



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)
**Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów
inżynierskich, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu**



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

**PROCEDURA BADAŃ OBIEKTÓW MOSTOWYCH
O KONSTRUKCJI SPRĘŻONEJ KABLOBETONOWEJ ORAZ PODWIESZONEJ
Z UŻYCIEM METODY PRÓBNEGO OBCIĄŻENIA DIAGNOSTYCZNEGO
WSPARTEJ PRZEGLĄDEM WIZUALNYM I INSPEKCJĄ GEODEZYJNĄ**

Opracował zespół:

IBDiM

dr hab. inż. Piotr Olszek, prof. IBDiM

dr hab. inż. Ireneusz Wyczalek

mgr inż. Mirosław Biskup

mgr inż. Artur Sakowski

IPPT PAN

dr inż. Andrzej Świercz

Wydanie 2

11.06.2026, Warszawa

Spis treści

1. Przedmiot i zakres stosowania	4
2. Definicje	4
3. Badania odbiorcze - uzupełnienie	7
4. Zakres badań diagnostycznych	7
4.1 Metoda i cel badań diagnostycznych	7
4.2 Zakres i wielkość stosowanego obciążenia	7
4.2.1 Uzupełniające obciążenia próbne	7
4.2.2 Sprawdzające obciążenia próbne	9
5. Zakres badań i pomiarów	10
6. Metody badań i pomiarów podczas badań diagnostycznych	11
6.1 Informacje ogólne	11
6.2 Pomiary przemieszczeń	11
6.3 Pomiary przemieszczeń metodami dotykowymi	12
6.4 Pomiary przemieszczeń metodami geodezyjnymi	12
6.4.1 Zasady ogólne pomiaru	12
6.4.2 Zasady ogólne obliczeń	13
6.4.3 Pomiary geodezyjne – niwelacja geometryczna przy całkowitym wyłączeniu obiektu z ruchu innych pojazdów	13
6.4.4 Pomiary geodezyjne – tachimetria przy całkowitym wyłączeniu obiektu z ruchu innych pojazdów	14
6.4.5 Pomiary geodezyjne przemieszczeń pionowych i poziomych przy częściowym wyłączeniu obiektu z ruchu pojazdów	14
6.5 Pomiary odkształceń	14
6.6 Pomiary przyspieszeń drgań	14
6.7 Pomiary sił w cięgnach podwieszających i zewnętrznych kablach sprężających	14
6.7.1 Pomiary sił w cięgnach podwieszających	15
6.7.2 Pomiary sił w zewnętrznych kablach sprężających	15
7. Przygotowanie badań diagnostycznych	15
7.1 Zasady ogólne	15
7.2 Uzupełniające obciążenia próbne	15
7.3 Sprawdzające obciążenia próbne	16
8. Przegląd wizualny konstrukcji	16
8.1 Zasady ogólne	16
8.2 Konstrukcje sprężone kablobetonowe	17
8.3 Konstrukcje podwieszane	17

9. Przebieg badań	17
9.1 Uzupełniające obciążenia próbne	17
9.2 Sprawdzające obciążenia próbne	18
10. Analiza wyników badań	18
10.1 Zasady ogólne	18
10.2 Uzupełniające obciążenia próbne.....	18
10.3 Sprawdzające obciążenia próbne.....	19
11. Wymagania formalne.....	19
Bibliografia	20

1. Przedmiot i zakres stosowania

(1) Niniejsze procedury stanowią uzupełnienie WR-M-23 [31]. Przedmioty uzupełnienia stanowią zasady wykonywania badań diagnostycznych obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną oraz dodatkowe wymagania wykonywania badań odbiorczych obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej.

(2) Badania diagnostyczne wykonuje się w celu oceny nośności, stateczności i bezpieczeństwa dalszego użytkowania obiektów użytkowanych lub czasowo wyłączonych z użytkowania [29]. Badania mogą być wykonywane w ramach ekspertyzy obiektu mostowego na podstawie decyzji Właściciela lub Zarządcy obiektu mostowego. Decyzja powinna wynikać z wniosków z wykonanej wcześniej inspekcji szczegółowej.

(3) Niniejsze uzupełnienie w części dotyczącej zakresu, przygotowania i wyników badań należy traktować jako rekomendacje związane z podanym w WR-M-23 rozdział 5 stwierdzeniem, że badania diagnostyczne mają charakter badań niestandardowych, zależnych od stanu technicznego obiektu mostowego i zakresu dostępnej dokumentacji.

(4) Nie mają zastosowania zapisy WR-M-23 odnoszące się do zakresu badań odbiorczych: rozdział 1 akapity (4) - (11); obciążenia statycznego podrozdział 4.1 akapity (1) - (5); obciążenia dynamicznego podrozdział 4.2 akapity (1) - (3).

(5) Próbné obciążenie odbiorcze obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej powinno dotyczyć wszystkich przęseł bez względu na ich rozpiętość.

2. Definicje

Akredytowane badania pod obciążeniem dynamicznym – pomiar przemieszczeń lub odkształceń lub przyspieszeń w charakterystycznych punktach konstrukcji mostowej podczas obciążenia dynamicznego obiektu mostowego w celu określenia wartości ekstremalnych (minimalnej i maksymalnej) oraz przebiegu mierzonych wielkości w funkcji czasu, w powiązaniu z obciążeniem dynamicznym konstrukcji mostowej, wykonywane przez laboratorium posiadające akredytację w wymaganym zakresie.

Akredytowane badania pod obciążeniem statycznym – pomiar przemieszczeń lub odkształceń w charakterystycznych punktach konstrukcji mostowej podczas obciążenia statycznego obiektu mostowego, w celu wyznaczenia wartości całkowitych, trwałych i sprężystych przemieszczeń lub odkształceń w powiązaniu z obciążeniem statycznym konstrukcji mostowej, wykonywane przez laboratorium posiadające akredytację w wymaganym zakresie.

Badania pod próbnym obciążeniem konstrukcji mostowej – w zależności od celu badań są wykonywane jako **badania odbiorcze** lub **diagnostyczne**. **Badania odbiorcze** wykonuje się po zakończeniu budowy obiektu a także po zakończeniu przebudowy obiektu obejmującej konstrukcję nośną. **Badania diagnostyczne** wykonuje się w celu oceny nośności, stateczności i bezpieczeństwa dalszego użytkowania obiektów użytkowanych lub czasowo wyłączonych z użytkowania.

Baza odniesienia – zbiór punktów odniesienia, punktów kierunkowych i/lub punktów refrakcyjnych dla pomiarów geodezyjnych w ilości i rozmieszczeniu odpowiadającym danej procedurze pomiarowej;

Celownik – sygnał punktu dla pomiaru tachimetrycznego (cel); w pomiarach powtarzalnych (pomiarach przemieszczeń) należy dążyć do tego, aby jako celowniki stosować pryzmaty dostosowane do pomiarów precyzyjnych;

Długookresowy pomiar geodezyjny przemieszczeń pionowych i poziomych (monitoring geodezyjny przemieszczeń) – pomiar geodezyjny mający na celu określenie wielkości zmian położenia punktów zlokalizowanych na badanej konstrukcji w długim okresie (z reguły okres pomiędzy odczytami jest rzędu miesięcy lub lat). Pomiar wymaga instalacji na konstrukcji sieci reperów i/lub pryzmatów oraz wykonania pomiarów zerowych po zakończeniu budowy i ewentualnie po wykonaniu próbnego obciążenia odbiorczego. Pomiar wymaga również lokalizacji w pobliżu badanej konstrukcji mostowej stabilnej i trwałej bazy odniesienia. Zasady wykonywania monitoringu geodezyjnego są przedmiotem oddzielnej procedury.

Kontrola stałości punktów odniesienia – sprawdzenie w drodze realizacji określonej procedury obliczeniowej, czy nie zachodzi obawa o zmianę położenia punktu lub grupy punktów odniesienia wskutek ich niekontrolowanego przemieszczenia – do dalszych obliczeń należy wykorzystywać jedynie pomiary do punktów odniesienia uznanych za stałe (nieruchome).

Krótkookresowy pomiar geodezyjny przemieszczeń – pomiar geodezyjny mający na celu określenie wielkości zmian położenia punktów zlokalizowanych na badanej konstrukcji wywołanej zmianą obciążenia lub innych czynników zewnętrznych takich jak np. temperatura. Pomiar z reguły jest wykonywany z jednego stanowiska instrumentu w czasie do kilku godzin.

Laboratorium – akredytowane laboratorium badawcze.

Niwelacja – technika geodezyjna służąca do pomiarów wysokościowych.

Niwelacja geometryczna – metoda pomiaru wysokościowego za pomocą zestawu niwelatora i łąt; względem niwelacji geometrycznej dopuszcza się stosowanie samego określenia „niwelacja”.

Tachimetria – metoda pomiaru wysokościowego i/lub sytuacyjnego (poziomego) za pomocą tachimetru, obejmującego określenie długości i kątów przy pochylonej osi celowej.

Obliczenie przemieszczeń na podstawie pomiarów geodezyjnych – uzyskanie wartości składowych przemieszczenia (w przyjętym układzie współrzędnych) punktu lub punktów w oparciu o matematyczne przetworzenie obserwacji geodezyjnych zgodnie z zasadami rachunku wyrównawczego [20].

Operat pomiarowy – dokument opracowany przez geodetę, zawierający zwięzły opis wykonanych badań w ramach monitoringu geodezyjnego, warunki realizacji pomiarów (stan obiektu i panujące warunki pogodowe), zestawienie uzyskanych wyników w postaci tabelarycznej (wykaz zmian położenia punktów kontrolowanych względem pomiaru referencyjnego) i graficznej (wykres zmian położenia punktów w funkcji czasu).

Podmiot Naukowy – jeden z następujących podmiotów: uczelnia akademicka, instytut PAN, instytut międzynarodowy, uczelnia zawodowa, instytut badawczy oraz inny podmiot prowadzący głównie działalność naukową w sposób samodzielny i ciągły, posiadający siedzibę na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej [30] i spełniający wymagania formalne podane w rozdziale 11.

Precyzyjna niwelacja – wysokościowa metoda pomiarowa zapewniająca uzyskanie odchyłki wyznaczenia podwójnej różnicy wysokości na stanowisku niwelatora $\pm 0,10$ mm lub odchyłki z podwójnej różnicy wysokości ciągu $\pm 0,5 \sqrt{L}$ mm, gdzie L – sumaryczna odległość między punktami ciągu w [km].

Precyzyjny pomiar tachimetryczny – metoda pomiarowa zapewniająca pomiar odległości z rekomendowanym błędem średnim nie większym niż $\pm 0,6$ mm (dopuszczalnym $\pm 1,0$ mm) oraz pomiar kątów poziomych i pionowych z rekomendowanym błędem średnim nie większym niż $\pm 0,5''$ (dopuszczalnym $\pm 1,0''$).

Reper – sygnalizowany punkt do pomiarów wysokościowych metodą niwelacji geometrycznej.

Tachimetria – metoda pomiaru sytuacyjnego (poziomego) i/lub wysokościowego za pomocą tachimetru, obejmującego określenie długości i kątów przy pochylonej osi celowej.

Układ odniesienia – układ współrzędnych, w którym zapisywane są wartości przemieszczeń.

Wyrównanie obserwacji – procedura obliczeniowa prowadząca do uzyskania najbardziej prawdopodobnych wyników pomiaru poprzez realizację warunku najmniejszych kwadratów odchyłek poszczególnych wielkości obserwowanych – wynikiem wyrównania są wartości wielkości obliczanych wraz z ich charakterystyką dokładnościową.

3. Badania odbiorcze - uzupełnienie

(1) Dodatkowym celem badań odbiorczych obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej powinno być stworzenie odniesienia do wykonywania badań diagnostycznych w czasie eksploatacji konstrukcji w formie badań jednorazowych lub prowadzenia monitoringu okresowego.

(2) Statyczne próbne obciążenie odbiorcze obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej powinno zawierać również „niesymetryczne połówkowe” schematy obciążenia, które są możliwe do powtórzenia w czasie diagnostyki konstrukcji podczas jej eksploatacji przy tylko częściowym ograniczeniu ruchu na obiekcie.

(3) Podczas próbnego obciążenia odbiorczego konstrukcji podwieszonych w przypadku wszystkich cięgien powinny być przeprowadzane, w stanie nieobciążonym (przed i po zakończeniu próbnego obciążenia), badania siły naciągu metodą wibracyjną w celu weryfikacji wartości sił i częstotliwości drgań własnych wyznaczonych przez projektanta. Pomiary te będą również wartościami odniesienia do prowadzenia monitoringu w czasie eksploatacji obiektu.

(4) Podczas próbnego obciążenia odbiorczego konstrukcji sprężonych kablobetonowych należy przeprowadzić pomiary i analizę przydatności metody wibracyjnej do monitorowania zmiany siły sprężającej w czasie eksploatacji. Rekomendowane jest wykonanie pomiarów „zerowych” (przed i po zakończeniu próbnego obciążenia) i wskazanie przekrojów do monitoringu zalecanego okresowego

4. Zakres badań diagnostycznych

4.1 Metoda i cel badań diagnostycznych

(1) Zgodnie z WR-M-23 rozdział 5 z uwagi na metodę i cel przeprowadzania badań diagnostycznych obiektów mostowych rozróżniamy następujące ich rodzaje [1, 3–5, 9, 11–14, 17, 18]:

- a) uzupełniające obciążenia próbne,
- b) sprawdzające obciążenia próbne.

(2) Uzupełniające obciążenia próbne są stosowane jako uzupełnienie metod analitycznych określania nośności obiektu mostowego.

(3) Sprawdzające obciążenia próbne dostarczają rzeczywistej doświadczalnej oceny bezpiecznego obciążenia obiektu mostowego.

(4) Badania diagnostyczne mają charakter badań niestandardowych, zależnych od stanu technicznego obiektu mostowego i zakresu dostępnej dokumentacji.

(5) Zakres i wielkość stosowanego obciążenia, zakres badań i stosowane metody analizy wyników w próbnym obciążeniu diagnostycznym dobiera każdorazowo Podmiot Naukowy wykonujący badania w zależności od badanego obiektu mostowego uwzględniając niniejsze rekomendacje.

4.2 Zakres i wielkość stosowanego obciążenia

4.2.1 Uzupełniające obciążenia próbne

(1) Uzupełniające obciążenia próbne, ze względu na trudności związane z zamykaniem ruchu pojazdów na eksploatowanym obiekcie, mogą być realizowane przy częściowym ograniczeniu ruchu pojazdów, np. poprzez zamknięcie i przeznaczenie do obciążenia pasa awaryjnego i pasa prawego. W takim przypadku w celu minimalizacji zakłóceń od

przejeżdżających pojazdów wskazane jest wykonywanie badań w czasie małego natężenia ruchu np. w godzinach nocnych.

(2) Uzupełniające obciążenia próbne mogą być wykonywane pod obciążeniem statycznym i dodatkowo obciążeniem dynamicznym.

(3) Badania pod obciążeniem statycznym mają na celu:

- a) weryfikację i walidację przyjętego modelu obliczeniowego konstrukcji,
- b) weryfikację uszkodzeń (wykrytych przed badaniami) na podstawie badań pod obciążeniem,
- c) wykrycie ewentualnych nowych uszkodzeń na podstawie badań pod obciążeniem,
- d) zbadanie współpracy elementów konstrukcyjnych oraz elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych,
- e) ocenę nośności użytkowej,
- f) identyfikację obciążeń środowiskowych (np. temperatura, nasłonecznienie) oddziałujących na konstrukcję,
- g) dla konstrukcji sprężonych zbadanie wartości sił sprężających konstrukcję,
- h) dla konstrukcji podwieszonych zbadanie wartości sił w ciągach podwieszających,
- i) sprawdzenie poprawności pracy łożysk i urządzeń dylatacyjnych.

(4) Badania pod obciążeniem dynamicznym mają na celu:

- a) weryfikację teoretycznej dynamicznej analizy konstrukcji, w tym częstotliwości i formy drgań, parametrów tłumienia i ewentualnie odpowiedzi konstrukcji,
- b) identyfikację obciążeń dynamicznych i środowiskowych (np. wiatr) oddziałujących na konstrukcję,
- c) analizę zmęczenia konstrukcji.

(5) W przypadku wieloprzęsłowych obiektów mostowych badania pod obciążeniem powinny być wykonywane na przęśle (przęsłach) o najgorszym stanie technicznym i odpowiednich podobnych przęsłach o najlepszym stanie technicznym.

(6) Próbne obciążenie statyczne w miarę możliwości powinno wywoływać wartości sił wewnętrznych w elementach konstrukcji w zakresie od 50% do 60% skutków normowego, charakterystycznego obciążenia ruchomego (zgodnie z normą, według której obiekt został zaprojektowany [23–27]). Próbne obciążenie powinno być zbliżone do ekstremalnego obciążenia jakie może wystąpić podczas normalnej eksploatacji. Nie powinno zawierać wariantów niewystępujących w czasie normalnej eksploatacji, takich jak np. ustawienie pojazdów „tyłami do siebie”.

(7) W uzasadnionych przypadkach próbne obciążenie statyczne może wywoływać wyższe wartości sił wewnętrznych od podanych w akapicie (6).

(8) W odniesieniu do mostów i wiaduktów drogowych oraz przejść górnych dla zwierząt jako środki obciążające statycznie stosuje się samochody z ładunkiem lub inne pojazdy o znanej masie i znanych naciskach na oś. Inne środki obciążające (np. pojemniki z piaskiem lub wodą, płyty betonowe itp.) mogą mieć zastosowanie jako obciążenie zamienne tam, gdzie nie można wjechać samochodem.

(9) W odniesieniu do mostów i wiaduktów dla pieszych lub rowerów jako środki obciążające statycznie stosuje się pojemniki z piaskiem lub wodą, płyty betonowe (drogowe), palety z krawężnikami itp. lub obciążniki. Jeśli można wjechać na most lub wiadukt dopuszcza się stosowanie samochodów z ładunkiem lub innych pojazdów o znanej masie i znanych naciskach na oś.

(10) Próbné obciążenie dynamiczne może być przeprowadzone pod obciążeniem znanym obciążeniem (kontrolowanym) lub pod obciążeniem eksploatacyjnym.

(11) W odniesieniu do mostów, wiaduktów drogowych jako kontrolowane obciążenie dynamiczne stosuje się przejeżdżające pojedyncze samochody z ładunkiem. Podstawowym elementem badań jest analiza drgań konstrukcji w tym wyznaczenie częstotliwości drgań swobodnych. Jeśli to jest możliwe to zalecane jest stosowanie dodatkowych przejazdów przez sztuczną nierówność (próg), która służy zwiększeniu amplitudy wymuszenia i nadaje wymuszeniu charakter quasi impulsowy.

(12) W odniesieniu do mostów i wiaduktów dla pieszych jako obciążenie dynamiczne stosuje się (zgodnie z WR-M-23) grupę pieszych składającą się z n -osób wyznaczoną z zależności [6]:

$$n = 0,2P_p$$

gdzie:

P_p – powierzchnia pomostu [m^2].

(13) W przypadku wystąpienia trudności z synchronizacją wymuszeń (opisanych w akapicie (11)) zaleca się wykonanie dodatkowych schematów obciążenia z grupą osób mniejszą niż n .

(14) W odniesieniu do mostów i wiaduktów dla pieszych znajdujących się w pobliżu obiektów, w których gromadzi się duża liczba osób (np. stadionów, sal koncertowych lub innych obiektów z przeznaczeniem na imprezy masowe) liczbę n należy zwiększyć.

4.2.2 Sprawdzające obciążenia próbne

(1) Sprawdzające obciążenia próbne mogą być realizowane tylko przy całkowitym zamknięciu ruchu na obiekcie.

(2) Sprawdzające obciążenia próbne są wykonywane pod obciążeniem statycznym.

(3) Sprawdzające obciążenia próbne są doświadczalnym poszukiwaniem wielkości obciążeń o maksymalnych bezpiecznych wartościach bez dalszej teoretycznej analizy obliczeniowej.

(4) Sprawdzające obciążenia próbne powinny być wykonywane pod obciążeniem realizowanym narastająco, skokowo w etapach aż do z góry ustalonego obciążenia maksymalnego poziomu obciążenia lub do takiego, przy którym wielkości mierzone zaczną przekraczać zakres liniowy lub osiągną normowe wartości graniczne. Wobec tego maksymalne obciążenie może wywoływać wartości sił wewnętrznych większe niż podane w p. 4.2.1 akapit 6, tylko w uzasadnionych przypadkach może wywoływać skutki przekraczające 100% skutków normowego, charakterystycznego obciążenia ruchomego (zgodnie z normą, według której obiekt został zaprojektowany [23–27]).

(5) W odniesieniu do mostów i wiaduktów drogowych oraz przejść górnych dla zwierząt jako środki obciążające statycznie stosuje się samochody z ładunkiem lub inne pojazdy o znanej masie i znanych naciskach na oś. Środki obciążające (np. pojemniki z piaskiem lub wodą, płyty betonowe itp.) mogą być stosowane ze względu na łatwość realizacji narastającego skokowo obciążenia.

(6) W odniesieniu do mostów i wiaduktów dla pieszych lub rowerów jako środki obciążające statycznie stosuje się pojemniki z piaskiem lub wodą, płyty betonowe (drogowe), palety z krawężnikami itp. lub obciążniki. Środki te są zalecane ze względu na łatwość realizacji narastającego skokowo obciążenia. Jeśli można wjechać na most lub wiadukt dopuszcza się stosowanie samochodów z ładunkiem lub innych pojazdów o znanej masie i znanych naciskach na oś.

(7) W przypadku sprawdzającego obciążenia próbnego wystąpienie pierwszych objawów nieliniowej pracy konstrukcji powinno być określane przy zastosowaniu analizy krzywej obciążenie - ugięcie lub na podstawie pomiaru odkształceń.

(8) W przypadku sprawdzającego obciążenia próbnego konstrukcji sprężonej lub podwieszanej z elementami konstrukcyjnymi z betonu zbrojonego wystąpienie pierwszych objawów nieliniowej pracy konstrukcji powinno być również określane przy zastosowaniu Emisji Akustycznej.

5. Zakres badań i pomiarów

(1) Zakres badań pod obciążeniem statycznym powinien obejmować badania wymienione w WR-M-23 to jest:

- a) sprawdzenie wartości masy zaprojektowanego i stosowanego obciążenia oraz wyznaczenie jego lokalizacji przy poszczególnych wariantach obciążenia statycznego obiektów mostowych,
- b) wykonanie pomiarów i wyznaczenie wartości całkowitych, trwałych i sprężystych przemieszczeń lub odkształceń,
- c) wykonanie pomiarów przemieszczeń pionowych w co najmniej dwóch punktach w przekroju poprzecznym obciążanych przęseł; w przypadku obiektów szerokich (drogowych o więcej niż dwóch pasach ruchu) lub wielodźwigarowych /wielobelkowych (o więcej niż czterech dźwigarach/belkach) liczba punktów powinna być większa i powinna zapewniać możliwość sprawdzenia rozkładu poprzecznego,
- d) wykonanie pomiarów przemieszczeń pionowych w przypadku przęseł ciągłych przynajmniej w jednym przęśle sąsiednim w stosunku do przęsła obciążanego,
- e) wykonanie pomiarów osiadania podpór obciążanych przęseł,
- f) wykonanie pomiarów przemieszczenia pionowego (ściśnięcia) łożysk elastomerowych (odkształcalnych), które należy mierzyć (co najmniej w przypadku najbardziej obciążonego dźwigara) i uwzględnić w obliczeniu ugięcia przęsła podpartego na tych łożyskach.

(2) Zakres badań pod obciążeniem dynamicznym powinien obejmować badania wymienione w WR-M-23 to jest:

- a) przemieszczenia pionowe badanych przęseł,
- b) przyspieszenia drgań badanych przęseł.

(3) Laboratorium wykonujące badania (zgodnie z WR-M-23) w trakcie prowadzonych badań monitoruje i mierzy parametry środowiska, w szczególności temperaturę powietrza oraz gdy ma to zastosowanie, prędkość i kierunek wiatru.

(4) Zakres badań obiektów konstrukcji sprężonych kablobetonowych pod obciążeniem statycznym oprócz badań wymienionych w akapitach (1) i (3) obejmuje badania nieobjęte akredytacją Laboratorium:

- a) w przypadku konstrukcji z kablami zewnętrznymi pomiary sił w kablach metodą wibracyjną w różnych fazach obciążenia;
- b) badania zmiany rozwarcia rys, jeśli takie występują w konstrukcji nośnej badanego przęsła;
- c) badania z zastosowaniem Emisji Akustycznej co opisuje oddzielna procedura, badania te są obligatoryjne w przypadku sprawdzającego obciążenia próbnego.

(5) Zakres badań obiektów konstrukcji podwieszonych pod obciążeniem statycznym oprócz badań wymienionych w akapitach (1) i (3) obejmuje nieobjęte akredytacją Laboratorium:

- a) pomiary sił w kablach podwieszających metodą wibracyjną w różnych fazach obciążenia;
- b) badania zmiany rozwarcia rys, jeśli takie występują w konstrukcji nośnej badanego przęsła;
- c) badania z zastosowaniem Emisji Akustycznej co opisuje oddzielna procedura, badania te są obligatoryjne w przypadku dźwigarów betonowych i stosowania sprawdzającego obciążenia próbnego;
- d) w przypadku konstrukcji podwieszanej i stalowych łuków lub stalowych pylonów badania zmian temperatury konstrukcji łuku lub pylonu.

6. Metody badań i pomiarów podczas badań diagnostycznych

6.1 Informacje ogólne

(1) Badania i pomiary prowadzone podczas próbnych obciążeń diagnostycznych powinny być realizowane przez Laboratorium metodami zgodnymi z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025 „Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących” [28], specyficznych wymagań akredytacyjnych podanych w dokumencie PCA – DAB-15 „Akredytacja laboratoriów badawczych wykonujących badania obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem” [21] oraz szczegółowymi wymaganiami podanymi w niniejszym dokumencie.

6.2 Pomiary przemieszczeń

(1) Podczas badań przemieszczeń pionowych obiektów mostowych należy stosować metody pomiaru odpowiednie dla danych warunków terenowych.

(2) W przypadku możliwości dostępu do terenu pod badanym przekrojem pomiarowym należy preferować metody dotykowe pomiaru przemieszczeń. Zapewniają one pomiar zarówno pod obciążeniem stycznym i dynamicznym. Stosowane metody pomiarowe powinny mieć określone zakresy możliwości lokalizacji punktu odniesienia (związanego ze stabilnym podłożem) w stosunku do badanego punktu konstrukcji poprzez podanie odległości w pionie.

(3) W przypadku braku możliwości dostępu do terenu pod badanym przekrojem pomiarowym oraz badań pod obciążeniem statycznym, należy preferować metody geodezyjne. Stosowane metody pomiarowe powinny mieć określone zakresy możliwości lokalizacji punktu odniesienia (związanego ze stabilnym podłożem, na którym ustawiany jest statyw z instrumentem geodezyjnym) w stosunku do punktu konstrukcji (lokalizacji przyzmatu lub łaty) poprzez podanie odległości w poziomie i w pionie.

(4) W przypadku badań pod obciążeniem statycznym metody geodezyjne mogą być uzupełniane przez pomiary z zastosowaniem pochyłomierzy, które nie wymagają dostępu do zewnętrznych punktów odniesienia. Na podstawie pomiaru kątów wychylenia konstrukcji i poziomego rozmieszczenia pochyłomierzy oraz podpór możliwe jest pośrednie wyznaczenie linii pionowych przemieszczeń wzdłuż konstrukcji, a następnie przemieszczeń wybranych punktów [15, 16].

(5) W przypadku braku możliwości dostępu do terenu pod badanym przekrojem pomiarowym lub konstrukcji o znacznej wysokości podpór oraz badań pod obciążeniem dynamicznym pomiary przemieszczeń mogą być wykonywane zastosowaniem radaru interferencyjnego lub zestawu dwóch radarów interferencyjnych [19].

6.3 Pomiary przemieszczeń metodami dotykowymi

(1) Zalecane jest stosowanie czujników mechanicznych z rejestracją komputerową. W przypadku badań pod obciążeniem statycznym i przy całkowitym zamknięciu ruchu pojazdów wskazane jest zapewnienie częstotliwości próbkowania nie mniejszego niż 1 Hz. W przypadku, gdy na obiekcie zastosowano tylko częściowe ograniczenie ruchu pojazdów wskazane jest zastosowanie próbkowania z częstotliwością 200 Hz – która jest zalecana w DAB-15 [21] do badań pod obciążeniem dynamicznym.

6.4 Pomiary przemieszczeń metodami geodezyjnymi

6.4.1 Zasady ogólne pomiaru

- (1) Niniejsze zasady dotyczą krótkookresowego pomiaru geodezyjnego przemieszczeń.
- (2) Liczbę i rozmieszczenie punktów kontrolowanych należy dobrać podczas opracowania *projektu próbnego obciążenia*, kierując się podstawową zasadą, że celem pomiaru przemieszczeń jest weryfikacja wyników analiz teoretycznych ugięć wskutek przyłożenia określonych sił w punktach reprezentujących zachowanie się konstrukcji. Czynnikiem technicznym pomiaru jest zapewnienie możliwości wykonania go w przedziale czasu, w którym obciążana konstrukcja nie ulega przemieszczeniu przekraczającemu dokładność pomiaru.
- (3) Podstawową zasadą doboru punktów do pomiaru jest zilustrowanie kształtu krzywej ugięcia badanego elementu konstrukcji (belki, podpory, szczytu pylonu...) oraz ewentualnych innych elementów konstrukcji – niezbędne są pomiary punktów przy podporach (węzłach, przegubach) oraz w miejscu największego ugięcia; dla zwiększenia pewności wyników można do pomiaru włączyć punkty pośrednie, jednakże mając zawsze na względzie zapisy akapitu (2).
- (4) Do pomiaru należy zawsze stosować sprzęt geodezyjny – instrumenty, łaty, pryzmaty – posiadający *aktualne świadectwo atestacji*, które potwierdza spełnienie nominalnej precyzji pomiaru; przed przystąpieniem do pomiarów, nie rzadziej niż raz na sezon pomiarowy, instrumenty należy poddać rutynowemu *sprawdzeniu terenowemu*.
- (5) Niwelacja precyzyjna powinna być preferowana do pomiaru przemieszczeń pionowych podpór oraz przęseł konstrukcji mostowych o długościach nie większych niż podwójna długość celowej (tj. do około 70 m). Tachimetria powinna być preferowana do pomiaru przemieszczeń pionowych dłuższych obiektów oraz gdy istnieje konieczność pomiaru przemieszczeń dźwigarów od spodu konstrukcji lub gdy wymagany jest krótki czas pomiaru wszystkich badanych punktów.
- (6) Niwelacja precyzyjna może być wykonywana jedynie na obiektach wyłączonych z ruchu eksploatacyjnego.
- (7) Przy zastosowaniu niwelacji geometrycznej należy stosować łaty trwale przymocowane do konstrukcji; w wyjątkowych przypadkach dopuszcza się przenoszenie łat i stawianie ich na reperach umieszczonych na jezdni.
- (8) Jako odniesienie dla każdego stanowiska niwelatora należy stosować co najmniej 2 łaty (lub 3 w przypadku ciągów) zlokalizowane poza strefą oddziaływania obciążenia – poza obrysem mostu; miejsca posadowienia łat (repery odniesienia) powinny być jednoznaczne wysokościowo i zachowywać stałość przez cały okres badań.
- (9) W przypadku stwierdzenia niestałości punktów odniesienia (nierówne zmiany wysokości między łatami w tych punktach) należy wyeliminować punkt podejrzany o niestałość a bazę odniesienia powiększyć o kolejny punkt (dodać kolejny reper).

(10) Jako *celowniki* do pomiaru tachimetrycznego należy stosować *pryzmaty* dobrane odpowiednio do danego typu instrumentu.

(11) W przypadku tachimetrycznych pomiarów wysokościowych długości celowych mogą być dłuższe niż 100 m; ze względu na krótki okres pomiaru nie jest konieczne uwzględnienie krzywizny Ziemi oraz refrakcji atmosferycznej.

(12) Orientacja pomiaru tachimetrycznego powinna być związana z głównymi osiami konstrukcji mostowej – podłużną lub poprzeczną.

(13) Lokalizację punktów pomiarowych (pryzmatów) dostosować do ich projektowanego rozmieszczenia. Preferowane jest rozmieszczenie pryzmatów na spodzie konstrukcji. Gdy nie ma widoczności wszystkich punktów należy strefę pomiarów podzielić na segmenty obsługiwane przez poszczególne tachimetry.

(14) W przypadku konieczności lokalizacji punktów pomiarowych (pryzmatów) na jezdni należy tak zapewnić taką lokalizację, aby pryzmaty nie były narażone na zasłonięcie przez pojazdy z obciążeniem; strefę pomiarów można podzielić na segmenty obsługiwane przez poszczególne tachimetry.

(15) Jako odniesienie stosować co najmniej 3 pryzmaty (dla każdego tachimetru) zlokalizowane poza strefą oddziaływania obciążenia – poza obrysem mostu, jednak w możliwie bliskiej odległości tj. do ok. 20 metrów od stanowiska.

(16) W przypadku, gdy rozbieżność między obliczonymi różnicami z odczytów na punktach odniesienia przekroczy podwójny błąd pomiaru należy wyłączyć dany punkt odniesienia z obliczeń oraz zwiększyć liczbę punktów (dodać kolejny pryzmat);

6.4.2 Zasady ogólne obliczeń

(1) Podczas pomiarów należy obliczać ewentualne niezamierzone przemieszczenia instrumentu w oparciu o różnice składowych przemieszczenia między pomiarem wyjściowym („zerowym”) a kolejnym pomiarem kontrolnym – w obliczeniach przemieszczeń punktów badanych uwzględniać każdorazowo zmianę położenia instrumentu.

(2) Obliczenia przemieszczeń należy każdorazowo poprzedzić *kontrolą stałości punktów odniesienia*, a w przypadku, gdy dane pomiarowe wskazują na możliwość wystąpienia niestałości należy zidentyfikować wątpliwy punkt i wyłączyć go z obliczeń przemieszczeń – dla uniknięcia dalszych zagrożeń niestałością bazę punktów odniesienia powinno się powiększyć o kolejny punkt.

(3) Przemieszczenia należy *obliczać w sposób ścisły* – wybraną metodą różnicową, to jest *metodą różnic współrzędnych* (poprzez odjęcie obliczonych współrzędnych z dwóch porównywanych serii pomiarów), albo *metodą wyrównania różnic obserwacji*, albo poprzez *wyrównanie łączne* obu serii pomiarowych. Wynikiem procesu wyrównawczego są zmiany położenia punktów (przemieszczenia, osiadania) oraz błędy średnie ich wyznaczenia.

6.4.3 Pomiary geodezyjne – niwelacja geometryczna przy całkowitym wyłączeniu obiektu z ruchu innych pojazdów

6.4.3.1 Pomiary osiadania podpór

(1) Zalecane jest wykonywanie pomiarów osiadania podpór metodą niwelacji precyzyjnej z poziomego terenu pod obiektem. W przypadku gdy nie jest możliwy pomiar z jednego stanowiska niwelatora można stosować metodę tachimetryczną lub wykonywać pomiar w postaci ciągu niwelacyjnego.

6.4.3.2 Pomiar przęsła

(1) Niwelację geometryczną należy stosować do pomiaru ugięć przęsła (belek) jeśli na poziomie nawierzchni będzie zapewniona widoczność łąt ze stanowiska niwelatora dobranej tak, aby nie uniemożliwiało to przemieszczania się pojazdów z obciążeniem.

(2) Lokalizację łąt dostosować do projektowanego rozmieszczenia punktów pomiarowych, a także pojazdów z obciążeniem; strefę pomiarów można podzielić na segmenty obsługiwane przez poszczególne niwelatory.

6.4.4 Pomiar geodezyjne – tachimetria przy całkowitym wyłączeniu obiektu z ruchu innych pojazdów.

6.4.4.1 Pomiar osiadania podpór:

(1) Dopuszcza się wykonywanie tachimetrycznych pomiarów osiadania przyczółków oraz filarów lub pylonów pod przęsłem obciążanym tylko w przypadku niemożności wykonania niwelacji geometrycznej (np. spowodowanej brakiem dostępu ze względu na ruch samochodowy lub kolejowy, wodę albo podmokły grunt pod mostem...).

6.4.4.2 Pomiar przęsła – przemieszczenia pionowe i poziome punktów:

(1) W przypadku pomiaru mostów o wymiarach przęsła przekraczających dopuszczalne długości celowej możliwe jest lokalizowanie stanowiska na przęsle (między podporami), jednak w takim miejscu, aby zawsze były widoczne co najmniej dwa punkty odniesienia.

6.4.5 Pomiar geodezyjne przemieszczeń pionowych i poziomych przy częściowym wyłączeniu obiektu z ruchu pojazdów.

(1) Geodezyjne badania przemieszczeń pionowych mostu częściowo obciążonego ruchem eksploatacyjnym możliwe są jedynie metodą tachimetryczną. Wykonywanie pomiarów powinno być połączone z obserwacją ruchu pojazdów eksploatacyjnych na obiekcie. Pomiar mogą być prowadzone tylko w przypadku zjechania ciężkich pojazdów z obiektu i występowania drgań swobodnych, których wpływ zostanie odfiltrowany poprzez uśrednienie odczytów.

(2) Gdy występują jedynie krótkie przerwy w ruchu eksploatacyjnym należy pomiar prowadzić w trybie obserwacji pojedynczych punktów pomiarowych; przejście do kolejnego punktu pomiarowego jest możliwe w kolejnym cyklu obserwacji.

6.5 Pomiar odkształceń

(1) W przypadku badań pod obciążeniem statycznym i przy całkowitym zamknięciu ruchu pojazdów wskazane jest zapewnienie częstotliwości próbkowania nie mniejszego niż 1 Hz. W przypadku gdy na obiekcie zastosowano tylko częściowe ograniczenie ruchu pojazdów wskazane jest zastosowanie próbkowania z częstotliwością 200 Hz – zalecaną w DAB-15 [21] do badań pod obciążeniem dynamicznym.

6.6 Pomiar przyspieszeń drgań

(1) W przypadku badań pod obciążeniem dynamicznym zalecane jest zastosowanie próbkowania z częstotliwością 200 Hz – zalecaną w DAB-15 [21] do badań pod obciążeniem dynamicznym.

6.7 Pomiar sił wciągających i zewnętrznych kablach sprężających

(1) Preferowaną metodą określania sił wciągających i zewnętrznych kablach sprężających, podczas próbnych obciążeń diagnostycznych, jest metoda bazująca na identyfikacji cech dynamicznych cięgna lub kabla [10].

6.7.1 Pomiary sił w cięgnach podwieszających

(1) Przy określaniu siły w cięgnach podwieszających konstrukcji podwieszonych, extradosed oraz łukowych możliwa jest identyfikacja siły w cięgnach z zastosowaniem wzoru na drgania struny [2] lub z wykorzystaniem modelu numerycznego MES.

(2) Preferowaną metodą pomiaru cech dynamicznych cięgna jest pomiar przyspieszeń drgań z zastosowaniem akcelerometrów przymocowanych do cięgna w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach (wzdłuż konstrukcji mostu i w poprzek). Dopuszczalne jest również wykonywanie pomiarów metodą zdalną, np. z zastosowaniem radaru interferencyjnego [7, 8].

(3) W celu zwiększenia dokładności metody pomiary należy wykonywać przy konstrukcji obciążonej i bez obciążenia a wyznaczone zmiany siły w cięgnie sprawdzać z zmianami sił w cięgnie wyznaczonej z zastosowaniem modelu numerycznego całej konstrukcji mostowej.

6.7.2 Pomiary sił w zewnętrznych kablach sprężających

(1) Przy określaniu siły w zewnętrznych kablach sprężających należy identyfikować siły z wykorzystaniem modelu numerycznego uwzględniającego utwierdzenie na końcach kabla oraz posiadającego sztywność giętą na jego całej długości [10].

(2) Preferowaną metodą pomiaru cech dynamicznych jest pomiar przyspieszeń drgań z zastosowaniem akcelerometrów przymocowanych do kabla.

(3) Ze względu na znaczne niepewności przy tworzeniu modelu numerycznego kabla, związane z wyznaczeniem masy kabla (w tym iniektu) i jego długości oraz występowaniem splotów nieprawidłowo naciągniętych, metoda ma głównie zastosowanie do badania zmian siły w czasie.

7. Przygotowanie badań diagnostycznych

7.1 Zasady ogólne

(1) Nie mają zastosowania punkty WR-M-23 odnoszące do przygotowania badań 4.4.

7.2 Uzupełniające obciążenia próbne

(1) W ramach przygotowania badań należy wykonać:

- a) ocenę aktualnego stanu technicznego;
- b) wyznaczenie elementów, które są decydujące dla nośności konstrukcji;
- c) statyczną analizę konstrukcji wraz z określeniem wielkości środków obciążających i ich rozmieszczenia – w przypadku wykonywania badań pod obciążeniem statycznym;
- d) podstawową analizę dynamiczną konstrukcji, obejmującą wyznaczenie częstotliwości drgań własnych – w przypadku wykonywania badań pod obciążeniem dynamicznym;
- e) określenie metod pomiarowych oraz dobór i opracowanie planu rozmieszczenia sprzętu pomiarowego oraz sprawdzenie dokładności i zakresu dobranego sprzętu pomiarowego;
- f) program badań;
- g) określenie warunków prowadzenia badań.

(2) Statyczną analizę konstrukcji lub podstawową analizę dynamiczną konstrukcji wykonuje się na podstawie:

- a) dokumentacji powykonawczej, z uwzględnieniem rzeczywistych stałych materiałowych określonych na podstawie atestów materiałowych (stal) lub w wyniku badań laboratoryjnych (beton);
- b) dokumentacji próbnego obciążenia odbiorczego;
- c) dokumentacji przeglądów okresowych;
- d) przeglądu wizualnego konstrukcji wykonywanego przed próbnym obciążeniem diagnostycznym;
- e) inspekcji geodezyjnej (będącej pojedynczym odczytem w ramach monitoringu geodezyjnego, jeśli taki jest prowadzony) wykonywanej przed próbnym obciążeniem diagnostycznym; jeśli jest to możliwe to wyniki inspekcji geodezyjnej powinny być odniesione do pomiarów geodezyjnych wykonanych w ramach odbioru konstrukcji po jej budowie oraz okresowych przeglądów konstrukcji. Zasady wykonywania monitoringu geodezyjnego są przedmiotem oddzielnej procedury.

(3) Statyczna i dynamiczna analiza numeryczna konstrukcji powinna obejmować analizę i kalibrację modelu na podstawie wyników próbnego obciążenia odbiorczego.

(4) Zasady prowadzenia analizy numerycznej są przedstawione w oddzielnym dokumencie – *Wymagania wzorcowe systemu monitoringu drogowych obiektów inżynierskich o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej*.

7.3 Sprawdzające obciążenia próbne

(1) W ramach przygotowania badań należy wykonać:

- a) ocenę aktualnego stanu technicznego;
- b) wyznaczenie elementów które są decydujące dla nośności konstrukcji;
- c) określenie wielkości środków obciążających i ich rozmieszczenia;
- d) wyznaczenie wielkości, które mają być mierzone i miejsca ich pomiarów;
- e) określenie granicznych wartości mierzonych wielkości (np. odkształceń i przemieszczeń);
- f) określenie metod pomiarowych oraz dobór i opracowanie planu rozmieszczenia sprzętu pomiarowego oraz sprawdzenie dokładności i zakresu dobranego sprzętu pomiarowego;
- g) program badań;
- h) określenie warunków prowadzenia badań.

8. Przegląd wizualny konstrukcji

8.1 Zasady ogólne

(1) Przegląd wizualny konstrukcji w związku z próbnym obciążeniem diagnostycznym wykonywany jest przed przystąpieniem do badań, jak również w trakcie obciążania i po jego zakończeniu.

(2) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany przed próbnym obciążeniem diagnostycznym ma głównie na celu weryfikację i szczegółową inwentaryzację uszkodzeń stwierdzonych w czasie przeglądu okresowego, które stanowiły podstawę do podjęcia decyzji o zastosowaniu tego rodzaju diagnostyki konstrukcji.

(3) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany w trakcie próbnego obciążenia diagnostycznego i po jego zakończeniu ma na celu zbadanie stanu istniejących uszkodzeń

w zależności od występujących obciążeń, jak również wykrycie ewentualnych uszkodzeń powstałych w trakcie obciążania.

(4) Podane zasady są uzupełnieniem zasad podanych w WR-M-81 [32] oraz w Instrukcji [22].

8.2 Konstrukcje sprężone kablobetonowe

(1) W sprężonych konstrukcjach kablobetonowych, powodem podjęcia decyzji o próbnym obciążeniu diagnostycznym mogą być przede wszystkim uszkodzenia związane ze stanem kabli sprężających i występujących w nich siłach. Objawem nieprawidłowości są najczęściej zarysowania betonu, szczególnie te występujące w strefach rozciąganych obszarów o ekstremalnych wartościach momentów zginających, zorientowane prostopadle do kierunku działania odkształceń rozciągających w betonie.

(2) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany przed próbnym obciążeniem diagnostycznym powinien obejmować szczegółową inwentaryzację występujących uszkodzeń, a w szczególności oznaczenie przebiegu zarysowań na konstrukcji oraz pomiarze ich rozwarcia w kilku punktach, w celu ustalenia wartości maksymalnej.

(3) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany w trakcie próbnego obciążenia diagnostycznego i po jego zakończeniu ma na celu monitorowanie stanu uszkodzeń w odniesieniu do występujących obciążeń. W szczególności przegląd wizualny powinien obejmować oznaczanie na konstrukcji zmian zasięgu istniejących zarysowań i odnotowywanie ich aktualnego rozwarcia oraz ewentualną inwentaryzację nowo powstałych uszkodzeń.

8.3 Konstrukcje podwieszone

(1) W obiektach mostowych o konstrukcji podwieszanej, podjęcie decyzji o próbnym obciążeniu diagnostycznym ma bardziej indywidualny charakter i ze względu na specyfikę tych konstrukcji wymaga szerszych analiz. Nieprawidłowości i uszkodzenia w układzie kabli podwieszających mogą powodować usterki w pylonach i konstrukcji pomostu, które w zależności od zastosowanego materiału mogą występować w postaci pęknięć, rys, deformacji itp.

(2) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany przed próbnym obciążeniem diagnostycznym powinien obejmować szczegółową inwentaryzację występujących uszkodzeń, szczególnie tych, które uznano za kluczowe do oceny pracy konstrukcji. Inwentaryzacja powinna obejmować oznaczenie na konstrukcji dokładnego usytuowania uszkodzeń oraz odnotowanie charakterystycznych ich parametrów.

(3) Przegląd wizualny konstrukcji wykonywany w trakcie próbnego obciążenia diagnostycznego i po jego zakończeniu ma na celu monitorowanie stanu uszkodzeń w odniesieniu do występujących obciążeń. W szczególności przegląd wizualny powinien obejmować oznaczanie na konstrukcji wszelkich zmian rozmiaru uszkodzeń, odnotowywanie ich aktualnych parametrów oraz ewentualną inwentaryzację nowo powstałych uszkodzeń.

9. Przebieg badań

9.1 Uzupełniające obciążenia próbne

(1) Badania pod obciążeniem statycznym powinny być prowadzone w odniesieniu do badań odbiorczych i zawierać wybrane podobne wariant obciążenia. W przypadku realizacji uzupełniającego obciążenia próbnego przy częściowym ograniczeniu ruchu pojazdów, badania powinny zawierać również wariant obciążenia przedstawiony w rozdziale 3 akapit (2).

(2) W przypadku realizacji uzupełniającego obciążenia próbnego, przy całkowitym zamknięciu ruchu na obiekcie, podczas próby statycznej należy prowadzić pomiary badanych wielkości przed wprowadzeniem obciążenia na konstrukcję, w czasie jej obciążenia oraz po zdjęciu obciążenia. Czas prowadzenia i częstotliwość pomiarów powinny umożliwić ocenę stabilizacji mierzonych wielkości oraz ocenę ewentualnego wpływu innych czynników takich jak np. zmiany temperatury czy lokalne nasłonecznienie,

(3) W przypadku realizacji uzupełniającego obciążenia próbnego, przy częściowym ograniczeniu ruchu pojazdów, oprócz uwag z akapitu (2) należy minimalizować zakłócenia od przejeżdżających pojazdów, a w szczególności:

- a) w przypadku wykonywania pomiarów geodezyjnych należy prowadzić odczyty w momentach braku pojazdów eksploatacyjnych na obiekcie (braku drgań wymuszonych) oraz powtarzać odczyty (przynajmniej 3-5 razy) w celu eliminacji ewentualnych drgań swobodnych;
- b) w przypadku możliwości wykonywania pomiarów z wysoką częstotliwością próbkowania (200 Hz) należy analizować zarejestrowany przebieg w celu pomijania fragmentów drgań wymuszonych i wyznaczania wartości jako średnie z fragmentów ewentualnych drgań swobodnych.

9.2 Sprawdzające obciążenia próbne

(4) Obciążenie sprawdzające należy wykonywać w następujących krokach:

- a) obciążenie początkowe o wartości W_0 nieprzekraczającej ekstremalnego obciążenia eksploatacyjnego;
- b) narastające etapy obciążenia zwiększanego o wartość ΔW ; gdzie $\Delta W = (W_M - W_0)/n$ a W_G z góry ustalone obciążenie graniczne i n założona liczba kroków, wskazana minimalna liczba $n = 4$;
- c) osiągnięcie choćby dla jednej mierzonej wielkości wartości granicznej powoduje zakończenie badań i przyjęcie realizowanego w tym momencie poziomu obciążenia za wyznaczony poziom maksymalny W_{WM} ;
- d) w przypadku nieosiągnięcia przez mierzone wielkości wartości granicznych aż do poziomu W_G dopuszczalne jest zastosowanie maksymalnego obciążenia $W_{WM} = W_G + \Delta W$.

10. Analiza wyników badań

10.1 Zasady ogólne

(1) Nie mają zastosowania punkty WR-M-23 odnoszące do analizy wyników badań 4.5.

10.2 Uzupełniające obciążenia próbne

(1) Wyznaczone wartości sprężyste mierzonych wielkości podczas badań pod obciążeniem statycznym nie powinny przekraczać wartości obliczonych w analizie konstrukcji pod obciążeniem statycznym. W przypadku wystąpienia przekroczeń większych od niepewności pomiaru powinna być wykonywana ponowna analiza statyczna związana z możliwymi przyczynami tych przekroczeń.

(2) Pozostałości trwałe po odciążeniu statycznym nie powinny przekraczać wartości niepewności pomiaru. W przypadku wystąpienia pozostałości trwałych większych od niepewności pomiaru powinna być wykonywana analiza statyczna związana z możliwymi przyczynami tych pozostałości.

(3) Jeżeli pierwsza częstość drgań swobodnych wyznaczona podczas badań dynamicznych jest niższa niż 3 Hz, wyniki badań dynamicznych wykorzystuje się do

weryfikacji braku niepożądanych zjawisk dynamicznych w tym rezonansu. W przypadku mostów i wiaduktów dla pieszych lub rowerów zakres badań dynamicznych powinien być jeszcze rozszerzony o weryfikację spełnienia kryteriów nośności, użyteczności i komfortu, o których mowa w normie [23].

(4) Jeżeli pierwsza częstość drgań swobodnych wyznaczona podczas badań dynamicznych jest równa lub większa niż 3 Hz, wyniki badań dynamicznych mogą być ograniczone do wyznaczenia częstotliwości drgań swobodnych.

(5) Wyznaczona w czasie badań dynamicznych pierwsza częstość drgań swobodnych powinna być porównana z wartością wyznaczoną podczas próbnego obciążenia odbiorczego. W przypadku wystąpienia różnicy pomiędzy tymi wartościami przekraczającej sumaryczną niepewność ich pomiaru powinna być wykonywana analiza numeryczna związana z możliwymi przyczynami tej różnicy.

(6) Gdy to jest możliwe należy wyznaczyć wartość tłumienia dla pierwszej częstotliwości drgań swobodnych. W przypadku braku jednej dominującej częstotliwości drgań należy zastosować taką samą metodę separacji częstotliwości drgań jaką zastosowano podczas próbnego obciążenia odbiorczego.

(7) Wyznaczona tak wartość tłumienia drgań swobodnych powinna być porównana z wartością wyznaczoną podczas próbnego obciążenia odbiorczego. W przypadku wystąpienia różnicy pomiędzy tymi wartościami przekraczającej sumaryczną niepewność ich pomiaru powinna być wykonywana analiza numeryczna związana z możliwymi przyczynami tej różnicy.

10.3 Sprawdzające obciążenia próbne

(1) Na podstawie analizy wyników badań i wyznaczonego podczas badań poziomu obciążenia W_M można przyjąć za dopuszczalny do dalszej eksploatacji poziom obciążenia $W_{DM} = W_M - \Delta W$ (oznaczenia zgodne z podrozdziałem 9.2 akapit (1)).

11. Wymagania formalne

(1) Wymagania formalne związane ze zlecaniem badań diagnostycznych są zgodne z wymaganiami WR-M-23 rozdział 6 akapit (3).

(2) Wymagania formalne związane z Laboratorium wykonującym próbne obciążenie diagnostyczne są zgodne z wymaganiami WR-M-23 rozdział 6 akapity (4)-(9).

(3) Przygotowanie badań diagnostycznych opisane w rozdziale 7 niniejszego dokumentu oraz analiza wyników badań opisana w rozdziale 8 niniejszego dokumentu powinny być wykonywane przez Podmiot Naukowy spełniający wymagania formalne zgodne z wymaganiami WR-M-23 rozdział 6 akapity (5), (6), (9)-(11).

(4) Długookresowy pomiar geodezyjny przemieszczeń (monitoring geodezyjny przemieszczeń) powinien być realizowany przez pracownika Laboratorium posiadającego 4 zakres uprawnień zawodowych w dziedzinie geodezji i kartografii - "Geodezyjna obsługa inwestycji". Dopuszczalne jest wykonywanie tych pomiarów na podstawie umowy cywilnoprawnej zawartej z Laboratorium.

(5) Wymaganie posiadania uprawnień geodezyjnych nie odnosi się do wykonywania krótkoterminowego pomiaru geodezyjnego przemieszczeń. Pomiary te powinny wchodzić w zakres akredytacji Laboratorium.

Do badań diagnostycznych mają zastosowanie akapity WR-M-23 związane z prawami autorskimi – akapit (12) i z udostępnianiem publicznym sprawozdań z badań – akapit (13).

Bibliografia

- [1] Bień, J. 2010. *Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- [2] Caetano, E. and Cunha, Á. 2015. Dynamic testing of cable structures. *MATEC Web of Conferences*. 24, (2015), 01002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20152401002>.
- [3] Casas, J.R., Olaszek, P., Ciesla, J. and Germaniuk, K. 2018. Diagnostic Load Testing of Concrete Bridges, Principles and Example. *Special Publication*. 323, (May 2018), 7.1-7.16.
- [4] Casas, J.R., Olaszek, P., Šajna, A., Žnidarič, A., Lavrič, I. and Bevc, L. 2009. *Recommendations on the Use of Soft, Diagnostic Or Proof Load Testing*. FEHRL.
- [5] Chajes, M.J. and Shenton, H.W. 2006. Using diagnostic load tests for accurate load rating of typical bridges. *Bridge Structures*. 2, 1 (2006), 13–23. <https://doi.org/10.1080/15732480600730805>.
- [6] Design of Lightweight Footbridges for Human Induced Vibrations: 2009. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC53442>. Accessed: 2024-04-17.
- [7] Gentile, C. 2009. Application of microwave remote sensing to dynamic testing of stay-cables. *Remote Sensing*. 2, 1 (2009), 36–51.
- [8] Gentile, Carmelo and Cabboi, Alessandro 2015. Vibration-based structural health monitoring of stay cables by microwave remote sensing. *Smart Structures and Systems*. 16, 2 (Aug. 2015), 263–280. <https://doi.org/10.12989/SSS.2015.16.2.263>.
- [9] Institution of Civil Engineers and National Steering Committee for the Load Testing of Bridges 1998. *Guidelines for the Supplementary Load Testing of Bridges*. Thomas Telford Ltd.
- [10] Krzysztof Żółtowski, Mikołaj Binczyk, and Przemysław Kalitowski 2018. Identyfikacja własności dynamicznych cięgien jako element diagnostyki wybranych konstrukcji mostowych. (2018). <https://doi.org/10.21008/J.1897-4007.2018.26.17>.
- [11] Lantsoght, E. ed. 2019. *Load Testing of Bridges : Current Practice and Diagnostic Load Testing*. CRC Press.
- [12] Lantsoght, E. ed. 2019. *Load Testing of Bridges : Proof Load Testing and the Future of Load Testing*. CRC Press.
- [13] Lichtenstein, A.G. 1998. *Manual for bridge rating through load testing*. Transportation Research Board, National Research Council.
- [14] Necati Catbas, F. and Lantsoght, E. *Diagnostic and Proof Load Tests on Bridges | Frontiers Research Topic*.
- [15] Olaszek, P. 2015. *Cyfrowe metody pomiarowe w zastosowaniu do badań mostów*. Polska Akademia Nauk Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej.
- [16] Olaszek, P. 2014. Deflection monitoring system making use of inclinometers and cubic spline curves. *Bridge Maintenance, Safety, Management and Life Extension*. CRC Press. 2305–2312.
- [17] Olaszek, P., Biskup, M., Matysek, A. and Twardosz, E. 2021. *Próbne obciążenia obiektów mostowych w świetle doświadczeń IBDiM*. Instytut Badawczy Dróg i Mostów. Dział Wydawnictw i Informacji.
- [18] Olaszek, P., Łagoda, M. and Casas, J.R. 2014. Diagnostic load testing and assessment of existing bridges: examples of application. *Structure and Infrastructure Engineering*. 10, 6 (2014), 834–842. <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.772212>.
- [19] Olaszek, P., Świercz, A. and Boscagli, F. 2021. The Integration of Two Interferometric Radars for Measuring Dynamic Displacement of Bridges. *Remote Sensing*. 13, 18 (Sep. 2021), 3668. <https://doi.org/10.3390/rs13183668>.
- [20] Prószyński, W. and Kwaśniak, M. 2006. *Podstawy geodezyjnego wyznaczania przemieszczeń: pojęcia i elementy metodyki*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.

- [21] Akredytacja laboratoriów badawczych wykonujących badania obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem Dab-15. Wydanie 2. 17.01.2024 r. PCA.
- [22] *Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Wyd. 3 (tekst jednolity), Warszawa 2020. Załącznik do Zarządzenia nr 35 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 28 września 2020 r.*
- [23] PN-EN 1990:2004/A1:2008. Eurokod 0. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [24] PN-EN 1991-2:2007 - Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
- [25] PN-EN 1992-2:2010 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 2: Mosty z betonu. Obliczenia i reguły konstrukcyjne.
- [26] PN-EN 1993-2:2010 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 2: Mosty stalowe.
- [27] PN-EN 1994-2:2010 Eurokod 4: Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowobetonowych. Część 2: Reguły ogólne i reguły dla mostów.
- [28] PN-EN ISO/IEC 17025 - Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [29] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz. U. z 2020 r. poz. 1333, z późn. zm.).
- [30] Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2020 r. poz. 85, z późn. zm.).
- [31] WR-M-23 Wytyczne wykonywania badań drogowych obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem. Autor P. Olaszek, Koordynator J. Rymsza. Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych.
- [32] WR-M-81. Wytyczne oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich, 2021.