



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju


Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad

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

**Metody NDT stosowane w ocenie stanu technicznego konstrukcji kablobetonowych
i konstrukcji podwieszonych ze szczególnym uwzględnieniem metod akustycznych
wspomaganych metodą Georadarową i GalvaPuls**

prof. dr hab. inż. Grzegorz Świt

dr hab. inż. Aleksandra Krampikowska, prof. PŚk



Politechnika Świętokrzyska
Kielce University of Technology

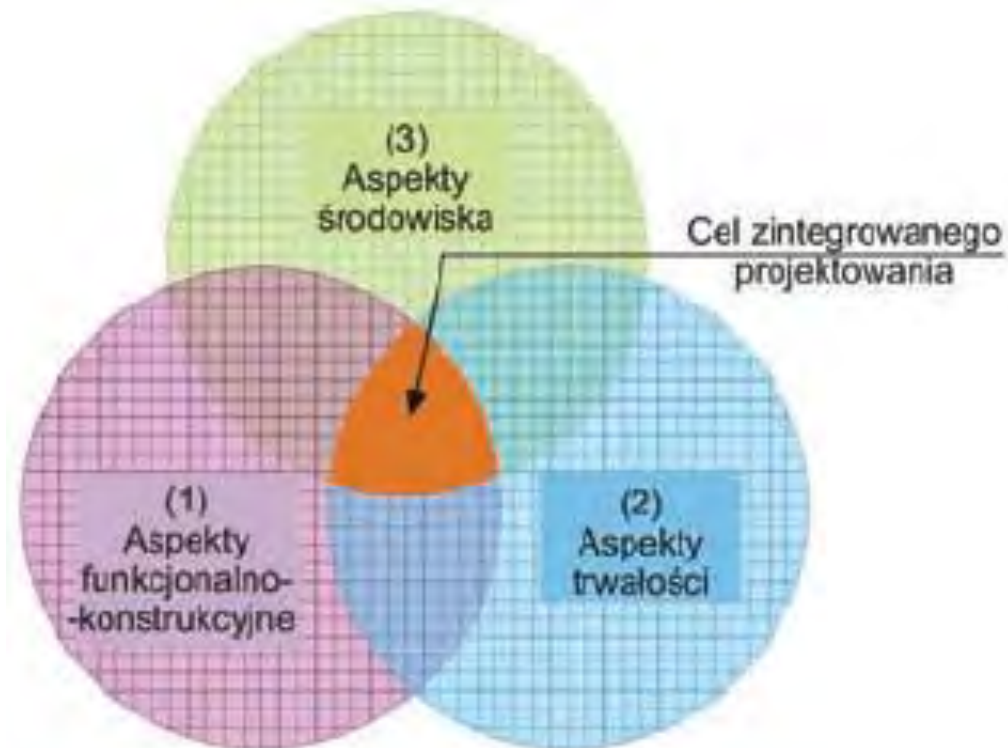
TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH



Rys. 2 Schemat grup zagadnień związanych z trwałością konstrukcji

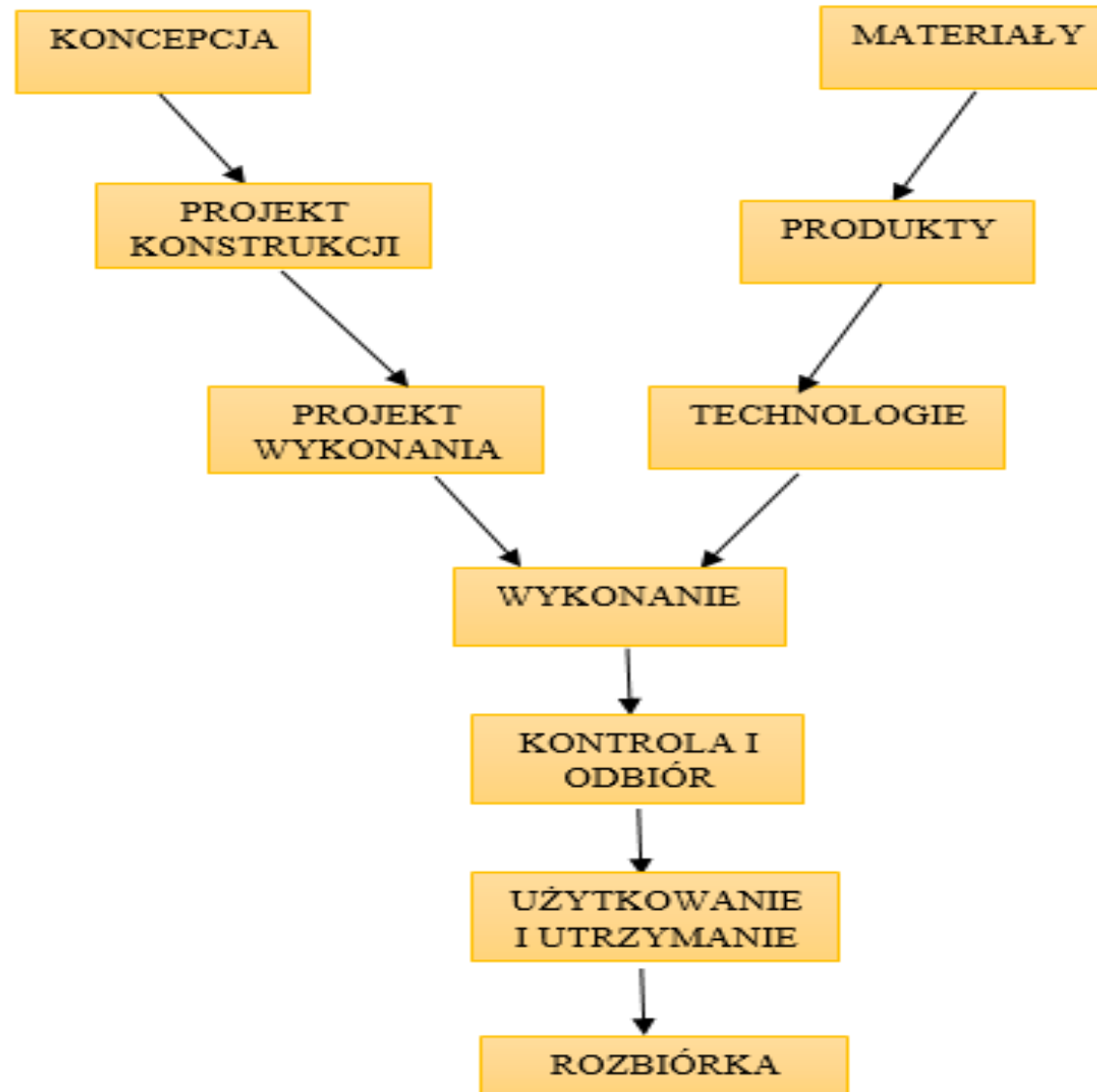
TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Trwałość - można zdefiniować jako zdolność konstrukcji do spełnienia minimum swoich funkcji przez okres planowanego użytkowania i w przewidzianych warunkach, bez konieczności ponoszenia nadmiernych kosztów napraw i konserwacji.



Rys.1 Uproszczony schemat projektowania zintegrowanego

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH



Rys. 3 Kolejność operacji w okresie budowy i użytkowania obiektu wg. Marsh i Nixon

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

Rodzaj materiału konstrukcyjnego	Liczba		Długość		Powierzchnia	
	Szt.	%	m	%	m ²	%
stal	1 029	13.97	91 812	22.19	1 295 721	22.81
beton zbrojony	3 255	44.21	105 726	25.55	1 247 885	21.97
beton sprężony	3 018	40.99	215 478	52.09	3 128 542	55.09
kamień, cegła, beton	61	0.83	687	0.17	7 369	0.13
pozostałe (tymczasowe)	0	0	0	0	0	0
Ogółem	7 363		413 703		5 679 518	
w tym: tunele i przejścia podziemne – 184 szt. / dług. - 7029 m / pow. – 71 684 m ²						

Tabela 1. Dane Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) z dnia 20.11.2016r

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH

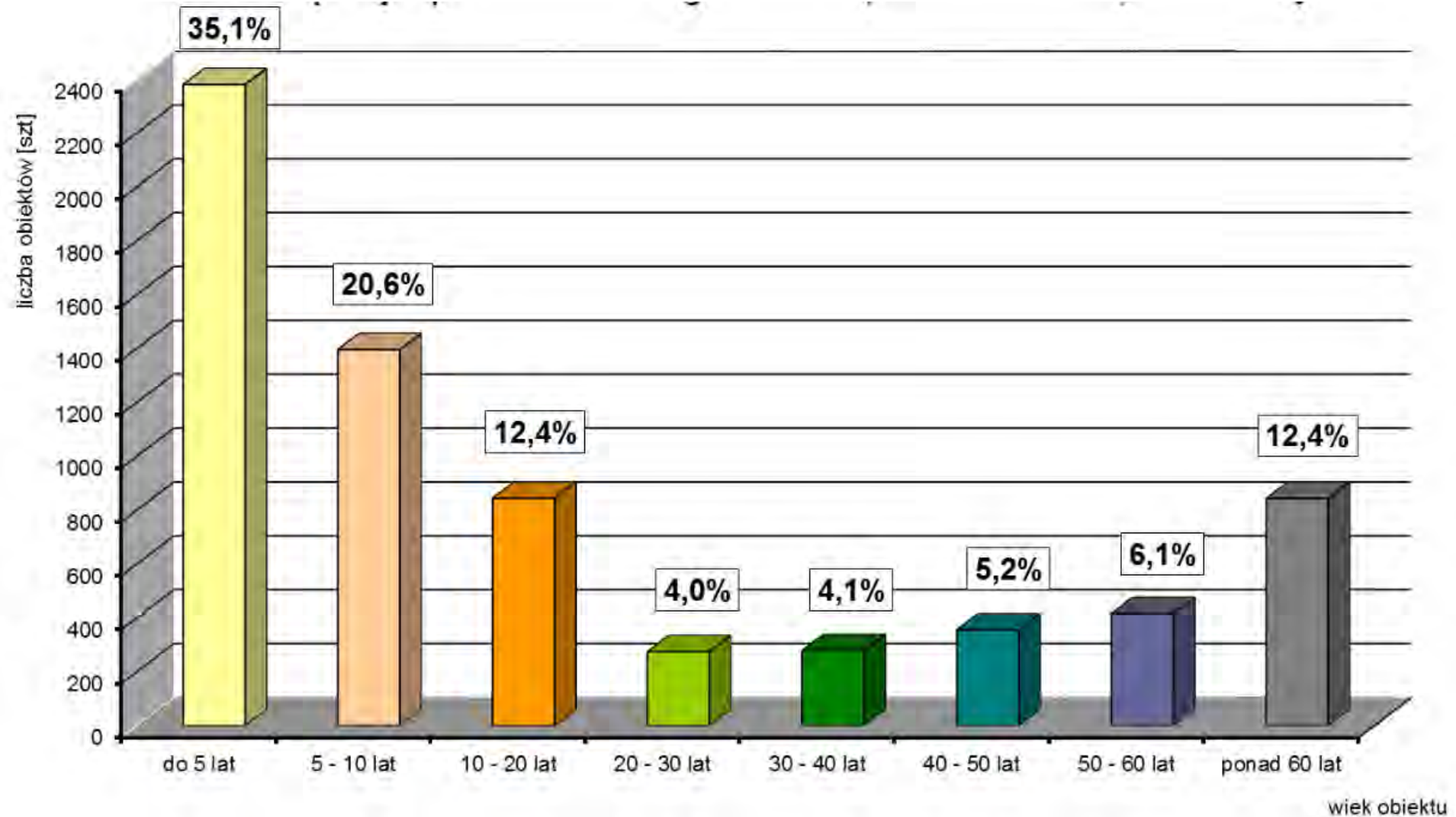
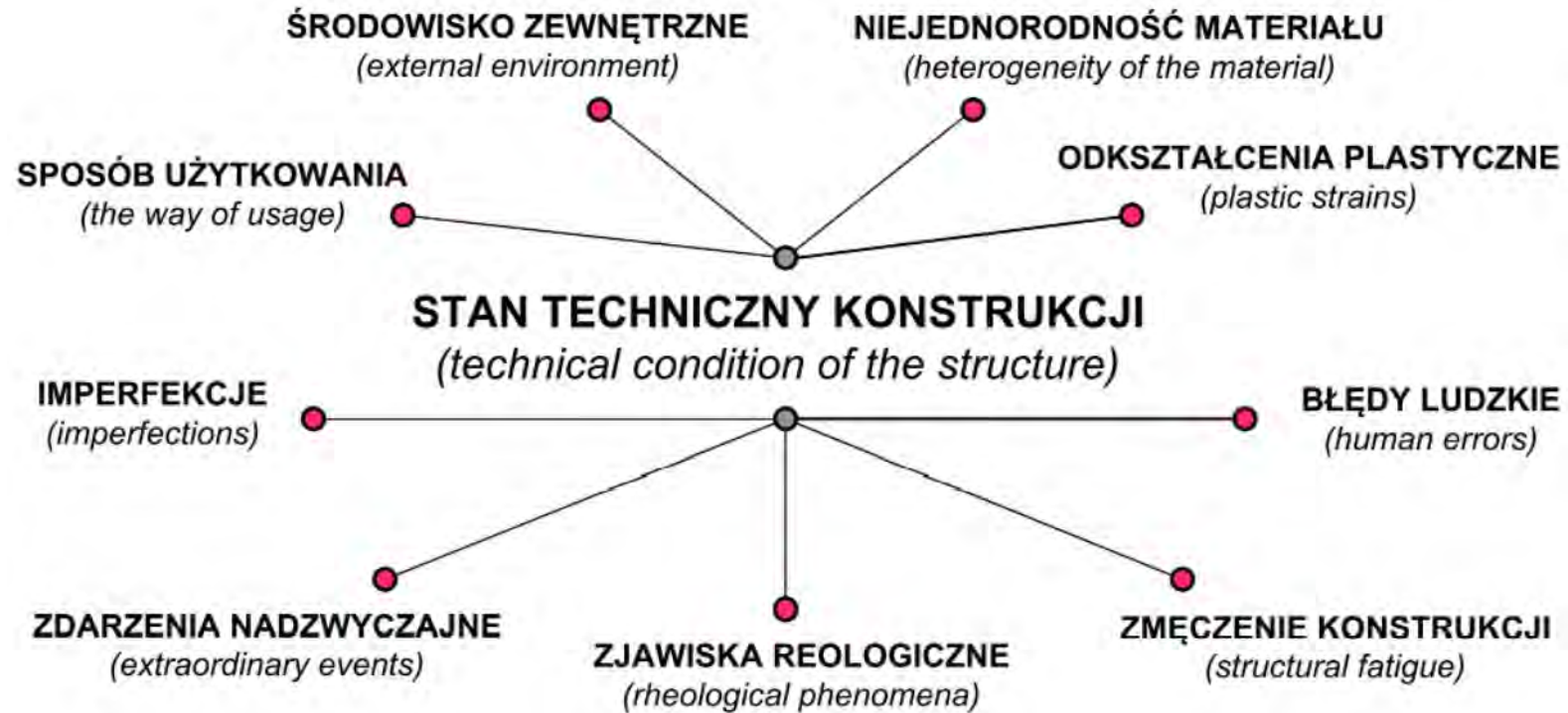


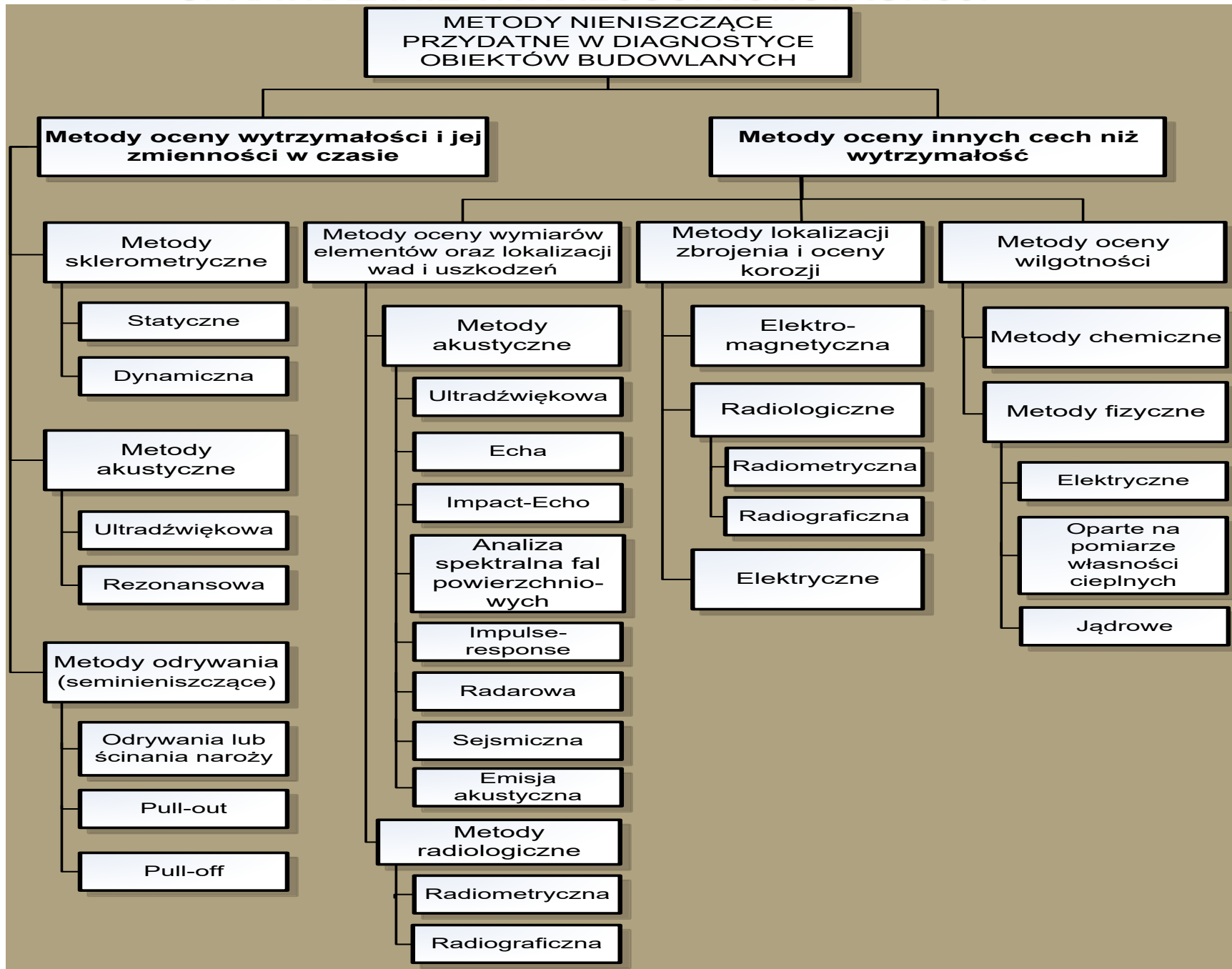
Tabela 2. Podział obiektów mostowych na drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA z uwagi na ich wiek (stan na 30.10.2015 r)

TRWAŁOŚĆ KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH



Rys.3. Czynniki wpływające na stan techniczny konstrukcji

SPRAWDZANIE TRWAŁOŚCI KONSTRUKCJI



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA WIZUALNA

ZALETY:

- Szybkość wykonania
- Niska cena

OGRANICZENIA:

- Osoby o dużym doświadczeniu praktycznym
- Uwzględnia tylko wady powierzchniowe
 - Wymagane wykształcenie kierunkowe

ZASADY:

- Ocena tylko na podstawie powierzchniowych uszkodzeń



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA ANALIZY OBRAZU (IPP)

ZALETY:

- SZYBKOŚĆ I PROSTOTA WYKONANIA
- NISKA CENA

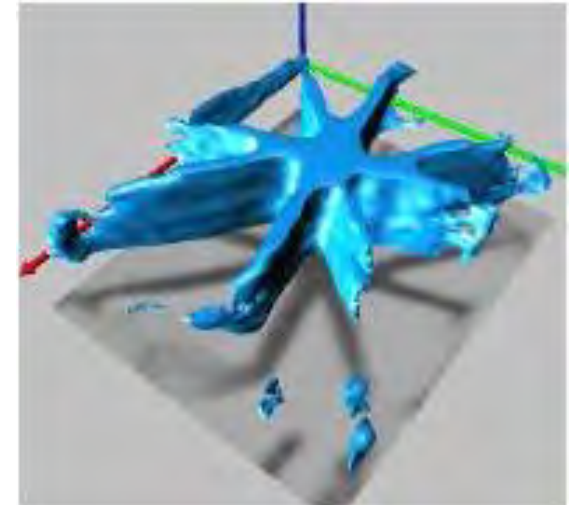
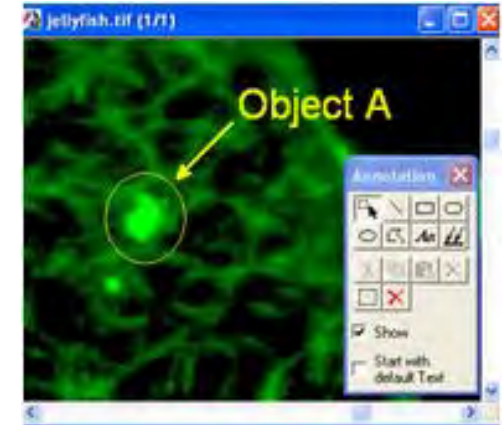
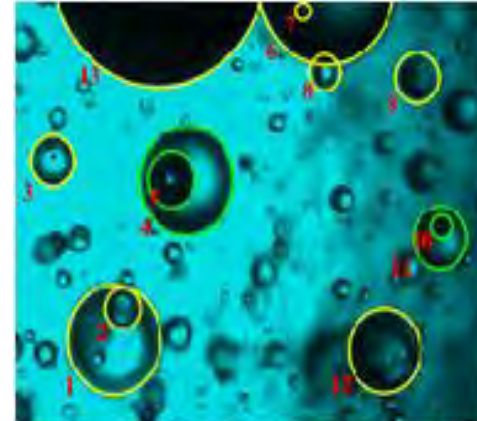
OGRANICZENIA:

- DŁUGOTRWAŁA ANALIZA DANYCH

:ZASADY:

- OCENA NA PODSTAWIE ANALIZY KOLORÓW I KSZTAŁTÓW

CHARAKTERYSTYCZNYCH DLA RÓŻNYCH MATERIAŁÓW I USZKODZEŃ



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA EMISJI AKUSTYCZNEJ (EA)

ZALETY:

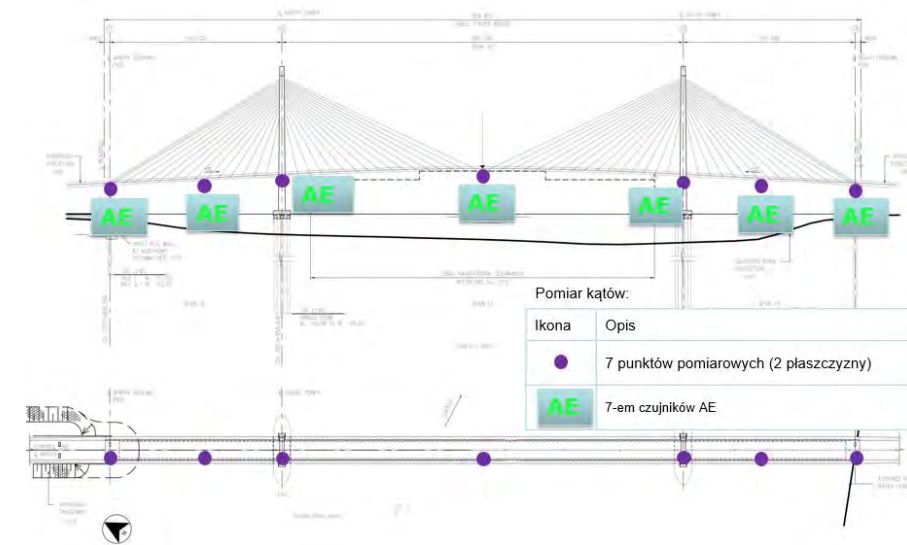
- SZYBKOŚĆ ANALIZY
- WYKRYWANIE ZMIAN W CAŁEJ OBJĘTOŚCI MATERIAŁU
- POMIAR CIĄGŁY CAŁEJ KONSTRUKCJI

OGRANICZENIA:

- CENA APARATURY POMIAROWEJ
- OSOBY O DUŻEJ WIEDZY PRAKTYCZNEJ I TEORETYCZNEJ
- NIE WYKRYWA WAD NIEPROPAGUJĄCYCH DALEJ

ZASADY:

- ANALIZA FAL SPRĘŻYSTYCH GENEROWANYCH PRZEZ DEFEKTY



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA IMPACT ECHO

ZALETY:

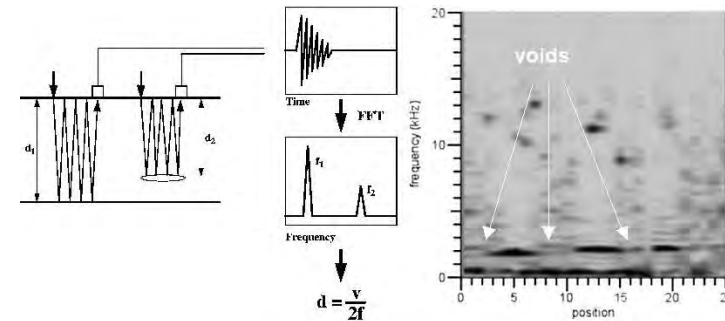
- SZYBKOŚĆ ANALIZY
- WYKRYWANIE ZMIAN W MATERIALE TYLKO OD JEDNEJ STRONY
- DUŻA DOKŁADNOŚĆ POMIARU

OGRANICZENIA:

- INTERPRETACJA WYNIKÓW JEST TRUDNA
- DOKŁADNOŚĆ POMIARU MALEJE WRAZ Z GRUBOŚCIĄ ELEMENTU
- NIE WYKRYWA PROPAGACJI RYS
- BRAK MOŻLIWOŚCI POMIARU CIĄGŁEGO

ZASADY:

- ANALIZA FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH GENEROWANYCH PRZEZ UŻYTKOWNIKA APARATURY POMIAROWEJ



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA SPEKTROSKOPII ABSORPCYJNEJ W PODCZERWIENI

ZALETY:

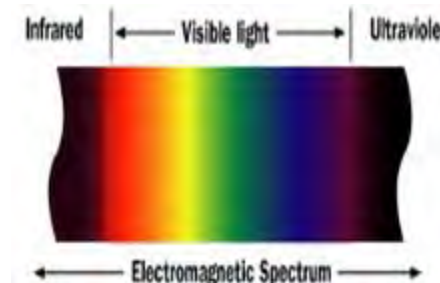
- ŁATWA INTERPRETACJA WYNIKÓW
- PROSTE DO WYKONANIA
- MOBILNE I SZYBKIE DO SKONFIGUROWANIA

OGRANICZENIA:

- BRAK INFORMACJI I SZEROKOŚCI I GŁĘBOKOŚCI WADY
- DUŻA PODATNOŚĆ WYNIKÓW NA WPLYW ŚRODOWISKA
- BRAK MOŻLIWOŚCI POMIARU CIĄGŁEGO

ZASADY:

- ZMIANY TEMPERATURY NA POWIERZCHNI ELEMENTU



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA RENTGENOGRAFII

ZALETY:

- **MOŻLIWOŚĆ WYKRYCIA KOROZJI SIARCZANOWEJ**
- **ŁATWA OCENA GRUBOŚCI ELEMENTU**
- **MOŻLIWOŚĆ OCENY JAKOŚCI STRUKTURY MATERIAŁU**

OGRANICZENIA:

- **WYSOKIE KOSZTY BADAŃ**
- **BADANIE NIEBEZPIECZNE DLA ZDROWIA**
- **TYLKO DO 20 CM**

ZASADY:

- **ZMIANY TŁUMIENIA FAL X-RAY I GAMMA**



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA BADAŃ PETROGRAFICZNYCH

ZALETY:

- **MOŻLIWOŚĆ WYKRYCIA KOROZJI SIARCZANOWEJ**
- **ŁATWA OCENA KARBONIZACJI**
- **MOŻLIWOŚĆ OCENY KOROZJI WĘGLANOWEJ I WYMIANY JONÓW WAPNIOWYCH**
- **OCENA ODPORNOŚCI MATERIAŁU NA ZAMRAŻANIA I ODMRAŻANIA**

OGRANICZENIA:

- **INTERPRETACJA WYNIKÓW WYMAGA DUŻEJ WIEDZY NAUKOWEJ I PRAKTYCZNEJ**

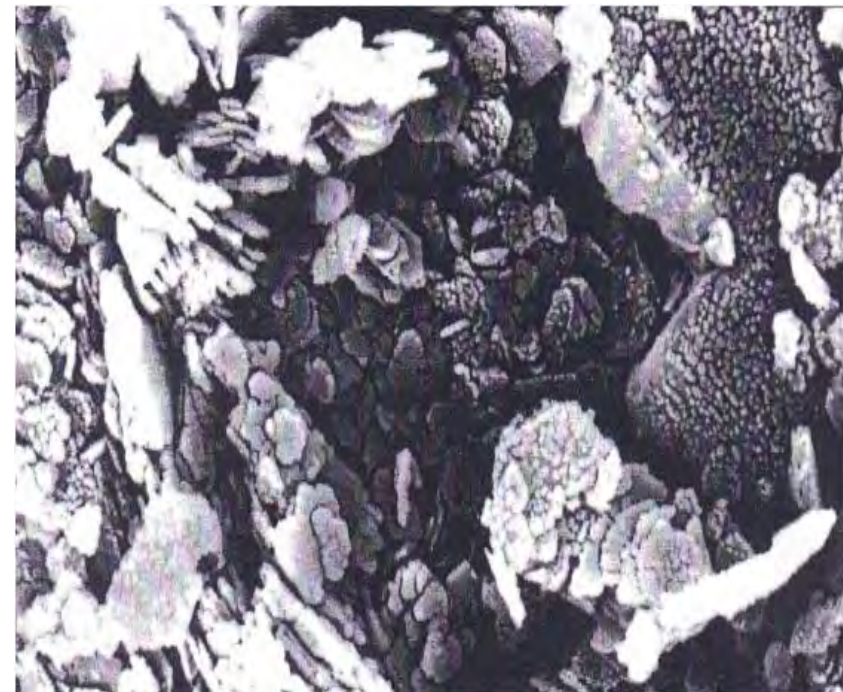
ZASADY:

- **PRÓBKI SĄ BADANE POD MIKROSKOPEM STOSUJĄC ODZWIERCIEDLENIE
PETROGRAFICZNE LUB ŚWIATŁO PRZECHODZĄCE**

Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA BADAŃ PETROGRAFICZNYCH



Mierzona Właściwość

JAKOŚĆ BETONU, RYSY, WADY, PUSTKI

METODA ANALIZY FAL LAMBA (LWT)

ZALETY:

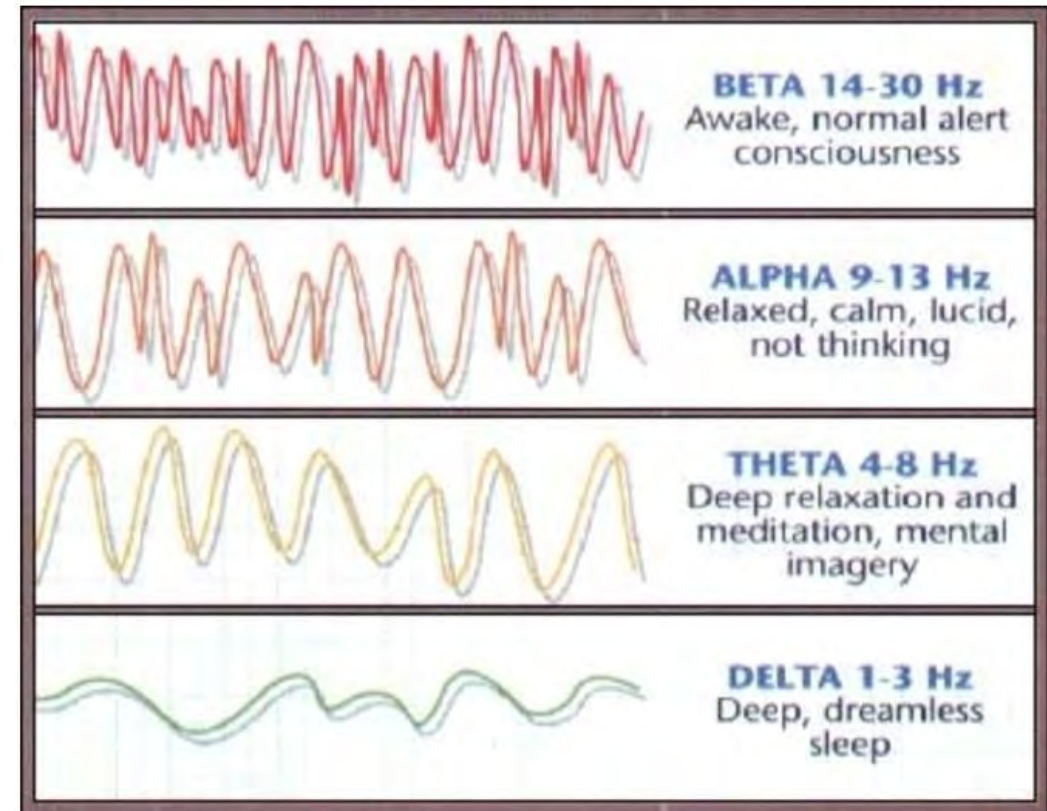
- DOŚĆ DOKŁADNE WYNIKI POMIARU GRUBOŚCI ELEMENTU
- LOKALIZACJA USZKODZEŃ

OGRANICZENIA:

- TRUDNA INTERPRETACJA WYNIKÓW

ZASADY:

- ANALIZA DYSPERSJI FAL



Mierzona Właściwość

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE, TWARDOŚĆ, PRZYCZEPNOŚĆ

METODA ODBIĆ MŁOTKA (METODA SKLEROMETRYCZNA)

ZALETY:

- SZYBKOŚĆ I ŁATWOŚĆ WYKONANIA
- NIEDROGIE

OGRANICZENIA:

- MAŁA DOKŁADNOŚĆ WYNIKÓW
- DUŻA ZALEŻNOŚĆ OD PRZYGOTOWANIA PODŁOŻA ORAZ WIEKU BETONU
- ZNACZNY WPŁYW NAPOWIETRZENIA I WILGOTNOŚCI NA DOKŁADNOŚĆ

ZASADY:

- SIŁA ODBICIA TŁOKA OD BADANEJ POWIERZCHNI



Mierzona Właściwość

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE, TWARDOŚĆ, PRZYCZEPNOŚĆ

METODA ULTRADŹWIĘKOWA (UPV)

ZALETY:

- SZYBKOŚĆ I ŁATWOŚĆ WYKONANIA
- ŁATWOŚĆ INTERPRETACJI WYNIKÓW
- DUŻA GŁĘBOKOŚĆ PENETRACJI FALI
- NIEDROGIE

OGRANICZENIA:

- MAŁA DOKŁADNOŚĆ WYNIKÓW
- DUŻA ZALEŻNOŚĆ DOKŁADNOŚCI WYNIKÓW OD WILGOTNOŚCI
ORAZ OBECNOŚCI ZBROJENIA

ZASADY:

- POMIAR PRĘDKOŚCI I TŁUMIENIA FALI ULTRADŹWIĘKOWEJ



Mierzona Właściwość

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE, TWARDOŚĆ, PRZYCZEPNOŚĆ

METODA CAPO TEST (ODMIANA METODY PULL OUT)

ZALETY:

- NAJBARDZIEJ WIARYGODNA METODA OCENY WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE SZCZEGÓLNIIE WARSTW PRZYPOWIERZCHNIOWYCH

OGRANICZENIA:

- USZKODZENIA POWIERZCHNI BADANEGO ELEMENTU

ZASADY:

- WYTRZYMAŁOŚĆ BETONU NA ŚCISKANIE ODCZYTUJE SIĘ Z TABEL NA PODSTAWIE OTRZYMANYCH WARTOŚCI SIŁY WYRYWAJĄCEJ



Mierzona Właściwość

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE, TWARDOŚĆ, PRZYCZEPNOŚĆ

METODA BADANIA NA ODRYWANIE (METODA PULL OFF)

ZALETY:

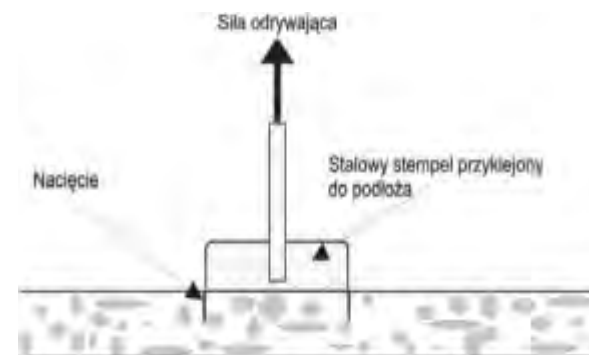
- SZYBKIE WYNIKI
- OCENA PRZYCZEPNOŚCI PODŁOŻA
- OCENA WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE

OGRANICZENIA:

- USZKODZENIA POWIERZCHNI BADANEGO ELEMENTU

ZASADY:

- WYTRZYMAŁOŚĆ BETONU NA ROZCIĄGANIE OKREŚLA SIĘ PRZELICZAJĄC SIŁĘ ODRYWAJĄCĄ PRZYKLEJONY KRAŻEK



Mierzona Właściwość

WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE, TWARDOŚĆ, PRZYCZEPNOŚĆ

METODA BADANIA MIKRORDZENI

ZALETY:

- DOBRA ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY WYNIKAMI BADAŃ A WYTRZYMAŁOŚCIĄ NA ŚCISKANIE MATERIAŁU

OGRANICZENIA:

- WYMIARY POBIERANEGO RDZENIA

ZASADY:

- OCENA NA PODSTAWIE POBRANYCH PRÓBEK Z KONSTRUKCJI



Mierzona Właściwość

STĘŻENIE CHLORKÓW

METODA PASKÓW TESTOWYCH QUANTAB

ZALETY:

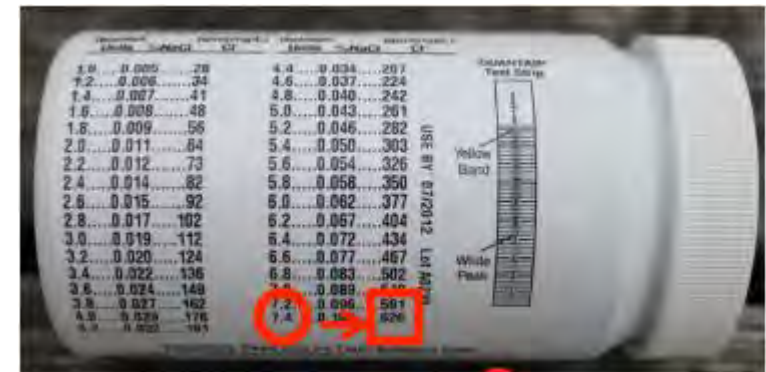
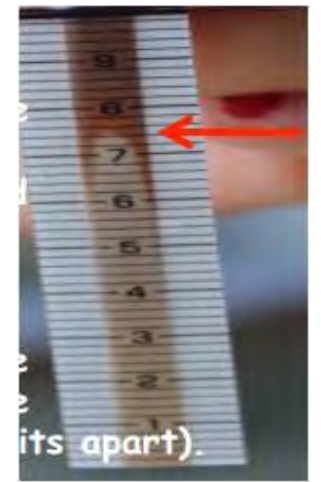
- SZYBKIE I DOKŁADNE WYNIKI

OGRANICZENIA:

- DUŻY KOSZT
- PRZEZNACZONY DO CIENKICH ELEMENTÓW
- NIEBEZPIECZNY DLA ZDROWIA

ZASADY:

- REAKCJA DWUCHROMIANU SREBRA Z JONAMI CHLORKÓW ZNAJDUJĄCYMI SIĘ W BADANYM MATERIALE



Mierzona Właściwość

STĘŻENIE CHLORKÓW

METODA SZYBKIEGO POMIARU CHLORKÓW

ZALETY:

- SZYBKOŚĆ I PROSTOTA POMIARU

OGRANICZENIA:

- BŁĘDY WYNIKÓW SPOWODOWANE WPŁYWEM NIEKTÓRYCH MATERIAŁÓW

ZASADY:

- ZMIANĘ POTENCJAŁÓW NIEZNANEGO ROZTWORU PORÓWNUJE SIĘ ZE ZMIANĄ POTENCJAŁU ROZTWORU CHLORKÓW O ZNANYM STĘŻENIU



Mierzona Właściwość

SZYBKOŚĆ KOROZJI, PROCENT KOROZJI, ROZWÓJ KOROZJI

METODA IMPULSU GALWANOSTATYCZNEGO

ZALETY:

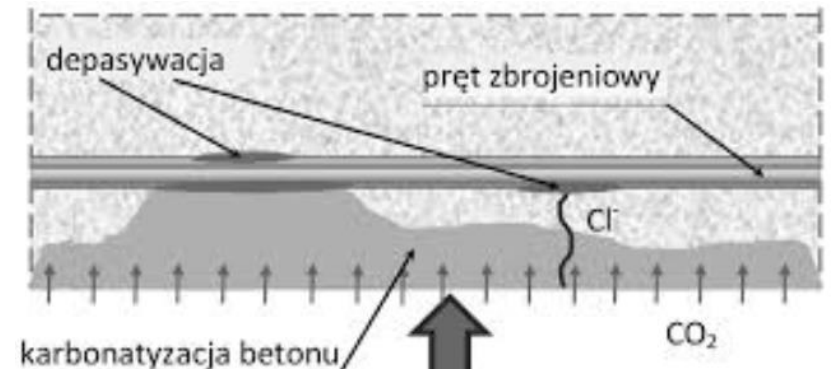
- POMIARY SZYBKOŚCI KOROZJI METALI W ROZTWORACH WODNYCH
- KOROZJA ZBROJENIA W BETONIE

OGRANICZENIA:

- TRUDNOŚCI Z INTERPRETACJĄ WYNIKÓW

ZASADY:

- POMIAR POLARYZACJI PRĘTÓW ZBROJENIA Z ZASTOSOWANIEM STAŁEGO PRĄDU O NISKIM NATEŻENIU



Mierzona Właściwość

SZYBKOŚĆ KOROZJI, PROCENT KOROZJI, ROZWÓJ KOROZJI

METODA OPORU POLARYZACJI LINIOWEJ (LPR)

ZALETY:

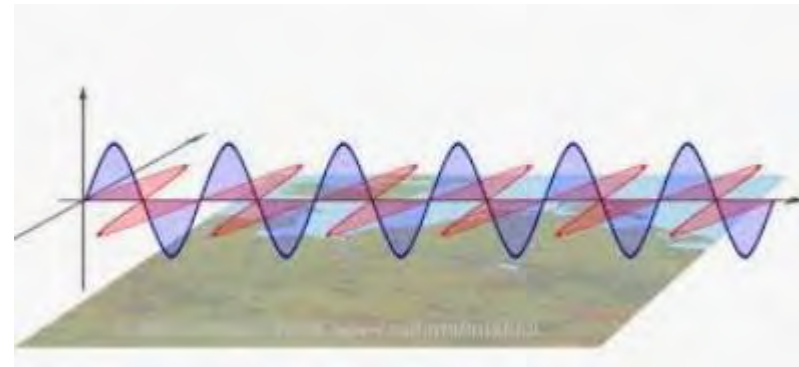
- SZYBKIE I DOKŁADNE WYNIKI
- WSKAZUJE LOKALNE USZKODZENIA

OGRANICZENIA:

- POMIARY WRAŻLIWE NA WILGOTNOŚĆ I TEMPERATURĘ

ZASADY:

- POMIARY PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PŁYNU ZWIĄZANE Z KOROZJĄ



Mierzona Właściwość

LOKALIZACJA ZBROJENIA

METODA ELEKTROMAGNETYCZNA

ZALETY:

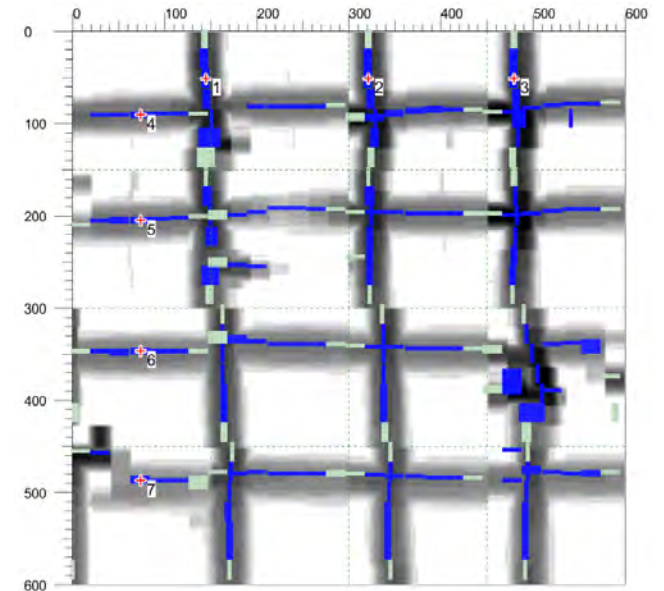
- SZYBKIE WYNIKI
- WSKAZUJE LOKALNE ROZMIESZCZENIE ZBROJENIA

OGRANICZENIA:

- DOKŁADNOŚĆ URZĄDZENIA ŚCIŚLE ZALEŻY OD GŁĘBOKOŚCI POŁOŻENIA PRĘTÓW, ŚREDNICY PRĘTÓW, PRECYZJI WYKONANEGO SKANOWANIA ORAZ JAKOŚCI POWIERZCHNI BETONU

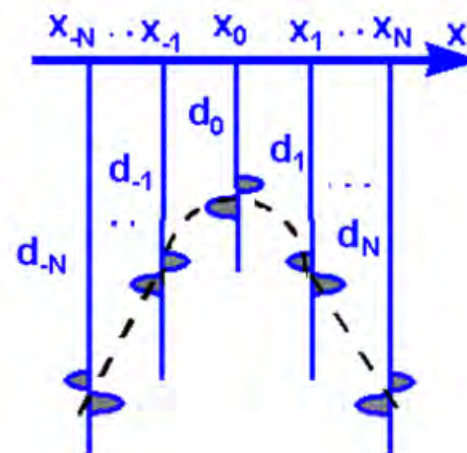
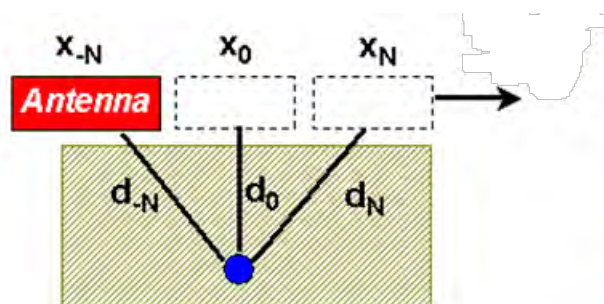
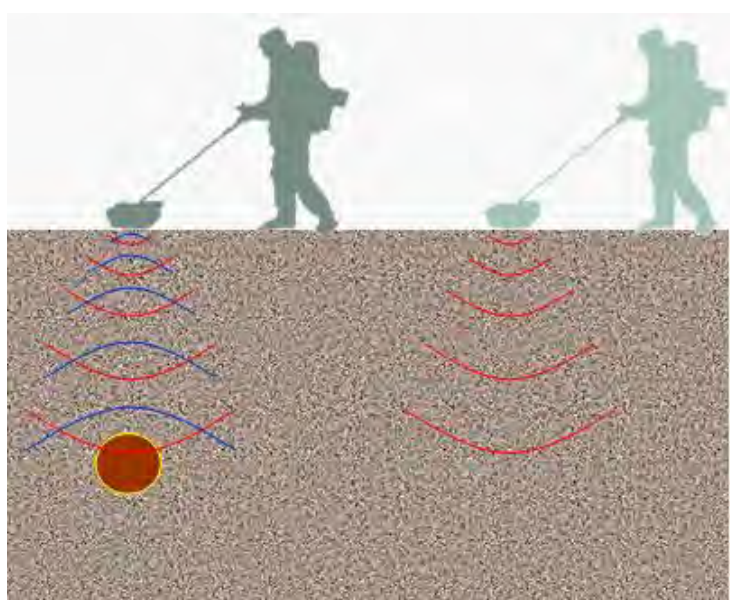
ZASADY:

- ANALIZA ZMIANY WIELOCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO STRUMIENIA MAGNETYCZNEGO EMITOWANEGO W GŁĄB KONSTRUKCJI

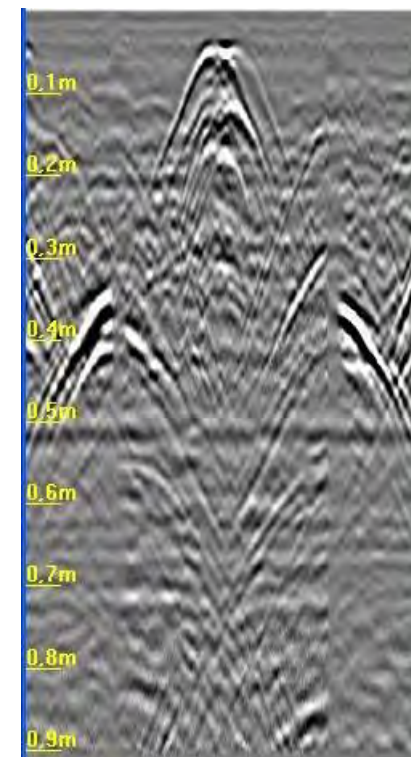
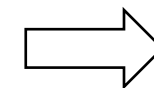


Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)

Metoda georadarowa należy do metod geofizycznych i polega na emitowaniu do wnętrza badanego ośrodka fali elektromagnetycznej, a następnie rejestrowaniu fali odbitej. Przechodząc przez ośrodek, fala ulega załamaniu i odbiciu na granicach różnych materiałów. Analiza parametrów fali odbitej (rejestrowanej przez antenę odbiorczą) umożliwia nieniszczącą ocenę struktury wewnętrznej ośrodka oraz wykrywanie obiektów takich jak pręty zbrojeniowe i ciągną, jak również pustek, rys i innych nieciągłości.

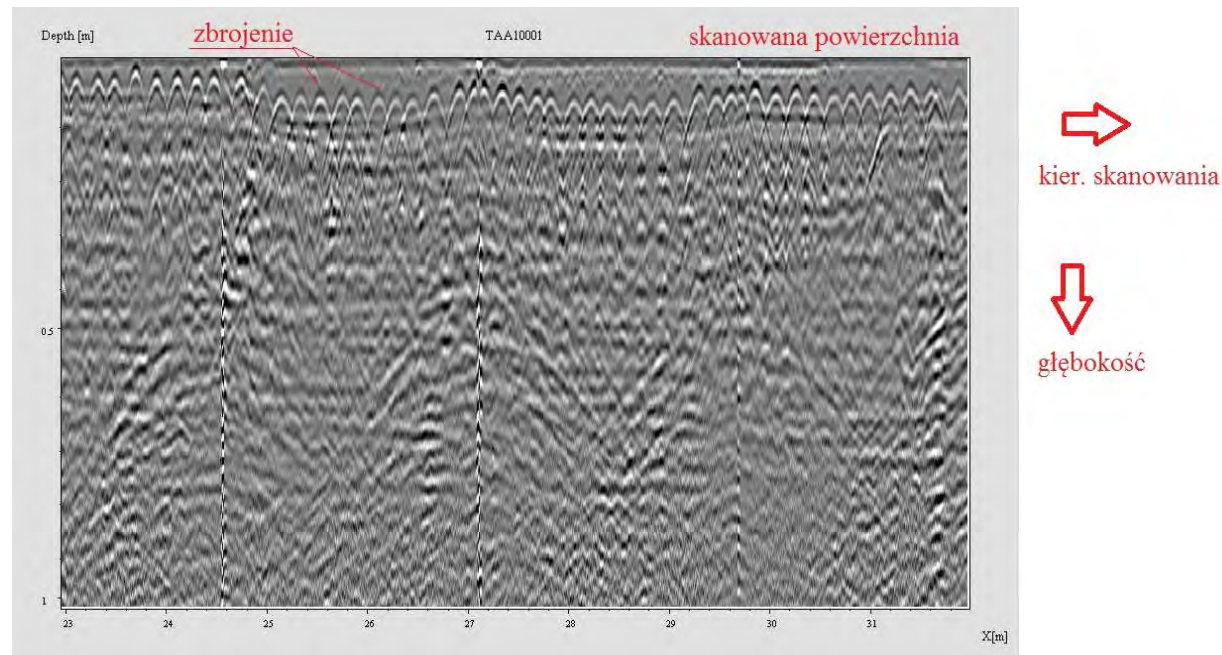


Wynikiem badania jest falogram, w którym w przyjętej skali kolorów oznacza się amplitudy fali odbitej.



Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)

Podstawowym zastosowaniem metody GPR w konstrukcjach inżynierskich wykonanych z betonu zbrojonego jest detekcja prętów/kabli oraz pustek w strukturze materiału:



Jednakże, wpływ właściwości fizycznych materiału na sposób propagacji fali elektromagnetycznej czyni metodę GPR użytecznym narzędziem także do wykrywania obszarów degradacji konstrukcji betonowych. Dotyczy to przede wszystkim takich zjawisk jak zawilgocenie betonu, obecność chlorków, korozja i inne.

Metoda georadarowa (ang. Ground Penetrating Radar – GPR)

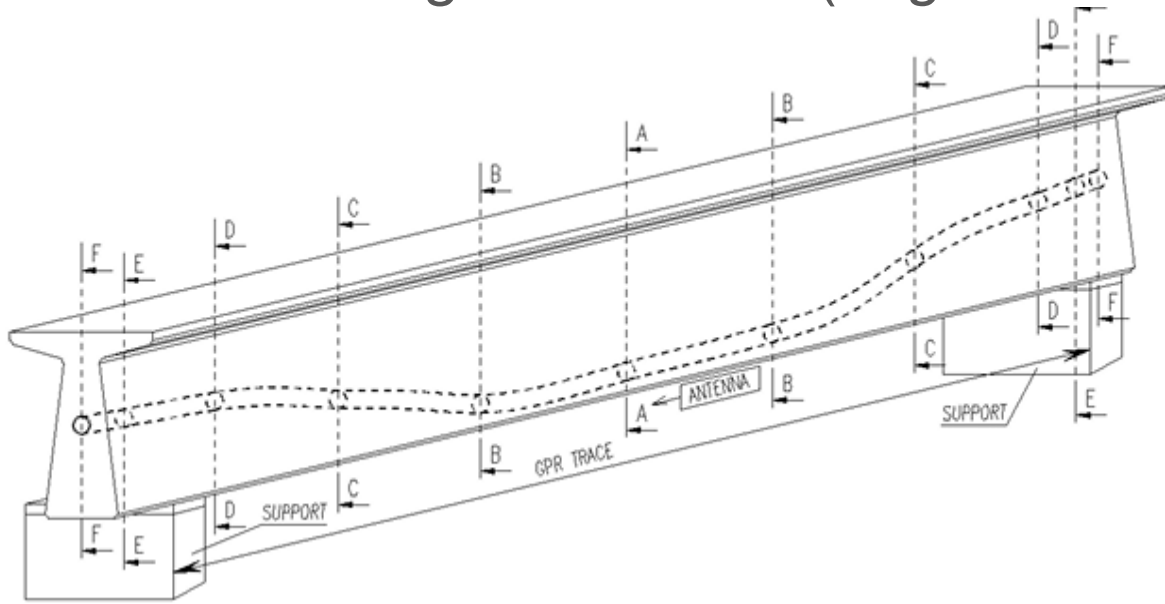


Fig. 3. Trasa przejazdu anteną .

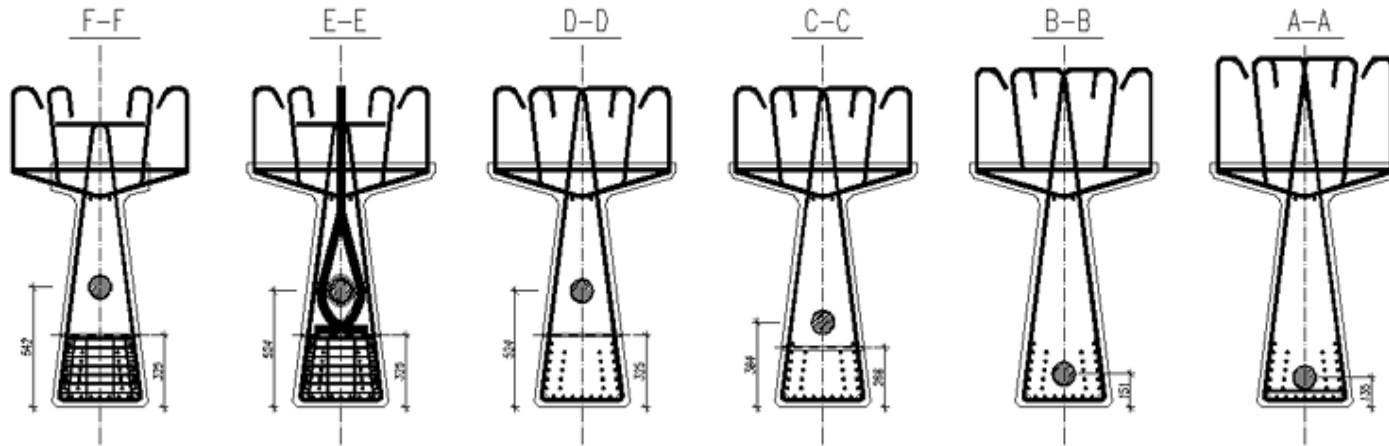
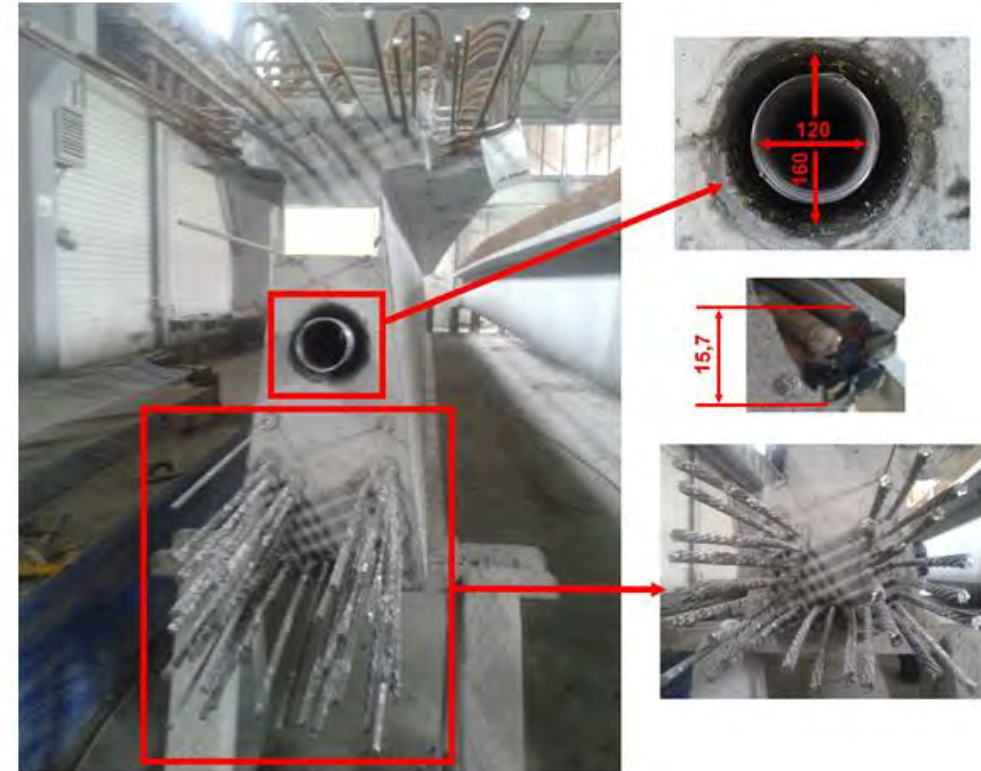
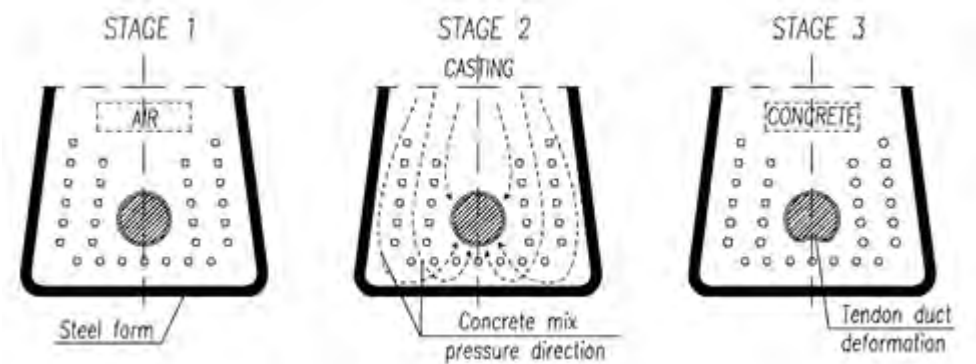
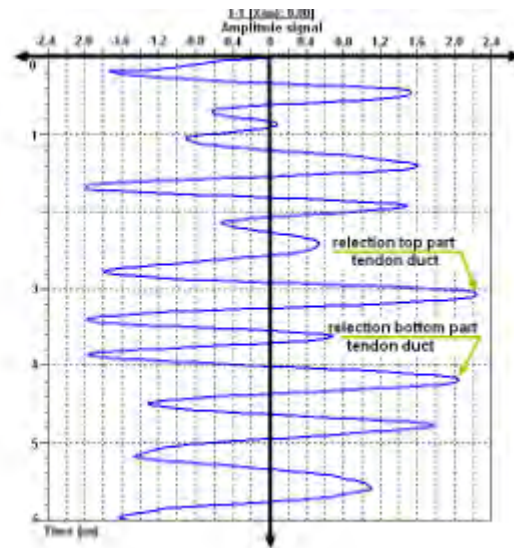
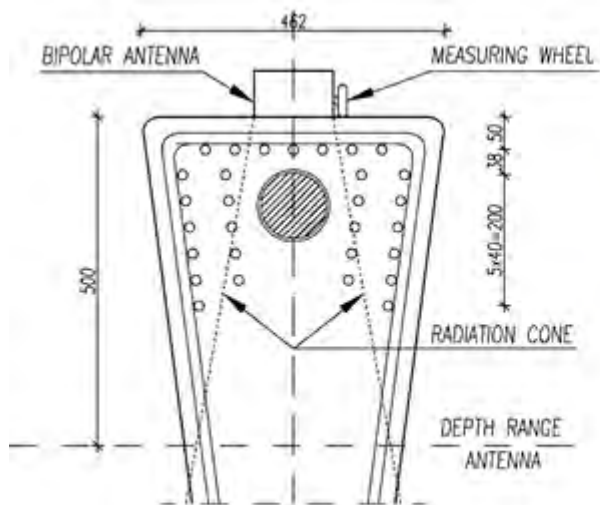
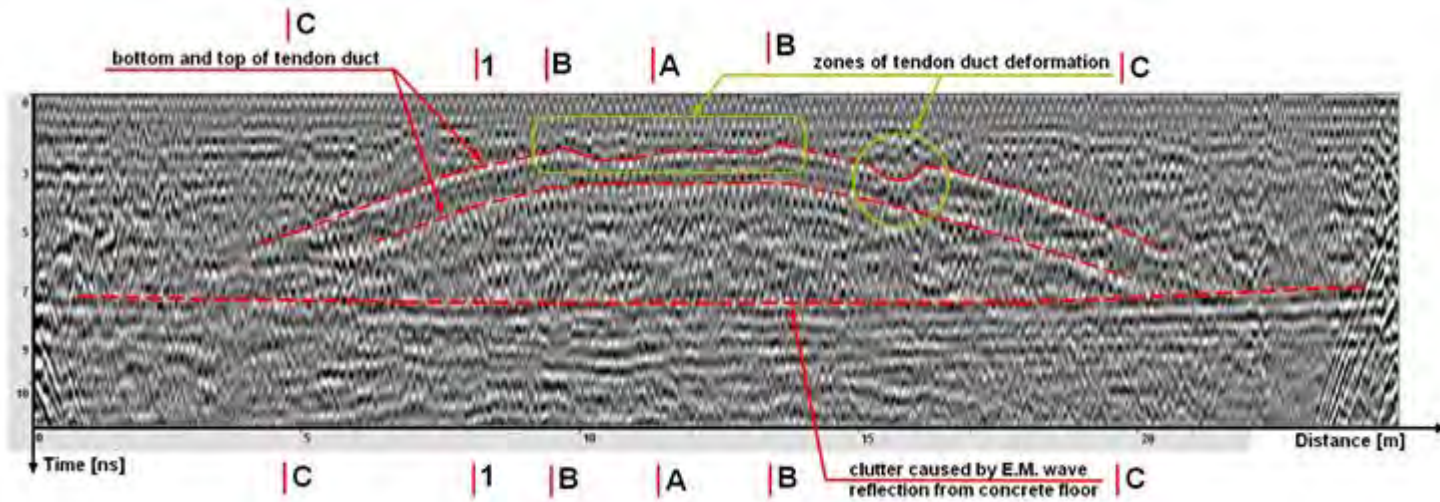


Fig. 4. Przekroje belki.

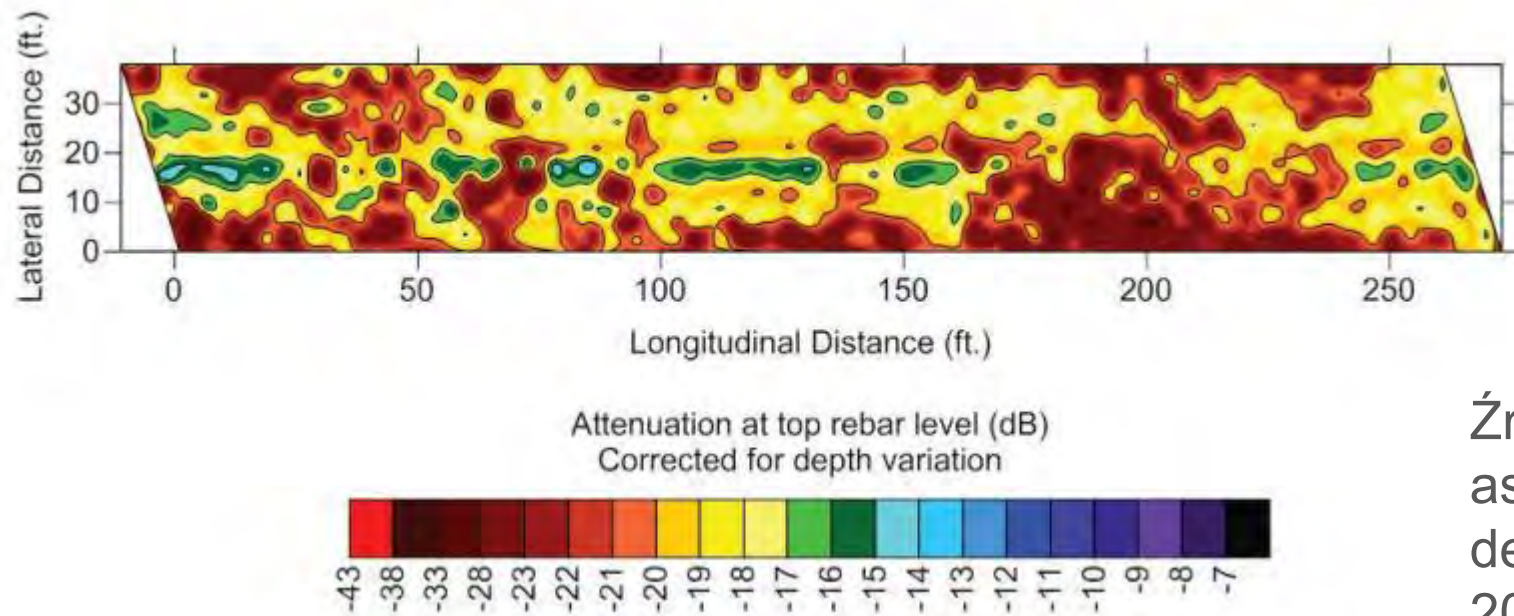


Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)



Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)

Wykorzystując zjawisko zmniejszenia amplitudy fali i prędkości jej propagacji w materiale zawilgoconym i zanieczyszczonym roztworami chlorków, zaproponowano metodykę oceny zawilgocenia i zawartości roztworów NaCl w betonie, bazując na wartości amplitudy fali odbitej od górnego zbrojenia płyty pomostowej. Wraz ze wzrostem stopnia zanieczyszczenia otuliny tłumienie fali wzrasta. Analizując mapę tłumienia fali odbitej od zbrojenia, można określić obszary zawilgocone i zanieczyszczone roztworami chlorków.

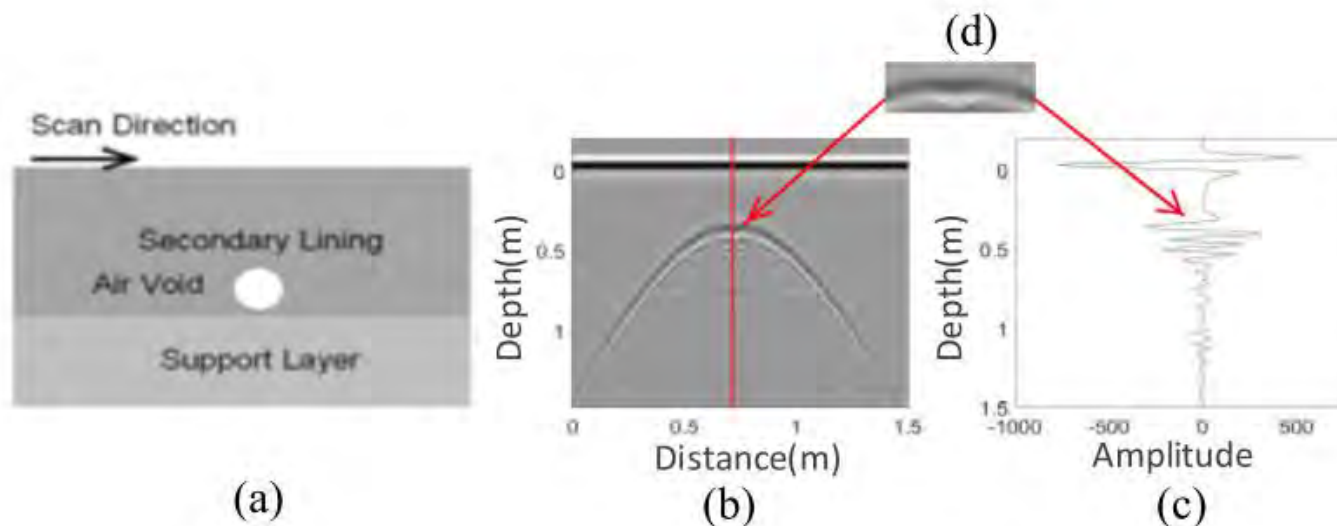


Źródło: Azari H. "Condition assessment of concrete bridge deck using GPR", LTBP News, 6, 2016, pp. 1-4

Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)

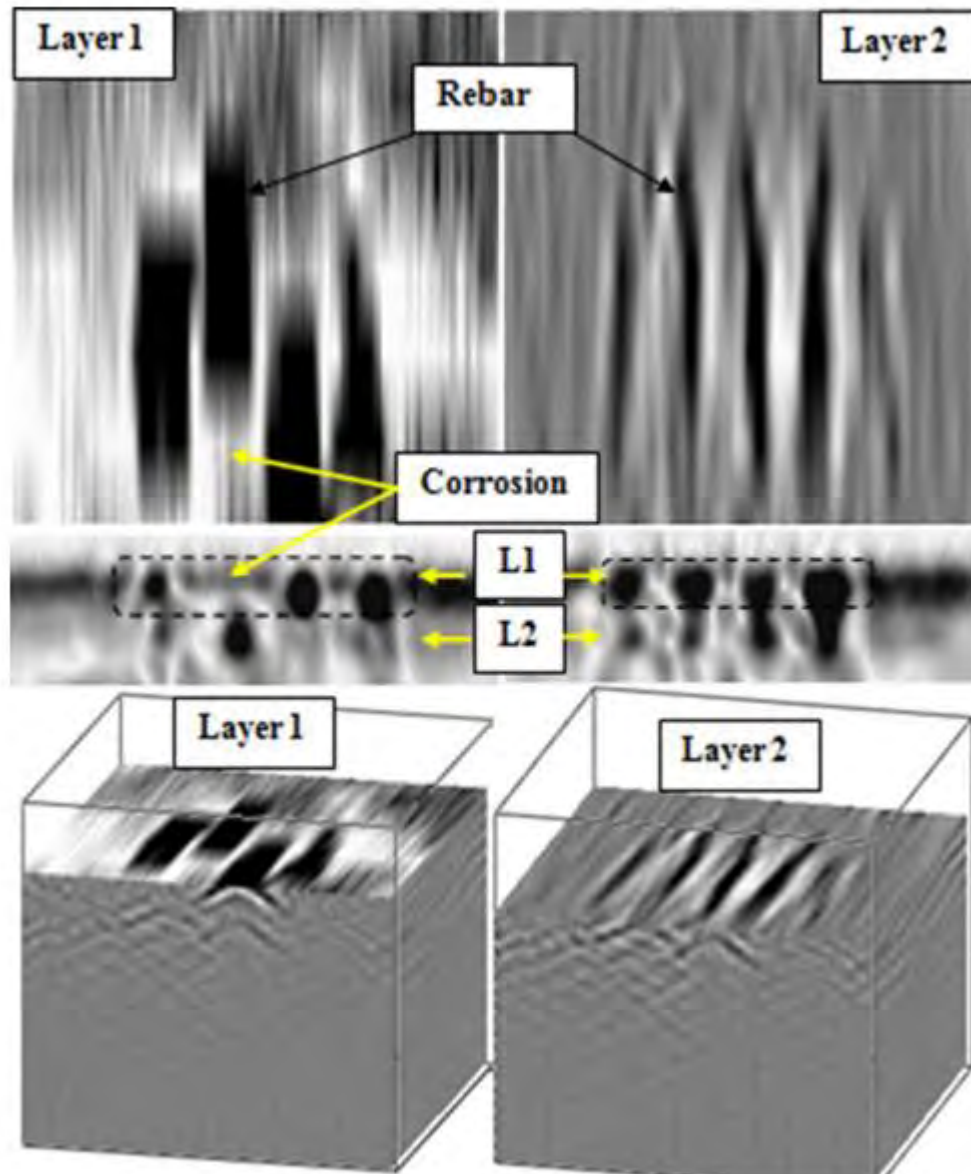
Choć badanie GPR nie pozwala na jednoznaczne wskazanie rodzaju materiału, to analiza charakteru fali odbitej umożliwia zawężenie potencjalnych materiałów tworzących wykryty obiekt do określonej grupy. Kluczowa jest w tym przypadku analiza polarności fali odbitej [Jiao i inni 2020].

W przypadku, w którym fala zostaje odbita, przechodząc z ośrodka o wyższej stałej dielektrycznej do niższej, polarność fali odbitej jest taka sama jak polarność fali emitowanej przez antenę nadawczą. W konstrukcjach betonowych taka sytuacja ma miejsce w przypadku fali migrującej z betonu do pustki wypełnionej powietrzem.



Źródło: Jiao L., Ye Q., Cao X., Huston D., Xia T. "Identifying concrete structure defects in GPR image", *Measurement*, 160, 2020, 107839

Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)



Analiza amplitud i czasu propagacji fali w betonie może również posłużyć do wyznaczenia jego względnej stałej dielektrycznej, co pośrednio umożliwia ocenę jakości betonu w konstrukcji. Wartość stałej dielektrycznej $\epsilon_r < 5$ wskazuje na zaawansowaną korozję i degradację struktury betonu. Z kolei wysokie wartości ϵ_r (powyżej 10) zazwyczaj wiążą się ze znacznym zawilgoceniem betonu.

Zmiana amplitudy fali odbitej może być również wynikiem korozji prętów zbrojeniowych.

Źródło: Al-Hameedawi A.N.M., Abdulkhudhur R., Abdulkareem A.O. „Ground penetration radar based digital image processing for reinforcement corrosion in concrete”, *Innovative Infrastructure Solutions*, 7, 2022, 241

Metoda georadarowa (*ang. Ground Penetrating Radar – GPR*)

Amerykańska norma ASTM D6087 definiuje kryterium wykrywania delaminacji płyty pomostowej na poziomie górnej siatki zbrojenia, bazując na wartościach amplitudy fali odbitej od prętów zbrojeniowych. Zgodnie z założeniami normy delaminacja występuje, jeżeli spełniony jest warunek:

$$V_b \leq 0,385V_{bs}$$

gdzie:

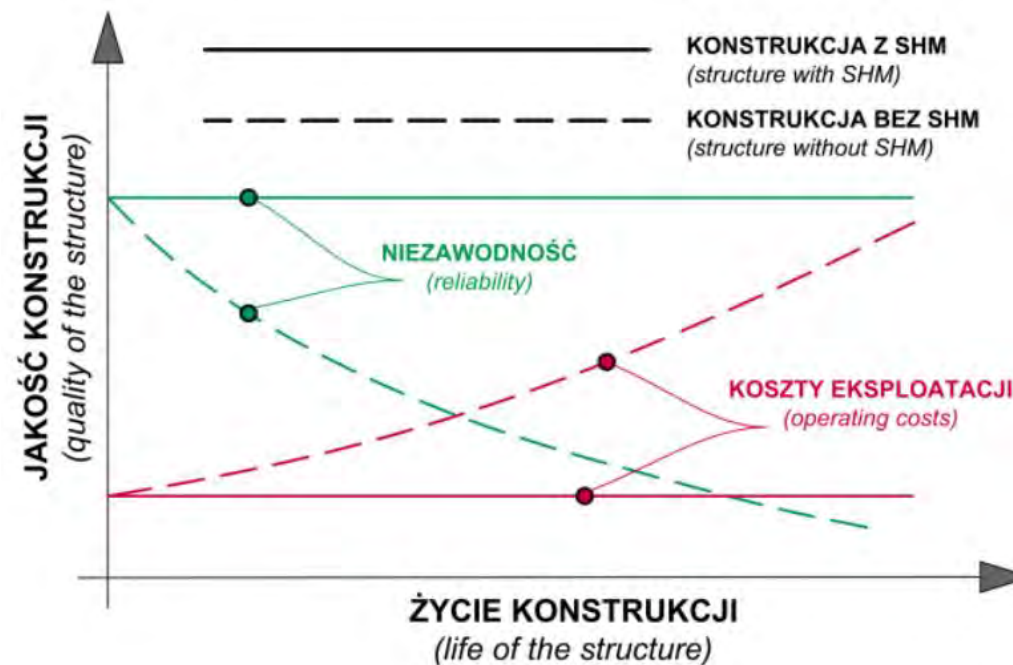
V_b – amplituda fali odbitej od analizowanego pręta,

V_{bs} – maksymalna amplituda spośród wszystkich skanów zarejestrowanych na pomoście.

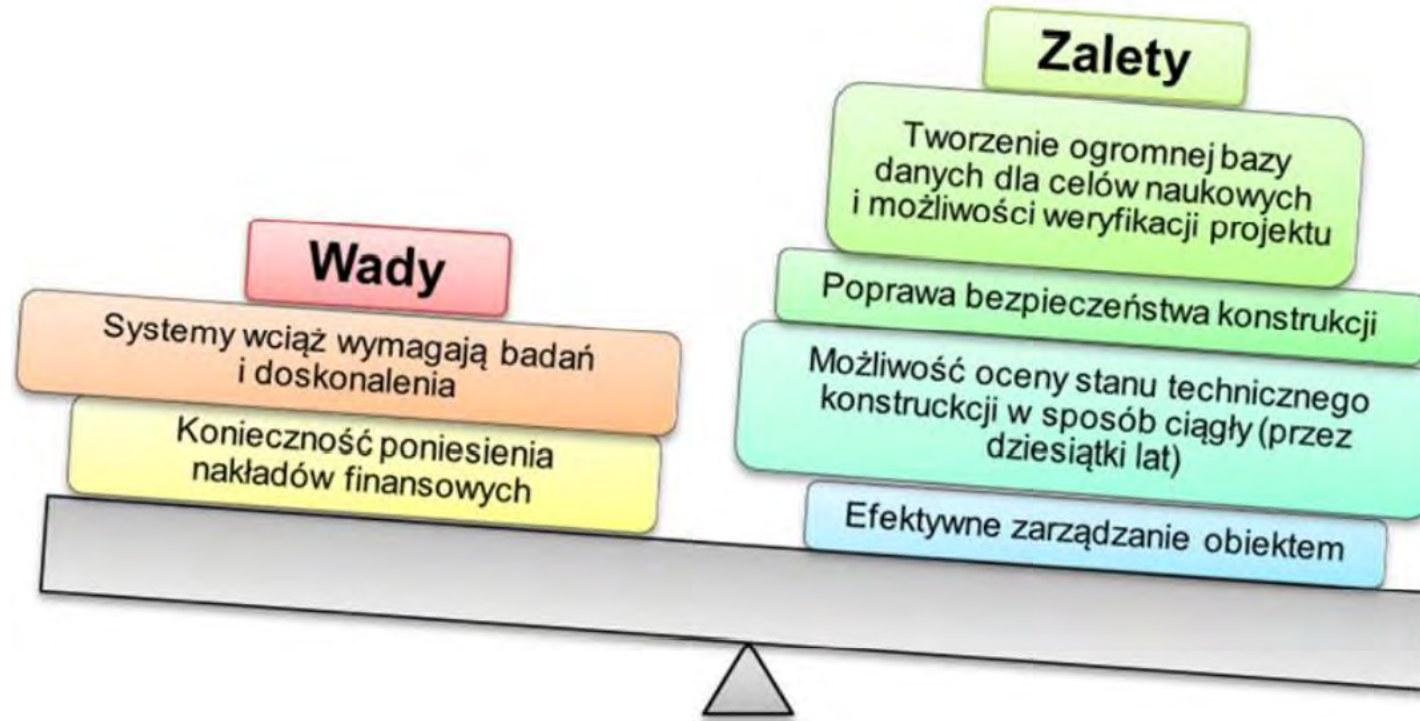
Analizując spełnienie powyższego kryterium na całej powierzchni pomostu, można sporządzić mapę zniszczenia/delaminacji górnej warstwy płyty.

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

właściwie zaprojektowany i wykonany system monitorowania może generować oszczędności, zarówno na etapie budowy, jak i eksploatacji obiektów budowlanych.



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Do budowy systemów monitorowania konstrukcji wykorzystuje się obecnie wszystkie dostępne na rynku techniki pomiarowe:

1. mechaniczne,
2. elektryczne,
3. hydrauliczne,
4. pneumatyczne,
5. optyczne.

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Wielkość mierzona	Rodzaj czujnika
1	2
przemieszczenia bezwzględne	tachimetry automatyczne, pomiary GPS, metody geodezyjne
przechyły i obroty	kątomierze, inklinometry, wahadła, systemy hydrauliczne, systemy laserowe
przemieszczenia względne	różnego typu czujniki przemieszczeń wykorzystujące metody hydrauliczne, optyczne itp.
ciśnienie wody	czujniki ciśnienia
napór gruntu	czujniki ciśnienia w gruncie
odkształcenia i naprężenia	czujniki odkształceń, siłomierze, „czujniki naprężeń”
temperatura wnętrza	termometry
profile przemieszczeń pionowych i poziomych gruntu, fundamentów, ścianek szczelinowych	inklinometry stałe pionowe i poziome, profilometry hydrauliczne, systemy światłowodowe
drżania (częstotliwość, amplituda)	akcelerometry, geofony, sejsmometry
siła	siłomierze, czujniki odkształceń
osiadania	hydrauliczne czujniki osiadań, czujniki światłowodowe, ekstensometry

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Pomiary wielkości związanych ze środowiskiem otaczającym analizowany obiekt

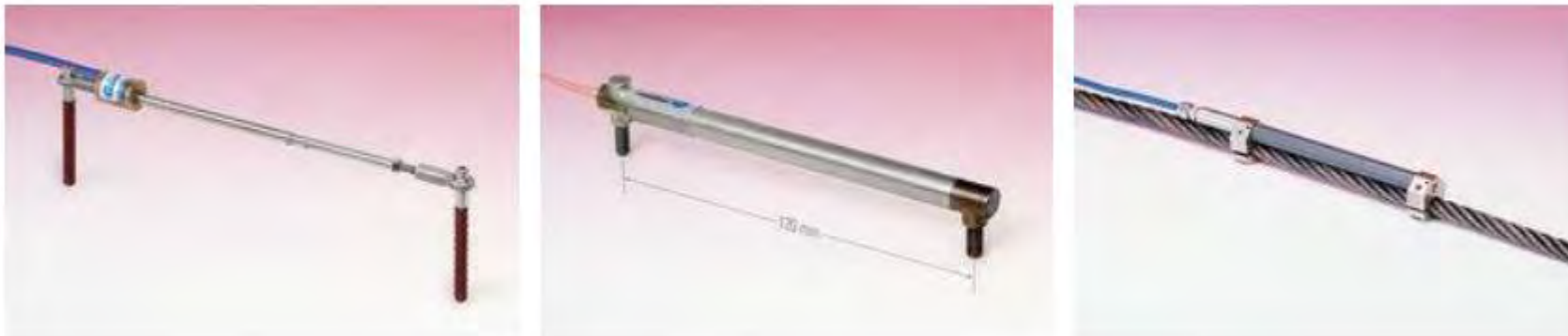
Wielkość mierzona	Rodzaj czujnika
1	2
opady deszczu, śniegu	deszczomierz, śniegomierz
przepływ wody	przepływomierz, czujnik poziomu cieczy
poziom wody	czujnik ciśnienia, czujnik poziomu cieczy
temperatura powietrza, wody	czujnik temperatury
prędkość i kierunek wiatru	anemometr, czujnik kierunku wiatru
ciśnienie atmosferyczne	barometr
wilgotność	higrometr
pomiar nasłonecznienia	pyranometr

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Przykładowe czujniki do pomiaru odkształceń stali, betonu i gruntu

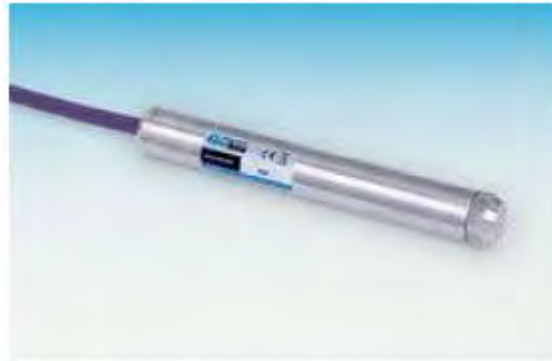


Przykładowe czujniki przemieszczeń do pomiaru rozwarcia dylatacji, rys i wydłużenia lin

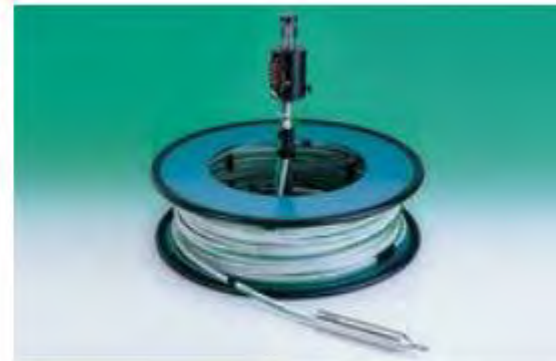


SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Przykładowe czujniki ciśnienia wody do pomiaru poziomu zwierciadła wody oraz ciśnienia porowego w gruncie



Przykładowe urządzenia hydrauliczne do pomiaru osiadań i przemieszczeń względnych



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Przykładowe czujniki do wyznaczania naprężeń w betonie i w górotworze

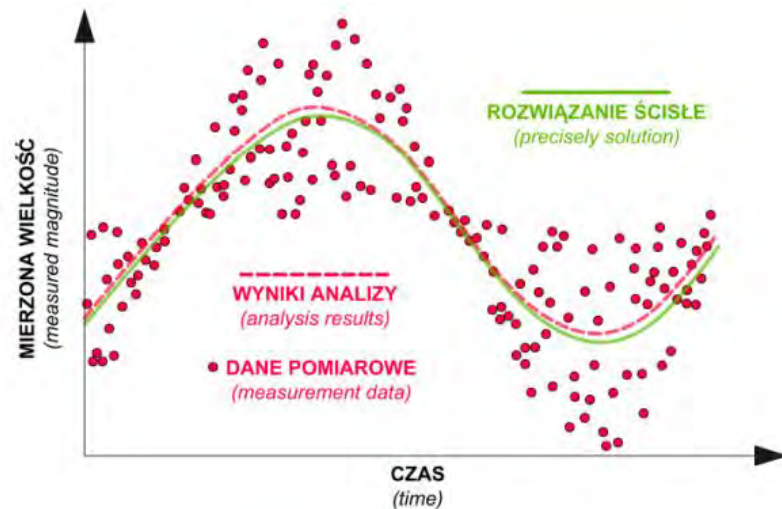
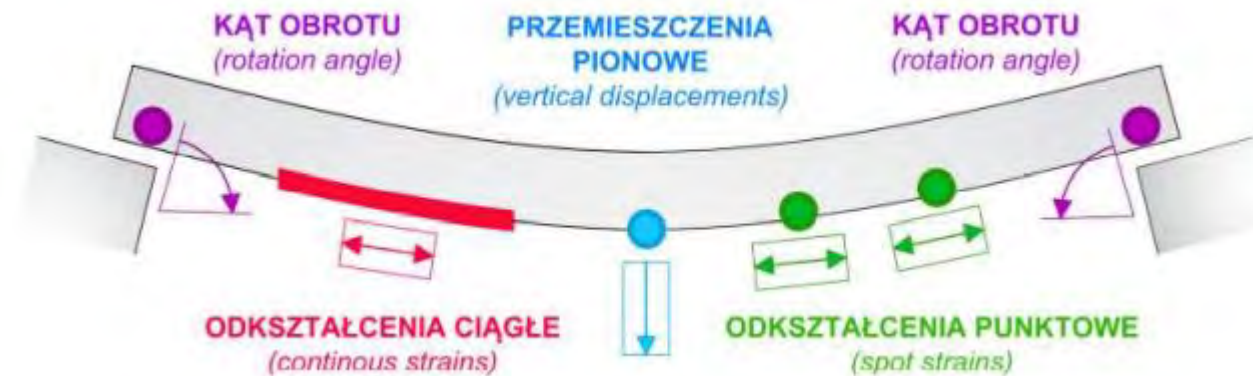


Zastosowanie konkretnej techniki pomiarowej, czyli ostatecznie danego rodzaju czujnika, zależy będzie od kilku czynników:

1. rodzaj mierzonej wielkości fizycznej,
2. częstotliwość pomiaru (pomiar statyczny i dynamiczny),
3. dokładność pomiaru,
4. zakres pomiaru (pomiar w punkcie oraz pomiar globalny konstrukcji),
5. środowisko instalacji,
6. czasookres pomiaru (pomiar chwilowy i długookresowy – systemy monitorowania).

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Pomiar deformacji belki



Głównym kryterium, które decyduje o wyborze techniki pomiarowej powinna być niezawodność. Nigdy natomiast nie powinna być nim tylko cena samych czujników.

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Przy wyborze techniki pomiarowej należy kierować się zatem całkowitym kosztem obsługi systemu pomiarowego w zakładanym okresie eksploatacji, na który składają się nakłady na:

- 1. zakup aparatury,**
- 2. instalację,**
- 3. kalibrację lub wymianę czujników po zadanym czasie eksploatacji,**
- 4. utrzymanie i prowadzenie pomiarów,**
- 5. zbieranie i przetwarzanie danych.**

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Strunowa technika pomiarowa

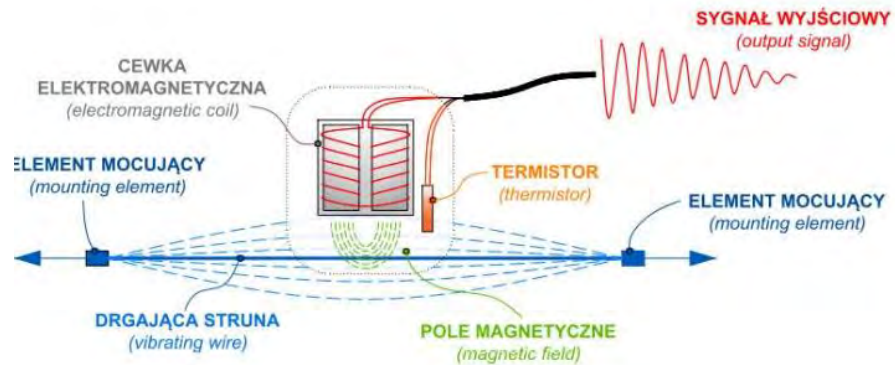
Czujniki strunowe ze względu na swoją prostą i niezawodną konstrukcję mechaniczną oraz możliwość przesyłania sygnału pomiarowego na znaczne odległości są jednymi z podstawowych urządzeń pomiarowych stosowanych do budowy długoterminowych systemów monitorowania konstrukcji

strunowe czujniki odkształceń - mierzone wielkości powodują bezpośrednie rozciąganie struny. Zakres pomiarowy czujnika ograniczony jest możliwością wydłużenia materiału i wynosi zazwyczaj 0,3%, czyli $0,003\Delta L/L$

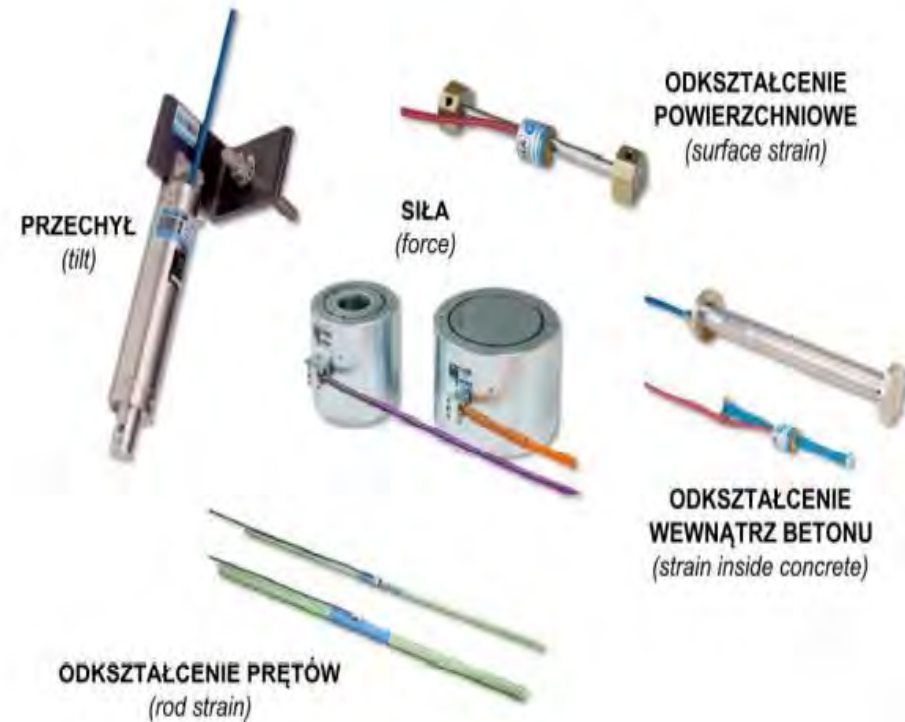
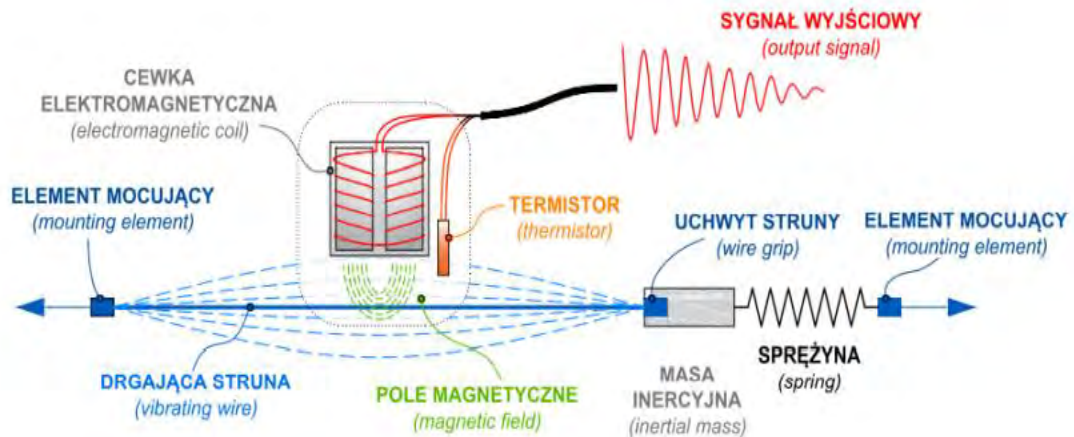
strunowe czujniki (przetworniki) przemieszczeń - struna umieszczona w czujniku rozciągana jest poprzez dodatkowy element np. sprężynę, która w tym przypadku jest przekładnią mechaniczną pozwalającą zwiększyć zakres pomiarowy czujnika. Standardowe zakresy pomiarowe strunowych czujników przemieszczeń wynoszą od 4 do 400 mm.

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Zasada działania czujnika strunowego odkształceń



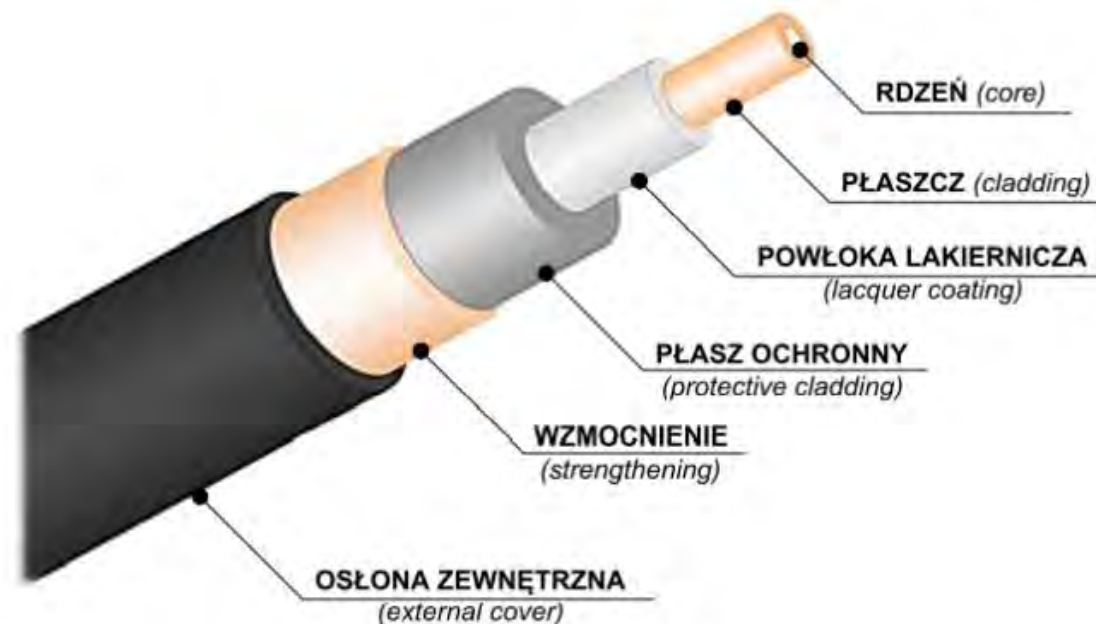
Zasada działania czujnika strunowego przemieszczeń



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Światłowodowa technika pomiarowa

Światłowód jest cylindrycznym kompozytem zbudowanym z materiałów o różnych współczynnikach załamania światła. Główne elementy odpowiedzialne za podstawową funkcję światłowodu to rdzeń światłowodu oraz płaszcz (ang. core i cladding). Podstawą działania światłowodu jest całkowite wewnętrzne odbicie promienia światła na styku rdzenia i płaszczu światłowodu.



SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Do podstawowych zalet ciągłych czujników światłowodowych zaliczyć należy wysoką dokładność, niewielkie rozmiary, niskie koszty przewodów światłowodowych, pozyskiwanie danych z całej długości czujnika oraz odporność na czynniki zewnętrzne, w tym temperaturę w zakresie -65 do nawet +1 200C, odporność na zmęczenie oraz brak podatności na zakłócenia elektromagnetyczne. Bardzo obiecujące są również zakresy pomiarowe czujników światłowodowych umożliwiające pomiar odkształceń materiałów budowlanych daleko poza ich zakresem sprężystej pracy, tj. $\pm 30\ 000\ \mu\epsilon$, czyli 30 promili (3%).

Wady to głównie straty bądź zakłócenie transmisji wywołane zgięciami oraz brak możliwości oceny przyczyny wzrostu odkształcenia



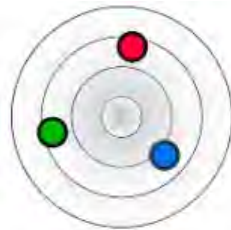
SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Błędy pomiarowe – przyczyny i środki zaradcze

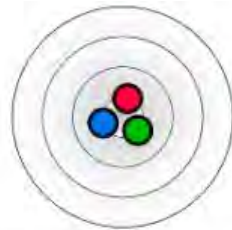
Błędy pomiarowe - Dokładność i precyzja pomiaru



**WYSOKA PRECYZJA
ALE NISKA DOKŁADNOŚĆ**
(precise but not accurate)



**NISKA PRECYZJA
ALE DOKŁADNA ŚREDNIA**
(not precise but average is accurate)



**WYSOKA PRECYZJA
I WYSOKA DOKŁADNOŚĆ**
(precise as well as accurate)

Rodzaj błędu	Przyczyny	Środki zaradcze
1	2	3
błędy grube	brak doświadczenia błędny odczyt błędny zapis błąd obliczeniowy	staranność trening zwiększenie odczytów podwójny obserwator weryfikacja względem wcześniejszych odczytów
błędy systematyczne	nieprawidłowa kalibracja utrata kalibracji histereza nieliniowość	prawidłowa kalibracja powtórna kalibracja użycie procedury zgodnych odczytów użycie wzorca
błędy środowiskowe	pogoda temperatura drżania korozja	rejestracja zmian środowiskowych i zastosowanie korekcy właściwy dobór konstrukcji czujnika
błędy obserwacyjne	różnice między obserwatorami	trening wykorzystanie systemu automatycznej akwizycji danych
błędy próbkowania	rozkład mierzonego parametru niewłaściwa technika próbkowania	instalacja dostatecznej liczby czujników w reprezentatywnych lokalizacjach
błędy przypadkowe	szumy tarcie efekty środowiskowe	prawidłowy dobór przyrządu chwilowa eliminacja szumu wielokrotne odczyty analiza statystyczna

SYSTEMY AUTOMATYCZNE I PÓŁAUTOMATYCZNE MONITOROWANIA DANYCH

Podejmując decyzje o wyborze wielkości monitorowanych oraz lokalizacji punktów pomiarowych należy wziąć pod uwagę:

1. typ konstrukcji przeznaczonej do monitorowania oraz sposób jej pracy,
2. przewidywany sposób i mechanizmy uszkodzenia,
3. wrażliwość poszczególnych elementów konstrukcji na zmianę oddziaływań,
4. istnienie tzw. elementów kluczowych, których uszkodzenie powoduje istotne zmiany w wielu innych elementach,
5. wpływ warunków środowiskowych na obiekt,
6. zakładany okres monitorowania i dostępny budżet.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

13:00	<i>Otwarcie prezentacji projektu RID2 DiagSC</i>	Janusz Bohatkiewicz
13:05	<i>Informacje ogólne o projekcie</i>	Piotr Olszek
13:15	<i>Procedura badań obiektów mostowych o konstrukcji sprężonej kablobetonowej oraz podwieszonych z użyciem metody próbnego obciążenia diagnostycznego wspartej przeglądem wizualnym i inspekcją geodezyjną</i>	Piotr Olszek
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 użytkowości 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 Olszek 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 Olszek Artur Sakowski
18:10	Dyskusja	