ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: BUDOWNICTWO z. 95 Nr kol.1559

Arkadiusz MORDAK*
Politechnika Opolska

BADANIA BELEK MOSTU DROGOWEGO WZMOCNIONYCH TAŚMAMI CFRP W RÓŻNYCH FAZACH REMONTOWYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań doświadczalnych betonowego mostu drogowego o konstrukcji sprężonej pod obciążeniem statycznym przeprowadzonych w różnych fazach wykonywania jego remontu. Przęsła mostu zostały wzmocnione poprzez naklejenie na pasy dolne belek głównych taśm węglowych CFRP oraz zamontowanie na nich zewnętrznych strzemion wykonanych z płaskowników stalowych. Głównym celem remontu mostu było podniesienie jego nośności do klasy obciążeń C (300 kN) według PN-85/S-10030. Na podstawie wyników uzyskanych z badań określono zachowanie się badanych konstrukcji przęseł w różnych fazach remontu, co pozwoliło ustalić skuteczność wzmocnienia oraz opracować własne wytyczne do stosowania tego typu wzmocnień w przyszłości.

RESEARCH OF ROAD BRIDGE BEAMS STRENGTHENED BY CFRP TAPES IN THE DIFFERENT REPAIR PHASES

Summary. The paper presents the results of experimental research conducted on the post-tensioned prestressed concrete road bridge under statical loads carry out in different phases of executing of its repair. Bridge spans were strengthened by gluing CFRP strips on bottom flanges of main beams and installing on beams of external stirrups executed from steel flats. Main purpose of the bridge repair was to increasing the load capacity of object to C class of loads (300 kN) according to the Polish Standards (PN-85/S-10030). On the base of obtained results from research the behavior of tested span structures was evaluated at the different phases of repair, what it was permitted an effectiveness of maintenance and elaborate own guidelines for using of this type of reinforced manner in the future in engineering practice.

1. Wstęp

Od niedawna wykonuje się w Polsce wzmacnianie obiektów mostowych przy wykorzystaniu taśm z włókien węglowych (tzw. lameli), naklejanych na betonowe elementy konstrukcyjne poddane zginaniu [1], [2], [3], [4], [5]. Jest to metoda wykorzystująca

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

stosunkowo nieskomplikowaną technologię oraz osprzęt, i stąd coraz bardziej wzrasta zainteresowanie konstruktorów stosowaniem tego typu rozwiązań. W związku z narastającą popularnością i skutecznością stosowania taśm FRP przy wzmacnianiu obiektów mostowych, co wynika z prostoty operacji technologicznych oraz krótkiego czasu montażu, a jednocześnie dość dużym ich kosztem, zachodzi potrzeba jak najlepszego i wszechstronnego ich wykorzystania. Toteż za celowe uważa się przeprowadzanie odpowiednich badań doświadczalnych na wzmacnianych obiektach, mających na celu określenie zachowania się takich konstrukcji pod znanym obciążeniem statycznym oraz dynamicznym.

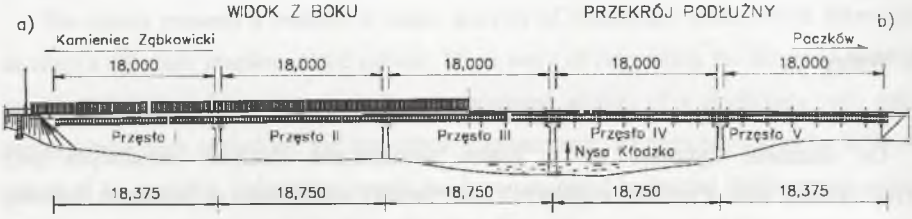
W pracy przedstawiono badania doświadczalne betonowego mostu drogowego o konstrukcji sprężonej przez rzekę Nysa Kłodzka położonego w km 72+536 w ciągu drogi wojewódzkiej nr 382 Stanowice – Paczków w miejscowości Paczków w woj. opolskim.

Przeprowadzane badania miały na celu określenie zachowania konstrukcji przęseł poddanych obciążeniom statycznym w różnych fazach (etapach) pośrednich wykonywanego remontu mostu [6], którego głównym celem było podniesienie nośności obiektu do klasy obciążeń C według PN-85/S-10030. Końcowe wyniki badań mostu po wykonanym remoncie pod obciążeniem statycznym i dynamicznym pozwolą ocenić skuteczność wzmocnienia belek głównych taśmami CFRP oraz zmianę zachowania się konstrukcji przęseł pod wpływem obciążenia podczas różnych faz prowadzenia prac remontowych, przy jednoczesnym ciągłym ruchu samochodowym odbywającym się po drugiej nieremontowanej połowie mostu.

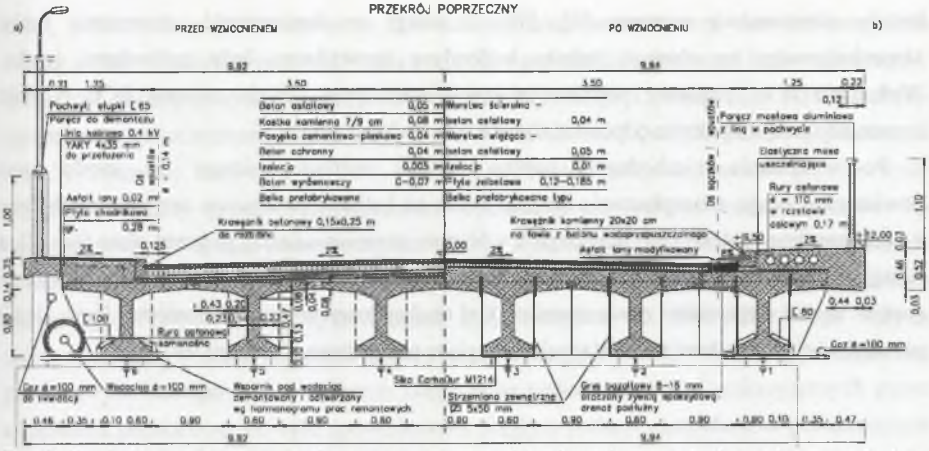
2. Opis obiektu

Badany most został wybudowany w latach 1957–59. Jest to obiekt pięcioprzęsłowy, sprężony w kierunku wzdłużnym i poprzecznym, o ustroju nośnym w postaci prefabrykowanych kablobetonowych belek głównych (prototyp belek typu „Płońsk"), swobodnie podpartych wykonanych na placu budowy. Rozpiętości teoretyczne (w osiach podparcia na przyczółkach i filarach) kolejnych pięciu przęseł wynoszą po 18,00 m (rys. 1).

W przekroju poprzecznym przęsła występuje sześć belek głównych w rozstawie co 1,50 m, które spięto poprzecznicami sprężonymi (rys. 2) [6]. Są to belki o przekroju dwuteowym z



Rys. 1. Most drogowy w Paczkowie: a) widok z boku i b) przekrój podłużny
Fig. 1. The rood bridge in Paczków: a) side view, b) longi tudrnod section



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przęseł z zaznaczonymi punktami pomiarowymi: a) przed wzmocnieniem i b) po wzmocnieniu

Fig. 2. Bridge cron section with measured points a) before fostening, b) after fostening

szeroką półką górną, połączone między sobą za pomocą zamków betonowych. Szerokość użytkowa przęsła w świetle poręczy wynosiła 9,50 m, w tym jezdnia 7,00 m oraz obustronne chodniki po 1,25 m. Bezpośrednio na ustroju nośnym położona była betonowa warstwa wyrównawcza o zmiennej grubości (do około 0,07 m), izolacja (0,01 m), warstwa ochronna grubości 0,04 m oraz nawierzchnia drogowa złożona z kostki kamiennej (0,07 × 0,09 m) o grubości 0,08 m (ułożona na podsypce piaskowej) i warstwy asfaltobetonu grubości 0,05 m.

Wszystkie filary i przyczółek od strony centrum miasta są masywne, betonowe. Przyczółek ten posadowiony został bezpośrednio w gruncie. Natomiast przyczółek od strony Kamieńca Ząbkowickiego wykonany został jako oczep żelbetowy posadowiony na palach i zatopiony w nasypie. W przyczółkach wykonstruowano ścianki żwirowe (zapleczne) oraz zawieszono skrzydła żelbetowe. Betonowe filary zwieńczone zostały oczepem żelbetowym.

Nośność mostu przed remontem, określona w ekspertyzie [7], odpowiadała klasie E obciążeń, tj. 150 kN według PN-85/S-10030. Ponadto, ustrój nośny mostu był w złym stanie technicznym, wynikającym m.in. z występujących zarysowań poprzecznych belek głównych.

3. Opis wzmocnienia mostu

Wzmocnienie mostu zostało zrealizowane poprzez naklejenie na pas dolny każdej z belek głównych trzech taśm z włókien węglowych wtopionych w polimer (taśmy CFRP) od podpory do podpory i wykonanie dodatkowej płyty żelbetowej (nadbetonu) o grubości 0,12–0,185 m. W belkach głównych przeznaczonych do wzmocnienia nawiercono od spodu otwory w celu odprowadzenia wody nagromadzonej w kanałach kablowych, po czym wypełniono

kanały odpowiednią zaprawą [6], [7]. Z uwagi na konieczność utrzymania ruchu samochodowego na obiekcie roboty budowlane prowadzone były połówkami jezdni. Wykonano m.in. naprawy powierzchniowe filarów przy użyciu zapraw PCC. Całość konstrukcji przęseł pokryto odpowiednimi farbami ochronnymi.

Po wykonaniu niezbędnych napraw betonu ustroju nośnego od spodu oraz powierzchniowego zabezpieczenia zamontowano na belkach strzemiona zewnętrzne złożone z płaskowników stalowych o przekroju 5 × 50 mm, przeprowadzając je przez płytę (rys. 2), a następnie kotwiąc je od góry przy użyciu nakrętek (rys. 2). Dodatkowo, wystające końcówki prętów wraz z trzpieniami osadzonymi na klej epoksydowy w płycie żelbetowej (tzw. „jeż") pełnią funkcję łączników zespalających starą płytę pomostową z nadbetonem [6].

4. Zakres, organizacja oraz technika przeprowadzania badań

Podczas badań doświadczalnych wybranych przęseł mostu pod obciążeniem statycznym w połowie ich rozpiętości teoretycznych wykonane zostały pomiary następujących wielkości:

- ugięć sześciu belek głównych, dokonane za pomocą czujników zegarowych o dokładności 10^{-5} m,
- przemieszczeń pionowych i poziomych wybranych łożysk stałych i ruchomych,
- odkształceń jednostkowych (pośrednio naprężeń normalnych) w belkach głównych, które przeprowadzone zostały za pomocą czujników tensometrycznych i mechanicznych,
- odkształceń jednostkowych w strzemionach zewnętrznych i taśmach z włókien węglowych za pomocą tensometrów.

Rozmieszczenie czujników pomiarowych pokazano na rys. 2. Czujniki do pomiaru ugięć belek głównych umieszczono pod belkami głównymi na rusztowaniach nie związanych z konstrukcją przęseł w odległości około 0,40 m od dolnej ich powierzchni. W celu uniknięcia powstania ewentualnych przemieszczeń poziomych na czujnikach zegarowych podczas wystąpienia obciążenia, które mogłyby spowodować nierówne dolne powierzchnie belek, naklejono na nie płytki szklane.

Bazę pomiarową do określenia odkształceń jednostkowych na belkach głównych stanowiły pręty metalowe o długości równej 400 mm, które zostały wsunięte w przytwierdzone za pomocą gipsu do dolnych powierzchni belek ostoje, zamocowane z jednej strony, natomiast z drugiej (ruchomej) zostały zamontowane czujniki zegarowe o dokładności 1×10^{-5} m.

Do pomiarów odkształceń jednostkowych w strzemionach zewnętrznych i taśmach CFRP naklejonych na pasy dolne belek głównych użyto tensometrów elektrooporowych o oporności 120±1 Ω. Na strzemionach ulokowano tensometry w dwóch kierunkach (poziomo i pionowo) w środku rozpiętości oraz w strefach przypodporowych wzmocnionych belek głównych. Z

kolei, odkształcenia jednostkowe w taśmach mierzono tensometrami umieszczonymi na każdej z nich w połowie oraz w 1/4 (dla kontroli) rozpiętości teoretycznej badanego przęsła. Odczytów dokonywano za pomocą mostka tensometrycznego TSA-4A. Jako pojazdu obciążającego użyto samochodu ciężarowego marki KAMAZ 5511 (naciski na osie pokazano na rys. 3). Pierwsze dwa odczyty, tzw. zerowe, na wszystkich urządzeniach pomiarowych wykonane zostały przed wprowadzeniem obciążenia na kolejno badane przęsło. Po wprowadzeniu obciążenia balastującego na przęsło wykonano dalsze odczyty na urządzeniach pomiarowych co 10 minut przez okres co najmniej 30 minut. Gdy różnice między dwoma następującymi po sobie odczytami ugięć były mniejsze niż 1% całkowitego ugięcia obliczeniowego, w ciągu 15 minut przerywano pomiary. W chwili zakończenia czynności pomiarowych następowały w dalszym ciągu małe wahania wartości wskazywanych przez urządzenia pomiarowe, co było spowodowane ciągłym ruchem samochodów poruszających się po drugiej części jezdni. Z powodu braku możliwości całkowitego wstrzymania ruchu samochodowego na moście na czas trwania badań uzyskane wahania uznano za stan ostateczny wskazań czujników. W ten sposób łącznie pod obciążeniem dokonano czterech odczytów.

Podobnie wykonane zostały odczyty na urządzeniach pomiarowych po odciążeniu przęsła, minimum trzy, tj. co 10 minut przez okres 20 minut. Różnice między ostatnimi odczytami na czujnikach zegarowych (tensometrycznych) po odciążeniu a początkowymi stanowią wielkości ugięć (odkształceń) trwałych. Różnice pomiędzy ugięciami (odkształceniami) całkowitymi a trwałymi są wielkościami sprężystymi.

5. Wyniki otrzymane z badań doświadczalnych

Dotychczas przeprowadzono badania w dziewięciu etapach prowadzenia remontu. W I etapie badań obciążono skrajne przęsło I obiektu, ustawiając samochód ciężarowy na połowie jezdni, na której ruch był wstrzymany i prowadzone były jedynie prace związane z aktualnie wykonywaną jego modernizacją. Na obciążonej połowie jezdni usunięta została warstwa stanowiąca nawierzchnię zarówno na jezdni, jak i chodniku, oraz warstwy betonu ochronnego i wyrównawczego. Konstrukcje pięciu przęseł mostu zostały w ten sposób celowo odciążone, aby umożliwić naklejenie wzmocnień w postaci taśm z włókien węglowych. Obciążenie usytuowano bezpośrednio na górnej powierzchni płyty pomostowej, którą stanowiły pasy górne belek głównych (położenie 1). W II etapie badań górna część konstrukcji przęseł znajdowała się w tym samym stanie co w etapie I, ale na dolnych częściach belek głównych zostały już przyklejone taśmy węglowe wzmacniające ustrój nośny. Obciążenie samochodem ustawiono jak w etapie I. Z kolei w III etapie badań w konstrukcji przęseł zaszły już duże zmiany, wynikające z nadbetonowania nowej płyty pomostu. Dodatkowo, na belki główne

zamontowane zostały strzemiona wykonane z płaskowników stalowych 50 × 5 mm, w rozstawie co 0,35 m. Obciążenie ustawiono w sposób podobny jak w etapie II, z tym że z powodu wykonstruowanego na pomoście obiektu chodnika z krawężnikiem odsunięto je nieznacznie od krawędzi zewnętrznej przęsła (położenie 2). Przewidywano już dość duży spadek wielkości ugięć zarówno sprężystych, jak i trwałych.

W etapach IV i V badań obciążano przęsło skrajne I ustawiając obciążenie raz na połówce jezdni, na której zakończono już prace remontowe (tj. od strony górnej wody), a następnie na nie wyremontowanej części, tj. od strony dolnej wody, na której nie usunięto jeszcze starej nawierzchni. W VI i VII etapach badań obciążano przęsło II ustawiając obciążenie jak poprzednio. W VIII etapie badań obciążono przęsło skrajne I ustawiając obciążenie na aktualnie remontowanej połówce jezdni (od strony dolnej wody). Remont połowy obiektu od strony górnej wody został już zakończony, natomiast obciążana w tym etapie badań połowa mostu znajdowała się w takiej samej fazie remontowej jak odpowiadająca jej część od strony górnej wody w I etapie badań doświadczalnych. Z kolei w IX etapie pomiarów, w podobny sposób jak w etapie VIII, przebadano przęsło skrajne V.

Wyniki ugięć i odkształceń z kolejnych etapów badań podano w tablicy 1 i na rys. 3.

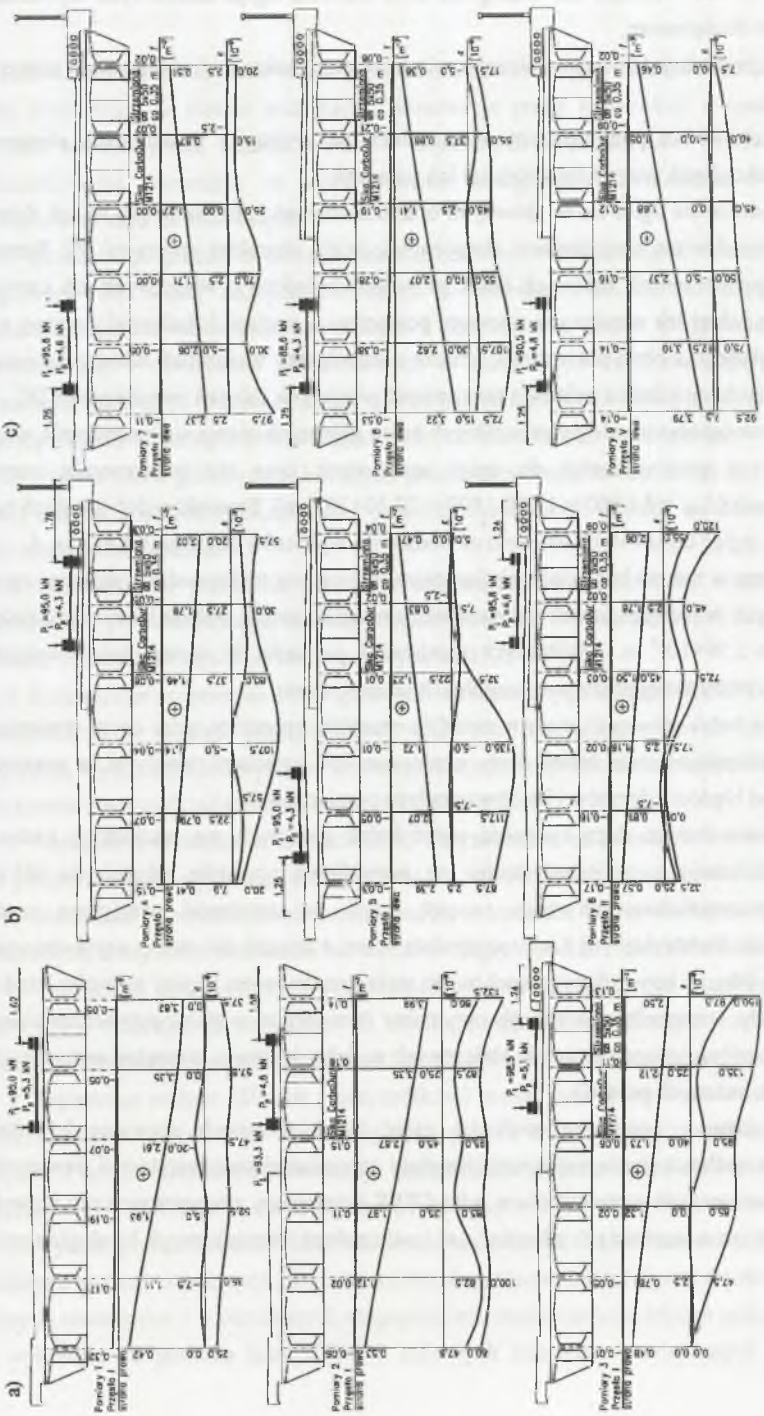
Tabela 1

Wartości ugięć f_c i odkształceń jednostkowych ε_c całkowitych oraz trwałych f_t i ε_t belek głównych

Etap badań	Data pomiarów	Ugięcia f w [10^{-3} m]						Odkształcenia jednostkowe ε w [10^{-6}]					
		Numery belek głównych											
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
I	30.08.2001	3,82	3,35	2,61	1,90	1,11	0,42	37,5	57,5	47,5	52,5	35,0	25,0
	(przęsło I)	–0,05	–0,05	–0,07	–0,19	–0,17	–0,32	0,0	0,0	–20,0	5,0	–7,5	0,0
II	10.09.2001	3,99	3,35	2,67	1,97	1,12	0,53	132,5	82,5	95,0	85,0	100,0	80,0
	(przęsło I)	0,14	0,16	0,15	0,11	0,02	–0,06	80,0	25,0	45,0	25,0	82,5	47,5
III	20.10.2001	2,50	2,12	1,73	1,33	0,78	0,48	150,0	135,0	95,0	85,0	47,5	0,0
	(przęsło I)	0,13	0,11	0,06	0,02	–0,05	–0,01	97,5	25,0	40,0	0,0	2,5	0,0
IV	10.11.2001	2,02	1,78	1,46	1,14	0,79	0,41	57,5	30,0	80,0	107,5	57,5	20,0
	(przęsło I)	–0,03	–0,05	–0,08	–0,04	–0,07	–0,15	20,0	27,5	37,5	–5,0	22,5	7,5
V	10.11.2001	0,47	0,83	1,23	1,72	2,07	2,39	5,0	7,5	32,5	135,0	117,5	87,5
	(przęsło I)	0,04	0,02	0,01	–0,01	–0,05	–0,03	0,0	–2,5	22,5	–5,0	–7,5	2,5
VI	17.11.2001	2,06	1,78	1,50	1,18	0,81	0,57	120,0	45,0	72,5	17,5	0,0	32,5
	(przęsło II)	0,09	0,02	0,03	0,02	–0,16	–0,16	55,0	2,5	45,0	2,5	–7,5	25,0
VII	17.11.2001	0,51	0,87	1,27	1,71	2,07	2,37	20,0	15,0	25,0	75,0	30,0	97,5
	(przęsło II)	0,08	0,04	0,0	0,0	–0,05	–0,01	2,5	–2,5	0,0	2,5	–5,0	2,5
VIII	16.02.2002	0,38	0,86	1,41	2,07	2,62	3,22	17,5	55,0	45,0	55,0	107,5	72,5
	(przęsło I)	–0,08	–0,21	–0,19	–0,28	–0,38	–0,53	–5,0	37,5	–2,5	10,0	30,0	15,0
IX	08.03.2002	0,46	1,05	1,68	2,37	3,10	3,79	7,5	40,0	45,0	50,0	75,0	92,5
	(przęsło V)	–0,02	–0,09	–0,12	–0,16	–0,14	–0,14	0,0	–10,0	0,0	–5,0	12,5	7,5

6. Analiza wyników badań

Warunkiem pozytywnej oceny wyników badań pod znanym obciążeniem (próbne obciążenie) według obowiązujących przepisów (PN-77/S-10040 i PN-91/S-10042) jest, aby:



Rys. 3. Wykresy ugięć f_c i odkształceń ε_c całkowitych oraz trwałych f_t i ε_t uzyskane z badań w etapach: a) I–III, b) IV–VI, c) VII–IX

Fig. 3. Deflection diagrams f_c, total strain ε_c and inelastic strain f_t and ε_t obtained durin tests a) I–III, b) IV–VI, c) VII–IX

– ugięcia trwałe wynosiły nie więcej niż 20% wartości ugięć całkowitych wywołanych pełnym obciążeniem,
– ugięcie przy obciążeniu dynamicznym nie powinno przekraczać obliczonego więcej niż o 20%,
– w efekcie badań pod próbnym obciążeniem nie wystąpiły uszkodzenia elementów konstrukcyjnych przęseł (podpór) lub ich połączeń.

Wyniki pomiarów ugięć belek głównych oraz odkształceń jednostkowych na ich dolnych półkach, spowodowane obciążeniami statycznymi, miały charakter sprężysty [8]. Rezerwy nośności w pomierzonych ugięciach belek głównych świadczą o właściwych ich sztywnościach oraz o dobrej ich współpracy z nowym pomostem w postaci dodatkowej warstwy nad - betonu zespolonego z płytą pomostową, a także o współpracy wszystkich warstw nawierzchni. Wyniki uzyskane z badań pokazują poprawność przyjętych założeń projektowych [6].

Pomierzone ugięcia trwałe poszczególnych belek głównych różnią się nieznacznie między sobą, i nie są proporcjonalne do ugięć sprężystych oraz nie przekraczają wartości dopuszczalnych ($f_{dop.} = l_t / 800 = 18{,}00 / 800 = 22{,}50\times10^{-3}$ m). Stosunki ugięć trwałych belek głównych do ugięć całkowitych ustalono na podstawie wykresów pokazanych na rys. 4.

Pomierzone w trakcie badań pod obciążeniem statycznym maksymalne całkowite ugięcia belek głównych w różnych fazach prowadzonego remontu mostu wahają się w przedziale od $2{,}02\times10^{-3}$ do $3{,}99\times10^{-3}$ m. Analiza tych spostrzeżeń prowadzi do następujących wniosków odnośnie do rzeczywistej pracy poszczególnych przęseł mostu:

1. Ugięcia belek głównych mają w zasadzie charakter sprężysty, przy czym stwierdzone minimalne przemieszczenia trwałe były częściowo ich ugięciami trwałymi, a częściowo pochodziły od błędów odczytów i błędów urządzeń pomiarowych.

2. Uzyskano bardzo dużą zgodność ugięć belek głównych we wszystkich badanych przęsłach. Wskazuje to z jednej strony, na prawidłowe przyjęcie założeń do obliczeń statyczno-wytrzymałościowych tych przęseł, czyli na zgodność przyjętego modelu obliczeniowego konstrukcji [6] z ich rzeczywistą pracą, z drugiej zaś strony uzyskane wyniki potwierdzają fakt, że konstrukcje przęseł mostu mają jeszcze proste zapasy nośności i że belki główne zostały wzmocnione w sposób optymalny (wnioski te w pełni potwierdza również analiza odkształceń jednostkowych i, obliczonych na ich podstawie, naprężeń normalnych w kilku belkach badanych przęseł).

3. Otrzymane z pomiarów wielkości ugięć belek głównych dowodzą ich dobrej współpracy z nadbetonowaną nową warstwą płyty pomostowej oraz warstwami nawierzchni. Natomiast zastosowane wzmocnienie z taśm CFRP i strzemion zewnętrznych nie wywołało większych zmian w wartościach tak ugięć, jak i odkształceń jednostkowych belek głównych.

7. Wnioski końcowe

Doświadczenia praktyczne z przeprowadzonych badań pod obciążeniem statycznym, a także poczynione w trakcie tych badań obserwacje pracy konstrukcji przęseł mostu, jak również wszechstronna analiza wyników uzyskanych z pomiarów i porównanie ich z obliczeniowymi pozwalają na sformułowanie następujących wniosków o charakterze ogólnym oraz zaleceń końcowych:

1. Konstrukcje przęseł o belkach kablobetonowych wzmocnionych taśmami z włókien węglowych nie budzą żadnych zastrzeżeń w zakresie wielkości sił przekrojowych i przemieszczeń oraz odkształceń uzyskanych z obliczeń oraz badań. Otrzymane z pomiarów wartości ugięć i odkształceń jednostkowych w belkach głównych nie dają powodów do wysuwania zastrzeżeń dotyczących ich wytrzymałości i nośności w badanych przęsłach oraz w pracy i zachowaniu się mostu w rozpatrywanych kilku fazach remontowych.

2. Ugięcia belek głównych w badanych przęsłach mostu podczas badań doświadczalnych nawet bez uwzględnienia odkształceń i przemieszczeń łożysk okazały się dużo mniejsze od obliczonych teoretycznie.

3. Uzyskane, na podstawie pomiarów odkształceń jednostkowych, wartości naprężeń normalnych były w większości rozpatrywanych przekrojach belek głównych oraz elementach pomostu znacznie mniejsze od obliczeniowych od 17,0–46%.

4. Konstrukcje sprężonych belek głównych wzmocnionych taśmami CFRP i strzemionami zewnętrznymi w postaci płaskowników stalowych nie budzą żadnych zastrzeżeń pod względem wytrzymałościowym, ponieważ pomierzone największe ich ugięcia całkowite nie przekraczały wartości ugięć dopuszczalnych (tablica 1).

5. Naprężenia normalne w taśmach CFRP (wyznaczone na podstawie wielkości odkształceń jednostkowych) wskazują jednoznacznie na wykorzystanie ich nośności zaledwie w 5–10%. Natomiast w strzemionach zewnętrznych w zasadzie nie stwierdzono występowania odkształceń, a uzyskane niewielkie ich wartości mogły wynikać z niedokładności odczytów.

6. Różnice w spodziewanych wartościach ugięć belek głównych i odkształceń jednostkowych w stosunku do pomierzonych wynikają najprawdopodobniej z dobrej współpracy nowego żelbetowego pomostu (nadbetonu) z belkami głównymi i warstwami nawierzchni.

7. Oględziny podpór (filarów i przyczółków) mostu oraz wszystkich belek głównych i umieszczonych na nich taśm wzmacniających przęsła oraz pomiary uzupełniające i sprawdzające, a także wykonana dokumentacja fotograficzna podczas badań nie wykazały żadnych nieprawidłowości w pracy i zachowaniu się tych konstrukcji w różnych fazach remontowych.

Powyższe podsumowanie i wnioski końcowe odnoszą się, w zasadzie, do konstrukcji badanych przęseł o zadanych charakterystykach geometrycznych i sztywnościach poszczególnych elementów, i o określonych rozpiętościach teoretycznych. Można jednak stwierdzić, iż wykonane za pomocą taśm CFRP i stalowych strzemion zewnętrznych wzmocnienie

przęseł nie jest najlepszym rozwiązaniem w tego typu konstrukcjach, chociażby ze względu na aspekt ekonomiczny. Aby wykorzystać w większym stopniu kosztowne taśmy CFRP, należałoby zamontować na belkach głównych znane już urządzenia do ich sprężenia [5].

Odnośnie do strzemion zewnętrznych wykonanych z płaskowników stalowych, to przyczyny występowania w nich małych odkształceń należałoby dopatrywać się przede wszystkim w braku pełnego kontaktu z półkami dolnymi belek głównych (stykają się bowiem one jedynie z taśmami wzmacniającymi), a przypisane im zadanie, które miały spełniać, związane było tylko z zabezpieczeniem odrywania się taśm od belek głównych (wraz z otuliną zbrojenia), z czym często można się spotkać w tego typu wzmocnieniach [3], [4], [5].

LITERATURA

1. Siwowski T., Radomski W.: Pierwsze krajowe zastosowanie taśm kompozytowych do wzmocnienia mostu, Inżynieria i Budownictwo nr 7, 1998, s. 382–388.
2. Furtak K.: Wzmocnienie oczepów wiaduktu drogowego taśmami kompozytowymi z włókien węglowych, Inżynieria i Budownictwo nr 7, 1998, s. 435–437.
3. Siwowski T.: Wzmocnienie mostu żelbetowego za pomocą taśm kompozytowych z włóknami węglowymi (CFRP). *III Ogólnopolska Konferencja Mostowców „Konstrukcje i Wyposażenie Mostów"*, Wisła 1997, 18–20 czerwca 1997, s. 383–392.
4. Cichocki M., Lewandowski R.: Badania zarysowanych belek teowych wzmocnionych taśmami kompozytowymi z włókien węglowych – CFRP. *IX Seminarium „Współczesne Metody Wzmacniania i Przebudowy Mostów"*, Poznań–Kiekrz, 8–9 czerwca 1999, s. 34–43.
5. Łagoda G., Łagoda M.: Wzmacnianie konstrukcji mostowych sprężonymi taśmami kompozytowymi. *XI Seminarium „Współczesne Metody Wzmacniania i Przebudowy Mostów"*, Poznań–Kiekrz, 26–27 czerwca 2001, s. 73–80.
6. Schoenradt Z.: *Projekt budowlany i wykonawczy na odnowę mostu przez rzekę Nysa Kłodzka w ciągu drogi krajowej nr 382 Stanowice – Paczków w miejscowości Paczków w km 72.536*. Biuro Inżynieryjno-Techniczne KARO, Poznań 1998.
7. *Ekspertyza mostu przez rzekę Nysa Kłodzka w miejscowości Paczków*. Biuro Inżynieryjno-Techniczne KARO, Poznań 1998.
8. ańko Z., Mordak A.: *Opracowanie próbnego obciążenia statycznego mostu drogowego o konstrukcji sprężonej nad rzeką Nysa Kłodzka położonego w ciągu drogi wojewódzkiej nr 328 Stanowice – Paczków w km 72+536 w Paczkowie po wykonanym remoncie*, Wrocław, czerwiec 2002 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski

Abstract

The paper presents the results of experimental research conducted on the posttensioned prestressed concrete road bridge under statical loads made on different phases of executing of its repair. On the base of obtained results from research the behavior of tested span structures was evaluated at the different phases of repair, what it was permitted an effectiveness of maintenance and elaborate guidelines for using of this type of reinforced manner in the future in engineering practice.