



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



**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW**
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE



INSTYTUT PODSTAWOWYCH
PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
INSTITUTE OF FUNDAMENTAL
TECHNOLOGICAL RESEARCH
POLISH ACADEMY OF SCIENCES



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

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

Kierownik Projektu:

dr hab. inż. Piotr Olszek, prof. IBDiM

IBDiM: mgr inż. Mirosław Biskup

dr inż. Tomasz Gajda

mgr inż. Artur Sakowski

mgr inż. Leszek Komorowski

mgr inż. Aleksandra Jivan-Coteti

inż. Natalia Kur

IPPT PAN: dr inż. Andrzej Świercz

PŚk: prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

Konsultant: mgr inż. Jan Piekarski

Wydanie 4

11.06.2026, Warszawa

SPIS TREŚCI

	str.
1. WSTĘP	3
2. CEL I ZAKRES DOKUMENTU	3
3. ZASTOSOWANIE I OGRANICZENIA	3
4. DEFINICJE	4
5. USZKODZENIA WYSTĘPUJĄCE W KONSTRUKCJACH SPRĘŻONYCH.....	7
5.1 Obiekty kablobetonowe z kablami zewnętrznymi oraz obiekty wzmacniane sprężeniem zewnętrznym	7
5.2 Obiekty kablobetonowe z kablami wewnętrznymi, w tym ze sprężoną płytą pomostu	31
6. USZKODZENIA WYSTĘPUJĄCE W KONSTRUKCJACH CIĘGNOWYCH.....	39
7. BIBLIOGRAFIA	64

1. WSTĘP

Niniejsze opracowanie pn. *Leksykon / zestawienie informacji o uszkodzeniach newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych* dotyczy w szczególności uszkodzeń konstrukcji mostowych charakterystycznych dla nieprawidłowości w układach cięgien sprężających i podwieszających. Dokument jest jednym z rezultatów końcowych zadań 1-6 wykonanych w ramach projektu pn. *Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu (DiagSC)*, Wspólne Przedsięwzięcie pn. Rozwój Innowacji Drogowych – RID II.

2. CEL I ZAKRES DOKUMENTU

Celem leksykonu jest przedstawienie informacji dotyczących:

- charakterystycznych uszkodzeń mostowych 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,
- trybów postępowania i zasad oceny technicznej konstrukcji w zależności od przypadków występowania przedstawionych w leksykonie uszkodzeń,
- rekomendowanych scenariuszy, które umożliwią wybór metodyki postępowania w przypadku zaistnienia awarii lub stanów przedawaryjnych konstrukcji;

Zakres pracy obejmuje wyniki analiz 158 wybranych obiektów (selekcja została dokonana na podstawie kryteriów przedstawionych w dokumencie pt. *Przegląd danych o wszystkich obiektach mostowych GDDKiA będących przedmiotem projektu i wybór obiektów do badań testowych oraz typów uszkodzeń do leksykonu (w ramach DiagSC)*, znajdujących się na sieci dróg krajowych i autostrad, zarządzanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad, na których zostały wytypowane uszkodzenia obiektów: kablobetonowych z kablami zewnętrznymi oraz obiektów wmacnianych sprężeniem zewnętrznym, kablobetonowych z kablami wewnętrznymi, w tym ze sprężoną płytą pomostu oraz ciągnowych. Przeanalizowane zostało: 41 obiektów ciągnowych, 108 obiektów sprężonych, 4 obiekty wzmocnione sprężeniem zewnętrznym oraz 5 obiektów ze sprężoną płytą pomostu. Dla wyżej wskazanych obiektów wykonano 158 tzw. *Kart analizy danych o obiekcie mostowym*, które posłużyły jako materiały źródłowe oraz materiały odniesienia dla Leksykonu uszkodzeń. Uszkodzenia zostały pogrupowane w zależności od rodzajów konstrukcji oraz elementu konstrukcyjnego, na którym się znajdują. W opracowaniu wykorzystano również materiały i doświadczenia własne oraz opracowania podane zgodnie z bibliografią.

3. ZASTOSOWANIE I OGRANICZENIA

Zastosowanie leksykonu odnosi się do drogowych obiektów mostowych (mosty i wiadukty) o konstrukcji sprężonej kablobetonowej, wzmocnionych poprzez sprężenie kablami zewnętrznymi, ze sprężoną płytą pomostu oraz obiektów ciągnowych.

Leksykon obejmuje w szczególności typowe uszkodzenia związane z nieprawidłowościami występującymi w układach cięgien sprężających i podwieszających.

Leksykon zawiera zalecenia i zasady oceny stanu technicznego, wskazanie ich potencjalnych przyczyn, określenie ryzyka podczas dalszego użytkowania oraz tryb/scenariusz dalszego postępowania, jak również zakres kontroli i diagnostyki poszczególnych elementów i zjawisk.

Leksykon zaleca się stosować jako rozszerzenie lub uzupełnienie do [1] tj. *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.), które są obecnie podstawą do wykonywania kontroli i oceny technicznej obiektów na sieci dróg zarządzanych przez Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad.

4. DEFINICJE

Słowa kluczowe	Definicja
Obiekt sprężony kablobetonowy	Obiekt inżynierski, którego konstrukcja ustroju nośnego wykonana jest z betonu sprężonego w wyniku oddziaływania zewnętrznych sił ściskających pochodzących od naciągniętych i zakotwionych w konstrukcji kabli lub innych cięgien sprężających (zazwyczaj ze stali wysokiej wytrzymałości), poprowadzonych wewnątrz lub na zewnątrz przekroju betonowego. Do obiektów sprężonych kablobetonowych można również zaliczyć konstrukcje typu extradosed, które stanowią hybrydę między ustrojem kablobetonowym a podwieszonym. Kable w tego rodzaju obiektach pracują głównie jako cięgna sprężające, a nie jako główne elementy nośne.
Obiekt wzmocniony sprężeniem zewnętrznym	Obiekt inżynierski, któremu przywrócono lub zwiększono nośność na skutek oddziaływań sił pochodzących od naciągniętych i zakotwionych na konstrukcji kabli lub innych cięgien sprężających, poprowadzonych na zewnątrz przekroju elementów ustroju nośnego. Wzmacnianie poprzez sprężenie zewnętrzne może być stosowane w obiektach mostowych wykonanych z różnych materiałów konstrukcyjnych.
Obiekt ze sprężoną płytą pomostu	Obiekt inżynierski, którego konstrukcja płyty pomostu została sprężona siłami pochodzącymi od naciągniętych i zakotwionych w niej kabli lub innych cięgien sprężających, poprowadzonych wewnątrz lub na zewnątrz przekroju płyty pomostu, w jednym lub dwóch kierunkach.
Obiekt ciągnowy	Obiekt inżynierski, w którym głównymi elementami nośnymi są cięgna przenoszące siły rozciągające i podtrzymujące konstrukcję przęsła z wykorzystaniem wyniesionych ponad poziom pomostu wysokich podpór – pylonów. Wyróżniamy obiekty podwieszone, gdzie cięgna podtrzymujące przęsło są kotwione bezpośrednio w pylonach oraz obiekty wiszące, gdzie cięgna podtrzymujące przęsło są mocowane do liny nośnej rozpiętej między pylonami. Na potrzeby niniejszego opracowania zaliczono do konstrukcji ciągnowych również obiekty łukowe z wieszakami w postaci cięgien prętowych lub linowych.
Lina (splot) sprężająca	Pojedynczy element rozciągany wykonany ze stali wysokiej wytrzymałości, najczęściej w formie splotu siedmiodrutowego, stosowany w konstrukcjach sprężonych do wprowadzenia siły sprężającej. Lina stanowi podstawowy składnik cięgna sprężającego i może być stosowana samodzielnie lub jako część wiązki w kablach sprężających. W przypadku stali sprężających określenia „lina” i „splot” bywają stosowane zamiennie. Oba terminy mają swoje uzasadnienie w przepisach krajowych i europejskich: nazwa lina wywodzi się ze starszych polskich norm, natomiast określenie splot jest stosowane w tłumaczeniach norm europejskich. Oba pojęcia występują

	również w aktualnych Krajowych Ocenach Technicznych wyrobów budowlanych.
Cięgno podwieszające	Element nośny wykonany najczęściej ze stali wysokiej wytrzymałości, służący do przekazywania sił z pomostu lub ustroju nośnego obiektu mostowego na pylon lub inną konstrukcję wsporczą. Występuje głównie w postaci want zbudowanych z wiązki równoległych lin lub drutów sprężających, prętów stalowych oraz stalowych lin o konstrukcji zamkniętej.
Kabel sprężający	Element konstrukcji sprężonej, w którym wprowadzona została siła naciągu w celu uzyskania zamierzonego stanu naprężeń w betonie. Wykonany jest najczęściej z lin sprężających w formie kabla jedno lub wielolinowego. Rzadziej stosowane są kable sprężające złożone ze stalowych drutów, czy też materiałów kompozytowych. Rozróżniamy kable z przyczepnością lub bez, w zależności od charakteru ich współpracy z konstrukcją. Przebieg trasy kabla wykonanego z lin sprężających może być odpowiednio kształtowany w celu optymalnego rozkładu sił sprężających w elemencie.
Pręt sprężający	Element konstrukcji sprężonej, w którym wprowadzona została siła naciągu w celu uzyskania zamierzonego stanu naprężeń w betonie. Wykonany jest ze stali wysokiej wytrzymałości i występuje w formie pręta gwintowanego zazwyczaj na całej długości, który jest kotwiony w konstrukcji za pomocą połączeń gwintowanych.
Zakotwienie kabla sprężającego	Element lub zestaw elementów mechanicznych, służący do trwałego lub tymczasowego przekazania siły naciągu z kabla sprężającego na element konstrukcji sprężanej (blok oporowy). Jego zadaniem jest utrzymanie naprężeń ściskających w sprężanej konstrukcji po zakończeniu naciągu. W przypadku kabli z lin sprężających zakotwienie składa się ze stalowego bloku kotwiącego, w którym znajdują się stożkowe otwory na liny oraz trójdzielnych szczęk kotwiących. Przy użyciu szczęk kotwiących liny są mechanicznie klinowane w otworach bloku kotwiącego.
Zakotwienie cięgna podwieszającego	Element lub zestaw elementów mechanicznych, służący do trwałego zamocowania cięgna podwieszającego w elementach konstrukcyjnych obiektu mostowego. Jego zadaniem jest zapewnienie bezpiecznego przeniesienia sił występujących w cięgnach oraz utrzymanie wymaganego poziomu sił w cięgnie przez cały okres eksploatacji obiektu. W przypadku cięgien z lin sprężających, zakotwienie składa się zazwyczaj ze stalowego bloku kotwiącego z otworami stożkowymi oraz trójdzielnych szczęk, które zapewniają mechaniczne zaklinowanie lin wewnątrz bloku.
Blok oporowy	Masywny element konstrukcyjny, najczęściej wykonany z betonu zbrojonego, sprężonego lub stali, którego zadaniem jest przejście i przekazanie sił sprężających, pochodzących od zakotwień cięgien sprężających na konstrukcję. Wyposażony jest zwykle w żeliwną lub rzadziej w stalową płytę oporową, służącą do oparcia zakotwień, zazwyczaj z ukształtowaną strefą przejściową

	(zmniejszającą rozstaw lin w kablu) oraz specjalne zbrojenie spiralne w przypadku bloków betonowych.
Dewiator	Element konstrukcyjny stosowany w sprężeniu zewnętrznym, służący do zmiany kierunku trasy kabla sprężającego oraz do przejścia i przekazania na konstrukcję poprzeczną wypadkowej siły jego naciągu.
Trwałość obiektu	Trwałość obiektu mostowego to zdolność konstrukcji, przy określonych warunkach eksploatacji i oddziaływań środowiskowych, do zachowania nośności oraz spełniania funkcji użytkowych w przewidzianym okresie użytkowania, bez konieczności wymiany elementów lub wykonywania kosztownych napraw.
Bezpieczeństwo użytkowania	Bezpieczeństwo użytkowania obiektu mostowego to zapewnienie jego użytkownikom możliwości eksploatacji zgodnie z przeznaczeniem, bez ryzyka utraty zdrowia, życia lub mienia, z uwzględnieniem oddziaływań środowiskowych i eksploatacyjnych.
Stan awaryjny	Stan awaryjny obiektu mostowego zachodzi w przypadku uszkodzenia elementów konstrukcyjnych na skutek oddziaływań przekraczających projektowe parametry lub postępującej ich degradacji, w wyniku czego następuje poważna utrata nośności, stateczności lub bezpieczeństwa użytkowania obiektu.
Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	Skala ocen stanu technicznego przyjęta na podstawie kryteriów wskazanych w [1] i [2]. Ryzyko podczas dalszego użytkowania obiektu jest oceniane w kontekście bezpieczeństwa i możliwości/warunków użytkowania oraz bezpośredniego zagrożenia dla życia i zdrowia użytkowników obiektu, w tym służb utrzymaniowych i inspektorów.

W leksykonie zastosowano skalę i kryteria oceny stanu technicznego drogowych obiektów inżynierskich zgodnie z [1].

Ocena	Stan	Opis stanu elementu
5	odpowiedni	bez uszkodzeń i zanieczyszczeń możliwych do stwierdzenia podczas przeglądu
4	zadowalający	wykazuje zanieczyszczenia lub pierwsze objawy uszkodzeń pogarszających wygląd estetyczny
3	niepokojący	wykazuje uszkodzenia, których nienaprawienie spowoduje skrócenie okresu bezpiecznej eksploatacji
2	niedostateczny	wykazuje uszkodzenia obniżające przydatność użytkową, ale możliwe do naprawy
1	przedawaryjny	wykazuje nieodwracalne uszkodzenia dyskwalifikujące przydatność użytkową
0	awaryjny	uległ zniszczeniu lub przestał istnieć

5. USZKODZENIA WYSTĘPUJĄCE W KONSTRUKCJACH SPRĘŻONYCH

5.1 Obiekty kablobetonowe z kablami zewnętrznymi oraz obiekty wzmacniane sprężeniem zewnętrznym

Przykłady oraz omówienie charakterystycznych usterek związanych ze sprężeniem obiektów kablobetonowych z kablami zewnętrznymi oraz obiektów wzmacnianych sprężeniem zewnętrznym zawierają następujące tablice:

- Tablica 5.1.1. Zerwanie kabla sprężającego
- Tablica 5.1.2. Zerwanie lub brak naciągu w pojedynczych linach kabla sprężającego
- Tablica 5.1.3. Braki wypełnienia rury osłonowej lub nieodpowiednia jakość zaczynu iniekcyjnego
- Tablica 5.1.4. Korozja stali sprężającej
- Tablica 5.1.5. Uszkodzenia rury osłonowej
- Tablica 5.1.6. Uszkodzenia zabezpieczenia antykorozyjnego i korozja zakotwienia kabla sprężającego
- Tablica 5.1.7. Uszkodzenia betonowych bloków oporowych i dewiatorów kabla sprężającego
- Tablica 5.1.8. Uszkodzenia stalowych bloków oporowych i dewiatorów kabla sprężającego
- Tablica 5.1.9. Pionowe zarysowania dźwigarów w strefie ekstremalnych momentów zginających

Tablica 5.1.1.

ZERWANIE KABLA SPRĘŻAJĄCEGO**1. Typowy obraz uszkodzeń**

Fot. 1. Obraz jednego z końców kabla w miejscu jego zerwania (zerwania wszystkich lin w jednym przekroju kabla)



Fot. 2. Obraz deformacji zerwanego kabla w miejscu jego przejścia przez dewiator



Fot. 3. Obraz w miejscu zerwania kabla po usunięciu osłony i iniektu (nie wszystkie liny uległy zerwaniu w tym samym przekroju) [3]



Fot. 4. Przerwana ciągłość osłony w miejscu jej łączenia na skutek zerwania kabla [4]



Fot. 5. Widoczne deformacje osłony spowodowane zerwaniem kabla [4]



Fot. 6. Widoczny zwis nienaprężonego kabla (dolnego) w miejscu oddalonym od miejsca zerwania [4]

2. Potencjalne przyczyny

- korozja stali sprężającej na skutek braku lub niewłaściwej jakości zabezpieczenia antykorozyjnego
- wady materiałowe
- błędy projektowe lub wykonawcze
- uszkodzenia mechaniczne

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku zerwania pojedynczych kabli w danym przekroju przęsła. Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenie ma bezpośredni wpływ na nośność obiektu. Istnieje zagrożenie, że zjawiska odpowiadające za powstanie uszkodzenia mogą występować też w innych kablach (za wyjątkiem uszkodzeń mechanicznych).

Czynności diagnostyczne muszą być wykonywane z zachowaniem szczególnej ostrożności. Przebywanie osób w strefie swobodnych odcinków kabli należy ograniczać do niezbędnego minimum, szczególnie w miejscach wykazujących uszkodzenia osłon, zwracając jednocześnie uwagę na odgłosy mogące świadczyć o zrywaniu drutów w linach. Dłuższe przebywanie oraz organizacja zaplecza sprzętowego powinny mieć miejsce w strefie bloków oporowych.

Ocena 0 – stan awaryjny dźwigara występuje w przypadku zerwania kilku kabli stanowiących o stanie naprężeń w tym samym przekroju ustroju nośnego, szczególnie w przypadku wystąpienia również zarysowań betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających.

Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych kabli, które mogą być przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.

Czynności diagnostyczne należy wykonywać z zachowaniem szczególnej ostrożności, w niektórych przypadkach może być konieczne zastosowanie dodatkowo fizycznych zabezpieczeń kabli. Funkcję taką mogą pełnić pętle opasujące grupę sąsiadujących ze sobą kabli, wykonane z łańcucha, stalowej liny lub wysokiej nośności pasów transportowych (Fot.7). Zabezpieczenia tego rodzaju zaleca się stosować w miejscach występowania deformacji lub innych uszkodzeń osłon kablowych mogących być efektem zerwania pojedynczych lin kabla, gdzie wymagane będzie dłuższe przebywanie osób, np. w celu dokonania odkrywek.



Fot. 7. Przykład zabezpieczenia kabli pasami transportowymi [5]

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki zerwania kabli, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) Ocena 1:

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli zerwany kabel stanowi nie więcej niż 20% sprężenia zewnętrznego w danym przekroju ustroju nośnego i nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęsła, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu; ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,

- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

b) Ocena 0:

- odstąpienie od inspekcji pozostałych kabli i opuszczenie strefy zagrożenia,
- dokonanie oceny stanu zewnętrznych powierzchni ustroju nośnego w zakresie ewentualnych rys i spękań, szczególnie w strefach podporowych ustrojów ciągłych i w środkach rozpiętości przęsła,
- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz zerwania kabli występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń kolejnych kabli,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne mające na celu określenie przyczyn zaistniałej awarii,
- zalecenia w zakresie naprawy lub innych działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań kabli przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych kabli,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.1.2.	ZERWANIE LUB BRAK NACIĄGU W POJEDYNCZYCH LINACH KABLA SPRĘŻAJĄCEGO	
1. Typowy obraz uszkodzeń		
		
Fot. 1. Zerwanie pojedynczych lin kabla w miejscach objętych korozją stali (widok po zdjęciu fragmentu rury osłonowej i usunięciu zaczynu iniekcyjnego) [7]	Fot. 2. Zerwanie pojedynczego drutu liny w kablu (widok po zdjęciu fragmentu rury osłonowej) [6]	
		
Fot. 3. Brak naciągu w pojedynczej linii kabla, zwolnienie siły nastąpiło gwałtownie na etapie sprężania, powodując uszkodzenie osłony	Fot. 4. Brak naciągu w trzech linach kabla, na etapie sprężania nastąpiło gwałtowne zwolnienie siły, powodując deformacje osłony (widok po zdjęciu fragmentu rury osłonowej)	
		
Fot. 5. Obraz deformacji osłony kabla spowodowanych gwałtownym zwolnieniem naciągu w jednej lub kilku linach	Fot. 6. Zakotwienie kabla w którym nastąpiło gwałtowne zwolnienie siły w jednej linii na etapie sprężania, na linie bez naciągu brak szczęk kotwiących	

2. Potencjalne przyczyny

- a) korozja stali sprężającej na skutek braku lub niewłaściwej jakości zabezpieczenia antykorozyjnego
- b) błędy wykonawcze w czasie sprężania
- c) błędy projektowe
- d) wady materiałowe
- e) uszkodzenie mechaniczne

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje, gdy podczas eksploatacji obiektu zaobserwowano brak naciągu w pojedynczych linach kabli, spowodowany gwałtownym zwolnieniem w nich siły na etapie sprężania, jeżeli ilość lin bez naciągu stanowi nie więcej niż 5% ogólnej liczby lin w kablach sprężenia zewnętrznego w danym przekroju ustroju nośnego.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią o nadmiernym niedoborze nośności obiektu i nie ma zagrożenia, że skala zjawiska może postępować w czasie.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje, gdy podczas eksploatacji obiektu zaobserwowano brak naciągu w pojedynczych linach kabli, spowodowany gwałtownym zwolnieniem w nich siły na etapie sprężania i jeżeli ilość lin bez naciągu stanowi więcej niż 5%, ale nie przekracza 20% ogólnej liczby lin w kablach sprężenia zewnętrznego w danym przekroju ustroju nośnego, lub też w przypadku, gdy nastąpiło zerwanie pojedynczych lin lub drutów kabli w trakcie eksploatacji obiektu.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ niedobór nośności obiektu w związku z przypadkami braku naciągu w pojedynczych linach nie powinien jeszcze stanowić istotnych ograniczeń dla obciążeń eksploatacyjnych. Pojedyncze przypadki zerwania lin lub drutów kabli w trakcie eksploatacji obiektu wskazują natomiast, że w kablach występują czynniki lub procesy destrukcyjne, lecz mają one charakter lokalny, lub też ich efekty oddziaływania są dopiero w stadium początkowym.

Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy ilość lin bez naciągu lub ilość zerwanych lin lub drutów kabli w trakcie eksploatacji obiektu stanowi więcej niż 20% powierzchni przekroju stali sprężającej w kablach zewnętrznych w danym przekroju ustroju nośnego obiektu.

Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Zaobserwowane podczas eksploatacji przypadki braku naciągu w pojedynczych linach kabli z powodu gwałtownego zwolnienia w nich siły na etapie sprężania są łatwe do zdiagnozowania, ponieważ występują wyraźne objawy w postaci deformacji, a w skrajnych przypadkach nawet rozerwania rury osłonowej kabla. W związku z czym usterki takie powinny być w zasadzie identyfikowane podczas odbioru robót i objęte programem naprawczym przez wykonawcę sprężania. Dużo trudniejsze do wykrycia są zerwania pojedynczych lin lub drutów w kablu powstałe w trakcie eksploatacji, które na ogół nie powodują widocznych uszkodzeń rur osłonowych.

W jednym i drugim przypadku dokonanie oceny stanu dźwigara wymaga jednak wykonania dodatkowych czynności diagnostycznych w postaci odkrywek w miejscach widocznych uszkodzeń rur osłonowych lub w miejscach wytypowanych na podstawie oceny akustycznej stanu wypełnienia rury osłonowej kabla. Podczas ostukiwania rury osłonowej młotkiem, czysty, dźwięczny odgłos będzie oznaczał odpowiedniej jakości utwardzony iniekt, dobrze przylegający do ostukiwanej powierzchni rury. Głuchy lub przytłumiony dźwięk może natomiast świadczyć o występowaniu pustek, miejsc zawilgoconych, niskiej jakości miękkiego,

nieutwardzonego iniektu lub też iniektu rozdrobnionego w wyniku zerwania drutów, czy też procesów korozji stali. Są to miejsca, gdzie potencjalnie mogą występować pojedyncze zerwane liny lub druty. Dla zweryfikowania stanu kabla w miejscach wątpliwych mogą być wykonywane niewielkie odkrywki poprzez nawiercanie lub wycinanie otworów w rurze osłonowej przy zachowaniu szczególnej ostrożności podczas wykonywania tych czynności, aby nie doszło do uszkodzenia splotów. Dopiero w potwierdzonych miejscach występowania uszkodzeń wykonuje się większą odkrywkę, pozwalającą na określenie ilości zerwanych lin lub drutów w kablu. Podczas wykonywania odkrywki należy zachować szczególną ostrożność.

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki braku naciągu w pojedynczych linach kabli z powodu niezauważonego wcześniej zwolnienia w nich siły na etapie sprężania, lub też przypadki zerwania pojedynczych lin czy drutów kabli w trakcie eksploatacji obiektu, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) **Ocena 3:**

- zlecenie wykonania naprawy kabli sprężających w miejscach wykonywanych odkrywek.

b) **Ocena 2:**

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - na ogół taki zakres uszkodzeń nie powoduje konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu, jednak ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

c) **Ocena 1:**

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wyłączeniu lub wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - jeżeli oprócz zerwania lin lub drutów występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach potrzebę i ewentualny zakres ograniczenia ruchu należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizę dokumentacji powykonawczej, szczególnie w przypadku gdy problem stanowią nienaciągnięte liny w kablach,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne mające na celu określenie przyczyn powodujących zerwanie pojedynczych lin lub drutów kabli w trakcie eksploatacji obiektu,
- analizy obliczeniowe nośności obiektu z uwzględnieniem efektów występujących uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub innych działań zabezpieczających, zależnych od zakresu i ustalonych przyczyn powstania uszkodzeń.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań kabli przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnego zerwania kabla,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.1.3.	BRAKI WYPEŁNIENIA RURY OSŁONOWEJ LUB NIEODPOWIEDNIA JAKOŚĆ ZACZYNU INIEKCYJNEGO	
1. Typowy obraz uszkodzeń		
		
Fot. 1. Brak wypełnienia zaczynem iniekcyjnym górnej części przekroju rury osłonowej (obraz odkrywki wykonanej poprzez nawiercenie otworu w rurze osłonowej)	Fot. 2. Możliwy całkowity brak wypełnienia zaczynem iniekcyjnym, widoczne odsłonięte sploty na poziomie połowy wysokości przekroju rury osłonowej (obraz odkrywki wykonanej poprzez wycięcie otworu lutownicą)	
		
Fot. 3. Całkowity brak wypełnienia zaczynem iniekcyjnym osłony kabla, widoczny lokalnie nalot korozyjny na linach (obraz odkrywki wykonanej poprzez usunięcie fragmentu rury osłonowej) [7]	Fot. 4. Niewłaściwej jakości zaczyn iniekcyjny w górnej części rury osłonowej, wilgotny materiał o białło-beżowym zabarwieniu, łatwo daje się odspajać, występuje korozja stali mającej kontakt z tym materiałem	
		
Fot. 5. Niewłaściwej jakości zaczyn iniekcyjny w całym przekroju rury osłonowej, suchy materiał o białej barwie i zwartej strukturze, łatwo daje się odspajać, nie występuje korozja stali sprężającej	Fot. 6. Niewłaściwej jakości zaczyn iniekcyjny w górnej części przekroju rury osłonowej, suchy materiał o białej barwie i porowatej strukturze, łatwo daje się odspajać [8]	

2. Potencjalne przyczyny

- a) niewłaściwe rozwiązania technologiczne w zakresie procesu iniekcji kanałów kablowych
- b) błędy wykonawcze w czasie iniekcji kanałów kablowych
- c) nieodpowiednie warunki środowiskowe wykonywania iniekcji
- d) niewłaściwa receptura zaczynu iniekcyjnego
- e) użycie niepełnowartościowych (poza okresem przydatności lub nieprawidłowo przechowywanych) materiałów

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje w przypadku, gdy braki wypełnienia rury osłonowej lub nieodpowiednią jakość zaczynu iniekcyjnego zaobserwowano jedynie lokalnie w górnej części przekroju rury osłonowej.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność konstrukcji. Jednak zależnie od aktualnego czasu użytkowania obiektu, nie zawsze można wykluczyć, że w takich miejscach nie występują warunki sprzyjające powstaniu korozji stali sprężającej.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje wtedy, gdy stwierdzono przypadki całkowitego braku wypełnienia zaczynem iniekcyjnym rur osłonowych kabli lub stwierdzone nieprawidłowości wypełnienia wykraczają zakresem poza kryteria podane dla oceny 3.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu, jednak istnieją potencjalne warunki powstania i rozwoju procesów korozyjnych stali sprężającej.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Nieprawidłowości związane ze stanem zabezpieczenia antykorozyjnego kabli nie objawiają się w sposób możliwy do oceny bez wykonania dodatkowych czynności diagnostycznych w postaci odkrywek w miejscach wytypowanych na podstawie oceny akustycznej stanu wypełnienia rury osłonowej kabla. Podczas ostukiwania rury osłonowej młotkiem, czysty, dźwięczny odgłos będzie oznaczał odpowiedniej twardości iniekt, dobrze przylegający do ostukiwanej powierzchni. Głuchy lub przytłumiony dźwięk może natomiast świadczyć o występowaniu pustek, miejsc zawilgoconych i niewłaściwej strukturze iniektu. Dla zweryfikowania stanu wypełnienia rury osłonowej i jakości zaczynu cementowego w miejscach wątpliwych mogą być wykonywane niewielkie odkrywki poprzez nawiercanie lub wycinanie otworów w rurze osłonowej. W przypadku występowania pustek w wypełnieniu, pomocne w ocenie zjawiska są kamery inspekcyjne, natomiast przy weryfikowaniu jakości zaczynu cementowego sprawdzają się ostro zakończone narzędzia ręczne. W niektórych przypadkach dopiero usunięcie znacznych fragmentów rury osłonowej pozwoli na pełną ocenę występujących nieprawidłowości.

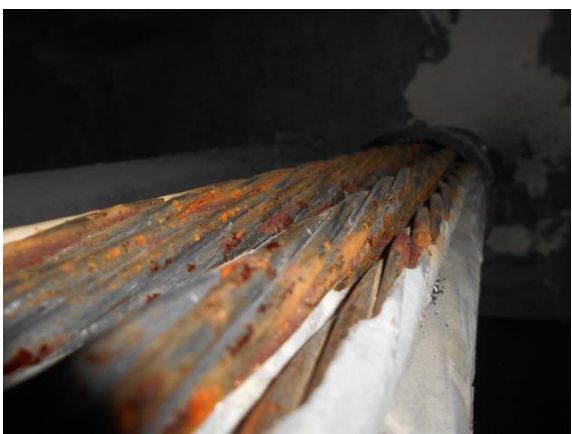
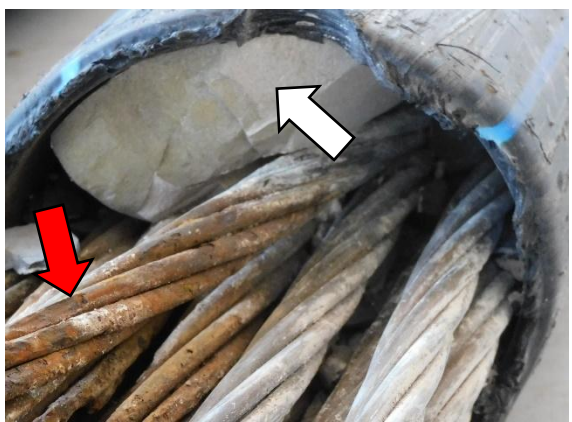
Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki braku wypełnienia rury osłonowej lub nieodpowiednia jakość zaczynu iniekcyjnego, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) Ocena 3:

- zlecenie wykonania napraw polegających na usunięciu nieodpowiedniej jakości zaczynu cementowego i wypełnieniu wszystkich pustych przestrzeni w rurach osłonowych odpowiednim materiałem.

b) Ocena 2:

- zlecenie opracowania projektu technologicznego oraz wykonania napraw polegających na usunięciu nieodpowiedniej jakości zaczynu cementowego i wypełnieniu wszystkich pustych przestrzeni w rurach osłonowych odpowiednim materiałem.

Tablica 5.1.4.	KOROZJA STALI SPRĘŻAJĄCEJ
1. Typowy obraz uszkodzeń	
 Fot. 1. Obraz pozbawionej korozji powierzchni lin sprężających kabla w miejscu prawidłowo działającego zabezpieczenia antykorozyjnego (widok tuż po usunięciu fragmentu zaczynu iniekcyjnego kabla)	 Fot. 2. Korozja powierzchniowa lin kabla w którym w ogóle nie wykonano zabezpieczenia antykorozyjnego (widok po usunięciu fragmentu rury osłonowej) [8]
 Fot. 3. Korozja powierzchniowa lin kabla, w którym górna część przekroju rury osłonowej nie była wypełniona iniektem (widok po usunięciu fragmentu rury osłonowej)	 Fot. 4. Korozja lin kabla w którym górna część przekroju rury osłonowej była wypełniona iniektem o niewłaściwej jakości (widok po usunięciu fragmentu rury osłonowej)
 Fot. 5. Ubytki korozyjne stali sprężającej, w miejscu gdzie w części przekroju rury osłonowej występował iniekt o niewłaściwej jakości (widok po usunięciu fragmentu rury osłonowej)	 Fot. 6. Szczegół z obrazem ubytków korozyjnych w drutach lin sprężających

2. Potencjalne przyczyny

- a) brak lub niewłaściwe wykonanie elementów zabezpieczenia antykorozyjnego kabla
- b) zanieczyszczenia chemiczne stali sprężającej przed wbudowaniem

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje w przypadku, gdy zaobserwowano korozję powierzchniową stali sprężającej, powstałą w miejscach występowania braków wypełnienia rury osłonowej lub nieodpowiedniej jakości zaczynu iniekcyjnego, które mają charakter lokalny i obejmują jedynie górną część przekroju rury osłonowej.

Występuje niski poziom zagrożenia podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność konstrukcji. Jednak zależnie od aktualnego czasu użytkowania obiektu nie zawsze można wykluczyć, że w takich miejscach nie występują warunki sprzyjające rozwojowi procesów korozyjnych w czasie.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy korozja powierzchniowa stali sprężającej występuje w zakresie wykraczającym poza kryteria podane dla oceny 3, lub też stwierdzono miejsca, gdzie korozja spowodowała ubytki powierzchni przekroju stali sprężającej.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu, jednak istnieją potencjalne warunki powstawania i rozwoju procesów korozyjnych stali sprężającej.

Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy ubytki korozyjne stanowią więcej niż 20% powierzchni przekroju stali sprężającej w kablach zewnętrznych w danym przekroju ustroju nośnego obiektu.

Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Podobnie jak w przypadkach innych usterek i uszkodzeń występujących wewnątrz rur osłonowych kabli, ocena stanu korozji stali sprężającej wymaga wykonania dodatkowych czynności diagnostycznych w postaci odkrywek w miejscach wytypowanych na podstawie oceny akustycznej stanu wypełnienia rury osłonowej kabla.

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki korozji stali sprężającej, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) Ocena 3:

- zlecenie wykonania napraw polegających na usunięciu nieodpowiedniej jakości zaczynu cementowego, oczyszczeniu stali z produktów korozji i wypełnieniu wszystkich pustych przestrzeni w rurach osłonowych odpowiednim materiałem.

b) Ocena 2:

- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

c) Ocena 1:

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wyłączeniu lub wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - jeżeli oprócz zerwania lin lub drutów występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach potrzebę i ewentualny zakres ograniczenia ruchu należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację i ocenę uszkodzeń,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne mające na celu określenie przyczyn powodujących korozję stali sprężającej,
- analizy obliczeniowe nośności obiektu z uwzględnieniem efektów występujących uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub innych działań zabezpieczających, zależnych od zakresu i ustalonych przyczyn powstania uszkodzeń.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań kabli przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnego zerwania kabla,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.1.5.	USZKODZENIA RURY OSŁONOWEJ KABLA	
1. Typowy obraz uszkodzeń		
		
Fot. 1. Deformacje rury osłonowej kabla spowodowane gwałtownym zwolnieniem naciągu w pojedynczych linach w trakcie sprężania lub zerwaniem kabla	Fot. 2. Rozerwanie rury osłonowej na skutek gwałtownego zwolnienia siły w pojedynczej linie w czasie sprężania	
		
Fot. 3. Przerwana ciągłość osłony w miejscu jej łączenia na skutek zerwania kabla [4]	Fot. 4. Zniszczone powłoki malarskie i korozja stalowej rury osłonowej zewnętrznych kabli wzmacniających	
2. Potencjalne przyczyny		
a) uszkodzenia mechaniczne b) brak bieżącego utrzymania		
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania		
Zdecydowana większość przypadków uszkodzeń rur osłonowych zewnętrznych kabli sprężających dotyczy uszkodzeń mechanicznych rur z tworzywa sztucznego, które powstają w wyniku zerwania kabla lub też gwałtownego zwolnienia siły naciągu w pojedynczych linach podczas sprężania i jako efekt wtórny nie podlegają indywidualnej ocenie. W przypadkach takich o stanie dźwigara decyduje ocena zjawiska, które te uszkodzenia spowodowało (patrz tablice 5.1.1 i 5.1.2). W przypadku stalowych rur osłonowych, stosowanych czasami w zewnętrznych kablach wzmacniających, mogą natomiast występować uszkodzenia korozyjne, a przypadki uszkodzeń mechanicznych ograniczają się w zasadzie do kolizji z pojazdami przejeżdżającymi pod obiektem.		

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje, gdy na skutek zniszczenia powłok malarskich stalowych rur osłonowych kabli sprężenia zewnętrznego zaobserwowano ubytki materiału wynikające z postępujących procesów korozyjnych.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność obiektu.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku gdy wystąpiła perforacja stalowych rur osłonowych kabli zewnętrznych na skutek postępujących procesów korozyjnych lub uszkodzenia mechanicznego, szczególnie w przypadku zastosowania zabezpieczenia antykorozyjnego stali sprężającej w postaci materiału lepko-plastycznego (smary, woski, bitumy).

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu, aczkolwiek istnieją potencjalne warunki rozwoju procesów korozyjnych stali sprężającej.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki uszkodzenia rury osłonowej kabla, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) **Ocena 3:**

- wykonanie napraw w zakresie prac utrzymaniowych.

b) **Ocena 2:**

- dokonanie oceny stanu kabla pod kątem ewentualnej korozji lin oraz obecności w kanale kablowym wody lub zanieczyszczeń, szczególnie jeżeli w wyniku perforacji rur osłonowych nastąpił wyciek materiału stanowiącego zabezpieczenie antykorozyjne stali sprężającej,
- zlecenie opracowania ewentualnego projektu technologicznego (jeżeli jest wymagana wymiana zabezpieczenia antykorozyjnego) oraz wykonania napraw w zakresie stosownym do dokonanej oceny stanu technicznego kabla.

Tablica 5.1.6.	USZKODZENIA ZABEZPIECZENIA ANTYKOROZYJNEGO I KOROZJA ZAKOTWIENIA KABLA
1. Typowy obraz uszkodzeń	
 Fot. 1. Przykład zabezpieczenia strefy zakotwień, po lewej ocynkowana płyta oporowa i stalowa ocynkowana osłona zakotwienia, po prawej osłona z tworzywa sztucznego i powłoki malarskie (brak uszkodzeń)	 Fot. 2. Przykład zabezpieczenia strefy zakotwień poprzez obetonowanie (widok po skuciu betonu, brak uszkodzeń korozyjnych)
 Fot. 3. Obraz powierzchniowej korozji zakotwienia na powierzchni styku z jego osłoną (widok po zdemontowaniu osłony i skuciu zaczynu cementowego)	 Fot. 4. Obraz powierzchniowej korozji płyty oporowej zakotwienia
 Fot. 5. Obraz korozji ogólnej stalowej osłony i bloku zakotwienia z widocznymi ubytkami materiału	 Fot. 6. Zaawansowana korozja zakotwienia i stali sprężającej na skutek wadliwego wykonania zabezpieczenia antykorozyjnego iniekcją cementową (widok po zdjęciu osłony zakotwienia) [9]

2. Potencjalne przyczyny

- a) brak lub niewłaściwa jakość zabezpieczenia antykorozyjnego kabla,
- b) błędy wykonawcze,
- c) brak bieżącego utrzymania.

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje w przypadku gdy nastąpiło zniszczenie powłok zabezpieczenia antykorozyjnego płyty oporowej, zakotwienia lub też jego stalowej osłony oraz zaobserwowano ubytki materiału wynikające z postępujących procesów korozyjnych.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność obiektu.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku gdy na skutek braku lub niewłaściwej jakości zabezpieczenia antykorozyjnego kabla lub też poważnych uszkodzeń osłony zakotwienia, korozja obejmuje strefę szczęk kotwiących zakotwienia oraz liny sprężające.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu, aczkolwiek istnieją potencjalne warunki dalszego rozwoju procesów korozyjnych stali.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzeń

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone przypadki uszkodzenia rury osłonowej kabla, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) **Ocena 3:**

- wykonanie napraw w zakresie prac utrzymaniowych.

b) **Ocena 2:**

- zlecenie wykonania napraw polegających na dokładnym oczyszczeniu zakotwienia z pozostałości starego zabezpieczenia antykorozyjnego oraz produktów korozji, naprawie/wymianie osłony zakotwienia oraz odtworzeniu wszystkich elementów zabezpieczenia antykorozyjnego zakotwienia, osłony i blachy oporowej.

Tablica 5.1.7.	USZKODZENIA BETONOWYCH BŁOKÓW OPOROWYCH I DEWIATORÓW
1. Typowy obraz uszkodzeń	
	
Fot. 1. Powierzchnia czołowa bloku oporowego, widoczne naprawy ubytków w strefie kanałów kablowych	Fot. 2. Pionowe zarysowania o charakterze skurczowym na bocznej powierzchni bloku oporowego zlokalizowane w miejscu występowania prętów zbrojeniowych
	
Fot. 3. Pęknięcie betonu na czole bloku oporowego usytuowane promieniście względem kanału kablowego spowodowane oddziaływaniem siły poprzecznej od kabla sprężającego [4]	Fot. 4. Zarysowanie na czole bloku oporowego usytuowane promieniście względem kanału kablowego powstałe na skutek oddziaływania czynników reologicznych lub termicznych
	
Fot. 5. Zarysowanie betonu dewiatora dolnego spowodowane oddziaływaniem siły poprzecznej od kabla sprężającego	Fot. 6. Odspojenie fragmentu betonu dewiatora dolnego spowodowane oddziaływaniem siły poprzecznej od kabla sprężającego

2. Potencjalne przyczyny
a) błędy projektowe b) błędy wykonawcze
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania
Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje w przypadku, gdy występują lokalnie ubytki betonu i raki w strefie płyt oporowych zakotwień, lub też pęknięcia i zarysowania betonu bloków oporowych/dewiatorów spowodowane oddziaływaniem sił poprzecznych od kabli sprężających, które mają charakter lokalny i obejmują jedynie niewielki fragment przekroju elementu, najczęściej przy krawędzi powierzchni czołowej w pobliżu kanałów kablowych. Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie wpływają na nośność obiektu. Wynikają najczęściej z niewłaściwego ukształtowania kanału kablowego w płaszczyźnie pionowej, co powoduje lokalne przekroczenia wytrzymałości betonu. Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy występują istotne ubytki betonu lub zarysowania w strefie płyt oporowych zakotwień, czy też pęknięcia i zarysowania betonu bloków oporowych/dewiatorów spowodowane oddziaływaniem sił poprzecznych od kabli sprężających, które swoim zasięgiem obejmują większą część przekroju elementu. Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie wpływają jeszcze na nośność obiektu. Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie konstrukcji bloku oporowego/dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy kabla) pojedynczych kabli w danym przekroju przęsła. Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu. Ocena 0 – stan awaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie konstrukcji bloku oporowego/dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy kabla) kilku kabli stanowiących o stanie naprężeń w tym samym przekroju ustroju nośnego lub też dodatkowo wystąpienia zarysowań betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających. Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych kabli, które mogą być przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.
4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia
Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone uszkodzenia betonowych bloków oporowych i dewiatorów, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący: a) Ocena 3: – monitorowanie przez okres co najmniej 12 miesięcy stanu uszkodzeń w zakresie rozwarcia, zasięgu i propagacji zarysowań, jak również stabilności osadzenia płyt oporowych zakotwień i ewentualnych objawów korozji zbrojenia, – zlecenie wykonania napraw powierzchniowych betonu, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter pasywny, – zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter aktywny. b) Ocena 2:

- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

c) Ocena 1:

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli kabel, w którym wystąpił spadek siły naciągu, stanowi nie więcej niż 20% sprężenia zewnętrznego w danym przekroju ustroju nośnego i nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęseł, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu; ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

d) Ocena 0:

- odstąpienie od inspekcji pozostałych kabli i opuszczenie strefy zagrożenia,
- dokonanie oceny stanu zewnętrznych powierzchni ustroju nośnego w zakresie ewentualnych rys i spękań, szczególnie w strefach podporowych ustrojów ciągłych i w środkach rozpiętości przęseł,
- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz zniszczenia bloku oporowego/dewiatora występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń w kolejnych elementach,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań kabli przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych kabli,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.1.8.	USZKODZENIA STALOWYCH BŁOKÓW OPOROWYCH I DEWIATORÓW
1. Typowy obraz uszkodzeń	
	
Fot. 1. Stalowy dewiator mocowany do poprzecznicy ustroju belkowego, zabezpieczony antykorozyjnie poprzez cynkowanie	Fot. 2. Stalowy dewiator mocowany do dźwigara głównego, zabezpieczony antykorozyjnie powłokami malarskimi, widoczne punktowe ogniska korozji stali
	
Fot. 3. Stalowy dewiator mocowany do poprzecznicy ustroju belkowego, zabezpieczony antykorozyjnie powłokami malarskimi, widoczna lokalnie korozja stali	Fot. 4. Zaawansowana korozja stalowego dewiatora kabli wzmacniających dźwigar o przekroju skrzynkowym
	
Fot. 5. Zaawansowana korozja stalowej konstrukcji bloku oporowego kabli wzmacniających dźwigar o przekroju skrzynkowym	Fot. 6. Przesunięcie (pochylenie) stalowej konstrukcji bloku oporowego na skutek uszkodzeń korozyjnych jej elementów

2. Potencjalne przyczyny

- a) błędy projektowe
- b) błędy wykonawcze
- c) brak utrzymania

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący dźwigara występuje w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie powłok zabezpieczenia antykorozyjnego stalowej konstrukcji bloków oporowych lub dewiatorów oraz zaobserwowano pierwsze objawy ubytków korozyjnych stali.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność obiektu.

Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy w konstrukcji stalowych bloków oporowych lub dewiatorów stwierdzono pęknięcia lub deformacje w elementach drugorzędnych, braki lub uszkodzenia pojedynczych łączników (elementów kotwiących), lokalnie występujące wady połączeń spawanych, lub też stwierdzono, że zakres uszkodzeń korozyjnych stali ma istotny wpływ na wytrzymałość poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu.

Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy w konstrukcji stalowych bloków oporowych lub dewiatorów stwierdzono pęknięcia lub deformacje w elementach bezpośrednio obciążonych, braki lub uszkodzenia łączników (elementów kotwiących) przenoszących oddziaływania sił naciągu w kablach, nastąpiło zniszczenie konstrukcji bloku oporowego/dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy kabla) pojedynczych kabli w danym przekroju przęsła.

Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu.

Ocena 0 – stan awaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie konstrukcji bloku oporowego/dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy kabla) kilku kabli stanowiących o stanie naprężeń w tym samym przekroju ustroju nośnego lub też dodatkowo wystąpienia zarysowań betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających.

Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych kabli, które mogą być przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone uszkodzenia betonowych bloków oporowych i dewiatorów, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

- a) **Ocena 3:**
 - wykonanie napraw w zakresie prac utrzymaniowych.
- b) **Ocena 2:**
 - zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.
- c) **Ocena 1:**
 - niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
 - podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli

kabel, w którym wystąpił spadek siły naciągu, stanowi nie więcej niż 20% sprężenia zewnętrznego w danym przekroju ustroju nośnego i nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęseł, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu; ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,

- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

d) Ocena 0:

- odstąpienie od inspekcji pozostałych kabli i opuszczenie strefy zagrożenia,
- dokonanie oceny stanu zewnętrznych powierzchni ustroju nośnego w zakresie ewentualnych rys i spękań, szczególnie w strefach podporowych ustrojów ciągłych i w środkach rozpiętości przęseł,
- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz zniszczenia bloku oporowego/dewiatora występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń w kolejnych elementach,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań kabli przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych kabli,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.1.9.	PIONOWE ZARYSOWANIA DŹWIGARÓW W STREFIE EKSTREMALNYCH MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH
1. Typowy obraz uszkodzeń	
	
Fot 1. Poglądowy obraz zarysowań w strefie ekstremalnych momentów zginających spowodowany przeciążeniem konstrukcji lub niedoborem siły sprężającej	
2. Potencjalne przyczyny	
a) ubytek siły sprężającej w konstrukcji, b) błędy projektowe, c) błędy wykonawcze, d) wystąpienie obciążeń przekraczających nośność przekroju.	
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	
Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy maksymalne rozwarcie rys wynosi nie więcej niż 0,1 mm w przypadku konstrukcji projektowanej przy założeniu sprężenia pełnego lub ograniczonego, lub też przekracza 0,1 mm w przypadku sprężenia częściowego, jednocześnie nie stwierdzono uszkodzeń kabli zewnętrznych, które wymagałyby zastosowania niższej oceny. Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie zawsze są efektem znaczącej utraty nośności, tym bardziej, że nie stwierdzono krytycznych uszkodzeń w kablach sprężenia zewnętrznego. Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy maksymalne rozwarcie rys przekracza 0,1 mm w przypadku konstrukcji projektowanej przy założeniu sprężenia pełnego lub ograniczonego, jednocześnie nie stwierdzono uszkodzeń kabli zewnętrznych, które wymagałyby zastosowania niższej oceny. Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie wskazują na istotny niedobór nośności, szczególnie gdy wynika to również z przedawaryjnego stanu kabli sprężania zewnętrznego.	

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone pionowe zarysowania dźwigarów w strefie ekstremalnych momentów zginających, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) **Ocena 2:**

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - na ogół taki zakres uszkodzeń nie powoduje konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu, jednak ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

b) **Ocena 1:**

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli oprócz zarysowań betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających stwierdzono również stan przedawaryjny zewnętrznych kabli sprężających (ocena 1), obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach potrzebę i ewentualny zakres ograniczenia ruchu należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku eskalacji zjawisk będących przyczyną uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- okresowe pomiary zmian siły naciągu w kablach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

5.2 Obiekty kablobetonowe z kablami wewnętrznymi, w tym ze sprężoną płytą pomostu

Przykłady oraz omówienie charakterystycznych usterek związanych ze sprężeniem obiektów kablobetonowych z kablami wewnętrznymi zawierają następujące tablice:

- Tablica 5.2.1. Zarysowania pionowe dźwigarów w strefie ekstremalnych momentów zginających
- Tablica 5.2.2. Zarysowania, pęknięcia i odspojenia otuliny betonowej kabli sprężających
- Tablica 5.2.3. Uszkodzenia betonu w strefie zakotwień

Tablica 5.2.1.	ZARYSOWANIA PIONOWE DŹWIGARÓW W STREFIE EKSTREMALNYCH MOMENTÓW ZGINAJĄCYCH
1. Typowy obraz uszkodzeń	
	
Fot 1. Poglądowy obraz zarysowań w strefie ekstremalnych momentów zginających spowodowany przeciążeniem konstrukcji lub niedoborem siły sprężającej	
2. Potencjalne przyczyny	
a) ubytek siły sprężającej w konstrukcji, b) błędy projektowe, c) błędy wykonawcze, a) wystąpienie obciążeń przekraczających nośność przekroju.	
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	
Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy maksymalne rozwarcie rys wynosi nie więcej niż 0,1 mm w przypadku konstrukcji projektowanej przy założeniu sprężenia pełnego lub ograniczonego, lub też przekracza 0,1 mm w przypadku sprężenia częściowego, jednocześnie nie stwierdzono jeszcze wyraźnych strzałek ugięcia przęseł, ewidentnych objawów korozji stali sprężającej w kablach, czy też dużego skupienia rys w strefie rozciąganej. Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie zawsze są efektem znaczącej utraty nośności, na co wskazuje również brak lub umiarkowany charakter innych objawów towarzyszących tego rodzaju nieprawidłowościom. Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy maksymalne rozwarcie rys przekracza 0,1 mm w przypadku konstrukcji projektowanej przy założeniu sprężenia pełnego lub ograniczonego, szczególnie gdy stwierdzono występowanie strzałek ugięcia przęseł, wyraźne objawy korozji stali sprężającej w kablach, lub też zarysowania występują regularnie o dużym skupieniu w całej strefie rozciąganej. Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie wskazują na istotny niedobór nośności.	

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone pionowe zarysowania dźwigarów w strefie ekstremalnych momentów zginających, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) Ocena 2:

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - na ogół taki zakres uszkodzeń nie powoduje konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu, jednak ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

b) Ocena 1:

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli oprócz zarysowań betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających stwierdzono również ubytki korozyjne, które oszacowano na więcej niż 20% przekroju czynnego kabli w danym przekroju ustroju nośnego, to obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach potrzebę i ewentualny zakres ograniczenia ruchu należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe wpływu efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku eskalacji zjawisk będących przyczyną uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.2.2.	ZARYSOWANIA, PĘKNIĘCIA I ODSPOJENIA OTULINY BETONOWEJ KABLI SPRĘŻAJĄCYCH
1. Typowy obraz uszkodzeń	
 Fot. 1. Obraz zarysowania na bocznej powierzchni środnika dźwigara kablobetonowego, przebiegającego wzdłuż trasy kabla sprężającego, przyczyną którego jest korozja stali sprężającej [10]	 Fot. 2. Obraz zarysowania o dużym rozwierciu na bocznej powierzchni dźwigara kablobetonowego, przebiegającego wzdłuż trasy kabla sprężającego, przyczyną którego jest zaawansowana korozja stali sprężającej
 Fot. 3. Odspojenie otuliny betonowej kabla wewnętrznego w górnej płycie przekroju skrzynkowego na skutek oddziaływania siły poprzecznej od kabla sprężającego w miejscu załamania jego trasy	 Fot. 4. Uszkodzenie o takim samym charakterze jak na fotografii 3 po usunięciu odspojonych fragmentów betonu
 Fot. 5. Obraz uszkodzeń betonu na spodzie płyty dolnej przekroju skrzynkowego na skutek oddziaływania sił poprzecznych powstałych w wyniku imperfekcji kabli sprężających [10]	 Fot. 6. Odspojenie fragmentu otuliny betonowej na spodzie dźwigara kablobetonowego na skutek zaawansowanej korozji stali sprężającej

2. Potencjalne przyczyny
a) korozja stali sprężającej, b) błędy projektowe, c) błędy wykonawcze.
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania
Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy stwierdzono zarysowania otuliny betonowej wzdłuż trasy kabli, powstałe na skutek korozji stali sprężającej, lub gdy pęknięcia i odspojenia otuliny spowodowane oddziaływaniem sił poprzecznych od kabli sprężających mają charakter lokalny i nie powodują istotnej zmiany trasy kabli. Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie powodują znaczącej utraty nośności. Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy stwierdzone zarysowania otuliny betonowej wzdłuż trasy kabli występują łącznie z innymi nieprawidłowościami, jak podano to w tablicy 5.2.1 dla oceny 1, lub gdy w wyniku oddziaływania sił poprzecznych od kabli sprężających nastąpiło uszkodzenie nie tylko betonu, ale również zbrojenia, w wyniku czego doszło do przemieszczenia pojedynczych kabli w danym przekroju przęsła. Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu. Ocena 0 – stan awaryjny dźwigara występuje w przypadku, gdy w wyniku oddziaływania sił poprzecznych od kabli sprężających nastąpiło uszkodzenie nie tylko betonu, ale również zbrojenia, w wyniku czego doszło do przemieszczenia kilku kabli stanowiących o stanie naprężeń w tym samym przekroju ustroju nośnego, szczególnie gdy dodatkowo wystąpiły zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających. Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie wystąpienia podobnych uszkodzeń w innych miejscach, a nawet zerwania kabli w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.
4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia
Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone uszkodzenia betonowych bloków oporowych i dewiatorów, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący: a) Ocena 2: – zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej. c) Ocena 1: – niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi, – podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli w związku z występującymi zarysowaniami wzdłuż kabli stwierdzono ubytki korozyjne, które oszacowano na więcej niż 20% przekroju czynnego kabli w danym przekroju ustroju nośnego oraz dodatkowo występują zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach potrzebę i ewentualny zakres ograniczenia ruchu należy skonsultować z projektantem/ekspertem, – zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej. e) Ocena 0: – odstąpienie od dalszej inspekcji i opuszczenie strefy zagrożenia, – dokonanie oceny stanu zewnętrznych powierzchni ustroju nośnego w zakresie ewentualnych rys i spękań, szczególnie w strefach podporowych ustrojów ciągłych i w środkach rozpiętości przęseł, – niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,

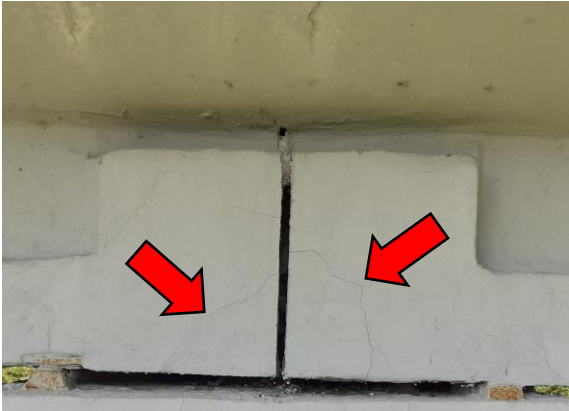
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz przemieszczenia kabli występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku eskalacji zjawisk będących przyczyną uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 5.2.3.	ZARYSOWANIA BETONU W STREFIE ZAKOTWIĘĆ
1. Typowy obraz uszkodzeń	
 Fot 1. Zarysowania betonu na bocznej powierzchni dźwigara kablobetonowego w strefie kotwienia, spowodowane najprawdopodobniej oddziaływaniem sił naciągu w kablach	 Fot 2. Zarysowania betonu na bocznej powierzchni dźwigara kablobetonowego w strefie kotwienia, spowodowane najprawdopodobniej korozją kabli
2. Potencjalne przyczyny	
a) korozja zakotwień i elementów bloku oporowego, b) błędy projektowe, c) błędy wykonawcze.	
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	
Ocena 2 – stan niedostateczny dźwigara występuje w przypadku, gdy występują zarysowania betonu w strefie kotwienia kabli sprężających, których charakter wskazuje na przyczyny związane z oddziaływaniem sił naciągu w kablach sprężających lub też procesami korozyjnymi zakotwień i bloków oporowych. Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie wpływają jeszcze na nośność obiektu.	
4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia	
Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone zarysowania betonu w strefie kotwienia kabli sprężających, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący: a) Ocena 2: – monitorowanie przez okres co najmniej 12 miesięcy stanu uszkodzeń w zakresie rozwarcia, zasięgu i propagacji zarysowań, jak również ewentualnych objawów korozji zbrojenia, – zlecenie wykonania napraw powierzchniowych betonu, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter pasywny, – zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter aktywny. Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej: – inwentaryzację uszkodzeń, – analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej, – badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,	

- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku eskalacji zjawisk będących przyczyną uszkodzeń,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

6. USZKODZENIA WYSTĘPUJĄCE W KONSTRUKCJACH CIĘGNOWYCH

Podział uszkodzeń obiektów ciągnowych ze względu na element obiektu ciągnowego przedstawia Tablica 6.1. i 6.2.

Tablica 6.1.

ZAKOTWIENIE CIĘGIEN PODWIESZAJĄCYCH		
Nr tablicy	Typ/rodzaj uszkodzenia wg leksykonu	Typ/rodzaj uszkodzenia (wg [1] tabl. 3.26)
6.1.1	Korozja elementów zakotwienia	2. Zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych zakotwień, dewiatorów 3. Wyciek materiału wypełniającego 4. Korozja zakotwień lub dewiatorów: a) do 5% powierzchni łącznie b) ponad 5% powierzchni
6.1.2.	Ubytki, rysy i pęknięcia betonu w strefie zakotwień lub w dewiatorach betonowych	5. Uszkodzenia (korozja, ubytki) betonu w strefie zakotwień lub w dewiatorach 6. Rysy i pęknięcia w strefie zakotwień lub w dewiatorach betonowych 7. Deformacja lub zniszczenie zamocowania cięgien lub dewiatorów betonowych
6.1.3.	Pęknięcia, deformacje lub zniszczenie w strefie zakotwień lub w dewiatorach stalowych	6. Rysy i pęknięcia w strefie zakotwień lub w dewiatorach stalowych 7. Deformacja lub zniszczenie zamocowania cięgien lub dewiatorów

Tablica 6.2.

CIĘGNA PODWIESZAJĄCE		
Nr tablicy	Typ/rodzaj uszkodzenia wg leksykonu	Typ/rodzaj uszkodzenia (wg [1] tabl. 3.27)
6.2.1.	Korozja cięgna podwieszającego	3. Zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych 4. Korozja powierzchniowa cięgien a) do 5% powierzchni b) powyżej 5% powierzchni
6.2.2.	Korozja, deformacja osłony cięgna podwieszającego	3. Zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych 5. Pęknięcie osłony kabla, korozja, deformacja, wybrzuszenie osłony 6. Wyciek materiału wypełniającego osłonę kabla
6.2.3.	Zerwanie cięgna podwieszającego	7. Uszkodzenie cięgna (np. utrata ciągłości, zerwanie): a) uszkodzenie pojedynczych splotów b) uszkodzenie pojedynczych cięgien/ kabli powodujące zmniejszenie nośności przęsła c) uszkodzenie większości cięgien powodujące utratę nośności przęsła
6.2.4.	Nadmierne drgania cięgien	8. Nadmierne drgania cięgien

Tablica 6.1.1.	KOROZJA ELEMENTÓW ZAKOTWIENIA
1. Typowy obraz uszkodzenia	
 Fot. 1. Efekty korozji śrub zakotwienia w betonie	 Fot. 2. Skorodowana osłona zakotwienia. Korozja dotyczy najkrótszego ciągu mostu extradosed
 Fot. 3. Skorodowana i nieszczelna osłona zakotwienia	 Fot. 4. Korozja płyty kotwiącej (rysa na betonie zabezpieczenia ocena w tablicy 5.1.6.)
 Fot. 5. Korozja osłony zakotwień cięgien i połączenia	 Fot. 6 Wycieki smarów zabezpieczających z zakotwienia cięgien



Fot. 7 Wyciek medium konserwującego w strefie zakotwienia



Fot. 8 Wycieki smarów zabezpieczających z zakotwienia cięgien, korozja osłony zakotwienia, korozja płyty oporowej



Fot. 9 Korozja i zniszczone zabezpieczenie antykorozyjne zakotwienia

2. Potencjalne przyczyny

- niewłaściwy dobór lub wykonanie zabezpieczenia antykorozyjnego/medium konserwującego
- procesy starzenia powłok
- uszkodzenia mechaniczne
- nagromadzenie zanieczyszczeń utrzymujących wilgoć lub agresywnych chemicznie
- uszkodzenia/nieszczelności połączeń zakotwienia

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący, powierzchniowe zniszczenie powłoki antykorozyjnej osłon zakotwienia bez utraty szczelności, ale ich intensywność obniża trwałość i może powodować przyspieszenie korozji innych elementów; w innym wypadku oceniać wg [1];

Ocena 2 – stan niedostateczny, w szczególności w przypadku:

- określenia skorodowania powierzchni elementu w zakresie ponad 5% powierzchni;
- perforacji osłon powodującej wycieki smarów zabezpieczających (bez rdzawych nalotów na smarach);

Ocena 1 – stan przedawaryjny, w szczególności w przypadku:

- perforacji osłon, wycieku smarów zabezpieczających (z rdzawymi naciekami na smarach);
- korozji zakotwienia z wysunięciem cięgien lub/i znacznej korozji śrub/sworzni tj. zmniejszającej nośność bloków kotwiących.

W przypadku utraty ciągłości cięgna w zakotwieniu spowodowanej procesami korozji, ocenę uszkodzenia i tryb postępowania z uszkodzeniem, należy przyjąć zgodnie z wytycznymi w *Tablicy 6.2.3. Zerwanie cięgna podwieszającego*.

Strefa zakotwienia jest obszarem bardzo wrażliwym na zagrożenie korozyjne. Woda i zanieczyszczenia mogą penetrować w głąb elementu konstrukcji poprzez skorodowane doszczelnione lub uszkodzone elementy osłonowe. Jako najbardziej wrażliwe miejsca należy przyjmować połączenia, w tym w szczególności kompensujące przemieszczenia (np. termiczne lub technologiczne).

Korozja zakotwienia może powodować:

- a) obniżenie siły w cięgnię,
- b) deformacje elementów zakotwienia (w tym zmniejszenia nośności blach lub/i sworzni)),
- c) wysunięcie lub zerwanie splotów w zakotwieniu,
- d) zerwanie trzpieni lub gwintów śrub kotwiących,
- e) uszkodzenia zakotwień o charakterze zmęczeniowym.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzeniaW przypadku oceny 3:

Lokalna naprawa powłok antykorozyjnych osłon zakotwienia cięgien.

W przypadku oceny 2:

- określenie uszkodzeń powłok ochronnych oraz określenie stopnia skorodowania poszczególnych elementów: cięgno, śruby, pokrywy, osłony, bloki kotwiące zakotwień z nakrętkami (należy oszacować stopień skorodowania w stosunku do powierzchni danego elementu) oraz ustalić przyczynę korozji, czy zjawisko dotyczy powierzchni wewnętrznych czy zewnętrznych,
- ocenę stanu medium konserwującego np. wosku,
- odtworzenie i lokalna naprawa zabezpieczenia antykorozyjnego;
- naprawa/wymiana stalowych elementów osłon zakotwienia cięgien.

W przypadku oceny 1:

Należy wykonać szczegółową kontrolę obszaru zakotwienia w szczególności:

- oględziny obszaru zakotwienia, w tym: po zdjęciu pokrywy lub osłony zakotwienia należy sprawdzić obecność wody, stan medium konserwującego (wosk, smar), wzrokowo ocenić sploty cięgien oraz szczęki kotwiące, zamocowanie śrub (poluzowanie śrub),
- szczegółowe oględziny urządzeń regulacyjnych i dewiatorów,
- określenie uszkodzeń powłok ochronnych oraz określenie stopnia skorodowania poszczególnych elementów: cięgno, śruby, pokrywy, osłony, bloki kotwiące zakotwień z nakrętkami (należy oszacować stopień skorodowania w stosunku do powierzchni danego elementu) oraz ustalić przyczynę korozji (czy zjawisko dotyczy powierzchni wewnętrznych czy zewnętrznych).

W przypadku oceny stanu skorodowania osłony zakotwienia poniżej 5% powierzchni – ocena 3 lub 4, w przypadkach wątpliwych lub w przypadku korozji większej niż 5% powierzchni – ocena 2 lub 1, zgodnie z niniejszą kartą.

W przypadku korozji wewnętrznej, penetrującej kanałami w głąb konstrukcji należy wykonać ekspertyzę stanu technicznego.

Ponadto, Inspektor mostowy powinien podjąć następujące kroki:

- określić, czy istnieje zagrożenie bezpieczeństwa zdrowia dla użytkowników ruchu drogowego oraz inspektorów przeprowadzających kontrole na obiekcie;
- zidentyfikować uszkodzenie pod względem intensywności, rozległości i lokalizacji oraz skutków w zakresie bezpieczeństwa;
- sprawdzić i zweryfikować zakres czynności związanych z utrzymaniem systemu podwieszenia (wytyczne od dostawcy lub z dokumentacji wykonawczej i powykonawczej)
- podjąć działania ograniczające ruch na obiekcie. W przypadku zerwania śrub, wysunięcia lub zerwania cięgna w zakotwieniu do czasu opracowania ekspertyzy należy wprowadzić ograniczenia w ruchu lub zamknąć obiekt.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- analizy obliczeniowe nośności obiektu z uwzględnieniem stanu obiektu;
- badania diagnostyczne pod obciążeniem w przypadku konieczności weryfikacji wyników analizy obliczeniowej;
- badania materiałowe i diagnostyczne uszkodzonych elementów oraz inne mające na celu określenie zakresu uszkodzeń;
- zalecenia w zakresie naprawy lub innych działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn uszkodzeń.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, jego zakres może obejmować:

- pomiar drgań want/cięgien/kabli lub wieszaków;
- okresowe pomiary zmian siły naciągu cięgien metodą wibracyjną;
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór.

W zależności od wyników zaleceń ekspertyzy możliwymi środkami zaradczymi mogą być:

- odtworzenie i lokalna naprawa zabezpieczenia antykorozyjnego;
- wymiana elementów rur osłonowych cięgien;
- naprawa lub wymiana zakotwienia;
- regulacja naciągu cięgien.

Tablica 6.1.2.

**UBYTEKI, RYSY I PĘKNIĘCIA BETONU W STREFIE ZAKOTWIENÍ
LUB W DEWIATORACH BETONOWYCH****1. Typowy obraz uszkodzenia**

Fot. 1. Spękania betonu zakotwień cięgien

Fot. 2. Spękania betonu na słupach podtrzymujących
ciągnąFot. 3. Lokalne, poniżej wartości normowych,
zarysowania betonu bloków kotwiących

Fot. 4. Zarysowania dźwigara w rejonie zakotwień

Fot. 5. Rysy na powierzchni dźwigara o rozwartości
do 0,1 mmFot. 6. Zarysowania na całej powierzchni górnej bloku
kotwiącego. Rozwartość rys do 0,3 mm. Odspojenie
powłoki z zapraw



Fot. 7. Łącznie z Fot. 6 – ten sam element



Fot. 8. Zarysowania krzyżowe wsporników na wlocie rury obsadowej wanty

2. Potencjalne przyczyny

- a) beton o zbyt małej niskiej wytrzymałości na ściskanie lub niewystarczające zbrojenie strefy zakotwienia
- b) sprężenie na etapie budowy betonu, który nie osiągnął wymaganej wytrzymałości
- c) w czasie użytkowania na skutek przeciążenia lub obniżenia wytrzymałości betonu np.: spowodowane korozją

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący zakotwienia cięgien podwieszających w betonie, w przypadku, gdy występują lokalnie ubytki betonu i raki w strefie płyt/bloków oporowych zakotwień, lub też pęknięcia i zarysowania betonu bloków oporowych/dewiatorów spowodowane oddziaływaniem sił od cięgien (m.in. poprzecznych w dewiatorach), które mają charakter lokalny i obejmują jedynie niewielki fragment przekroju elementu, najczęściej przy krawędzi powierzchni czołowej zakotwienia.

Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie wpływają na nośność obiektu. Wynikają najczęściej z niewłaściwego ukształtowania zakotwienia cięga, co powoduje lokalne przekroczenia dopuszczalnych naprężeń w betonie.

Ocena 2 – stan niedostateczny zakotwienia cięgien podwieszających w betonie, w przypadku, gdy występują istotne ubytki betonu lub zarysowania w strefie płyt/bloków oporowych zakotwień, czy też pęknięcia i zarysowania betonu bloków oporowych/dewiatorów spowodowane oddziaływaniem sił od cięgien (m.in. poprzecznych w dewiatorach), które swoim zasięgiem obejmują większą część przekroju elementu.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie wpływają jeszcze na nośność obiektu, ale stan obiektu może się pogorszyć.

Ocena 1 – stan przedawaryjny zakotwienia cięgien podwieszających w betonie, w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie konstrukcji zakotwień w strefie płyt/bloków oporowych lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy cięga w dewiatorze) pojedynczym cięgiem w danym przęśle przy braku zarysowań betonu innych elementów nośnych np. dźwigarów.

Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu.

Ocena 0 – stan awaryjny zakotwienia cięgien podwieszających w betonie, w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie konstrukcji zakotwień w strefie płyt/bloków oporowych lub jego fragmentu, powodując całkowity spadek siły w więcej niż jednym cięgu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy cięga w dewiatorze) lub też w jednym cięgu przy wystąpieniu zarysowań betonu innych elementów nośnych np. dźwigarów.

Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych cięgien, które mogą być przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone uszkodzenia betonowych bloków oporowych i dewiatorów, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

Ocena 3:

- monitorowanie przez okres co najmniej 12 miesięcy stanu uszkodzeń w zakresie rozwarcia, zasięgu i propagacji zarysowań, jak również stabilności osadzenia elementów oporowych zakotwień i ewentualnych objawów korozji zbrojenia,
- zlecenie wykonania napraw powierzchniowych betonu, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter pasywny,
- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej, jeżeli w wyniku monitorowania ustalono, że uszkodzenia mają charakter aktywny.

Ocena 2:

- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

Ocena 1:

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli budowa ciągna wskazuje na możliwość wymiany (to najczęściej projektant przewidywał jego wymianę) i nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęseł, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu; ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Ocena 0:

- odstąpienie od inspekcji pozostałych zakotwień dewiatorów i ciągów oraz opuszczenie strefy zagrożenia,
- dokonanie oceny stanu elementów nośnych ustroju niosącego w zakresie ewentualnych rys i spękań, szczególnie w strefach podporowych ustrojów ciągłych i w środkach rozpiętości przęseł,
- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz zniszczenia bloku oporowego/dewiatora występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

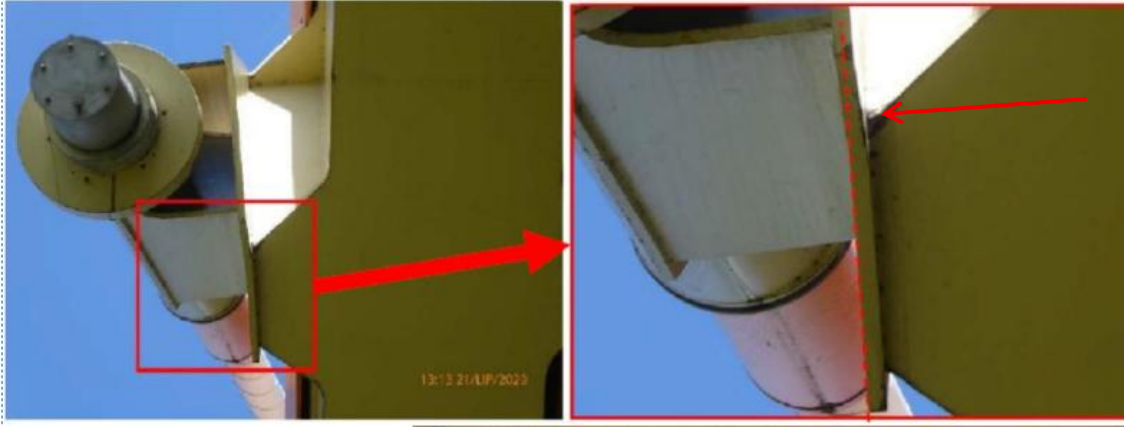
Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń w kolejnych elementach,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań ciągów przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych ciągów,
- okresowe pomiary naciągu w ciągu metodą wibracyjną,

- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia się zarysowań betonu ustroju nośnego w strefie ekstremalnych momentów, np. metodą emisji akustycznej bazującej na rozpoznawaniu wzorców.

Tablica 6.1.3.	PĘKNIĘCIA, DEFORMACJE LUB ZNISZCZENIE W STREFIE ZAKOTWIEŃ LUB W DEWIATORACH STAŁOWYCH
1. Typowy obraz uszkodzenia	
	
Fot. 1 Korozja strefy zakotwienia stalowego	
	
Fot. 2 Zdeformowane blachy zakotwień i pęknięcie spoiny [12]	
2. Potencjalne przyczyny	
a) błędy projektowe b) błędy wykonawcze – niewłaściwe wykonane połączeń c) przeciążenie konstrukcji d) zmniejszenie nośności zakotwienia lub dewiatora na skutek (np. korozji) e) uszkodzenia mechaniczne	
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	
Ocena 3 – stan niepokojący zakotwienia cięgien podwieszających w stali, w przypadku, gdy nastąpiło zniszczenie powłok zabezpieczenia antykorozyjnego stalowej konstrukcji zakotwień lub dewiatorów oraz zaobserwowano pierwsze objawy ubytków korozyjnych stali. Występuje niskie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie mają wpływu na nośność obiektu. Ocena 2 – stan niedostateczny zakotwienia cięgien podwieszających w stali w przypadku, gdy stwierdzono: • w stalowej konstrukcji zakotwień lub dewiatorów pęknięcia lub deformacje w elementach drugorzędnych,	

- braki lub uszkodzenia pojedynczych łączników (elementów kotwiących),
- lokalnie występujące wady połączeń spawanych,
- lub stwierdzono, że zakres uszkodzeń korozyjnych stali ma istotny wpływ na wytrzymałość poszczególnych elementów konstrukcyjnych.

Występuje umiarkowane ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie nie stanowią jeszcze o obniżeniu nośności obiektu, ale stan obiektu może się pogorszyć.

Ocena 1 – stan przedawaryjny zakotwienia cięgien podwieszających w stali w przypadku, gdy stwierdzono:

- w stalowej konstrukcji zakotwień lub dewiatorów pęknięcia lub deformacje w elementach bezpośrednio obciążonych,
- braki lub uszkodzenia łączników przenoszących oddziaływania sił naciągu w cięgnach,
- oraz nastąpiło zniszczenie konstrukcji zakotwienia/dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy cięgna w dewiatorze) pojedynczego cięgna w danym przęśle przy braku uszkodzeń, odkształceń innych elementów nośnych.

Występuje wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia w takim zakresie mają istotny wpływ na nośność obiektu.

Ocena 0 – stan awaryjny zakotwienia cięgien podwieszających w stali, w przypadku, gdy:

- nastąpiło zniszczenie konstrukcji zakotwień lub dewiatora lub jego fragmentu, powodując spadek siły naciągu (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy cięgna w dewiatorze) więcej niż jednego cięgna lub też w jednym cięgnię przy wystąpieniu uszkodzeń, odkształceń innych elementów nośnych np. dźwigarów.

Występuje bardzo wysokie ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych cięgien, które mogą być przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

Jeżeli w wyniku inspekcji obiektu zostaną stwierdzone uszkodzenia/pęknięcia spawów, łączników lub odkształcenia stalowych zakotwień lub dewiatorów, to w zależności od dokonanej oceny tryb postępowania powinien być następujący:

a) **Ocena 3:**

- wykonanie napraw w zakresie prac utrzymaniowych.

b) **Ocena 2:**

- zlecenie opracowania ekspertyzy technicznej.

c) **Ocena 1:**

- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) – jeżeli budowa cięgna wskazuje na możliwość wymiany (to najczęściej projektant przewidywał jego wymianę) i nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęseł, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu; ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

d) **Ocena 0:**

- odstąpienie od inspekcji pozostałych zakotwień dewiatorów i cięgien oraz opuszczenie strefy zagrożenia,
- dokonanie oceny stanu ustroju niosącego w zakresie ewentualnych odkształceń, uszkodzeń/pęknięć spawów lub łączników, szczególnie w strefach dużych naprężeń (nad podporami przy zakotwieniach i dewiatorach oraz w środkach rozpiętości przęseł),
- niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcy drogi,

- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania – jeżeli oprócz zniszczenia zakotwienia lub dewiatora występują też inne uszkodzenia w tym odkształcenia elementów konstrukcyjnych, uszkodzenia/pęknięcia spawów lub łączników, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- inwentaryzację uszkodzeń,
- analizy dostępnej dokumentacji projektowej i powykonawczej,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne przydatne w określeniu przyczyn zaistniałej awarii,
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń w kolejnych elementach,
- zalecenia w zakresie naprawy lub działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, mogą być użyte następujące metody:

- stały pomiar drgań ciągłych przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych ciągów,
- okresowe pomiary naciągu w ciągach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór.

Tablica 6.2.1.	KOROZJA CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO
1. Typowy obraz uszkodzenia	
 Fot. 1. Korozja ciągna wynikająca z działania czynników atmosferycznych	 Fot. 2. Miejscowe zacieki korozyjne świadczące o uszkodzeniu powłoki ochronnej stalowego ciągu, spowodowane starzeniem się zabezpieczenia antykorozyjnego
 Fot. 3. Korozja wieszaków dźwigara głównego	 Fot. 4. Korozja konstrukcji stalowej wieszaka kładki dla pieszych
 Fot. 5. Widok lin systemu podwieszenia, bez uszkodzeń	 Fot. 6. Widok wieszaków stalowych, bez uszkodzeń



Fot. 7. Punktowe ogniska korozji wieszaków



Fot. 8. Ciężna podwieszające bez uszkodzeń



Fot. 9 Punktowa korozja i zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych wieszaków



Fot.10. Korozja ciężna prętowego w strefie zakotwienia

2. Potencjalne przyczyny

- a) niewłaściwy dobór lub wykonanie zabezpieczenia antykorozyjnego
- b) procesy starzenia powłok
- c) uszkodzenia mechaniczne
- d) nagromadzenie zanieczyszczeń utrzymujących wilgoć lub agresywnych chemicznie

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący, zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych ciągów np.:

- powłoki malarskie na linach lub wieszakach lub
- otulina z tworzyw sztucznych splotów lin.

Ocena 2 – stan niedostateczny, w przypadku korozji do 5% powierzchni ciągu (jeżeli wpływa to na bezpieczeństwo obiektu);

Ocena 1 – stan przedawaryjny, w przypadku korozji powyżej 5% powierzchni ciągu (jeżeli wpływa to na bezpieczeństwo obiektu).

W przypadku stwierdzenia uszkodzenia ciągłości ciągu podwieszającego (zmniejszenie powierzchni przekroju na skutek korozji, ocenę uszkodzenia i tryb postępowania z uszkodzeniem należy przyjąć wg Tablicy 6.2.3 Zerwanie ciągu podwieszającego).

Korozja ciągów podwieszających jest bardzo niebezpiecznym zjawiskiem.

W wypadku korozji wgłębnej występuje duże ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność ciągów podwieszających.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

W przypadku oceny 3:

Lokalna naprawa powłok antykorozyjnych ciągów (dot. powłok malarskich jak i z tworzyw sztucznych).

W przypadku oceny 2:

- określenie uszkodzeń powłok ochronnych oraz określenie stopnia skorodowania ciągów, (należy oszacować stopień skorodowania w stosunku do powierzchni),
- ustalenie przyczyn i rodzaju korozji (powierzchniowa, wżerowa, szczelinowa),
- odtworzenie i lokalna naprawa zabezpieczenia antykorozyjnego;

W przypadku oceny 1:

- określenie uszkodzeń powłok ochronnych oraz określenie stopnia skorodowania ciągów, (należy oszacować stopień skorodowania w stosunku do powierzchni),
- w przypadku korozji splotów w kablach lub linach należy wykonać ekspertyzę stanu technicznego ciągów.
- naprawa/wymiana skorodowanych ciągów.

Ponadto, Inspektor mostowy powinien podjąć następujące kroki:

- określić, czy istnieje zagrożenie bezpieczeństwa zdrowia dla użytkowników ruchu drogowego oraz inspektorów przeprowadzających kontrole na obiekcie;
- sprawdzić i zweryfikować zakres czynności związanych z utrzymaniem systemu podwieszenia (wytyczne od dostawcy systemu lub z dokumentacji wykonawczej i powykonawczej).
- sprawdzić, czy kontrola ciągów podwieszających jest przeprowadzana zgodnie z zapisami instrukcji użytkowania / eksploatacji obiektu.

W przypadku braku zapisów w instrukcji użytkowania / eksploatacji obiektu należy zaplanować kontrolę okresową stanu technicznego ciągów podwieszających polegającą na przeprowadzeniu oględzin dolnych i górnych zakotwień wraz z ich otwarciem i częściowym odsłonięciem osłon oraz ewentualnym przeglądem tłumików.

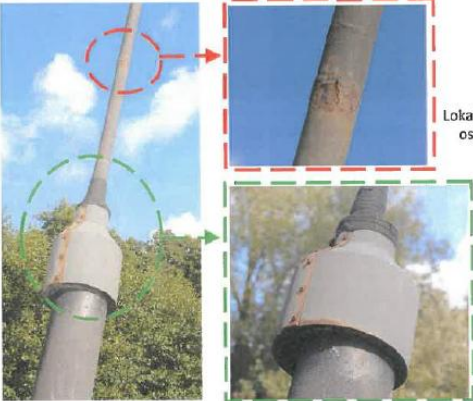
Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

- zidentyfikować rozległość i lokalizację korozji ciągów oraz skutków w zakresie bezpieczeństwa;
- ustalić przyczynę i rodzaj korozji (powierzchniowa, wżerowa, szczelinowa);

- określić zalecenia w zakresie naprawy/ wymiany skorodowanych cięgien w zależności od ustalonych przyczyn uszkodzeń;
- określić potrzebę wykonania monitoringu obiektu.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci stałe monitorowanie obiektu, jego zakres może obejmować:

- pomiar drgań want/cięgien/kabli lub wieszaków;
- okresowe pomiary zmian siły naciągu cięgien metodą wibracyjną;
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór.

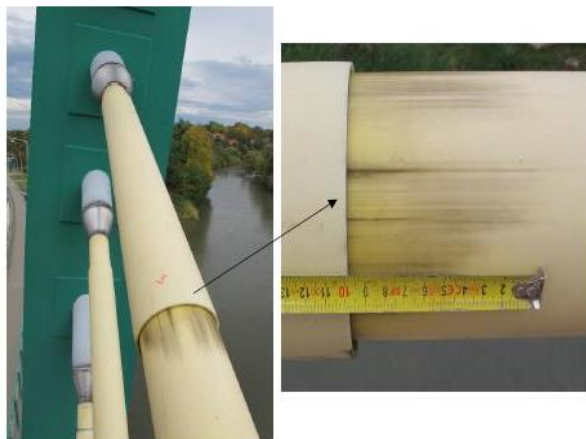
Tablica 6.2.2.	KOROZJA, DEFORMACJA OSŁONY CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO
1. Typowy obraz uszkodzenia	
 Fot. 1. Niewielkie zabrudzenia rur osłonowych want oraz zacieki na rurach antywandalistycznych, występujące z różną intensywnością w kilkunastu wantach (fot. a, b). Niewielkie ognisko korozji na rurze antywandalistycznej wanty (fot. c)	 Fot. 2. Pęknięcie i deformacja osłony ciągną, rdzawy wyciek
 Fot. 3. Miejscowe uszkodzenia malarskich powłok ochronnych stalowych elementów zakotwienia want wraz z ogniskami korozji w obrębie osłon, powodującymi deformację i pęknięcia	 Fot. 4. Zniszczenie powłok antykorozyjnych. Korozja ciągną spowodowana starzeniem powłoki
 Lokalna korozja osłon kabli	 Fot. 5. Lokalna korozja osłon cięgien



Fot. 7 Miejscowe przetarcie osłony wanty, uszkodzenie mechaniczne z etapu budowy, transportu lub składowania



Fot. 8 Zakotwienie want w pylonie, ogniska korozji w kołnierzach osłaniających zakotwienie oraz drobne ilości smaru i zanieczyszczeń na spodzie rur osłonowych



Fot. 9. Widoczne wcześniejsze (skorygowane) przemieszczenie dodatkowej rury osłonowej wanty



Fot. 10. Widoczne przemieszczenie, zsuniecie się kołnierza osłaniającego (o 10 mm), zniszczone uszczelnienia kołnierza



Fot. 11. Przesunięcie osłony ciągn



Fot. 12. Deformacja rury osłonowej liny



Fot. 13. Deformacja rury osłonowej liny



Fot. 14. Ubytki, delaminacja powłok antykorozyjnych

2. Potencjalne przyczyny

- niewłaściwy dobór lub wykonanie zabezpieczenia antykorozyjnego osłon cięgien
- procesy starzenia powłok
- uszkodzenia mechaniczne
- nagromadzenie zanieczyszczeń utrzymujących wilgoć lub agresywnych chemicznie
- uszkodzenia/nieszczelności/deformacje połączeń osłon cięgien stwarzające zagrożenie korozją lub spowodowane korozją

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący, w szczególności w przypadku:

- powierzchniowych zniszczeń powłoki antykorozyjnej osłon ciągną powodujących lokalną deformację/pęknięcia osłon. Miejscowe, dopiero tworzące się ogniska korozji. Uszkodzenia i pęknięcia osłon z tworzyw sztucznych;
- przemieszczenia lub deformacje osłony;

Ocena 2 – stan niedostateczny, w szczególności w przypadku:

- określenia znacznego, wżerowego uszkodzenia powłok i skorodowania powierzchni elementu osłony stalowej, najczęściej w zakresie ponad 5% powierzchni na długości ciągną;
- perforacji, deformacji i pęknięcia osłony, powodujących wyciek wosku technicznego lub smaru;

Ocena 1 – stan przedawaryjny, w szczególności w przypadku:

- znaczej perforacji osłon i wycieku smarów zabezpieczających (z rdzawymi naciekami lub o znacznej objętości);
- gdy istnieje ryzyko oddziaływania korozji i deformacji osłon na uszkodzenie cięgien podwieszających.

Uszkodzenie dotyczy: zabezpieczeń antykorozyjnych oraz odkształceń i deformacji osłon cięgien podwieszających, wykonanych ze stali lub tworzywa sztucznego oraz wycieków medium konserwującego.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

W zakresie oceny uszkodzenia niezależnie od oceny należy:

- dokonać szczegółowej oceny wizualnej osłony, połączeń segmentów osłony i ich uszczelniania,
- określić uszkodzenia powłok ochronnych oraz określić stopień skorodowania poszczególnych elementów osłon ciągów (należy oszacować stopień skorodowania w stosunku do powierzchni danego elementu),
- ocenić stan medium konserwującego (np. smaru lub wosku),
- ustalić zakres deformacji, ubytku osłony ciągu (jak pokazano na fot. 13) oraz należy ustalić przyczynę deformacji, w tym zdemontować osłony do weryfikacji.

W przypadku oceny 1 lub 2, w zależności od zaleceń Inspektora dokonującego kontroli możliwymi środkami zaradczymi mogą być:

- odtworzenie i lokalna naprawa zabezpieczenia antykorozyjnego;
- wymiana elementów rur osłonowych ciągów;
- czyszczenie rur osłonowych.

W przypadku oceny 1:

Należy zdemontować osłony w celu oceny stanu ciągów podwieszających.

Tablica 6.2.3.	ZERWANIE CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO
1. Typowy obraz uszkodzenia	
 Fot. 1. Stan przedawaryjny dźwigara [1]	 Fot. 2. Stan przedawaryjny dźwigara
2. Potencjalne przyczyny	
a) korozja stali na skutek braku lub niewłaściwej jakości zabezpieczenia antykorozyjnego b) nadmierne drgania cięgna c) wady materiałowe d) błędy projektowe lub wykonawcze e) uszkodzenie mechaniczne	
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania	
Ocena 1 – stan przedawaryjny dźwigara w przypadku zerwania pojedynczego cięgna podwieszającego. Występuje duże ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenie ma bezpośredni wpływ na nośność obiektu. Istnieje zagrożenie, że zjawiska odpowiadające za powstanie uszkodzenia mogą występować też w innych cięgnach podwieszających (za wyjątkiem uszkodzeń mechanicznych). Czynności diagnostyczne muszą być wykonywane z zachowaniem szczególnej ostrożności. Ocena 0 – stan awaryjny dźwigara w przypadku zerwania więcej niż jednego cięgna podwieszającego. Występuje bardzo duże ryzyko podczas dalszego użytkowania, ponieważ uszkodzenia obniżają nośność obiektu. Istnieje zagrożenie zerwaniem kolejnych cięgna podwieszającego, które zostaną przeciążone w wyniku redystrybucji sił w konstrukcji. Czynności diagnostyczne należy wykonywać z zachowaniem szczególnej ostrożności, w niektórych przypadkach może być konieczne zastosowanie dodatkowo fizycznych zabezpieczeń cięgien.	
4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia	
W przypadku wykrycia podczas inspekcji obiektu zerwania pojedynczych splotów liny w cięgłe podwieszającym należy postępować zgodnie z p.3.20 [1]. W przypadku zerwania pojedynczego cięgna podwieszającego w danym przekroju przęsła (ocena 1) tryb postępowania powinien być następujący: a) wykonanie przeglądu pozostałych cięgien oraz ustroju nośnego, szczególnie w strefach zakotwień, b) niezwłoczne poinformowanie o zarządcy drogi, c) podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie). Z reguły zerwanie jednego cięgna podwieszającego nie stanowi zagrożenia utraty nośności przęsła, gdyż na etapie	

projektowania przewiduje się wymianę cięgien – jeżeli przy zerwanym cięgnię nie występują inne uszkodzenia konstrukcji przęseł, to z reguły nie powoduje to konieczności natychmiastowego wprowadzania ograniczeń w ruchu. Ze względu na indywidualny charakter danego obiektu może zachodzić potrzeba skonsultowania takiej decyzji z projektantem/ekspertem,

- d) zlecenie przez zarządcę drogi w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

W przypadku zerwania kilku cięgien w danym przekroju przęsla (ocena 0) tryb postępowania powinien być następujący:

- a) odstępianie od przeglądu obiektu i opuszczenie strefy zagrożenia oraz weryfikacja wizualna ewentualnego wystąpienia uszkodzeń w ustroju nośnym, szczególnie w strefach zakotwienia i w środkach rozpiętości przęseł,
- b) niezwłoczne poinformowanie o wynikach przeglądu zarządcę drogi,
- c) podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o: wprowadzeniu ograniczeń w ruchu lub wyłączeniu obiektu z użytkowania. Jeżeli oprócz zerwania cięgien i występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania,
- d) W przypadku ograniczeniu ruchu, zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- e) zlecenie przez zarządcę drogi w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

Zakres ekspertyzy powinien obejmować co najmniej:

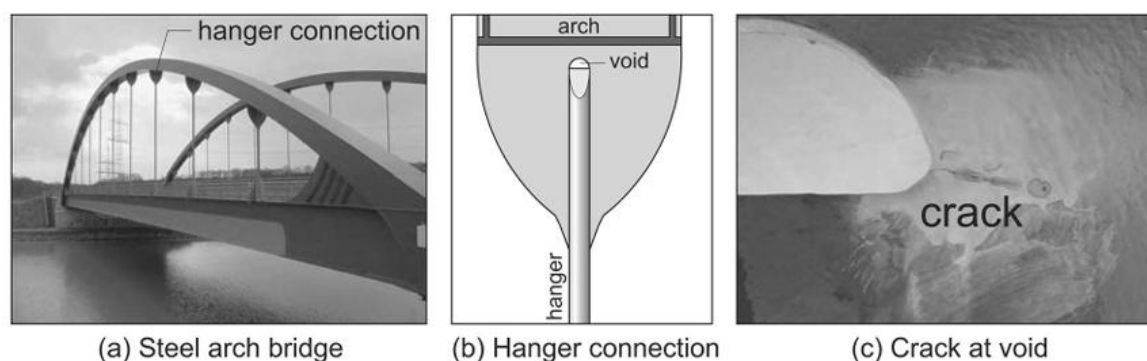
- analizy obliczeniowe efektów zaistniałej awarii na nośność obiektu oraz w zależności od przyczyn ewentualną prognozę zachowania się obiektu w przypadku wystąpienia uszkodzeń kolejnych cięgien,
- badania diagnostyczne, materiałowe oraz inne mające na celu określenie przyczyn zaistniałej awarii,
- zalecenia w zakresie naprawy lub innych działań zabezpieczających, zależnych od ustalonych przyczyn awarii.

W przypadku, gdy ekspertyza zaleci monitorowanie obiektu, powinny być zastosowane następujące metody:

- okresowe pomiary zmian siły naciągu cięgien podwieszających metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór.

Na podstawie wyników pomiarów okresowych może być konieczne wprowadzenie ciągłego i automatycznego monitoringu drgań cięgien podwieszających i płyty pomostu.

Tablica 6.2.4.	NADMIERNE DRGANIA CIĘGIEN
1. Typowy obraz uszkodzenia	
Fot. 1. Symboliczne przedstawienie nadmiernych drgań cięgien. Drgania pomostu i cięgien są zjawiskiem naturalnym. Jako orientacyjne kryterium nadmierności drgań można przyjąć ich widoczność za pomocą oględzin wzrokowych. Szczególnie niepokojące mogą być drgania, które są słabo tłumione i długo wstępują po zjechaniu obciążenia lub często występują nawet przy słabych podmuchach wiatru. Mogą również występować drgania po wzbudzeniu wiatrowo/deszczowym. Szczególnie niebezpieczne są drgania o charakterze rezonansowym, które wzbudzają się w jednym czasie na różnych cięgnach o różnej długości	
Fot. 2. Pęknięcie wieszaka (o przekroju 45 x 300 mm) poniżej spiny czołowej, wykryte w moście kolejowym podczas inspekcji po 4 latach eksploatacji, było skutkiem drgań wzbudzanych przez wiatr [13]	



Fot 3. Pęknięcie w płycie łączącej wieszak z łukiem było skutkiem drgań wzbudzanych przez wiatr: (a) most łukowy z zaznaczonym połączeniem wieszaka, (b) połączenie wieszaka z pozostawioną pustką, (c) pęknięcie w płycie, [14]

2. Potencjalne przyczyny

- a) błędy projektowe lub wykonawcze
- b) niewłaściwy naciąg cięgien
- c) podatność na wzbudzenia ruchem pojazdów lub pieszych
- d) podatność na wzbudzenia wiatrowe
- e) podatność na wzbudzenia wiatrowo/deszczowe

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący, występuje w przypadku drgań widocznych okiem. Szczególnie niepokojące mogą być drgania, które są słabo tłumione i długo wstępują po zjechaniu obciążenia lub często występują nawet przy słabych podmuchach wiatru. Szczególnie niebezpieczne są drgania o charakterze rezonansowym, które wzbudzają się w jednym czasie na różnych cięgnach o różnej długości. Należy przeprowadzić szczegółowe oględziny cięgien w celu wykrycia ewentualnych pęknięć samych cięgien lub elementów jego zakotwienia.

Przeprowadzona przez inspektora ocena drgań cięgien jako nadmiernych jest oceną subiektywną i losową. Nadmierne drgania mogą występować w większym stopniu przy innych układach wiatru (również temperatury czy nasłonecznienia) niż w czasie wykonywania inspekcji. Dokładna ocena drgań jest możliwa wyłącznie na podstawie przeprowadzenia pomiarów i obliczeń w ramach ekspertyzy, monitoringu okresowego lub ciągłego. Na podstawie przeprowadzonej dokładnej oceny drgań będzie możliwe podjęcie decyzji o konieczności przeprowadzania działań naprawczych.

Ocena 1 – stan przedawaryjny w przypadku występowania nadmiernych drgań cięgien i wykrycia pęknięć cięgna lub elementów jego zakotwienia.

Występuje duże ryzyko zerwania cięgna podwieszającego w którym wykryto pęknięcie. Pęknięcia mogą pojawić się w innych cięgnach w których również występują nadmierne drgania. Czynności diagnostyczne muszą być wykonywane z zachowaniem szczególnej ostrożności.

4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

W przypadku stwierdzenia nadmiernych (widocznych okiem) drgań pojedynczych cięgien lub ich grup należy przeprowadzić obserwacje czy występowanie drgania związane jest z przejazdem samochodów czy wiatrem. Zalecane jest również podjęcie prób wzbudzenia pozostałych cięgien poprzez uderzenie młotkiem w ciągną lub jego szarpnięcie. W takich przypadkach wystąpienia widocznych drgań o długim czasie gaśnięcia zwiększa prawdopodobieństwo częstego występowania takich drgań w czasie eksploatacji obiektu.

Wydanie oceny na podstawie widoczności drgań pojedynczych cięgien lub ich grup gołym okiem jest obarczone znaczną niepewnością i zawsze należy przeprowadzić ekspertyzę zawierającą jednorazowe pomiary drgań poszczególnych cięgien w formie badań pod obciążeniem eksploatacyjnym. W zależności od wyników ekspertyzy może być konieczne:

- wprowadzenie okresowego lub ciągłego i automatycznego monitoringu drgań wybranych lub wszystkich cięgien,
- okresowe pomiary zmian siły naciągu cięgien podwieszających metodą wibracyjną.

Oprócz wykonania ekspertyzy należy również przeprowadzić szczegółowe oględziny cięgien w celu wykrycia ewentualnych pęknięć samych cięgien lub elementów jego zakotwienia. Przegląd powinien dotyczyć elementów zarówno dolnego i górnego zakotwienia cięgien. W przypadku stwierdzenia pęknięć należy przeprowadzić prace związane z naprawą/wymianą pękniętego cięgna.

W przypadku potwierdzenia przez ekspertyzę występowania nadmiernych drgań cięgien, a w szczególności wykrycia pęknięć, należy wykonać prace związane z ograniczeniem drgania cięgien poprzez zastosowanie [15]:

- tłumików różnego rodzaju, instalowanych w strefie rur prowadzących ciągną do zakotwienia,
- dodatkowych amortyzatorów zewnętrznych, instalowanych na pomoście które przytrzymują ciągną w sposób podatny w pewnej odległości od zakotwienia,
- lin spinających poszczególne ciągną,
- odpowiednio wyprofilowanych rur osłonowych ze szczególnym profilem w przypadku drgań wywołanych przez wzbudzenie wiatrowo-deszczowe.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] 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.)
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2005 r. w sprawie sposobu numeracji i ewidencji dróg publicznych, obiektów mostowych, tuneli, przepustów i promów oraz rejestru numerów nadanych drogom, obiektom mostowym i tunelom
- [3] Dokumentacja fotograficzna awarii estakady E5 w 2017 roku, Zarząd Dróg Miejskich w Koninie
- [4] Przegląd podstawowy roczny obiektu mostowego. Estakada E5 wschodnia, Zarząd Dróg Miejskich w Koninie, Konin 2017
- [5] Bruno Godart Eng., Champs-sur-Marne, Luciano Tosini Eng., Laurent Gaillet Dr, Bouguenais & Mathieu Barbot Eng. (2024) The Rupture of an External Tendon in Île de Ré Bridge: Diagnosis, Safety Measures and Management, *Structural Engineering International*, 34:3, 382-389, DOI: 10.1080/10168664.2024.2341933
- [6] Przegląd podstawowy roczny obiektu mostowego. Estakada E5 wschodnia, Zarząd Dróg Miejskich w Koninie, Konin 2018
- [7] Madaj A., Mossor K., Siekierski W. Awaria kabla sprężającego estakady drogowej. Przyczyny i skutki. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*. 2018;(26):109–21.
- [8] Ekspertyza techniczna obiektów dojazdowych do mostu nad Wartą w ciągu drogi krajowej nr 25 Trasy Bursztynowej w Koninie, UNIPLAN sp. z o.o, sp. K., Poznań 2018
- [9] Lau, Kingsley & Lasa, Ivan & Paredes, Mario. (2013). Corrosion failure of post-Tensioned tendons in presence of deficient grout. *NACE - International Corrosion Conference Series*
- [10] Fulton, Christopher, and Stéphan Trépanier. "Internal Post-Tensioning Tendons: Many Problems and Sometimes Solutions." *PTI Journal*, Aug. 2015, pp. 62–69.
- [11] Biliszczyk, Jan. "Most MA 532 w ciągu autostrady A1 w Mszanie. Historia budowy." *Wrocławskie Dni Mostowe*, 21–22 listopada 2013, Wrocław.
- [12] Żółtowski K., Binczyk M., Kalitowski P., Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Politechnika Gdańska, Zagrożenie katastrofą budowlaną Mostu Uniwersyteckiego w Bydgoszczy. Analizy i badania 2022, awarie.zut.edu.pl
- [13] Klinger C., Michael Th., Bettge D., Fatigue cracks in railway bridge hangers due to wind induced vibrations – Failure analysis, measures and remaining service life estimation, *Engineering Failure Analysis*, V. 43, 2014, 232-252
- [14] Gálffy, M., Baitsch, M., Wellmann-Jelic, A., & Hartmann, D., Lifetime estimation of vertical bridge tie rods exposed to wind-induced vibrations. *Proceedings of the 11th European Conference on Computational Mechanics Solids, Structures and Coupled Problems in Engineering*, Lisbon, 2006
- [15] Biliszczyk J. Mosty podwieszone: projektowanie i realizacja. Arkady, 2005.
- [16] 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)
- [17] Bień J. Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2010
- [18] Bień J. Modelowanie obiektów mostowych w procesie ich eksploatacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005
- [19] Kużawa M. Monitoring sensoryczny obiektów mostowych w trakcie ich eksploatacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2022
- [20] Hildebrand M. Projektowanie i eksploatacja systemów monitorowania obiektów mostowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2024
- [21] WR-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)