

# 1

## DRGANIOWE BADANIA PEKNIĘCIA BLOCZKA BETONOWEGO

### 1.1 WPROWADZENIE

Identyfikacja w konstrukcjach budowlanych staje się metodą oceny zmian stanu eksploatacyjnego konstrukcji, a metody analizy modalnej i związanych z nią estymatorów drganiowych dobrze odzwierciedlają destrukcję elementów i segmentów murowych. Poszukiwanie odwzorowań stanu materiału budowlanego z parametrami ich modeli drganiowych, w badaniach stanowiskowych i na rzeczywistych obiektach, pozwoliło dokonać oceny podobieństwa modeli, trafności decyzji i skuteczności stosowanej metody badań. Ocena stanu dynamicznego maszyn i konstrukcji budowlanych za pomocą miar propagacji energii drganiowej, wymaga skojarzenia cech struktury ocenianego obiektu ze zbiorem miar i ocen procesów wyjściowych.

Dedykowany algorytm postępowania badawczego podczas analizy rozplywu energii drganiowej w badaniach maszyn i konstrukcji budowlanych obejmuje [9]:

- formułowanie problemu badawczego;
- akwizycję i przetwarzanie miar energii drganiowej;
- optymalizację jakościową symptomów drganiowych;
- modele związania miar ze stanem degradacji;
- wnioskowanie.

W ogólności metodyka badania stanu degradacji maszyn i konstrukcji budowlanych zawiera szczegółowe procedury opracowania: systemu akwizycji danych, ich przetwarzania i wnioskowania statystycznego – powtarzalne w wielu różnych zagadnieniach badania sygnałów drganiowych.

Pomiary drgań wraz z ich interpretacją fizyczną (zaproponowany model przejścia sygnału drganiowego przez materiał) stanowią bazę pozyskiwania informacji w badaniu destrukcji wybranych elementów murowych. Badania podstawowe w tej pracy prowadzone dla potwierdzenia założeń i warunków specyficznych badań destrukcji weryfikują słuszność przyjętych modeli, a w oparciu o rejestrowane sygnały drganiowe charakteryzują właściwości dynamiczne badanych materiałów. Elementy teorii modelowania i badań symulacyjnych (niezbędne wręcz w rozpoznaniu właściwości badanych elementów) pozwalają

stwierdzić, czy dowolny obiekt badań (materiał budowlany) w największym uproszczeniu modelowany za pomocą parametrów  $m$ ,  $k$ ,  $c$  – układem o jednym stopniu swobody – można traktować jako sztywny układ liniowy [7].

Rozważania tej pracy wskazują, że własności tak zamodelowanych elementów obiektów można analizować poprzez ich opis równaniami różniczkowymi (rozwiązując zagadnienie własne) lub te same informacje można uzyskać dokonując pomiaru drgań ( $a$ ,  $v$ ,  $x$  – parametry procesu drganiowego) i na ich podstawie przeprowadzając procedurę wyznaczania drganiowych miar wzajemnych [1, 9, 13].

Szczegółowo omówione środowisko badania rozptywu energii drganiowej i metod analizy modalnej wskazuje na rozwój oprogramowania i stanowisk pomiarowych do realizacji praktycznie trudnych technik pomiarowych w bezdemontażowej ocenie stanu destrukcji całych konstrukcji budowlanych lub tylko w badaniach elementów tych konstrukcji, np. elementów lub segmentów murowych.

Omówione definicyjnie i od strony praktycznych zastosowań miary procesu drganiowego (z uwagi na proces uśredniania podczas ich wyznaczania nazywane estymatorami) wskazują na duży zakres czynności, niezbędnych podczas akwizycji i przetwarzania informacji, czynności programowanych w czasie komputerowego opracowywania i prezentacji danych pomiarowych.

## 1.2 DRGANIA W BADANIACH DEGRADACJI BŁOCZKA BETONOWEGO

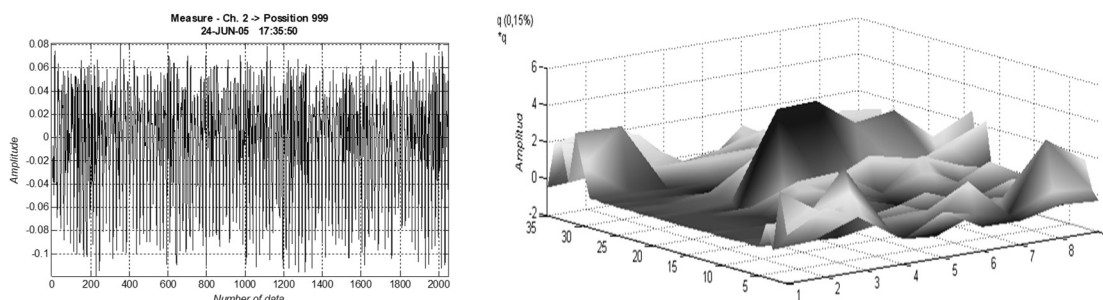
Przy badaniach rzeczywistych układów (konstrukcje, budowle, maszyny, urządzenia) podstawowym problemem jest określenie wartości energii wibroakustycznej magazynowanej, rozpraszanej i przenoszonej przez poszczególne elementy tych układów. Znajomość tych wielkości służy ocenie wyężenia materiału, zmęczenia, badań diagnostycznych oraz predykcji hałasów, a także ułatwia projektowanie elementów układu (np. wibroizolacji).

Rozwój metod pomiarowych, szczególnie pomiarów wielkości energetycznych, w istotny sposób rozszerzyły możliwości badań promieniowania dźwięku przez struktury oraz pozwoliło na obliczenie mocy akustycznej promieniowanej do pola dalekiego na podstawie pomiarów w polu bliskim. Rozwinęły się metody badania ilościowej i jakościowej propagacji energii wibroakustycznej w przestrzeni ze złożonymi obszarami granicznymi. Związane to było z oceną ilościową energii wibroakustycznej gromadzonej w elementach konstrukcji oraz oceny energii wypromieniowanej przez te elementy, a także energii przenoszonej różnymi drogami.

Na rys. 1.1 przedstawiono podstawowe (przykładowe) przebiegi zmian mierzonej amplitudy w czasie dla kolejnych pomiarów, które są podstawą dalszych opracowań programowych dla potrzeb wyróżnienia informacji o zmianach stanów.

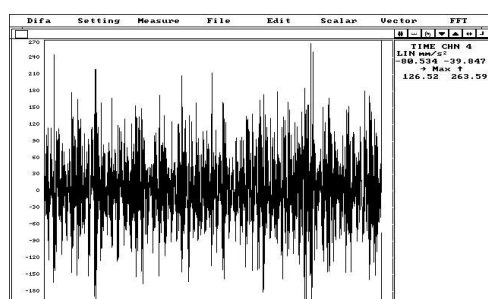
Podstawowy wynik pomiaru przebiegu czasowego i jego analiza widmowa pokazane zostały na rys. 1.2. Są to główne rodzaje przekształceń sygnału stosowane

w dalszej części tej pracy, gdyż wszystkie inne charakterystyki sygnału drganiowego opierają się na powyższych przebiegach.

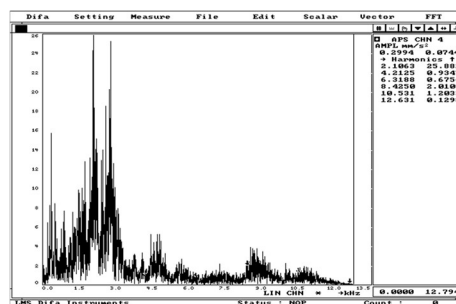


Rys. 1.1 Pomiary zmian amplitudy w czasie dla kolejnych pomiarów drgań

a)



b)



Rys. 1.2 Wynik pomiaru przebiegu:

a) przebieg czasowy, b) widmo sygnału drganiowego

Procesy drganiowe to w większości procesy o charakterze przypadkowym, dlatego dalej są przetwarzane w procesorze według różnych algorytmów dla otrzymania różnego typu estymatorów sygnałów. Estymatory te w odróżnieniu od sygnałów mają już charakter zdeterminowany i w zależności od ich rodzaju odzwierciedlają różne cechy i własności informacyjne sygnałów.

Estymatory, jako miary liczbowe procesu drganiowego, są definiowane w trzech kategoriach opisu sygnału: czasu, częstotliwości i amplitud [1, 8, 13, 17, 18] i jako wielkości zdeterminowane oddające stan ocenianego materiału mogą być porównywane ze wzorcami stanu badanych materiałów.

W dostępnej literaturze [1, 7, 8, 9, 13, 18] przedstawiono definicje i właściwości różnych estymatorów drganiowych, wyróżniając estymatory własne – dotyczące jednego sygnału i estymatory wzajemne – dotyczące dwóch sygnałów.

Nowe narzędzia w tym obszarze badań dotyczą możliwości wykorzystania metodyki badania rozptyłu energii drganiowej, a także nowoczesnego pozyskiwania i przetwarzania miar drganiowych – do oceny jakości elementów murowych, które stanowią podstawę rozważań w tej pracy. W praktycznych zastosowaniach pozwalają one na lepsze zrozumienie zachowania się złożonych konstrukcji, optymalizację w procesie ich projektowania i ocenę stanów niebezpiecznych. W tym ostatnim obszarze lokują się treści podejmowanej tematyki, poszukujące miar oceny stanu destrukcji elementów murowych nowych,

wieloletnich i często o nieznanym stanie destrukcji i współczynniku bezpieczeństwa muru wielu budowli.

Metodyka badania rozplywu energii drganiowej zastosowana w rozważaniach tej pracy została zaadoptowana z obszaru dynamiki konstrukcji mechanicznych. Jej przydatność jest większa dla jednorodnych struktur konstrukcji stalowych niż dla materiałów budowlanych takich jak elementy murowe, gdzie każdy wynik badania jest związany ze strukturą, kształtem i stanem fizycznym próbki. Jest więc obawa, że niejednorodność i gruboziarnista struktura betonu i ceramiki mogą być przeszkodą co do skuteczności bardzo precyzyjnych technik pomiarowych. Zadaniem tej pracy jest więc ocena przydatności miar rozplywu energii drganiowej w diagnozowaniu jednorodnych elementów murowych (cegły, bloczków, pustaków) oraz wypracowanie zaleceń do badania bardziej niejednorodnych fragmentów murowych.

Zadania tej pracy obejmują szczegółowo zagadnienia: modelowania i opisu procesu destrukcji elementów murowych, wykorzystania drgań w opisie zmian ich stanu dynamicznego; realizacji badań niszczących elementów i segmentów murowych, zastosowania systemu oprogramowania do pozyskiwania i przetwarzania danych pomiarowych oraz wnioskowanie statystyczne (programy *SYMPTOMS GENERATE*, *VIOMA*, *OPTIMUM*, *SVD*). Sposób rozwiązania zadania głównego pracy obejmuje metody, środki i procedury postępowania mające na celu: archiwizację wyników pomiarów programowanych badań destrukcji materiałów budowlanych, ich przetwarzanie mające na celu wybór najlepszych miar diagnostycznych oraz wyznaczenie związków pomiędzy stanem obciążenia (destrukcji) badanego materiału a wartościami miar.

Uzyskane wyniki zrealizowanej pracy wskazują na miary drganiowe charakteryzujące destrukcję badanych elementów murowych, wyznaczonych metodą eksperymentu stanowiskowego, opartego na pomiarach i przetwarzaniu sygnału drganiowego. Oceniają także modele destrukcji bloczków betonowych oraz tworzą podstawy budowy prostych procedur diagnostycznych dla potrzeb systemu kontroli wyrobów budowlanych wprowadzanych do obrotu oraz dla oceny klasy bezpieczeństwa wykonywanych ścian murowych.

Do miar tych należą [5, 8, 12]:

- transmitancja: dynamikę układu w dziedzinie częstotliwości można opisać za pomocą równania:

$$X(j\omega) = H(j\omega)F(j\omega) \quad (1.1)$$

gdzie:

$X(j\omega)$  jest wektorem widm odpowiedzi układu,

$F(j\omega)$  jest wektorem widm sił wymuszających,

$H(j\omega)$  jest macierzą charakterystyk częstotliwościowych;

- FRF(*widmowa funkcja przejścia*): jest to funkcja częstotliwości opisująca relacje między siłą wymuszenia  $F(t)$  a przyspieszeniem drgań  $a(t)$  jako sygnałem odpowiedzi.

Widmową funkcję przejścia (*FRF – Frequency Response Function*) można opisać jako iloraz wartości transformaty Fouriera siły wymuszającej drgania  $F(\omega)$  przez transformatę Fouriera sygnału odpowiedzi  $A(\omega)$ :

$$FRF = \frac{\sum F(\omega)}{\sum A(\omega)} \quad (1.2)$$

Funkcja *FRF* jest zespoloną funkcją częstości, której moduł przedstawia charakterystykę amplitudowo-częstościową, natomiast argument jest kątem przesunięcia fazowego między siłą wymuszającą a odpowiedzią;

- funkcja koherencji: jest miarą spójności dwu procesów drganiowych  $x(t)$  i  $y(t)$  i jest zdefiniowana następująco [1,7]:

$$\gamma_{xy}^2(f) \equiv \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (1.3)$$

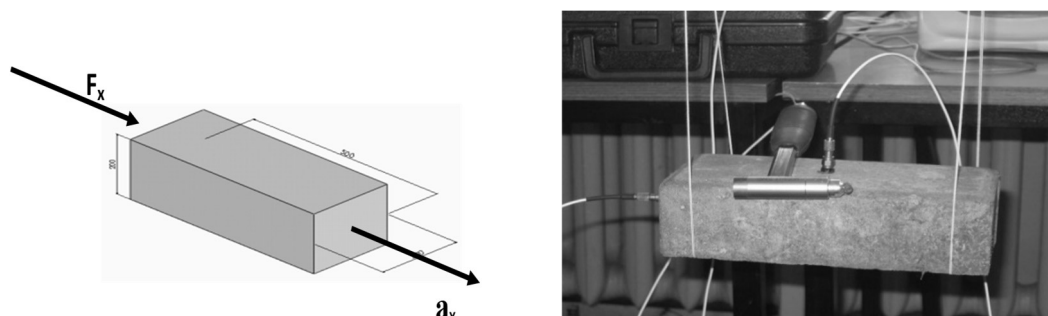
Niezależnie od charakteru transmitancji dróg przejścia funkcja koherencji przyjmuje zawsze wartość 1, jeżeli tylko sygnały  $x(t)$  i  $y(t)$  pochodzą z tego samego źródła. Dla większej liczby źródeł niż jedno funkcja koherencji będąca nieujemną jest zawsze mniejsza od jedności (z przedziału 0 do 1). Funkcja koherencji jako miara spójności dwu sygnałów ma dobre własności diagnostyczne, gdyż pojawienie się sygnału nowego uszkodzenia narusza spójność poprzednich, przez co funkcja koherencji maleje.

Nowe narzędzia badań wypracowane w tej pracy dotyczą głównie oceny możliwości zastosowań zaproponowanych miar drganiowych, nowoczesnego przetwarzania drgań i statystycznego wnioskowania przyczynowo-skutkowego w badaniu wybranych materiałów budowlanych.

### 1.3 METODYKA BADAŃ

#### 1.3.1 Obiekt badań

Badania rozpoznawcze jak i podstawowe dla wybranych losowo 6 bloczków betonowych przeprowadzono na stanowiskach laboratoryjnych, celowo do tego przystosowanych i odpowiednio wyposażonych. Zapewnienie ograniczonej liczby stopni swobody zapewniono poprzez zawieszenie badanych bloczków na cienkiej żyłce. Czujniki odbioru sygnałów mocowano na wosk, a kierunki wymuszeń przyjęto jak na rys. 1.3.



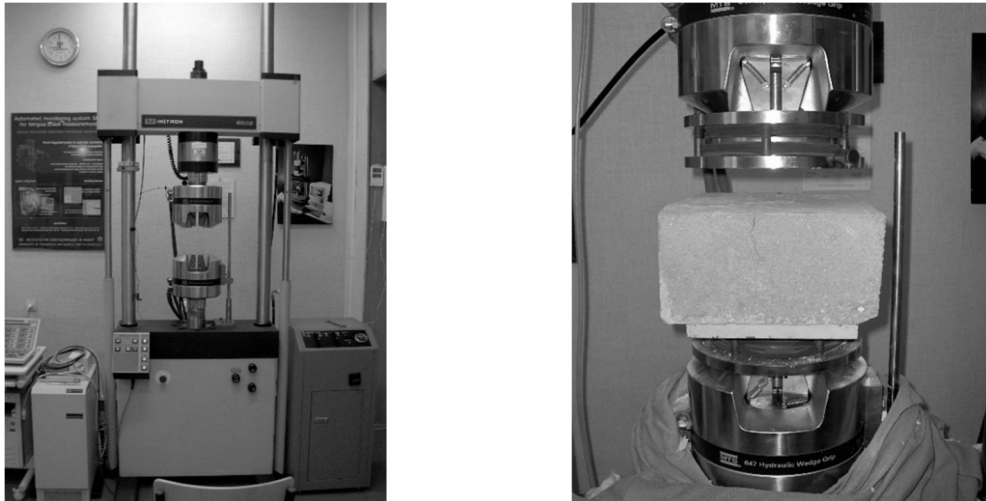
Rys. 1.3 Mocowanie badanych bloczków i czujników piezoelektrycznych

Do pomiarów przebiegów czasowych wymuszenia i odpowiedzi układu jak i określenia funkcji  $H(f)$ , FRF i koherencji wykorzystano najnowocześniejszą aparaturę pomiarową firmy LMS pod nazwa LMS TEST.XPRESS. Oprogramowanie to umożliwia przeprowadzić analizę rozptyłu energii drganiowej w elementach i innych dowolnych konstrukcjach budowlanych.

Oprogramowanie LMS TestXpress 4A pozwala na rejestracje sygnału wymuszenia i odpowiedzi w postaci przebiegów czasowych oraz jest zdolne do wygenerowania funkcji wzajemnych i ich wartości liczbowych (pole pod krzywą) zastosowanych w badaniach tej pracy.

### 1.3.2 Stanowisko badawcze

Interesującym przypadkiem prowadzonych badań tej pracy były wyniki uzyskane dla pękniętego bloczka betonowego, z wyraźną szczeliną w elemencie badanym, co pokazano na rys. 1.4.

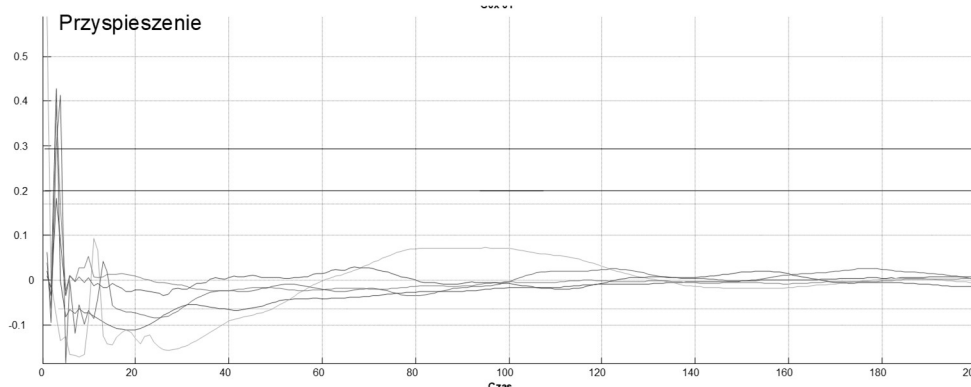


Rys. 1.4 Prasa hydrauliczna INSTRON i badania zniszczeniowe

W badaniach na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 8502 ustalono zakres granicznych obciążeń dla badanych bloczków betonowych do zniszczenia, co pozwoliło ustalić obciążenia testowe dla badań szczegółowych. Badania niszczące wybranych przeprowadzono na 6 bloczkach betonowych i po uśrednieniu wyników zaproponowano wartości obciążeń do badań podstawowych.

### 1.3.3 Wyniki badań

Przebiegi czasowe siły wymuszenia (jej stałość zapewnia system APB-200) i odpowiadające tym wymuszeniom przebiegi przyspieszenia drgań dla grupy badanych 6 bloczków betonowych pokazano przykładowo w układzie współrzędnych: przyspieszenie, czas na rys. 1.5 dla elementów bez obciążenia destrukcyjnego. Podobne analizy zarejestrowano dla potrzeb dalszego przetwarzania dla siły wymuszającej drgania, a także dla wyróżnionych na maszynie Instron obciążeń.



Rys. 1.5 Amplitudy przyspieszenia drgań badanego bloczka dla różnych obciążeń  $F0x$

Wartości liczbowe miar sygnałów drganiowych dla badanego bloczka betonowego, przy różnych zalecanych w badaniach tej pracy poziomach obciążeń siłowych przedstawiono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1 Dane pomiarowe wstępnie wybranych miar

Wartość siły	FRFr	FRFu	H(f)r	H(f)u	coher	delta	Urms	w1	w2
0	1824,87	40,32	20,8	1,57	179,48	0,916	0,011	4	40
50	1115,24	-1502,55	8,56	22,56	107,01	0,992	0,011	2	40
100	326,82	-340,92	-3,01	24,57	92,48	0,969	0,011	2	30
150	-1084,96	-397,68	-14,48	21,46	88,45	0,959	0,011	2	50

Na kolejnych rysunkach przedstawione zostały przebiegi siły wymuszenia młotkiem modalnym i odpowiadające im amplitudy przyspieszeń drgań dla badanych elementów murowych przy obciążeniach materiałów badanych odpowiednio:  $F1$ ,  $F2$ ,  $F3$ , określonych w tabeli 1.1. Warto zauważyć, że badane bloczki betonowe obciążane były w czasie badań siłami: 50, 100, 150kN.

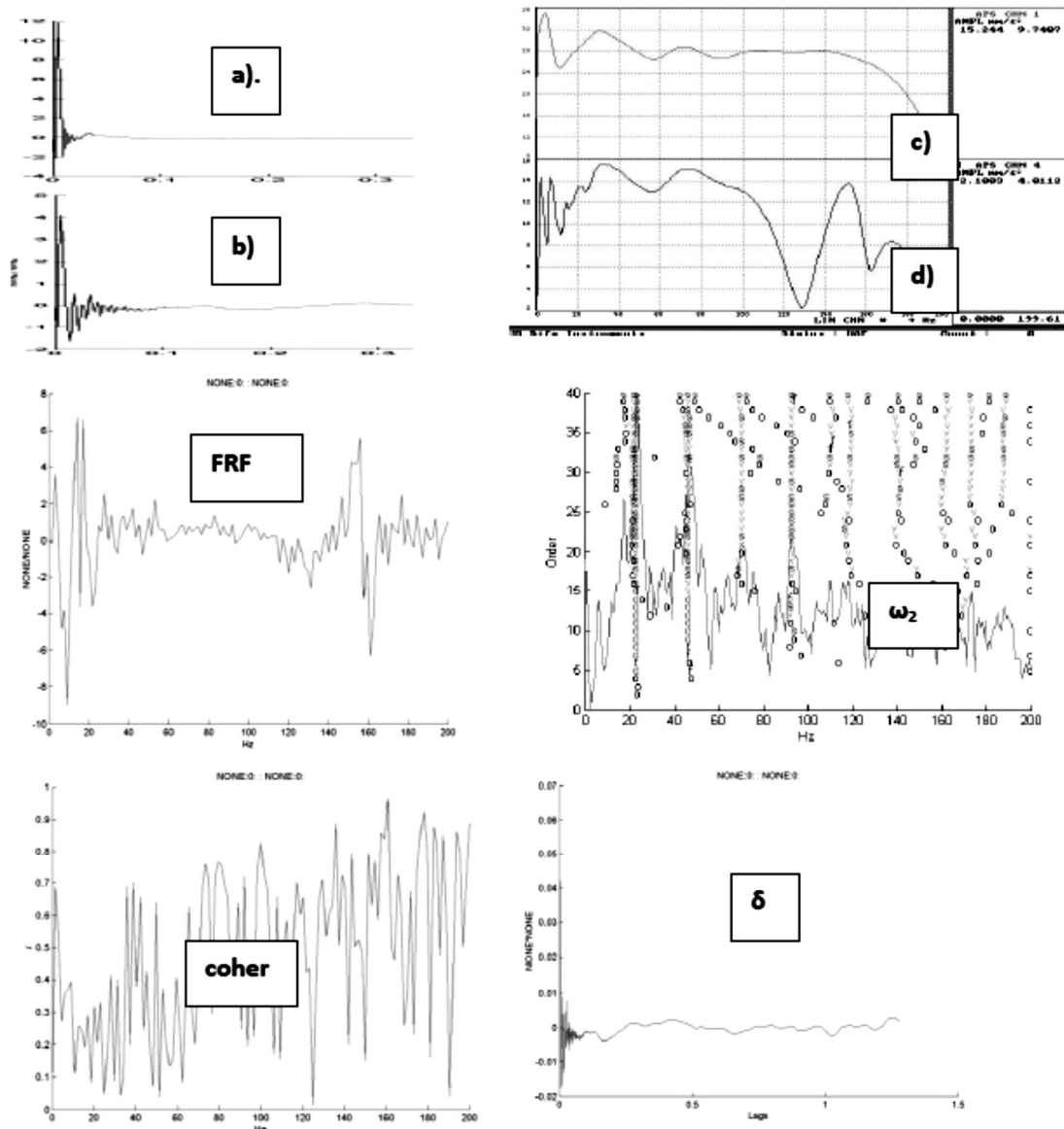
Uwzględniając wszystkie prowadzone analizy wrażliwości, przy pomocy różnych metod statystycznych zastosowanych w tej pracy można dalej zaproponować wstępnie, jako główne następujące miary stanu destrukcji bloczka betonowego:

$$FRF_r, FRF_u, H(f)_r, H(f)_u, U_{RMS}, coher, \omega_2.$$

W wyniku przeprowadzonych badań dla wskazanych obciążeń wzdłuż osi  $Z$ , otrzymano wyniki przedstawione na rys. 1.6.

Wszystkie przebiegi funkcyjne zostały dalej opracowane (dyskretyzowane) liczbowo i wykorzystane podczas wnioskowania jakościowego przy wykorzystaniu zaproponowanych wcześniej metod statystycznych [7, 9, 10].

Zróznicowanie drganiowych miar stanu dla zdarnego i uszkodzonego bloczka w badaniach tej pracy przedstawiono na rysunku zbiorczym w postaci diagramów stabilizacyjnych i wartości pól pod krzywymi funkcji FRF i Coherencji



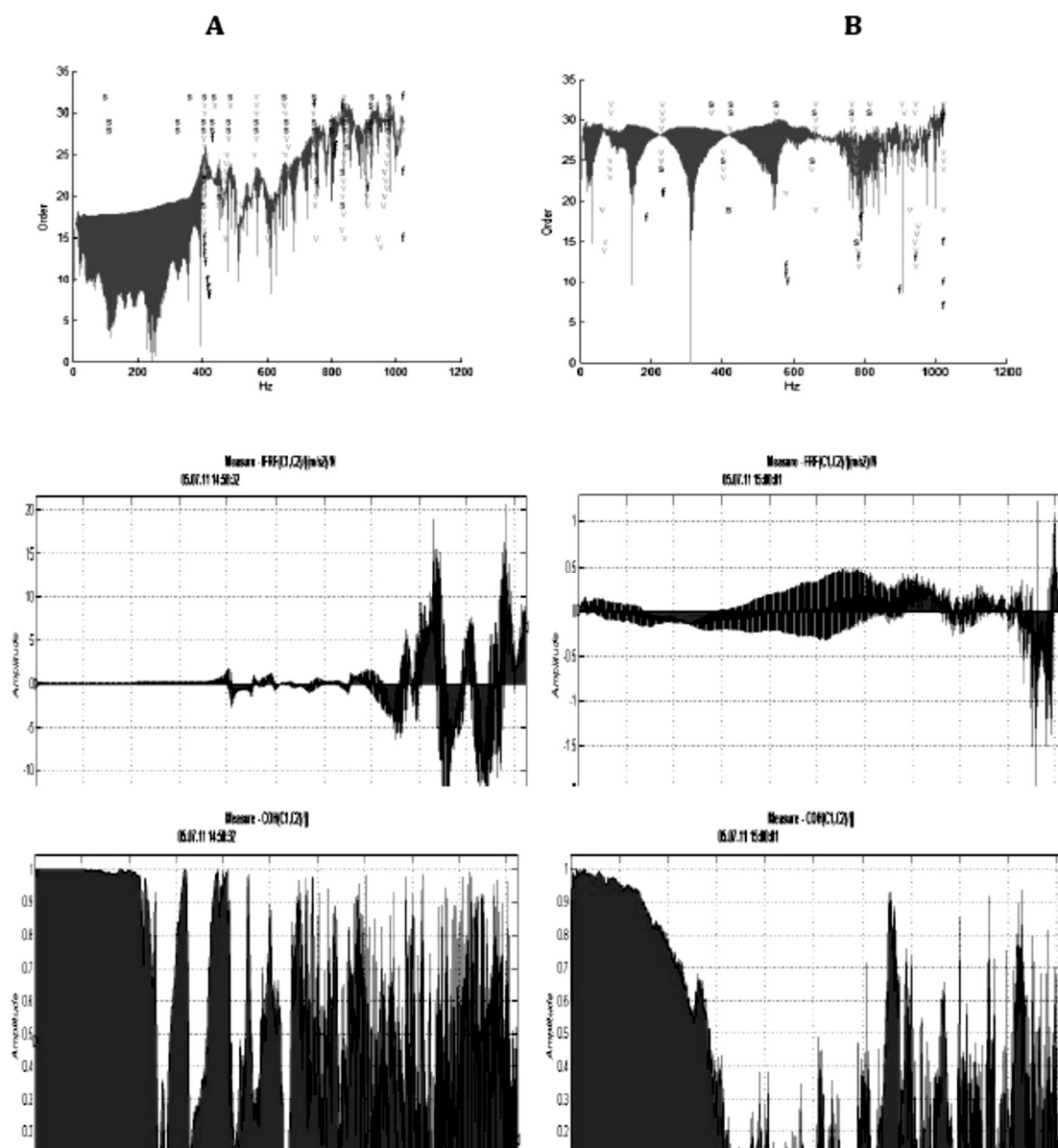
Rys. 1.6 Wyniki badań stanowiskowych w osi X (bez obciążenia) – bloczek pęknięty

Wykorzystanie wszystkich danych, zbieranych najczęściej w nadmiarze w eksperymencie i uzyskiwanych podczas przetwarzania, do podjęcia decyzji o stanie destrukcji elementu murowego często nie jest ani możliwe, ani konieczne. Naturalne jest, więc dążenie do redukcji danych początkowych, obejmujących zbiory danych badanych obiektów oraz opisujących je informacji, które winny zostać zastąpione przez stosunkowo niewielkie zbiory danych odpowiednio zagregowanych i uporządkowanych. Najogólniej taka redukcja danych może polegać na:

- selekcji informacji, czyli redukcji liczby miar opisujących badane materiały;
- zastąpieniu ciągłego zakresu zmienności miary zmianami dyskretnymi, a niekiedy binarnymi;
- zmniejszeniu liczby badanych materiałów reprezentujących poszczególne klasy stanu.



- Dla problemu selekcji informacji duże znaczenie mają metody redukcji, które:
- minimalizują ryzyko lub średnie prawdopodobieństwo błędu klasyfikacji obiektu,
  - maksymalizują przyjętą funkcję celu,
  - maksymalizują (z ograniczeniem) wskaźniki informacyjności cech.



Rys. 1.7 Diagramy stabilizacyjny, funkcje FRF i Coherencji dla zdrowego (A) i uszkodzonego bloczka betonowego (B)

Optymalne metody redukcji (a) minimalizują średnie ryzyko lub średnie prawdopodobieństwo błędu klasyfikacji stanu obiektu. Praktycznie, znaczenie tych metod może być znacznie ograniczone wskutek nieznaności rozkładów prawdopodobieństwa. W takiej sytuacji muszą być znane a priori, co najmniej przykłady obserwacji z poszczególnych klas. Rodzaje redukcji danych b) oraz c) wchodzi w zakres metod stosowanych w statystyce matematycznej i metod

próbki i kwantyzacji sygnałów mających na celu przystosowanie postaci sygnału do wymagań związanych z przetwarzaniem informacji.

W zakresie selekcji informacji wykorzystano zalecane w wielu innych badaniach autora procedury OPTIMUM, SVD, SIBI [13, 17, 18]. Wykorzystanie w przetwarzaniu miar funkcyjnych zastąpiono miarami liczbowymi proponując określenie wartości przebiegu funkcyjnego wartością liczbową pola pod przebiegiem krzywej, co przedstawiono na rys. 1.7.

Realizacja algorytmów wskazanych metod zobrazowana na rys. 1.8, pozwala na wyróżnienie istotnych informacyjnie miar drganiowych wykorzystanych do budowy modelu przyczynowo-skutkowego, stanowiącego podstawę proponowanej procedury ocenowej dla degradacji badanych bloków betonowych.

Kolejne kroki postępowania obliczeniowego w metodzie OPTIMUM przedstawiono w tabeli 1.2 [9, 13, 17].

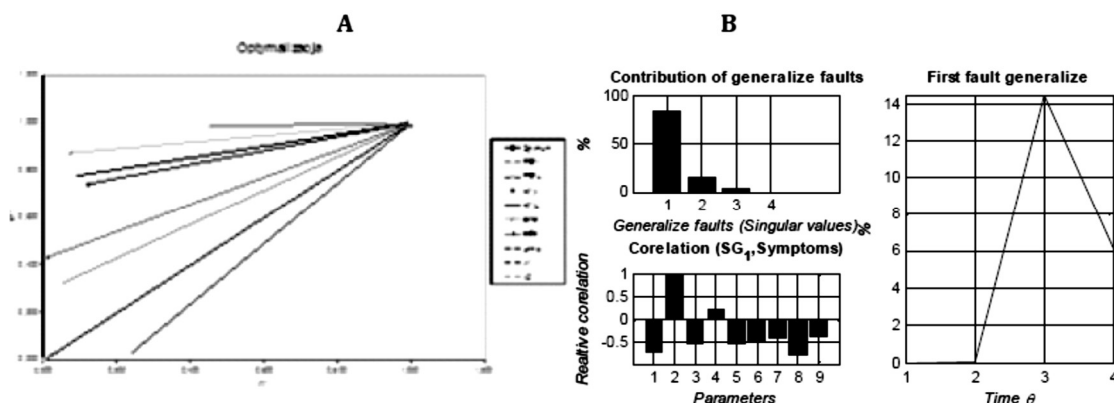
**Tabela 1.2 Miary drganiowe przetwarzane w procedurze OPTIMUM**

	FRFr	FRFu	H(f)r	H(f)u	coher	delta	Urms	w1	w2
<b>f1</b>	2,287	1,207	5,108	0,611	0,364	0,033	0,000	0,400	0,204
<b>max (f1)</b>	5,108								
<b>f1*</b>	0,448	0,236	1,000	0,120	0,071	0,006	0,000	0,078	0,040
<b>f1**</b>	1,000								
<b>f2</b>	0,985	0,030	1,000	0,743	0,874	0,430	0,001	0,775	0,316
<b>max (f2)</b>	1,000								
<b>f2*</b>	0,985	0,030	1,000	0,743	0,874	0,430	0,001	0,775	0,316
<b>f2**</b>	1,000								
<b>Li</b>	0,553	1,235	0,001	0,917	0,937	1,145	1,414	0,949	1,179
<b>1/Li</b>	1,810	0,810	1000	1,090	1,067	0,873	0,707	1,054	0,848
<b>wi</b>	0,002	0,001	0,992	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Źródło: [9]

Algorytm przetwarzania miar w interpretacji graficznej dla metody OPTIMUM przedstawiono na rys. 1.8A, a wynik opracowania statystycznego w procedurze SVD na rys. 1.8B.

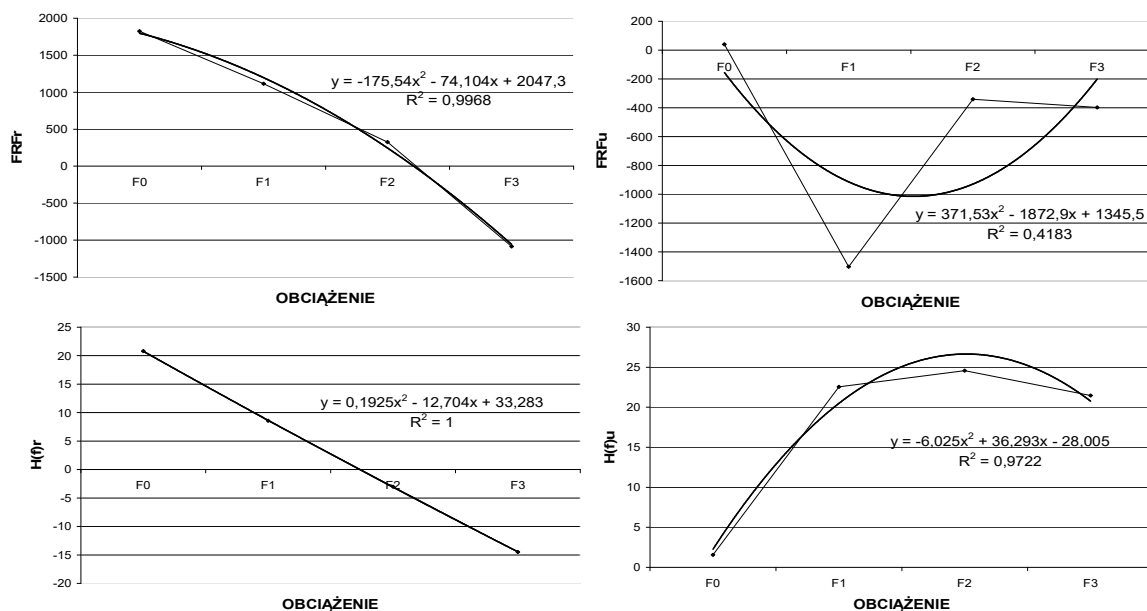
Dalsza procedura postępowania zgodna z proponowaną w pracach autora metodologią badań rozplywu energii drganiowej miała na celu wyznaczenie dobrych miar stanu destrukcji badanych bloków betonowych oraz ustalenie relacji przyczynowo-skutkowych pomiędzy stanem destrukcji bloków a jego miarami. Uzyskano to poprzez badanie relacji funkcyjnej oddzielnie dla każdej zmiennej, czyli dla każdej miary indywidualnie charakteryzującej stan destrukcji oraz podczas badania funkcji wielu zmiennych, dla wszystkich miar jednocześnie. Badania tych relacji matematycznych przeprowadzono przy wykorzystaniu regresji prostej i regresji wielokrotnej, a odpowiednie równania pokazano bezpośrednio na rysunkach krzywych regresji.



Rys. 1.8 Graficzna prezentacja przykładowych wyników z OPTIMUM i SVD

Dla wyróżnionych miar stanu degradacji wyznaczono regresyjne modele cząstkowe przykładowo przedstawione na rys. 1.9. Do aproksymacji postaci funkcji pomiędzy stanem destrukcji a miarami tego stanu przyjęto preferowane w statystyce wielomiany algebraiczne, ze szczególnie zalecanym wielomianem drugiego stopnia. Uzyskane relacje wskazują na ile zmiany obciążenia badanych elementów murowych wpływają na zmiany wartości, wybranych w procedurze badania (indywidualnej lub wielorakiej), miar sygnału drganiowego.

Miary błędów aproksymacji badanych funkcji określano współczynnikiem korelacji wielowymiarowej  $R^2$ , nazywanym też współczynnikiem determinacji, przyjmującym wartości z przedziału  $[0,1]$ . Jego wartości podano na rysunkach regresji, przy czym im wyższa jest jego wartość, tym lepsza korelacja – lepsze dopasowanie krzywej regresji do wyników pomiarów.



Rys. 1.9 Modele cząstkowe dla wskazanych miar drganiowych

Spodziewanym efektem redukcji danych dla przyjętej jakości klasyfikacji stanu jest uproszczenie struktury zbioru danych, uproszczenie algorytmu klasyfikacji,



bezdemontażowo ich stan, jakże ważny dla poprawnej eksploatacji wieloletnich konstrukcji budowlanych.

#### LITERATURA

1. C. Cempel, *Vibroacoustical Condition Monitoring*, Ellis Ltd., Chichester, New York, 1991.
2. H. Tylicki, B. Żółtowski, *Rozpoznawanie stanu maszyn*. ITE-PIB, Radom 2010.
3. T. Uhl, *Computer-aided identification of mechanical structure models* (in Polish). WNT (Scientific Technical Publishers), Warszawa 1997.
4. B. Żółtowski, L. Castaneda, ii: Structural diagnosis of rail vehicles and method for redesign. *Diagnostyka* Vol.15 (3), 2014.
5. B. Żółtowski, M. Łukasiewicz, *Diagnostyka drganiowa maszyn*. ITE-PIB, Radom 2012.
6. B. Żółtowski, M. Łukasiewicz, T. Kałaczyński, *Techniki informatyczne w badaniach stanu maszyn*. Wyd. UTP, Bydgoszcz 2012.
7. B. Żółtowski, M. Żółtowski, *Vibration signals in mechanical engineering and construction*. ISBN 978-83-7789-350-0, ITE-PIB, Radom, 2015.
8. B. Żółtowski, C. Cempel, *Engineering of diagnostics machines*. PTDT, ITE-PIB, Radom, ISBN 83-7204-414-7, 2004 s.1109.
9. M. Żółtowski, *Operacyjna analiza modalna w badaniach konstrukcji budowlanych*. WU UTP, Bydgoszcz 2012 s.210.
10. M. Żółtowski, *Informatyczne systemy zarządzania w inżynierii produkcji*. ITE-PIB, Radom 2011.
11. M. Żółtowski, Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. *Polish Maritime Research* No 1/2014, pp. 32-38.
12. M. Żółtowski, B. Żółtowski, Vibrations signal to the description of structural damage of dynamic the technical systems. XIII International Technical Systems Degradation, Conference, Liptowski Mikulasz, 2015, ISBN 978-83-930944-7-9, pp.44-49.
13. M. Żółtowski, Opis drganiowy konstrukcji budowlanych. *Logistyka* nr.6/2014, ISSN 1231-5478, Index Copernicus 4,57, Lublin 2014, s. 412-423.
14. M. Żółtowski, Investigations of harbour brick structures by using operational modal analysis. *Polish Maritime Research*, No. 1/(81), vol.21, ISSN 1233-2585, 2014, pp.42-54.
15. M. Żółtowski, M. Liss, The use of modal analysis in the evaluation of welded steel structures. *Studies and Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, Tom 79, ISSN 1732-324X, Bydgoszcz 2016, pp. 233-248.
16. M. Żółtowski, M. Liss, ii: Zastosowanie eksperymentalnej analizy modalnej w ocenie zmian sztywności prostego elementu konstrukcyjnego. *Studies and Proceedings of Polish Association for Knowledge Management*, T80, ISSN 1732-324X, Bydgoszcz 2016, s.103-126.
17. M. Żółtowski, R.M. Martinod, Technical Condition Assessment of Masonry Structural Components using Frequency Response Function (FRF). *Masonry International Journal of the International Masonry Society*, Vol.29, No1, ISSN 2398-757X, 2016, pp.23-26.
18. M. Żółtowski, R.M. Martinod Quality identification methodology applied to wall-elements based on modal analysis. *Civil Engineering the Athens Institute*

*for Education and Research, Emerald, Athens, 2015, ISBN 978-618-5065-96-6, pp.56-64.*

*Data przesłania artykułu do Redakcji: 02.2017*

*Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 05.2017*

**dr inż. Mariusz Żółtowski**

Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy  
ul. Fordońska 430, 85-790 Bydgoszcz, Polska  
e-mail: mariusz.zoltowski@utp.edu.pl

### **DRGANIOWE BADANIA PEKNIĘCIA BLOCZKA BETONOWEGO**

**Streszczenie:** *W przedstawionym opracowaniu wskazano na możliwość wykorzystania złożonych estymatorów rozplywu energii drganiowej wykorzystywanych w badaniu jakości bloczków betonowych, w ramach dedykowanej metodologii badań i metodyk szczegółowych wypracowanych w wielu wcześniejszych opracowaniach autora. Analizy teoretyczne i weryfikacja praktyczna badania wrażliwości informacyjnej miar złożonych procesów drganiowych wskazują na szerokie możliwości ich zastosowań. Uznając potrzebę doskonalenia metod badania maszyn i konstrukcji budowlanych dla potrzeb oceny ich stanu degradacji – w tej pracy przedstawiono istotne wyniki postępowania badawczego w zakresie weryfikacji skuteczności proponowanych miar wzajemnych w badaniach stanowiskowych bloczków betonowych.*

**Słowa kluczowe:** *obciążenia konstrukcji, degradacja stanu, drgania, estymatory drganiowe, opracowanie statystyczne*

### **CONCRETE BLOCK WEDDING TESTS**

**Abstract:** *The paper presents the possibility of using complex vibration energy estimators used in the concrete block quality test, as part of a dedicated research methodology and detailed methodologies developed in many of the author's earlier papers. Theoretical analyzes and practical verification of the information sensitivity test of measures of complex vibration processes indicate a wide range of applications. Recognizing the need to improve the methods of testing machines and structures for the purpose of assessing their degradation status – this paper presents important results of the research on verification of the effectiveness of the proposed mutual measure in concrete block testing.*

**Key words:** *construction load, state degradation, vibration, vibration estimators, statistical elaboration*