

Szkolenie w formie on-line z rezultatów projektu

RID2 „Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów mostowych, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu - **prezentacja rezultatów projektu RID2 DiagSC**”

25.09.2025 (czwartek)		
10:00	Rozpoczęcie szkolenia	
10:00 -10:15	<i>Informacje ogólne o rezultatach projektu, krótka prezentacja nieniszczących metod badawczych stosowanych w diagnostyce obiektów sprężonych i ciągnowych wraz z omówieniem badań wykonanych na wytypowanych obiektach</i>	Piotr Olaszek
10:15 – 10:30	<i>Ogólne informacje o dokumencie Leksykon/ zestawienie informacji o uszkodzeniach newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych.</i>	Aleksandra Jivan-Coteti
10:30-11:30	<i>Uszkodzenia występujące w konstrukcjach sprężonych kablobetonowych i proponowana metodyka ich klasyfikacji</i>	Mirosław Biskup
11:30-11:45	<i>Pytania, dyskusja</i>	
11:45-12:00	Przerwa	
12:00-13:00	<i>Uszkodzenia występujące w konstrukcjach ciągnowych i proponowana metodyka ich klasyfikacji</i>	Artur Sakowski
13:00-13:15	<i>Pytania, dyskusja</i>	
13:15-13:30	Przerwa	
13:30-14:15	<i>Wymagania wzorcowe systemu monitoringu drogowych obiektów inżynierskich o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej</i> • Monitoring okresowy i ciągły • Monitoring geodezyjny • Monitoring wibracyjny ciągien i zewnętrznych kabli sprężających • Model numeryczny konstrukcji	Piotr Olaszek Ireneusz Wyczałek Andrzej Świercz
14:15-14:30	<i>Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji betonowych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca.</i>	Grzegorz Świt
14:30-14:45	<i>Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowalności konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu</i>	Andrzej Świercz
14:45-15:00	<i>Pytania, dyskusja</i>	
15:00	Zakończenie szkolenia	



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

Dzień dobry – zapraszamy na szkolenie

Prosimy o wyłączenie mikrofonów poza momentami zadawania pytań

Uwaga: szkolenie będzie nagrywane i udostępnione w Internecie



**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

Szkolenie on-line dla pracowników GDDKiA, 25.09.2025

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów mostowych, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

Projekt był finansowany przez NCBiR/GDDKiA
w ramach wspólnego Przedsięwzięcia RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Koszt realizacji projektu: 1 679 562,50 zł

Dofinansowanie: NCBiR/GDDKiA: 1 679 562,50 zł

Projekt rozpoczął się 15 września 2023 roku i skończył 15 września 2025 roku.

Projekt realizowało konsorcjum w składzie:

Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) - lider

Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk (IPPT PAN)

Politechnika Świętokrzyska (PŚk)

dr hab inż. Piotr Olaszek, prof. IBDiM



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

*Przedmiotem projektu były drogowe obiekty mostowe o **konstrukcji sprężonej kablobetonowej** oraz obiekty mostowe o **konstrukcji podwieszanej w tym obiekty łukowe***

Udział w projekcie - Podziękowania

- Pracownicy Centrali i wszystkich Oddziałów GDDKiA - dostarczenie danych w obiektach
- Pracownicy Oddziałów w Gdańsku, Łodzi i Opolu współpraca przy badaniach testowych
- Zespół wspierający Opiekuna Merytorycznego Projektu, Koordynator RID w GDDKiA
- Pracownicy IBDiM w Warszawie i Kielcach, IPPT PAN w Warszawie oraz PŚk w Kielcach



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Zamiast wstępu



Kabel w moście po 12 latach



Most po 16 latach

Heggade, Vn. "Lesson to be Learnt from Bridge Failures..",
The Bridge and Structural Engineer, IABSE 44.4 (2014): 4-28.



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

 INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Zakres prac badawczych i testowane metody diagnostyczne

- Analiza przeglądów i ekspertyz obiektów GDDKiA
- Analiza uszkodzeń i stworzenie leksykonu uszkodzeń
- Diagnostyka konstrukcji i metody badań
 - Próbne obciążenia diagnostyczne
 - Monitoring geodezyjny
 - Badania ciągien podwieszających i kabli sprężających metodą wibracyjną
 - Analizy numeryczne ciągien i kabli
 - Analizy numeryczne konstrukcji mostowych
 - Badania NDT – metodą Emisji Akustycznej, Georadarową i GalvaPulse
- Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowości konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu

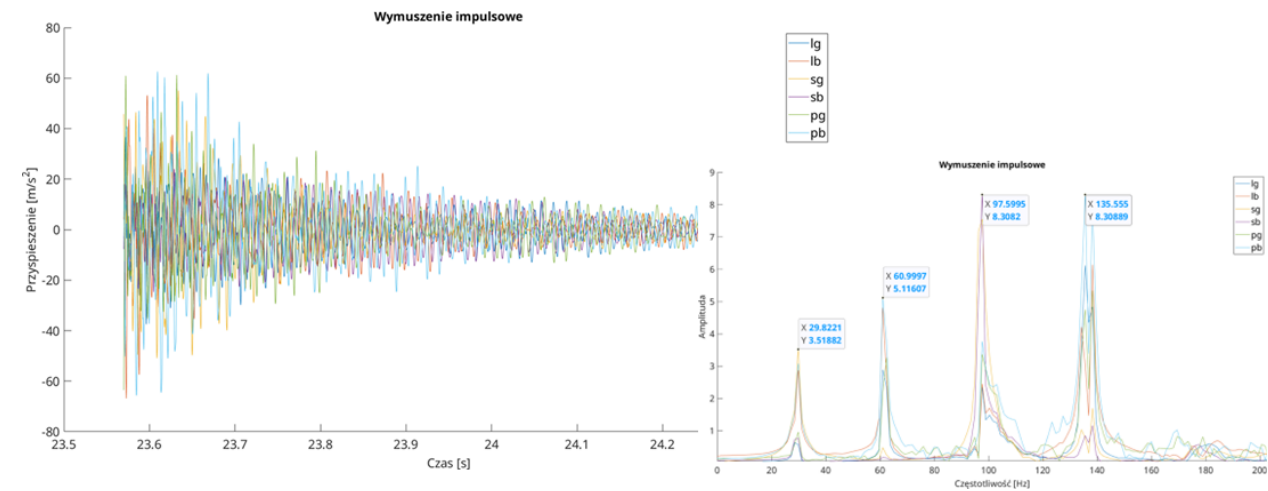
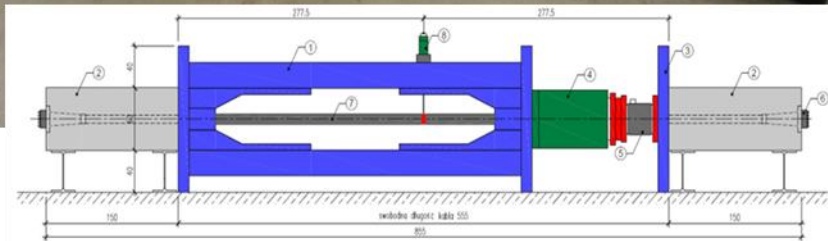


RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Badania testowe kabli w laboratorium



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

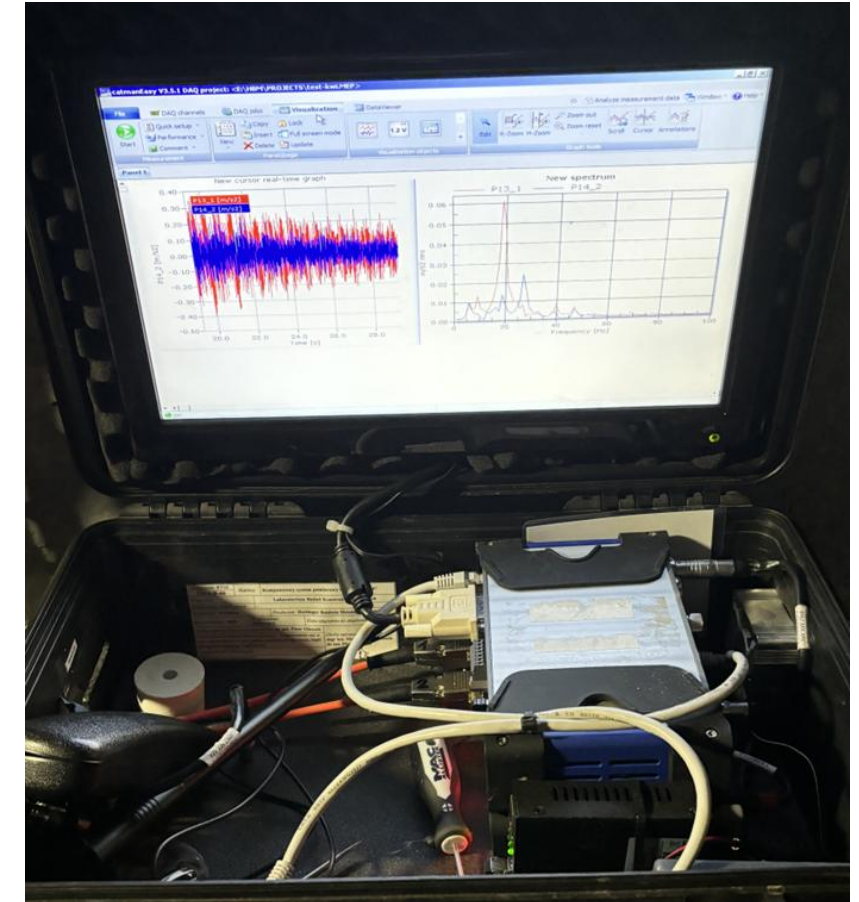
**INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE**

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



**Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology**

Badania testowe kabli na moście metoda wibracyjna



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

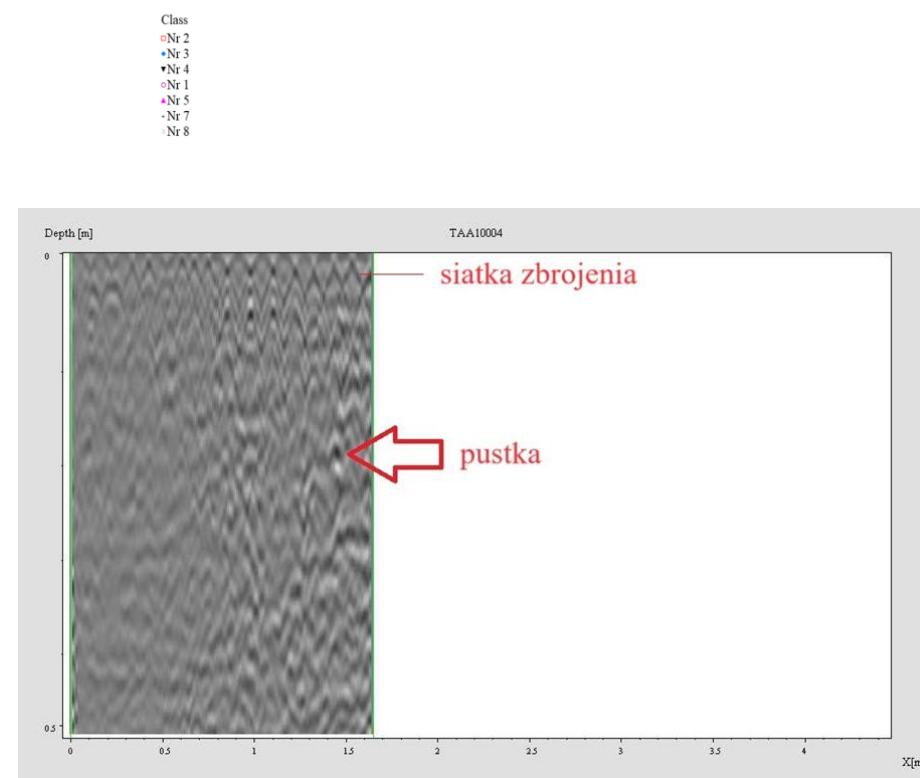
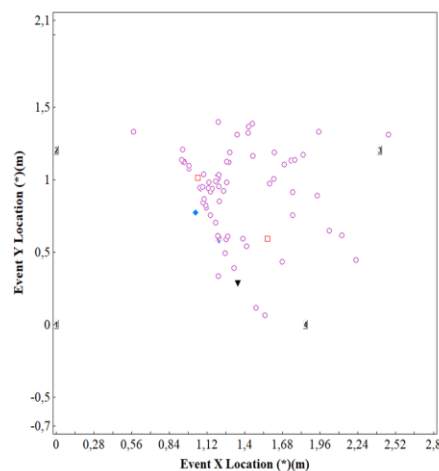
**IPPT
PAN**
INSTYTUT PODSTAWOWYCH
PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
INSTITUTE OF FUNDAMENTAL
TECHNOLOGICAL RESEARCH
POLISH ACADEMY OF SCIENCES



**Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology**



Ocena stanu technicznego bloków kotwiących metodą Emisji Akustycznej wspomaganą metodą Georadarową



Badania testowe mostu o konstrukcji podwieszanej

Badania cięgien podwieszających metodą wibracyjną



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



**Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology**

Badania testowe mostu o konstrukcji podwieszanej

Badania cięgien podwieszających metodą wibracyjną



Badania testowe mostu o konstrukcji podwieszanej

Badania cięgien podwieszających metodą wibracyjną



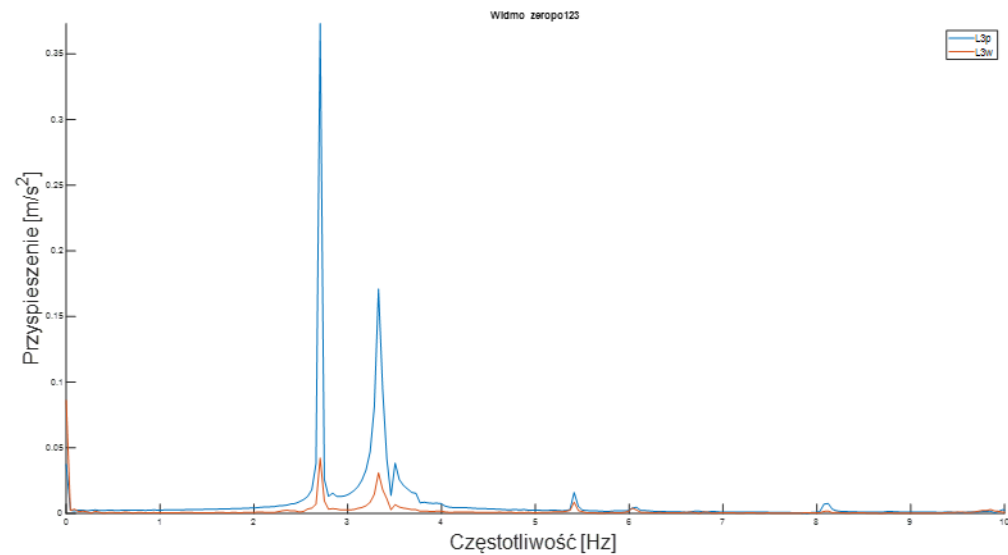
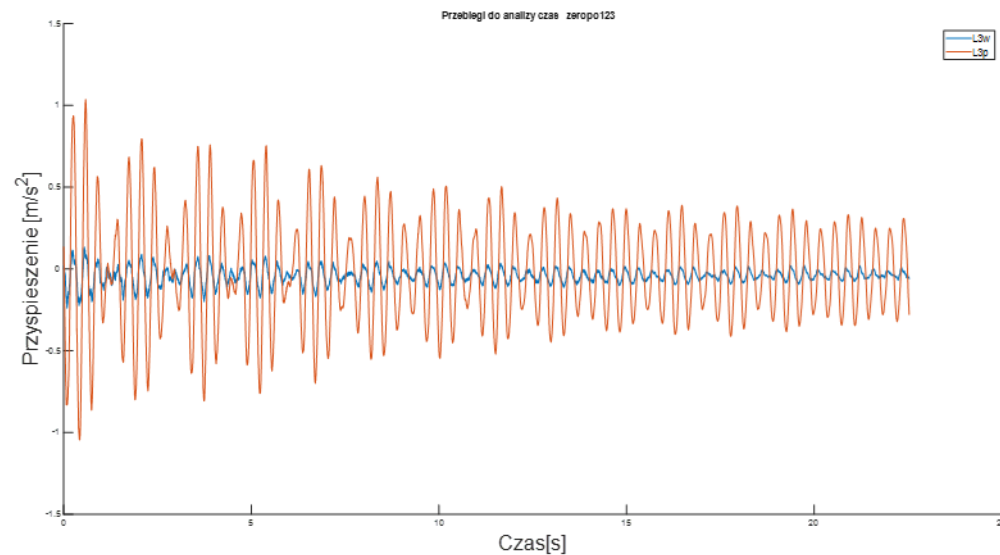
RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Badania testowe mostu o konstrukcji podwieszanej

Badania cięgien podwieszających metodą wibracyjną



Badania testowe wstępne i pełne wiaduktu kablobetonowego nad przejściem dla zwierząt



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Badania wstępne i pełne testowe wiaduktu kablobetonowego nad przejściem dla zwierząt



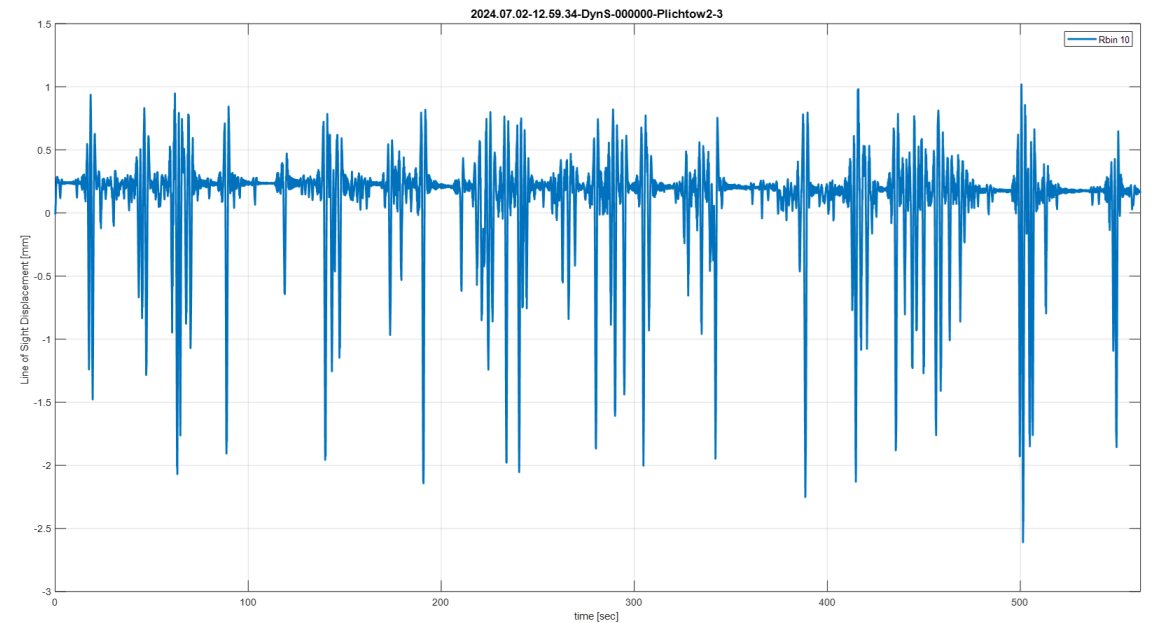
Zarysowania dźwigarów głównych zaobserwowane w pobliżu podpory pośredniej



Zarysowania dźwigarów głównych zaobserwowane bezpośrednio nad podporą pośrednią

Badania wstępne wiaduktu kablobetonowego pod obciążeniem eksploatacyjnym

Pomiary przemieszczeń pionowych i Emisji Akustycznej



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

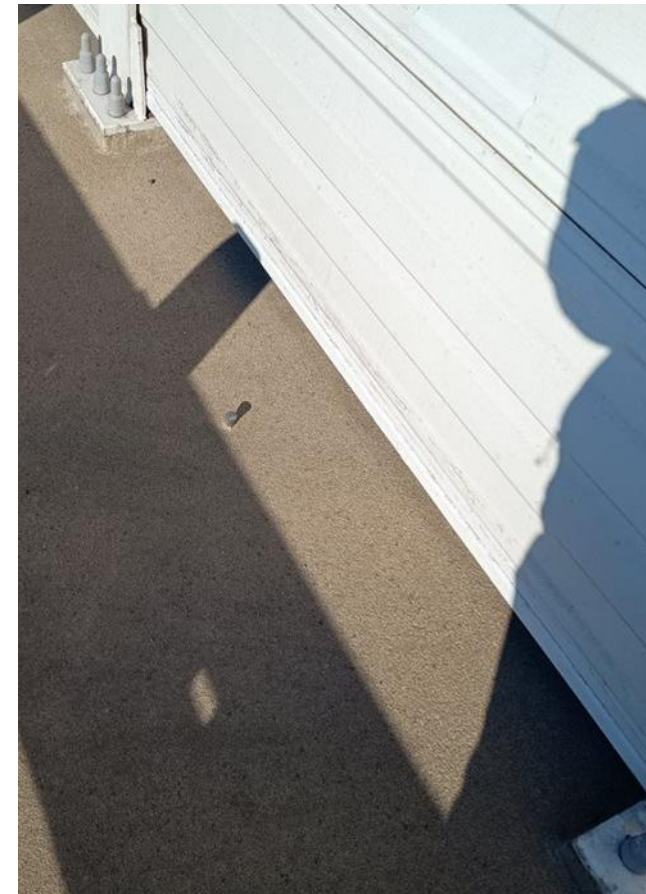
**IPPT
PAN**
INSTYTUT PODSTAWOWYCH
PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
INSTITUTE OF FUNDAMENTAL
TECHNOLOGICAL RESEARCH
POLISH ACADEMY OF SCIENCES



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Badania wstępne wiaduktu kablobetonowego pod obciążeniem próbn

Weryfikacja niwelety wiaduktu



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



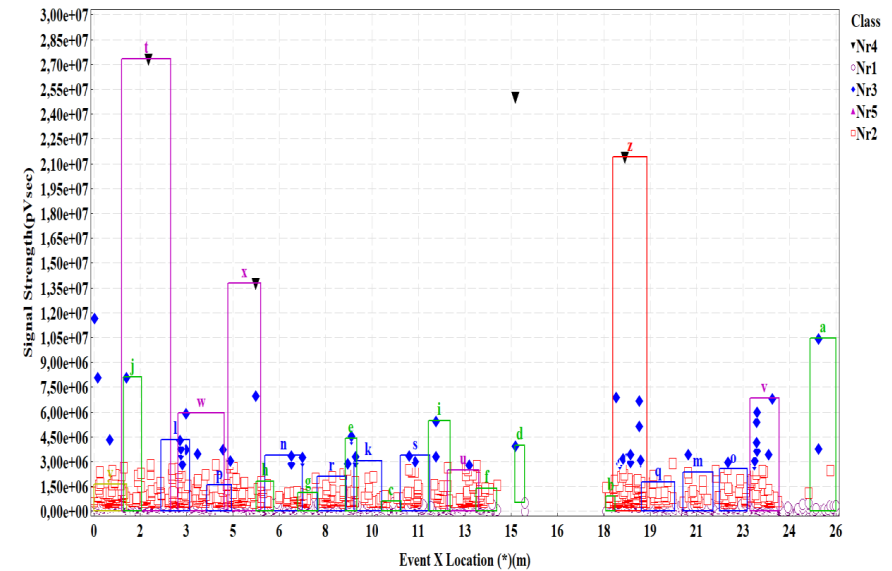
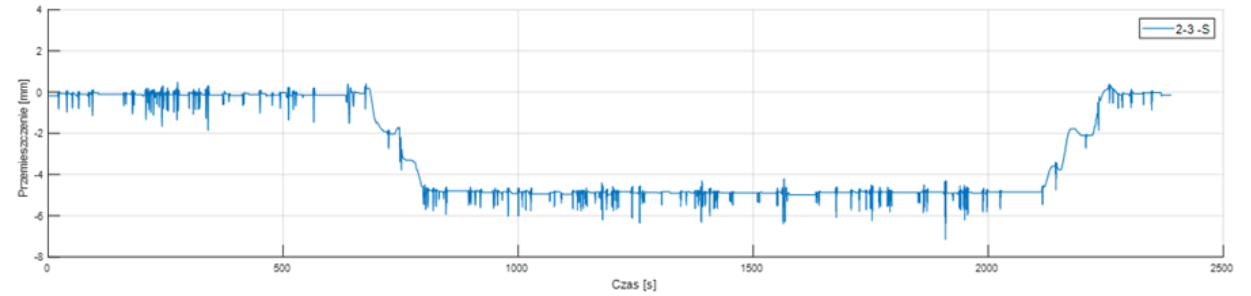
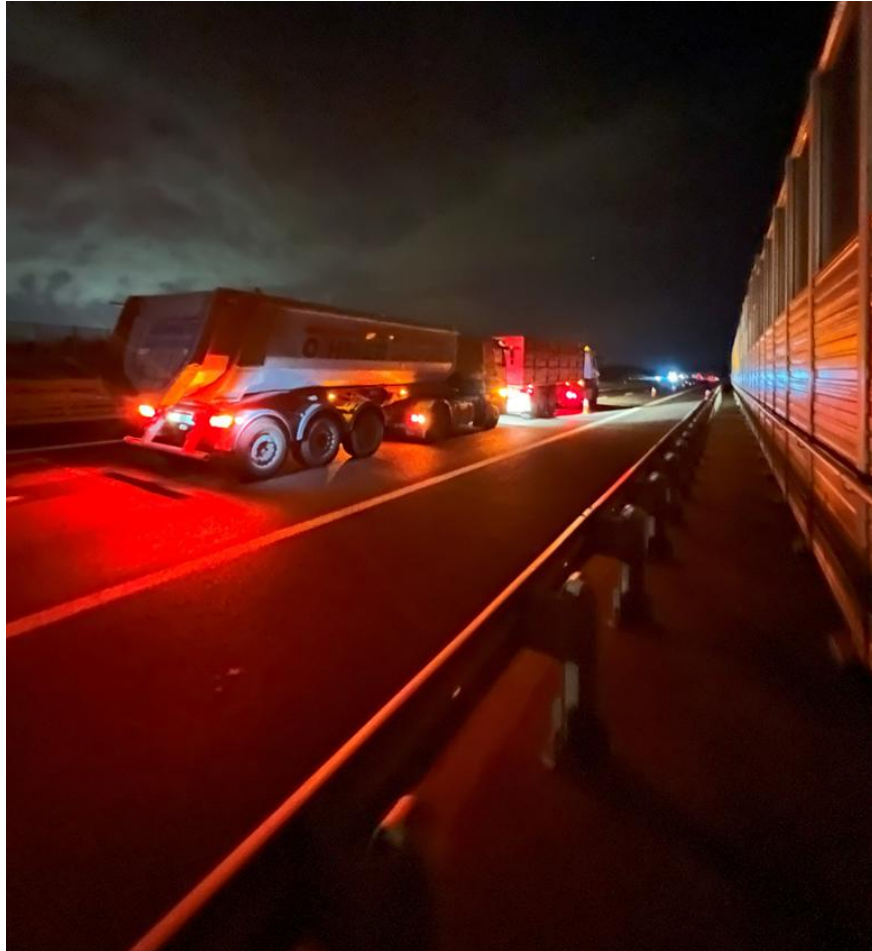
**Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology**

Badania pełne wiaduktu kablobetonowego pod obciążeniem diagnostycznym z częściowym ograniczeniem ruchu pojazdów

Pomiary przemieszczeń pionowych , zmiany rozwartości rys i Emisji Akustycznej



Badania pełne wiaduktu kablobetonowego pod obciążeniem diagnostycznym z częściowym ograniczeniem ruch pojazdów



Podstawowe dokumenty projektu



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

Opracował zespół:

IBDiM
dr hab. inż. Piotr Ołaszek, prof. IBDiM
dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek
mgr inż. Mirosław Biskup
mgr inż. Artur Sakowski
mgr inż. Leszek Komorowski
mgr inż. Aleksandra Jivan-Coteti
Natalia Kur
IPPT PAN
dr inż. Andrzej Świercz
PŚw
prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt
dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚw

Wydanie 1. Wyłącznie do użytku wewnętrznego GDDKiA
15.09.2025, Warszawa



Leksykon/zestawienie informacji o uszkodzeniach
nawalniczych elementów obiektów sprężonych
i ciągnowych

Kierownik Projektu:

dr hab. inż. Piotr Ołaszek, prof. IBDiM

IBDiM: mgr inż. Mirosław Biskup

dr inż. Tomasz Gajda

mgr inż. Artur Sakowski

mgr inż. Leszek Komorowski

mgr inż. Aleksandra Jivan-Coteti

Natalia Kur

IPPT PAN: dr inż. Andrzej Świercz

PŚk: prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

Konsultant: mgr inż. Jan Piekarski

Wydanie 1. Wyłącznie do użytku wewnętrznego GDDKiA
15.09.2025, Warszawa



WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

DROGOWYCH OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH

O KONSTRUKCJI SPRĘŻONEJ KABLOBETONOWEJ ORAZ PODWIESZONEJ

Opracował zespół:

IBDiM
dr hab. inż. Piotr Ołaszek, prof. IBDiM
dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek
mgr inż. Mirosław Biskup
mgr inż. Artur Sakowski
mgr inż. Leszek Komorowski
IPPT PAN
dr inż. Andrzej Świercz
PŚw
prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt
dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚw

Wydanie 1. Wyłącznie do użytku wewnętrznego GDDKiA
15.09.2025, Warszawa

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)





NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

**Ogólne informacje o dokumencie pn. *Leksykon / zestawienie informacji o uszkodzeniach
newralgicznych elementów obiektów sprężonych i ciągnowych***

mgr inż. Aleksandra Jivan-Coteti



**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

Cel dokumentu i oczekiwany rezultat:

- ✓ wytypowanie, zestawienie informacji o newralgicznych uszkodzeniach obiektów sprężonych i podwieszonych, w zakresie nieprawidłowości w układach cięgien sprężających i podwieszających
- ✓ określenie trybów postępowania i zasad oceny technicznej zidentyfikowanych uszkodzeń
- ✓ wybór metodyki postępowania, metod diagnostycznych i środków zaradczych, w szczególności w przypadku stanów przedawaryjnych lub awaryjnych dźwigara
- ✓ dodatkowy przewodnik dla inspektorów mostowych w zakresie postępowania z obiektami sprężonymi i podwieszającymi



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich, z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu



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
Natalia Kur

IPPT PAN: dr inż. Andrzej Świercz

PSK: prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

Konsultant: mgr inż. Jan Piekarski

Wydanie 1. Wyłącznie do użytku wewnętrznego GDDKiA

15.09.2025, Warszawa



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Dane wejściowe do Leksykonu:

- ✓ wytypowano **158 obiektów** spełniających kryteria ze względu na typ konstrukcji oraz rodzaj stwierdzonych uszkodzeń w zakresie układu sprężenia lub podwieszenia, w tym:
 - 41 obiektów cięgowych
 - 108 obiektów sprężonych
 - 4 obiekty wzmocnione sprężeniem zewnętrznym
 - 5 obiektów ze sprężoną płytą pomostu
- ✓ wyniki analiz przedstawione zostały w tzw. **Karcie** analizy danych o obiekcie mostowym
- ✓ materiały i doświadczenia własne IBDiM oraz zgodne z bibliografią opracowania



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



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



Karta analizy danych o obiekcie mostowym

JNI: 35000720



(fot. źródło: Protokół kontroli pięcioletniej)



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



KARTA ANALIZY DANYCH O OBIEKCIE MOSTOWYM

JNI: 35001679



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Dokonano selekcji uszkodzeń pod względem:

- ✓ typowych, najczęściej pojawiających się uszkodzeń w zakresie kabli sprężających i cięgien
- ✓ newralgicznych, charakterystycznych nieprawidłowości systemu sprężenia lub podwieszenia i ich elementów konstrukcyjnych.

Razem w leksykonie zestawiono **19 uszkodzeń**, w tym:

- ✓ **12 uszkodzeń dotyczących systemu sprężenia w konstrukcjach sprężonych**
- ✓ **7 uszkodzeń dotyczących cięgien podwieszających i ich zakotwienia**



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Kryteria analizy i opisu newralgicznych, wybranych do leksykonu uszkodzeń:

1. Typowy obraz uszkodzeń
2. Potencjalne przyczyny
3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania
4. Tryb postępowania, zakresy kontroli oraz diagnostyka uszkodzenia

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) uszkodzenia 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 kabla w cięgło podwieszającym należy postępować zgodnie z p.3.20 [1]. W przypadku zerwania pojedynczego cięgna podwieszającego w danym przekroju przęsla (ocena 1) tryb postępowania powinien być następujący: a) wykonanie przeglądu pozostałych kabli 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 przęsla gdyż na etapie	



Leksykon koresponduje z ogólnie stosowanym dokumentem pn. *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.), tzw. *Instrukcja GDDKiA*, w zakresie:

- ✓ charakterystyki, opisu i formy prezentacji uszkodzeń obiektów sprężonych, cięgnowych oraz zakotwień cięgien
- ✓ przyjętej skali i zasad oceny stanu technicznego



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

Leksykon zaleca się stosować jako rozszerzenie lub uzupełnienie do w.w dokumentu tzw. Instrukcji GDDKiA



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

**Uszkodzenia występujące w konstrukcjach sprężonych kablobetonowych
i proponowana metodyka ich klasyfikacji**

mgr inż. Mirosław Biskup



**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

Szkolenie on-line dla pracowników GDDKiA, 25.09.2025

1. 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)



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



Fot. 5. Widoczne deformacje osłony spowodowane zerwaniem kabla



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

2. Potencjalne przyczyny

- a) korozja stali sprężającej na skutek braku lub niewłaściwej jakości zabezpieczenia antykorozyjnego
- b) wady materiałowe
- c) błędy projektowe lub wykonawcze
- d) 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

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 zacznynu iniekcyjnego)	 Fot. 2. Zerwanie pojedynczego drutu liny w kablu (widok po zdjęciu fragmentu rury osłonowej)
 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 deformację 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 linii 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:**

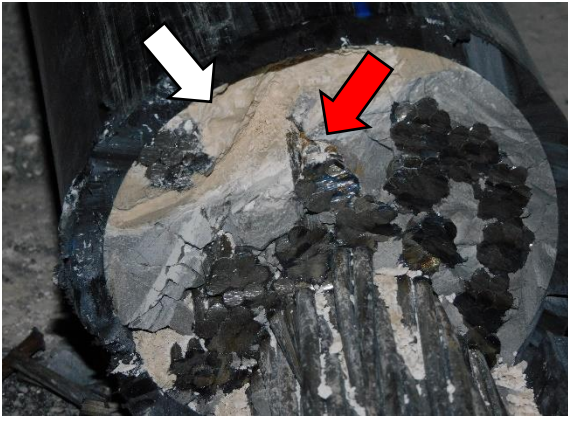
- podjęcie przez zarządcę drogi decyzji o ewentualnym wyłączeniu lub wprowadzeniu ograniczeń w ruchu (ograniczenia tonażowe lub zmiana organizacji ruchu na obiekcie) - jeżeli oprócz zerwania lin lub drutów występują też zarysowania betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast 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 odsonięte 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)	 Fot. 4. Niewłaściwej jakości zaczyn iniekcyjny w górnej części rury osłonowej, wilgotny materiał o białło-beżowym zabarwieniu, łatwo daje się odpajać, 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 odpajać, 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 odpajać

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 zakończona 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.

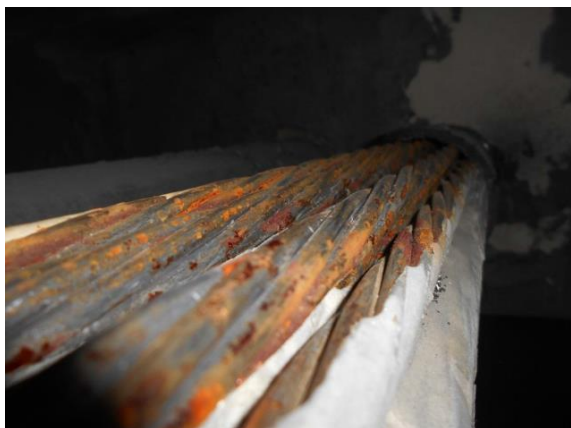
1. Typowy obraz uszkodzeń



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)



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



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)

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	 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. Przemieszczenie (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% sprzężenia

zewnątrznego 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 napięcia 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 rozwarście 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 rozwarście 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 środniczka dźwigara kablobetonowego, przebiegającego wzdłuż trasy kabla sprężającego, przyczyną którego jest korozja stali sprężającej	 Fot. 2. Obraz zarysowania o dużym rozwarciu 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	 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

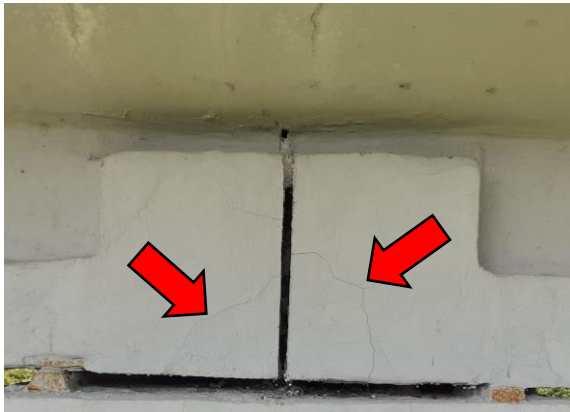
- betonu w strefie ekstremalnych momentów zginających, obiekt należy natychmiast wyłączyć z użytkowania, w innych przypadkach wystarczające powinno być ograniczenie ruchu, którego zakres należy skonsultować z projektantem/ekspertem,
- zlecenie w trybie awaryjnym opracowania ekspertyzy technicznej.

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 ZAKOTWIEŃ
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.

Kluczowe rekomendacje projektu dla konstrukcji sprężonych, dotyczące etapu projektowania i przygotowania inwestycji:

- Wprowadzenie obowiązku przeprowadzania w dokumentacji projektowej analizy sytuacji krytycznych dotyczących potencjalnych uszkodzeń ciągów sprężających lub podwieszających, wraz ze wskazaniem możliwych scenariuszy oraz wynikających z nich ograniczeń w użytkowaniu obiektów mostowych.
- Wprowadzenie do dokumentacji przetargowych oraz specyfikacji technicznych zapisów z jednoznacznym wskazaniem, że roboty związane ze sprężaniem konstrukcji oraz iniekcją kanałów kablowych należy kwalifikować do klasy wykonania 3 zgodnie z normą PN-EN 13670:2011. Biorąc pod uwagę istotność tych robót dla trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, rekomenduje się również wprowadzenie obowiązku rozszerzonej kontroli jakości, wykonywanej przez niezależną jednostkę zewnętrzną.
- Rozważenie możliwości wprowadzenia przepisów nakładających obowiązek okresowego sprawdzania kompetencji (teoretycznych i praktycznych) wykonawców realizujących roboty związane ze sprężaniem konstrukcji oraz iniekcją kanałów kablowych, potwierdzonego przez wyspecjalizowaną jednostkę zewnętrzną.



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

Uszkodzenia występujące w konstrukcjach ciągnowych i proponowana metodyka ich klasyfikacji

mgr inż. Artur Sakowski



**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

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
-----------------------	--------------------------------------

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 włącznie 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

- [1] 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.)

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 kabla mostu extradosed.



Fot. 3. Skorodowana i nieuszczelna osłona zakotwienia.



Fot. 4. Korozja płyty kotwiącej kabli sprężających (rysa na betonie zabezpieczenia ocena w tablicy 5.1.6.)



Fot. 5. Korozja osłony zakotwień kabli sprężających 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 instrukcji GDDKiA;

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 spowodowana procesami korozji, ocenę uszkodzenia i tryb postępowania z uszkodzeniem należy przyjąć zgodnie z wytycznymi w Tablicy 6.2.3.

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 sprężającej,
- 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.	UBYTKI, RYSY I PĘKNIĘCIA BETONU W STREFIE ZAKOTWIĘŃ LUB W DEWIATORACH BETONOWYCH
-----------------------	---

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 włącznie 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

- [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.)

Tablica 6.1.2.	UBYTKI, RYSY I PĘKNIĘCIA BETONU W STREFIE ZAKOTWIENI LUB W DEWIATORACH BETONOWYCH
1. Typowy obraz uszkodzenia	
 2022. 8. 9 12:11	 2022. 8. 9 12:13
Fot. 1. Spękania betonu zakotwień cięgien 	Fot. 2. Spękania betonu na słupach podtrzymujących cięgna  27.10.2022
Fot. 3. Lokalne, poniżej wartości normowych, zarysowania betonu bloków kotwiących  13/08/2022	Fot. 4. Zarysowania dźwigara w rejonie zakotwień 
Fot. 5. Rysy na powierzchni dźwigara o rozwarości do 0,1 mm 	Fot. 6. Zarysowania na całej powierzchni górnej bloku kotwiącego. Rozwarość 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 cięgna, 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 cięgna w dewiatorze) pojedynczym cięgnem 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 cięgnię (poprzez przemieszczenie zakotwienia lub zmianę trasy cięgna w dewiatorze) lub też w jednym cięgnię 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 ciągną wskazuje na możliwość wymiany (to najczęściej projektant przewidywał jego wymianę) 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.

Ocena 0:

- odstąpienie od inspekcji pozostałych zakotwień dewiatorów i ciągien 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 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 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:

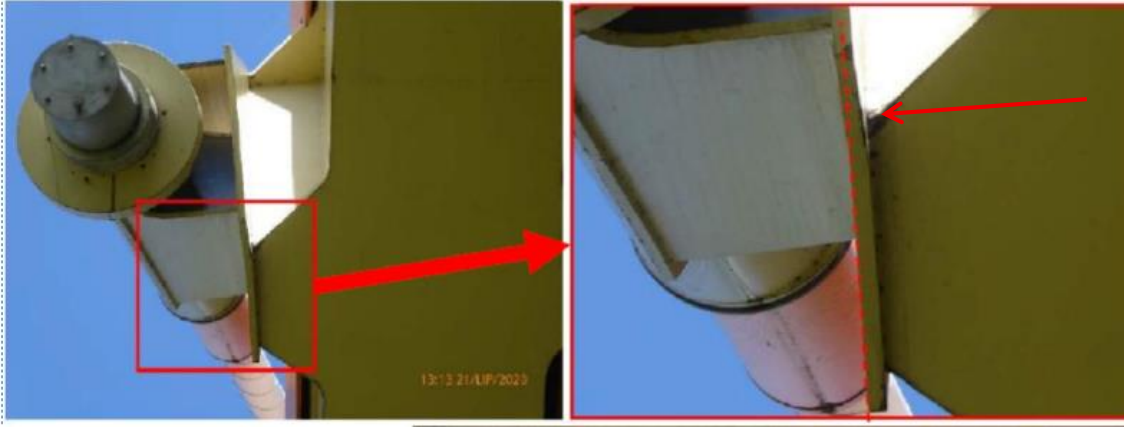
- stały pomiar drgań cięgien przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych cięgien,
- okresowe pomiary naciągu w cięgna metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór,
- okresowe pomiary procesów tworzenia 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 STALOWYCH
-----------------------	--

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

- [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.)

Tablica 6.1.3.	PĘKNIĘCIA, DEFORMACJE LUB ZNISZCZENIE W STREFIE ZAKOTWIEN LUB W DEWIATORACH STAŁOWYCH
1. Typowy obraz uszkodzenia	
	
Fot. 1 Korozja strefy zakotwienia stalowego	
	
Fot. 2 Zdeformowane blachy zakotwień i pęknięcie spoiny [12]	
a) błędy projektowe b) błędy wykonawcze – niewłaściwie 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 cięgien przy użyciu akcelerometrów, w celu wykrycia ewentualnych przypadków zerwania kolejnych cięgien,
- okresowe pomiary naciągu w cięgnach metodą wibracyjną,
- okresowe pomiary geodezyjne charakterystycznych punktów ustroju nośnego oraz podpór.

Tablica 6.2.1.	KOROZJA CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO
-----------------------	---------------------------------------

Tablica 6.2.

CIĘGNA PODWIESZAJĄCE		
Nr tablicy	Typ/rodzaj uszkodzenia wg leksykonu	Typ/rodzaj uszkodzenia (wg [1] tabl. 3.27)
6.2.1.	Korozja ciągna podwieszającego	3. Zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych 4. Korozja powierzchniowa cięgien a) do 5% powierzchni b) powyżej 5% powierzchni
6.2.2.	Korozja, deformacja osłony ciągna podwieszającego	3. Zniszczenie zabezpieczeń antykorozyjnych 5. Pęknięcie osłony kabla, korozja, deformacja, wyrzucenie osłony 6. Wyciek materiału wypełniającego osłonę kabla
6.2.3.	Zerwanie ciągna podwieszającego	7. Uszkodzenie ciągna (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

- [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.)

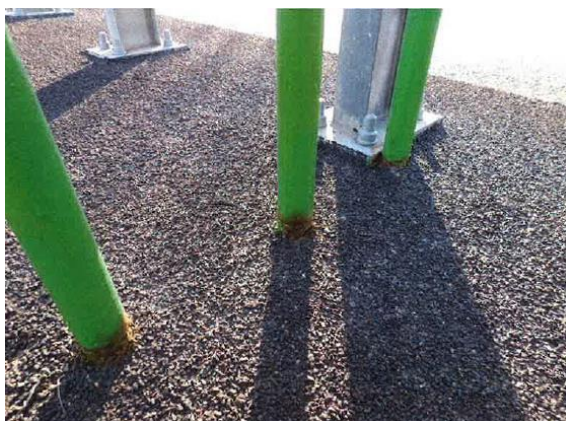
Tablica 6.2.1.

KOROZJA CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO**1. Typowy obraz uszkodzenia**

Fot. 1. Korozja cięgna wynikająca z działania czynników atmosferycznych



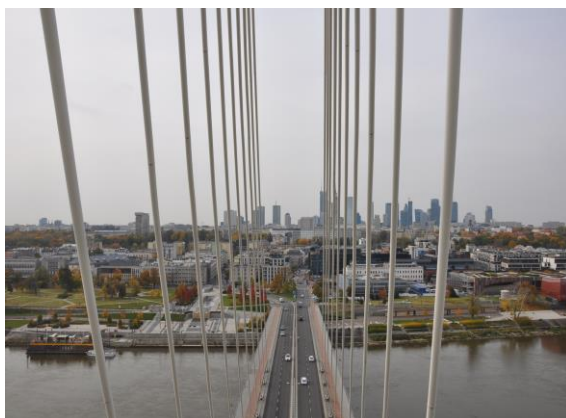
Fot. 2. Miejscowe zacieki korozyjne świadczące o uszkodzeniu powłoki ochronnej stalowego cięgna, spowodowane starzeniem się zabezpieczenia antykorozyjnego



Fot. 3. Korozja wieszaków dźwigara głównego



Fot. 4. Korozja konstrukcji stalowej wieszaka kładki dla pieszych



Fot. 5. Widok lin systemu podwieszenia



Fot. 6. Widok wieszaków stalowych



Fot. 7. Punktowe ogniska korozji wieszaków



Fot. 8. Ciężna podwieszająca 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 takich jak:

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

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 [6.2.3] *Uszkodzenie pn. Zerwanie ciągu podwieszającego*).

Korozja ciągów podwieszających jest bardzo niebezpiecznym zjawiskiem.

W wypadku korozji głębokiej 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).
- po 15 latach użytkowania obiektu niezależnie od oceny, należy zdemontować osłony w celu oceny stanu ciągów podwieszających, czynności te następnie należy powtarzać co 10 lat.

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 ciągów 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
-----------------------	--

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, wyrzucenie 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

- [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.)

Tablica 6.2.2.

KOROZJA, DEFORMACJA OSŁONY CIĘGNA PODWIESZAJĄCEGO**1. Typowy obraz uszkodzenia**

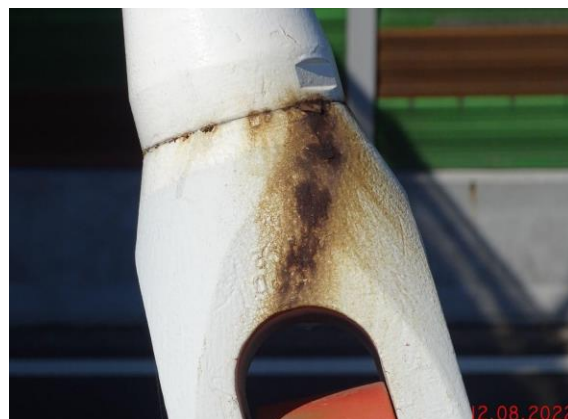
Fot. 1. Niewielkie zabrudzenia rur osłonowych want oraz zacieki na rurach antywandalistycznych, występujące z różną intensywnością w kilkunastu wantach (fot. a, b). Niewielkie ognisko korozji na rurze antywandalistycznej wanty (fot. c)



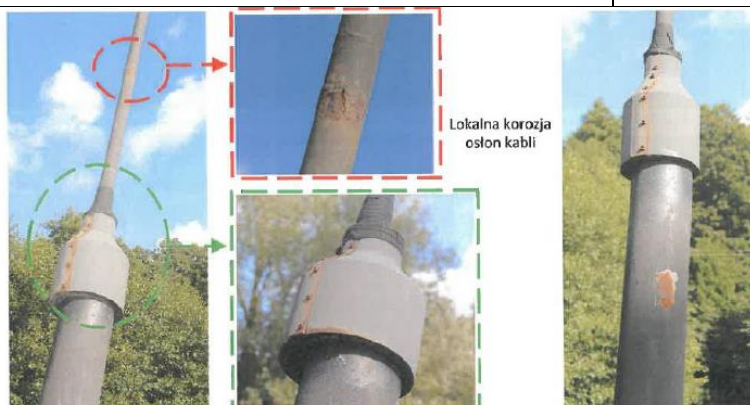
Fot. 2. Pęknięcie i deformacja osłony kabla, rdzawy wyciek



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 antykorozyyjnych. Korozja ciągną spowodowana starzeniem powłoki



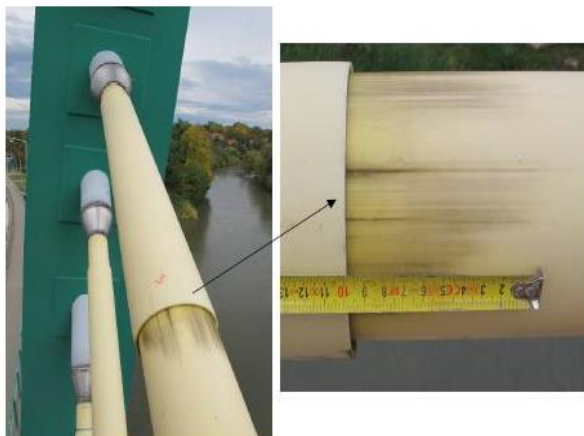
Fot. 5. Lokalna korozja osłon ciągien



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



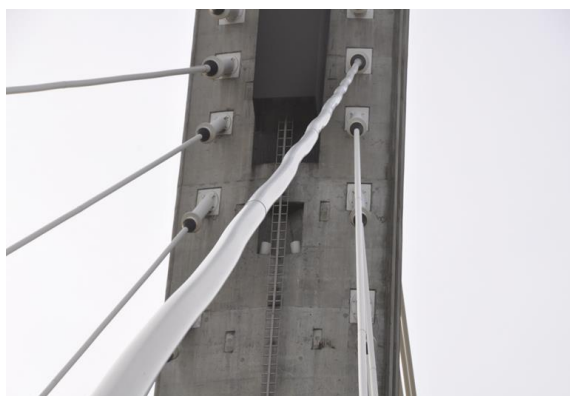
Fot 10. Widoczne przemieszczenie, zsunięcie się kołnierza osłaniającego (o 10 mm), zniszczone uszczelnienia kołnierza



Fot 11. Przesunięcie osłony ciągnien



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 ciągów
- procesy starzenia powłok
- uszkodzenia mechaniczne
- nagromadzenie zanieczyszczeń utrzymujących wilgoć lub agresywnych chemicznie
- uszkodzenia/nieszczelności/deformacje połączeń osłon ciągów stwarzające zagrożenie korozją lub spowodowane korozją

3. Ocena i ryzyko podczas dalszego użytkowania

Ocena 3 – stan niepokojący, powierzchniowe zniszczenie powłoki antykorozyjnej osłon ciągną powodujące lokalną deformację/pęknięcia osłon. Miejscowe, dopiero tworzące się ogniska korozji. Uszkodzenia i pęknięcia osłon z tworzywa sztucznych.

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 ciągu;
- 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);
- przemieszczenia lub deformacji osłony;
- wpływu określonej korozji i deformacji osłon mogącej mieć oddziaływanie na sploty ciągów podwieszających.

Uszkodzenie dotyczy: zabezpieczeń antykorozyjnych oraz odkształceń i deformacji osłon ciągów 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 stanu 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

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, wyrzucenie 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

- [1] 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.)

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 kabla w ciągle 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 kabli 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 przęsła (ocena 0) tryb postępowania powinien być następujący:

- a) odstąpienie 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 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 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
-----------------------	----------------------------------

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, wyrzucenie 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

- [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.)

Tablica 6.2.4.

NADMIERNE DRGANIA CIĘGIEN

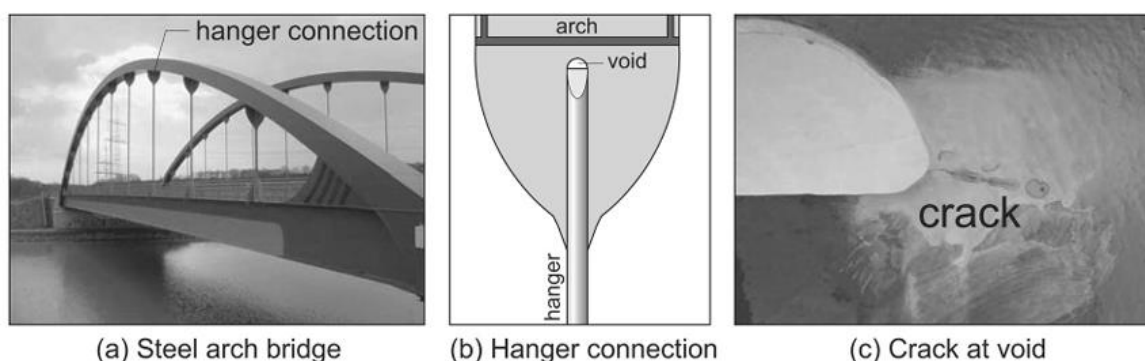
1. Typowy obraz uszkodzenia



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 kabli 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 ciągnio 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 widoczność 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 ciągnio do zakotwienia,
- dodatkowych amortyzatorów zewnętrznych, instalowanych na pomoście które przytrzymują cięgna w sposób podatny w pewnej odległości od zakotwienia,
- lin spinających poszczególne cięgna,
- odpowiednio wyprofilowanych rur osłonowych ze szczególnym profilem w przypadku drgań wywołanych przez wzbudzenie wiatrowo-deszczowe.



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

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

dr hab inż. Piotr Olaszek, prof. IBDiM



**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



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

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

WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

DROGOWYCH OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH

O KONSTRUKCJI SPRĘŻONEJ KABLOBETONOWEJ ORAZ PODWIESZONEJ

Opracował zespół:

IBDiM

dr hab. inż. Piotr Olszsek, prof. IBDiM

dr hab. inż. Ireneusz Wyczalek

mgr inż. Mirosław Biskup

mgr inż. Artur Sakowski

mgr inż. Leszek Komorowski

IPPT PAN

dr inż. Andrzej Świercz

PŚw

prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚw

Wydanie 1. Wylącznie do użytku wewnętrznego GDDKiA

15.09.2025, Warszawa

- 3) Rodzaj i zakres monitoringu
- 4) Obligatoryjny okresowy monitoring geodezyjny
- 5) Obligatoryjny okresowy monitoring wibracyjny cięgien i zalecany okresowy monitoring wibracyjny zewnętrznych kabli sprężających
- 6) Obligatoryjny okresowy monitoring odkształceń elementów betonowych konstrukcji nośnej z zastosowaniem czujników światłowodowych
- 7) Monitoring okresowy, obligatoryjny zarysowań metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca
- 8) Monitoring rozszerzony ciągły i automatyczny
- 9) Model numeryczny konstrukcji



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

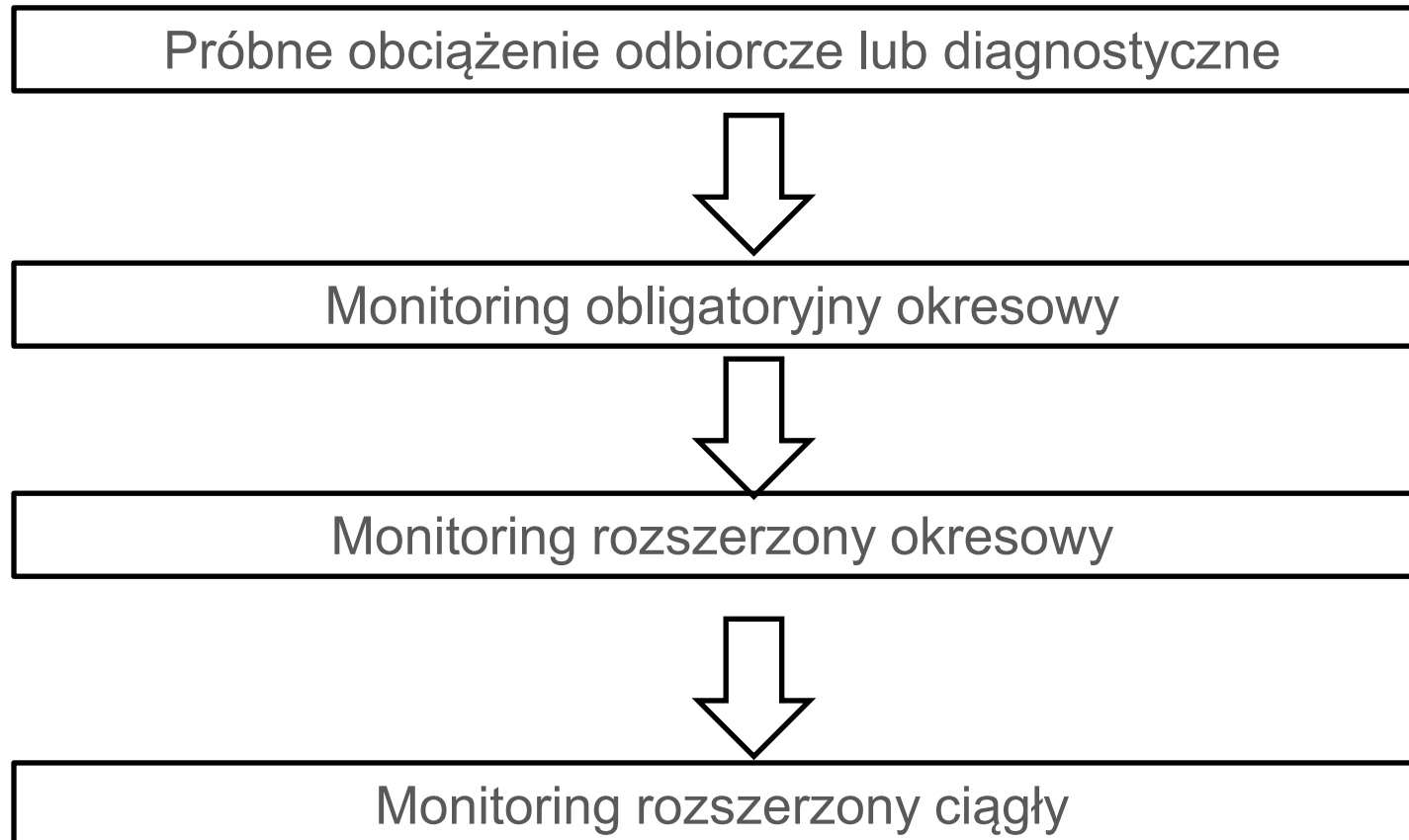


INSTYTUT PODSTAWOWYCH
PROBLEMÓW TECHNIKI
POLSKIEJ AKADEMII NAUK
INSTITUTE OF FUNDAMENTAL
TECHNOLOGICAL RESEARCH
POLISH ACADEMY OF SCIENCES

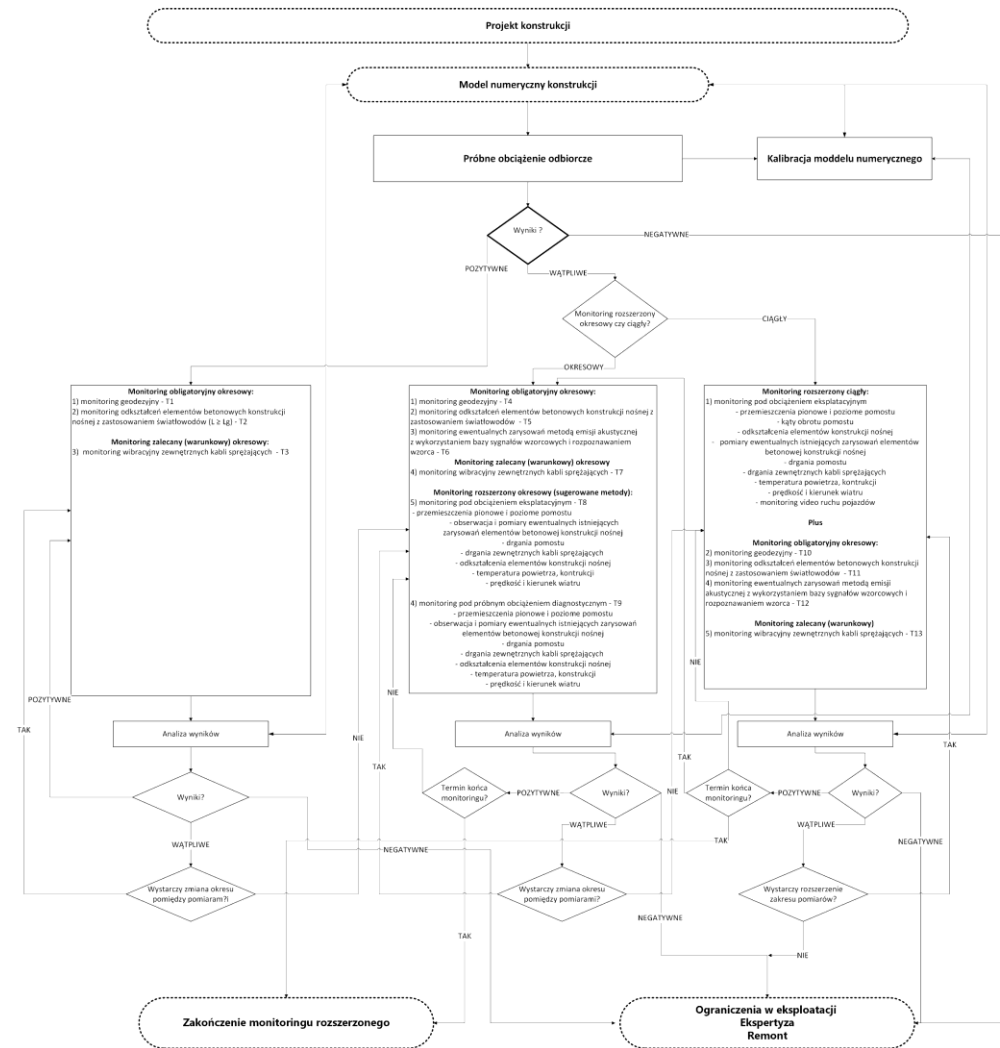


Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

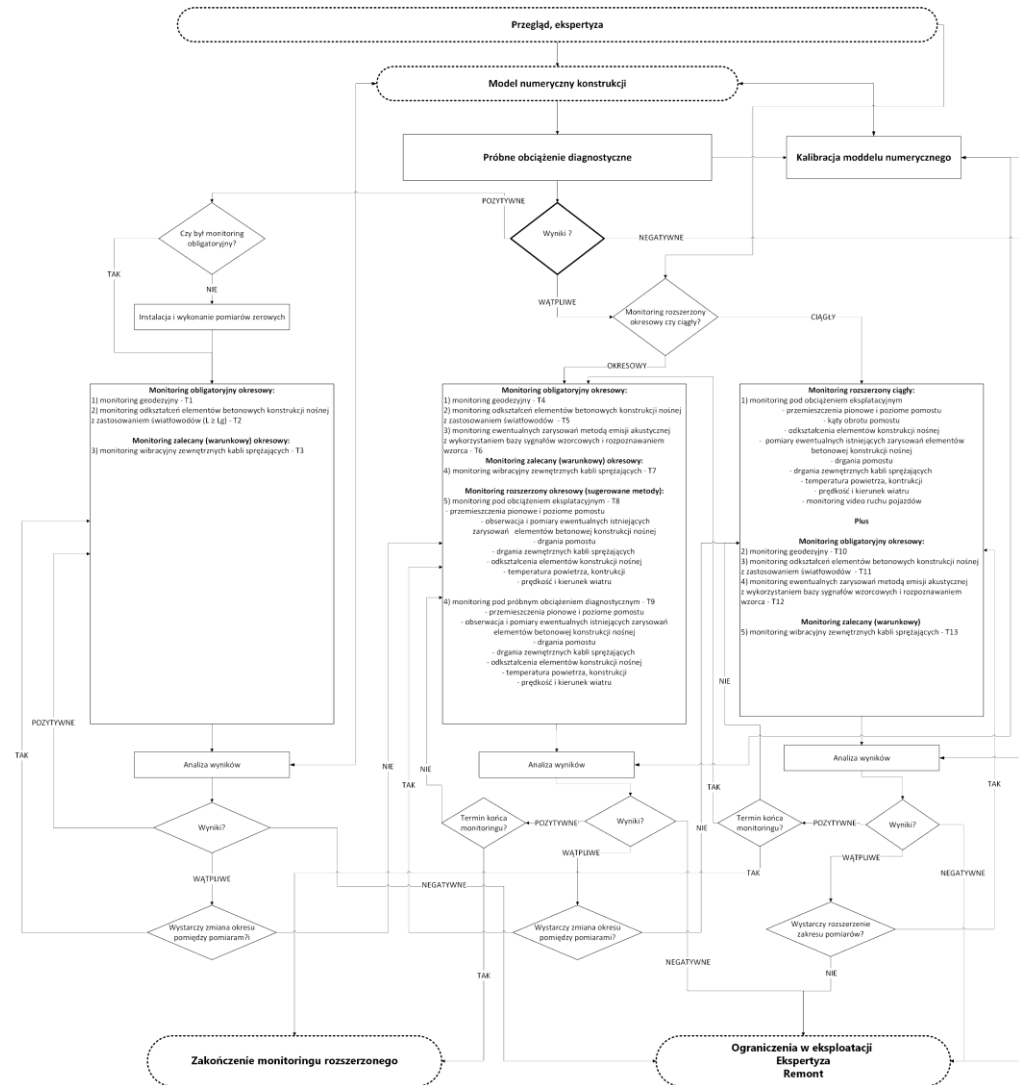
3) Rodzaj i zakres monitoringu



3) Rodzaj i zakres monitoringu



3) Rodzaj i zakres monitoringu



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



**Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology**



4) **Obligatoryjny okresowy monitoring geodezyjny**



- Obligatoryjny bez względu na rozpiętość przęsła
- Obligatoryjne punkty pomiarowe przy każdym podwieszeniu
- Dwukrotne pomiary zerowe powinny być wykonane przed próbnym obciążeniem odbiorczym. Kolejny pomiar powinien być wykonany po próbnym obciążeniu w celu weryfikacji wartości trwałych przemieszczeń występujących na skutek próbnego obciążenia
- W pierwszym okresie eksploatacji zaleca się wykonanie pomiarów po 1 roku, po 3 i po 5 latach eksploatacji. Następnie w przypadku pozytywnych wyników należy zachować odstęp 5 letni.



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

5) **Obligatoryjny okresowy monitoring wibracyjny ciągien i zalecany okresowy monitoring wibracyjny zewnętrznych kabli sprężających**

- W przypadku konstrukcji nowych **obligatoryjny jest monitoring wibracyjny wszystkich ciągien** dla wszystkich konstrukcji bez względu na rozpiętość przęsła.
- Warunkiem koniecznym do prowadzenia **monitoringu wibracyjnego ciągien jest wykonanie pomiarów zerowych przed próbnym obciążeniem odbiorczym**.
Dodatkowo wskazane jest wyznaczenie przez Projektanta częstotliwości drgań ciągien związanych z zaprojektowaną ich siłą naciągu.
- Na podstawie **wyników próbnego obciążenia odbiorczego**, zawierających rozpoznanie przydatności, może być **zalecany monitoring wibracyjny zewnętrznych kabli sprężających**



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

6) **Obligatoryjny okresowy monitoring odkształceń elementów betonowych konstrukcji nośnej z zastosowaniem czujników światłowodowych**

- W przypadku konstrukcji sprężonych z przęsłami o rozpiętości $L \geq 50$ m dodatkowo obligatoryjny jest monitoring odkształceń elementów betonowych konstrukcji nośnej z zastosowaniem czujników światłowodowych.
- Monitoring odkształceń elementów betonowych konstrukcji nośnej z zastosowaniem czujników światłowodowych powinien być prowadzony z zastosowaniem czujników ciągłych geometrycznie (rozłożonych) DFOS (ang. Distributed Fiber Optic Sensors)
- W przypadku konstrukcji nowych czujniki światłowodowe powinny być zainstalowane wewnątrz elementu betonowego wraz z wykonaniem odczytu zerowego na etapie jego wytwarzania (przed betonowaniem).



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

7) **Monitoring okresowy, obligatoryjny zarysowań, zalecany metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**

W przypadku obiektów nowych lub eksploatowanych, w których stwierdzono **zarysowania**, (o rozwarości $\geq 0,3$ mm) w elementach z betonu zbrojonego oraz (o rozwarości $\geq 0,1$ mm) w elementach z betonu sprężonego, konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń, obligatoryjny jest monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań. Zalecane jest zastosowanie metody emisji akustycznej.

Dopuszczalne jest zastosowanie innej metody wykrywania propagacji zarysowań w elementach betonowych, pod warunkiem zapewnienia możliwości detekcji rys w całej objętości badanego elementu a nie tylko na jego powierzchni.



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

8) Monitoring rozszerzony ciągły i automatyczny

- Monitoring ciągły i automatyczny powinien być prowadzony tylko w wyjątkowych przypadkach.
- Takie przypadki to konieczność prowadzenia ciągłej obserwacji zachowania się konstrukcji pod codziennym obciążeniem eksploatacyjnym lub oddziaływaniem czynników atmosferycznych.
- Na etapie projektowania monitoringu ciągłego należy jednoznacznie określić rodzaj obciążeń, których oddziaływania będą monitorowane – statyczne lub dynamiczne.
- Przy dynamice wskazany ciągły pomiar i wstępna analiza; archiwizacja tylko zjawisk ekstremalnych (wskazane sprzężenie z monitoringiem video).

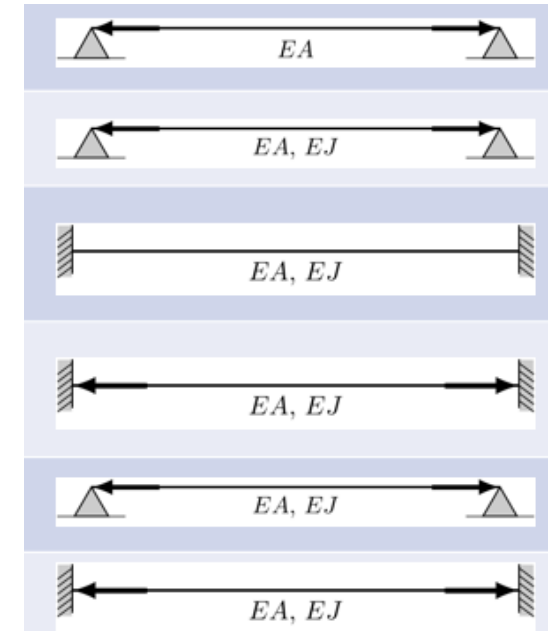
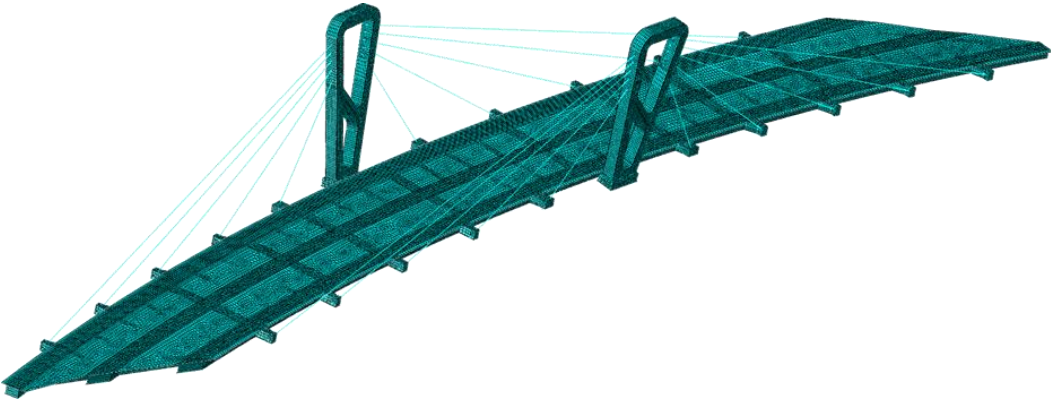


RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

9) Model numeryczny konstrukcji



- Model numeryczny konstrukcji, model numeryczny kabla
- Model numeryczny, kalibrowany podczas próbnego obciążenia powinien być wykorzystywany podczas ekspertyz, monitoringu okresowego lub ciągłego – **cyfrowy bliźniak**



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

Metody geodezyjne monitoringu stanu sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich

dr hab inż. Ireneusz Wyczałek



**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

NIWELACJA GEOMETRYCZNA – NIWELATOR PRECYZYJNY

ZASADA POMIARU NIWELACYJNEGO – odczyt kreski poziomej na łątach „wstecz – t ” oraz „w przód p ” i obliczenie różnicy wysokości $h = t - p$. Znajomość rzędnej punktu „wstecz” (H_t) umożliwia obliczenie rzędnej punktu „w przód” dodając $H_p = H_t + h$.

W monitoringu mostów metoda służy do pomiaru przemieszczeń pionowych (osiadań, ugięć) punktów (reperów) zainstalowanych na badanej konstrukcji.

Przemieszczenia oblicza się według reguły:

$$\Delta h_{ij} = h_j - h_i.$$

W celu uzyskania bezwzględnych wartości przemieszczenia należy „nawiązać” kolejne pomiary do co najmniej trzech punktów odniesienia. W przypadku dużych mostów (> 60 m) niezbędne jest nawiązanie pomiarów po obu stronach przeszkody.

Pomiary muszą być wykonywane za stabilnego stanowiska niwelatora (bez jakichkolwiek drgań)



NIWELACJA TRYGONOMETRYCZNA – TACHIMETR

ZASADA POMIARU TACHIMETRYCZNEGO – metoda tachimetryczna służy do pomiaru przemieszczeń pionowych (ΔH), poziomych (Δx , Δy) lub przestrzennych punktów na badanej konstrukcji. Metoda bazuje na pomiarze kątów poziomych (H_z) i pionowych (V) i odległości ukośnych (SD) i przeliczeniu ich na współrzędne ortogonalne.



Podobnie jak w niwelacji, przemieszczenia oblicza się przez odjęcie wyników wyjściowych (pomiar „zerowy”) od bieżących (pomiar „aktualny”).

Tak jak w niwelacji, pomiary trzeba nawiązywać do punktów odniesienia oraz do punktu „kierunkowego” (wyjściowego).

W przypadku pomiarów na odległości ponad 50 m niezbędna jest korekta pomiaru kątów ze względu na krzywiznę Ziemi i na refrakcję powietrza (pomiar do punktu „refrakcyjnego”).

Pomiary mogą być wykonywane ze stanowiska zlokalizowanego poza mostem, zatem jest możliwy pomiar obiektu obciążonego ruchem pojazdów.



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

NIWELACJA TRYGONOMETRYCZNA – TACHIMETR

PORÓWNANIE (ZALETY, WADY) METOD GEODEZYJNYCH

	NIWELATOR	TACHIMETR
Zakres przemieszczeń	ΔH	$\Delta x, \Delta y, \Delta H$
Precyzja pomiaru	0,05–0,1 mm	0,5 mm (do 100 m)
Długość celowej	35 m	100 m lub więcej
Liczba p. nawiązania	3	3 + kierunkowy
Oznaczenie punktu	reper	pryzmat
Automatyzacja	Niwelator cyfrowy	Tachimetr robotyczny

Obie metody wymagają cyklicznego pomiaru do punktów nawiązania połączonych z kontrolą stałości tych punktów. W przypadku stwierdzenia niestałości któregoś z punktów nawiązania należy wyłączyć go z obliczeń, założyć nowy punkt i go pomierzyć w celu wykorzystania podczas następnych pomiarów.

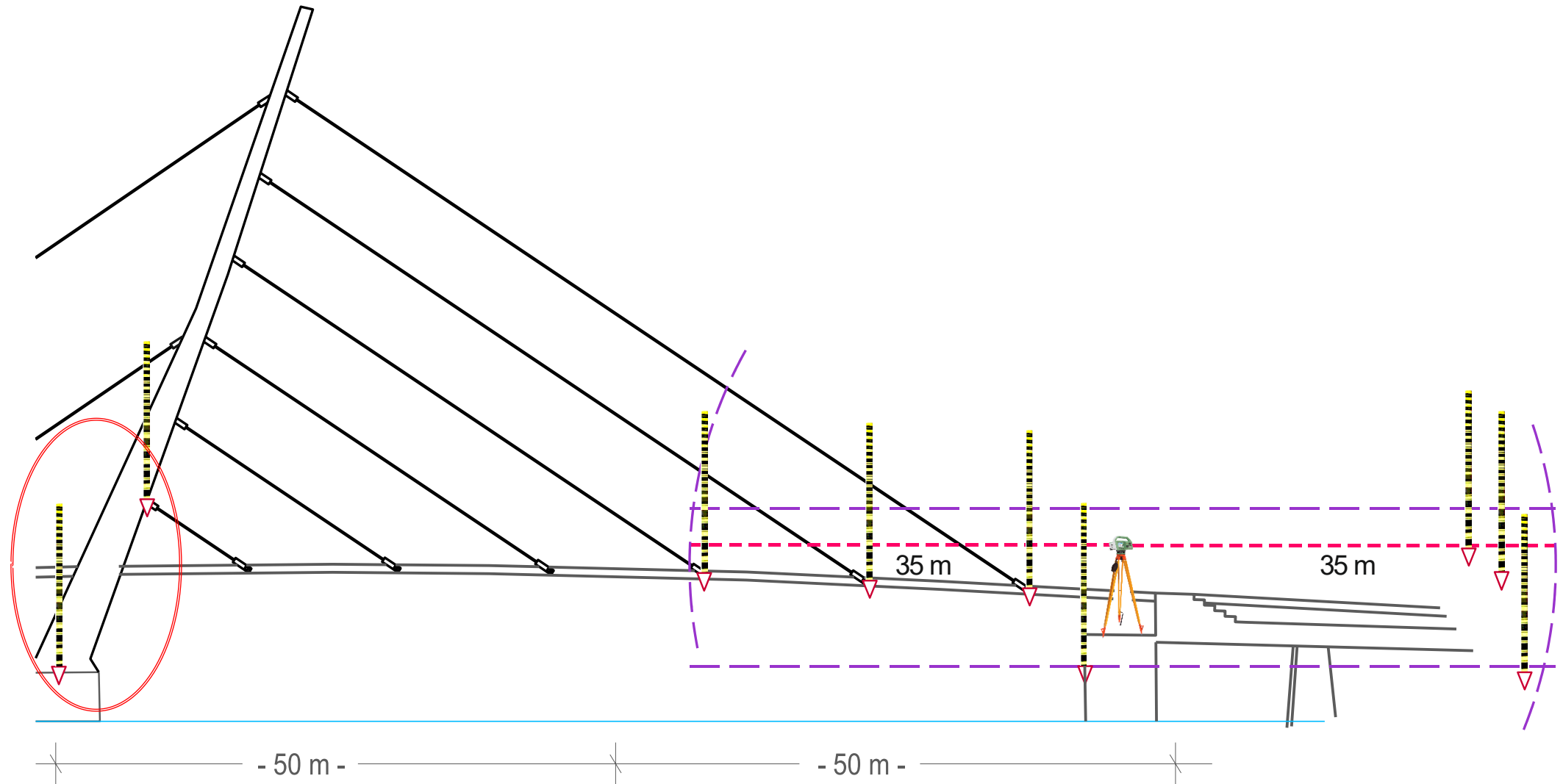


RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

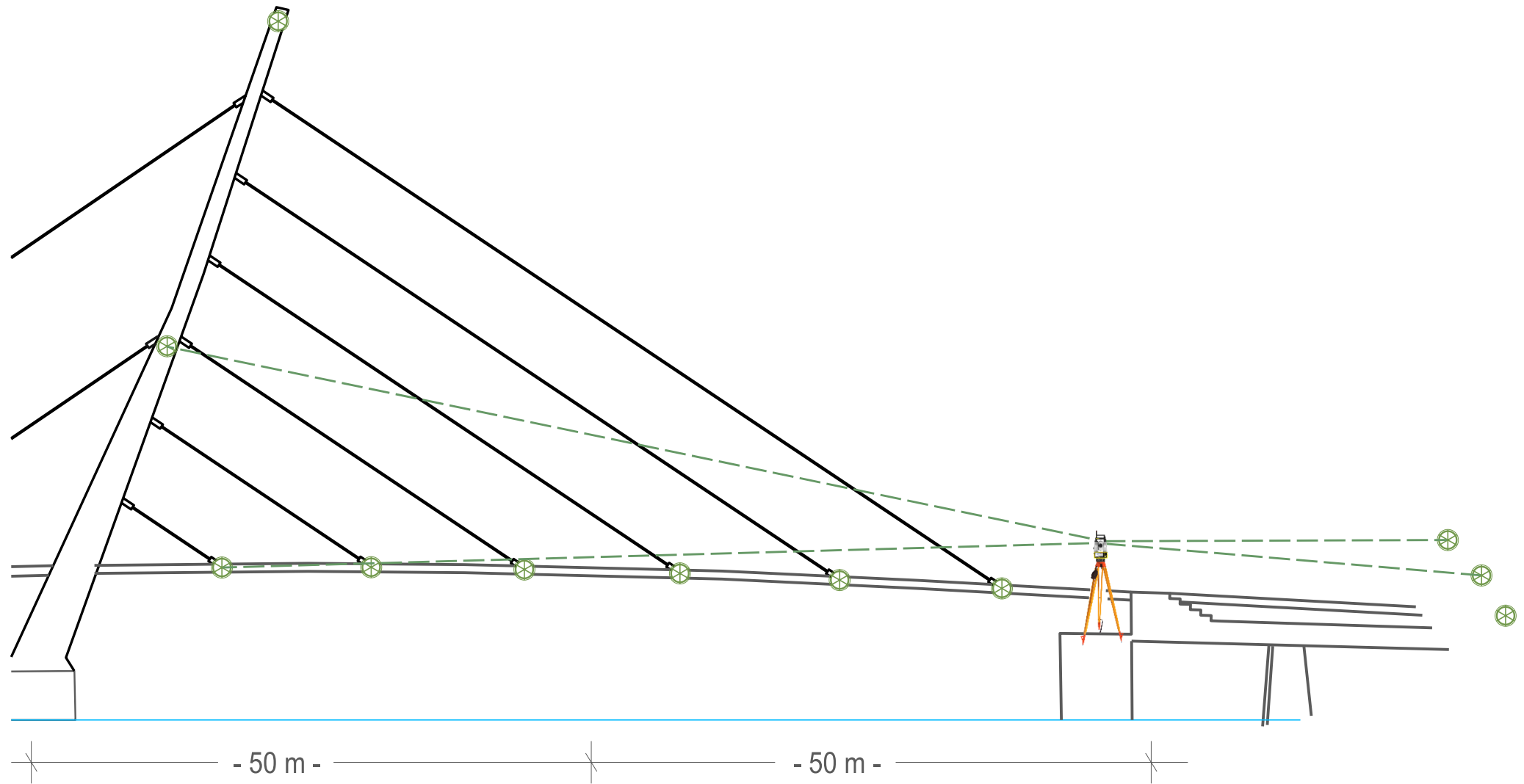


Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

ZAKRES PRZESTRZENNY ZASTOSOWAŃ NIWELACJI



ZAKRES PRZESTRZENNY ZASTOSOWAŃ TACHIMETRII



WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

PODSTAWOWE DEFINICJE (Rozdział 2)

Baza odniesienia dla pomiarów geodezyjnych – zbiór punktów odniesienia, punktów kierunkowych i/lub punktów refrakcyjnych określony w projekcie monitoringu geodezyjnego.

Okresowy pomiar geodezyjny przemieszczeń pionowych i poziomych (monitoring geodezyjny przemieszczeń) – pomiar geodezyjny mający na celu określenie wielkości zmian położenia punktów zlokalizowanych na badanej konstrukcji w długim okresie...

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

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



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

PODSTAWOWE DEFINICJE (Rozdział 2)

Kryterium stałości punktów odniesienia – wielkość liczbowa, której przekroczenie należy traktować jako informację o niestałości punktu odniesienia. Dla osnowy poziomej przedmiotem oceny są współrzędne płaskie punktu (x , y) albo długości (D) i kąty (H) między nimi, a dla osnowy wysokościowej – rzędne (H) lub przewyższenia (Δh), pomierzone względem punktów przyjętych jako stałe.

Metoda różnicowa obliczenia przemieszczeń – metoda obliczeniowa polegająca na porównaniu w procesie wyrównawczym metodą najmniejszych kwadratów różnic współrzędnych lub różnic obserwacji między pomiarami.

Obliczenie przemieszczeń na podstawie pomiarów geodezyjnych – uzyskanie wartości składowych przemieszczenia (w przyjętym układzie współrzędnych) punktu lub punktów poprzez matematyczne przetworzenie wyników obserwacji geodezyjnych, przeprowadzone zgodnie z zasadami rachunku wyrównawczego.

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



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

PODSTAWOWE DEFINICJE (Rozdział 2)

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

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

Projekt monitoringu geodezyjnego – projekt rozmieszczenia punktów pomiarowych i bazy odniesienia dla pomiarów geodezyjnych, wyboru metod pomiaru (niwelacji lub tachimetrii) dla poszczególnych punktów oraz szczegółowych kryteriów wykonania pomiarów i obliczeń, w tym nieprzekraczalnych kryteriów dokładnościowych. Projekt monitoringu powinien stanowić integralną część projektu mostu i bazować na wynikach obliczeń statycznych i dynamicznych konstrukcji. Projekt monitoringu geodezyjnego powinien co najmniej spełniać zasady i ustalenia zawarte w niniejszych wymaganiach.

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



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

WYMAGANIA WZORCOWE SYSTEMU MONITORINGU

4. Obligatoryjny okresowy monitoring geodezyjny

4.1.1 Zasady lokalizacji punktów pomiarowych

/// określono kryteria lokalizacji punktów na przyczółkach (2), podporach pośrednich (3) oraz na pomoście (4) – zarówno dla konstrukcji sprężonych jak i cięgowych ///

4.1.2 Ogólne zasady monitoringu geodezyjnego

/// zwrócono uwagę na rozdzielenie zakresu stosowania niwelacji (3, 4) i tachimetrii (5) wskazując na konieczność zapewnienia przez zarządcę mostu całkowitego ograniczania ruchu pojazdów na obiekcie podczas prowadzenia pomiarów niwelacyjnych na pomoście ///

(9) Rozmieszczenie punktów badanych metodami geodezyjnymi, a także częstotliwość i dokładność ich pomiarów należy ustalić w projekcie monitoringu dostosowanym do charakterystyki obiektu i zjawisk na nim zachodzących. Niezbędnym wymogiem technicznym jest zapewnienie warunków do wykonania pomiaru wszystkich punktów w przewidzianym zakresie przestrzennym, określoną techniką, z zadaną dokładnością oraz w ustalonym przedziale czasu.

(10) W pierwszym okresie eksploatacji zaleca się wykonanie pomiarów po 1 roku, po 3 latach i po 5 latach eksploatacji. Następnie w przypadku pozytywnych wyników należy zachować odstęp 5 letni...



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

4. Obligatoryjny okresowy monitoring geodezyjny

4.1.3 Pomiary geodezyjne – precyzyjna niwelacja geometryczna

4.1.4 Pomiary geodezyjne – tachimetria

4.2 Zasady ogólne obliczeń i prezentacji wyników

(1) Wykonując monitoring należy stosować taki schemat pomiaru, który uwzględnia korektę zakłócających czynników o charakterze systematycznym oraz umożliwia bieżące wykrywanie i eliminację błędów grubych. W szczególności pomiar wyjściowy („zerowy”) powinien być wykonany co najmniej dwukrotnie... Kolejny pomiar powinien być wykonany po próbnym obciążeniu w celu weryfikacji wartości trwałych przemieszczeń występujących na skutek próbnego obciążenia.

(2) W miarę możliwości wyniki pomiarów zerowych podpór powinny być odniesione do monitoringu osiadania podczas budowy.

(3) Obliczenia przemieszczeń należy każdorazowo poprzedzić kontrolą stałości punktów odniesienia, a w przypadku, gdy dane pomiarowe wskazują na możliwość wystąpienia niestałości danego punktu odniesienia (przekroczony trzykrotny błąd średni pomiaru) należy stosować – zależnie od metody pomiaru – zapisy akapitów (4) z punktu 4.1.3 lub (5) z punktu 4.1.4.

...



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

 INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

WARUNKI STOSOWANIA METODY ALTERNATYWNEJ

Alternatywnie do techniki tachimetrycznej możliwe jest stosowanie fotogrametrii pod dwoma warunkami:

- 1) pod warunkiem odniesienia pomiarów do stałych, sprawdzanych każdorazowo punktów bazy odniesienia – wzajemne pozorne przemieszczenia tych punktów powinny być mniejsze od 3-krotnego błędu średniego (tj. 3σ) pojedynczego pomiaru;
- 2) pod warunkiem, że uzyskane wyniki będą porównywalne dokładnościowo do danych uzyskanych precyzyjną metodą tachimetryczną.

Podstawowym wymogiem w zakresie stosowania zdjęć do monitoringu przemieszczeń i deformacji całej konstrukcji jest zapewnienie wiarygodnej bazy odniesienia (zapewniającej eliminację ewentualnych drgań kamery), odpowiedniej sygnalizacji (tarcze kodowe, LED) oraz użycia metod obliczeniowych zapewniających uzyskanie wiarygodnych, dokładnych składowych przemieszczenia [15,16]. Możliwe jest również wykorzystywanie kamer od smartfonów przy zapewnieniu jednoczesnej obserwacji punktu mierzonego i punktu odniesienia [23]. W kontekście niniejszych wytycznych stosując metody fotogrametryczne do pomiarów statycznych należy udowodnić uzyskanie wyników porównywalnych z precyzyjną tachimetrią, albo uzasadnić konieczność zastąpienia nimi pomiaru tachimetrycznego;



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Metody geodezyjne monitoringu stanu sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich

dr hab inż. Ireneusz Wyczałek



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)


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


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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

**Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych
metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**

dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚk

prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt



**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

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

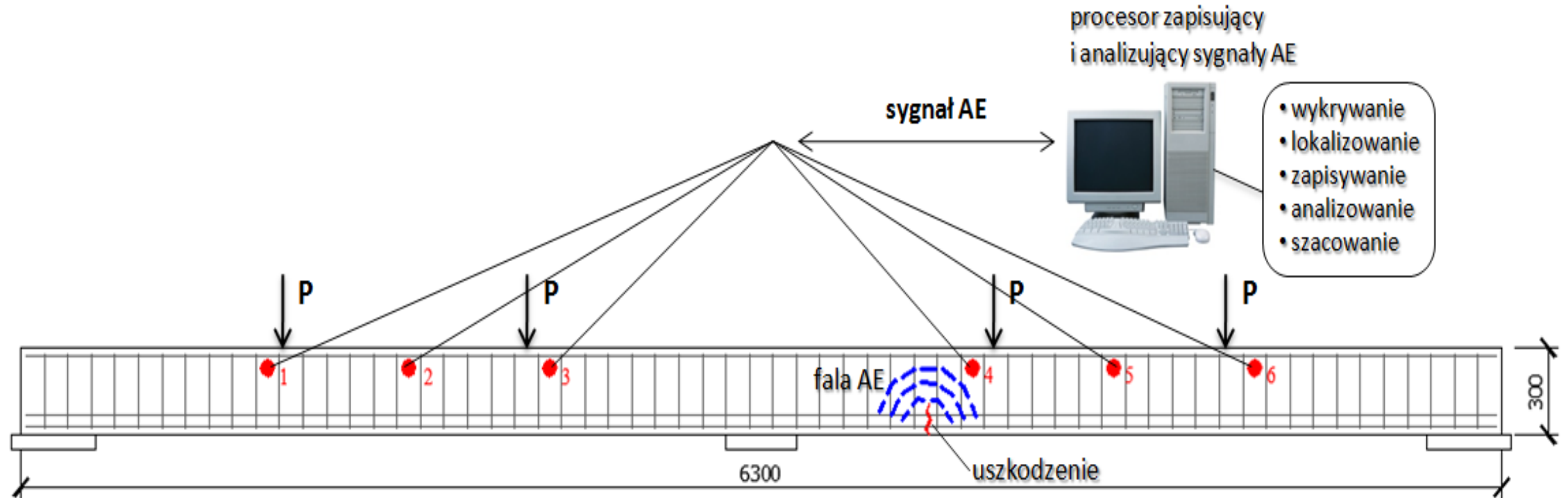


RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca



Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

RPD dla konstrukcji sprężonych

Kolor/ symbol							+	X
Nr klasy	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6	Nr 7	Nr 8
Kod zagrożenia	5	4	3	3	2	2	1	0

IADP dla konstrukcji żelbetowych

Kolor/ symbol						
Nr klasy	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6
Kod zagrożenia	5	4	3	2	1	0

- ▶ Klasa Nr 1 (Kod zagrożenia 5) - Mikropeknięcia w betonie na granicy frakcji kruszywa o małych wymiarach ($\Phi \leq 2 \text{ mm}$) i zaprawy cementowej,
- ▶ Klasa Nr 2 (Kod zagrożenia 4) - Mikropeknięcia w betonie na granicy frakcji kruszywa o małych i średnich wymiarach ($\Phi \leq 8 \text{ mm}$),
- ▶ Klasa Nr 3 (Kod zagrożenia 3) - Powstanie rys w strefie rozciąganej betonu
- ▶ Klasa Nr 4 (Kod zagrożenia 3) - Rozwój rysy
- ▶ Klasa Nr 5 (Kod zagrożenia 2) - Pęknięcie na granicy beton – zbrojenie
- ▶ Klasa Nr 6 (Kod zagrożenia 2) - Uplastycznienie stali i betonu
- ▶ Klasa Nr 7 (Kod zagrożenia 1) - Odspojenie się zbrojenia sprężającego od betonu
- ▶ Klasa Nr 8 (Kod zagrożenia 0) - Zerwanie splotów sprężających

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

Kod	Opis
A	Brak znaczących wad
B	Mała ilość wad, obejmująca nie więcej niż 5% powierzchni / długości bądź ilości elementów
C	Umiarkowana ilość wad, obejmująca od 5% do 20% powierzchni / długości bądź ilości elementów
D	Duża ilość wad, obejmująca od 20% do 50% powierzchni / długości bądź ilości elementów
E	Rozległe wady, obejmujące od 50% do 70% powierzchni / długości bądź ilości elementów
F	Rozległe uszkodzenia, obejmujące więcej niż 70% powierzchni / długości bądź ilości elementów

Tabela 1. Rozległość uszkodzeń

Kod	Opis	Nr klasy
0	Element niespełniający swojej funkcji użytkowej lub zniszczony	Nr 8
1	poważna wada / uszkodzenie i / albo element jest blisko awarii / zniszczenia.	Nr 7
2	Umiarkowana wada / uszkodzenie, która może mieć wpływ na utratę nośności	Nr 5, Nr 6
3	Pierwsze oznaki pogorszenia stanu technicznego konstrukcji, pojawiają się niewielkie wady / uszkodzenia, niewpływające na nośność elementu.	Nr 3, Nr 4
4	Nowy element lub element z wadą niemającą wpływu na jego nośność	Nr 2
5	Nowy element bez wad	Nr 1

Tabela 2. Wpływu defektów na stan techniczny konstrukcji



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

Kod	Opis	Nr klasy	Szerokość rysy [mm]
0	Element niespełniający swojej funkcji użytkowej bądź zniszczony	Nr 8 Nr 7	> 1,0
1	Poważna wada / uszkodzenie i / albo element jest blisko awarii / zniszczenia.	Nr 6 Nr 5	0,6 – 1,0
2	Umiarkowana wada / uszkodzenie, która może mieć wpływ na obniżenie nośności	Nr 4	0,2 – 0,6
3	Pierwsze oznaki pogorszenia stanu technicznego konstrukcji, pojawiają się niewielkie wady / uszkodzenia, niewpływające na obniżenie nośności elementu.	Nr 3	0,1- 0,2
4	Nowy element bądź element z wadą niemającą wpływu obniżenie nośności	Nr 2	0 – 0,1
5	Nowy element bez wad – spełniający warunek SLS	Nr 1	0

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

PRZYKŁADY

Na obiektach mostowych „starych” – wykazujących oznaki uszkodzenia - w celu przedłużenia im okresu eksploatacji bez prac remontowych oraz ustalenia kolejności obiektów do prac remontowych

2006

	Klasa Nr 1	Klasa Nr 2	Klasa Nr 3	Klasa Nr 4	Klasa Nr 5	Klasa Nr 6	Klasa Nr 7	Klasa Nr 8
Strefa 1	○							
Strefa 2	○							
Strefa 3	○	□						
Strefa 4	○							
Strefa 5	○	□						
Strefa 6	○							
Strefa 7	○							
Strefa 8	○							
Strefa 9	○							
Strefa 10	○							
Strefa 11	○							

2007

	Klasa Nr 1	Klasa Nr 2	Klasa Nr 3	Klasa Nr 4	Klasa Nr 5	Klasa Nr 6	Klasa Nr 7	Klasa Nr 8
Strefa 1	○		◆					
Strefa 2	○							
Strefa 3	○							
Strefa 4	○							
Strefa 5	○	□	◆					
Strefa 6	○							
Strefa 7	○	□						
Strefa 8	○	□						
Strefa 9	○	□						
Strefa 10	○	□						
Strefa 11	○	□						

2008

	Klasa Nr 1	Klasa Nr 2	Klasa Nr 3	Klasa Nr 4	Klasa Nr 5	Klasa Nr 6	Klasa Nr 7	Klasa Nr 8
Strefa 1	○	□	◆					
Strefa 2	○	□						
Strefa 3	○	□	◆					
Strefa 4	○	□	◆	▼				
Strefa 5	○	□	◆	▼				
Strefa 6	○	□						
Strefa 7	○	□						
Strefa 8	○	□						
Strefa 9	○	□	◆	▼				
Strefa 10	○	□						
Strefa 11	○	□						

2009

	Klasa Nr 1	Klasa Nr 2	Klasa Nr 3	Klasa Nr 4	Klasa Nr 5	Klasa Nr 6	Klasa Nr 7	Klasa Nr 8
Strefa 1	○	□	◆					
Strefa 2	○	□						
Strefa 3	○	□	◆					
Strefa 4	○	□	◆	▼				
Strefa 5	○	□	◆	▼	▲	●		
Strefa 6	○	□						
Strefa 7	○	□						
Strefa 8	○	□						
Strefa 9	○	□	◆	▼				
Strefa 10	○	□						
Strefa 11	○	□						

2010

	Klasa Nr 1	Klasa Nr 2	Klasa Nr 3	Klasa Nr 4	Klasa Nr 5	Klasa Nr 6	Klasa Nr 7	Klasa Nr 8
Strefa 1	○	□	◆					
Strefa 2	○	□	◆					
Strefa 3	○	□	◆					
Strefa 4	○	□	◆					
Strefa 5	○	□	◆	▼				
Strefa 6	○	□	◆	▼				
Strefa 7	○	□	◆	▼				
Strefa 8	○	□	◆	▼				
Strefa 9	○	□	◆	▼				
Strefa 10	○	□	◆	▼	▲			
Strefa 11	○	□	◆	▼				



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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

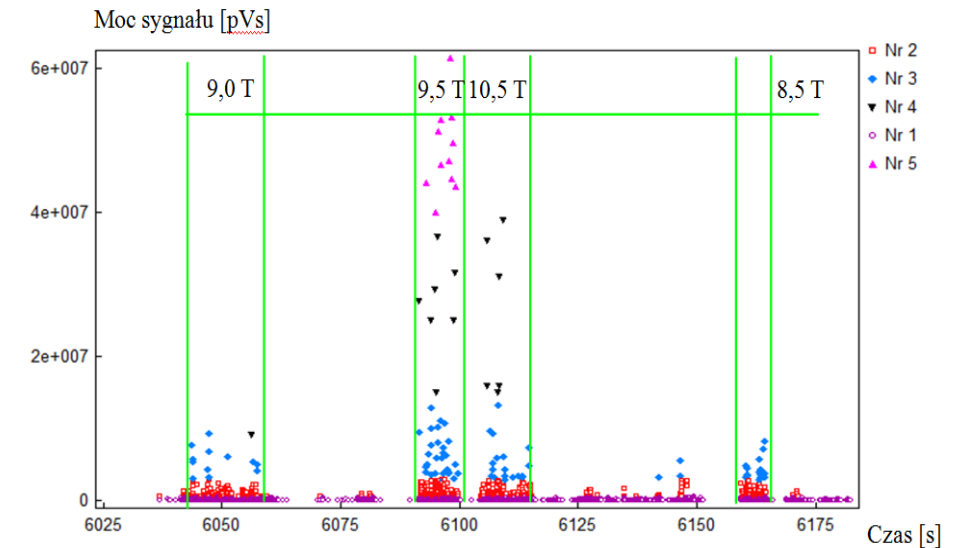
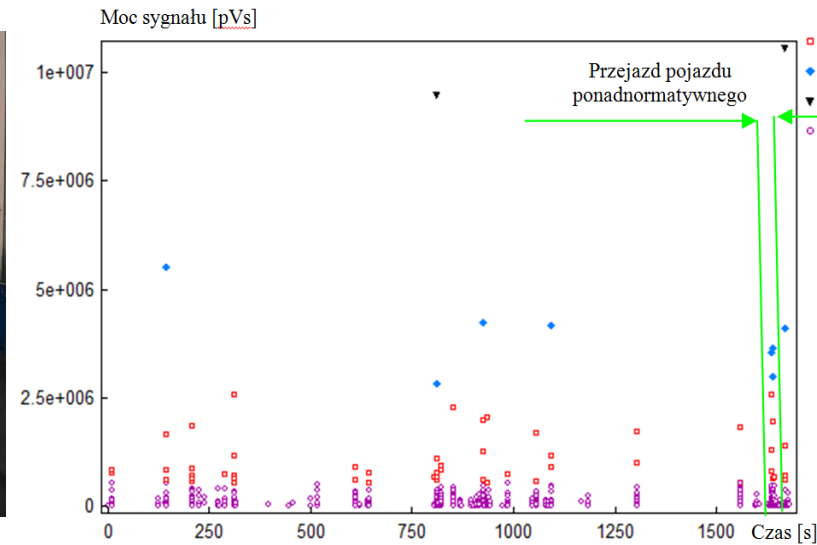


Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

PRZYKŁADY

Na obiektach mostowych - w trakcie przejazdów nienormalywnych ze względu na nacisk na osie lub rzeczywistą masę całkowitą



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

PRZYKŁADY

Na obiektach mostowych wyremontowanych - w celu weryfikacji jakości przeprowadzonych prac remontowych lub w trakcie przeglądów lub ekspertyz



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

PRZYKŁADY

Na nowo wybudowanych obiektach jako stan „zerowy” i monitoring stały (most inteligentny)



- ♦ Most przez rzekę Tien Giang łączący dzielnicę Cái Bè z miastem Vĩnh Long w Wietnamie
- ♦ Szerokość pomostu – 23,66 m
- ♦ Długość całkowita – 1535 m
- ♦ Rok budowy – maj 2000r
- ♦ Przęsła podwieszane – 650 m
- ♦ Najdłuższe przęsło – 350 m



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

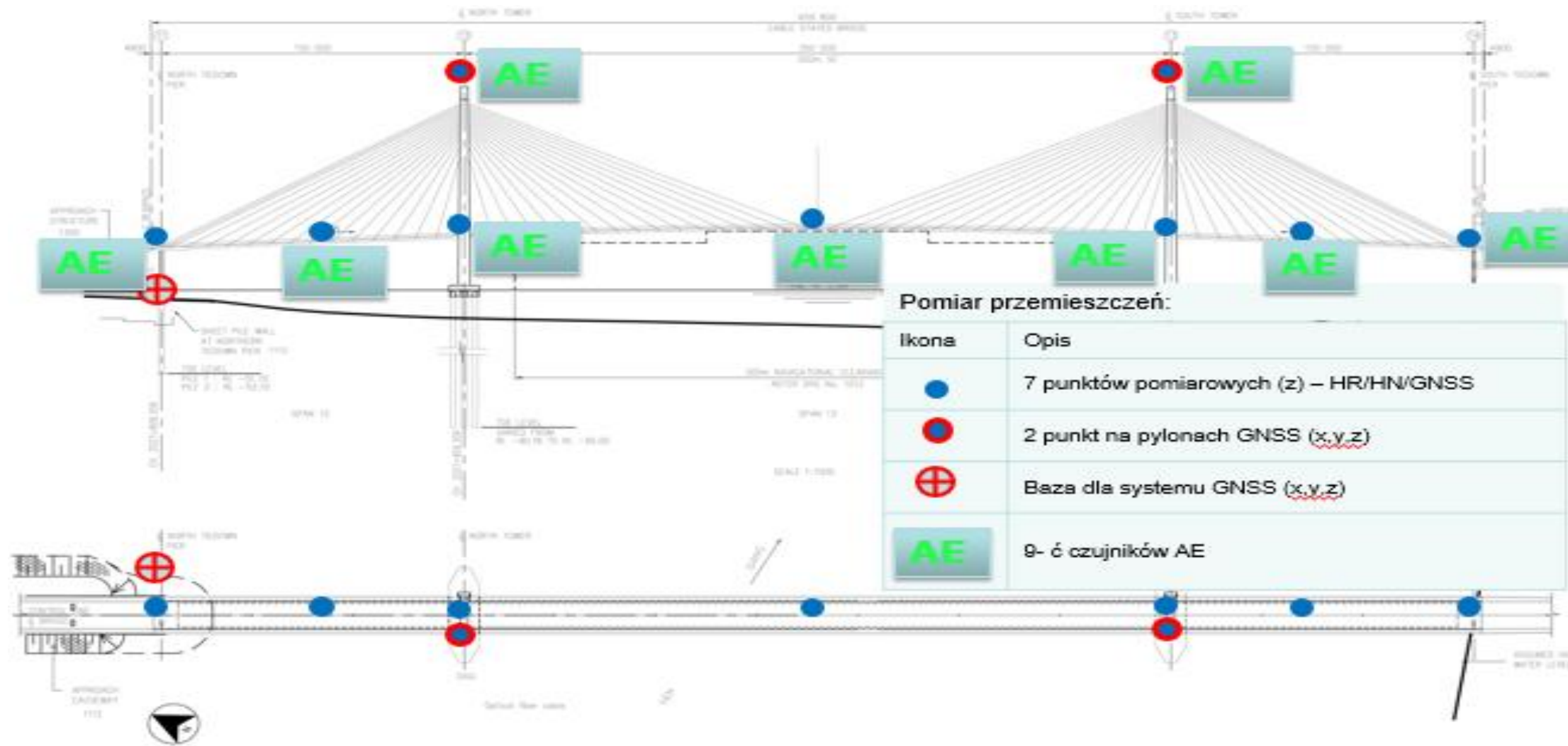
Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca



Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

PRZYKŁADY

Obciążenia próbne lub pod ruchem eksploatacyjnym (Wiadukt w ciągu autostrady A1 nad drogą gminną Plichtów-Moskwa)



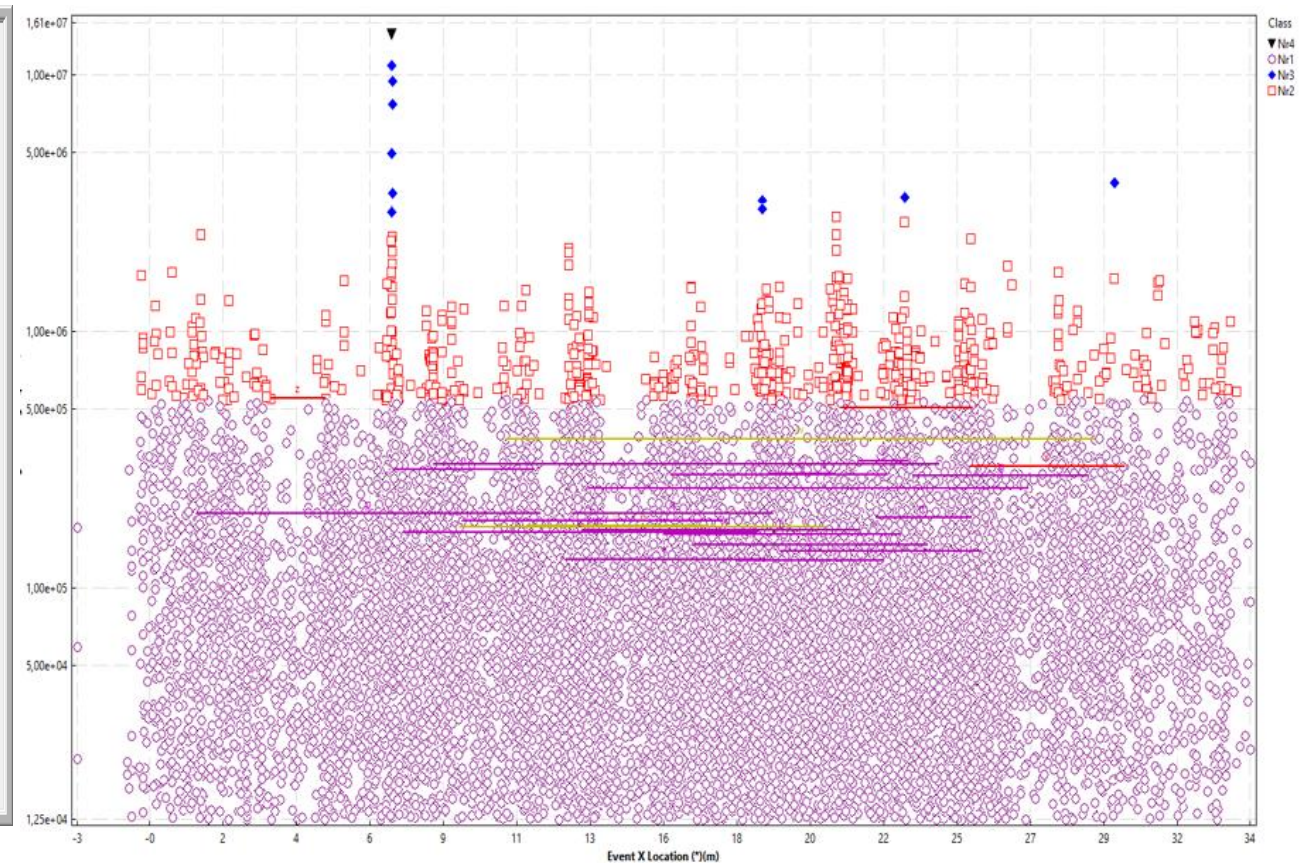
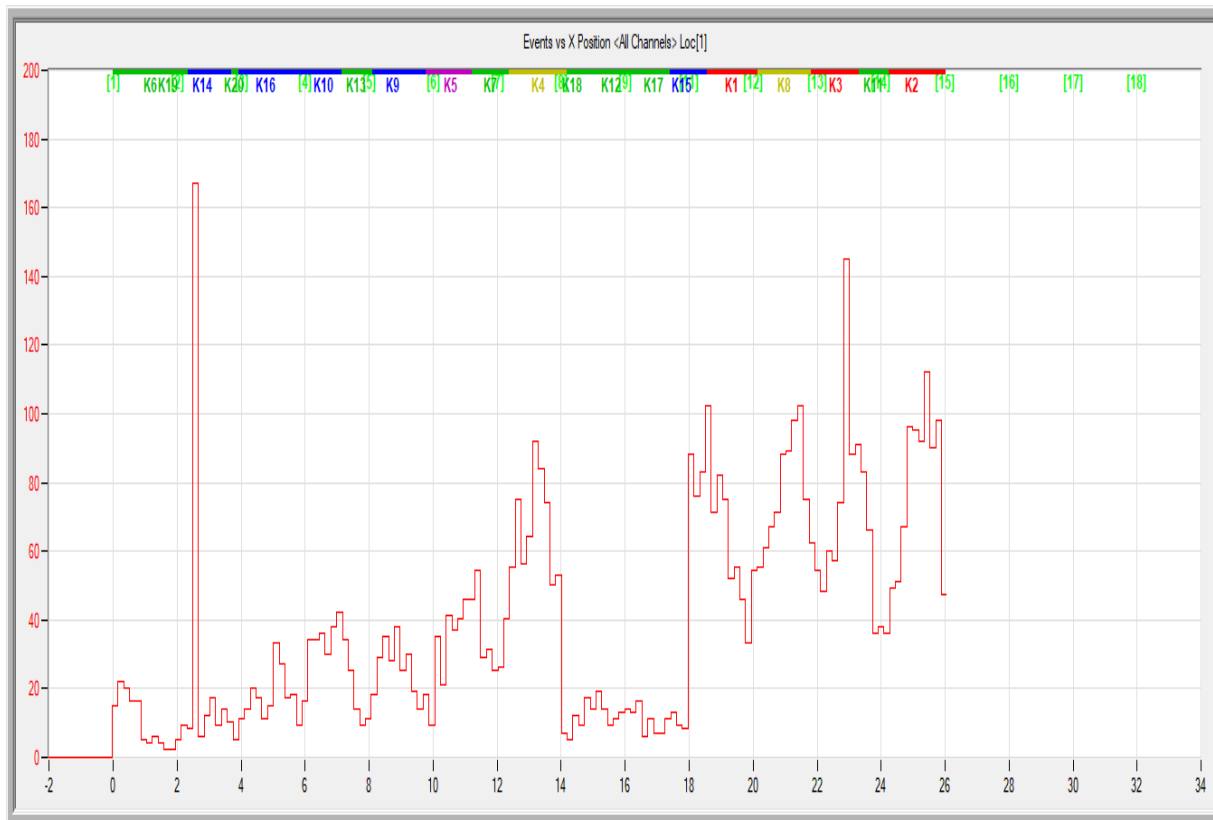
RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

Belka od strony Gdańska



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

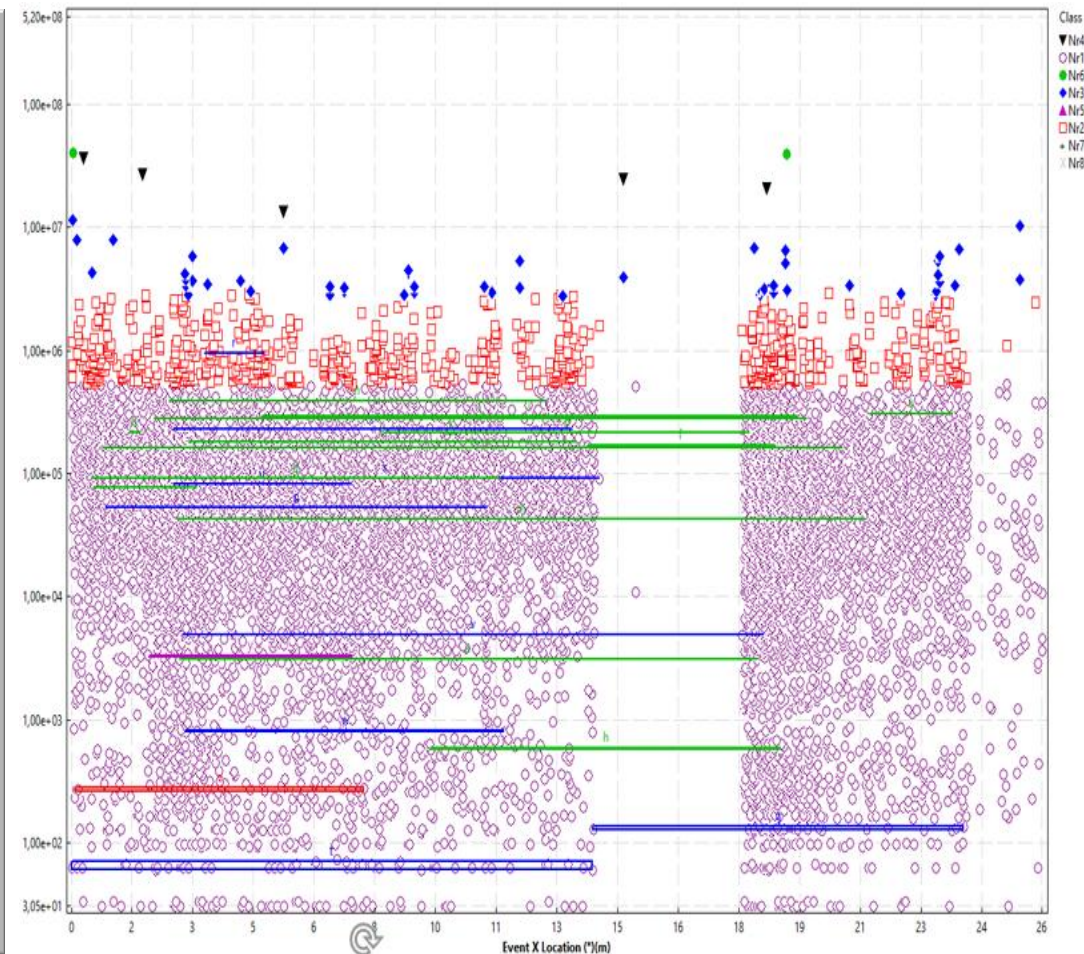
INSTYTUT BADAWCZY
DRÓG I MOSTÓW
ROAD AND BRIDGE
RESEARCH INSTITUTE

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Belka od strony Łodzi



Rekomendacje do konstrukcji sprężonych kablobetonowych

1. W przypadku obiektów nowych, w których przed lub w czasie próbnego obciążenia odbiorczego stwierdzono zarysowania (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach betonowej konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń, obligatoryjny jest monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań. **Zalecane** jest zastosowanie **metody emisji akustycznej** z wykorzystaniem **bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**. **Dopuszczalne** jest zastosowanie zamiast emisji akustycznej **innej metody wykrywania propagacji zarysowań** w elementach betonowych, **pod warunkiem zapewniania możliwości detekcji rys w całej objętości badanego elementu a nie tylko na jego powierzchni** oraz uzyskania pozytywnej opinii ekspertów z zakresu nieniszczących badań betonu.
2. W przypadku obiektów eksploatowanych, w których stwierdzono zarysowania (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach betonowej konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń, obligatoryjny jest monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań. **Zalecane** jest **zastosowanie metody emisji akustycznej** z wykorzystaniem **bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**. Dopuszczalne jest zastosowanie zamiast emisji akustycznej innej metody wykrywania propagacji zarysowań w elementach betonowych ze **spełnieniem warunku podanego w punkcie (1)**.

Rekomendacje do konstrukcji podwieszonych

3. W przypadku obiektów nowych, w których przed lub w czasie próbnego obciążenia odbiorczego stwierdzono zarysowania, (o rozwartości $\geq 0,3$ mm) w elementach z betonu zbrojonego oraz (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach z betonu sprężonego, konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń, obligatoryjny jest monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań. **Zalecane** jest zastosowanie **metody emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**. **Dopuszczalne** jest zastosowanie zamiast emisji akustycznej **innej metody wykrywania propagacji zarysowań** w elementach betonowych, **pod warunkiem zapewnienia możliwości detekcji rys w całej objętości badanego elementu a nie tylko na jego powierzchni** oraz uzyskania pozytywnej opinii ekspertów z zakresu nieniszczących badań betonu.
4. W przypadku obiektów eksploatowanych, w których stwierdzono zarysowania, (o rozwartości $\geq 0,3$ mm) w elementach z betonu zbrojonego oraz (o rozwartości $\geq 0,1$ mm) w elementach z betonu sprężonego, w elementach betonowej konstrukcji nośnej o charakterze wskazującym na efekt oddziaływań występujących obciążeń, obligatoryjny jest monitoring rozszerzony okresowy propagacji zarysowań. **Zalecane** jest zastosowanie **metody emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca**. **Dopuszczalne** jest zastosowanie zamiast emisji akustycznej **innej metody wykrywania propagacji zarysowań** w elementach betonowych ze spełnieniem warunku podanego w punkcie (3).

Monitoring okresowy zarysowań konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych metodą emisji akustycznej z wykorzystaniem bazy sygnałów wzorcowych i rozpoznawaniem wzorca

Dziękuję za uwagę



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

**Model numeryczny konstrukcji ze szczególnym uwzględnieniem monitoringu
wibracyjnego ciągien i zewnętrznych kabli sprężających**

Andrzej Świercz



**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

Modelowanie numeryczne konstrukcji (1)

Etapy modelowania numerycznego obiektu mostowego

- Etap I:** opracowanie modelu numerycznego: odwzorowanie uproszczonej geometrii obiektu, warunki brzegowe, modele materiałowe, obciążenie, utworzenie siatki elementów skończonych (*preprocessing*)
- Etap II:** przeprowadzenie obliczeń za pomocą oprogramowania MES w zakresie zdefiniowanego typu analizy (*solver*)
- Etap III:** przetwarzania wyników obliczeń, wizualizacja i archiwizacja wyników (*postprocessing*)



Kalibracja – dostrojenie modelu obliczeniowego (parametrów fizycznych/geometrycznych) w celu zredukowania rozbieżności z zarejestrowanymi sygnałami pomiarowymi

Kalibracja statyczna – sztywność konstrukcji

Kalibracja dynamiczna – rozkład masy konstrukcji

Walidacja – sprawdzanie, czy model komputerowy jest wiarygodny (badany obiekt poddany jest innym warunkom obciążenia i pomiaru niż w przypadku kalibracji modelu)

Modelowanie drgań własnych cięgien

(1) **Analiza statyczna** – wyznaczenie sił w cięgnach obiektu (bez obciążenia lub z obciążeniem)

(2) **Analiza drgań własnych** cięgna wyizolowanego z konstrukcji z odpowiadającymi warunkami brzegowymi

Modelowanie numeryczne konstrukcji (2)

Model numeryczny – matematyczna reprezentacja konstrukcji inżynierskiej utworzona za pomocą siatki elementów skończonych, wykorzystywana do przeprowadzania symulacji jej zachowania pod wpływem obciążeń lub/i czynników zewnętrznych

Model numeryczny

- **Geometria i warunki brzegowe** – podział na elementy skończone (kratowe belkowe, płytowe, powłokowe, bryłowe), definicja właściwości geometrycznych i fizycznych, więzy kinematyczne
- **Model materiału** – parametry związków fizycznych (moduł Younga, współczynnik Poissona), parametry materiałowe: gęstość, współczynnik rozszerzalności cieplnej
- **Model obciążenia** – układ sił skupionych, powierzchniowych, ciężar własny, warunki początkowych, rozkład temperatur, imperfekcje geometryczne

$$\text{Równanie ruchu: } \mathbf{M}\ddot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{C}\dot{\mathbf{q}}(t) + \mathbf{K}\mathbf{q}(t) = \mathbf{f}(t)$$

Element skończony – dyskretny fragment modelu numerycznego, który odwzorowuje zachowanie rzeczywistego obiektu w określonym obszarze

Węzły – punkty definiujące siatkę elementów skończonych w modelu numerycznym, określające geometrię elementów, w których obliczane są wartości poszukiwanej funkcji (np. przemieszczenia)

Warunki brzegowe – sposób podparcia konstrukcji inżynierskiej reprezentowany w modelu numerycznym poprzez określenie przemieszczeń lub wartości sił w węzłach modelu numerycznego



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Modelowanie numeryczne konstrukcji (3)

Cele modelowania numerycznego obiektów mostowych

- Projektowanie i optymalizacja – dobór schematu statycznego, przekrojów, materiałów; analiza wariantów konstrukcyjnych (w tym na etapie wznoszenia)
- Analiza nośności i bezpieczeństwa – ocena zdolności konstrukcji do przenoszenia obciążeń użytkowych, ocena w kontekście spełnienia wymagań normowych w zakresie nośności i użyteczności
- Losowe i nietypowe zdarzenia – uderzenia pojazdów, analiza wpływu temperatury (rozszerzalność i skurcz), badane oddziaływanie gruntów (osiadanie podpór)
- Analiza dynamiczna – częstotliwości drgań własnych, analiza odpowiedzi na obciążenia dynamiczne, obciążenia wiatrem

Ograniczenia w modelowaniu konstrukcji

- Idealizacja geometrii, warunków brzegowych (przegub, utwierdzenie), materiałów i obciążenia (lokalizacja i prędkość)
- Dyskretyzacja modelu – dobór odpowiedniej siatki elementów skończonych: zbyt gruba siatka prowadzi do niedokładnych wyników (np. w miejscach koncentracji naprężeń), a zbyt gęsta jest kosztowna obliczeniowo
- Zbieżność rozwiązania: rozwiązanie może być niestabilne i wrażliwe na przyjęte parametry (np. problemy nieliniowe), a proces iteracyjny może nie być zbieżny (im bardziej złożony model)



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

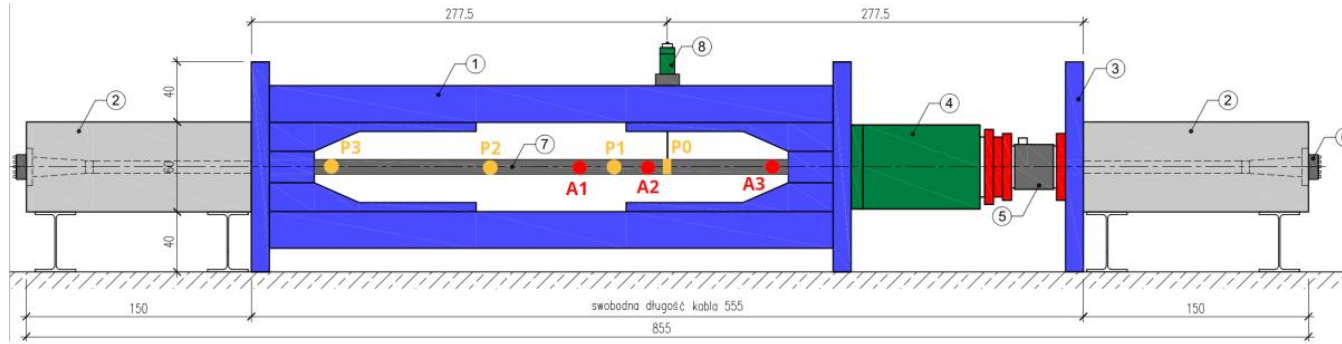

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

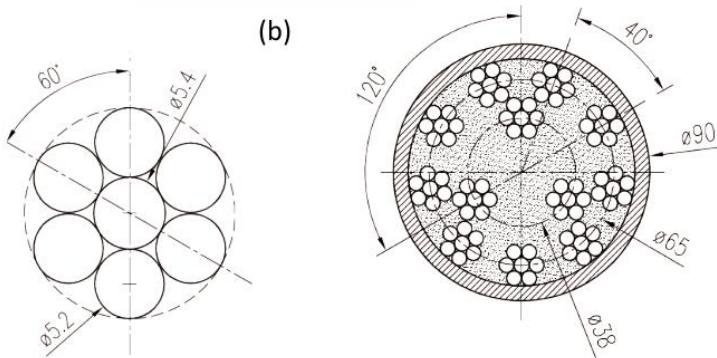
Zewnętrzny kabel sprężający – badania laboratoryjne



(a)



(b)



(c)

(d)



(e)

Badanie drgań własnych kabla

Kabel: 12 lin 7-mio drutowych w osłonie z iniektem cementowym

Zmierzona długość kabla: 5.56 m

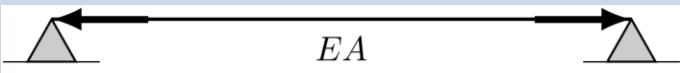
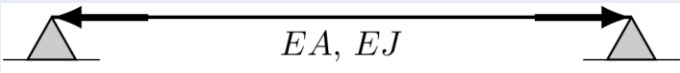
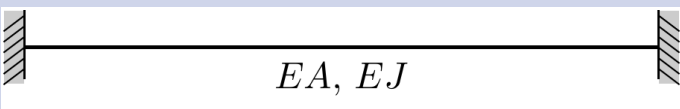
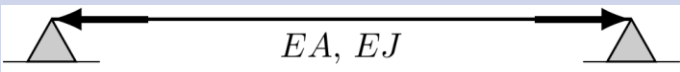
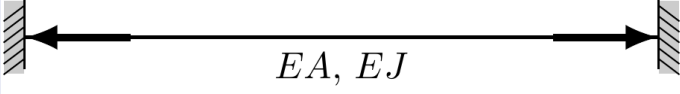
Siła sprężająca: 1735 kN

Lokalizacje pomiarowe (X,Y): A1, A2, A3 (akcelerometry)

Lokalizacje wymuszenia (X,Y): P0, P1, P2, P3 (młotek z gumowym bijakiem)

L.p.	Materiał	Moduł Younga E , [GPa]	Gęstość ρ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$	Gęstość liniowa μ , $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}}\right]$	Pole przekroju A , [mm ²]
1	osłona HDPE	0.995	950	1.316	1385
2	iniekt cementowy	26	2000	6.333	3167
3	stal sprężająca	195	7850	14.207	1810
Razem:				21.856	

I. Zewnętrzny kabel sprężający – modele obliczeniowe

Model	Opis	Schemat statyczny
M₁	Analityczny model strunowy $f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}$	
M₂	Analityczny model belkowy $f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{1}{\mu} \left(F + \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 EJ \right)}$	
M₃	Analityczny model belkowy $f_n^0 = \frac{\alpha_n^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EJ}{\mu}}, \quad \text{gdzie } \alpha_n = \begin{bmatrix} 4.73004 \\ 7.85321 \\ 10.9956 \\ 14.13717 \end{bmatrix}$	
M₄	Analityczny model belkowy (korzysta z wyników M ₃) $f_n = f_n^0 \sqrt{1 + \frac{F}{F_{cr}} \frac{\alpha_1^2}{\alpha_n^2}} \quad F_{cr} = \frac{4\pi^2 EJ}{L^2}$	
M₅	Numeryczny model belkowy (swobodne podparcie)	
M₆	Numeryczny model belkowy (utwierdzenie)	

Modele M₅ i M₆ wymagają oprogramowania do analizy numerycznych

I. Zewnętrzny kabel sprężający – analiza numeryczna (1)

1. Częstotliwości:

L.p.	Częstotliwość [Hz] (model obliczeniowy)						Częstotliwość [Hz] (pomiar)		
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	P_Y	P_X	P_m
1	25.34	25.71	9.86	30.36	25.70	28.83	29.8	29.3	29.55
2	50.67	53.57	27.17	54.88	53.55	60.01	61.0	58.6	59.80
3	76.01	85.49	53.26	85.40	85.38	95.48	97.6	96.5	97.05
4	101.35	122.92	88.03	122.95	122.62	136.59	135.6	—	135.60

2. Ocena siły sprężającej

$$\Delta f_i = \sqrt{\sum_n (f_n(P_m) - f_n(M_i))^2}$$

Zmierzona: 1735.0 kN

Identyfikowana: 1752.5 kN

L.p.	Różnica częstotliwości [Hz] (model M_6)										
	Wartość siły osiowej [kN]										
	1822.5 (1)	1805 (2)	1787.5 (3)	1770 (4)	1752.5 (5)	1735 (6)	1717.5 (7)	1700 (8)	1682.5 (9)	1665 (10)	1647.5 (11)
1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.3
2	-1.4	-1.1	-0.9	-0.7	-0.4	-0.2	0.0	0.3	0.5	0.7	1.0
3	-0.1	0.3	0.6	0.9	1.2	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2
4	-3.0	-2.6	-2.2	-1.8	-1.4	-1.0	-0.6	-0.2	0.2	0.6	1.0
5	3.31	2.85	2.48	2.19	1.98	2.02	2.15	2.44	2.87	3.27	3.73

I. Zewnętrzny kabel sprężający – analiza numeryczna (2)

Wpływ długości kabla i warunków brzegowych

Częstotliwość [Hz]										
L.p.	Długość kabla $L = 10$ m					Długość kabla $L = 15$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6
1	14.09	14.15	16.26	14.15	15.06	9.39	9.41	10.73	9.41	9.80
2	28.17	28.68	27.81	28.68	30.51	18.78	18.93	18.06	18.93	19.72
3	42.26	43.96	40.61	43.93	46.75	28.17	28.68	25.80	28.68	29.88
4	56.35	60.31	54.94	60.25	64.10	37.57	38.76	34.04	38.74	40.37
5	70.44	78.04	71.10	77.91	82.86	46.96	49.28	42.88	49.24	51.30
	Długość kabla $L = 20$ m					Długość kabla $L = 25$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6
1	7.04	7.05	8.02	7.05	7.27	5.63	5.64	6.41	5.64	5.78
2	14.09	14.15	13.42	14.15	14.59	11.27	11.30	10.69	11.30	11.58
3	21.13	21.35	19.01	21.34	22.01	16.90	17.02	15.08	17.01	17.43
4	28.17	28.68	24.81	28.68	29.57	22.54	22.80	19.58	22.80	23.36
5	35.22	36.21	30.88	36.19	37.32	28.17	28.68	24.22	28.68	29.38
	Długość kabla $L = 30$ m					Długość kabla $L = 50$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6	M_1	M_2	M_4	M_5	M_6
1	4.70	4.70	5.33	4.70	4.79	2.82	2.82	3.20	2.82	2.85
2	9.39	9.41	8.89	9.41	9.60	5.63	5.64	5.31	5.64	5.71
3	14.09	14.15	12.51	14.15	14.44	8.45	8.47	7.45	8.47	8.57
4	18.78	18.93	16.19	18.93	19.32	11.27	11.30	9.61	11.30	11.44
5	23.48	23.77	19.96	23.77	24.26	14.09	14.15	11.78	14.15	14.32

Względna różnica częstotliwości [%]									
L.p.	Długość kabla $L = 10$ m				Długość kabla $L = 15$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_1	M_2	M_4	M_5	
1	-6.44	-6.01	7.96	-6.02	-4.20	-4.01	9.46	-4.01	
2	-7.67	-6.00	-8.87	-6.03	-4.77	-4.00	-8.42	-4.02	
3	-9.60	-5.97	-13.14	-6.03	-5.70	-3.99	-13.63	-4.02	
4	-12.10	-5.91	-14.30	-6.01	-6.94	-3.98	-15.69	-4.03	
5	-14.99	-5.82	-14.20	-5.97	-8.47	-3.96	-16.42	-4.03	
	Długość kabla $L = 20$ m				Długość kabla $L = 25$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_1	M_2	M_4	M_5	
1	-3.11	-3.00	10.31	-3.01	-2.47	-2.40	10.86	-2.41	
2	-3.44	-3.00	-8.01	-3.01	-2.68	-2.40	-7.70	-2.41	
3	-3.98	-3.00	-13.61	-3.01	-3.03	-2.40	-13.51	-2.41	
4	-4.71	-2.99	-16.08	-3.02	-3.51	-2.39	-16.18	-2.41	
5	-5.63	-2.98	-17.24	-3.02	-4.12	-2.39	-17.57	-2.41	
	Długość kabla $L = 30$ m				Długość kabla $L = 50$ m				
	M_1	M_2	M_4	M_5	M_1	M_2	M_4	M_5	
1	-2.05	-2.00	11.24	-2.01	-1.22	-1.20	12.05	-1.20	
2	-2.20	-2.00	-7.47	-2.01	-1.27	-1.20	-6.92	-1.20	
3	-2.44	-2.00	-13.39	-2.01	-1.36	-1.20	-13.03	-1.20	
4	-2.78	-2.00	-16.19	-2.01	-1.48	-1.20	-16.02	-1.20	
5	-3.21	-1.99	-17.71	-2.01	-1.64	-1.20	-17.76	-1.20	

Obiekt podwieszany (most w Skorogoszczy)



(a)



(b)



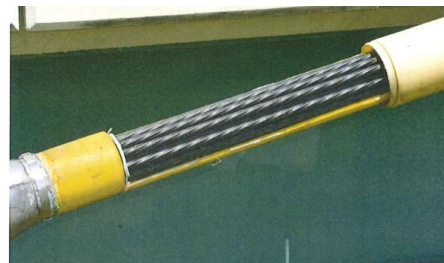
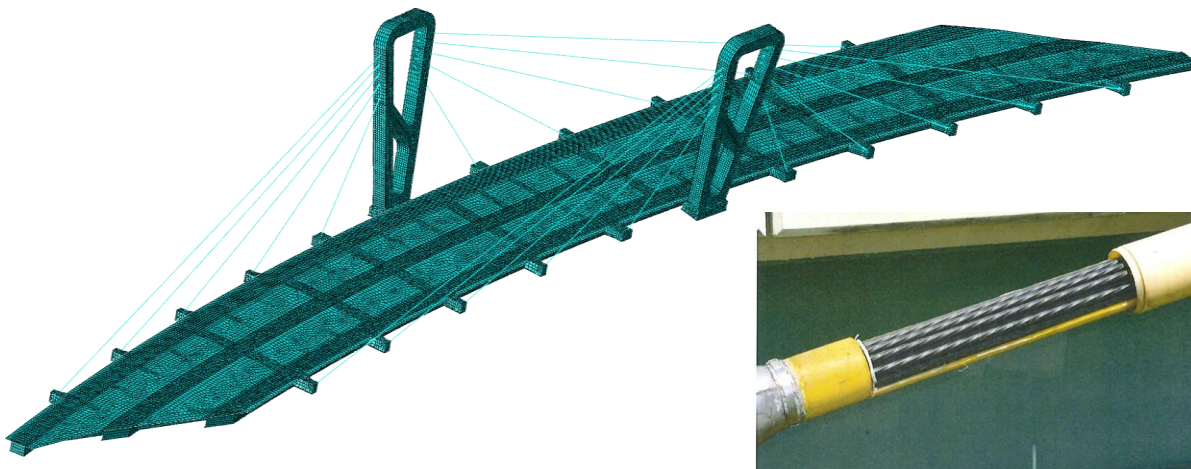
(c)

Charakterystyka obiektu

- Rok budowy: 2005
- Most wantowy (2x10 want)
- Dwuprzęsłowy z dwoma pylonami
- Promień krzywizny poziomej 360 m, pionowej 2500 m
- Długość: 124.7 m
- Ruszt – układ trzech skrynkowych dźwigarów głównych (co 4.7 m) oraz skrynkowych poprzecznic (co 4.3 m) – wsparcie płyty żelbetowej

Modelowanie sił w wantach i częstotliwości drgań

- Projektowany naciąg wstępny want
- Kalibracja modelu numerycznego (badania odbiorcze)
- Częstotliwości drgań obiektu a zbieżność rozwiązania (wpływ naciągu wstępnego)
- Częstotliwości drgań wyizolowanego cięgna (naciąg wstępny i przyrost od obciążenia diagnostycznego)
- Układ want to niepowiązanych ze sobą lin umieszczonych wewnątrz obudowy HDPE (kontakt)



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Most w Skorogoszczy – badania diagnostyczne

Siły w wantach

Stan obciążenia	Sposób wyznaczenia siły	Siła w wancie [kN]				
		L1	L2	L3	L4	L5
„0”	(1)	1163.5	1765.3	1040.8	1501.6	210.6
	(2)	1163.5	1778.4	394.7	—	213.9
	(3)	1285.4	1692.6	1504.6	1353.7	299.7
U-1	(1)	1210.5	1898.5	1063.9	—	—
	(2)	—	—	—	—	—
	(3)	1278.7	1745.4	1627.6	1506.5	373.6
U-2	(1)	1234.3	1831.3	1056.2	—	—
	(2)	1192.7	1804.7	1056.2	—	—
	(3)	1330.1	1743.1	1547.9	1387.0	313.6
U-3	(1)	1186.9	1844.6	1071.7	1681.1	292.2
	(2)	855.5	712.2	418.6	—	—
	(3)	1280.2	1757.3	1646.9	1525.6	370.2
U-4	(1)	1270.5	1831.3	1079.5	1539.2	212.8
	(2)	835.7	691.6	401.8	—	—
	(3)	1327.8	1740.3	1545.2	1384.2	311.6

Oznaczenia wierszy:

- (1): siła w wancie Li wyznaczona na podstawie zmierzonej 1-wszej częstotliwości, $f_{i,1}^{(P)}$.
 (2): siła w wancie Li wyznaczona na podstawie zmierzonej 2-giej częstotliwości, $f_{i,2}^{(P)}$.
 (3): siła w wancie Li wyznaczona za pomocą modelu numerycznego, $f_i^{(M)}$.

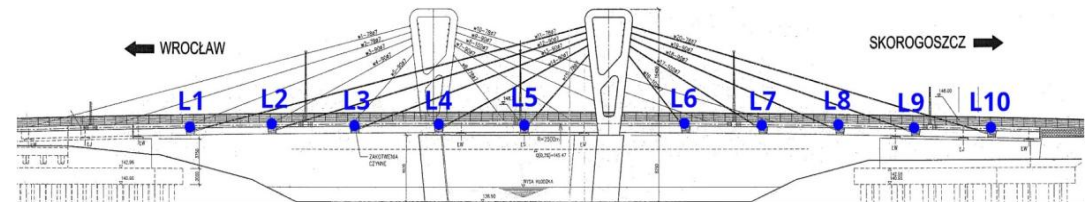
Częstotliwości

Obciążenie	Oznaczenie wanty									
	L1		L2		L3		L4		L5	
	(M)	(P)	(M)	(P)	(M)	(P)	(M)	(P)	(M)	(P)
Częstotliwość nr 1 [Hz]										
„0”	2.18	2.00	2.77	2.70	3.48	2.72	5.01	4.82	5.44	3.88
U-1	2.17	2.04	2.81	2.80	3.62	2.75	5.29	—	6.07	—
U-2	2.22	2.06	2.81	2.75	3.53	2.74	5.07	—	5.56	—
U-3	2.18	2.02	2.82	2.76	3.64	2.76	5.32	5.10	6.05	4.57
U-4	2.22	2.09	2.81	2.75	3.53	2.77	5.07	4.88	5.55	3.90
Częstotliwość nr 2 [Hz]										
„0”	4.36	4.00	5.54	5.42	6.96	3.35	10.02	—	10.88	7.82
U-1	4.35	—	5.62	—	7.24	—	10.57	—	12.15	—
U-2	4.44	4.05	5.62	5.46	7.06	5.48	10.15	—	11.13	—
U-3	4.35	3.43	5.64	3.43	7.28	3.45	10.64	—	12.09	—
U-4	4.43	3.39	5.62	3.38	7.06	3.84	10.14	—	11.09	—

„0” – częstotliwości bez udziału obciążenia diagnostycznego.

(M) – wartości obliczone na podstawie modelu numerycznego.

(P) – wartości wyznaczone na podstawie pomiarów (uśrednionych, w przypadku stanu „0”).



Format wymiany danych – STEP

Format STEP: standard wymiany danych geometrycznych i informacyjnych pomiędzy systemami CAD/CAE różnych producentów (analizy numeryczne oraz modelowanie informacji o obiektach mostowych – BrIM/BIM)

Dane, które można wymienić za pomocą formatu STEP

- geometria (punkty, linie, bryły)
- struktury zespołu
- materiały
- inne atrybuty (np. nazwy komponentów)

Dane, których format STEP nie przenosi bezpośrednio

- siatka MES – standardowo nie przenosi siatki z węzłami i elementami skończonymi
- warunki brzegowe i obciążenia (te dane definiuje się w docelowym oprogramowaniu CAE)
- historia modelu (utrata parametrycznego modelowania)
- wyniki analiz/obliczeń



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Modelowanie zmian parametrów konstrukcji

Metoda wibracyjna **umożliwia**:

- Kontrolę bieżącą sił wciągach i kablach sprężających
- Ocenę zmiany sił pod wpływem zmiany obciążenia (np. diagnostycznego)

Metoda wibracyjna **nie umożliwia** wykrycia degradacji/korozji cięgna lub kabla sprężającego

W szerszym kontekście, modelowanie zmian parametrów konstrukcji do oceny stanu technicznego można sklasyfikować jako:

- zadanie wprost** (łatwe) – wyznaczenie zmian odpowiedzi na podstawie zmienionych wartości parametrów (np. zmiany materiałowe, ubytki, utrata ciągłości, osiadania podpór)
- zadanie odwrotne** (trudne) – identyfikacja wartości parametrów konstrukcji; wymaga jawnego zdefiniowania cech konstrukcji (np. zmiana wartości sił w wantach, jednorodna zmiana sztywności elementu na skutek korozji)



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Wnioski i rekomendacje

1. Model numeryczny – kalibracja modelu na podstawie **próbných badań odbiorczych** (zwykle przemieszczeń)
2. Wpływ naciągu cięga/kabla i odpowiednich warunków podparcia (zwłaszcza krótsze kable)
3. Aktualizacja modelu na podstawie badań diagnostycznych lub pomiarów z monitoringu (ciągłego lub okresowego)
4. Rozpowszechnianie uniwersalny format danych (geometrii) STEP – natywne formaty ograniczają wykorzystywanie modelu w środowiskach CAD/CAE innych producentów oprogramowania
5. Modelowanie zmian parametrów konstrukcji do oceny stanu technicznego: **zadanie wprost** lub **zadanie odwrotne** – identyfikacja wartości parametrów konstrukcji na podstawie odpowiedzi konstrukcji
6. Modelowanie numeryczne jako uzupełnienie badań diagnostycznych (np. przewidywanie ugięć, sił wewnętrznych, częstotliwości drgań)



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

Diagnostyka sprężonych oraz ciągnowych drogowych obiektów inżynierskich,
z uwzględnieniem doboru systemów monitoringu

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

dr. inż. Andrzej Świercz, dr. hab. inż. Łukasz Jankowski (IPPT PAN)



**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

Zarys badań

Cel: Klasyfikacja obiektów mostowych ze względu na ryzyko pogorszenia stanu technicznego obiektów mostowych

Narzędzie: Uczenie maszynowe
Dziedzina sztucznej inteligencji opartej na danych
Dane wykorzystywane są do uczenia się wzorców i przewidywania lub klasyfikacji nowych danych

Dane: Warunki środowiskowo-klimatyczne
Parametry techniczne obiektów
Oceny stanu technicznego (2010-2022)



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Dane (1): warunki środowiskowo-klimatyczne

Zanieczyszczenia powietrza

(Główny Inspektorat Ochrony Środowiska)

- tlenki i dwutlenek azotu, dwutlenek siarki
- pyły PM2.5 i PM10

Opady i zanieczyszczenia opadów atmosferycznych

(GIOŚ, IMGW, IOŚ-PIB)

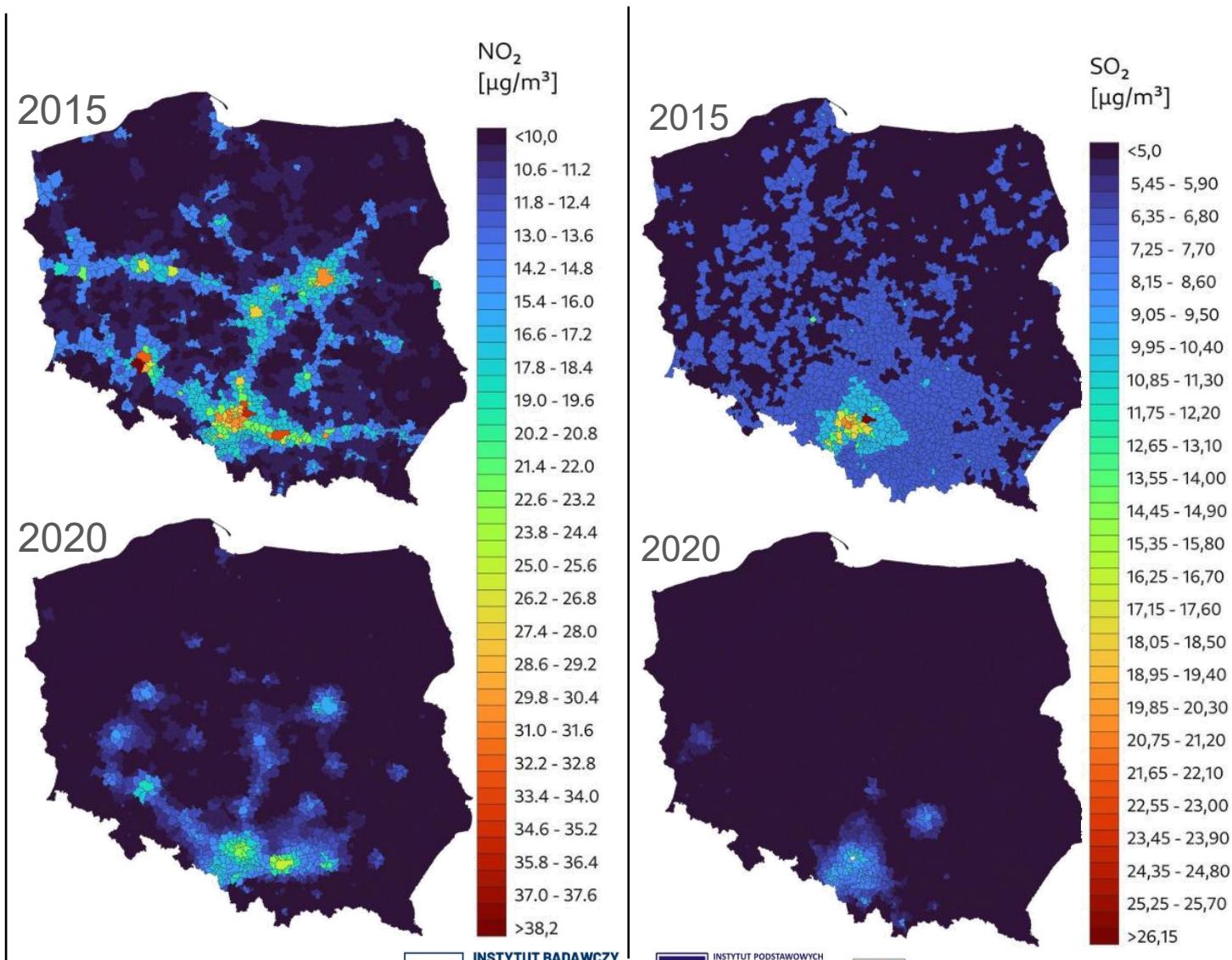
- rozkład opadów
- wskaźnik PH opadów
- stężenia chlorków, azotu ogólnego, siarczanów

Czynniki klimatyczne z wielolecia 1991-2020

(Atlas klimatu Polski)

- średnia temperatura roczna, pokrywa śnieżna (grubość, liczba dni), liczba dni gorących i mroźnych

Liczba dni z przejściem temperatury powietrza przez 0°C



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



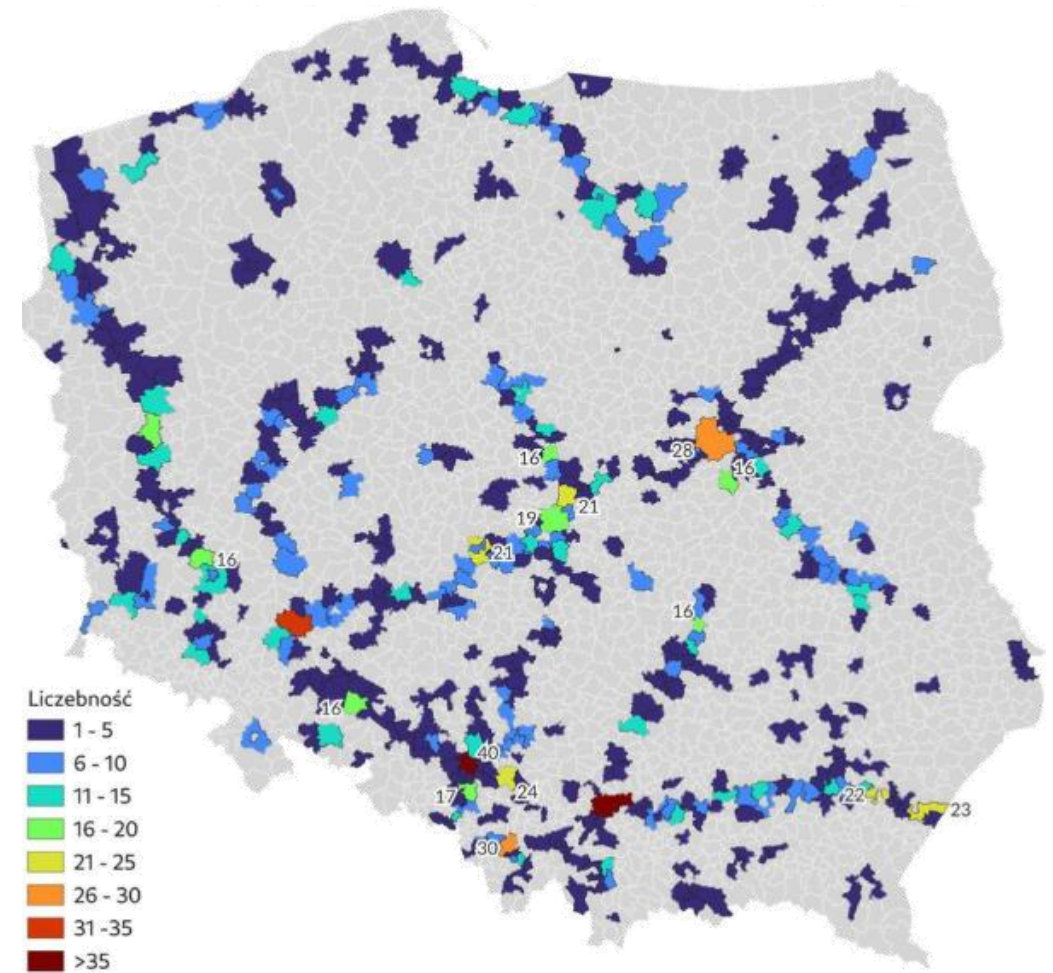
Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Dane (2): parametry techniczne obiektów mostowych

Liczebność obiektów mostowych z podziałem na gminy

Dane z Systemu Gospodarki Mostowej (SGM)

- Rodzaj obiektu mostowego
(most, wiadukt, estakada, kładka dla pieszych)
- Rodzaj przeszkody
(droga/kolej, rzeka żeglowna/nieżeglowna)
- Długość i szerokość obiektu
- Rok budowy (przęseł, pomostu, podpór)
- Klasa obciążenia ruchomego (NSNorma)
- Liczba przęseł
- Lokalizacja obiektu:
 - oddział zarządzający obiektem
 - jednostka administracji państwowej
(z kodem gmin TERYT)



Dane (3): oceny stanu technicznego (2010-2022)

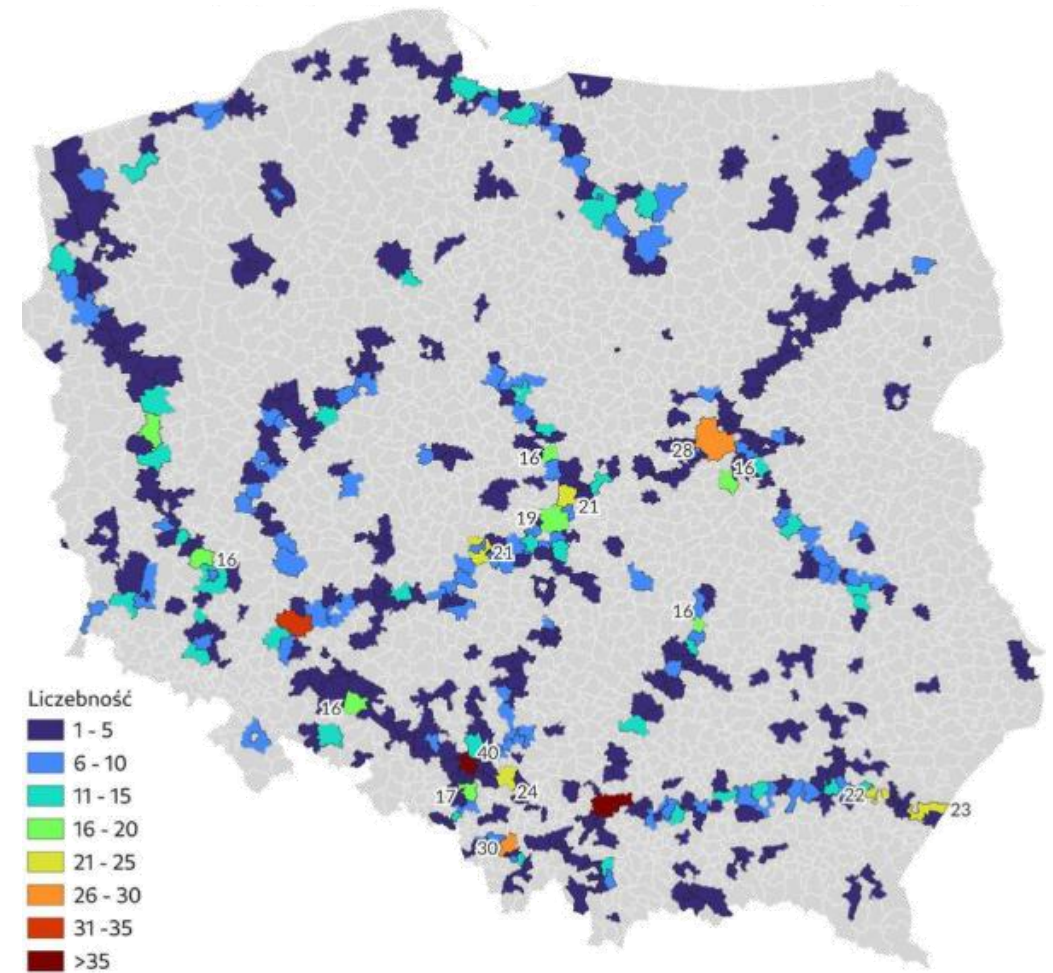
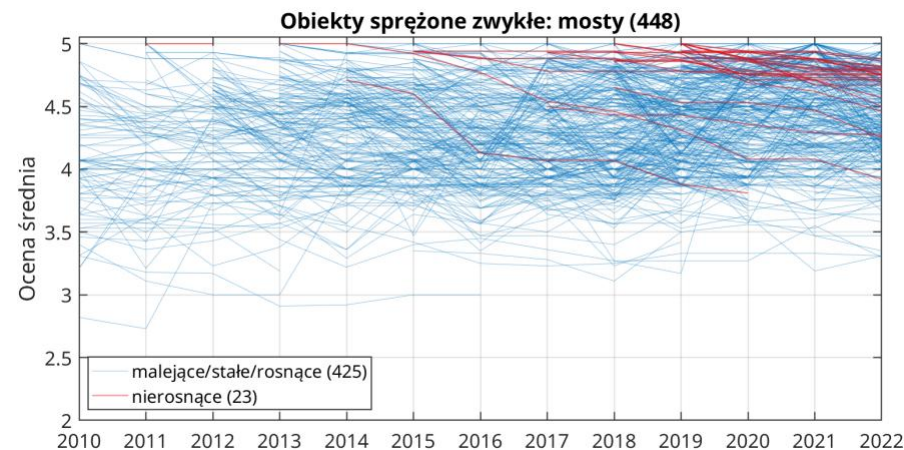
Liczebność obiektów mostowych z podziałem na gminy

Dane z Systemu Gospodarki Mostowej (SGM)

– ocena główna

Ocena główna obiektu mostowego to ocena całego obiektu i jest ona najmniejszą oceną:

- ze średniej arytmetycznej oceny wszystkich elementów ocenianych w czasie przeglądu
- z oceny konstrukcji pomostu
- z oceny konstrukcji dźwigarów głównych
- ze średniej arytmetycznej oceny przyczółków i filarów



Ocena ryzyka pogorszenia stanu

Ogólnym celem modelu jest klasyfikacja prędkości deterioracji obiektu mostowego na podstawie jego cech technicznych i danych środowiskowych

Szczegółowym celem klasyfikacji jest określenie przewidywanej klasy prędkości deterioracji oceny głównej obiektu oraz oszacowanie niepewności wyznaczonej klasy na podstawie dostępnych danych wejściowych

Deterioracja oceny głównej w latach 2010–2022

Przykład I (obiekt 35012317): —; —; —; —; —; —; —; REM; 5.0; **4.94**; **4.50**; 4.75; **4.50**

Średnia roczna prędkość deterioracji wynosi: $0.75/3 = \mathbf{0.25}$

Przykład II (obiekt 30001308): 4.00; **4.00**; **3.93**; **3.82**; **3.82**; **3.82**; **3.00**; 3.82; **3.50**; 3.75; —; —; **3.72**

Średnia roczna prędkość deterioracji wynosi więc $1.35/10 = \mathbf{0.135}$



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Model uczenia maszynowego – zbiory danych i kwartyle

Podziału zbioru danych na dwie części:

- **zbiór treningowy** wykorzystywany w procesie uczenia modelu maszynowego (85%)
- **zbiór testowy** wykorzystywany w celu oceny jakości wyuczonego modelu maszynowego (15%)

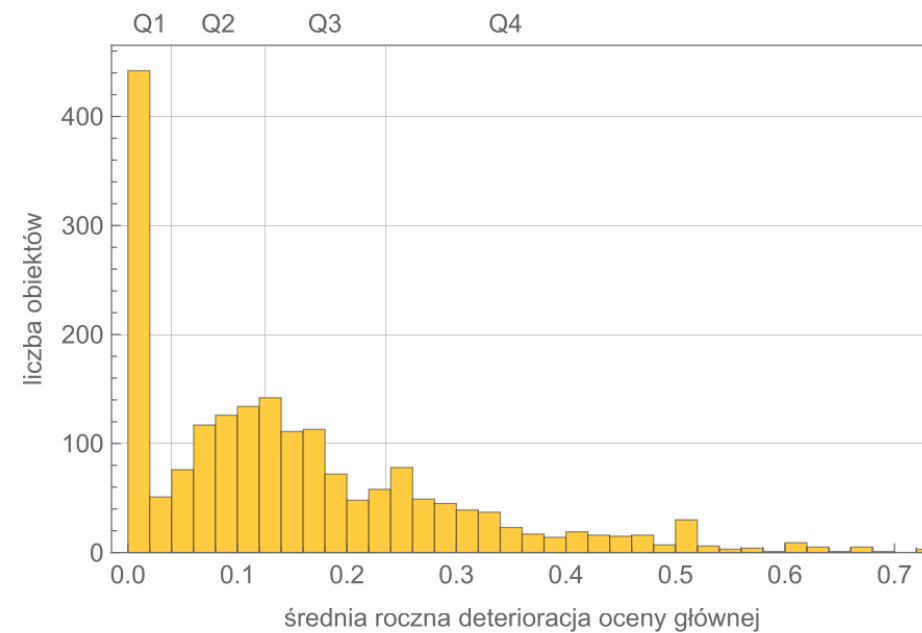
Cztery klasy (kwartyle) wyznaczone ze **zbioru treningowego** na podstawie średnich rocznych prędkości deterioracji oceny głównej

Q1: [0.000–0.040), obiekty o najmniejszej prędkości deterioracji

Q2: [0.040–0.125)

Q3: [0.125–0.235)

Q4: ≥ 0.235 , obiekty o największej prędkości deterioracji



Model uczenia maszynowego – dane wejściowe

Dane dostarczone przez GDDKiA			Dane udostępnione przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska (GIOŚ) – opad mokry		
1	RodzajObiektuMostowego	Rodzaj obiektu mostowego	25	op	Średnia suma opadów (2008-20)
2	RodzajPrzeszkody	Rodzaj przeszkody	26	op_ph	Średnie PH opadów (2008-20)
3	Dlugosc	Długość obiektu mostowego	27	op_cl	Średnie stężenie chlorków [mg/dm³] (2008-20)
4	Szerokosc	Szerokość obiektu mostowego	28	op_n	Średnie stężenie azotu ogólnego [mg/dm³] (2008-20)
5	Rok_bud_mostu	Rok budowy obiektu mostowego	29	op_s	Średnie stężenie siarczanów [mg/dm³] (2008-20)
6	Rok_bud_pomostu	Rok budowy pomostu	Dane udostępnione przez GIOŚ – zanieczyszczenie powietrza		
7	Rok_bud_podpor	Rok budowy podpór	30	no2	Średnie stężenie NO ₂ [µg/m³] (2015-17, 2019-22)
8	Rok_bud_przesel	Rok budowy prześel	31	nox	Średnie stężenie NO _x [µg/m³] (2019-22)
9	NSNorma	Klasa obciążenia	32	so2	Średnie stężenie SO ₂ [µg/m³] (2019-22)
10	Most_liczba_przesel	Liczba prześel	33	pm10	Średnie stężenie pyłu PM10 [µg/m³] (2015-17, 2019-22)
Dane z Atlasu Klimatu Polski (wielolecie 1992–2020)			34	pm25	Średnie stężenie pyłu PM2,5 [µg/m³] (2015-17, 2019-22)
11	srRTemp	Średnia roczna temperatura powietrza	Dane obliczone za pomocą funkcji dawka-odpowiedź		
12	amplRTemp	Amplituda roczna temperatury powietrza	35	dawka_odpowiedz	Dane obliczone za pomocą funkcji dawka-odpowiedź
13	srRWilgPow	Średnia roczna wilgotność względna powietrza			
14	srRCisParW	Średnie roczne ciśnienie pary wodnej			
15	srRSumOpa	Średnia roczna suma opadów			
16	srLiDniSni	Średnia sezonowa liczba dni z pokrywą śnieżną			
17	srGrPokSn	Średnia grubość pokrywy śnieżnej			
18	srTZima	Średnia temperatura powietrza zimą			
19	lgSun	Usłonecznienie (liczba godzin)			
20	ld_upal	Średnia liczba dni upalnych	36	glosy_Q1	Liczba głosów cząstkowych oddanych na kwartył Q1
21	ld_gorac	Średnia liczba dni gorących	37	glosy_Q2	Liczba głosów cząstkowych oddanych na kwartył Q2
22	ld_mroz	Średnia liczba dni mroźnych	38	glosy_Q3	Liczba głosów cząstkowych oddanych na kwartył Q3
23	ld_BD_mroz	Średnia liczba dni bardzo mroźnych	39	glosy_Q4	Liczba głosów cząstkowych oddanych na kwartył Q4
Dane udostępnione przez Instytut Ochrony Środowiska (IOŚ)					
24	lp_OC	Liczba przejść temperatury przez 0°C			



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Model uczenia maszynowego – wybór modelu

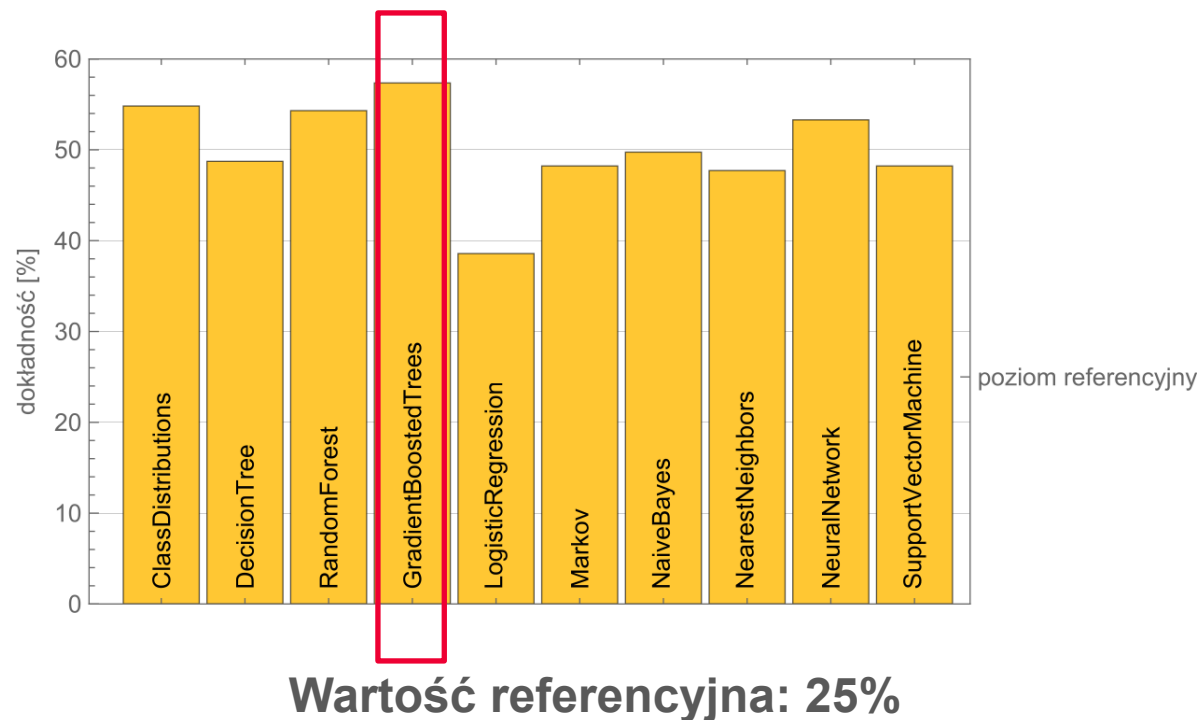
- Na potrzeby selekcji modelu losowo wybrano 90% obiektów do zbioru treningowego (tymczasowy zbiór treningowy)
- Dokładność modeli obliczono dla pozostałych 10% obiektów (tymczasowy zbiór testowy)
- Dokładność testowanych modeli waha się w dość szerokim zakresie od 39% do 57% (wartość referencyjna to 25%)

Wnioski:

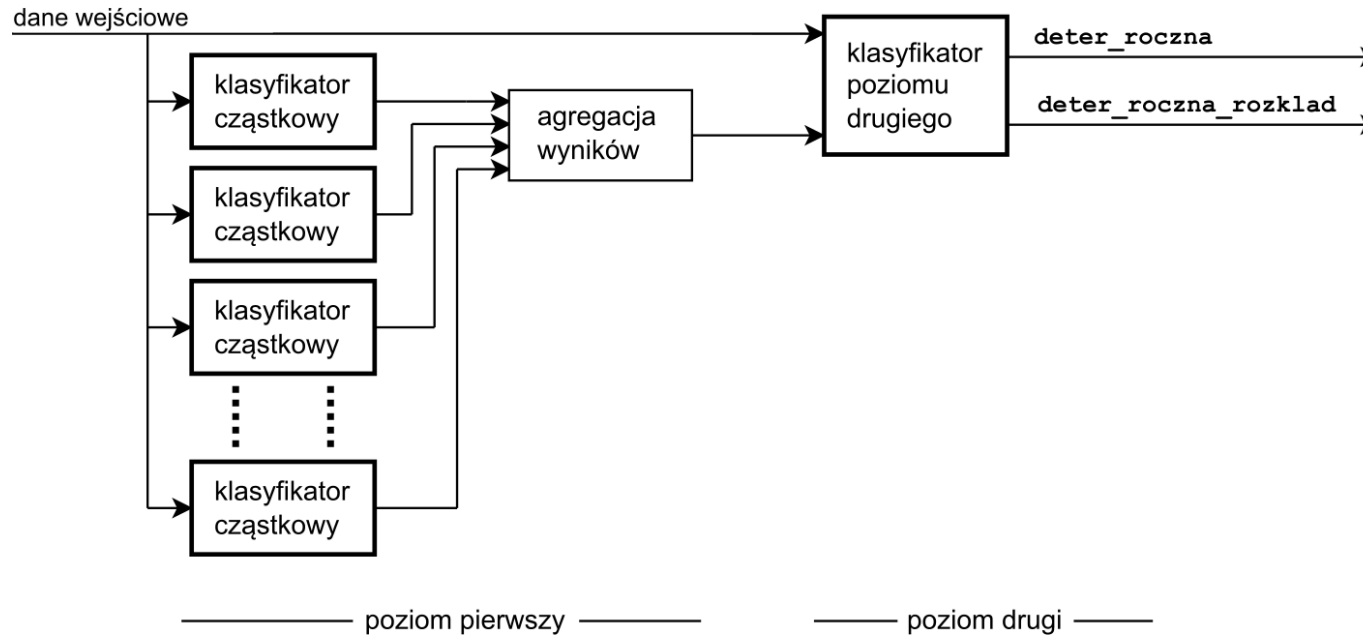
- Dane wejściowe (parametry technicznego i czynniki środowiskowo-klimatyczne) są istotnie związane ze średnią roczną prędkością deterioracji oceny głównej obiektu, lecz nie określają jej w pełni
- Najlepsze modele zmniejszają niepewność wyznaczonej klasy prędkości deterioracji prawie dwukrotnie

Do szczegółowych analiz wybrano **model drzew wzmacnianych gradientowo** (Gradient Boosted Trees)

Wybór modelu uczenia maszynowego



Architektura modelu uczenia maszynowego



Poziom pierwszy jest zbiorowym modelem składającym się z wielu cząstkowych klasyfikatorów wytrenowanych niezależnie od siebie na tym samym zbiorze treningowym. Wyniki cząstkowe są następnie agregowane w histogram wyników według liczby głosów przypadających na każdy kwartył.

Poziom drugi opracowanego modelu to pojedynczy klasyfikator przetwarzający dane wyjściowe z poziomu pierwszego i generujący ostateczne dane wyjściowe: **deter_roczna**, **deter_roczna_rozklad**.

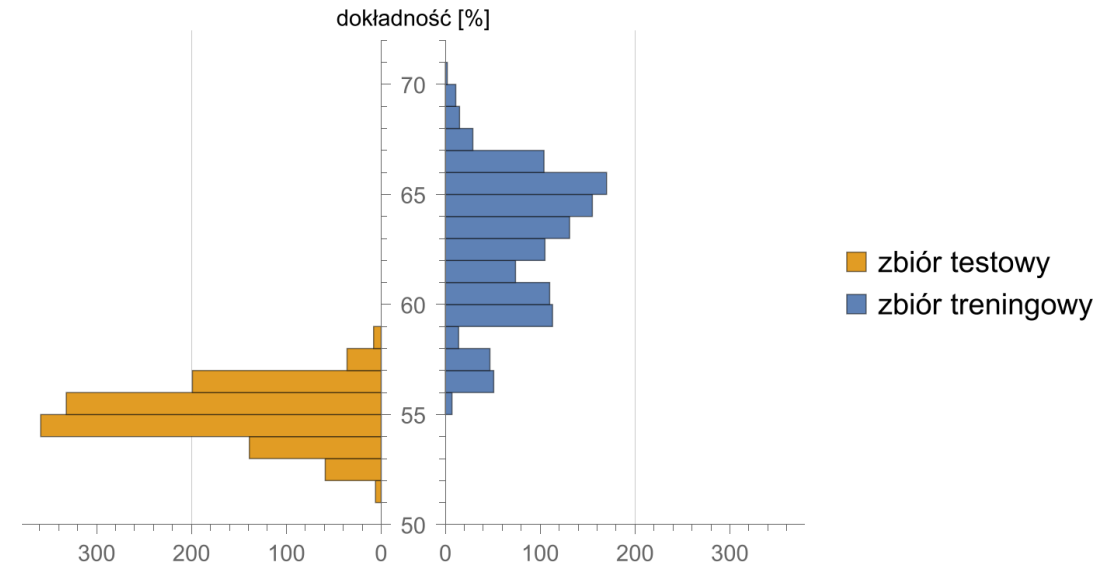
Uczenie maszynowe – poziomy klasyfikacji

Poziom pierwszy klasyfikacji (model zbiorowy)

klasyfikatory zostały niezależnie wytrenowane na zbiorze treningowym i ocenione na zbiorze testowym.

Dokładność:

54.99% (zbiór testowy) i 62.87% (zbiór treningowy)



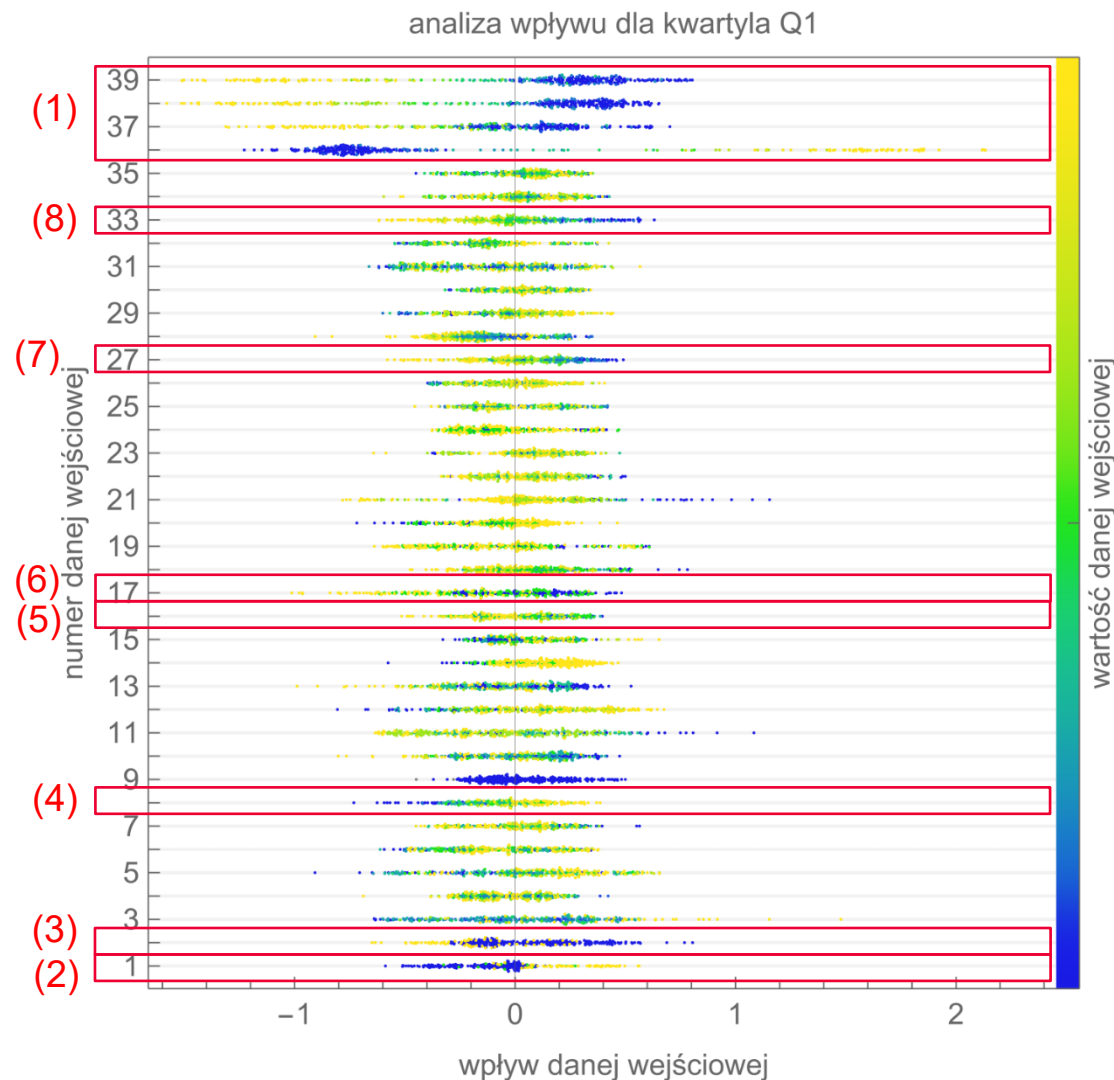
Poziom drugi klasyfikacji

1. Sposób I: **metoda głosowania** – wynikiem klasyfikacji jest kwartył na który oddano najwięcej głosów klasyfikatorów cząstkowych. Rozkład prawdopodobieństwa przybliżany histogramem liczby głosów.
Dokładność: 57.47% (zbiór testowy) i 62.87% (zbiór treningowy)
2. Sposób II: **klasyfikator maszynowy** – na podstawie niezależnie wytrenowanego klasyfikatora wyższego rzędu wykorzystującego histogram obliczony na poziomie pierwszym jako dodatkową daną wejściową. Wynik klasyfikacji i jego szacowany rozkład prawdopodobieństwa obliczany jest za pomocą wewnętrznych mechanizmów wybranego typu klasyfikatora
Dokładność: 58.05% (zbiór testowy) i 66.16% (zbiór treningowy)

Analiza wpływu danych wejściowych

Analiza jakościowa (z wykorzystaniem współczynnika SHAP)

- (1) **głosy_Q1** (nr 36), **głosy_Q2** (nr 37), **głosy_Q3** (nr 38) i **głosy_Q4** (nr 39): ewidentny wpływ na wynik finalnej klasyfikacji
- (2) **rodzaj obiektu mostowego** (nr 1): niskie wartości sprzyjają klasyfikacji poza Q1 (kładki, punkty niebieskie), wartości wysokie (mosty, punkty żółte) sprzyjają klasyfikacji do Q1
- (3) **rodzaj przeszkody** (nr 2): wysokie wartości (woda nieżeglowna i woda żeglowna, punkty żółte) sprzyjają klasyfikacji obiektu poza Q1
- (4) **rok budowy przęsła** (nr 8): przęsła starsze (punkty niebieskie) sprzyjają klasyfikacji poza Q1, a przęsła najnowsze (punkty żółte) – klasyfikacji do Q1
- (5) **średnia sezonowa liczba dni z pokrywą śnieżną** (nr 16) wysoka wartość sprzyja klasyfikacji poza Q1 (punkty żółte)
- (6) **średnia grubość pokrywy śnieżnej** (nr 17) wysoka wartość sprzyja klasyfikacji poza Q1 (punkty żółte), niska wartość w ogólności nie ma wpływu na klasyfikację
- (7) **średnie stężenie chlorków w opadzie mokrym** (nr 27): niskie wartości (niebieskie punkty) sprzyjają klasyfikacji do Q1, a wysokie (punkty żółte) poza Q1
- (8) **średnie stężenie pyłu PM10** (nr 33): niskie stężenie sprzyja klasyfikacji do Q1 (punkty niebieskie), a wysokie poza Q1 (punkty żółte)



RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

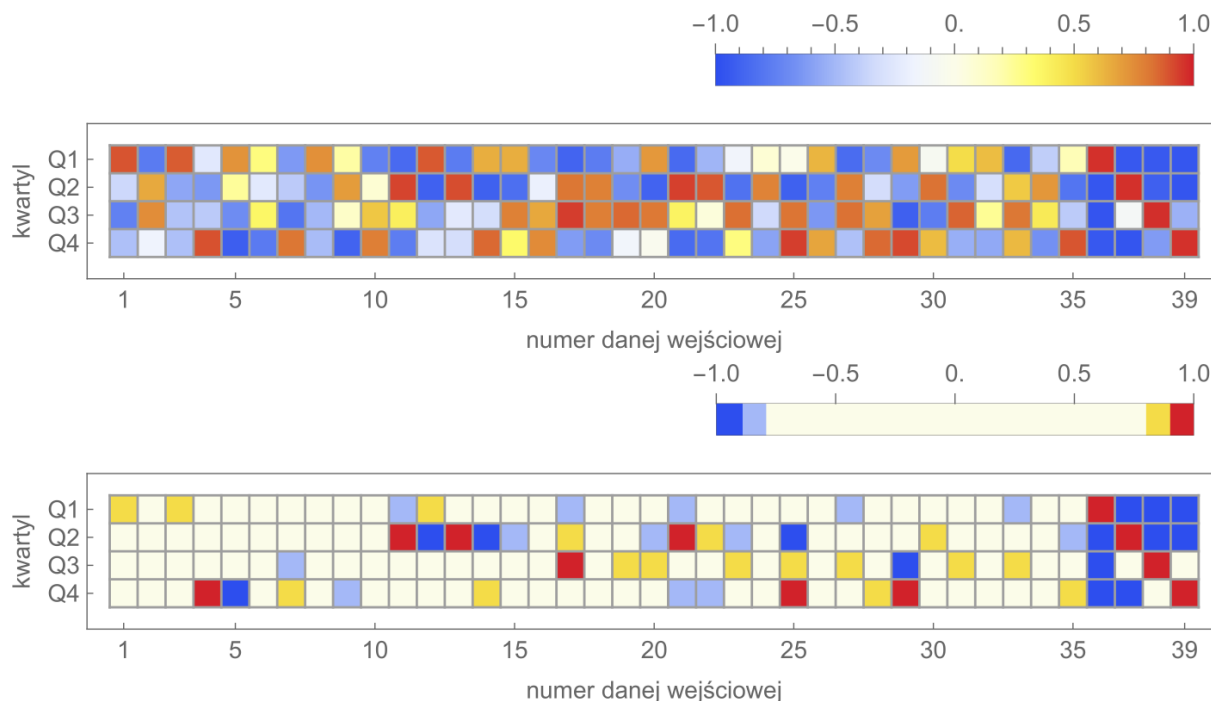


Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Analiza wpływu danych wejściowych na wynik

Analiza ilościowa (korelacja pomiędzy wartościami danych wejściowych a współczynnikami wpływu SHAP)

- Korelacja bliska 1 oznacza duży pozytywny wpływ danej wejściowej (wzrasta prawdopodobieństwo klasyfikacji obiektu do danego kwartyłu)
- Korelacja bliska 0 oznacza brak istotnej liniowej zależności pomiędzy wartością danej wejściowej a prawdopodobieństwem klasyfikacji do danego kwartyłu
- Korelacja bliska -1 oznacza duży negatywny wpływ danej wejściowej (maleje prawdopodobieństwo klasyfikacji obiektu do danego kwartyłu)



Kwartył Wpływ	Dane wejściowe
Q1	wpływ duży — wpływ średni +RodzajObiektuMostowego, +Dlugosc, +amplRTemp -srRTemp, -srGrPokSn, -ld_gorac, -op_cl, -pm10
Q2	wpływ duży +srRTemp, +srRWilgPow, +ld_gorac -amplRTemp, -srRCisParW, -op wpływ średni +srGrPokSn, +ld_mroz, +no2 -srRSumOpa, -ld_upal, -ld_BD_mroz, -dawka_odpowiedz
Q3	wpływ duży +srGrPokSn -op_s wpływ średni +lgSun, +ld_upal, +ld_BD_mroz, +op, +op_cl, +nox, +pm10 -Rok_bud_podpor
Q4	wpływ duży +Szerokosc, +op, +op_s -Rok_bud_mostu wpływ średni +Rok_bud_podpor, +srRCisParW, +op_n, +dawka_odpowiedz -NSNorma, -ld_gorac, -ld_mroz

Listy rankingowe

Kwartył Q1 (zbiór testowy)

L.p.	JNI	Rodzaj obiektu mostowego	Oddział	Miejscowość	Średnia prędkość deter.	Q _{Rz}	Q _{Kl}	Prawdopodobieństwo [%]			
								Q1	Q2	Q3	Q4
1	35018666	Łódź	wiadukt	Piotrków Trybunalski	0.000	Q1	Q1	95.4	1.3	0.9	2.3
2	35017429	Warszawa	wiadukt	Kołbiel	0.000	Q1	Q1	92.9	2.9	1.6	2.6
3	35016911	Bydgoszcz	estakada	Świecie - Przechowo	0.330	Q4	Q1	92.8	2.1	0.9	4.1
4	35018682	Łódź	wiadukt	Zalesiczki	0.000	Q1	Q1	92.8	2.9	1.5	2.7
5	35018640	Łódź	wiadukt	Dobryczyce	0.000	Q1	Q1	92.7	3.0	1.6	2.7
6	35017437	Warszawa	wiadukt	Kołbiel	0.000	Q1	Q1	92.0	3.3	2.0	2.7
7	35017958	Rzeszów	wiadukt	Domostawa	0.000	Q1	Q1	91.7	3.3	2.8	2.3
8	35016893	Warszawa	wiadukt	Góra Kalwaria	0.000	Q1	Q1	90.8	3.4	2.6	3.1
9	35017944	Białystok	wiadukt	Śniadowo	0.000	Q1	Q1	90.4	3.5	3.5	2.6
10	35015836	Lublin	wiadukt	Parafianka	0.000	Q1	Q1	90.3	3.8	2.9	3.0
11	35017104	Katowice	wiadukt	Lgota	0.000	Q1	Q1	89.8	3.8	2.0	4.4
12	35018144	Rzeszów	wiadukt	Sokołów Małopolski	0.000	Q1	Q1	89.6	3.9	3.6	2.9
13	35016887	Warszawa	wiadukt	Góra Kalwaria	0.000	Q1	Q1	89.4	4.1	3.3	3.2
14	35015424	Szczecin	wiadukt	Wicimice	0.000	Q1	Q1	89.3	2.6	1.4	6.7
15	35015426	Szczecin	wiadukt	Wicimice	1.000	Q4	Q1	89.3	2.7	1.4	6.7
16	35016039	Szczecin	wiadukt	Będzino	0.000	Q1	Q1	89.2	2.3	1.7	6.8
17	35018006	Kraków	wiadukt	Widoma	0.000	Q1	Q1	89.1	4.0	2.5	4.3
18	35016030	Szczecin	wiadukt	Strachomino	0.000	Q1	Q1	89.1	2.3	1.7	6.9
19	35016036	Szczecin	wiadukt	Komory	0.000	Q1	Q1	89.0	2.3	1.7	7.0
20	35017118	Katowice	wiadukt	Łojki	0.000	Q1	Q1	88.9	3.8	2.0	5.2

Kwartył Q4 (zbiór testowy)

L.p.	JNI	Rodzaj obiektu mostowego	Oddział	Miejscowość	Średnia prędkość deter.	Q _{Rz}	Q _{Kl}	Prawdopodobieństwo [%]			
								Q1	Q2	Q3	Q4
1	35015007	Katowice	wiadukt	Zendek	0.870	Q4	Q4	7.7	2.1	3.2	87.0
2	35015013	Katowice	wiadukt	Ożarówce	0.000	Q1	Q4	7.6	2.2	3.2	87.0
3	35015014	Katowice	wiadukt	Ożarówce	0.000	Q1	Q4	7.7	2.2	3.2	87.0
4	35015721	Warszawa	wiadukt	Stara Wieś	0.000	Q1	Q4	4.3	3.1	6.3	86.3
5	35016265	Bydgoszcz	wiadukt	Bożejewice	0.150	Q3	Q4	4.5	5.5	4.5	85.4
6	35013249	Kielce	wiadukt	Wodzisław	0.333	Q4	Q4	7.5	2.2	5.0	85.3
7	35012076	Bydgoszcz	wiadukt	Łatkowo	0.333	Q4	Q4	5.2	4.3	5.2	85.3
8	35011144	Łódź	wiadukt	Natolin	0.400	Q4	Q4	4.4	4.4	6.3	84.9
9	35001600	Szczecin	wiadukt	Mielno Pyrzyckie	0.540	Q4	Q4	2.4	8.4	5.7	83.4
10	35001608	Szczecin	wiadukt	Siemczyn	0.680	Q4	Q4	2.4	8.4	6.0	83.2
11	35001287	Szczecin	wiadukt	Chlebowo	0.250	Q4	Q4	2.8	8.9	5.1	83.2
12	35001292	Szczecin	wiadukt	Wysoka Gryfińska	0.370	Q4	Q4	4.0	9.4	4.6	82.0
13	35001334	Kielce	wiadukt	Wiśniówka	0.366	Q4	Q4	5.3	5.4	8.8	80.5
14	35006950	Bydgoszcz	wiadukt	Brzezie	0.237	Q4	Q4	4.2	8.9	6.4	80.5
15	35001327	Szczecin	estakada	Radziszewo	0.291	Q4	Q4	2.4	9.8	7.6	80.3
16	35014994	Katowice	estakada	Dąbrowa Wielka	0.000	Q1	Q4	7.2	4.8	8.5	79.6
17	35001333	Kielce	wiadukt	Wiśniówka	0.750	Q4	Q4	5.3	5.8	9.4	79.6
18	35010806	Łódź	wiadukt	Romanów	0.322	Q4	Q4	5.4	5.1	10.6	78.9
19	35001801	Szczecin	wiadukt	Radziszewo	0.527	Q4	Q4	2.5	11.3	7.4	78.7
20	35007103	Bydgoszcz	wiadukt	Pikutkowo	0.463	Q4	Q4	5.2	9.9	6.8	78.1



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

Podsumowanie i wnioski

Cel i metoda: Model oceny ryzyka degradacji konstrukcji z wykorzystaniem uczenia maszynowego

Dane wejściowe

- Parametry konstrukcji i czynniki klimatyczno-środowiskowe
- Oceny główne stanu technicznego wykorzystano do „wytrenowania” modelu
- Bez danych uzupełniających z systemów monitorowania

Kryterium: Średnia roczna prędkość deterioracji oceny głównej

Wyniki modelu

- Klasyfikacja obiektów mostowych do jednego z czterech kwartyli (wraz z prawdopodobieństwem)
- Model w 58% przypadkach poprawnie sklasyfikował obiekty oraz w 84% z dokładnością do jednej klasy na zbiorze testowym (na zbiorze treningowym 66% i 89%)
- Wartość referencyjna: 25%

Ograniczenia

- Czynniki, które bezpośrednio nie uwzględniono w danych wejściowych modelu, np.: jakość projektu konstrukcji, skuteczność zabezpieczenia antykorozyjnych, jakość użytych materiałów, jakość wykonania elementów konstrukcyjnych, napraw, remontów
- Dane wykorzystane do wytrenowania modelu miały ograniczony zasięg czasowy



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

RID II (Rozwój Innowacji Drogowych)

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

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



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology