



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju



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

**Możliwości detekcji skali uszkodzeń metodami NDT konstrukcji kablobetonowych
i konstrukcji podwieszonych ze szczególnym uwzględnieniem
metody emisji akustycznej**

prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚk



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

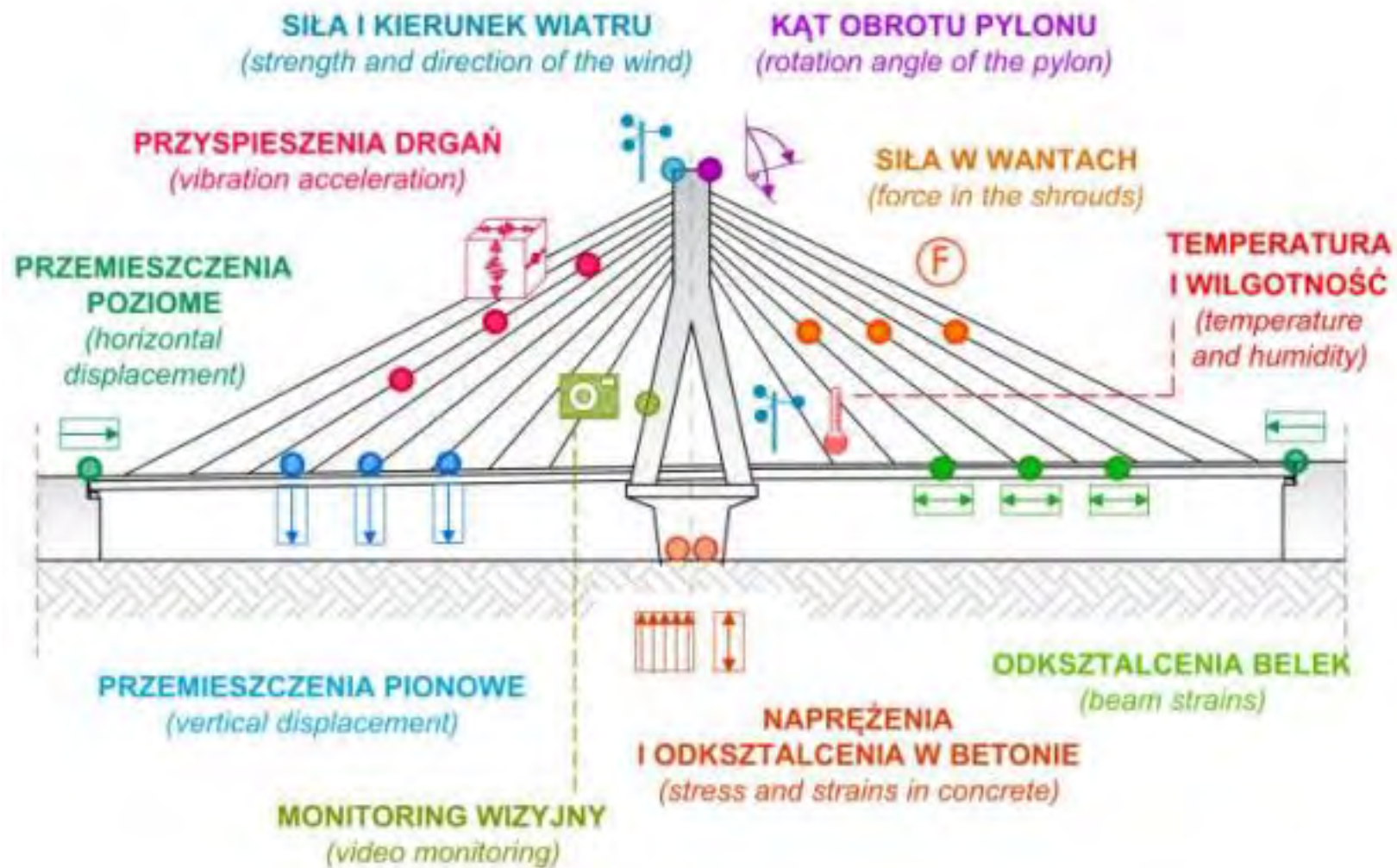


SHM (ang. Structural Health Monitoring) – monitorowanie stanu technicznego konstrukcji poprzez zastosowanie złożonego systemu kontrolno-pomiarowego (składającego się z czujników, członów wykonawczych, układów transmisji danych i jednostek obliczeniowych zintegrowanych z badanym obiektem) w celu detekcji, lokalizacji, identyfikacji i przewidywania rozwoju uszkodzeń, które mogą spowodować złe funkcjonowanie obiektu teraz lub w przyszłości.



Interdyscyplinarność systemów monitorowania konstrukcji

Projekt systemu monitorowania musi być zatem pewnym kompromisem między liczbą i jakością pozyskiwanych danych pomiarowych, a ich ceną. Zawsze należy jednak pamiętać o wadze wyciąganych wniosków na podstawie informacji przekazywanych przez systemy monitorowania. Niedopuszczalne jest obniżanie ceny kosztem ostatecznego zaufania do wyników pracy systemu monitorowania.

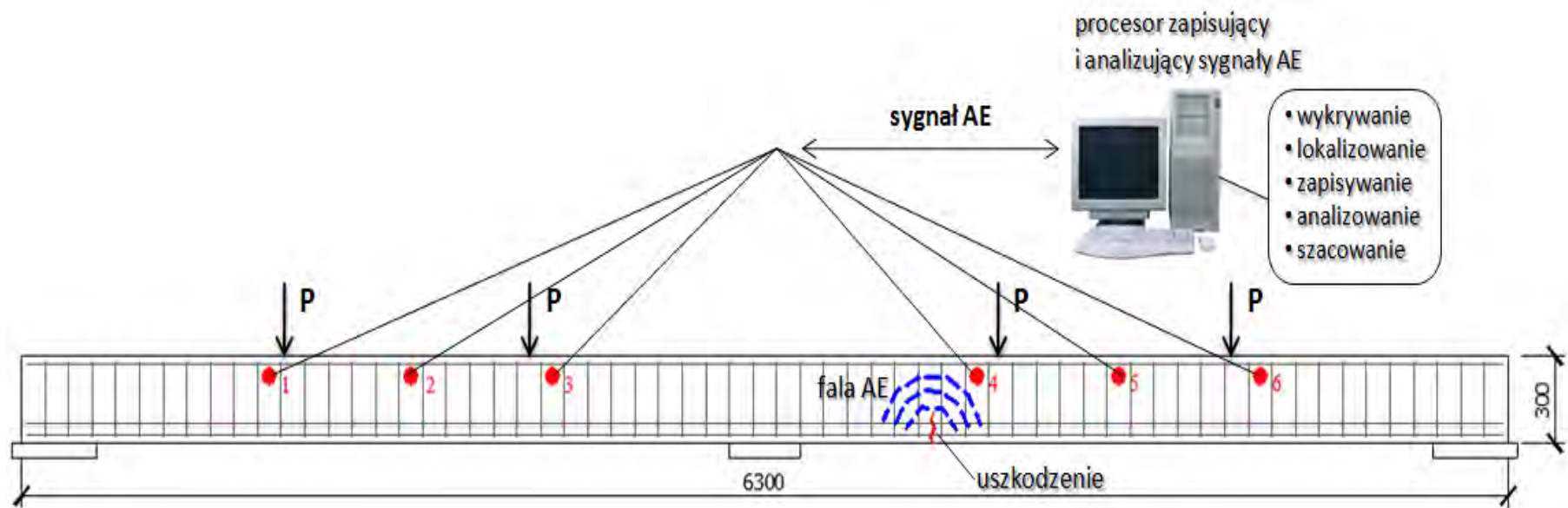


Ogólna koncepcja monitorowania obiektu mostowego



„Każdy czujnik powinien zostać wybrany i zainstalowany tak, aby dał odpowiedź na konkretnie postawione pytanie. Jeżeli nie ma pytania, nie są potrzebne pomiary...”

Typ konstrukcji inżynierskiej	Kluczowe zagrożenia
1	2
Obiekty mostowe	przekroczenie naprężeń, przemieszczeń, korozja, zmęczenie, drgania związane z deszczem i wiatrem, trzęsienia ziemi, celowe uszkodzenia, zerwanie kabli, nierównomierne rozłożenie siły w kablach
Wysokie konstrukcje stalowe, kopuły o dużej średnicy, obiekty elektrowni nuklearnych	przekroczenie naprężeń, przemieszczeń, korozja, wiatr, śnieg, trzęsienia ziemi, celowe uszkodzenia, pożar
Konstrukcje platform morskich	korozja, zmęczenie, wiatr, trzęsienia ziemi, lód, fale, prądy morskie, celowe uszkodzenia
Kablobetonowe dźwigary mostowe	zarysowania związane ze ścinaniem, przekroczenie naprężeń, straty siły sprężającej, korozja, trzęsienia ziemi, celowe uszkodzenia
Układy linowe	korozja, wiatr, śnieg, trzęsienia ziemi, celowe uszkodzenia
Zabudowy mieszkalne	pleśń, wilgoć, jakość powietrza, wykorzystanie energii, pożar



RPD dla konstrukcji sprężonych

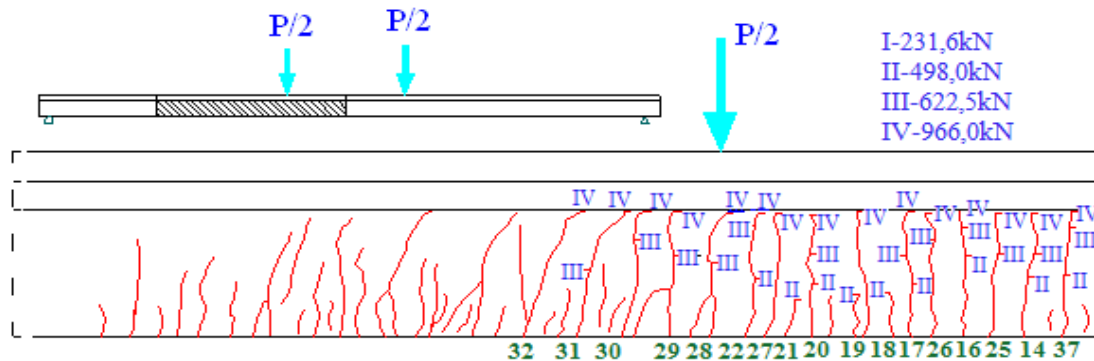
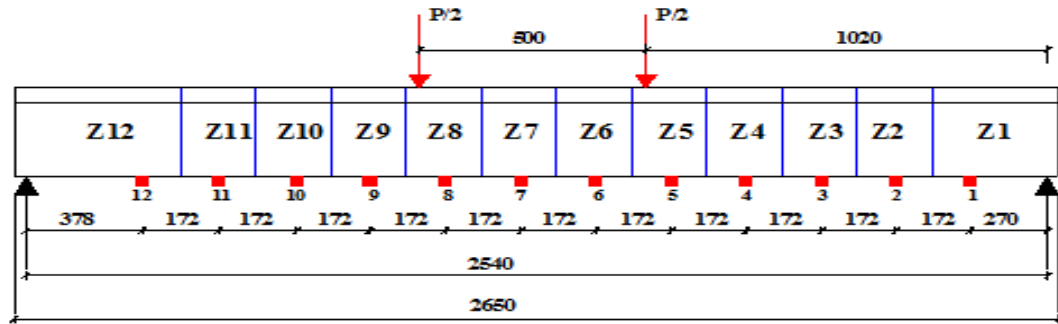
Kolor/ symbol							+	X
Nr klasy	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6	Nr 7	Nr 8
Kod zagrożenia	5	4	3	3	2	2	1	0

IADP dla konstrukcji żelbetowych

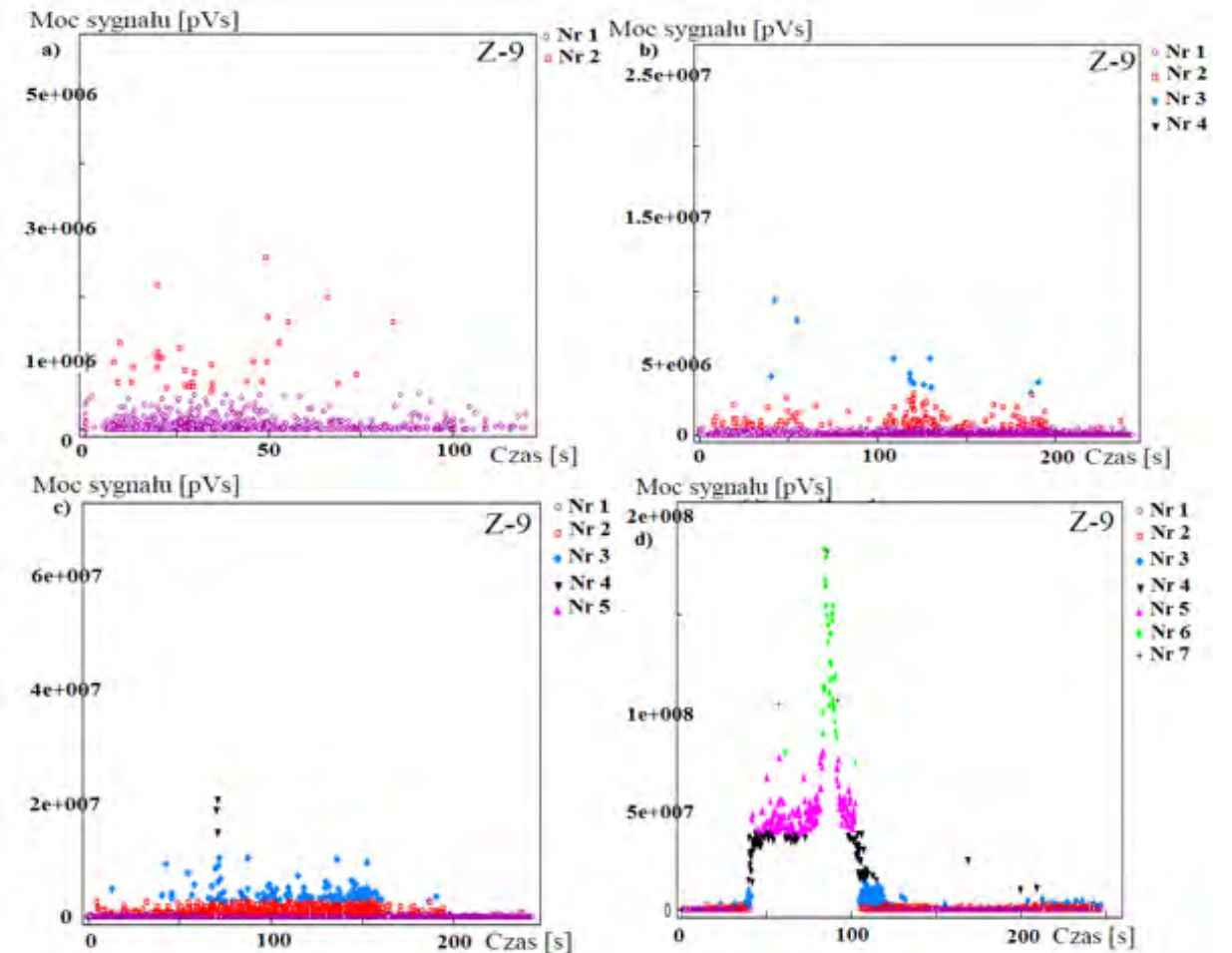
Kolor/ symbol						
Nr klasy	Nr 1	Nr 2	Nr 3	Nr 4	Nr 5	Nr 6
Kod zagrożenia	5	4	3	2	1	0

- ▶ Klasa Nr 1 (Kod zagrożenia 5) - Mikropęknięcia w betonie na granicy frakcji kruszywa o małych wymiarach ($\Phi \leq 2 \text{ mm}$) i zaprawy cementowej,
- ▶ Klasa Nr 2 (Kod zagrożenia 4) - Mikropęknięcia 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) - Pękanie 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

Schemat obciążenia belki T-27 wraz z rozmieszczeniem czujników EA



Obraz zarysowania lewej strony badanej belki.

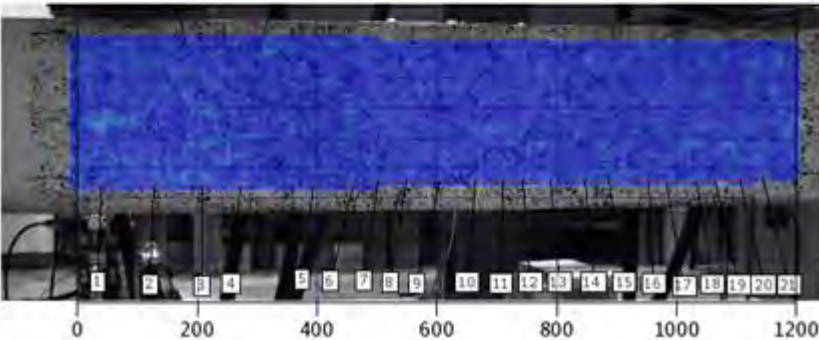


Wykresy punktowe mocy sygnału w funkcji czasu podczas wzrostu obciążania: a) do 231,60 kN, b) do 498,00 kN, c) do 622,50 kN i d) do 996,00 kN – w strefie Z-9.

Klasa 1

1 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+0.041 mm	0.001785 %

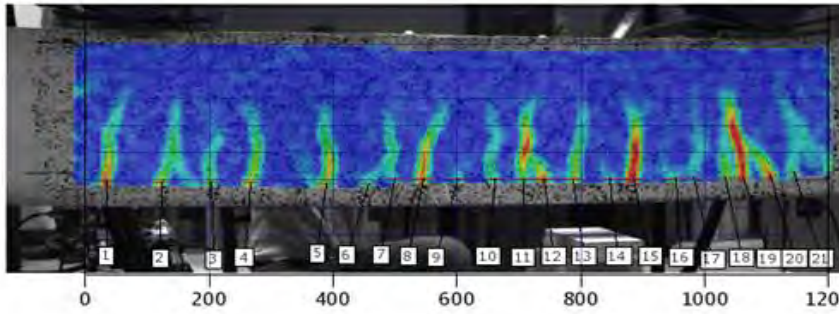
Time 1160.82 s



Klasa 3

19 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+0.393 mm	0.010669 %

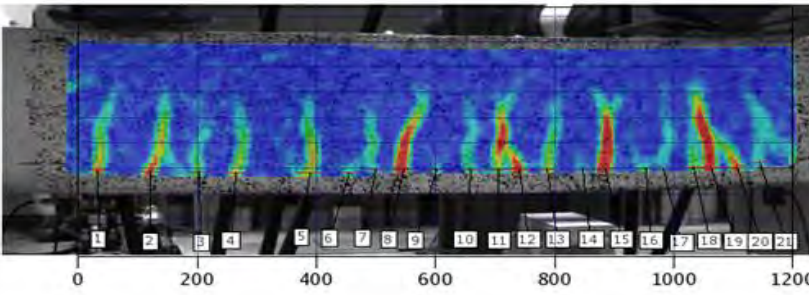
Time 11 140.62 s



Klasa 5

15 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+0.792 mm	0.022215 %

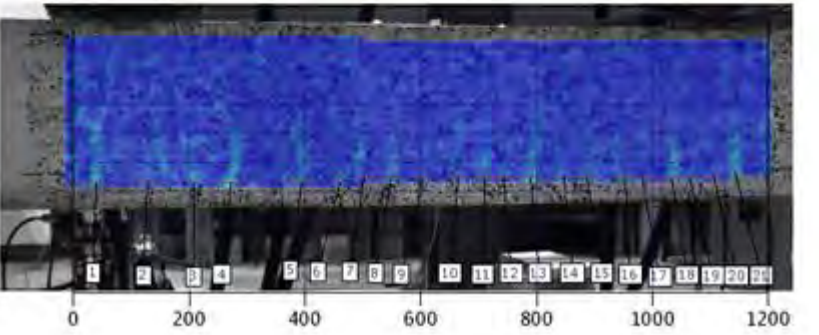
Time 11 260.62 s



Klasa 2

1 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+0.102 mm	0.004412 %

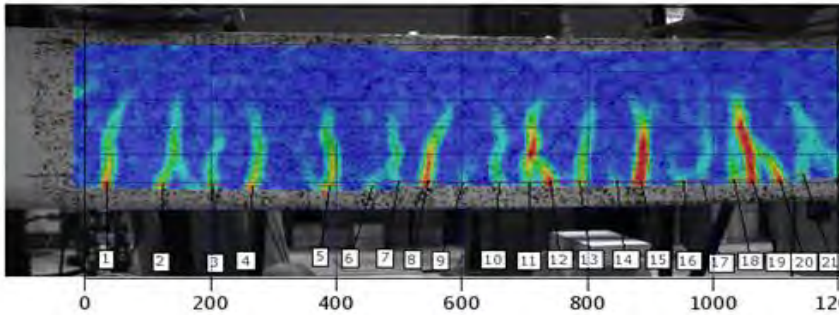
Time 3040.78 s



Klasa 4

15 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+0.596 mm	0.016760 %

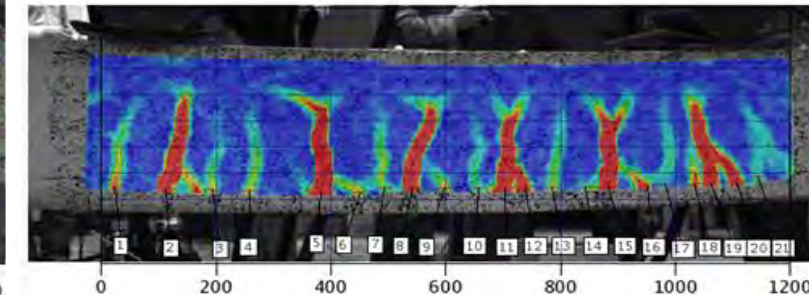
Time 11 180.62 s



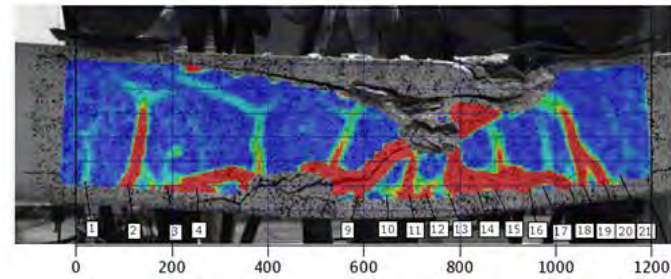
Klasa 6

5 - Reference	
dL	Strain (techn.)
+1.976 mm	0.047942 %

Time 12 220.60 s



Zniszczenie Time 12 240.60 s



Kryterium oceny stanu technicznego konstrukcji bazujące na kodach zagrożenia, nr klasy opisujących procesy destrukcyjne oraz szerokości rys

Kod	Opis	Nr klasy RPD (sprężone)	Nr klasy IADP (żelbetowe)	Szerokość rozwarcia rysy [mm]
0	Element niespełniający swojej funkcji użytkowej bądź zniszczony	Nr 8	Nr 6	> 0,8
1	Poważna wada / uszkodzenie i / albo element jest blisko awarii / zniszczenia.	Nr 7	Nr 5	0,6 – 0,8
2	Umiarkowana wada / uszkodzenie, która może mieć wpływ na utratę nośności	Nr 5, Nr 6	Nr 4	0,4 – 0,6
3	Pierwsze oznaki pogorszenia stanu technicznego konstrukcji, pojawiają się niewielkie wady / uszkodzenia, niewpływające na nośność elementu.	Nr 3, Nr 4	Nr 3	0,1 – 0,4
4	Nowy element bądź element z wadą niemającą wpływu na jego nośność	Nr 2	Nr 2	0,05 - 0,1
5	Nowy element bez wad	Nr 1	Nr 1	0 – 0,05

Tabela 1. Rozległość uszkodzeń

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 2. Wpływu defektów na stan techniczny konstrukcji

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

Badania - Metoda EA

- **Na mostach starych**, w celu selekcji mostów wymagających remontu oraz w celu ustalenia zakresu prac remontowych.
- **Na mostach wyremontowanych**, w celu weryfikacji jakości przeprowadzonych prac remontowych
- **Na mostach nowych**, w celu zarejestrowania tzw. stanu zerowego.
- **Monitoring w sytuacjach wyjątkowych** (np. podczas transportu ponadnormatywnych ładunków) lub w przypadku stwierdzenia uszkodzeń.
- **Na nowo wybudowanych obiektach** jako monitoring stały (most inteligentny)

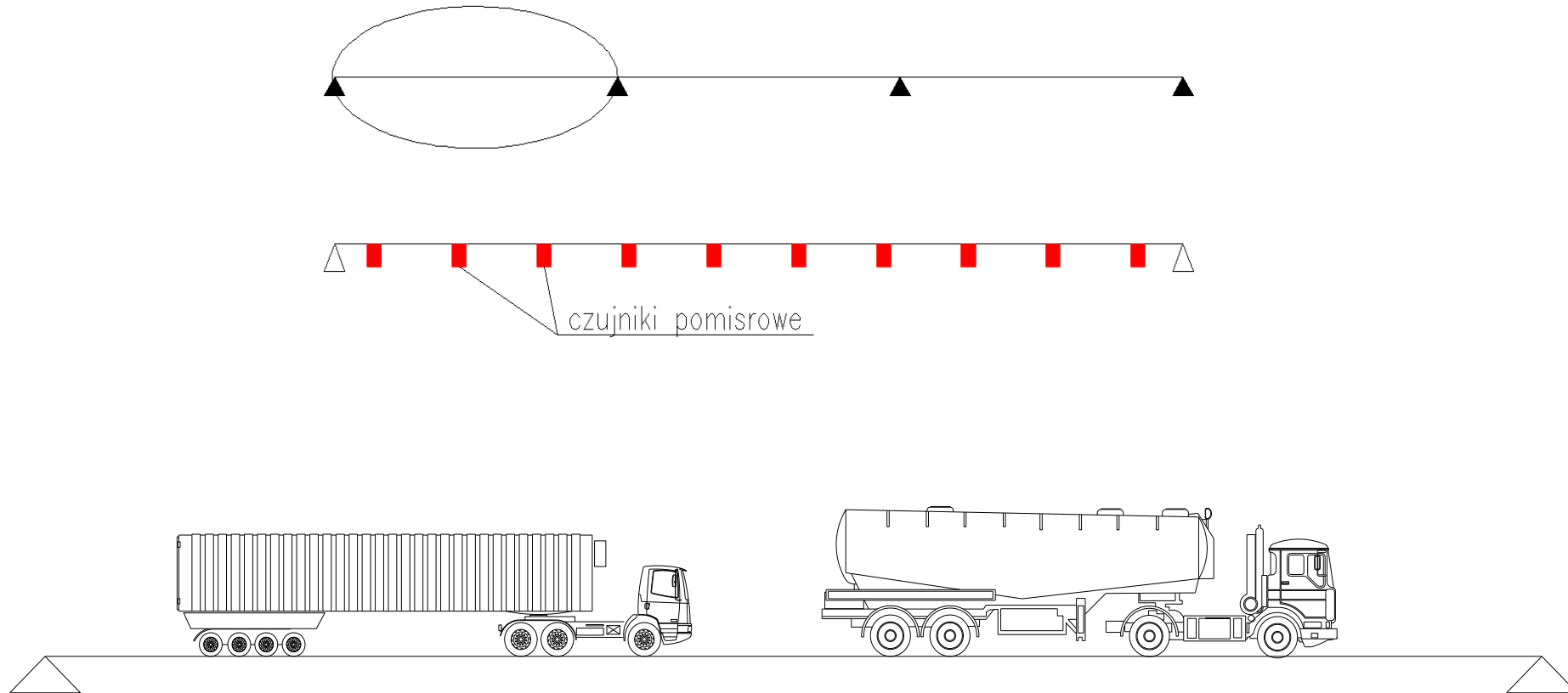
Badania - Metoda EA

BADANIE NOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH – OBCIĄŻENIA PRÓBNE



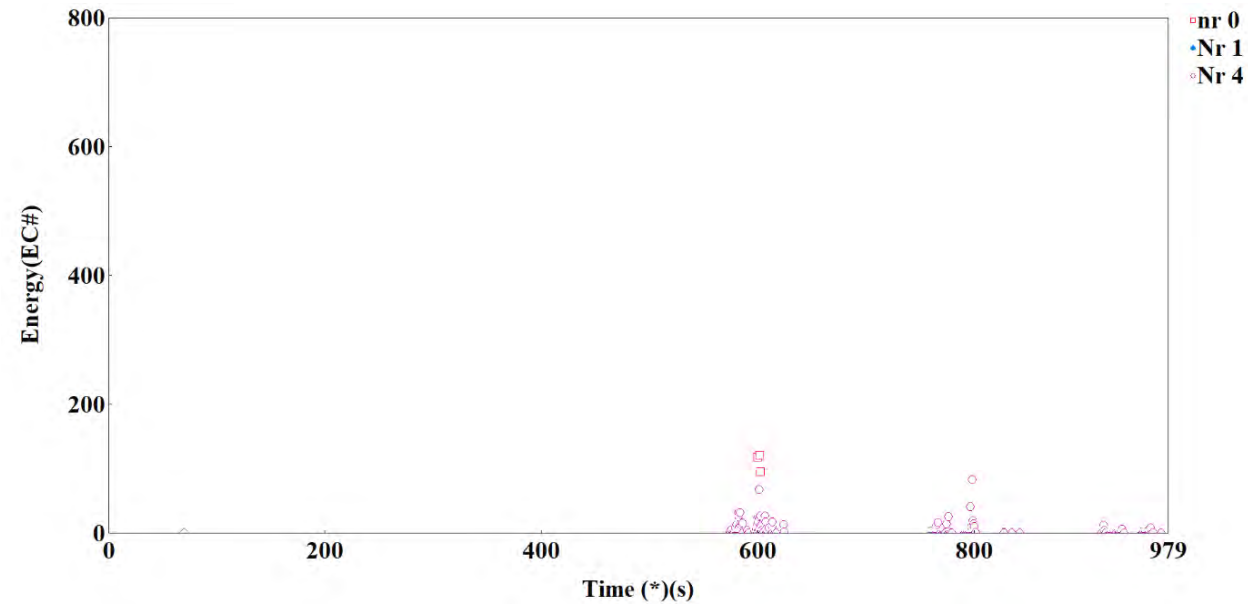
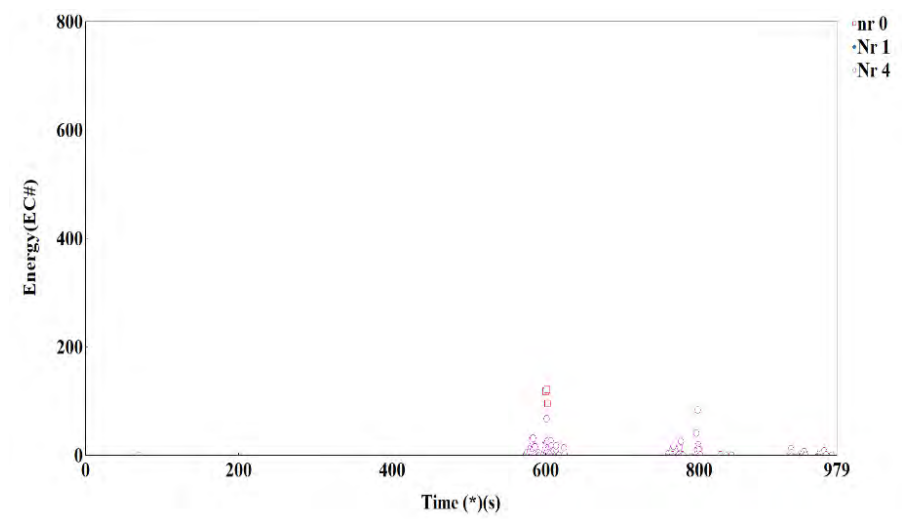
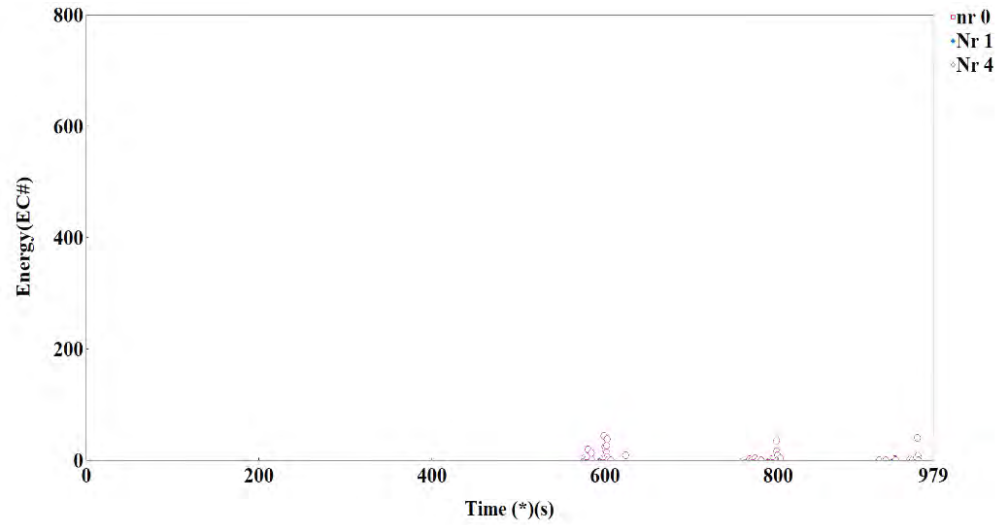
Badania - Metoda EA

BADANIE NOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH – OBCIĄŻENIA PRÓBNE



Badania - Metoda EA

BADANIE NOWYCH OBIEKTÓW MOSTOWYCH – OBCIĄŻENIA PRÓBNE



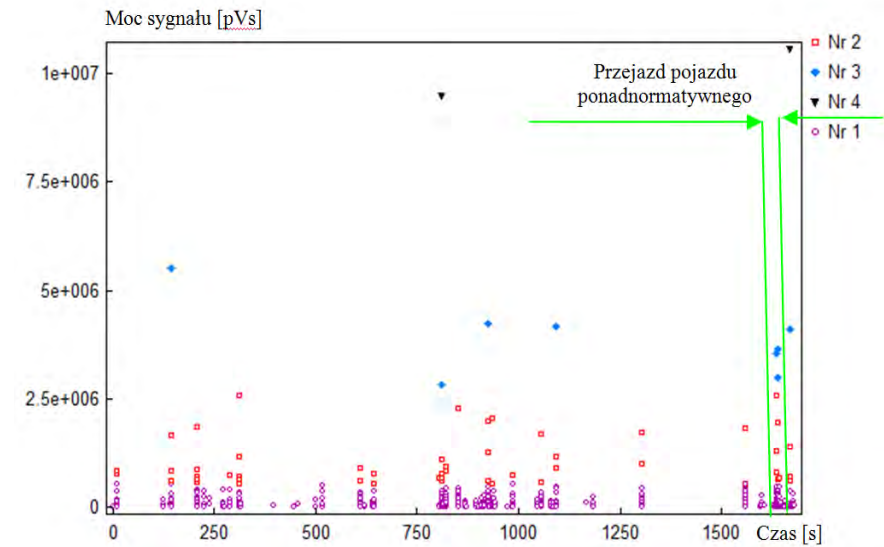
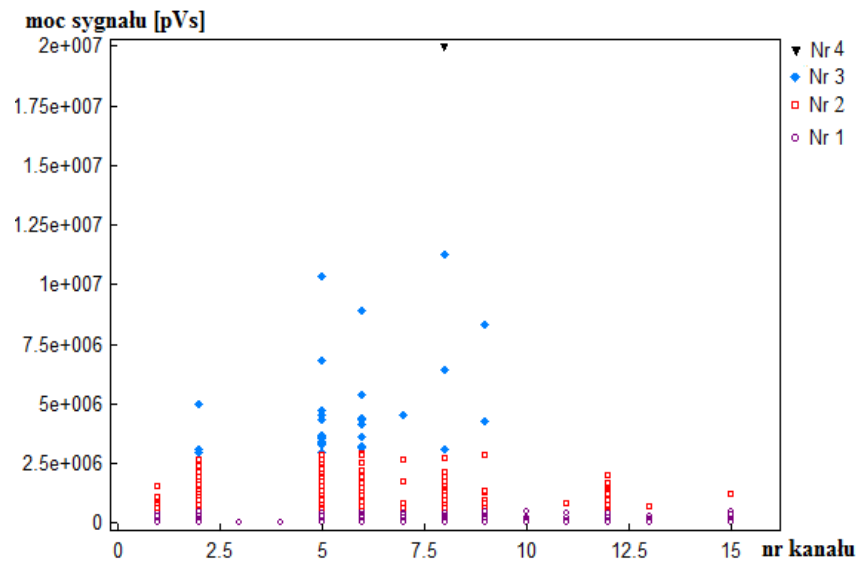
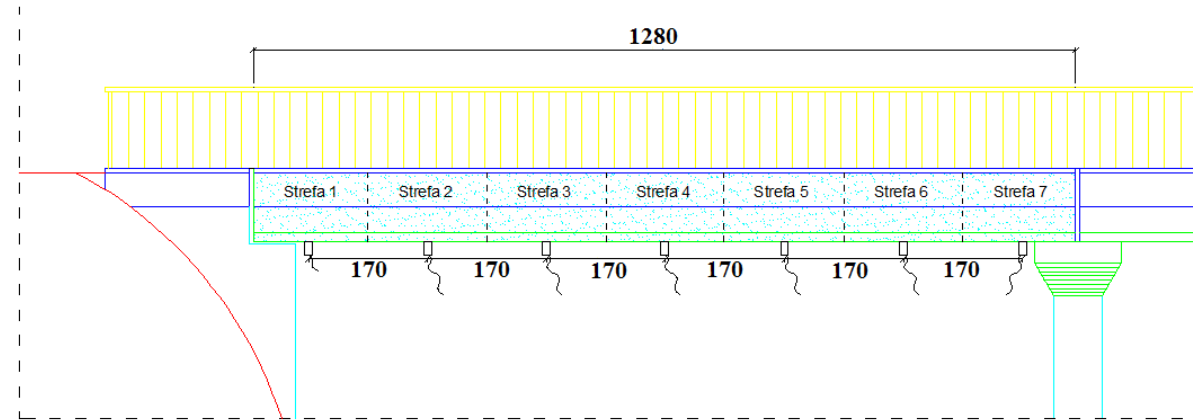
Badania - Metoda EA

PRZEJAZD PONADNORAMTYWNY ZE WZGLĘDU NA TONAŻ

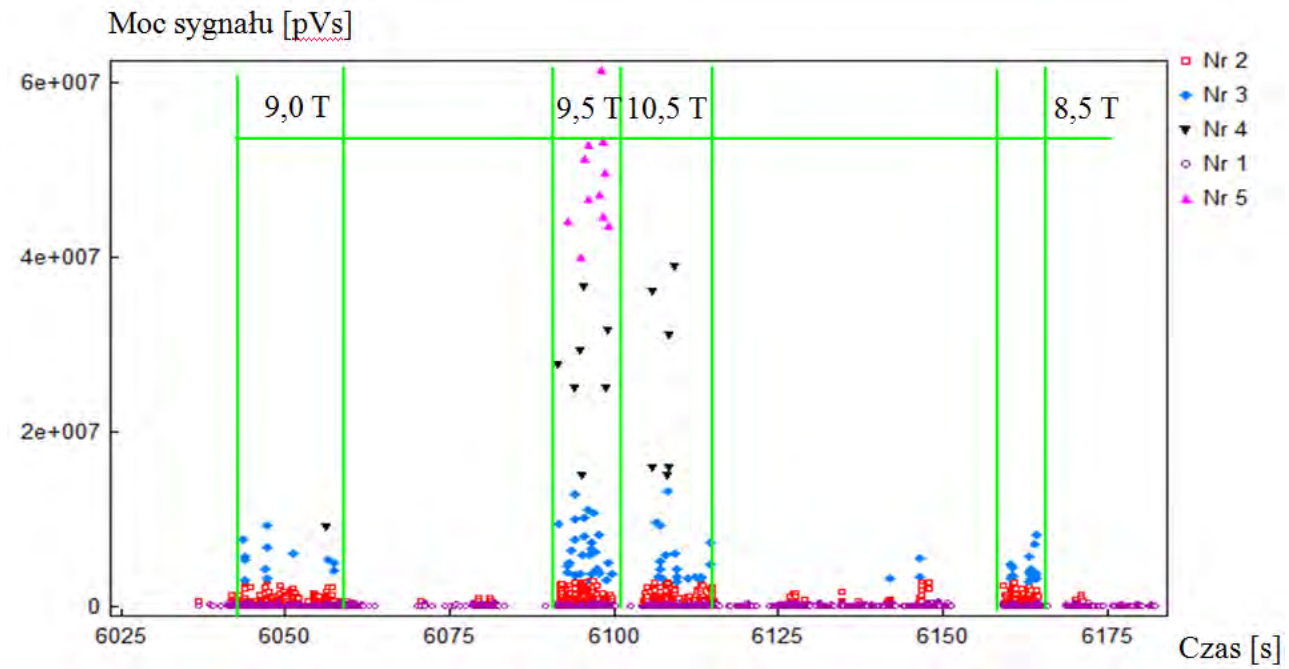


Badania - Metoda EA

PRZEJAZD PONADNORAMTYWNY ZE WZGLĘDU NA TONAŻ

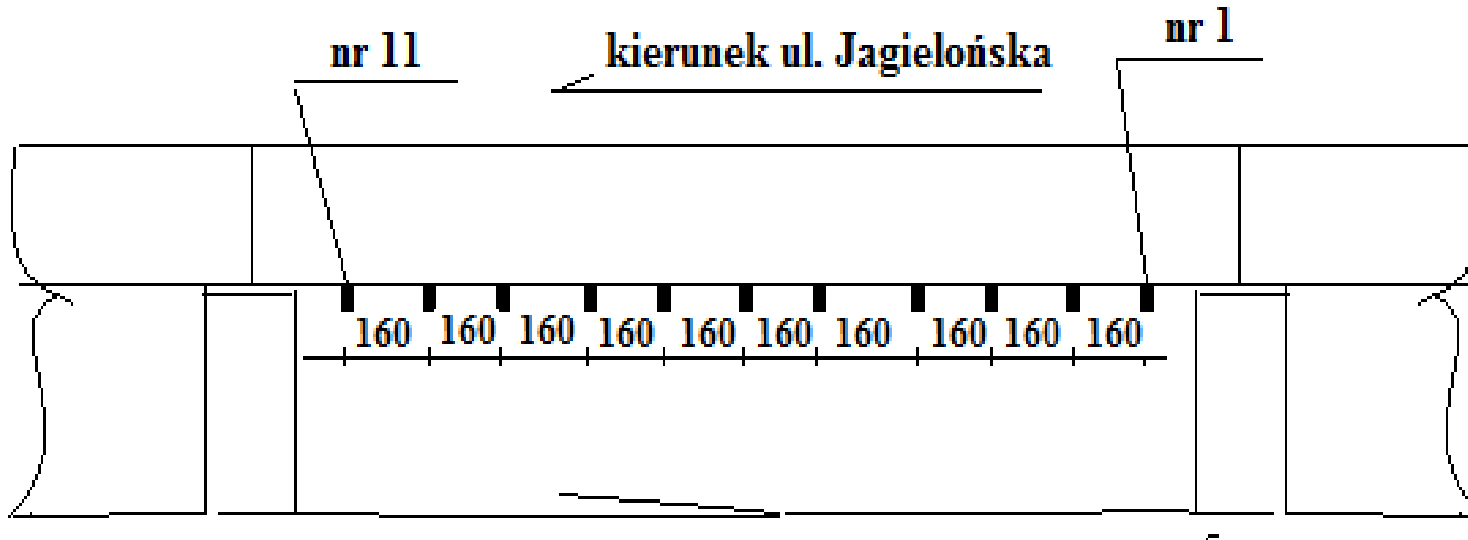


Badania - Metoda EA



Badania - Metoda EA

PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH
23 PRZĘSŁOWY KABLOBETONOWY WIADUKT – 640 M



Badania - Metoda EA

PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH
23 PRZESŁOWY KABLOBETONOWY WIADUKT – 640 M



Badania - Metoda EA

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	○	□	◆	▼	▲			

Badania - Metoda EA

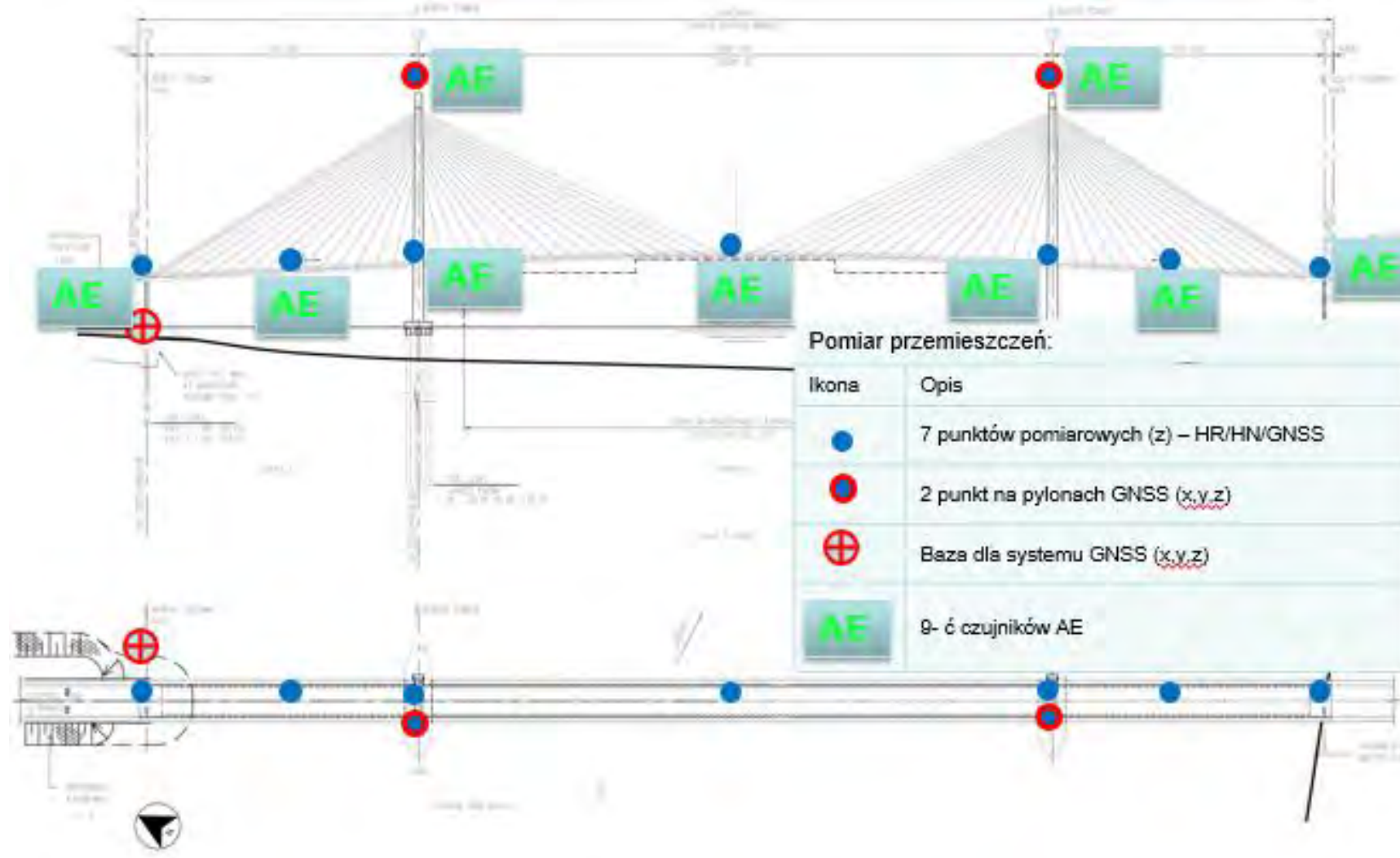
PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH



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

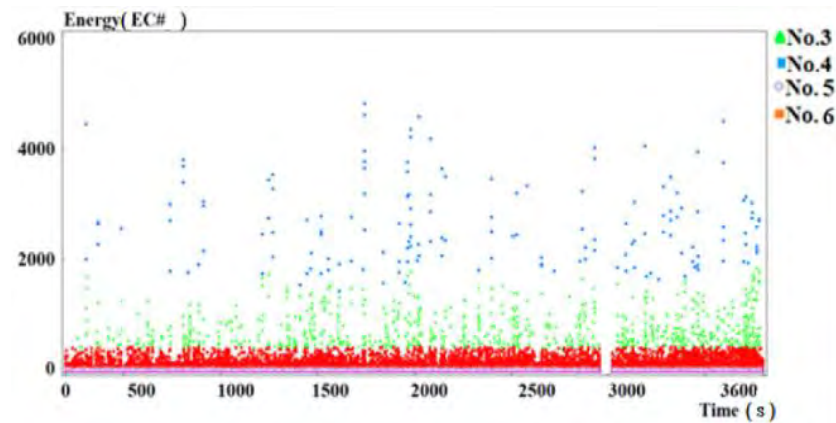
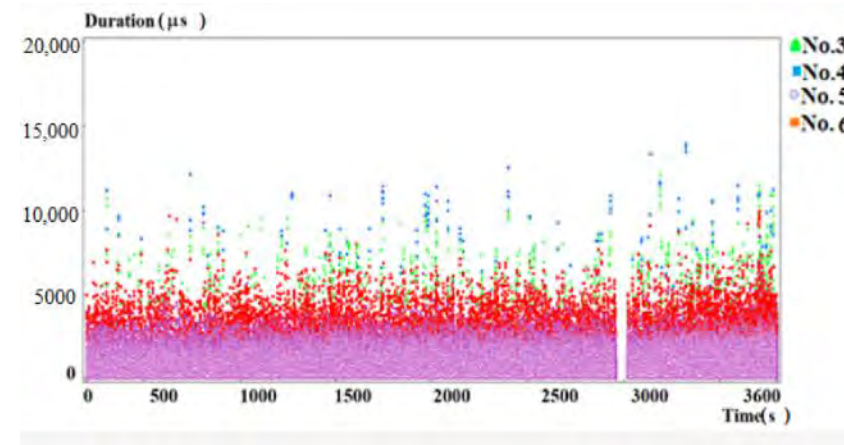
Badania - Metoda EA

PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH

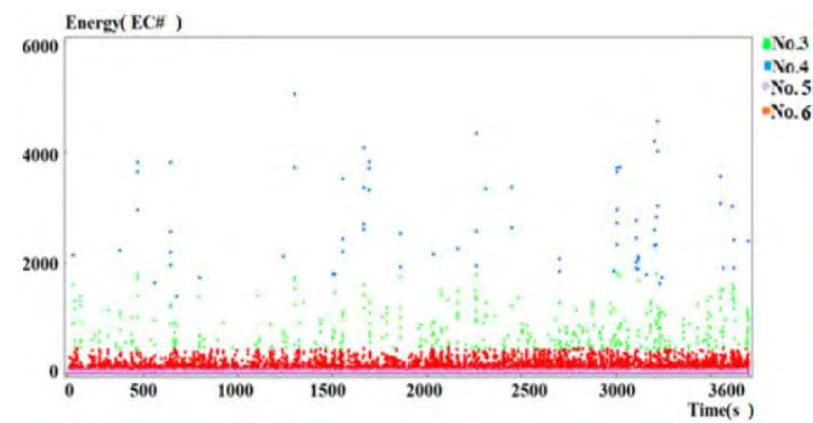


Badania - Metoda EA

PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH



Październik 2016



Marzec 2017

Badania - Metoda EA

PRZEDŁUŻENIE UŻYTKOWANIA OBIEKTÓW MOSTOWYCH



MOST STALOWY 7 PRZĘŚLÓWY NAD WISŁĄ W SANDOMIERZU

Badania - Metoda EA

Opracowana i zweryfikowana na ponad 260 obiektach metoda IDENTYFIKACJI AKTYWNYCH PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH umożliwia:

- ✓ identyfikację i lokalizację aktywnych procesów destrukcyjnych występujących w całej badanej objętości konstrukcji,
- ✓ prowadzenie pomiarów przez długi czas, co pozwala na ocenę rozwoju uszkodzeń w warunkach rzeczywistego obciążenia z uwzględnieniem warunków zewnętrznych takich jak deszcz, mróz czy wiatr,
- ✓ monitoring eksploatowanych obiektów infrastruktury drogowej wykonanych z betonów wstępnie sprężonych w trakcie przejazdów pojazdów ponadnormatywnych ze względu na masę,
- ✓ ocenę rozwoju uszkodzeń w prototypowych konstrukcjach i elementach konstrukcji wykonanych z betonów wstępnie sprężonych podczas obciążeń próbnych lub testowych,
- ✓ ciągły monitoring obiektów mostowych, które mają niską ocenę stanu technicznego, ale ze względu na brak środków nie mogą być remontowane i wyłączone z eksploatacji,

Typy konstrukcji	Budynki kubaturowe	Mosty	Obiekty geotechniczne	Tunele	Obiekty zabytkowe	Rurociągi gazowe	Obiekty nuklearne	Tamy	Osuwiska	Nawierzchnie	Testy laboratoryjne	Obiekty nieinżynierskie	Suma	Suma [%]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Azja	163	6	2	6	3	0	1	2	1	1	2	0	187	52
Europa	9	31	22	12	8	10	6	5	7	3	29	10	152	42
Ameryka Pn.	1	8	1	0	0	1	4	0	0	1	2	0	18	5
Afryka	0	0	1	0	1	0	0	2	0	0	0	0	4	1
Suma	173	45	26	18	12	11	11	9	8	5	33	10	361	100
Suma [%]	48	12	7	5	3	3	3	2	2	1	9	3	100	

Zestawienie liczby systemów monitorowania zrealizowanych
na poszczególnych kontynentach przez jedną firmę
w zależności od typu konstrukcji (2009)

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

13:00	<i>Otwarcie prezentacji projektu RID2 DiagSC</i>	Janusz Bohatkiewicz
13:05	<i>Informacje ogólne o projekcie</i>	Piotr Olaszek
13:15	<i>Procedura badań obiektów mostowych o konstrukcji Sprężonej kablobetonowej oraz podwieszanej z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną</i>	Piotr Olaszek
13:45	<i>Metody NDT stosowane w ocenie stanu technicznego konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszonych ze szczególnym uwzględnieniem metod akustycznych wspomaganych metodą Georadarową i GalvaPuls</i>	Grzegorz Świt
14:15	<i>Ocena ryzyka pogorszenia stanu użytkowalności konstrukcji kablobetonowych i konstrukcji podwieszanych w kontekście braku lub niewłaściwej implementacji systemu monitoringu</i>	Andrzej Świercz
14:45	<i>Dane o wszystkich obiektach mostowych GDDKiA będących przedmiotem projektu na podstawie SGM, Wybrane obiekty do badań testowych</i>	Piotr Olaszek Miroslaw Biskup

16:30	<i>Typowe uszkodzenia konstrukcji podwieszonych</i>	Artur Sakowski
16:50	<i>Typowe uszkodzenia konstrukcji sprężonych kablobetonowych</i>	Miroslaw Biskup
17:10	<i>Możliwości detekcji skali uszkodzeń metodami NDT</i>	Grzegorz Świt
17:30	<i>Możliwości numerycznej symulacji uszkodzeń</i>	Andrzej Świercz
17:50	<i>Wzorcowy projekt monitoringu na przykładzie wiaduktu extradosed</i>	Piotr Olaszek Artur Sakowski
18:10	Dyskusja	