

BADANIA ODBIORCZE W ZAKRESIE OBCIĄŻEŃ STATYCZNYCH BETONOWEGO MOSTU DROGOWEGO O KONSTRUKCJI SPRĘŻONEJ POŁOŻONEGO NAD BUDOWLĄ ZRZUTOWĄ ZBIORNIKA WODNEGO

Arkadiusz Mordak, Zbigniew Mańko

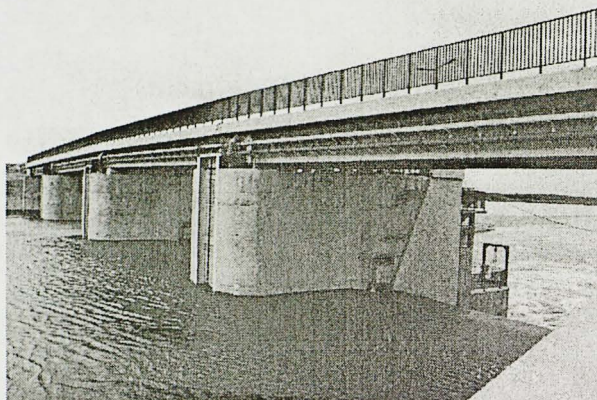
Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych przeprowadzonych na nowym drogowym moście betonowym o konstrukcji sprężonej położonym nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego na rzece Nysa Kłodzka w miejscowości Topola pod obciążeniem statycznym w postaci samochodów. Badany most był po raz pierwszy obciążony tak dużym ciężarem i przypuszczalnie nastąpiło dopasowywanie się niektórych elementów konstrukcyjnych do siebie, zwłaszcza części składowych łożysk, co uwidoczniło się w wynikach badań tego mostu pod znanym obciążeniem. Na podstawie otrzymanych wyników z badań terenowych i obliczeń można było ocenić zachowanie się testowanych konstrukcji przeszłej i aktualną ich nośność przed oddaniem mostu do normalnej eksploatacji.

Słowa kluczowe: belka sprężona, most drogowy, obciążenie statyczne, przeszło betonowe, płyta pomostowa, wymagania i badania odbiorcze

WSTĘP

Przedmiotem pracy są cztery betonowe przeszła mostu drogowego o konstrukcji sprężonej położonego nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego na rzece Nysa Kłodzka w miejscowości Topola (rys. 1), które zostały poddane badaniom w pełnym zakresie, tj. ugięć i odkształceń jednostkowych, pod próbnym obciążeniem w zakresie statycznym (i dynamicznym) w dniu 28 października 2002 roku [Mańko i Mordak, 2002].

Celem pracy jest przedstawienie przebiegu i wyników badań, obliczeń statyczno-wytrzymałościowych oraz analizy otrzymanych rezultatów w porównaniu z wielkościami obliczeniowymi. Badaniom doświadczalnym podlegały: ustrój nośny (belki główne) i łożyska stałe oraz ruchome we wszystkich przeszłach mostu, a także podpory (przyczółki i filary). Opisanie badań były tzw. badaniami odbiorczymi tego obiektu, wykonanymi na podstawie odpowiednich przepisów branży mostowej, a wnioski końcowe dotyczą przede wszystkim oceny możliwości dopuszczenia obiektu do normalnej eksploatacji odpowiadającej klasie nośności B według PN-85/S-10030 [PN-77/S-10040, PN-91/S-10042].



Rys. 1. Widok z boku od strony górnej wody na most drogowy położony nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego w Topoli

Fig. 1. Side view from headwater on a road bridge over water plant of water reservoir in Topola

Celem badań była ocena zachowania się konstrukcji przęseł nowego mostu pod znany obciążeniem dla stwierdzenia słuszności założeń przyjętych w projekcie technicznym [Wiśniowski, 1996], a także określenie aktualnej nośności obiektu i jego ewentualnych rezerw. Głównie dotyczyło to oceny rzeczywistych sztywności giętych ustroju nośnego o konstrukcji sprężonej oraz pomostu i podpór [Mańko i Mordak, 2002].

W szczególności próba obciążeniowa miała wykazać, czy i w jakim stopniu elementy nośne przęseł i pomostu współpracują ze sobą, tzn. czy w przęsłach mostu występują dodatkowe rezerwy nośności, przez które rozumie się, w tym przypadku, uzyskanie mniejszych wartości ugięć i naprężeń normalnych w belkach głównych, na podstawie pomiarów w rozpatrywanych przekrojach w porównaniu do obliczeniowych otrzymanych od tego samego ustalonego obciążenia użytkowego [Mańko, 2003].

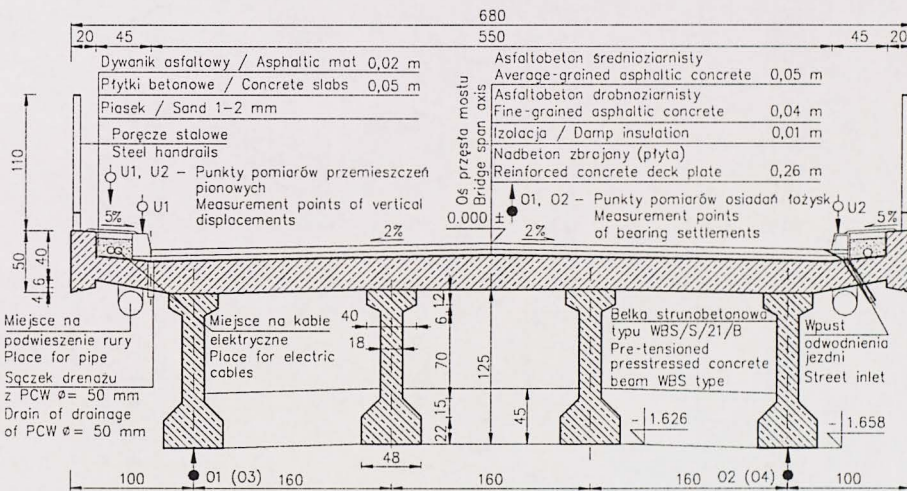
Sprawdzona została również w ten sposób poprawność założeń przyjętych na etapie ustalania schematu statycznego i modelu obliczeniowego konstrukcji przęseł przy ich wymiarowaniu. Sformułowane wnioski z tego typu badań mogą być bardzo przydatne w praktyce inżynierskiej [Kmita, 1960a i b]. Na tle wciąż toczącej się dyskusji na łamach różnych czasopism (np. „Bezpieczne Drogi”): Czy konieczne jest przeprowadzanie badań mostów betonowych pod próbnym obciążeniem? – praca niniejsza pokazuje szczególny przypadek, kiedy całkowite ugięcia pomierzone są większe od obliczeniowych, a po uwzględnieniu osiadań łożysk sytuacja ulega zasadniczej zmianie, co wskazuje, że norma pochodząca z 1977 roku [PN-77/S-10040] nie przystaje do współczesnych rozwiązań konstrukcyjnych nowoczesnych łożysk i belek mostowych.

KRÓTKI OPIS MOSTU

Na projekt nowego mostu adaptowano tymczasowe rozwiązanie Transprojektu Gdańskiego, uwzględniające dwie fazy: montażową i użytkową. Projekt techniczny został wykonany przez „Hydroprojekt” z Wrocławia [Wiśniowski, 1996]. Most stanowi

ustroj czteroprzęsłowy, przy czym wszystkie jego przęsła są to ustroje swobodnie podparte o konstrukcji złożonej z czterech prefabrykowanych belek sprężonych strunobetonowych typu WBS, stężonych poprzecznicami, opartych na przyczółku i filarze (przęsła I i IV) oraz na dwóch filarach (przęsła II i III) o rozpiętościach teoretycznych po 20,10 m, z jazdą górą. Pomost stanowi płyta żelbetowa o grubości 0,276 m wykonana z betonu klasy B30 zespolona z belkami głównymi. Na jezdni wykonano nawierzchnię bitumiczną o grubości 0,10 m, łącznie z izolacją o średniej grubości 0,01 m (rys. 2). Całkowita szerokość obiektu wynosi 6,80 m, a użytkowa 6,50 m, w tym jezdnia szerokości 5,50 m oraz obustronne pasy bezpieczeństwa po 0,50 m.

Most ten jest niedostępny dla ruchu publicznego, a służy przede wszystkim do przejazdu nad tą budowlą zrutową sprzętu technicznego i samochodów związanych z eksploatacją zbiornika i elektrowni wodnej. Podstawowe wymiary obiektu przedstawiono na rysunkach 2 i 3 [Wiśniowski, 1996; Mańko i Mordak 2002].

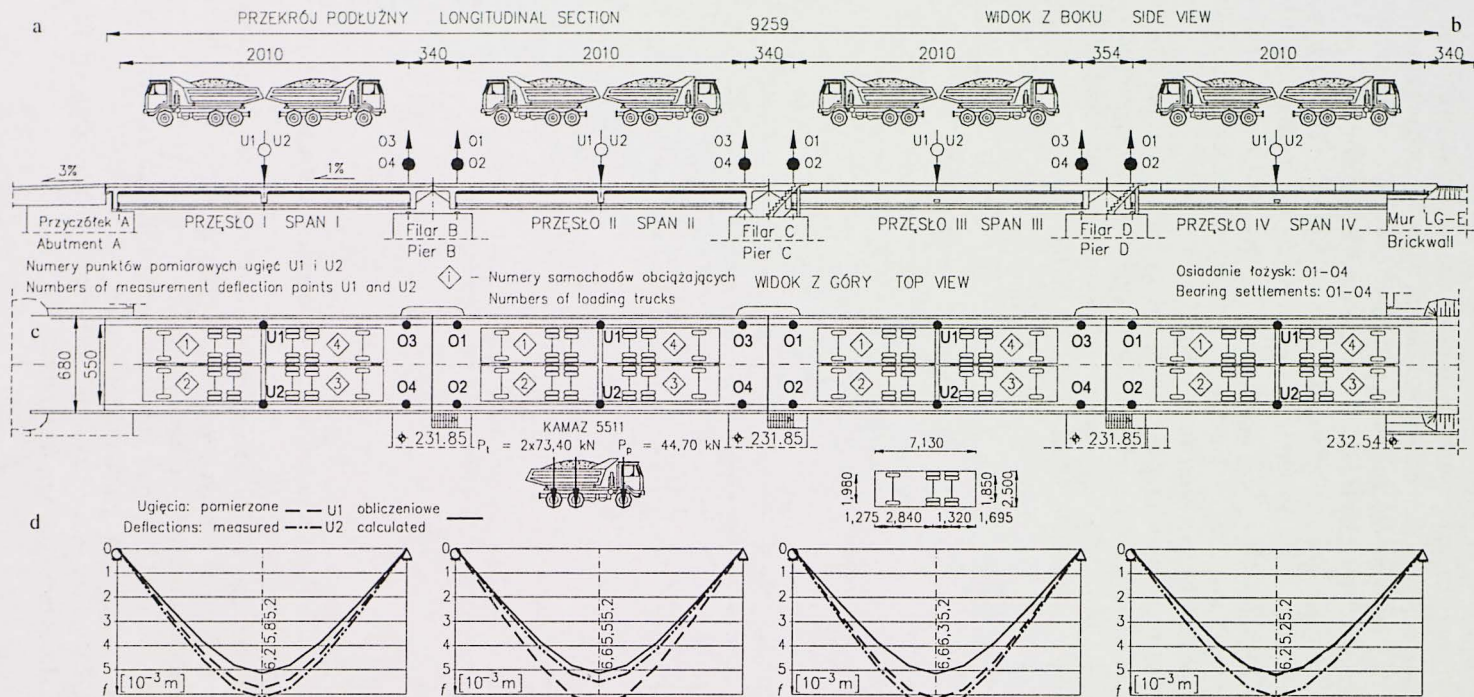


Rys. 2. Przekrój poprzeczny przęsła mostu oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych
Fig. 2. Cross-section of bridge span and localization of measurement points

ZAKRES BADAŃ

Podczas badań doświadczalnych mostu w zakresie obciążeń statycznych wykonane zostały następujące pomiary:

- ugięcie ustroju nośnego (belek głównych) w dwóch punktach usytuowanych w połowach rozpiętości teoretycznych poszczególnych przęseł, które dokonane zostały za pomocą niwelatorów precyzyjnych,
- przemieszczeń pionowych łożysk umieszczonych na filarach za pomocą niwelatorów precyzyjnych oraz czujników zegarowych,
- sprawdzające wymiary poszczególnych elementów konstrukcyjnych przęseł dokonane podczas ogólnych oględzin mostu.



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na czterech przęsłach mostu drogowego pod obciążeniem statycznym: a – przekrój podłużny, b – widok z boku, c – widok z góry wraz z samochodem marki KAMAZ 5511 i jego parametrami technicznymi, d – wykresy ugięć poszczególnych przęseł
 Fig. 3. Localization of measurement points located on four spans of road bridge under static loads: a – longitudinal section, b – side view, c – top view with truck KAMAZ 5511 type technical parameters, d – deflection diagrams of each span

Ponadto dokonano sprawdzenia stanu technicznego konstrukcji przęseł i podpór mostu przed zasadniczymi badaniami, w trakcie ich trwania oraz bezpośrednio po wykonanych badaniach [Mańko i Mordak, 2002; PN-77/S-10040].

Rozmieszczenie punktów pomiarowych przemieszczeń pionowych przęseł (U1–U8) i osiadań łożysk (O1–O12) w przekroju poprzecznym i na długości przęseł I–IV mostu podczas badań doświadczalnych w zakresie obciążeń statycznych pokazano na rysunkach 2 i 3.

CHARAKTERYSTYKA POJAZDÓW OBCIĄŻAJĄCYCH

W projekcie próbnego obciążenia mostu założono, że pojazdami obciążającymi będą cztery samochody ciężarowe marki KAMAZ 5511 o maksymalnej ładowności do 19,15 Mg. Podstawowe charakterystyki techniczne pojazdów podano na rysunku 3, przy czym długość między zderzakami wynosi 7,130 m, szerokość pudła 2,500 m, a rozstaw osiowy kół przednich 1,980 m. Maksymalny ciężar samochodu załadowanego wynosi 191,50 kN, a jego ciężar bez ładunku 90,00 kN (ładowność 101,50 kN), przy czym nacisk na oś przednią wynosi 44,70 kN, a na osie tylne $2 \times 73,40$ kN.

Tabela 1. Zestawienie nacisków na osie poszczególnych samochodów obciążających marki KAMAZ 5511 według katalogu i aktualnej wagi [kN]

Table 1. Jux-taposition of axles loads on loading trucks KAMAZ 5511 type based on catalogue and actual weight [kN]

Numer pojazdu Truck number	Numer rejestracyjny Registration number	Ciężar całego pojazdu Truck weight	Naciski na osie Axles loads		
			P_p	P_t	
1	ODJ 7844	240,70	49,00	95,85	95,85
2	ODF 3689	237,00	50,00	93,50	93,50
3	ONY C705	239,00	51,40	93,80	93,80
4	ODH 1710	238,60	51,80	93,40	93,40
Średnio / Average		238,83	50,55	94,14	94,14
Katalog / Catalogue		191,50	44,70	73,40	73,40

W tabelicy 1 zestawiono ciężary wszystkich osi samochodów według katalogu oraz aktualnej wagi. Samochody obciążające załadowano piaskiem i zważono bezpośrednio przed badaniami, przy czym ważone były kolejno wszystkie jego osie oraz cały pojazd.

Ustawienie samochodów obciążających na każdym przęśle dobrano tak, aby uzyskać maksymalne jego wyciążenie w miejscach, gdzie umieszczono punkty pomiarowe.

METODYKA PRZEPROWADZENIA POMIARÓW

Badania mostu pod obciążeniem statycznym przeprowadzono dla czterech schematów obciążeń symetrycznych, po jednym dla każdego przęsła (rys. 3). Pierwsze odczyty, tzw. zerowe, na urządzeniach pomiarowych wykonano przed wprowadzeniem obciążeń

nia na każde badane przęsło. Po wprowadzeniu obciążenia balastującego na przęsło wykonano dalsze odczyty na wszystkich przyrządach co 10 minut przez okres co najmniej 30 minut. Jeżeli różnice między dwoma następującymi po sobie odczytami były większe niż 1%, to obciążenie tak długo utrzymywano na przęsle, aż osiągnięto różnice mniejsze od tej wartości. W podobny sposób wykonano odczyty na urządzeniach pomiarowych po odciążeniu przęsła, tj. co 10 minut, przez okres 20 minut. Takich odczytów wykonano co najmniej trzy. Różnice między ostatnimi wskazaniem na urządzeniach po odciążeniu a początkowymi stanowią wielkości ugięć (lub odkształceń) trwałych, różnice zaś pomiędzy ugięciami (odkształceniami) całkowitymi a trwałymi są ugięciami (odkształceniami) sprężystymi.

POMIARY PRZEMIESZCZEŃ USTROJU NOŚNEGO I PODPÓR

Do obserwacji przemieszczeń ustroju nośnego (belek głównych) mostu podczas badań zastosowano metodę niwelacji precyzyjnej. Wykorzystano ją także do sprawdzenia osiadań podpór skrajnych (przyczółków) i pośrednich (filarów). W tym celu użyto dwóch niwelatorów precyzyjnych samopoziomujących firmy Carl Zeiss, typ Ni 007. Instrumenty te miały lunetę o powiększeniu $31,5\times$ oraz mikrometr optyczny z płytką płaskorównoległą. Zakres pomiarowy mikrometru wynosił 5 mm. Wartość jednej działki na jego skali wynosiła 0,1 mm. Skala ta była dostosowana do podziału półcentymetrowego lat niwelacyjnych. Szacunkowa dokładność odczytu na skali mikrometru wynosiła 0,1 działki jednostkowej, tj. 0,01 mm. Jako dokładność praktyczną odczytu punktu obserwowanego przyjęto trzykrotną wielkość dokładności teoretycznej, czyli 0,1–0,2 mm w sprzyjających warunkach atmosferycznych.

Podczas przeprowadzonych badań, które zrealizowano przy zamkniętym ruchu samochodowym, pogoda była dobra, choć wiał wyjątkowo silny wiatr.

WYZNACZENIE LINII WPŁYWU UGIĘCIA I MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH

Ze względu na zmianę marek samochodów obciążających oraz stosunkowo duże różnice między ciężarami pojazdów według katalogu i aktualnej ich wagi, należało ponownie wykonać obliczenia ugięć belek głównych i naprężeń w przęsłach od uśrednionych ciężarów czterech samochodów rozdzielonych na naciski poszczególnych osi, zgodnie ze stosunkiem ich rozdziału wynikającym z danych katalogowych pojazdów (tab. 1).

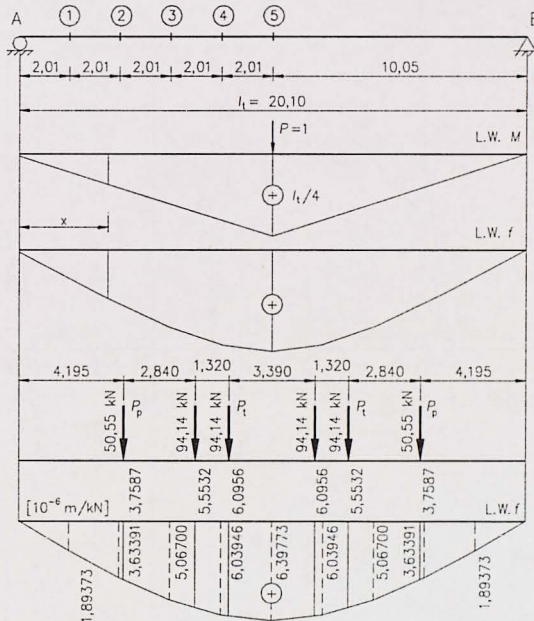
Charakterystyki geometryczne przekroju poprzecznego każdego przęsła mostu przedstawiają się następująco:

1. Moduł sprężystości podłużnej betonu:
 - belek głównych (10,83% pola przekroju przęsła) $E = 34,6 \cdot 10^5$ MPa,
 - płyty pomostu (89,17% pola przekroju przęsła) $E = 32,6 \cdot 10^5$ Mpa.
2. Moment bezwładności na zginanie: $J_x = 0,8058 \text{ m}^4$.

Linie wpływowe ugięcia w połowie rozpiętości teoretycznej przęsła (belki głównej) wyznaczono od ustawionej na nim siły jednostkowej $P = 1$, zgodnie z równaniem:

$$f_x = \frac{Mx}{EJ} = \frac{1}{EJ} \left(\frac{l_t^2}{16} x - \frac{x^3}{12} \right) \quad (1)$$

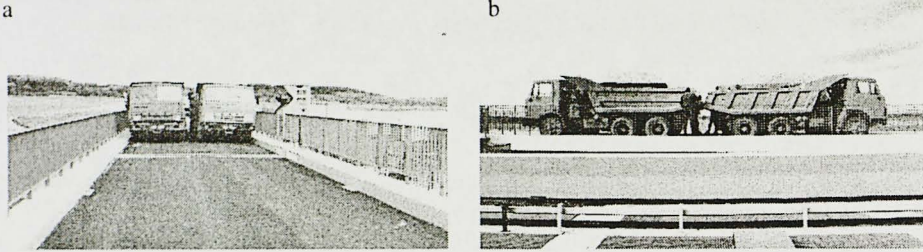
Wykres linii wpływowej ugięcia dla przęsła $l_t = 20,10$ m wraz z obliczonymi jej rzędnymi i ustawieniem osi pojazdów obciążających na przęśle pokazano na rysunku 4. Sztywność przęsła wynosi: $EJ = 0,8058 \cdot (0,1083 \cdot 34,6 \cdot 10^3 + 0,8917 \cdot 32,6 \cdot 10^3) = 26443,62 \text{ MN}\cdot\text{m}^2$, a średnie przemieszczenie przęsła od obciążenia symetrycznego: $f_0 = 4 \cdot 50,55 \cdot 3,7587 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 94,14 \cdot (5,5532 + 6,0956) \cdot 10^{-6} = 0,00515 \text{ m}$, przy czym ugięcie dopuszczalne wynosi: $f_{\text{dop}} = l_t / 800 = 20,10/800 = 0,02513 \text{ m}$.



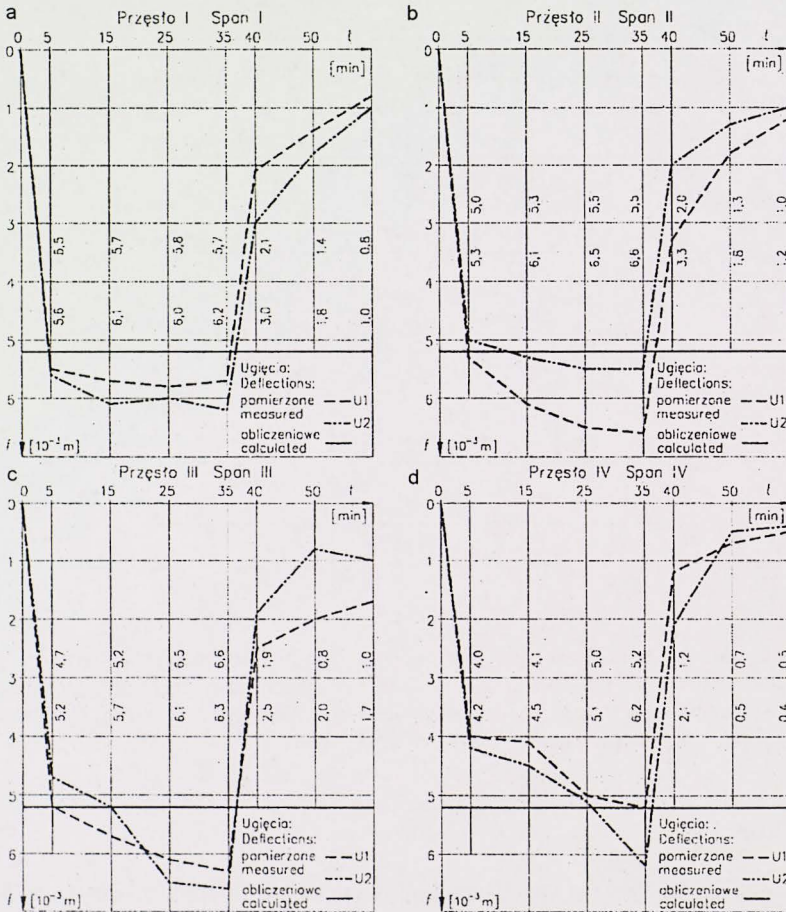
Rys. 4. Linie wpływu momentu zginającego i ugięcia w połowie rozpiętości teoretycznej przęsła oraz ustawienie osi samochodów obciążających (schemat symetryczny) na każdym przęśle mostu Fig. 4. Influence lines of bending moment and deflection in half of effective span with the loading truck axles set-up (symmetric scheme) on each of bridge span

WYNIKI BADAŃ

Na rysunkach 5 i 6 zostały przedstawiono różne fazy z przeprowadzonych badań doświadczalnych pod obciążeniem statycznym kolejnych przęseł wraz z usytuowaniem obciążenia. Wyniki kontrolowanych na bieżąco przemieszczeń pionowych w czasie wybranych punktów ustroju nośnego czterech przęseł w połowach ich rozpiętości teoretycznych dla rozpatrywanego schematu obciążenia pokazano na rysunku 6. W celu

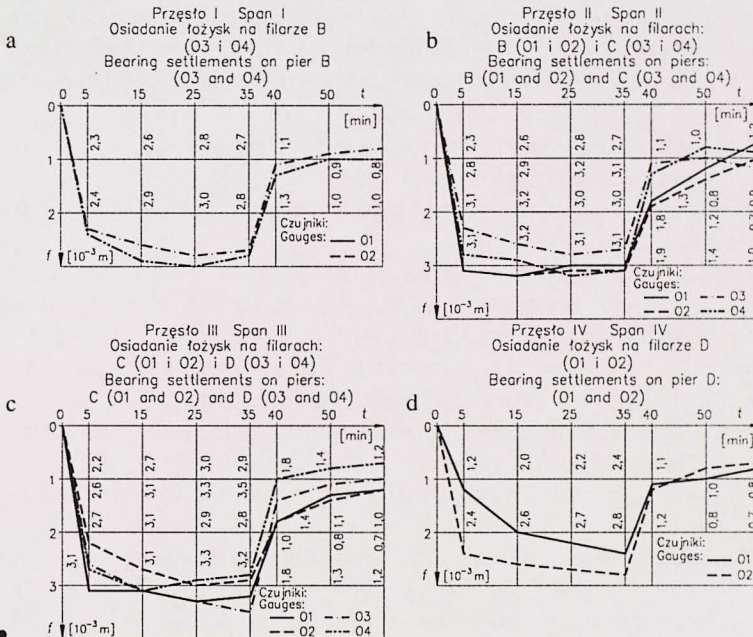


Rys. 5. Widok na samochody obciążające przęśło I: a – od czoła od strony elektrowni, b – z boku od strony dolnej wody
 Fig. 5. View of loading trucks set-up on span I: a – front view from water-power plant, b – side view from tailwater



Rys. 6. Wykresy przemieszczeń pionowych (ugięć) w czasie przęśła: a – I, b – II, c – III, d – IV, od symetrycznego schematu obciążenia ustawionego w połowie jego rozpiętości teoretycznej
 Fig. 6. Diagrams of vertical displacements (deflections) in time of span: a – I, b – II, c – III, d – IV, loaded under the symmetric load scheme set-up in half of its effective span

przeprowadzenia analizy otrzymanych wyników przedstawiono je także na wykresach dla poszczególnych przęseł mostu w kierunku podłużnym (rys. 3). Przemieszczenia pionowe czterech łożysk każdego z czterech przęseł mostu dla danego schematu obciążenia statycznego przedstawiono w formie przebiegów czasowych na rysunku 7. Jednocześnie w pracy Mańko i Mordaka [2002] zestawiono wszystkie wyniki otrzymane podczas badań doświadczalnych tego mostu.



Rys. 7. Wykresy osiadań łożysk w czasie od obciążenia w przęsłach: a – I, b – II, c – III, d – IV
Fig. 7. Diagrams of bearing settlements in time under loading of span: a – I, b – II, c – III, d – IV

ANALIZA WYNIKÓW OTRZYMANYCH Z BADAŃ I OBLICZEŃ

Uwagi ogólne

Badania wytrzymałościowe, w formie próbnego obciążenia w zakresie statycznym, wykonuje się na wszystkich mostach żelbetowych kolejowych oraz na mostach drogowych o rozpiętościach przęseł większych niż 20 m. Badania obejmują próbę statyczną (próbne obciążenie dynamiczne wykonuje się na mostach kolejowych o rozpiętości przęseł większych niż 10 m).

W przypadku stosowania nowych konstrukcji przęseł, decyzję o próbnym obciążeniu i jego zakresie, bez względu na rozpiętość teoretyczną przęseł, podejmuje instytucja zatwierdzająca dokumentację techniczną. Próbné obciążenie przeprowadza się na podstawie szczegółowego programu badań – projektu próbnego obciążenia zawierającego:

określenie wielkości obciążenia i jego ustawienia w kolejnych fazach badania,

- obliczenie strzałek ugięcia od rzeczywistych obciążeń użytych w badaniach, wykonane dla wszystkich punktów pomiarowych ugięć,
- szczegółowy tok postępowania przy wprowadzaniu obciążenia, określający kolejność i czas trwania poszczególnych faz, a także szybkość przejazdu, jeżeli wymagane są badania dynamiczne,
- określenie miejsc pomiaru osiadania podpór.

Badania wytrzymałościowe mostów betonowych polegają na pomiarach ugięć belek głównych oraz osiadań podpór pod wpływem próbnego znanego obciążenia [PN-77/S-10040]. Jeżeli w projekcie próbnego obciążenia nie ustalono inaczej, badania przeprowadza się z zachowaniem następujących warunków:

1. Pomiary ugięć należy wykonać za pomocą niwelacji precyzyjnej lub specjalnych mechanicznych przyrządów pomiarowych.
2. Obciążenie statyczne powinno stanowić pierwszą próbę, przed którą nie wolno obiektu obciążać innym taborem.
3. Obciążenie powinno być wprowadzone z prędkością nie większą niż 0,5 m/s.
4. Obciążenie powinno pozostawać na przeszle dopóki przyrost ugięć w ciągu 15 minut stanie się mniejszy niż 1% całkowitego ugięcia obliczeniowego.
5. Ugięcie należy mierzyć we wszystkich belkach głównych przynajmniej w przekroju obliczonego ugięcia maksymalnego w każdym przeszle.
6. Największe ugięcia belek głównych powinny być ustalone na podstawie serii odczytów, a mianowicie przynajmniej:
 - dwa odczyty w odstępie co najmniej 15 minut przed wprowadzeniem obciążenia na most,
 - jeden odczyt bezpośrednio po całkowitym obciążeniu mostu,
 - seria odczytów następujących po sobie w odstępach nie dłuższych niż 15 minut w czasie znajdowania się obciążenia na moście,
 - odczyt bezpośrednio po odciążeniu przęsła,
 - seria odczytów następujących po sobie po odciążeniu, w odstępach co 15 minut, dopóki różnice ugięć nie staną się mniejsze niż 1% ugięcia całkowitego.
7. Łącznie z pomiarem ugięć belek głównych należy wykonać badania dotyczące osiadania podpór oraz wychyleń wałków i wahaczy w łożyskach przesuwnych.
8. Badania dynamiczne należy przeprowadzać przez sprawdzenie ugięcia pod obciążeniem wcześniej użytym do próby statycznej.
9. Próbę dynamiczną należy wykonać przy szybkości maksymalnej określonej dla danej drogi (lub linii kolejowej), przy czym w przęsłach o rozpiętości teoretycznej większej niż 15 m badanie należy przeprowadzać przy kolejno rosnących szybkościach od 10 km/h do maksymalnej, w przedziałach co 20 km/h.
10. Równoległe z pomiarem odkształceń należy wykonywać oględziny konstrukcji w punktach charakterystycznych, w celu wykrycia wad w postaci rys i pęknięć.
11. Badania w rozszerzonym zakresie należy wykonywać jedynie na podstawie zatwierdzonego programu.

Ugięcia pomierzone powinny mieścić się w granicach dopuszczalnych odchyień zgodnie z pkt 2.4.4.6 [PN-77/S-10040]:

1. Ustrój niosący:
 - a) ugięcie przy obciążeniu statycznym:
 - sprężyste nie większe od obliczonego,
 - trwale nie powinno przekraczać 20% ugięcia całkowitego wywołanego pełnym obciążeniem,
 - b) ugięcie przy obciążeniu dynamicznym nie powinno przekraczać obliczonego więcej niż o 20%.
2. Podpory – przemieszczenie przy obciążeniu maksymalnym nie powinno przekraczać 5 mm chyba, że projekt stanowi inaczej.

Po zakończeniu próbnego obciążenia, podpory i ustrój niosący badanego mostu należy poddać szczegółowym oględzinom w celu wykrycia ewentualnych zmian lub uszkodzeń, tzn. aby w efekcie badań pod próbnym obciążeniem nie wystąpiły uszkodzenia elementów konstrukcyjnych przęsła lub ich połączeń [Kmita i Kamiński, 1975].

Ocena wyników badań podlega komisji odbiorczej, zgodnie z pkt 3.6 [PN-77/S-10040], która powinna ustalić:

- czy most jest wykonany zgodnie z projektem i wymaganiami normy,
- czy wprowadzono zmiany, i jakie, w stosunku do projektu oraz jaki jest ich wpływ na wytrzymałość, stateczność i sztywność konstrukcji,
- charakter, liczbę i rodzaj usterek, terminy ich usunięcia oraz postawić wnioski dotyczące możliwości przyjęcia i oddania obiektu do użytkowania.

W przypadku gdy chociaż jeden wynik badania wykaże niezgodność z wymaganiami, całość lub część robót należy uznać za niezgodne z normą. Roboty wykonane niezgodnie z wymaganiami normy nie mogą być przyjęte. W tym przypadku komisja odbioru ustali sposób dalszego postępowania.

Wyniki ostatecznych oględzin, badań wraz z oceną ich wyników i decyzjami komisji powinny być objęte specjalnym dokumentem w formie protokołu.

Ponadto, zgodnie z pkt 3.3 [PN-77/S-10040], badania po zakończeniu budowy obejmują sprawdzenie:

- podstawowych wymiarów konstrukcji (pkt 2.4.4.1),
- konstrukcji (pkt 2.4.4.2–2.4.4.4),
- łożysk (pkt 2.4.4.5) oraz
- badania wytrzymałościowe (pkt 2.4.5).

Przemieszczenia ustroju nośnego

Z powodu wody znajdującej się pod wszystkimi przęsłami mostu nie było możliwości bezpośredniego zmierzenia przemieszczeń pionowych od spodu konstrukcji w polowie ich rozpiętości teoretycznych, które stanowią rzeczywiste ugięcia ustroju nośnego. Z tego powodu punkty pomiarowe przemieszczeń należało umieścić na obu krańcach na górnej części pomostu, dla określenia średniego przemieszczenia przekroju poprzecznego przęsła.

Pomierzone przemieszczenia przekroju środkowego przęsła zawierają w sobie przemieszczenia pionowe nie tylko ustroju nośnego, ale również i przemieszczenia

konstrukcji pomostu i w związku z tym uzyskane wielkości należałyby od siebie odseparować. W tej sytuacji należało ustalić wielkość rzeczywistego ugięcia ustroju nośnego w połowie jego rozpiętości teoretycznej. Ażeby znaleźć przemieszczenia dolnych punktów betonowej konstrukcji płytowo-belkowej przęsła mostu w środku rozpiętości teoretycznej należało je ustalić na podstawie dodatkowych pomiarów przemieszczeń pionowych wszystkich ośmiu łożysk rozważanego ustroju.

W podstawowym schemacie obciążenia symetrycznego w kierunku poprzecznym przęsła (w największym stopniu wyężdżającym ustrój nośny) samochody ustawione zostały przy krawężnikach (na styk burt sąsiednich pojazdów, co widać na rysunkach 5a i b), stąd na ugięcia wsporników podchodnikowych nakładały się jednocześnie ugięcia od zginania poprzecznego płyty pomostowej. Przemieszczenia uzyskane w punktach pomiarowych porównano z wielkościami otrzymanymi z obliczeń za pomocą przestrzennego modelu MES stworzonego w programie ROBOT, co potwierdziło w całości poprawność wyników obliczeniowych uzyskanych z klasycznej teorii linii wpływowych.

Autor projektu technicznego mostu [Wiśniowski, 1996] w swoich rozważaniach wykorzystał linie wpływu do obliczenia potrzebnych wielkości statycznych i ugięć, traktując całe sztywne przęsło jako jedną belkę zginaną, swobodnie podpartą. W związku z tym, ugięcie obliczeniowe ustroju nośnego wyniosło $5,146 \cdot 10^{-3}$ m [Mańko i Mordak, 2002].

Zestawienie wyników przemieszczeń ustroju nośnego wszystkich przęseł uzyskanych z pomiarów i obliczeń w połowie ich rozpiętości teoretycznych podano w tabeli 2.

Stwierdzone w czasie pomiarów różnice między odczytami początkowymi i końcowymi były w przybliżeniu jednakowe w rozpatrywanych przekrojach wszystkich przęseł. Świadczyć to może o tym, że pochodziły one raczej od osiadania łożysk (lub ciosów podłożyskowych) oraz ewentualnych nieznaczących błędów odczytów z urządzeń pomiarowych, a tylko w minimalnym stopniu stanowiły trwałe odkształcenia ustroju nośnego, ponieważ tego typu przęsła monolityczne nie powinny wykazywać większych odkształceń trwałych, choć przyczółki i filary oraz ciosy podłożyskowe były nowe, uprzednio nieobciążane tak znaczącym ciężarem, i stąd należało się spodziewać pewnych nieznaczących ich osiadań oraz różnic w odczytach pod pierwszym, stosunkowo dużym obciążeniem użytkowym, zbliżonym do normowego (ponad 62%).

Stosunek pomierzonych przemieszczeń całkowitych w połowie rozpiętości teoretycznych wszystkich czterech przęseł mostu pod obciążeniem statycznym do obliczonych teoretycznie od tego samego obciążenia był zawsze nieco większy od jedności we wszystkich analizowanych przekrojach. Stwierdzone w czasie pomiarów odchyłki przemieszczeń ustroju nośnego od wartości obliczeniowych były jednak już nieznaczne w przypadku porównywania przemieszczeń sprężystych, a po uwzględnieniu osiadań łożysk (i podpór) były mniejsze od jedności, co świadczy o tym, że ugięcia pomierzone były mniejsze od obliczeniowych. Dla najważniejszego, bo najbardziej wyężdżającego przekroje konstrukcji przęseł, schematu obciążenia symetrycznego różnice między otrzymanymi wynikami (po uwzględnieniu osiadań łożysk) wahały się od 9,52 do 80,95%. Pomierzone przemieszczenia przekroju środkowego przęsła zawierały w sobie nie tylko przemieszczenia pionowe ustroju nośnego, ale również i przemieszczenia konstrukcji pomostu, które rozseparowano od siebie, uzyskując wielkość rzeczywistego ugięcia przęsła, także mniejszego od obliczeniowych.

Tabela 2. Zestawienie wyników przemieszczeń pionowych [10^{-3} m] ustroju nośnego czterech przęseł w połowie ich rozpiętości teoretycznej i łożysk uzyskanych z pomiarów i obliczeń
 Table 2. Matching results of vertical displacements [10^{-3} m] of four bridge span load-carrying structures in half of its effective spans and bearings obtained from research and calculation

Wielkości Quantities		Przęsła Spans							
		I		II		III		IV	
Ugięcia pomierzone Measured deflections		WD ^a	WG ^b	WD	WG	WD	WG	WD	WG
- całkowite total	f_c	6,20	5,20	6,60	6,30	5,50	6,60	6,20	5,80
- trwałe permanent	f_t	0,40	0,50	1,00	1,70	1,00	1,20	1,00	0,80
- sprężyste elastic	f_s	5,80	4,70	5,60	4,60	4,50	5,40	5,20	5,00
- osiadania łożysk bearing settlements	f_{te}	2,80	2,40	3,10	3,50	3,20	3,00	3,00	2,80
- osiadania łożysk trwałe permanent bearing settlements	f_{ti}	0,80	0,80	0,70	1,00	1,00	0,70	1,00	0,80
- osiadania łożysk sprężyste elastic bearing settlements	f_{ts}	2,00	1,60	2,40	2,50	2,20	2,30	2,00	2,00
- ugięcie sprężyste przęsła po uwzględnieniu osiadań łożysk elastic span deflections after consideration bearing settlements	f_{sp}	3,80	3,10	3,20	2,10	2,30	3,10	3,20	3,00
Ugięcie obliczeniowe Calculated deflection f_o		5,146							
Różnice Differences	$(f_o - f_c)$	-1,054	-0,054	-1,454	-1,154	-0,354	-1,454	-1,054	-0,654
	$(f_o - f_s)$	-0,654	0,446	-0,454	0,546	0,646	-0,254	-0,054	0,146
	$(f_o - f_{sp})$	1,346	2,046	1,946	3,046	2,846	2,046	1,946	2,146
Stosunki Ratios	f_c / f_o	1.2048	1.0105	1.2825	1.2243	1.0688	1.2825	1.2048	1.1271
	f_s / f_o	1.1271	0.9133	1.0882	0.8939	0.8745	1.0494	1.0105	0.9716
	f_{sp} / f_o	0.7384	0.6024	0.6218	0.4081	0.4470	0.6024	0.6218	0.5830
	$(f_o - f_c) / f_o$	[-20,48	-1,05	-28,25	-22,43	-6,88	-28,25	-20,48	-12,71
	$(f_o - f_s) / f_o$	[-12,71	8,67	-8,82	10,61	12,55	-4,94	-1,05	2,84
	$(f_o - f_{sp}) / f_o$	[26,16	39,76	37,82	59,19	55,31	39,76	37,82	41,70

^{a,b}WD (WG) – punkty pomiarowe od strony dolnej (i górnej) wody U1 i U2 oraz O1 (O3) i O2 (O4).

WD (WG) – measuring points from tailwater (and headwater) U1 and U2 and O1 (O3) and O2 (O4).

Łożyska

Wielkości pomierzonych przemieszczeń łożysk mieszczą się w granicach dopuszczalnych określonych dla wybranych typów zastosowanych w tym obiekcie. Jednocześnie nie było żadnych oznak, które wskazywałyby na wadliwość zamontowania samych łożysk. Zaobserwowane natomiast, w niektórych przypadkach, nieznaczne różnice po-

między odczytami początkowymi i końcowymi w przemieszczeniach łożysk pochodziły raczej od osiadania nowych ciosów podłożyskowych (ze względu na stosunkowo duże ich pierwsze obciążenie) i ewentualnych nieznacznych błędów odczytów z urządzeń pomiarowych, zwłaszcza przy występującym dużym wietrze.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania betonowego mostu drogowego o konstrukcji sprężonej położonego nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego w Topoli pod obciążeniem statycznym, a także poczynione w ich trakcie obserwacje pracy konstrukcji czterech przęseł, jak również wszechstronna analiza wyników uzyskanych z pomiarów i porównanie ich z obliczeniowymi pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków o charakterze ogólnym oraz zaleceń końcowych:

1. Konstrukcje przęseł, łożysk i podpór nie budziły żadnych obaw lub zastrzeżeń pod znanym obciążeniem statycznym. Wszystkie wartości pomierzonych ugięć całkowitych były większe od ugięć obliczonych teoretycznie (tab. 2), ale już tylko połowa wartości uzyskanych ugięć sprężystych była minimalnie większa od obliczeniowych. Natomiast średnie wartości stosunku pomierzonych ugięć sprężystych (tj. po uwzględnieniu osiadań łożysk) do obliczeniowych (0,4081–0,7384) w świetle przeprowadzonych badań (tab. 2) były we wszystkich rozpatrywanych punktach pomiarowych w czterech przęsłach mniejsze od wielkości teoretycznych obliczonych od tego samego znanego obciążenia, co świadczyło o nieco większej sztywności przęseł, niż to przyjęto w obliczeniach statyczno-wytrzymałościowych, w których nie uwzględniano tak daleko idącej współpracy poszczególnych elementów konstrukcyjnych między sobą i wynikającej z tego większej sztywności skrętnej belek głównych i pomostu (most stosunkowo wąski).

2. Wartości pomierzonych ugięć sprężystych były znacznie mniejsze od wielkości obliczeniowych w przedziale od 40,81 do 73,84% (tab. 2).

3. Różnice w spodziewanych wartościach ugięć w stosunku do pomierzonych wynikały najprawdopodobniej z dobrej współpracy żelbetowej płyty pomostowej z belkami głównymi i poprzecznicami oraz dużo większej sztywności poprzecznej przęseł w stosunku do wielkości zakładanych [Wiśniowski, 1996; Mańko i Mordak, 2002].

4. Nie stwierdzono żadnych zarysowań elementów konstrukcyjnych.

5. Oględziny nowego mostu po przeprowadzonych badaniach pod obciążeniem statycznym nie wykazały żadnych niekorzystnych zmian ani uszkodzeń (np. pęknięć lub rys) w obrębie konstrukcji przęseł, łożysk i podpór, pozytywne zaś wyniki badań doświadczalnych pozwoliły na stwierdzenie, że obiekt wykonany został zgodnie z wymogami normowymi i można go było dopuścić do badań dynamicznych [Mańko i Mordak, 2002], a następnie do normalnej eksploatacji na klasę obciążeń B [PN-85/S-10030].

PIŚMIENNICTWO

- Kmita J., 1960a. Dwa mosty sprężone kablami 18φ5. *Drogownictwo*, 7, 157–163.
- Kmita J., 1960b. Most drogowy sprężony kablami z lin. *Inżynieria i Budownictwo*, 12, 455–463.
- Kmita J., Kamiński L., 1975. Problemy próbnych obciążeń budowli mostowych. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej*, 17, Seria: Konferencje, 4, „Bezpieczeństwo budowli mostowych”, Wrocław, 11–14 września.
- Mańko Z., 2003. Badania sprężonego przęsła mostu drogowego nad rzeką Nysa Kłodzka w ciągu ulicy Matejki w Kłodzku po wykonanym remoncie. Materiały posympozjalne I Sympozjum „Diagnostyka i badania mostów”, Opole, 4–6.04.2001, Wrocław-Opole, luty 2003.
- Mańko Z., Mordak A., 2002. Opracowanie projektu i sprawozdania z próbnego obciążenia mostu drogowego o konstrukcji sprężonej nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego Topola na rzece Nysa Kłodzka w miejscowości Topola. Centrum Naukowo-Badawcze Rozwoju Budownictwa MOSTAR, Wrocław.
- PN-77/S-10040. Betonowe i żelbetowe konstrukcje mostowe. Wymagania i badania.
- PN-85/S-10030. Obiekty mostowe. Obciążenia.
- PN-91/S-10042. Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Projektowanie.
- Wiśniowski W., 1996. Projekt techniczny mostu nad budowlą zrzutową zbiornika wodnego w Topoli. Hydroprojekt, Wrocław.

STATICAL FIELD LOAD TESTS OF THE PRESTRESSED CONCRETE ROAD BRIDGE OVER WATER PLANT ON WATER RESERVOIR

Abstract. The paper is presented the results of experimental research conducted on the new prestressed concrete road bridge over water plant on water reservoir across Nysa Kłodzka river in Topola under statical field load tests. The examined bridge was first time weighted so large loads and presumably followed fitting oneself of some structural elements to oneself, especially of parts of bearings, what appeared in the results of bearings and bridge spans under static field loads. On the base of the obtained results from research and calculation the behaviour of tested span structures was evaluated before putting it to the normal service, what it was permitted to evaluate an effectiveness of such solutions.

Key words: concrete span, deck plate, road bridge, pre-stressed beam, requirements and acceptance test, statical field load test

Z. Mańko, *Politechnika Wroclawska, Instytutu Inżynierii Lądowej, Zakład Mostów, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław*
e-mail: zbigniew.manko@pwr.wroc.pl

A. Mordak, *doktorant Politechniki Krakowskiej*
e-mail: armo_to@o2.pl