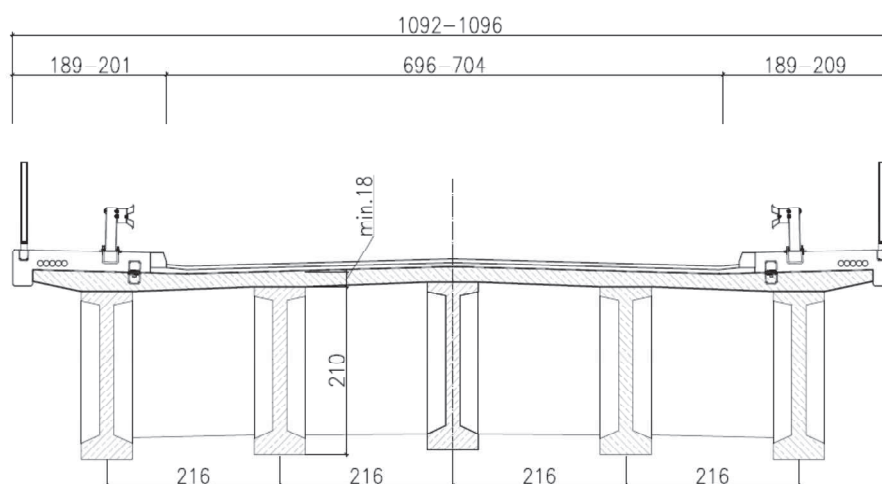
Słowa kluczowe: most, konstrukcja sprężona, próbne obciążenie, rozdział poprzeczny obciążenia

1. WPROWADZENIE

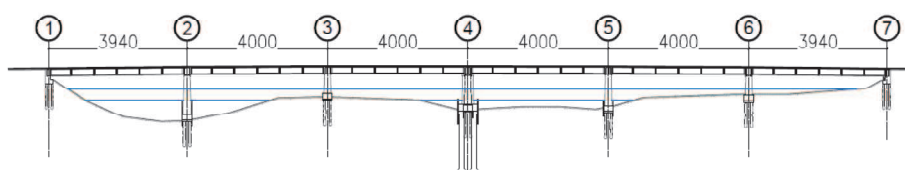
Racjonalne opracowanie wzmocnienia przęseł obiektu mostowego wymaga dobrej oceny stanu technicznego, a także parametrów mających wpływ na wytrzymałość oraz tzw. pracę statyczną (m.in. rozkład sił wewnętrznych). Skuteczną oceną pracy statycznej przęseł może być przeprowadzenie próbnego obciążenia. Żeby próbne obciążenia dało odpowiedź na pytania, które postawiliśmy podejmując decyzję o jego przeprowadzeniu, niezbędne jest opracowanie odpowiedniego programu badań. W opisywanym przypadku głównym celem badań było ustalenie sztywności, zwłaszcza poprzecznej, przęseł (określenie tzw. rozdziału poprzecznego obciążenia), zbadanie wpływu obciążenia eksploatacyjnego na zmianę rozwartości rys oraz ustalenie wpływu zarysowania dźwigarów głównych na ich sztywność. Efektem przeprowadzonych badań było opracowanie zaleceń co do sposobu wzmocnienia przęseł. Celem dodatkowym było uzyskanie danych do potwierdzenia skuteczności zaprojektowanego wzmocnienia konstrukcji, po wykonaniu ponownych badań po wzmocnieniu przęseł.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA MOSTU

Most będący przedmiotem badań jest mostem drogowym, sześcioprzęsłowym, o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej. Rozpiętość przęseł wynosi 38.8 m. Widok ogólny mostu pokazano na rys. 2 oraz na rys. 4, a przekrój poprzeczny na rys.1. W przekroju poprzecznym występuje pięć dźwigarów kablobetonowych, zespolonych z płytą żelbetową (dźwigary typu WBS). Filary są pełnościennie (masywne), wykonane z betonu. Przyczółki są zatopione. Podpory są posadwione na palach. Na moście znajduje się jezdnia oraz dwa chodniki (rys. 3). Chodniki oddzielone są od jezdni barierami sprężystymi. Na połączeniu przęseł zastosowane szczelne urządzenia dylatacyjne – typu modułowego, z jedną wkładką neoprenową.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny przęseł (po wymianie płyty pomostowej)



Rys. 2. Widok z boku



Rys. 3. Widok ogólny na pomost



Rys. 4. Widok ogólny mostu

Most został wybudowany na początku lat 70-dziesiątych ubiegłego wieku. Bezpośrednio po jego oddaniu do użytku okazało się, że jeden z filarów uległ awarii. Awaria polegała na nieprzewidywanym, gwałtownym przyroście nie-

równomiernych osiadań, przekraczających 20 cm. Filar ten został naprawiony, fundamenty wzmocnione. Po wzmocnieniu fundamentów osiadania prawie całkowicie zostały zahamowane, na co wskazują stale prowadzone pomiary. Jednak konsekwencją nierównomiernych osiadań jest widoczna do dzisiaj deformacja (załamanie) osi mostu nad wspomnianą podporą (rys. 5).



Rys. 5. Załamanie osi przęsła (zdjęcie sprzed remontu)

Po kilkunastu latach eksploatacji dokonano przebudowy pomostu, polegającej na zmianie konstrukcji chodników, wymianie nawierzchni, montażu nowych wpustów, urządzeń dylatacyjnych i barier sprężystych. Kilka lat temu dokonano ponownej przebudowy pomostu, a polegała ona na rozebraniu starej i wykonaniu nowej płyty pomostowej, zespolonej z dźwigarami kablobetonowymi. Przyczyną przebudowy był bardzo zły stan techniczny płyty (liczne ogniska korozji betonu i stali), zwłaszcza w pobliżu dylatacji oraz wpustów (rys. 6). Stan płyty pomostowej w pobliżu wpustów był na tyle zły, że doszło wyłamania jednego z wpustów, co stało się bezpośrednią przyczyną podjęcia decyzji o natychmiastowym remoncie – wymiany płyty na nową.



Rys. 6. Uszkodzenia płyty pomostowej wokół wpustów



Rys. 7. Odslonięte, korodujące zbrojenie płyty pomostowej

Po wymianie płyty okazało się, że przęsła mają trwałe ugięcia o wartościach (w zależności od przęsła) od kilkunastu mm nawet do 8 cm (rys. 8) Ponadto stwierdzono, że wiele dźwigarów, przede wszystkim skrajnych, ma rysy o rozwarości dochodzącej do 0,8 mm (rys. 9). W związku z tym zapadła decyzja

o wzmocnieniu przęseł. Uznano, że w celu opracowania skutecznego i efektywnego sposobu wzmocnienia należy poprzedzić to badaniem przęseł pod próbnym obciążeniem statycznym.



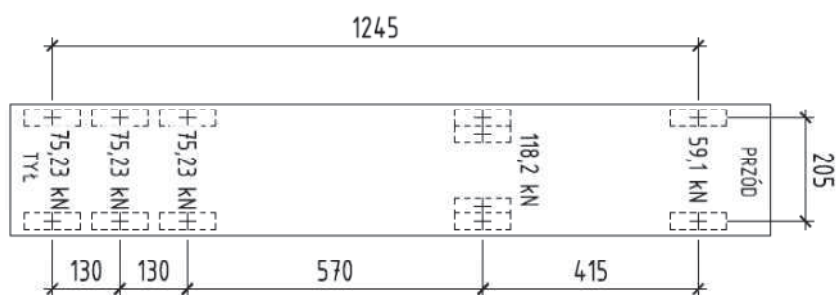
Rys. 8. Pofalowanie niwelety (trwałe ugięcia) – widok po remoncie mostu (wymianie płyty pomostowej)



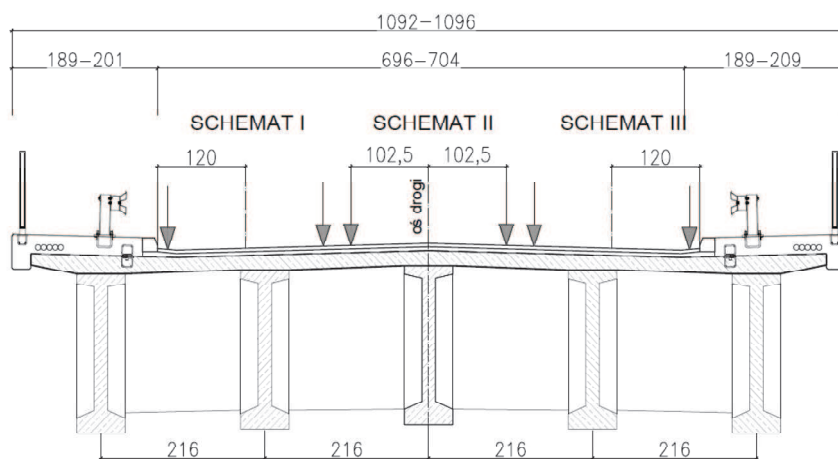
Rys. 9. Rysy na dolnym pasie dźwigara sprężonego

3. OPIS BADAŃ

Badania pod próbnym obciążeniem przeprowadzono w nocy, przy stałej temperaturze powietrza. Badaniom poddano przęsła 5 i 6 (licząc od strony Poznania). Jako balastu użyto jednego pojazdu ciężarowego, pięcioosiowego, o całkowitej ciężarze 403 kN, o geometrii pokazanej na rys. 10. W celu określenia sztywności poprzecznej ustroju przęsła (rozdziłu poprzecznego obciążenia) w każdym z badanych przęseł zrealizowano trzy schematy ustawienia obciążenia w przekroju poprzecznym: po jednym ustawieniu przy obu krawędziach jezdni oraz symetrycznie w osi mostu (rys. 11).



Rys. 10. Schemat pojazdu użytego do badań



Rys. 11. Ustawienie pojazdów w poszczególnych schematach obciążenia

Pomiaru dokonywano bezpośrednio przed ustawieniem pojazdu, następnie po 5 minutach balastowania i po 5 minutach po zjeździe pojazdu (krótki czas balastowania i następnie wykonywania pomiaru po odciążeniu wynikał z konieczności realizacji badań w czasie krótkich zamknięć mostu). W czasie badań mierzono:

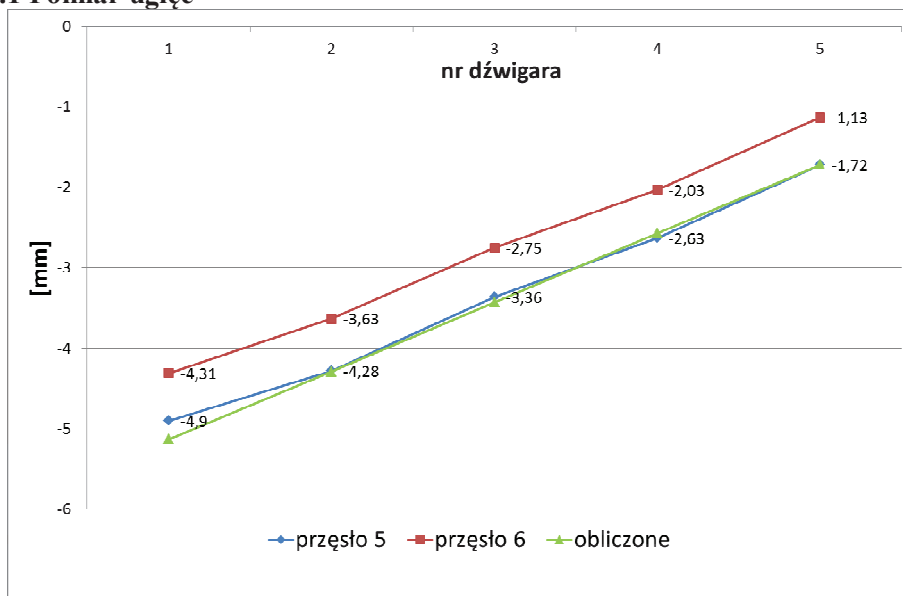
- **przęsło 5:**
 - ugięcia dźwigarów w środku rozpiętości przęsła,
 - odkształcenia pasa dolnego dźwigarów skrajnych i dźwigara środkowego w środku rozpiętości przęsła,
 - zmianę rozwartości rys dźwigara skrajnego (od strony górnej wody – pod jezdnią w kierunku Poznania).
- **przęsło 6:**
 - ugięcia dźwigarów w środku rozpiętości przęsła.

Pomiary ugięć wykonywano przy wykorzystaniu czujników zegarowych, o dokładności odczytu 0,01 mm. Pomiary zmiany szerokości rys wykonywano przy zastosowaniu elektronicznych czujników cyfrowych o dokładności odczytu 0,001 mm.

Pomiar odkształceń prowadzono przy wykorzystaniu układu pomiarowego składającego się z pręta stalowego zamocowanego z jednej strony do pasa dolnego dźwigara, a z drugiej strony połączonego z indukcyjnym czujnikiem przemieszczeń, rejestrującym zmianę przemieszczenia pręta z dokładnością do 0,01 mm, przy wykorzystaniu zestawu do pomiaru przemieszczeń składającego się z czujników drogi firmy Hottinger sprzężonych z mostkiem Spider firmy Hottinger.

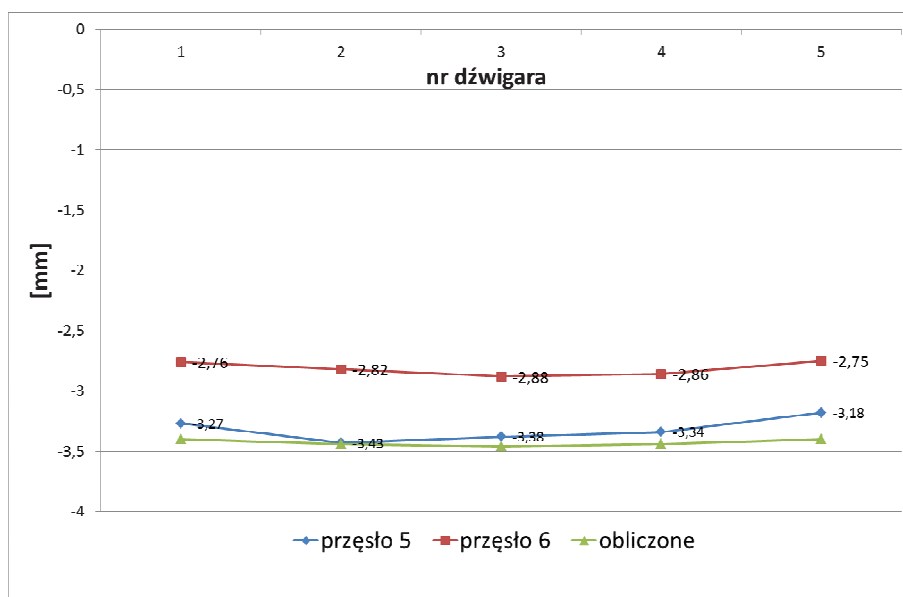
4. WYNIKI I ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

4.1 Pomiar ugięć



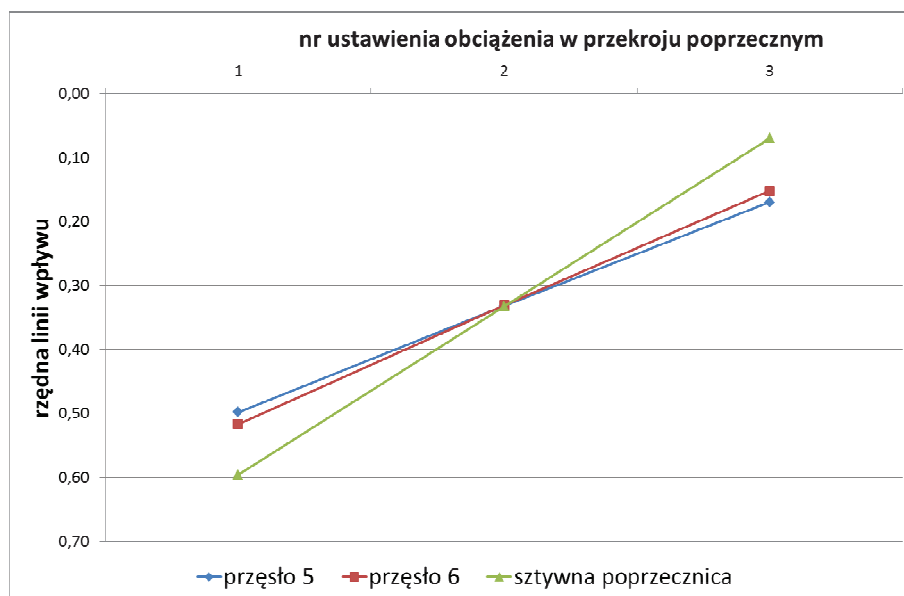
Rys. 12. Pomierzone i obliczona linia ugięcia dźwigarów w przekroju poprzecznym (Schemat I)

Obliczenia linii ugięć wykonano przy wykorzystaniu MES, przyjmując model pręśła w postaci rusztu o sztywnych węzłach. Do obliczeń przyjęto nominalne przekroje, przy założeniu pracy belek na całej długości w I fazie – przekrój niezarysowany i przy założeniu, że przekrój wykonany jest z betonu o module sprężystości równym 38500MPa. Pierwotnie obliczoną sztywność skrętną prętów jako przekroju złożonego z prostokątów, skorygowano zwiększając ją siedmiokrotnie. Zwiększenie pierwotnie obliczonej sztywności skrętnej 7-krotnie pozwoliło uzyskać zgodność nachylenia obliczonej i pomierzonej linii ugięcia pręśła w przekroju poprzecznym. Przykładowe pomierzone i obliczoną linie ugięcia przekroju porzecznego pręśła pokazano na rysunkach 12 i 13.

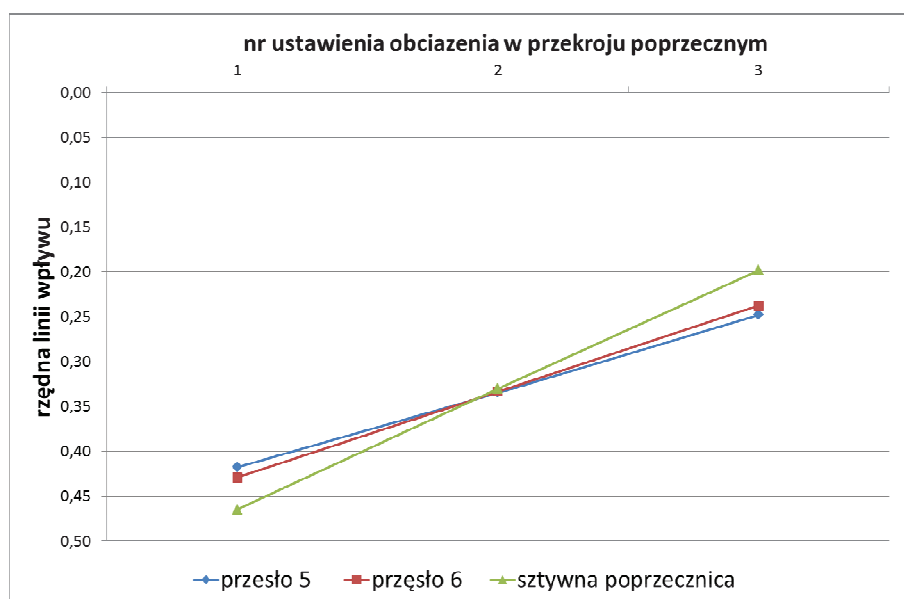


Rys. 13. Pomierzone i obliczona linie ugięcia dźwigarów w przekroju poprzecznym (Schemat II)

W oparciu o badania ugięć dźwigarów głównych opracowano linie wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia. Linie te porównano z liniami obliczonymi metodą sztywnej poprzeczniczy, przy założeniu przegubowego połączenia poprzeczniczy z dźwigarami głównymi (pominięcie w obliczeniach wpływu sztywności skrętnej dźwigarów głównych na rozkład poprzeczny obciążenia). Badania wykazały dużą sztywność poprzeczną układu. Przykładowe linie rozdziału poprzecznego obciążenia (pomierzone i obliczone), pokazano na rysunkach 14 i 15.



Rys. 14. Linia wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia – dźwigar 1



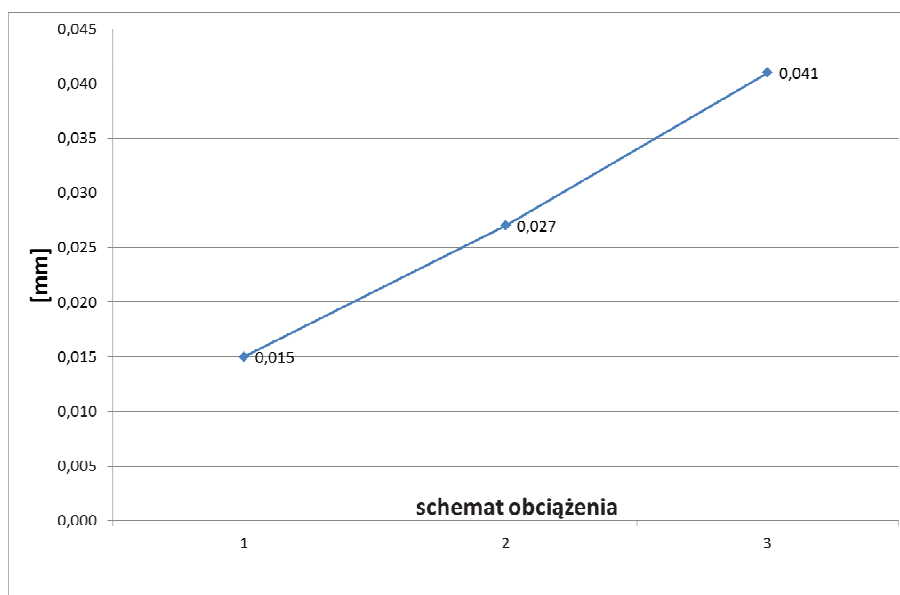
Rys. 15. Linia wpływu rozdziału poprzecznego obciążenia – dźwigar 2

Szczegółowa analiza porównawcza obliczonych i pomierzonych ugięć wskazuje, że sztywność giętna ustroju jest zbliżona do obliczonej przy założeniu pełnego zespolenia. Stwierdzono pewne zróżnicowanie badanych przęseł. Bar-

dzo dużą zgodność sztywności obliczonej i pomierzonej uzyskano w przypadku przęsła 5. Sztywność giętna przęsła 6 jest natomiast o ok. 15 % większa od obliczonej teoretycznie. Sztywność skrętna obu badanych przęseł jest zbliżona (nieco większa jest sztywność skrętna przęsła 5). Badania wykazały również mniejszą sztywność dźwigara skrajnego przęsła 5-tego (dźwigar nr 5 – od strony górnej wody). Przyczyną tego jest prawdopodobnie znaczne zarysowanie dźwigara – jest to dźwigar, w którym występują rysy o dużej rozwarości, rozwinięte mniej więcej do 1/3 wysokości dźwigara.

4.2 Pomiar zmian rozwarości rys

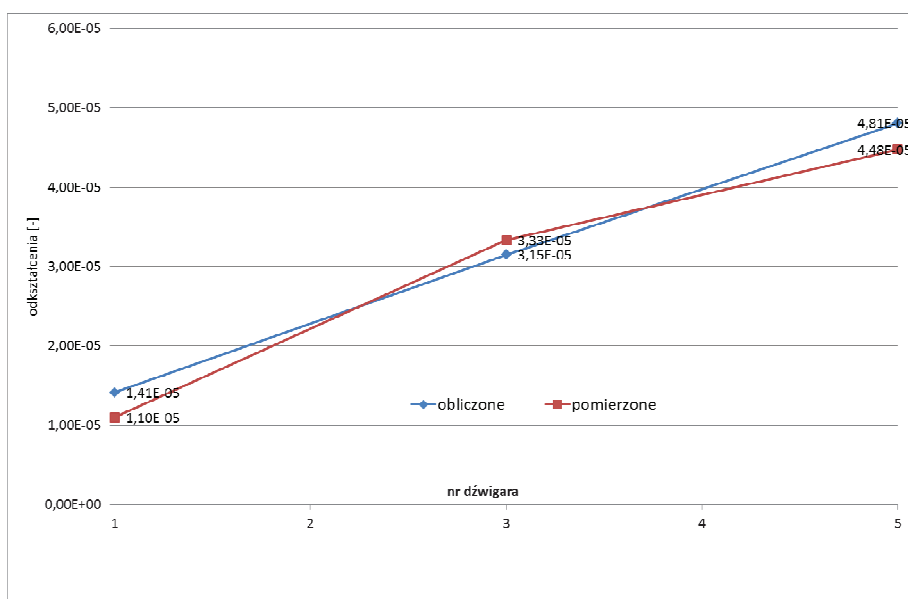
Pomiar zmiany rozwarości rys prowadzono na dźwigarze nr 5 (skrajnym, od strony górnej wody), w przęśle nr 5 (licząc od strony Poznania). Przeprowadzone pomiary wykazały, że są to rysy czynne, których rozwarość zmienia się pod wpływem obciążenia. Przykładowe wartości zmian rozwarości rys pokazano na rys. 16. Przyrost rozwarości rys (w zależności od położenia oraz schematu obciążenia) zmieniał się w przedziale od 0,010 do 0,041 mm. Przeprowadzone badania wykazały natomiast, że ustrój pod badanym obciążeniem zachowuje się sprężyste. Po odciążeniu konstrukcji rozwarość rys wracała do wartości sprzed obciążenia.



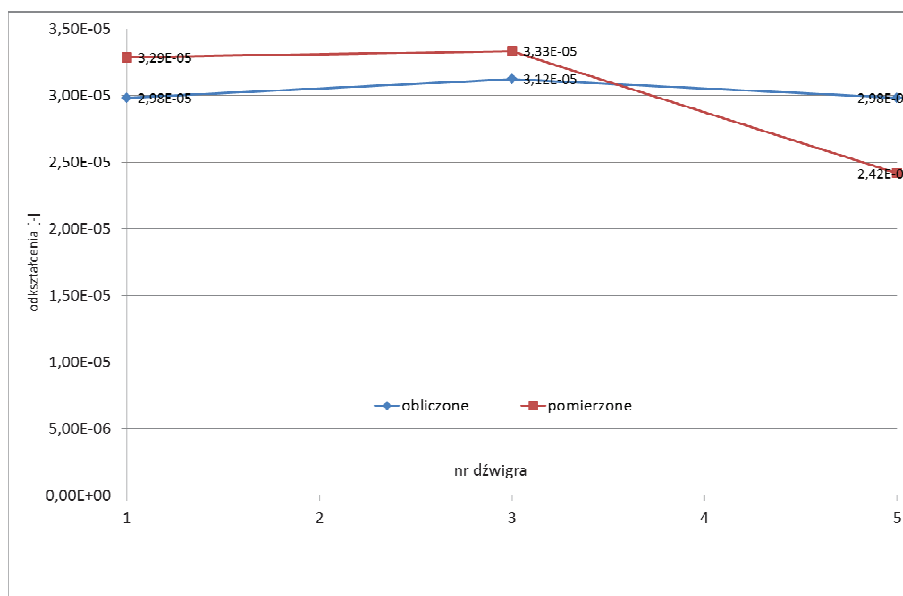
Rys. 16. Przykładowy przyrost rozwarości rysy w poszczególnych schematach obciążenia (przęsło 5, dźwigar 5)

4.3 Pomiar odkształceń

Przykładowe wyniki pomiaru odkształceń dźwigara mierzone przy dolnej krawędzi pokazano na rysunkach 17 i 18. Badania przeprowadzono w przęśle nr 5. Baza pomiarowa, na której mierzono zmiany odkształceń rozciąganej krawędzi dźwigara wynosiła 4200 mm. Ponieważ tensometr był założony w środkowej części dźwigarów, był to odcinek dźwigara na którym znajdowały się również obszary zarysowane. Pomiar odkształceń wskazały, podobnie jak pomiary ugięć i pomiary zmian rozwartości rys, że konstrukcja pracuje sprężysto. Badania pomiarów odkształceń potwierdziły pewne zróżnicowanie sztywności badanych dźwigarów oraz wpływ wyężenia dźwigarów na ich sztywność. Ma to prawdopodobnie związek ze zmieniającą się długością rys przy wzrastającym wyężeniu dźwigarów lub z pojawianiem się nowych rys pod wpływem obciążenia zmiennego. Badania odkształceń potwierdzają mniejszą sztywność dźwigara nr 5 (skrajnego). Jest to dźwigar, w którym występuje największa ilość rys.



Rys. 17. Odkształcenia na dolnej krawędzi dźwigarów (schemat 3 – ustawienie niesymetryczne)



Rys. 18. Odkształcenia na dolnej krawędzi dźwigarów (schemat 3 - ustawienie symetryczne)

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania pozwoliły na ustalenie rzeczywistej sztywności przęseł mostu jak i poszczególnych dźwigarów. Uzyskane wyniki posłużyły do podjęcia decyzji o sposobie wzmocnienia konstrukcji za pomocą sprężenia zewnętrznego oraz na ustalenie wymaganej wartości siły sprężającej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski szczegółowe:

- potwierdzona została zasada, że w przęsłach wąskich w stosunku do rozpiętości (szerokość mniejsza od 1/5 rozpiętości), wykonanych z mało sztywnych na skręcanie dźwigarów głównych (nie tylko mostach sprężonych, ale również np. w mostach zespolonych stalowo-betonowych), można stosować metodę sztywnej poprzeczniczy rozdziału poprzecznego obciążenia,
- rzeczywista sztywność na skręcanie dźwigarów w konstrukcjach jest większa od obliczonych wzorami stosowanymi do obliczania sztywności na skręcanie pojedynczych dźwigarów (wniosek ten potwierdzony został przez autorów artykułu w wielu innych badaniach mostów pod próbnym obciążeniem); w omawianym przypadku w celu uzyskania zgodności wyników pomierzonych i obliczonych należało zwiększyć sztywność na skręcanie prętów rusztu siedmiokrotnie,

- mimo nominalnie takiej samej geometrii elementów konstrukcji przęseł i teoretycznie wykonania ich z tego samego materiału, sztywność przęseł może się różnić nawet o kilkanaście procent; w omawianej konstrukcji różnica ta wynosiła około 15%,
- zarysowanie dźwigarów betonowych wpływa na zmianę ich sztywności i tym samym rozdział poprzeczny obciążenia.

Mając na uwadze wyżej sformułowane wnioski korzystnie jest przed przystąpieniem do opracowywania projektu wzmocnienia przęseł, przeprowadzić badania pod próbnym obciążeniem. Uzyskane rezultaty badań pozwalają na zaprojektowanie najlepszego sposobu wzmocnienia, jak również na potwierdzenie jego skuteczności, po przeprowadzeniu ponownych badań po zakończeniu prac.

Na zakończenie chcielibyśmy zwrócić uwagę, że jakkolwiek w omawianym przypadku ustalenie rzeczywistych parametrów konstrukcji miało na celu zaprojektowanie najlepszego (najbardziej skutecznego) sposobu wzmocnienia, to uzyskane wyniki badań można z powodzeniem wykorzystać do analizy statycznej pracy przęseł mostów o podobnej konstrukcji.

LITERATURA

1. Ajdukiewicz A., Mames J., *Betonowe konstrukcje sprężone*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001.
2. Ajdukiewicz A., Mames J., *Konstrukcje sprężone*, Arkady, Warszawa 1984.
3. Madaj A., Wołowicki W., *Budowa i utrzymanie mostów*, WKŁ, Warszawa 2007.
4. Madaj A., Wołowicki W., *Podstawy projektowania budowli mostowych*, WKŁ, Warszawa 2007.
5. Madaj A., Wołowicki W., *Projektowanie mostów betonowych*, WKŁ, Warszawa 2010.

RESEARCH UNDER STATIC TEST LOADING OF A MULTIGIRDER ROAD BRIDGE MADE OF PRESTRESSED GIRDERS

Summary

The article presents results of research under static test loading of a bridge made of precast prestressed concrete beams, composite with a concrete slab, in which damages have been stated (vertical cracks) and large permanent deflections. The research showed a large cross stiffness. The load cross distribution influence lines stated on the basis of research are rectilinear and approximate to those received from the stiff cross girder method. The results indicate that to a numerical analysis when using a bar grid span model with stiff nodes a higher torsional stiffness should be applied (in described examples 7x). The research confirmed the decrease of stiffness of prestressed girders caused by cracking and a distinct influence of changes in stiffness on the load cross distribution.