



Małgorzata Mazanek, Tomasz Wierzbicki

## Metodyka prowadzenia badań obiektów mostowych w ciągu linii CMK dla dużych prędkości pociągów

**Próbné obciążenie jest ostatnim badaniem odbiorczym przed oddaniem obiektu do ruchu i zwyczajowo stanowi pewną cezurę zamykającą okres budowy. Wykonywanie próbných obciążení na obiektach kolejowych nie wynika wprost z przepisów czy instrukcji kolejowych, ale jest konsekwencją zapisów instrukcji nr Id-2 (D2) Warunki Techniczne dla kolejowych obiektów inżynierskich, które odsyłają do norm dotyczących wymagań i badań właściwych rodzaju konstrukcji.**

Normy PN-89/S-10050 *Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Wymagania i badania* oraz PN-S-10040:1999 *Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania* zgodnie włączają badania obiektu pod próbnym obciążeniem do programu badań wymaganych podczas odbioru konstrukcji mostowej. Jednocześnie badanie jest jednym z ważniejszych w procedurze odbiorowej i jako takie powinno podlegać ścisłej procedurze i nadzorowi ze strony państwowych organów certyfikujących. Artykuł przedstawia najważniejsze wymagania stawiane przez normę PN-EN ISO/IEC 17025 *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*, praktykę wdrożoną w tym zakresie na sieci dróg krajowych administrowanych przez Generalną Dyrekcję Dróg Krajowych i Autostrad, standardy techniczne przyjęte przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

dla dróg kolejowych przeznaczonych dla kolei dużych prędkości oraz informacje na temat badań prowadzonych w ostatnim czasie na Centralnej Magistrali Kolejowej.

### **Cel i zalety wykonywania próbných obciążení**

Badania pod próbnym obciążeniem obiektów mostowych, mimo ich użytkowego znaczenia w procesie budowlanym obiektów mostowych, co może prowadzić do ich rutynowanego i pobieżnego wykonywania, są zadaniem o ściśle naukowym charakterze. Wymagają zapewnienia wysokiej jakości metrologicznej wykonywanych pomiarów, przy jednoczesnej niewrażliwości na warunki w jakich są wykonywane. Badania pod próbnym obciążeniem są standardową procedurą przy odbiorze dużych obiektów mostowych, lecz jednocześnie pozwalają na zebranie wielu danych w przypadku nietypowych rozwiązań konstrukcyjnych lub materiałowych. Ocena istniejących obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne, np. wydłużenie okresu bezpiecznej eksploatacji konstrukcji lub uniknięcia kosztownego wzmocnienia lub wymiany konstrukcji na nową. Analiza wyników badań pozwala precyzyjniej opracować zakres remontu, w porównaniu z tradycyjną analityczną oceną konstrukcji.

Badania konstrukcji mostowych można podzielić na dwa podstawowe obszary – stosowane w przypadku badań odbiorczych

przed przekazaniem konstrukcji w użytkowanie – lub badań obiektów istniejących.

Badania odbiorcze mają na celu sprawdzenie przyjętego modelu obliczeniowego konstrukcji i potwierdzenie wymaganych prawem zapasów bezpieczeństwa. Wyniki badań w świetle prawa są dowodem potwierdzającym, że projekt i wykonanie obiektu mostowego zostały przeprowadzone w sposób zapewniający wymaganą nośność obiektu.

Drugi obszar badań dotyczy diagnostyki obiektów, które użytkowane są już od dłuższego czasu, natomiast powstają wątpliwości co do ich rzeczywistej nośności lub prawidłowego zachowania.

Badania stosowane dla obu wspomnianych zakresów można podzielić ze względu na sposób realizacji na badania pod obciążeniem:

- statycznym,
- zmiennym, tzw. badania dynamiczne lub pod obciążeniem użytkowym.

Styczne próbnym obciążenie umożliwia rozpoznanie zachowania się konstrukcji bez wpływu zmienności obciążenia. Pozwala określić charakter pracy konstrukcji oraz jej sztywność poprzeczną i podłużną, a także stopień wyęwienia dla poszczególnych elementów konstrukcji.

Próbne obciążenie dynamiczne pozwala na odnalezienie rzeczywistej charakterystyki dynamicznej, trudnej do określenia na podstawie obliczeń teoretycznych.

Podczas badań odbiorczych należy zawsze stosować badania pod obciążeniem statycznym i dynamicznym.

Problematykę wykonywania próbnych obciążeń szczegółowo omówiono w pracy [9].

## Norma PN-EN ISO/IEC 17025

### w odniesieniu do laboratoriów wykonujących badania

Ideą standardu PN-EN ISO/IEC 17025 *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących* jest stworzenie wytycznych dla laboratoriów, dotyczących zarówno zarządzania jakością, jak i wymagań technicznych, co do ich prawidłowego funkcjonowania. W zamyśle pomysłodawców norma ta ma za zadanie zapewnić powtarzalność i możliwość porównywania wyników badań prowadzonych przez różne laboratoria, ale według tych samych ściśle określonych i kontrolowanych zasad.

Jednostka ubiegająca się o akredytację na określone przez siebie badania musi zapewnić, że wymagania znajdujące się w standardzie PN-EN ISO/IEC 17025:2005 zostały spełnione. Akredytacja jest również zobowiązaniem do realizacji badań w sposób bezstronny, rzetelny i niezależny. Laboratorium powinno zgodnie z wymaganiami wykonywać wszelkie badania i pomiary (w zakresie uzyskanej certyfikacji), według udokumentowanych procedur za pomocą przygotowanej do sprawnego działania aparatury badawczej. Spełnienie tych warunków jest na bieżąco kontrolowane przez Centrum Akredytacji poprzez okresowe audyty systemów zarządzania i wykonywania badań.

Norma PN-EN ISO/IEC 17025 składa się z dwóch zasadniczych części. W pierwszej znajdują się wymagania dotyczące systemu zarządzania, organizacji, nadzoru nad dokumentami i zapisami, podwykonawstwa badań i wzorcowań, zakupów usług i materiałów, obsługi klienta, a także przeglądów zarządzania w laboratorium. W drugiej części znajdują się wymagania odnośnie kompetencji technicznych laboratorium w zakresie badań,

tj. personelu, warunków lokalowych i środowiskowych, metod badań i/lub wzorcowań wraz z ich walidacją, szacowaniem niepewności, nadzorowania wyposażenia, zapewnienia spójności pomiarowej, pobierania próbek i postępowanie z obiektami do badań, zapewnienia jakości badań i/lub wzorcowań, przedstawiania wyników badań i/lub wzorcowań.

Bezsprzecznie można liczyć na wiele korzyści płynących z wdrożenia systemu ISO 17025 w działalności badawczej laboratorium, w tym między innymi:

- zwiększenie wiarygodności uzyskiwanych wyników badań,
- podniesienie kwalifikacji zawodowych personelu,
- stosowanie wysokiej klasy aparatury badawczej,
- kompetentny personel kierowniczy i techniczny,
- usprawnienie jego działalności,
- zwiększenie prestiżu laboratorium.

Jedną z pierwszych instytucji centralnych, która zdecydowała się na wdrożenie normy [1] do swego systemu zarządzania była Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, która 1 października 2008 r. wprowadziła *Zalecenia dotyczące wykonywania badań pod próbnym obciążeniem drogowych obiektów mostowych* [9]. Obowiązują one na wszystkich drogach krajowych. Przedmiotem zaleceń jest określenie wymagań, możliwości, warunków i efektów stosowania badań obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem na podstawie doświadczeń krajowych i zagranicznych. Zalecenia uwzględniają zasady przeprowadzania próbnych obciążeń zawarte w normach PN-S-10040:1999 oraz PN-89/S-10050 oraz stanowią ich uzupełnienie w zakresie nie stanowiącym przez wymienione normy. Odnoszą się zarówno do odbioru nowych konstrukcji mostowych przed ich przekazaniem do użytkowania, jak i do oceny nośności istniejących obiektów. Zgodnie z decyzją dyrektora generalnego GDDKiA, zalecenia należy stosować w przygotowaniu i podczas przeprowadzania badań nośnych konstrukcji obiektów mostowych z wykorzystaniem próbnych obciążeń. Jednym z ważniejszych postanowień zaleceń jest precyzyjne określenie wymagań w stosunku do wykonawcy badań, wychodzące ze słusznego założenia, że dobór kwalifikowanego wykonawcy jest kluczowym elementem procesu odbioru konstrukcji mostowej.

Należy podkreślić, że z zapisów normy skorzystała także PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., które w przygotowanych w 2009 r. przez Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa standardach technicznych określiły *Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego)/250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)*, które podobnie jak zalecenia [9] stwierdziły wprost w punkcie 10, rozdziału 1.7, tomu III, że *...Dopuszcza się wykonywanie badań pod próbnym obciążeniem tylko przez jednostki spełniające kryteria:*

- a) *laboratorium wykonujące badania lub organizacja, której częścią jest Laboratorium zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025, powinno być jednostką, która może ponosić odpowiedzialność prawną. Powinno być również jednostką naukową w rozumieniu Ustawy 2390 z dnia 8 października 2004 r. „O zasadach finansowania nauki”, prowadzącą w sposób ciągły badania lub prace rozwojowe w dziedzinie dotyczącej konstrukcji mostowych i posiadającą kategorię jednostki naukowej nr 1 lub 2 (nie niższą niż 2) zatwierdzoną przez Ministra zgodnie z właściwym rozporządzeniem w sprawie kryteriów i trybu przyznawania i rozliczania środków finansowych na naukę;*

- b) ze względu na konieczność zapewnienia wysokiej metrologicznej jakości wykonywanych badań, konieczne jest dysponowanie przez jednostkę wykonującą badania systemem jakości zgodnym z normą PN-EN ISO/IEC 17025 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących”;
- c) system jakości musi być akredytowany przez jednostkę akredytującą, upoważnioną na terenie Polski do akredytacji laboratoriów badawczych.

Standardy techniczne (wszystkie XVI tomów, obejmujących swoją tematyką całość problemów związanych z wprowadzeniem pociągów dużej prędkości, począwszy od nawierzchni kolejowej po tabor) przyjęto do stosowania w PKP PLK S.A. uchwałą nr 263/2010 z 14.06.2010 r., podjętą przez Zarząd PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

W ten sposób obie instytucje, których wpływu na krajowy system transportu nie sposób przecenić, zapewniły sobie wiarygodne w sensie badawczym i formalnym wyniki badań pod próbnym obciążeniem na zarządzanych przez siebie obiektach.

### Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych IBDiM

Badania pod próbnym obciążeniem dynamicznym pięciu obiektów inżynierskich na szlaku Włoszczowa Płn. – Knapówka w ciągu Centralnej Magistrali Kolejowej prowadzone były przez zespół Laboratorium Konstrukcji Mostowych Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Laboratorium IBDiM specjalizuje się w wykonywaniu badań obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem statycznym i dynamicznym, przy czym praktyka badawcza Instytutu datuje się od 1955 r. Od tego czasu przeprowadzono badania setek obiektów inżynierskich w Polsce, z których jednymi z najbardziej prestiżowych były mosty: Siekierkowski, Świętokrzyski i im. gen. Stefana Grot-Rożewskiego w Warszawie, wiadukt w miejscowości Huta Zawadzka nad DK 8 w ciągu CMK, most Solidarności w Płocku czy most drogowy w Wyszowie.

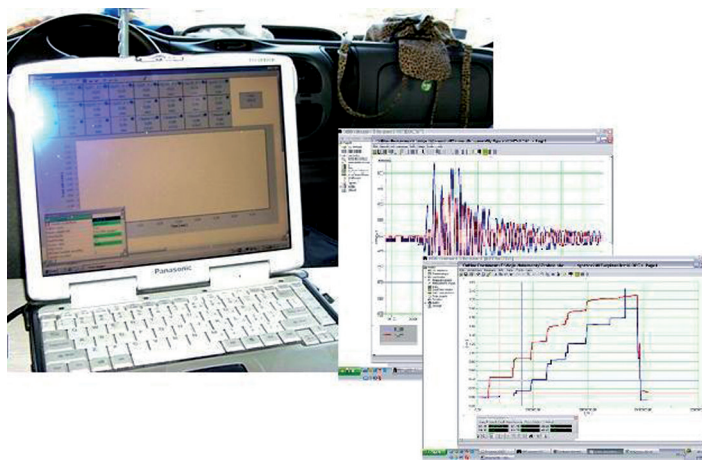
Wymagania dotyczące kompetencji technicznych i systemu zarządzania konieczne dla zapewnienia wiarygodnych technicznie wyników badań są oceniane przez Polskie Centrum Akredytacji. Centrum przyznało Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych IBDiM Certyfikat Akredytacji nr AB 547 w 2004 r. i w trakcie okresowych audytów uwierzytelniających. Certyfikat ten jest ważny po dziś dzień. Wyspecjalizowany, stale doszkalany personel i profesjonalne wyposażenie laboratorium zapewniają wysoką dokładność pomiarów. Śledząc światowe osiągnięcia w dziedzinie metrologii, nieustannie dba się o unowocześnianie posiadanego sprzętu pomiarowego, także w ramach wykorzystywania środków unijnych, przy czym szczególną uwagę kieruje się na rozwój metod badawczych, umożliwiających analizę pracy konstrukcji pod obciążeniem dynamicznym.

Wybór metody badania należy do Laboratorium wykonującego badania pod próbnym obciążeniem. Najważniejszym kryterium wyboru metody, która jest możliwa do zastosowania w danych warunkach terenowych, jest niepewność pomiaru. Nie narzuca się granicznych dopuszczalnych wartości niepewności pomiaru, natomiast zaleca się by jej wartości były uwzględniane podczas analizy pracy konstrukcji mostowej i interpretacji wyników badań. W typowych warunkach badań obiektów mostowych względna niepewność pomiaru powinna nie przekraczać 5%.

Należy podkreślić, że jednym z najważniejszych celów wprowadzenia do badań obiektów mostowych akredytowanych metod



Fot. 1 Samochód badawczy IBDiM na stanowisku pomiarowym



Fot. 2 Komputer z ciągłą rejestracją oraz przykładowe rejestracje przebiegów

badawczych jest uzyskiwanie wiarygodnych wyników badań poszczególnych wielkości. Wiarygodnych to znaczy takich, że wartość rzeczywista mierzonej wielkości znajduje się z określonym prawdopodobieństwem, wewnątrz przedziału: wynik badania (pomiaru)  $\pm$  niepewność, z zachowaniem spójności pomiarowej. Wspomnieć należy także, że źródła składowych niepewności nie ograniczają się do samego wyposażenia pomiarowego, oraz że niedopuszczalne jest wyrażanie wyników badań wielkości bez podawania ich niepewności. Zaleca się podawanie niepewności z prawdopodobieństwem 95%.

### Podstawowe metody badawcze stosowane w Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych IBDiM

#### 1. Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem przetworników przemieszczeń na sygnał elektryczny

Pomiar polega na uzyskaniu przebiegów mierzonych ugięć i przemieszczeń w postaci cyfrowej z zadaną częstotliwością. Zaletą tej metody jest możliwość rejestracji ciągłej z podglądem na monitorze komputera (fot. 2). Pozwala to wykryć niemal natychmiast nieprawidłowości zaistniałe podczas obciążania obiektu.

Zakres pomiarów obejmuje badania konstrukcji mostowych pod obciążeniami statycznymi i dynamicznymi.

Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem przetworników na sygnał elektryczny wymaga dostępu do badanego punktu konstrukcji i do punktu odniesienia. W przypadku odległości między tymi punktami przekraczającej zasięg statywu i uchwytu

do przetworników stosuje się układ ciągnio (druć) – sprężyna. Czyli w przypadku pomiaru ugięć, zakres zastosowania jest ograniczony do pomiaru ugięć konstrukcji mostowej w warunkach zapewniających dostęp do terenu pod badaną konstrukcją i instalację tam punktu odniesienia – statywu z przetwornikiem przemieszczeń. Widok stanowiska do pomiaru ugięć i przemieszczeń wraz z samochodem badawczym IBDiM przedstawiono na fot. 3

## 2. Pomiar odkształceń i naprężeń z zastosowaniem elektrycznej tensometrii oporowej

Pomiar ten polega na uzyskaniu przebiegów mierzonych odkształceń i naprężeń w postaci cyfrowej. Podobnie, jak w przypadku metody pomiaru ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem przetworników na sygnał elektryczny, istnieje możliwość rejestracji ciągłej z podglądem na monitorze komputera. Zakres pomiarów obejmuje badania konstrukcji mostowych pod obciążeniami statycznymi i dynamicznymi.

Pomiar odkształceń i naprężeń z zastosowaniem elektrycznej tensometrii oporowej wymaga dostępu do badanego punktu konstrukcji (fot. 4).

## 3. Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem niwelacji geometrycznej

Metoda pomiaru ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem niwelacji geometrycznej jest stosowana do badania osiadania podpór

podczas próbnego obciążenia (fot. 5). Pomiar polega na uzyskaniu wartości mierzonych ugięć i przemieszczeń w postaci cyfrowej. Zakres pomiarów obejmuje badania konstrukcji mostowych pod obciążeniami statycznymi. Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem niwelacji geometrycznej wymaga dostępu do badanego punktu konstrukcji. Konieczne jest zapewnienie z miejsca ustawienia statywu widoczności celowej do punktów pomiarowych i odniesienia. Zakres mierzonych ugięć i przemieszczeń jest praktycznie nieograniczony – związany jest wyłącznie z koniecznością zapewnienia widoczności w polu widzenia niwelatora odpowiedniego fragmentu zastosowanej łąty kodowej. Zawsze przy badaniach konstrukcji nośnych należy wykonywać, jako badania towarzyszące, badania zachowania się podpór (osiadań, obrotów itp.).

## 4. Pomiar przemieszczeń z zastosowaniem automatycznego tachimetru elektronicznego

Metoda pomiaru przemieszczeń z zastosowaniem automatycznego tachimetru elektronicznego (fot. 6) umożliwia automatyczne i szybkie monitorowanie przemieszczeń konstrukcji w trzech kierunkach. Pomiar polega na uzyskaniu wartości mierzonych przemieszczeń w postaci cyfrowej z zachowaniem trybu pomiaru ATR – Automatic Target Recognition. Pomiar przemieszczeń z zastosowaniem automatycznego tachimetru elektronicznego wymaga dostępu do: badanego punktu konstrukcji, miejsca ustawienia statywu i do miejsca lokalizacji punktu odniesienia. Konieczne jest zapewnienie z miejsca ustawienia statywu widoczności celowej do punktów pomiarowych i odniesienia. Zakres pomiarów obejmuje badania konstrukcji mostowych pod obciążeniami statycznymi. Zakres mierzonych ugięć i przemieszczeń jest praktycznie nieograniczony – związany jest wyłącznie z koniecznością zapewnienia widoczności w polu widzenia tachimetru odpowiednich przyrządów.

## 5. Nowoczesne metody badań

Najnowszym rozwiązaniem w zakresie monitorowania przemieszczeń i drgań konstrukcji budowlanych jest zastosowanie urządzeń wykorzystujących do pomiaru mikrofałę – radarów interferen-



Fot. 3. Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem przetworników na sygnał elektryczny



Fot. 4. Pomiar odkształceń i naprężeń z zastosowaniem elektrycznej tensometrii oporowej



Fot. 5. Pomiar ugięć i przemieszczeń z zastosowaniem niwelacji geometrycznej

cyjnych. Do głównych zalet tej metody zalicza się możliwość wykonywania pomiarów bez potrzeby bezpośredniego dostępu do badanego obiektu. Cały pomiar jest wykonywany zdalnie z odległości nawet do 1 km. Mimo tak dużej odległości, dokładność pomiaru przemieszczeń jest bardzo duża i sięga 0,01 mm, w przypadku pomiaru w kierunku celowej, natomiast w innych przypadkach dokładność ta zależna jest od stosunku odległości do wysokości celu. Technika mikrofalowa polega na pomiarze różnic fazowych wysyłanych i odbieranych fal elektromagnetycznych o częstotliwościach rzędu kilkunastu GHz i pozwala na wykonywanie pomiaru zarówno ruchów powolnych (spotykane w monitorowaniu statycznym), jak i krótkotrwałych ruchów szybkimiennych (monitorowanie dynamiczne). Inną zaletą jest szybkość przygotowania i wykonania samego pomiaru. Radar zapewnia równoczesny pomiar przemieszczeń całej sceny oświetlonej wiązką promieniowania. Możliwe jest tworzenie wykresów wielkości przemieszczeń względem czasu, prędkości przemieszczeń, jak również obrazowanie kształtu badanej konstrukcji poddanej drganiom.

Radar interferencyjny jest stosunkowo nowym narzędziem wykorzystywanym w badaniach konstrukcji mostowych. Laboratorium IBDiM wykorzystuje radar do określania cech dynamicznych takich, jak: częstotliwość drgań własnych i dekrement tłumienia. Przykładowe przebieg zarejestrowany z zastosowaniem radaru przedstawiono w dalszej części artykułu, omawiającej badania pod próbnym obciążeniem obiektów w ciągu Centralnej Magistrali Kolejowej.

## Dobór metody badawczej

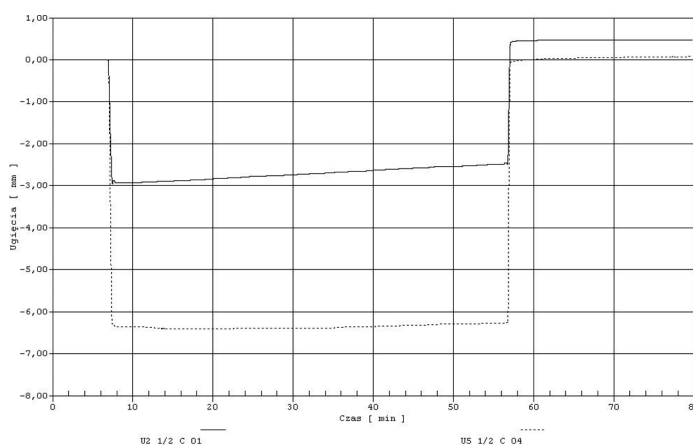
Przedstawiając nowoczesne metody badań autorzy pragną zwrócić szczególną uwagę na problem właściwego doboru metod pomiarowych.

W przypadku badań konstrukcji pod obciążeniem statycznym niezwykle istotne jest wybieranie metod pomiarowych umożliwiających prowadzenie na bieżąco, w trakcie prowadzenia badań (podczas przyrostu, w czasie trwania i po zakończeniu obciążenia), analizy zachowania się konstrukcji. Stosowanie przetworników indukcyjnych z rejestracją komputerową umożliwia prowadzenie takiej kontroli. Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy przebieg zarejestrowany podczas próbnego obciążenia statycznego wiaduktu kolejowego, o konstrukcji jednoprzęsłowej z dwoma stalowymi dźwigarami łukowymi. W pracy [8] przedstawiono przykład próbnego obciążenia, gdzie zastosowanie metody pomiarowej umożliwiającej prowadzenie na bieżąco analizy zachowania się konstrukcji (z krótkim czasem między odczytami – częstotliwość próbkowania: 5 Hz) zapobiegło awarii obiektu mostowego. Przedstawiono hipotetyczną analizę zastosowania metody pomiarowej z długim czasem między odczytami (raz na 15 min), czyli taki, jaki jest najczęściej stosowany przy wykorzystaniu czujników zegarowych. Stwierdzono, że w takim przypadku prawidłowe prowadzenie na bieżąco interpretacji wyników badań byłoby praktycznie niemożliwe. W rezultacie mogłoby dojść do awarii podczas wykonywania próbnego obciążenia lub niewłaściwej oceny konstrukcji i późniejszej awarii w czasie eksploatacji.

W przypadku badań pod obciążeniem dynamicznym niezwykle istotna jest możliwość oceny drgań konstrukcji na podstawie pomiaru przemieszczeń. Pomiar z zastosowaniem przetworników mechanicznych jest bardzo utrudniony lub niemożliwy podczas badań elementów konstrukcji w miejscach trudno dostępnych,



Fot. 6. Metoda pomiaru przemieszczeń z zastosowaniem automatycznego tachimetru elektronicznego



Rys. 1. Przykładowy przebieg przemieszczeń podczas próby statycznej z zastosowaniem pomiaru przetwornikami indukcyjnymi i częstotliwością próbkowania 5 Hz

konstrukcji mostowych o dużej rozpiętości przęseł lub o dużych wysokościach podpór czy konstrukcjach, dla których jest niemożliwe zastosowanie czujników mechanicznych (ruchliwa droga, linia kolejowa lub rzeka pod konstrukcją). W takich przypadkach doskonale sprawdzają się metody poprzednio przedstawione, które nie wymagają bezpośredniego dostępu do badanego elementu.

## Wykorzystanie potencjału laboratorium przy wykonywaniu badań pod próbnym obciążeniem obiektów Centralnej Magistrali Kolejowej

Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych IBDiM w 2010 r. prowadziło badania pod próbnym obciążeniem dynamicznym pięciu obiektów inżynierskich na szlaku Włoszczowa Ptn. – Knapówka [7.], a w 2011 r. jest w trakcie prowadzenia badań siedmiu obiektów na szlaku Olszawowice – Włoszczowa Ptn. Celem badań jest dopuszczenie obiektów do eksploatacji przez pociągi o prędkości do 200 km/h zestawione z taboru konwencjonalnego i do 250 km/h z wychylnym pudłem.

Warunki techniczne dla modernizacji lub budowy obiektów inżynierskich na liniach kolejowych dla pociągów o prędkości do 200/250 km/h w Polsce określono w standardach technicznych [4] oraz normie [5].

Zbadanie przydatności obiektów mostowych na liniach dużej prędkości wymaga sprawdzenia wpływu efektów dynamicznych

na stany graniczne nośności określających bezpieczeństwo konstrukcji oraz stany użyteczności związane z bezpieczeństwem jazdy i komfortem podróży. W ramach badań, ze względu na możliwości realizacji, wykonano jazdy taborem próbnym (dwie lokomotywy i dwa wagony pasażerskie w 2010 r. oraz dwie lokomotywy i cztery wagony pasażerskie w 2011 r.) z różnymi prędkościami. Dla każdego z torów CMK zaplanowano przejazdy w obu kierunkach z prędkościami 10, 160, 180, 200 i 208 km/h. Wielkość maksymalnej prędkości wynikała z braku zgody Urzędu Dozoru Kolejowego na jazdy z prędkościami większymi niż 200 km/h. Rzeczywiste prędkości przejazdów były zgodne z programem w granicach  $\pm 2,5$  km/h. W 2010 r. wykonano jazdy z prędkościami dochodzącymi do 210 km/h. Identyczne jazdy przewidziane są do wykonania w 2011 r. na kolejnych obiektach. W czerwcu 2011 r. wykonano jazdy w torze nr 2 z prędkościami do 100 km/h. W czasie badań prowadzono pomiary przemieszczeń pionowych i przyspieszeń przęseł oraz prędkości przejeżdżającego taboru.

W trakcie prowadzonych badań obiektów w ciągu CMK wykorzystano wiele technik pomiarowych. Do pomiaru przemieszczeń pionowych przęseł zastosowano przetworniki indukcyjne z rejestracją komputerową z wykorzystaniem systemu Spider8 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik. Przetworniki były zamocowane na ziemi, a przemieszczenia przęseł były przenoszone przez układ sprężyna–drut. Pomiary przyspieszeń prowadzono w kierunku pionowym z zastosowaniem indukcyjnych przetworników przyspieszeń z masą drgającą z rejestracją komputerową, również za pomocą systemu Spider8. Pomiary przemieszczeń i przyspieszeń prowadzono w przekroju w połowie rozpiętości przęseł badanych obiektów. Do pomiarów zastosowano częstotliwość próbkowania 200 Hz i dolnoprzepustowy filtr Bessela 20 Hz.

Dla jednego z wiaduktów pomiary przemieszczeń pionowych dodatkowo były prowadzone z zastosowaniem radaru interferencyjnego IBIS-S z częstotliwością próbkowania 190 Hz. Radar został ustawiony w kierunku pionowym (fot. 7).

Dla badanych obiektów wykonano szczegółową analizę zarejestrowanych przebiegów ugięć i przyspieszeń oraz określono wartości ekstremalnych amplitud. Wartości te zestawiono z wartościami ugięć i przyspieszeń przęseł obliczonymi teoretycznie. Częstotliwości drgań określono na podstawie analizy drgań wymuszonych podczas przejazdu pociągu i drgań swobodnych przęseł po zjeździe pociągu oraz obliczeń gęstości widmowej. Widma zostały sporządzone za pomocą oprogramowania Catman firmy Hottinger Baldwin Messtechnik z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera (FFT).

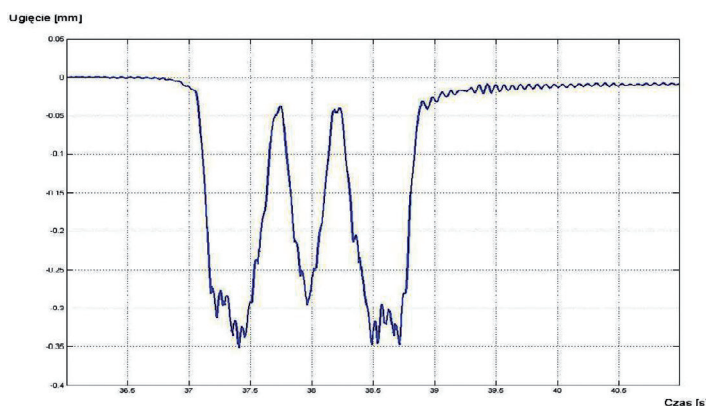
Przykładowe przebiegi ugięć, zarejestrowane podczas przejazdu z prędkością 208 km/h za pomocą radaru dla obiektu o konstrukcji zespolonej i rozpiętości przęseł 14 m, przedstawiono na rysunku 2. Przykład zarejestrowanych przyspieszeń podczas przejazdu pociągu z prędkością 100 km/h dla dwuprzęsłowej konstrukcji ramownicowej o rozpiętości  $2 \times 5,40$  m przedstawiono na rysunku 3. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy wykres gęstości widmowej dla obiektu trzyprzęsłowego o konstrukcji wolnopodpartej, wykonanej z 11 obetonowanych dźwigarów stalowych i rozpiętości  $14,30$  m +  $14,25$  m +  $14,30$  m.

Analizę wyników badań przeprowadzono z uwzględnieniem następujących kryteriów:

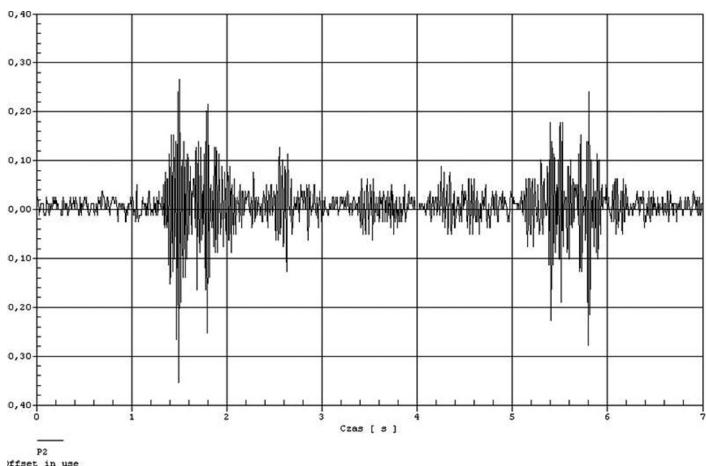
- analizy porównawczej zmierzonych częstotliwości drgań własnych i przyspieszeń z wartościami obliczonymi teoretycznie,



Fot. 7. Ustawienie radaru interferencyjnego pod badanym wiaduktem w ciągu CMK, na pierwszym planie widoczne przetworniki indukcyjne



Rys. 2. Przykładowy przebieg przemieszczeń podczas przejazdu pociągu z prędkością 208 km/h



Rys. 3. Przykładowy przebieg przyspieszeń podczas przejazdu pociągu z prędkością 100 km/h

- zgodności zmierzonych częstotliwości drgań własnych i przyspieszeń z zakresem zalecanym przez normy [5, 6],
- analizy zmierzonych wartości współczynników przeciążeń dynamicznych.

Na podstawie analizy wyników badań w przypadku badanych wiaduktów stwierdzono, że:

- zmierzone ugięcia były znacznie mniejsze od ugięć obliczonych;
- zmierzone przyspieszenia przypadku wszystkich badanych obiektów były mniejsze od wartości granicznych ze względu na zachowanie dostatecznego poziomu komfortu podróży pasażerów oraz ze względu na bezpieczeństwo ruchu [6];
- nie zaobserwowano znacznego zwiększenia mierzonych wartości maksymalnych przyspieszeń i ugięć przy zwiększeniu prędkości przejazdu pociągu (rys. 5 i 6);
- przykładowe wykresy zależności maksymalnych zarejestrowanych wartości ugięć i przyspieszeń w funkcji prędkości przejazdu pociągu obciążającego dla obiektu o konstrukcji zespolonej i rozpiętości przęsła 14,00 m przedstawiono na rysunkach 5 i 6;
- w przypadku wszystkich obiektów stwierdzono znaczne tłumienie drgań po zjeździe obciążenia.

Ze względów formalnych niemożliwe było przedstawienie szczegółowych wyników badań pod próbnym obciążeniem dla wszystkich obiektów. Możliwe jest jednak ogólne stwierdzenie, że wyniki, w dotychczasowym zakresie badań pozwalają na pozytywną ocenę pracy modernizowanych konstrukcji mostowych.

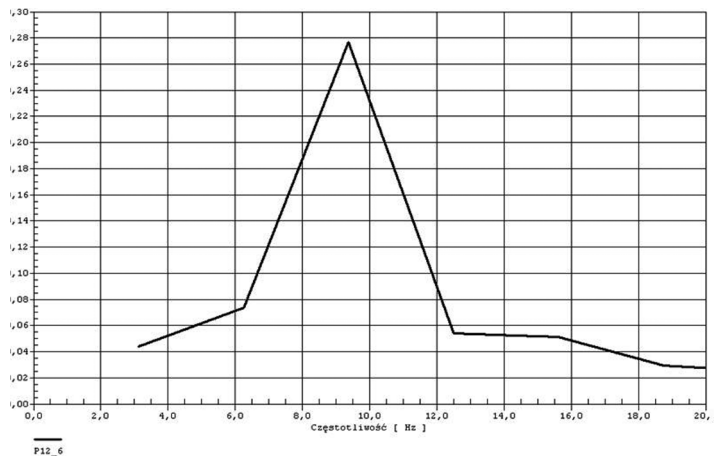
## Uwagi dodatkowe

Opisane badania obiektów mostowych w ciągu CMK były wykonywane na zlecenie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. – Centrum Realizacji Inwestycji Oddział w Lublinie przez Laboratorium Badań Konstrukcji Mostowych Zakładu Mostów we współpracy z Ośrodkiem Badań Mostów w Kielcach Instytutu Badawczego Dróg i Mostów. Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa prowadziło pomiary prędkości przejazdu pociągu badawczego oraz przyspieszeń oddziałujących na pudło jednego z wagonów.

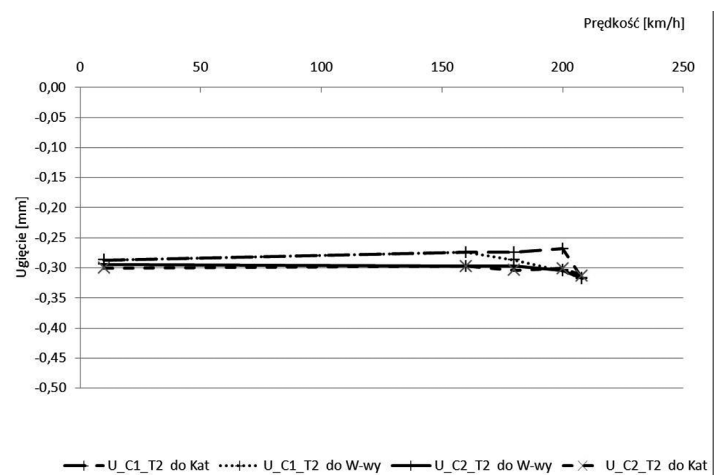


## Literatura

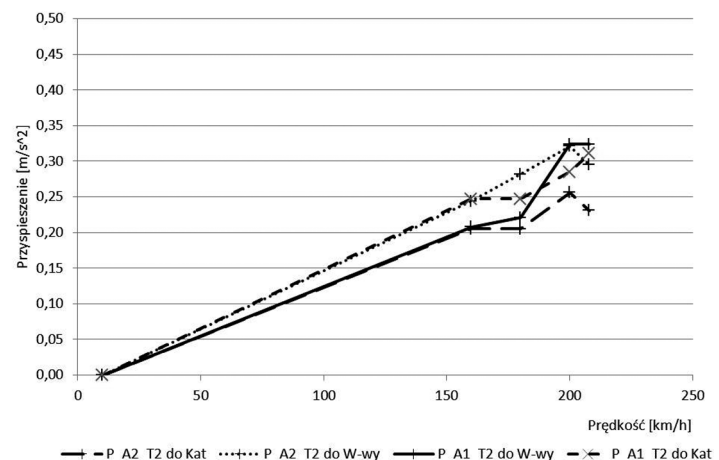
- [1] PN-EN ISO/IEC 17025 *Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.*
- [2] PN-89/S-10050 *Obiekty mostowe – Konstrukcje stalowe – Wymagania i badania.*
- [3] PN-S-10040 *Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Wymagania i badania.*
- [4] Standardy techniczne – *Szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200$  km/h (dla taboru konwencjonalnego)/250 km/h (dla taboru z wychylnym pudłem)*, tom III *Kolejowe obiekty inżynierskie*. Wersja 1.1, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa 2009 r.
- [5] Norma PN-EN 1991-2:2007 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów.*
- [6] Norma PN-EN1990:2004 *Eurokod 0: Podstawy projektowania konstrukcji.*



Rys. 4. Analiza spektralna przebiegu przyspieszeń pionowych zarejestrowanego podczas przejazdu pociągu z prędkością 100 km/h



Rys. 5. Wykresy zarejestrowanych maksymalnych wartości przyspieszeń w funkcji prędkości przejazdu pociągu obciążającego



Rys. 6. Wykresy zarejestrowanych maksymalnych wartości ugięć w funkcji prędkości przejazdu pociągu obciążającego

- [7] Cieśla J., Olaszek P., Biskup M., Mazanek M.: *Badania wybranych obiektów inżynierskich na linii CMK pod obciążeniem dynamicznym.* 57 Konferencja Naukowa KILIW PAN i KN PZITB. Rzeszów – Krynica 2011.

Dokończenie na s. 68 ➤