



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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

**Instrukcja oceny stanu technicznego
systemu sprężenia oraz systemu
podwieszenia drogowych obiektów mostowych**

Opracował zespół:

IBDiM

dr hab. inż. Piotr Olszek, prof. IBDiM

dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek

mgr inż. Mirosław Biskup

mgr inż. Artur Sakowski

mgr inż. Leszek Komorowski

mgr inż. Aleksandra Jivan-Coteti

inż. Natalia Kur

IPPT PAN

dr inż. Andrzej Świercz

PŚw

prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚw

Wydanie 4.

11.06.2026, Warszawa

Spis treści

1. Wstęp, cel projektu.....	3
2. Przewodnik po dokumentach projektu.....	3
2.1 Leksykon/zestawienie informacji o uszkodzeniach newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych.....	4
2.2 Wymagania wzorcowe systemu monitoringu drogowych obiektów inżynierskich o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej	4
2.3 Procedura badań obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną.....	5
2.4 Procedura badania metodą emisji akustycznej sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich.....	6
2.5 Procedura przeprowadzania badań georadarowych elementów żelbetowych, betonowych oraz konstrukcji sprężonych i ciągnowych.	6
2.6 Procedura szacowania korozji zbrojenia w elementach żelbetowych, sprężonych i ciągnowych konstrukcji mostowych metodą impulsu galwanostatycznego.	7
2.7 Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowości konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu.	7
3. Rekomendacje projektu.....	8

1. Wstęp, cel projektu

Instrukcja oceny stanu technicznego systemu sprężenia oraz systemu podwieszenia drogowych obiektów mostowych została opracowana w ramach realizacji projektu RID II (Rozwój Innowacji Drogowych) pt. „Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu”. Projekt był realizowany przez konsorcjum w składzie: Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) – lider, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN) oraz Politechnika Świętokrzyska (PŚk).

Przedmiotem projektu były drogowe obiekty mostowe o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz obiekty mostowe o konstrukcji podwieszanej w tym obiekty łukowe. Podstawowym celem projektu było opracowanie procedur doskonalących zasady wykonywania przeglądów okresowych oraz opracowanie nowoczesnych procedur monitoringu i diagnostyki w/w konstrukcji.

Dokumenty projektu były konsultowane z Zespołem GDDKiA wspierającym Opiekuna merytorycznego umowy RID2/0002/2022.

2. Przewodnik po dokumentach projektu

Podstawowymi elementami Instrukcji oceny stanu technicznego są

1. *Leksykon/zestawienie informacji o uszkodzeniach newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych.*
2. *Wymagania wzorcowe systemu monitoringu drogowych obiektów inżynierskich o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej.*

Kolejne elementy stanowią procedury badań diagnostycznych:

3. *Procedura badań obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną.*
4. *Procedura badania metodą emisji akustycznej sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich.*
5. *Procedura przeprowadzania badań georadarowych elementów żelbetowych, betonowych oraz konstrukcji sprężonych i ciągnowych.*
6. *Procedura szacowania korozji zbrojenia w elementach żelbetowych, sprężonych i ciągnowych konstrukcji mostowych metodą impulsu galwanostatycznego.*

Ostatni element stanowi:

7. *Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowości konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu.*

2.1 Leksykon/zestawienie informacji o uszkodzeniach newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych

Leksykon obejmuje typowe uszkodzenia związane z nieprawidłowościami występującymi w układach cięgien sprężających i podwieszających, zidentyfikowane na podstawie wybranych wyników przeglądów okresowych i ekspertyz obiektów sprężonych i ciągnowych oraz doświadczeń zespołu projektowego DiagSC.

Opracowanie zawiera informacje dotyczące:

- charakterystycznych uszkodzeń obiektów o konstrukcji kablobetonowej, wzmocnionych sprężeniem zewnętrznym, ze sprężoną płytą pomostu oraz obiektów ciągnowych, które są bezpośrednio związane z nieprawidłowościami występującymi w układach cięgien sprężających i podwieszających;
- wskazania potencjalnych przyczyn uszkodzeń;
- oceny technicznej elementów i ryzyka dalszego użytkowania obiektu;
- trybów postępowania, zakresów kontroli oraz diagnostyki uszkodzenia, w tym rekomendowanych scenariuszy, które umożliwią wybór metodyki postępowania w przypadku zaistnienia awarii lub stanów przed awaryjnych konstrukcji.

Leksykon składa się łącznie z 19 tablic głównych przedstawiających wybrane uszkodzenia wraz z przykładowymi zdjęciami, w celu ich łatwiejszej oceny i identyfikacji.

Leksykon zaleca się stosować jako rozszerzenie oraz dodatkowy załącznik do opracowania pn. *Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich część I i obiekty mostowe* Wydanie 2, GDDKiA, Warszawa 2018 (obowiązuje od 30 stycznia 2019 r.), które jest obecnie podstawą do wykonywania ocen technicznych obiektów na sieci dróg zarządzanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad.

2.2 Wymagania wzorcowe systemu monitoringu drogowych obiektów inżynierskich o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej¹

Wymagania mają zastosowanie do prowadzenia monitoringu obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej. W wymagania rozróżniono rodzaje monitoringu: obligatoryjny okresowy; zalecany (warunkowy) okresowy; rozszerzony okresowy; rozszerzony ciągły.

Podstawowym elementem systemu monitoringu konstrukcji mostowych jest monitoring obligatoryjny prowadzony w trybie okresowym (inspekcyjnym - z udziałem człowieka). Monitoring obligatoryjny okresowy może zostać rozszerzony o dodatkowe pomiary wykonywane razem z pomiarami obligatoryjnymi, rekomendowane na podstawie wyników próbnego obciążenia odbiorczego lub diagnostycznego, stwierdzającymi przydatność danych pomiarów do oceny konstrukcji w przyszłości. Monitoring obligatoryjny oraz monitoring zalecany (warunkowy) jest wykonywany bez względu na pozytywny i nie budzący żadnych wątpliwości wynik próbnego obciążenia odbiorczego oraz bez względu na odpowiedni lub

¹ w dalszej części używana jest skrótowa nazwa *Wymagania wzorcowe systemu monitoringu*

zadowalający stan konstrukcji określony podczas próbnego obciążenia diagnostycznego lub przeglądu.

Wymagania wzorcowe systemu monitoringu zawierają również wymagania związane z analizą numeryczną. Numeryczną analizę sprężonych i podwieszonych konstrukcji mostowych przeprowadza się za pomocą metody elementów skończonych (MES). Obliczenia wykonuje się dla obiektów nowych i eksploatowanych, zgodnie z założeniami projektowymi i z uwzględnieniem wprowadzonych zmian konstrukcyjnych – w przypadku ich wystąpienia. Zakres analizy konstrukcji, zależnie od wymagań, może obejmować: wyznaczenie jej referencyjnej odpowiedzi, ocenę nośności, uzyskanie nowej wiedzy na skutek uszkodzeń bądź innych zdarzeń losowych, opracowanie zoptymalizowanego systemu monitorowania lub uzupełnienie badań diagnostycznych. W przypadku modelowania układu kabli sprężających lub ciągłych wymagane jest właściwe określenie warunków ich pracy i wstępnych naciągów.

Monitoring obligatoryjny okresowy, na podstawie wyników badań w przypadku wystąpienia wątpliwości lub nieprawidłowości w pracy konstrukcji, może zostać rozszerzony o dodatkowe pomiary wykonywane razem z pomiarami obligatoryjnymi i określany jest jako monitoring rozszerzony okresowy. W wyjątkowych przypadkach monitoring może być rekomendowany monitoring w formie monitoringu ciągłego (automatycznego). Wybór formy monitoringu (okresowego lub ciągłego) zależy od charakteru analizowanych zjawisk i potrzeby ciągłości ich obserwacji.

W wymagania nie mają zastosowania do monitoringu konstrukcji nowych w przypadku których projektant określił konieczność prowadzenia rozszerzonego monitoringu lub trakcie budowy wykryto błędy projektowe lub anomalie w zachowaniu konstrukcji. W takich przypadkach zakres prowadzonego monitoringu powinien być ustalany indywidualnie z zaleceniem stosowania metod badawczych i pomiarowych wymienionych w niniejszych wymaganiach.

2.3 Procedura badań obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną.

Procedura stanowi uzupełnienie dokumentu WR-M-23². Przedmiot 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.

Badania diagnostyczne wykonuje się w celu oceny nośności, stateczności i bezpieczeństwa dalszego użytkowania obiektów użytkowanych lub czasowo wyłączonych z użytkowania. 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. Badania mogą być również wykonywane w ramach prowadzenia monitoringu okresowego.

Procedura zawiera również uzupełnienia dokumentu WR-M-23 w zakresie badań odbiorczych obejmujące zakres badanych obligatoryjnie konstrukcji sprężonych

² WR-M-23 Wytyczne wykonywania badań drogowych obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem. Ministerstwo Infrastruktury, Departament Dróg Publicznych.

kablobetonowych oraz podwieszonych oraz uzupełnienie w zakresie prac pomiarowych związanych z okresowym monitoringiem obligatoryjnym i okresowym monitoringiem zalecanym (warunkowym).

2.4 Procedura badania metodą emisji akustycznej sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich.

Procedura zawiera wymagania związane z wykonywaniem badań metodą emisji akustycznej.

Badania te są zalecane jako obligatoryjny monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań w przypadku nowych obiektów sprężonych kablobetonowych, w których przed lub w czasie próbnego obciążenia odbiorczego stwierdzono zarysowania (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach betonowej konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń. Są również zalecane w przypadku obiektów eksploatowanych w których w czasie przeglądów wykryto takie zarysowania.

Badania te są również zalecane jako obligatoryjny monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań w przypadku nowych obiektów podwieszonych, w których przed lub w czasie próbnego obciążenia odbiorczego stwierdzono zarysowania (o rozwartości $\geq 0,3$ mm) w elementach z betonu zbrojonego oraz (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach z betonu sprężonego, konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń. Są również zalecane w przypadku obiektów eksploatowanych w których w czasie przeglądów wykryto takie zarysowania.

Dopuszczalne jest zastosowanie zamiast emisji akustycznej innej metody wykrywania propagacji zarysowań w elementach betonowych, pod warunkiem zapewnienia możliwości detekcji rys w całej objętości badanego elementu a nie tylko na jego powierzchni oraz uzyskania pozytywnej opinii ekspertów z zakresu nieniszczących badań betonu.

2.5 Procedura przeprowadzania badań georadarowych elementów żelbetowych, betonowych oraz konstrukcji sprężonych i ciągnowych.

Procedura badawcza dotyczy metodyki badań georadarowych pomostów, dźwigarów głównych i podpór drogowych obiektów inżynierskich, wykonanych z betonu zbrojonego i sprężonego. Celem badania georadarowego jest określenie struktury wewnętrznej konstrukcji drogowych obiektów inżynierskich, wykonanych z betonu zbrojonego i sprężonego. Dotyczy to przede wszystkim rozmieszczenia i przebiegu cięgien sprężających, zbrojenia miękkiego, jak również detekcji pustek w betonie i deformacji osłon cięgien, szacowania grubości elementów konstrukcyjnych i detekcji rys.

Podstawową wadą metody jest brak możliwości rozróżnienia materiałów o zbliżonych wartościach stałej dielektrycznej (np. warstwy betonu układane w różnych terminach). Druga to trudna, niekiedy uznaniowa interpretacja wyników, wymagająca dużego doświadczenia.

W przypadku konstrukcji wykonanych z betonu zbrojonego znaczącym ograniczeniem obszaru zastosowania metody radarowej jest gęsta siatka prętów zbrojeniowych, powodująca silne odbicie fali, przez co brak jest możliwości oceny struktury poniżej siatki (brak wówczas możliwości detekcji kolejnych warstw zbrojenia).

Interpretując wyniki pomiaru należy również pamiętać o bardzo silnym wpływie zawilgocenia elementu konstrukcyjnego na wyniki pomiarów. Ogólnie obecność wody/wilgoci powoduje zmniejszenie prędkości propagacji fali, co z kolei może zostać przez niedoświadczonego operatora zinterpretowane w postaci przeszacowania głębokości zalegania obiektu. W przypadku konstrukcji betonowych obszary o zwiększonej wilgotności mogą przedstawiać fałszywy obraz zwiększonej w tym miejscu otuliny prętów zbrojeniowych. Zaleca się zatem, aby pomiarów nie wykonywać bezpośrednio (w ciągu kilku dni) po opadach deszczu.

2.6 Procedura szacowania korozji zbrojenia w elementach żelbetowych, sprężonych i ciągnowych konstrukcji mostowych metodą impulsu galwanostatycznego.

Procedura badawcza dotyczy metodyki badań metodą impulsu galwanostatycznego (GPM), która należy do grupy elektrochemicznych metod badawczych. Metoda pozwala, na podstawie pomiarów wykonanych bezpośrednio na obiekcie, na ustalenie z pewnym prawdopodobieństwem obszarów objętych korozją oraz oszacowanie stopnia zaawansowania procesu korozyjnego zbrojenia ze stali zwykłej i prognozowanie tempa korozji na podstawie pomiarów potencjału stacjonarnego zbrojenia, rezystywności otuliny betonowej oraz gęstości prądu korozyjnego.

Pomiary wykonywane metodą impulsu galwanostatycznego (GP) stanowią ważny element badań uzupełniających konstrukcji mostów sprężonych odnoszący się do żelbetowych elementów obiektu (płyty pomostu, podpór/filarów, ścian przyczółków) sąsiadujących z elementami konstrukcji sprężonej.

Ograniczeniem metody najbardziej istotnym jest określenie prawdopodobieństwa korozji na poziomie 95% odnośnie wystąpienia zjawiska korozyjnego jak i miejsca. Drugim ograniczeniem jest prawidłowe przygotowanie podłoża badanego elementu do badań, co może istotnie wpływać na uzyskane rezultaty.

2.7 Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowalności konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu.

Opracowanie przedstawia wyniki analizy pogarszania się użytkowalności obiektów mostowych oraz ich klasyfikację pod tym względem. W badaniach wykorzystano dane klimatyczno-środowiskowe, parametry techniczne obiektów mostowych oraz wieloletnie zmiany ocen głównych, które następnie poddano analizie z zastosowaniem technik uczenia maszynowego.

Prace mają charakter naukowo-badawczy i mogą stanowić podstawę do opracowania narzędzi wspomagających wczesne wykrywanie obiektów zagrożonych zwiększonym ryzykiem wystąpienia awarii.

3. Rekomendacje projektu

W niniejszym punkcie znajdują się rekomendacje i zalecenia dla GDDKiA, dotyczące działań w celu minimalizacji ryzyka powstania uszkodzeń, metod zapobiegania ich powstawaniu oraz metod obligatoryjnego monitoringu konstrukcji w poszczególnych etapach powstawania i eksploatacji obiektów.

Etap projektowania obiektów

Konstrukcje sprężone kablobetonowe i ciągnowe podwieszone

- Wprowadzenie obowiązku przeprowadzania w dokumentacji projektowej analizy sytuacji krytycznych dotyczących potencjalnych uszkodzeń ciągów sprężających lub podwieszających, wraz ze wskazaniem możliwych scenariuszy oraz wynikających z nich ograniczeń w użytkowaniu obiektów mostowych.
- Zaprojektowanie rozmieszczenia reperów lub pryzmatów geodezyjnych zgodnie z *Wymaganiami wzorcowymi systemu monitoringu*.

Konstrukcje sprężone kablobetonowe

- Wprowadzenie do dokumentacji przetargowych oraz specyfikacji technicznych zapisów z jednoznacznym wskazaniem, że roboty związane ze sprężaniem konstrukcji oraz iniekcją kanałów kablowych należy kwalifikować do klasy wykonania 3 zgodnie z normą PN-EN 13670:2011. Biorąc pod uwagę istotność tych robót dla trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, rekomenduje się również wprowadzenie obowiązku rozszerzonej kontroli jakości, wykonywanej przez niezależną jednostkę zewnętrzną.
- Rozważenie możliwości wprowadzenia przepisów nakładających obowiązek okresowego sprawdzania kompetencji (teoretycznych i praktycznych) wykonawców realizujących roboty związane ze sprężaniem konstrukcji oraz iniekcją kanałów kablowych, potwierdzonego przez wyspecjalizowaną jednostkę zewnętrzną
- Zaprojektowanie rozmieszczenia czujników światłowodowych zgodnie z *Wymaganiami wzorcowymi systemu monitoringu* (dotyczy przęseł o rozpiętości $L \geq 50$ m).

Konstrukcje ciągnowe podwieszone

- Unikanie projektowania sztywnych bez możliwości regulacji siły naciągu wieszaków konstrukcji łukowych.
- Zapewnienie możliwości regulacji wszystkich ciągów konstrukcji podwieszonych, szczególnie ze względu na możliwość pęcznienia i skurczu betonowych pylonów.
- Wyznaczenie częstotliwości drgań własnych ciągów sprężających w stanie projektowanym po zakończeniu budowy.

- W przypadku zabezpieczeń antykorozyjnych stalowych elementów systemu podwieszenia wskazane jest uwzględnienie jako minimalnych wymagań podanych w WR-M-31³.

Etap budowy

Konstrukcje sprężone kablobetonowe i ciągnowe podwieszone

- Instalacja reperów lub przyrządów geodezyjnych zgodnie z *Wymaganiami wzorcowymi systemu monitoringu*, w przypadku pręseł wskazany odczyt zerowy a w przypadku podpór nawiązanie od wyników pomiarów osiadania w czasie budowy i odczyt „zerowy”.

Konstrukcje sprężone kablobetonowe

- Instalacja czujników światłowodowych zgodnie z *Wymaganiami wzorcowymi systemu monitoringu* (dotyczy pręseł o rozpiętości $L \geq 50$ m), wskazany odczyt zerowy na etapie wytwarzania elementu betonowego. Można wtedy uzyskać informacje na temat zachowania konstrukcji podczas wiązania mieszanki betonowej, sprężania i dojrzewania betonu oraz dalej monitorować zmiany odkształceń pod obciążeniami zewnętrznymi (również od ciężaru własnego, co nie jest możliwe w przypadku wykonywania instalacji po wykonaniu konstrukcji).

Etap odbioru konstrukcji

Konstrukcje sprężone kablobetonowe i ciągnowe podwieszone

- Próbné obciążenie odbiorcze powinno dotyczyć wszystkich pręseł bez względu na ich rozpiętość. Jest to szczególnie istotne dodatkowe wymaganie Inwestora w stosunku do wymagań WR-M-23⁴.
- Statyczne próbné obciążenie odbiorcze 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.
- Po zakończeniu próbnego obciążenia należy wykonać kolejny odczyt „zerowy”, punktów monitoringu geodezyjnego, w celu weryfikacji wyznaczonych w czasie próbnego obciążenia wartości przemieszczeń trwałych (plastycznych) oraz przyjęcia nowych wartości zerowych do monitoringu przemieszczeń w czasie eksploatacji obiektu.

³ R-M-31 Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich, Wersja: 01 Obowiązuje od: 2021.03.02 Rekomendował: Minister Infrastruktury w dniu 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.5.2021)

⁴ Jest to dodatkowe wymaganie Inwestora w stosunku do wymagań WR-M-23 *Wytyczne wykonywania badań drogowych obiektów mostowych pod próbnym obciążeniem*, Wersja: 01, Obowiązuje od: 2021.03.02, Rekomendował: Minister Infrastruktury w dniu 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.3.2021)

Konstrukcje sprężone kablobetonowe

- W przypadku konstrukcji z zamontowanymi czujnikami światłowodowymi (dotyczy przęseł o rozpiętości $L \geq 50$ m) należy przeprowadzić odczyt stanu odkształcenia w stanie obciążanym oraz nieobciążonym po zakończeniu obciążenia próbnego.
- Należy przeprowadzić pomiary i analizę przydatności w danym obiekcie 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.

Konstrukcje ciągnowe podwieszone

- 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.

Etap utrzymania i eksploatacji obiektów

Konstrukcje sprężone kablobetonowe i ciągnowe podwieszone

- Należy wprowadzić zmiany do dokumentu⁵ w zakresie wdrożenia zasad ocen technicznych obiektów sprężanych oraz obiektów ciągowych, zgodnie z zaleceniami zawartymi w Leksykonie. Alternatywnie leksykon może być implementowany jako załącznik do w/w dokumentu.
- Zalecane są dodatkowe przeglądy stanu zabezpieczeń antykorozyjnych powierzchni metalowych oraz korozji elementów metalowych wykonywanych przez specjalistów ds. antykorozyji. W przypadku obiektów nowych pierwszy taki przegląd powinien być wykonany przed zakończeniem gwarancji na zabezpieczenie antykorozyjne a kolejne w cyklu 10 letnim. Specjalista ds. antykorozyji powinien posiadać certyfikat ukończenia kursów antykorozyjnych z zakresu ochrony stali przez IBDiM pod patronatem GDDKiA lub z ukończonymi studiami podyplomowymi z zakresu korozji.
- W przypadku wszystkich konstrukcji monitoring obligatoryjny okresowy i ewentualny monitoring zalecany (warunkowy) okresowy powinien być prowadzony zgodnie z *Wymaganiami wzorcowymi systemu monitoringu*.
- W przypadku konstrukcji w których podczas próbnego obciążenia odbiorczego lub przeglądów i ekspertyz (w czasie eksploatacji) zalecono prowadzenie monitoringu rozszerzonego lub ciągłego powinien on być prowadzony według indywidualnych zaleceń

⁵ Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich część I obiekty mostowe, Wydanie 2, GDDKiA, Warszawa 2018 (obowiązuje od 30 stycznia 2019 r.)

obejmujących zakres monitoringu, częstotliwość pomiarów okresowych oraz czas prowadzenia monitoringu.

Konstrukcje sprężone kablobetonowe

- Właściwe, staranne utrzymanie stref dylatacyjnych obiektów, w celu zapobiegania dostawania się wody i wilgoci bezpośrednio do stref zakotwień kabli.

Konstrukcje ciągnowe podwieszone

- W przypadku napraw zabezpieczeń antykorozyjnych stalowych elementów systemu podwieszenia wskazane jest uwzględnienie jako minimalnych wymagań podanych w WR-M-31⁶.

Rekomendacje dalszych prac badawczych

Rekomendowane jest prowadzenie dalszych prac badawczych związanych z metodami nieniszczącymi kontroli stanu kabli mostów kablobetonowych i podwieszonych:

- a) kombinacji zastosowania georadaru i echa ultradźwięków;
- b) kombinacji tomografii podczerwieni i echa ultradźwiękowego;
- c) kombinacji sondowania dźwiękowego i wycieku strumienia magnetycznego;
- d) kombinacji metod wycieku strumienia magnetycznego i echa uderzenia;
- e) kombinacji metod technik elektrochemicznych – PT, EIS i IG.

Rekomendowane jest również prowadzenie dalszych prac badawczych związanych z metodami:

- a) fotogrametrycznymi do jednoczesnej rejestracji całej lub znacznej części badanej konstrukcji oraz do ewidencjonowania i pomiaru lokalnych uszkodzeń (rys, pęknięć, korozji, wycieków, itp.);
- b) fotogrametrycznymi wykorzystujące metodę korelacji obrazu (DIC) do monitoringu drgań ciągłych;
- c) fotogrametrycznymi wykorzystujące metodę korelacji obrazu (DIC) oraz metodami bazujące na sztucznej inteligencji (AI) do monitoringu zarysowań.
- d) ze względu na uzyskiwane dokładności konieczne jest badanie możliwości stosowania układu wykorzystującego równoczesną obserwację z wielu kamer lub analizę wielu zdjęć zbieranych z wykorzystaniem dronów - UAV (Unmanned Aerial Vehicle);
- e) sztucznej inteligencji (AI) do usprawnienia analizy wyników monitoringu, a także do oceny ryzyka dalszych uszkodzeń mostu.

⁶ R-M-31 Wytyczne projektowania zabezpieczenia antykorozyjnego stalowych elementów drogowych obiektów inżynierskich, Wersja: 01 Obowiązuje od: 2021.03.02 Rekomendował: Minister Infrastruktury w dniu 2 marca 2021 r. (DDP-4.0600.5.2021)