

Załącznik do Zarządzenia Nr 35  
Generalnego Dyrektora Dróg  
Krajowych i Autostrad  
Z dn. 12.08.2008 roku

**Z A L E C E N I A**  
**DOTYCZĄCE WYKONYWANIA BADAŃ**  
**POD PRÓBNYM OBCIĄŻENIEM**  
**DROGOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH**

ISBN 83-89252-36-8

WARSZAWA 2008

Niniejsze zalecenia opracowano w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów  
na zlecenie  
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad  
Warszawa

© Copyright by Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
Warszawa 2008-07-30

ISBN 83-89252-36-8

**Autorzy:**

prof. nzw. dr hab. inż. Marek Łagoda, mgr inż. Małgorzata Mazanek,  
dr inż. Piotr Olaszek



SPIS TREŚCI	
1.	PRZEDMIOT ZALECEŃ.....5
2.	ZAKRES STOSOWANIA ZALECEŃ.....5
3.	DEFINICJE.....5
4.	RODZAJE BADAŃ.....7
5.	OBCIĄŻENIA PRÓBNE OBIEKTÓW ISTNIEJĄCYCH.....7
5.1.	Informacje ogólne.....7
5.2.	Uzupełniające obciążenia próbne.....8
5.3.	Sprawdzające obciążenia próbne.....9
6.	OBCIĄŻENIA PRÓBNE OBIEKTÓW NOWYCH - ODBIORCZE
	OBCIĄŻENIA PRÓBNE.....11
6.1.	Informacje ogólne.....11
6.2.	Przedmiot badań.....11
6.3.	Obciążenia.....11
6.3.1.	Obciążenia statyczne.....11
6.3.2.	Obciążenia dynamiczne.....12
6.4.	Wyniki próbnego obciążenia odbiorczego.....12
7.	PRZYGOTOWANIE BADAŃ Z WYKORZYSTANIEM PRÓBNEGO
	OBCIĄŻENIA.....13
7.1.	Informacje ogólne.....13
7.2.	Program badań.....13
7.2.1.	Statyczna analiza wytrzymałościowa konstrukcji.....13
7.2.2.	Plan realizacji badań pod próbnym obciążeniem.....14
7.3.	Aspekt ekonomiczny przeprowadzania badań pod próbnym
	obciążeniem.....14
7.4.	Warunki prowadzenia badań.....15
8.	WYMAGANIA DLA JEDNOSTEK WYKONUJĄCYCH
	BADANIA.....15
8.1.	Informacje ogólne.....15
8.2.	System jakości.....16
8.3.	Metody badawcze.....16
8.4.	Przedstawianie wyników badań pod próbnym obciążeniem.....17
	Normy i przepisy związane oraz bibliografia.....18

**Z A L E C E N I A**  
**DOTYCZĄCE WYKONYWANIA**  
**BADAŃ POD PRÓBNYM OBCIĄŻENIEM DROGOWYCH OBIEKTÓW**  
**MOSTOWYCH**

**1. PRZEDMIOT ZALECEŃ**

Przedmiotem zaleceń jest określenie wymagań, możliwości, warunków i efektów stosowania badań obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem w oparciu o doświadczenia krajowe i zagraniczne. Zalecenia uwzględniają zasady przeprowadzania próbnych obciążeń zawarte w normach PN-S-10040:1999 oraz PN-89/S-10050. Stanowią ich uzupełnienie. Odnoszą się zarówno do odbioru nowych konstrukcji mostowych przed ich przekazaniem do użytkowania jak i do oceny nośności istniejących obiektów.

**2. ZAKRES STOSOWANIA ZALECEŃ**

Badania konstrukcji mostowych można podzielić na dwa podstawowe zakresy. Pierwszy zakres zastosowania próbnych obciążeń to badania odbiorcze, mające na celu weryfikację modelu obliczeniowego konstrukcji i potwierdzenie projektowanych zapasów bezpieczeństwa. Wykonywane badania są traktowane jak dowód potwierdzający, że projekt i wykonanie zostały przeprowadzone w zadowalający sposób, gwarantujący założoną nośność obiektu. Próbne obciążenie jest szczególnie wartościowe w przypadku nietypowych, nowatorskich rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych. Może wówczas dostarczyć informacji potwierdzających lub nie analizę teoretyczną.

Drugi zakres dotyczy diagnostyki obiektów istniejących. W tym przypadku badania pod próbnym obciążeniem są pomocne w określaniu dozwolonych obciążeń oraz w doświadczalnym określaniu nośności obiektów mostowych.

Zalecenia należy stosować w przygotowaniu i podczas przeprowadzania badań nośnych konstrukcji obiektów mostowych z wykorzystaniem próbnych obciążeń. Zawsze przy badaniach konstrukcji nośnych należy wykonywać, jako badania towarzyszące, badania zachowania się podpór (osiadań, obrotów itp.). Zalecenia dotyczą zarówno badań odbiorczych nowych jak i badań nośności istniejących, użytkowanych obiektów mostowych.

**3. DEFINICJE**

**Badania pod próbnym obciążeniem** – prowadzenie *badania wielkości* (jednej lub więcej) przez *Laboratorium* podczas próbnego obciążenia *obiektu mostowego* wraz z interpretacją wyników badań wielkości, analizą pracy konstrukcji mostowej i wnioskami na temat konstrukcji mostowej.

**Laboratorium** - laboratorium badawcze\* - jednostka prawna i techniczna wykonująca badania pod próbnym obciążeniem.

**Badanie wielkości** – przygotowanie i prowadzenie procesu pomiarowego dla poszczególnych wielkości zgodnie z *procedurą badawczą*.

**Procedura badawcza**– sposób postępowania (prowadzenia badań) w celu określenia *wielkości*.

**Wielkość** - fizyczna właściwość, którą można określić ilościowo na drodze *procesu pomiarowego*.

**Proces pomiarowy** – zbiór operacji do określenia wartości wielkości.

**Wyposażenie pomiarowe** – przyrząd pomiarowy, oprogramowanie, wzorzec jednostki miary, materiał odniesienia lub aparatura pomocnicza lub ich kombinacja, niezbędne do przeprowadzenia procesu pomiarowego.

**Nośność obiektu** – określona, normowa klasa obciążenia, które może przenosić konstrukcja z normowym zapasem bezpieczeństwa (z prawdopodobieństwem 95%, że obciążenie nie spowoduje uszkodzeń).

**Niepewność (pomiaru)** – wynik oceny mający na celu określenie przedziału wewnątrz którego, jak się szacuje, znajduje się rzeczywista wartość wielkości mierzonej, zazwyczaj z danym prawdopodobieństwem.

**Obiekt mostowy** – obiekt inżynierski tj. most, wiadukt, estakada lub kładka dla pieszych.

**Spójność pomiarowa** - powiązanie z wzorcami jednostki miary; właściwość wyniku pomiaru, dzięki której może on być powiązany z odpowiednimi wzorcami jednostek miar, na ogół międzynarodowymi lub państwowymi, za pośrednictwem nieprzerwanego łańcucha porównań.

**Klient zewnętrzny**- jednostka zlecająca badania pod próbnym obciążeniem.

**Sprawozdanie wewnętrzne** – sprawozdanie z badań poszczególnych wielkości, zawierające informacje o tych badaniach zgodnie z normą [1], bez interpretacji wyników badań.

**Sprawozdanie końcowe z badań obiektu mostowego** - sprawozdanie z badań pod próbnym obciążeniem, przekazywane klientowi zewnętrznemu, zawierające informacje o badaniach wielkości wraz z interpretacją wyników badań wielkości, analizą pracy konstrukcji mostowej i wnioskami na temat konstrukcji mostowej.

**Obciążenie użytkowe** – rzeczywiste obciążenie występujące podczas użytkowania obiektu.

**Prędkość krytyczna** – wartość prędkości pojazdów obciążających konstrukcję przy których wielkości dynamiczne osiągają ekstremalne wartości.

**Zapas bezpieczeństwa** – różnica między wartością rzeczywiście występującą i wartością graniczną.

**Normowy zapas bezpieczeństwa** – zapas bezpieczeństwa konstrukcji określony przy zastosowaniu współczynników normowych.

**Obiekty katalogowe** – powtarzalne, typowe obiekty mostowe, projektowane i budowane według opisów katalogowych.

---

\* Laboratorium to nazwa umowna na potrzeby niniejszych zaleceń rozumiana jako jednostka uprawniona do wykonywania badań pod próbnym obciążeniem.

**Statyczna analiza wytrzymałościowa** - obliczenia wartości mierzonych wielkości podczas próbnego obciążenia wywołanych statycznym działaniem obciążeń próbnych.

#### **4. RODZAJE BADAŃ**

W zależności od potrzeb i rodzajów obiektów przeprowadzane mogą być ich badania pod obciążeniem próbnym. Z uwagi na rodzaj obiektów rozróżniamy następujące badania:

- obciążenia próbne obiektów istniejących, użytkowanych (starych),
- badania odbiorcze obiektów nowych.

Natomiast ze względu na sposób realizacji obciążenia próbnego mogą to być:

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

W czasie wykonywania badań można stosować obciążenia statyczne i dynamiczne. Podczas badań odbiorczych należy zawsze stosować badania pod obciążeniem statycznym i dynamicznym.

Statyczne próbne obciążenie pozwala rozpoznać zachowanie się konstrukcji bez wpływu zmienności obciążenia. Jest podstawą do określenia charakteru zakresu pracy konstrukcji (liniowy, sprężysty, itp.) oraz jej sztywności poprzecznej i podłużnej, a także stopnia wyczerpania.

Dynamiczne próbne obciążenie daje możliwość oceny właściwości konstrukcji trudnych do określenia w drodze analizy teoretycznej. Próba dynamiczna pod obciążeniem zmiennym w czasie lub z wykorzystaniem wymuszonych drgań jest stosowana w ocenie dynamicznych parametrów konstrukcji. Stosowana może być we wszystkich rodzajach badań z wykorzystaniem próbnych obciążeń. Wyniki, będące miarą sztywności są przydatne do potwierdzenia obliczeń projektowych, lub alternatywnie, mogą stanowić podstawę do porównania wyników badań prowadzonych w późniejszym terminie. Obniżenie sztywności w czasie jest oznaką pogorszenia, lub poważnego uszkodzenia konstrukcji. Jednocześnie dynamiczne próbne obciążenie może być jedynym badaniem określającym bezpieczne prędkości obciążenia (prędkości krytyczne). Poziom próbne obciążenie dynamicznego jest dużo niższe od obciążeń użytkowych. Zależy on od „wrażliwości dynamicznej” konstrukcji i od czułości użytego sprzętu pomiarowego. Czasem może wystarczyć jeden samochód ciężarowy, zwykle liczba użytych samochodów nie przekracza czterech.

#### **5. OBCIĄŻENIA PRÓBNE OBIEKTÓW ISTNIEJĄCYCH**

##### **5.1. Informacje ogólne**

Głównym celem oceny istniejących obiektów mostowych jest określenie obciążenia, które może przenosić konstrukcja z normowym zapasem bezpieczeństwa (z prawdopodobieństwem 95%, że obciążenie nie spowoduje uszkodzeń). W żadnym przypadku próbne obciążenie nie może doprowadzić do pogorszenia stanu żadnego, nośnego elementu mostu.

W starszych konstrukcjach zachodzi wiele wątpliwości dotyczących ich pracy z powodu przedawnionych form konstrukcji, a także dlatego, że rozpoznanie szczegółów konstrukcyjnych jest często bardzo trudne. Aktualne analityczne procedury oceny nośności istniejących konstrukcji są podobne do procedur stosowanych w projektowaniu nowych obiektów. Jest to traktowanie rzeczywistej struktury, jakby była wykonana idealnie, bez niejednorodności materiałowych czy imperfekcji wykonawczych. Analiza teoretyczna jest więc zawsze obciążona pewnym błędem. Im starsza jest konstrukcja mostu, tym większa może być różnica między rzeczywistą i obliczeniową nośnością. Używając nowoczesnych metod analitycznych, często zachodzi konieczność wspomagania obliczeń wynikami badań, a zwłaszcza rzeczywistymi rozkładami sztywności poprzecznych i podłużnych. Wspomaganie procesu szacowania nośności przez próbne obciążenie, pozwala na lepsze zrozumienie zachowania się konstrukcji, co jest nieodzowne do osiągnięcia efektu tj. uzyskania wyniku najbliższego wartości prawdziwych.

Z uwagi na cel przeprowadzania badań obiektów istniejących rozróżniamy następujące ich rodzaje:

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

Uzupełniające obciążenia próbne są stosowane jako uzupełnienie metod analitycznych określania nośności (klasy obciążeń) obiektów istniejących, zaś sprawdzające obciążenia próbne dostarczają rzeczywistej oceny bezpiecznego obciążenia obiektu np. ładunkiem nienormalnym.

## **5.2. Uzupełniające obciążenia próbne**

Uzupełniające obciążenia próbne stanowią uzupełnienie podstaw określenia nośności, mogą być bardzo ważnym, częściowym składnikiem całej procedury oceny. Należy je przeprowadzać zawsze, gdy zachodzą wątpliwości związane z analizą obliczeniową konstrukcji, ewentualnie z modelem konstrukcji przyjętym do obliczeń lub rzeczywistym jej stanem. Dostarczają informacji o rzeczywistym rozkładzie obciążenia na poszczególne elementy konstrukcji.

Poziom niezbędny obciążenia powinien być taki, żeby otrzymać wymierne, mierzalne reakcje konstrukcji i jednocześnie nie mogą powodować trwałego uszkodzenia żadnego elementu mostu. Poziom zastosowanego obciążenia próbnego (statycznego) nie powinien przekraczać obciążeń użytkowych.

Diagnozowanie konstrukcji z użyciem uzupełniających próbnymi obciążen można podzielić na 14 kroków postępowania.

- Krok 1.* Analiza dokumentacji i ocena aktualnego stanu obiektu mostowego. Należy sprawdzać, czy stan konstrukcji jest aktualny. Należy uzyskać pewność, że dostępne opisy i rysunki dokładnie odzwierciedlają obecną konstrukcję.
- Krok 2.* Ocena uproszczona. Teoretyczne oszacowanie nośności konstrukcji w celu określenia jej bezpiecznego obciążenia.
- Krok 3.* Na podstawie wyników oceny uproszczonej wyznaczenie elementów, które są decydujące dla nośności konstrukcji. Poprzez badanie „*in situ*” identyfikowanie cech materiałowych i analizy poziomów naprężeń



elementów decydujących o nośności mostu. Podjęcie decyzji o konieczności próbnego obciążenia lub przeprowadzenia analizy teoretycznej bardziej szczegółowymi metodami.

- Krok 4.* Identyfikacja celu próbnego obciążenia i przewidywanie skutków. Potwierdzenie, że wyniki próbnego obciążenia są pomocne w określeniu wartości granicznych obciążeń użytkowych konstrukcji.
- Krok 5.* Określenie wielkości środków obciążających i ich rozmieszczenie. Wyznaczenie wielkości, które mają być mierzone i miejsca ich pomiarów.
- Krok 6.* Analiza możliwości wykonania próbnego obciążenia. Określenie warunków technicznych przeprowadzenia badań.
- Krok 7.* Określenie metod pomiarowych. Dobór i opracowanie planu rozmieszczenia sprzętu pomiarowego.
- Krok 8.* Obliczenie wartości mierzonych wielkości (np. odkształceń i przemieszczeń). Sprawdzenie dokładności i zakresu dobranego sprzętu pomiarowego.
- Krok 9.* Analiza ryzyka przedsięwzięcia. Ocena prawdopodobieństwa uszkodzenia konstrukcji podczas próby i konsekwencji takiej szkody.
- Krok 10.* Ocena kosztu próbnego obciążenia i w świetle alternatywnych działań podjęcie decyzji o przeprowadzeniu badania.
- Krok 11.* Opracowanie szczegółowego planu realizacji próbnego obciążenia.
- Krok 12.* Przeprowadzenie próbnego obciążenia i dokonanie pomiarów określonych wielkości.
- Krok 13.* Interpretacja wyników próbnego obciążenia i wykorzystanie ich do określenia nośności mostu. Wyniki mogą być też wykorzystane do modyfikacji modelu obliczeniowego użytego w analizie konstrukcji. Ponadto próbne obciążenie pozwala na wyznaczenie właściwości dynamicznych konstrukcji i jest pomocne w określeniu zakresu użytkowości i trwałości mostu.
- Krok 14.* Opracowanie zaleceń dotyczących przyszłej eksploatacji obiektu mostowego.

### **5.3. Sprawdzające obciążenia próbne**

Sprawdzające obciążenia próbne mają podobne cele jak w przypadku dodatkowego próbnego obciążenia i pozwalają w sposób doświadczalny określić nośność konstrukcji. Główna różnica między badaniami uzupełniającymi i sprawdzającymi polega na tym, że obciążenie sprawdzające jest doświadczalnym poszukiwaniem wielkości obciążeń o maksymalnych bezpiecznych wartościach. Podczas próby obciążenie jest zwiększane odpowiednio do z góry ustalonego obciążenia maksymalnego, lub do takiego, aż wielkości mierzone zaczną przekraczać zakres liniowy lub osiągną normowe wartości graniczne. Bezpieczne obciążenie o maksymalnej wartości określa nośność obiektu. Wartość tego obciążenia podzielona przez odpowiedni współczynnik staje się maksymalnym obciążeniem, który może być transportowany po obiekcie.

Sprawdzające obciążenia próbne są bardzo przydatne do oceny bezpiecznego obciążenia obiektu np. ponadnormatywnym. Zaleca się je stosować zawsze, gdy zachodzą przypuszczenia, że sprawdzenia analityczne dają niedokładne bądź niewiarygodne wyniki.

Diagnozowanie konstrukcji z użyciem sprawdzających próbnych obciążeń można podzielić na 12 kroków postępowania.

- Krok 1.* Ocena aktualnego stanu obiektu mostowego wraz z analizą dostępnej dokumentacji. Należy uzyskać pewność, że dostępne opisy i rysunki dokładnie odzwierciedlają obecną konstrukcję. Należy dokonać oceny aktualnego stanu konstrukcji.
- Krok 2.* Na podstawie wyników oceny aktualnego stanu obiektu mostowego wyznaczenie elementów, które są decydujące dla nośności konstrukcji.
- Krok 3.* Określenie wielkości środków obciążających i ich rozmieszczenie. Wyznaczenie wielkości, które mają być mierzone i miejsca ich pomiarów.
- Krok 4.* Analiza możliwości wykonania próbnego obciążenia. Określenie warunków technicznych przeprowadzenia badań.
- Krok 5.* Określenie metod pomiarowych. Dobór i opracowanie planu rozmieszczenia sprzętu pomiarowego.
- Krok 6.* Określenie granicznych wartości mierzonych wielkości (np. odkształceń i przemieszczeń). Sprawdzenie dokładności i zakresu dobranego sprzętu pomiarowego.
- Krok 7.* Analiza ryzyka przedsięwzięcia. Ocena prawdopodobieństwa uszkodzenia konstrukcji podczas próby i konsekwencji takiej szkody.
- Krok 8.* Ocena kosztu próbnego obciążenia i w świetle alternatywnych działań podjęcie decyzji o przeprowadzeniu badania.
- Krok 9.* Opracowanie szczegółowego planu realizacji próbnego obciążenia.
- Krok 10.* Przeprowadzenie próbnego obciążenia i dokonanie pomiarów określonych wielkości zgodnie z procedurą przedstawioną w krokach *a - f*. Osiągnięcie choćby dla jednej wielkości wartości granicznej powoduje zakończenie badań i przyjęcie realizowanego poziomu obciążenia za poziom maksymalny.
- Krok 10.a)* Próbné obciążenie o wartości obciążenia  $W_a$  nie przekraczającego obciążenia użytkowego ( $P_u$ )
- Krok 10.b)* Próbné obciążenie o wartości obciążenia  $W_b$  nie przekraczającego obciążenia użytkowego powiększonego o  $\frac{1}{4}$  różnicy między wartością obciążenia użytkowego i docelowego np. ponadnormatywnego  $P_p$  i wówczas  $W_b = [P_u + \frac{1}{4}(P_p - P_u)]$
- Krok 10.c)* Próbné obciążenie o wartości obciążenia  $W_c$  nie przekraczającego obciążenia użytkowego powiększonego o  $\frac{1}{2}$  różnicy między wartością obciążenia użytkowego i docelowego np. ponadnormatywnego  $P_p$  i wówczas  $W_c = [P_u + \frac{1}{2}(P_p - P_u)]$
- Krok 10.d)* Próbné obciążenie o wartości obciążenia  $W_d$  nie przekraczającego obciążenia użytkowego powiększonego o  $\frac{3}{4}$  różnicy między wartością obciążenia użytkowego i docelowego np. ponadnormatywnego  $P_p$  i wówczas  $W_d = [P_u + \frac{3}{4}(P_p - P_u)]$

- Krok 10.e)* Próbne obciążenie o wartości obciążenia  $W_e$  nie przekraczającego obciążenia docelowego np. ponadnormatywnego  $P_p$  i wówczas  $W_d = P_p$
- Krok 10.f)* Próbne obciążenie o wartości obciążenia  $W_f$  nie przekraczającego obciążenia użytkowego powiększonego o  $1/4$  różnicy między wartością obciążenia użytkowego i docelowego np. ponadnormatywnego  $P_p$  i wówczas  $W_f = [P_u + 1/4(P_p - P_u)]$
- Krok 11.* Interpretacja wyników próbnego obciążenia i wykorzystanie ich do określenia możliwości przeprowadzenia obciążenia ponadnormatywnego  $P_p$
- Krok 12.* Opracowanie zaleceń dotyczących przejazdu ładunków ponadnormatywnych  $P_p$  przez obiekt.

## 6. OBCIĄŻENIA PRÓBNE OBIEKTÓW NOWYCH - ODBIORCZE

### OBCIĄŻENIA PRÓBNE

#### 6.1. Informacje ogólne

Próbne obciążenia odbiorcze mają na celu weryfikację modelu obliczeniowego konstrukcji i potwierdzenie projektowanych, normowych zapasów bezpieczeństwa. Jest traktowane jak dowód potwierdzający, że projekt i wykonanie zostały przeprowadzone w zadowalający sposób, gwarantujący założoną w projekcie nośność obiektu.

#### 6.2. Przedmiot badań

Próbnemu obciążeniu odbiorczemu podlegają następujące nowe lub przebudowywane albo wzmocniane obiekty mostowe (jeśli przebudowa lub wzmocnienie dotyczyły konstrukcji nośnej, lub nastąpiła zmiana warunków pracy mogąca mieć wpływ na nośność i trwałość obiektu):

- wszystkie o rozpiętości teoretycznej przęsła  $L \geq 20,0$  m, (poza obiektami katalogowymi),
- wszystkie prototypowe,
- wykonane tak, że budzą zastrzeżenia dotyczące jakości wykonania,
- wskazane przez inwestora.

#### 6.3. Obciążenia

##### 6.3.1. Obciążenia statyczne

Próbne obciążenie statyczne powinno wywoływać wartości sił wewnętrznych lub reakcji:

- w konstrukcjach betonowych i zespolonych od 75% do 100% skutków normowego, charakterystycznego obciążenia ruchomego określonej klasy, przy jego najniekorzystniejszym ustawieniu, (pod warunkiem nie przekroczenia stanu granicznego użytkowalności),

- w konstrukcjach stalowych od 75% do 85% skutków normowego, obliczeniowego obciążenia ruchomego określonej klasy, przy jego najniekorzystniejszym ustawieniu.

Obciążenia statyczne należy wprowadzać stopniowo, bez efektów dynamicznych, kontrolując w trakcie obciążania przyrosty odkształceń i przemieszczeń.

### 6.3.2. Obciążenia dynamiczne

Wartość obciążeń dynamicznych należy dobierać pod kątem możliwości pomiarowych, tzn. że wielkości wywołane obciążeniem dynamicznym muszą osiągać wartości mogące być mierzone z dostateczną dokładnością umożliwiającą ocenę właściwości dynamicznych (np. przemieszczenia z dokładnością 0.01mm, odkształcenia z dokładnością  $5 \cdot 10^{-6}$ ). Jeśli nie jest wystarczający pojedynczy pojazd należy tak dobierać liczbę pojazdów i odległości między nimi, aby pojazdy wzajemnie nie wywoływały tłumienia oddziaływań.

Oddziaływania dynamiczne mogą być wzmacniane przez stosowanie sztucznych progów umieszczonych poprzecznie do kierunku przejazdu pojazdów obciążających. Zamiast pojazdów, w celu wymuszania oddziaływań, można stosować inne środki (np. gwałtowne odciążenie konstrukcji, silniki odrzutowe, itp.).

W przypadku szerokich obiektów, o co najmniej czterech pasach ruchu, należy stosować obciążenie ruchome w tych samych i przeciwnych kierunkach jednocześnie.

### 6.4. Wyniki próbnego obciążenia odbiorczego

Wyniki pomiarów uzyskane podczas badań pod obciążeniem statycznym nie powinny przekraczać wartości obliczonych w statycznej analizie wytrzymałościowej poprzedzającej próbne obciążenie. Ponadto pozostałości trwale po odciążeniu nie powinny przekraczać następujących wartości:

- dla konstrukcji żelbetowych – 20% wartości całkowitych,
- dla konstrukcji z betonu sprężonego – 10% wartości całkowitych,
- dla konstrukcji stalowych – 15% wartości całkowitych,
- dla konstrukcji zespolonych – 20% wartości całkowitych.

Każda anomalia pozostałości trwałych powinna być analizowana i wyjaśniona. W szczególnych przypadkach, obiekt wykazujący anomalie może być odebrany warunkowo, poddając go długotrwałym obserwacjom i pomiarom łącznie z ciągłym monitoringiem.

Wyniki pomiarów uzyskane podczas badań pod obciążeniem dynamicznym nie powinny przekraczać wartości określonych w dokumentacji technicznej obiektu, w programie próbnego obciążenia lub innych przepisach.

## 7. PRZYGOTOWANIE BADAŃ Z WYKORZYSTANIEM PRÓBNEGO OBCIĄŻENIA

### 7.1. Informacje ogólne

Przed badaniami konieczne jest wykonanie programu badań zawierającego:

1. Statyczną analizę wytrzymałościową konstrukcji.
2. Planu realizacji badań.
3. Oceny ekonomicznej przeprowadzania badań.
4. Warunków prowadzenia badań.

W przypadku próbnego obciążenia odbiorczego program badań powinien uwzględniać stany awaryjne lub anormalne zachowania się konstrukcji w czasie jej budowy, przebudowy lub wzmocnienia. Nadzór budowlany powinien być zobowiązany do przekazania informacji o takich wydarzeniach wykonawcom próbnego obciążenia,

### 7.2. Program badań

#### 7.2.1. Statyczna analiza wytrzymałościowa konstrukcji

Statyczna analiza wytrzymałościowa konstrukcji jest analizą teoretyczną konstrukcji, która powinna być wykonywana na podstawie danych z dokumentacji powykonawczej z uwzględnieniem rzeczywistych stałych materiałowych określonych w wyniku atestów materiałowych (stal) lub w wyniku badań laboratoryjnych (beton).

Analizę teoretyczną konstrukcji opracowuje się w celu określenia wartości tych wielkości, które będą przedmiotem pomiarów. Założenia przyjęte dla modelu globalnego mostu muszą być zgodne z przewidywanym zachowaniem się przekrojów poprzecznych, elementów składowych, połączeń i łożysk. Należy uwzględnić wpływ deformacji, gdy ich efekty są znaczące (powyżej 5%). W wypadku znaczącego (powyżej 5%) udziału gruntu w obciążaniu konstrukcji należy uwzględnić właściwości gruntu i podparć.

Siły wewnętrzne powinny być określone przy stosowaniu ogólnej analizy sprężystej lub, tam gdzie jest to konieczne, analizy nieliniowej. W analizie nieliniowej powinna być sprawdzona poprzeczna i skrętna stateczność stalowych elementów ściskanych. W ogólnej analizie nieliniowej powinny być rozważone następujące efekty:

- nieliniowe zachowania, spowodowane uplastycznieniem stali konstrukcyjnej, zbrojeniowej lub sprężającej;
- nieliniowy efekt wywołany pełzaniem, skurczem lub zarysowaniem betonu włączając sztywność betonu na rozciąganie między rysami;
- podatność zespolenia w konstrukcjach zespolonych;
- efekty wywołane wyboczeniem;
- niektóre fazy budowy.

W analizie obliczeniowej mostów, ich elementów i przekrojów poprzecznych należy przyjmować odpowiednio cechy betonu, stali zbrojeniowej, sprężającej i konstrukcyjnej, uwzględniając stratę wytrzymałości lub wydłużalności, związanych

z wyboczeniem stali oraz z zarysowaniem, miażdżeniem lub łuszczeniem betonu. W obliczeniach konstrukcji zespolonych należy stosować poprawkę dla podatności zespolenia betonu z dźwigarami stalowymi.

W obliczeniach należy uwzględnić drugorzędne momenty zginające (efekt hiperstatyczny), wywoływane np. przez skurcz i pęcznienie betonu. W obliczeniach efektów wtórnych (hiperstatycznych) w obszarach, gdzie beton może być spękany, można pominąć efekty zasadnicze (izostatyczne) spowodowane skurczem.

W analizie powinno się uwzględniać efekt zarysowania betonu. Zastosowana metoda dla uwzględniania wpływów zarysowania powinna być używana konsekwentnie dla całej konstrukcji. Jeżeli w analizie sprężystej zastosowana została metoda uwzględniająca wpływy zarysowania, to powinna być ona stosowana nie tylko dla elementu rozciąganego, ale dla całej konstrukcji.

### **7.2.2. Plan realizacji badań pod próbnym obciążeniem**

Plan realizacji badań pod próbnym obciążeniem określa sposób i kolejność przeprowadzania obciążenia i badań wielkości. Zawiera metodykę badań i lokalizację punktów pomiarowych.

Bardzo ważne jest programowanie częstotliwości odczytów. W czasie próby statycznej należy dążyć do jak najczęstszych odczytów celem najlepszej analizy zachowania się konstrukcji podczas przyrostu, w czasie trwania i po zakończeniu obciążenia. W przypadku stosowania rejestracji automatycznej należy dążyć do okresu próbkowania od 1 do 60 sekund a w przypadku odczytów ręcznych należy dążyć do okresu próbkowania od 5 do 10 minut. Umożliwi to szybką i właściwą ocenę stabilizacji mierzonych wielkości.

W czasie próby dynamicznej okres próbkowania powinien być tak ustawiony by zapewniał możliwość pełnej analizy dynamicznej konstrukcji. Częstotliwość próbkowania zgodnie z twierdzeniem Shannona [6] powinna być co najmniej dwa razy większa od największej częstotliwości występującej w widmie badanego sygnału.

### **7.3. Aspekt ekonomiczny przeprowadzania badań pod próbnym obciążeniem**

Przed przygotowaniem ostatecznego programu badań należy przeprowadzić analizę kosztów jego realizacji w świetle alternatywnych działań podjęcia decyzji o przeprowadzeniu pełnego programu badania lub jego ograniczenia. Przeprowadzanie dokładnej analizy ekonomicznej jest szczególnie zalecane w przypadku obiektów o dużej liczbie przęseł. Może prowadzić to do znacznego ograniczenia liczby obciążanych przęseł i punktów pomiarowych. Ograniczenie to może mieć miejsce jedynie w przypadku przęseł identycznych z uwagi na ich konstrukcję i sposób wykonania. Minimalna liczba identycznych przęseł do obciążenia nie może być mniejsza od dwóch i zapewniać wywołanie reprezentatywnych sił wewnętrznych przęsłowych i podporowych w zakresie określonym w planie próbnego obciążenia. Również podjęcie decyzji o ograniczeniu

liczby pręseł musi być poprzedzona uzyskaniem pozytywnych wyników badań minimalnej liczby pręseł.

#### **7.4. Warunki prowadzenia badań**

Analiza możliwości wykonania próbnego obciążenia prowadzi do określenia warunków technicznych przeprowadzenia badań. Musi ona obejmować badanie ryzyka przedsięwzięcia zmierzającego do oceny prawdopodobieństwa uszkodzenia elementów konstrukcji podczas badań i konsekwencji takiej szkody. Dopuszcza się jedynie takie uszkodzenie, które nie wpływa na nośność konstrukcji lub może być łatwo usunięte w celu zapewnienia nie zaniżonej trwałości konstrukcji (np. lokalne usunięcie powłoki antykorozyjnej). Niezbędne jest również określenie warunków środowiskowych, koniecznych do przeprowadzania badań, które powinny być takie, aby umożliwić prawidłowe przeprowadzanie pomiarów zgodnie z niniejszymi zaleceniami.

W czasie badań odbiorczych konstrukcji betonowych, konstrukcja nie może być zabezpieczona powłokami ochronnymi uniemożliwiającymi ocenę powstawania rys w konstrukcji w czasie próbnego obciążenia. Powłoki te mogą być naniesione dopiero po zakończeniu badań.

### **8. WYMAGANIA DLA JEDNOSTEK WYKONUJĄCYCH BADANIA**

#### **8.1. Informacje ogólne**

Wymagania dla jednostek wykonujących badania obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem są identyczne dla badań odbiorczych nowych konstrukcji (dla obiektów po budowie lub przebudowie) jak i dla badań konstrukcji eksploatowanych (dla obiektów starych).

Badania pod próbnym obciążeniem obiektów mostowych są to prace o charakterze poznawczym, naukowo-badawczym wymagające przy tym zapewnienia wysokiej metrologicznej jakości wykonywanych badań.

Dopuszcza się wykonywanie badań pod próbnym obciążeniem tylko przez jednostki spełniające dwa kryteria:

- 1) Laboratorium wykonujące badania lub organizacja, której częścią jest Laboratorium zgodnie z normą [1], 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.
- 2) 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”.

System jakości musi być akredytowany przez jednostkę akredytującą, upoważnioną na terenie Polski do akredytacji laboratoriów badawczych.

Ustanawia się okres przejściowy stosowania zaleceń równy 3 lata od daty ich wprowadzenia. W okresie przejściowym jednostki wykonujące badania powinny spełniać kryterium 1) w całości i kryterium 2) w całości lub w ograniczonym zakresie.

Ograniczony zakres kryterium 2) polega na obowiązku posiadania systemu jakości bez konieczności akredytacji. Posiadanie takiego systemu jakości przez jednostkę wykonującą badania powinno być w takim przypadku sprawdzane przez Inwestora konkretnego obiektu mostowego.

## **8.2. System jakości**

Systemem jakości powinny być objęte badania najbardziej istotnych wielkości. Obowiązkowe jest wykonywanie w systemie jakości badań wielkości:

- ugięć konstrukcji,
- osiadań podpór,
- odkształceń jednostkowych lub naprężeń elementów konstrukcji.

Powyższe wielkości muszą być badane według udokumentowanych procedur badawczych.

Pomiary ciężaru środków obciążających mogą być nie objęte systemem jakości. Dopuszcza się wykonywanie pomiarów ciężaru środków obciążających przez podwykonawców. Powinny być wykonywane na wagach posiadających aktualne świadectwa wzorcowania.

Dopuszcza się wykonywanie badań i pomiarów nie objętych systemem jakości dla innych wielkości badanych podczas próbnego obciążenia. Wyniki z tych badań i pomiarów, muszą być zaznaczone w sposób jasny i nie budzący wątpliwości.

Program badań pod próbnym obciążeniem, interpretacje wyników badań poszczególnych wielkości, analiza pracy konstrukcji mostowej i wnioski na temat konstrukcji mostowej nie są objęte systemem jakości.

W związku z powyższym konieczne jest oddzielenie w sprawozdaniu z badań pod próbnym obciążeniem części przedstawiającej badania poszczególnych wielkości od ich analizy i oceny.

## **8.3. Metody badawcze**

Do Laboratorium wykonującego badania pod próbnym obciążeniem należy wybór właściwych metod badań. Laboratorium powinno stosować metody, które są najwłaściwsze dla danych warunków terenowych. Najważniejszym kryterium wyboru metody, która jest możliwa do zastosowania w danych warunkach terenowych, jest niepewność pomiaru. W niniejszych zaleceniach nie narzuca się granicznych dopuszczalnych wartości niepewności pomiaru, zaleca się natomiast by



jej wartości były uwzględniane podczas analizy pracy konstrukcji mostowej i interpretacji wyników badań.

*Uwaga: 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 systemu jakości 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.

*Uwaga:*

1) *Należy zaznaczyć, że źródła składowych niepewności nie ograniczają się do samego wyposażenie pomiarowego.*

2) *Niedopuszczalne jest wyrażanie wyników badań wielkości bez podawania ich niepewności. Zaleca się podawanie niepewności z prawdopodobieństwem 95%.*

3) *Dalsze informacje dotyczące szacowania niepewności przy wykonywaniu badań wielkości można znaleźć w [2] a przy wzorcowaniu w [3].*

#### **8.4. Przedstawianie wyników badań pod próbnym obciążeniem**

W związku z koniecznością rozdzielenia części przedstawiającej wyniki badań wielkości od ich analizy i oceny dopuszcza się wykonywanie sprawozdań wymaganych normą [1] z badań wielkości objętych systemem jakości w postaci sprawozdań wewnętrznych, które są podstawą do przeprowadzenia analizy wyników badań i oceny konstrukcji mostowej. Sprawozdania wewnętrzne muszą być przechowywane i dostępne w Laboratorium, które przeprowadziło badania.

W sprawozdaniu końcowym z badań obiektu mostowego pod próbnym obciążeniem przekazywanym klientowi zewnętrznemu, należy precyzyjnie podać szczegółowy zakres badań wykonanych w ramach systemu jakości i ewentualnie zakres badań akredytowanych i nie akredytowanych. Należy zaznaczyć, że analiza pracy konstrukcji mostowej, interpretacje wyników badań i wnioski zawarte w sprawozdaniu końcowym nie są objęte systemem jakości.

Dokumentacja z badań pod próbnym obciążeniem wykonywanych jako badania odbiorcze obiektu mostowego powinno zawierać zestaw danych, który umożliwi wykorzystanie wyników tych badań jako poziomu odniesienia dla kolejnych badań wykonywanych w trakcie dalszej eksploatacji obiektu. Dokumentacja ta składa się z dwóch części:

1. Program badań
2. Sprawozdanie końcowe z badań obiektu mostowego

Dokumentacja ta jako minimum powinna zawierać następujące informacje:

##### Program badań

- Plan badań poszczególnych wielkości i rozmieszczenia punktów pomiarowych
- Opis konstrukcji badanego obiektu mostowego

- Opis środków obciążających
- Projektowane schematy obciążenia statycznego
- Projektowane schematy obciążenia dynamicznego
- Statyczna analiza wytrzymałościowa konstrukcji z podaniem obliczonych wartości mierzonych wielkości od schematów próbnego obciążenia statycznego wraz z podaniem wywołanych wartości sił wewnętrznych w stosunku do skutków normowego, charakterystycznego lub obliczeniowego obciążenia ruchomego określonej klasy.

#### Sprawozdanie końcowe z badań obiektu mostowego

- Oględziny obiektu mostowego przed próbnym obciążeniem
- Zastosowane środki obciążające
- Rozmieszczenie punktów pomiarowych
- Metody badań poszczególnych wielkości i użyte wyposażenie pomiarowe
- Zrealizowane schematy obciążenia statycznego
- Zrealizowane schematy obciążenia dynamicznego
- Wyniki badań poszczególnych wielkości w czasie próby statycznej (z podziałem na wielkości całkowite, sprężyste i trwałe oraz porównanie zmierzonych wielkości sprężystych z obliczonymi oraz zmierzonych trwałych z zmierzonymi całkowitymi)
- Wyniki badań poszczególnych wielkości w czasie próby dynamicznej (współczynniki przeciążeń dynamicznych, częstotliwości drgań własnych oraz dekrementy tłumienia)
- Wyniki badań osiadania podpór
- Oględziny badanego obiektu mostowego po próbnym obciążeniu
- Interpretacja wyników badań poszczególnych wielkości,
- Analiza pracy konstrukcji mostowej,
- Wnioski na temat konstrukcji mostowej.

#### **Normy i przepisy związane oraz bibliografia**

- [1] PN-EN ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących.
- [2] Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik. Wydanie polskie - Główny Urząd Miar 1999.
- [3] Dokument EA-4/02. Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu. Wydanie polskie - Główny Urząd Miar 2001.
- [4] PN-89/S-10050 „Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Wymagania i badania.”
- [5] PN-S-10040 „Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania.”
- [6] Szabatin J.: Podstawy teorii sygnałów. WKŁ, Warszawa 2003.
- [7] The Institution of Civil Engineers National Steering Committee for the Load Testing of Bridges, Guidelines for the supplementary load testing of bridges. Telford Publications, London 1998.

- [8] Research Results Digest, Manual for bridge Rating Trough Load Testing. Transportation Research Board, Washington, 1998.
- [9] European Co-operation in the Field of Scientific and technical Research, COST 345 Procedures Required for Assessing Highway Structures. Working Group WG2 I WG3 Report European Commission, 2002.