



POLITECHNIKA  
LUBELSKA



# **AKTYWNE I PASYWNE METODY ELIMINACJI DRGAŃ W UKŁADACH MECHANICZNYCH**

# PLAN PREZENTACJI

- Charakterystyka ruchu harmonicznego.
- Drgania wymuszone i zjawisko rezonansu.
- Negatywne skutki drgań.
- Wibroizolacja.
- Sposoby redukcji drgań.
- Pasywne i aktywne układy redukcji drgań mechanicznych.
- Podsumowanie,

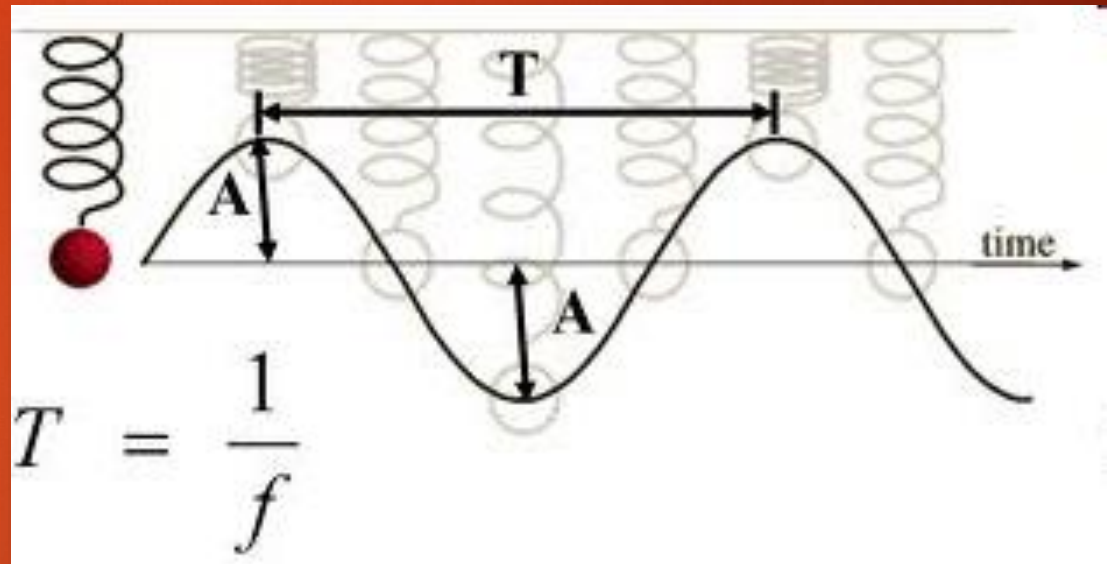
# RUCH HARMONICZNY

Każdy ruch powtarzający się w regularnych odstępach czasu nazywa się ruchem okresowym.

T – okres ruchu

f – częstotliwość

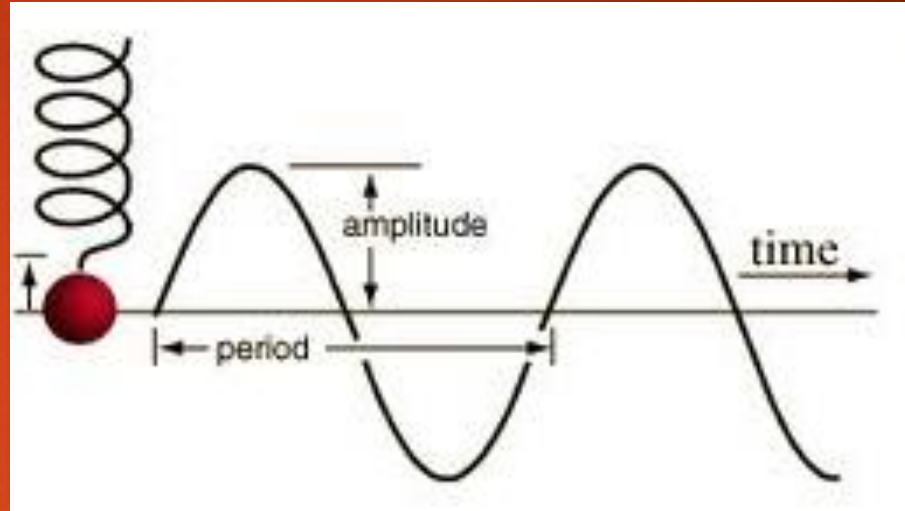
A – amplituda



Jednostka częstości: herc (Hz), 1 Hz = 1 pełne drganie na sekundę

# RUCH HARMONICZNY

Przemieszczenie:



$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$\omega$  – częstość kołowa

$\varphi$  – przesunięcie fazowe

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

# DRGANIA WYMUSZONE I ZJAWISKO REZONANSU



Gdy w układzie drgającym, o częstości drgań swobodnych występuje zewnętrzna siła wymuszająca, o częstości kołowej  $\omega_{\text{wym}}$ , oscylator drga z częstością kołową siły wymuszającej:

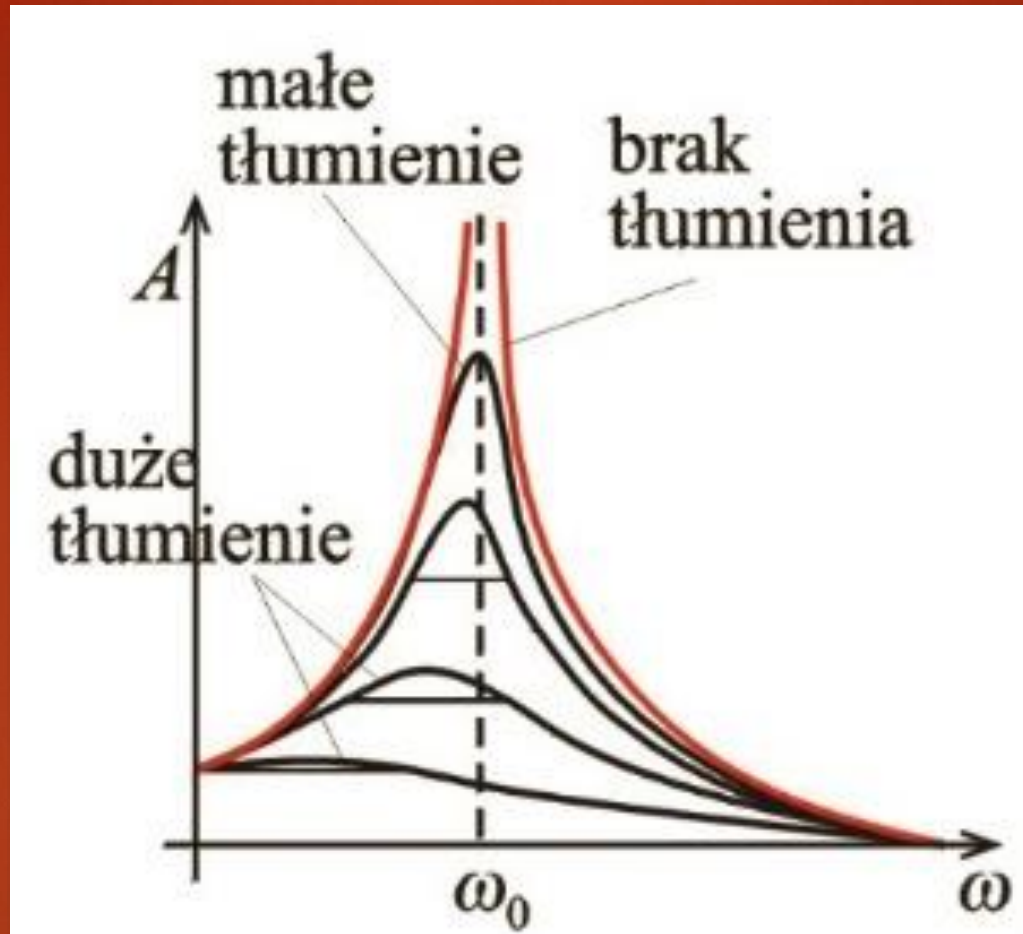
$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

Amplituda drgań wykazuje maksimum gdy częstość kołowa siły wymuszającej jest bliska częstość kołowej drgań własnych.

Warunek rezonansu:

$$\omega = \omega_0$$

# DRGANIA WYMUSZONE I ZJAWISKO REZONANSU



$$\omega = \omega_0$$

Charakterystyka rezonansowa



# PRZYKŁADY REZONANSU

- Strojenie odbiorników RTV
- Instrument muzyczne
- Huśtawka
- Rezonans Magnetyczny
- Tacoma Narrows Bridge



# NEGATYWNE SKUTKI DRGAŃ

- Każda maszyna i urządzenie jest źródłem drgań wynikających z sił dynamicznych działających impulsowo (uderzenia) lub okresowo zmiennie (będących skutkiem niewyważenia wirujących elementów).
- Niekorzystne drgania przenoszą się na budynki i ich otoczenie.
- Zbyt duże drgania mogą stanowić zagrożenie dla elementów konstrukcyjnych budowli, mogą wpływać niekorzystnie na pracę innych urządzeń, mogą być również szkodliwe dla zdrowia ludzi.



# NEGATYWNE SKUTKI ODDZIAŁYWANIA DRGAŃ NA CZŁOWIEKA

Oddziaływanie bezpośrednie i pośrednia drgań na człowieka, a tym samym ich szkodliwość, jest zależna od wielu czynników, m.in.:

- od charakteru drgań: drgania mogą oddziaływać lokalnie, np. na ręce lub globalnie, ogólnie na całe ciało,
- od częstotliwości drgań: największa szkodliwość drgań bezpośrednich występuje w obszarach rezonansowych organów ciała ludzkiego, np. przy częstotliwości  $1 \div 2 \text{ Hz}$ ,
- od czasu ekspozycji organizmu na drgania: im ten czas dłuższy, tym szkodliwość drgań wzrasta.

# NEGATYWNE SKUTKI ODDZIAŁYWANIA DRGAŃ NA MASZyny I URZĄDZENIA

- Drgania mechaniczne oddziałują szkodliwie na maszyny, mechanizmy lub ich elementy powodując albo zmniejszenie ich trwałości albo zniszczenie nagłe przy przekroczeniu wytrzymałości doraźnej materiału.
- Podstawowym kryterium oceny szkodliwości drgań jest wielkość amplitud drgań, a w przypadku zmęczeniowego zniszczenia również liczba zmian obciążeń, czyli częstotliwość drgań.
- Większe amplitudy drgań i większa ich częstotliwość, tym wpływ drgań na maszyny bardziej szkodliwy.

# WIBROIZOLACJA



Zmniejszenie szkodliwego oddziaływania drgań może się odbywać dwiema metodami:

1. Ustawienie urządzenia na fundamencie, przy czym skuteczność tego rozwiązania rośnie wraz ze wzrostem masy fundamentu.
2. Ustawienie urządzenia na wibroizolatorach.

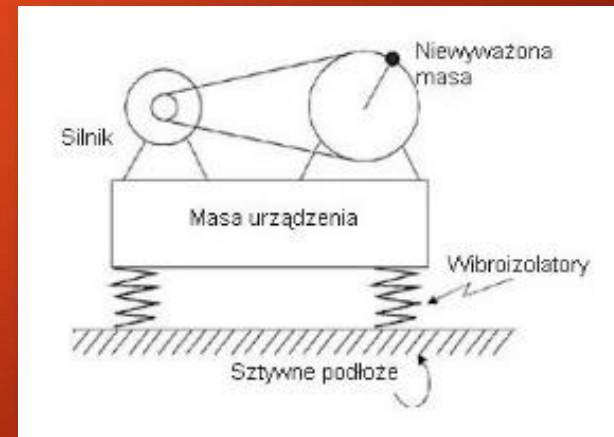
Zadaniem wibroizolatorów, które są elastycznym elementem pośrednim pomiędzy urządzeniem a podłożem, jest znaczne zmniejszenie sił dynamicznych przenoszonych na podłoże.

# WIBROIZOLACJA

Rodzaje wibroizolacji:

**czynna** – izolująca źródła drgań od fundamentów, zabezpieczająca przed przechodzeniem drgań na otoczenie, ściślej biorąc – zmniejszająca oddziaływanie źródła drgań na fundamenty i otoczenie, gdyż nie udaje się ich w pełni odizolować.

**bierna** – izolująca od drgającego otoczenia (fundamentów, kadłuba) osadzone w miejscach, dla których drgania są niepożądane, a nawet szkodliwe.





# WIBROIZOLATORY PRZEMYSŁOWE



Wibroizolatory pneumatyczne



Wibroizolatory metalowo-gumowe



# WIBROIZOLATORY PRZEMYSŁOWE



Wibroizolator sprężynowy



Wibroizolator linowy



Wibroizolator druciany



Wibroizolator kołnierzowy

# WIBROIZOLATORY PRZEMYSŁOWE



Wibroizolator z tłumikiem wiskotycznym (producent: Gerb)



Wibroizolator sprężynowy (producent: Gerb)

# SPOSOBY REDUKCJI DRGAŃ MECHANICZNYCH

## Metody pasywne

Polegają na wprowadzeniu dodatkowych elementów w postaci tłumików drgań. Tłumiki drgań rozpraszają lub magazynują energię. Parametry tłumików pasywnych nie ulegają zmianie w czasie. W pasywnej redukcji drgań występuje silny związek pomiędzy efektywnością a częstością drgań jak również wrażliwość na zmianę parametrów.

## Metody aktywne

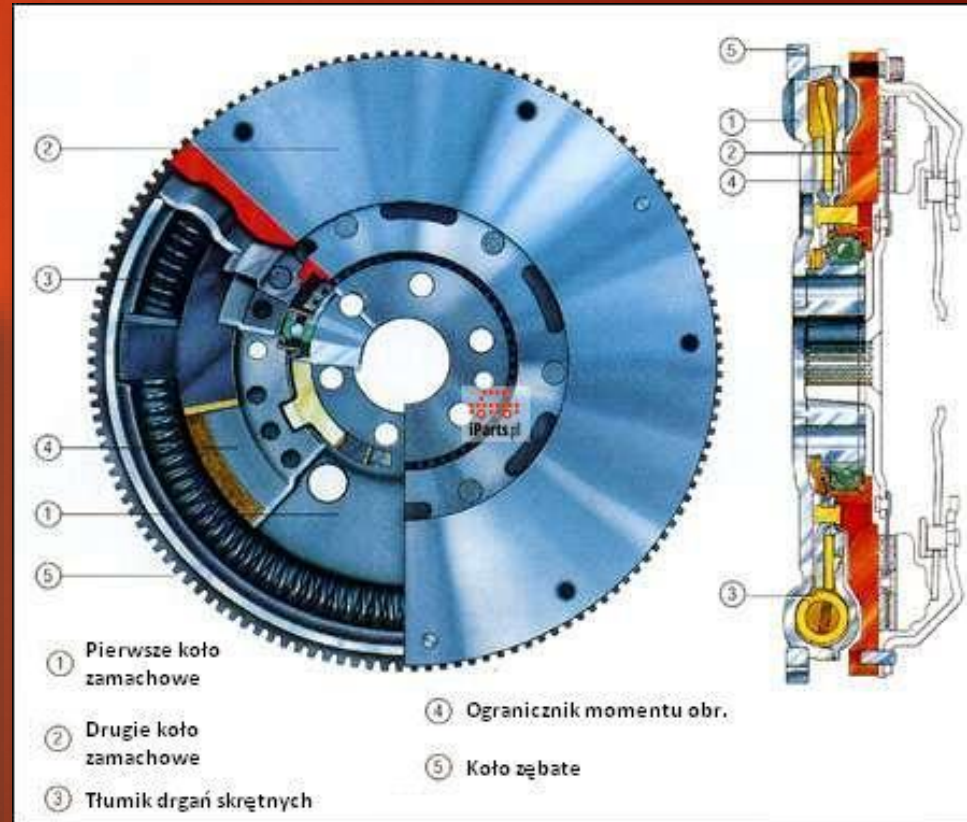
Polegają na zastosowaniu dodatkowych zewnętrznych źródeł energii. Energia dostarczana z zewnątrz przeciwdziała niepożądanym drganiom. Podukłady aktywne mogą redukować drgania wybranych części maszyn czy urządzeń. Wartość ich parametrów jest zmienna w czasie i uzależniona od bieżącego stanu układu.



# METODY ELIMINACJI DRGAŃ – PRZEMYSŁ MOTORYZACYJNY

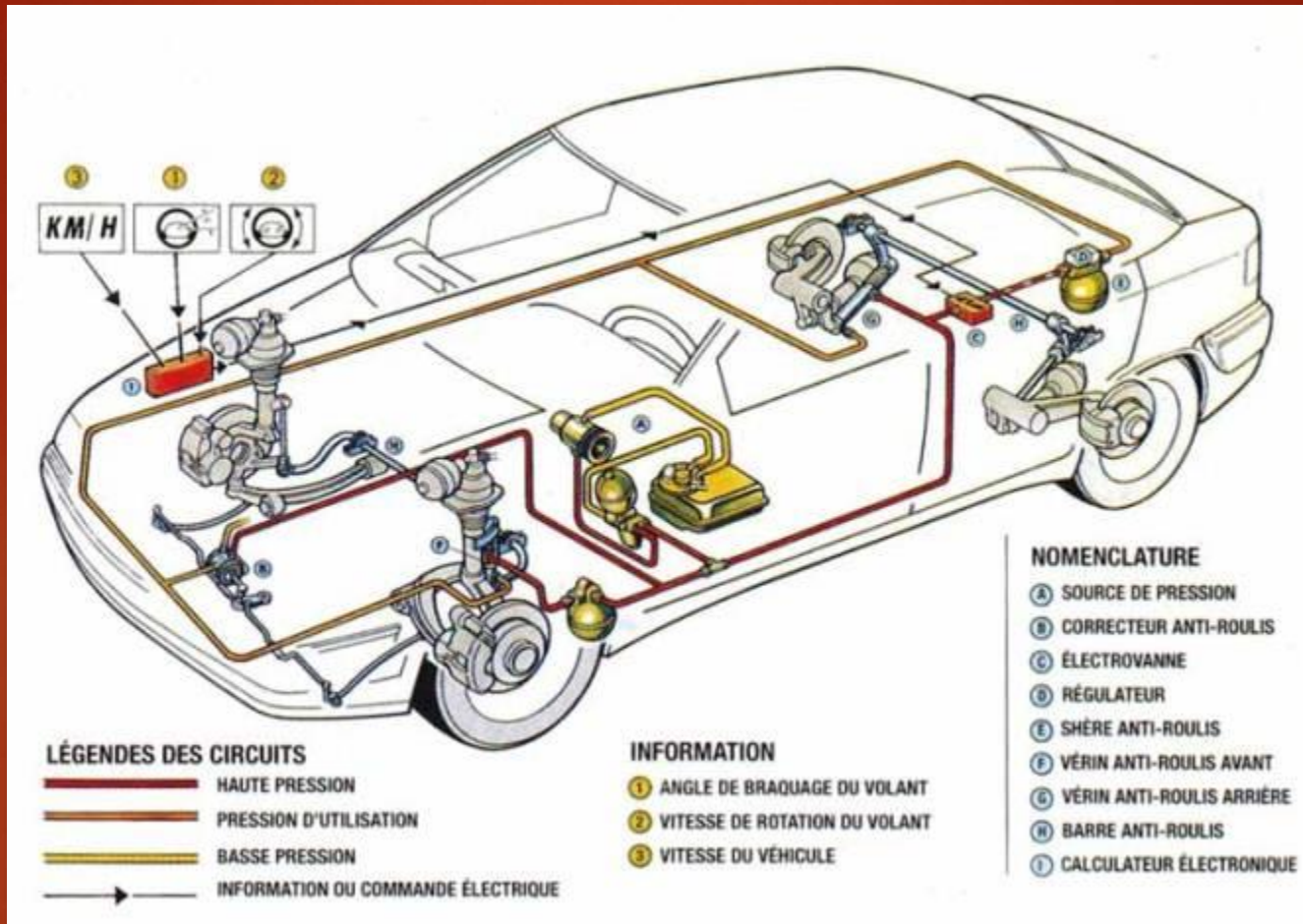


Koło dwumasowe samochodu osobowego



Elementy składowe koła dwumasowego

# METODY ELIMINACJI DRGAŃ – PRZEMYSŁ MOTORYZACYJNY



Aktywne zawieszenie hydropneumatyczne marki Citroen



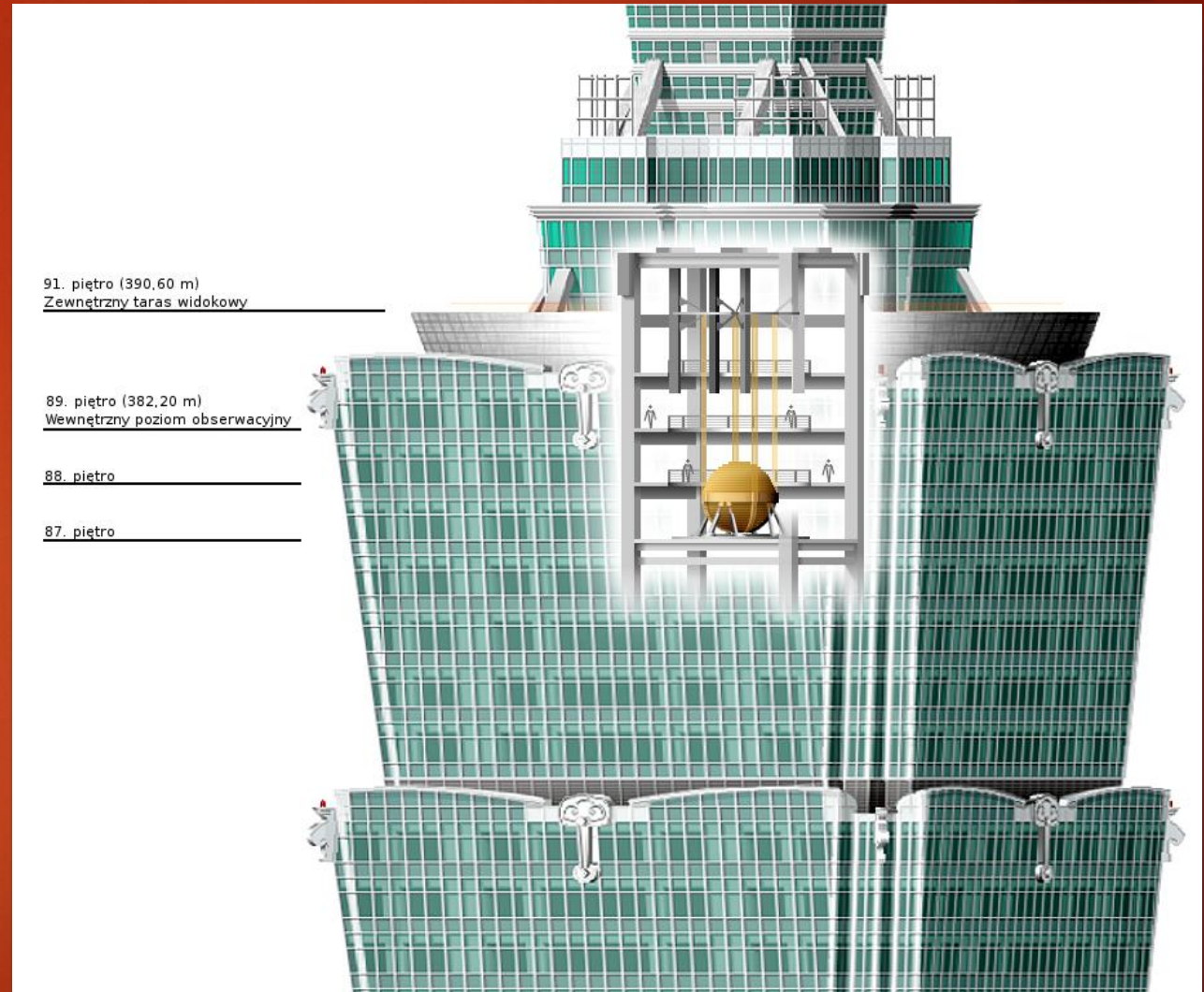
# METODY ELIMINACJI DRGAŃ - BUDOWNICTWO



Wibroizolacja kładki dla pieszych (Malta – Poznań)

# METODY ELIMINACJI DRGAŃ - BUDOWNICTWO

Dynamiczny eliminator drgań  
typu TMD – Taipei 101





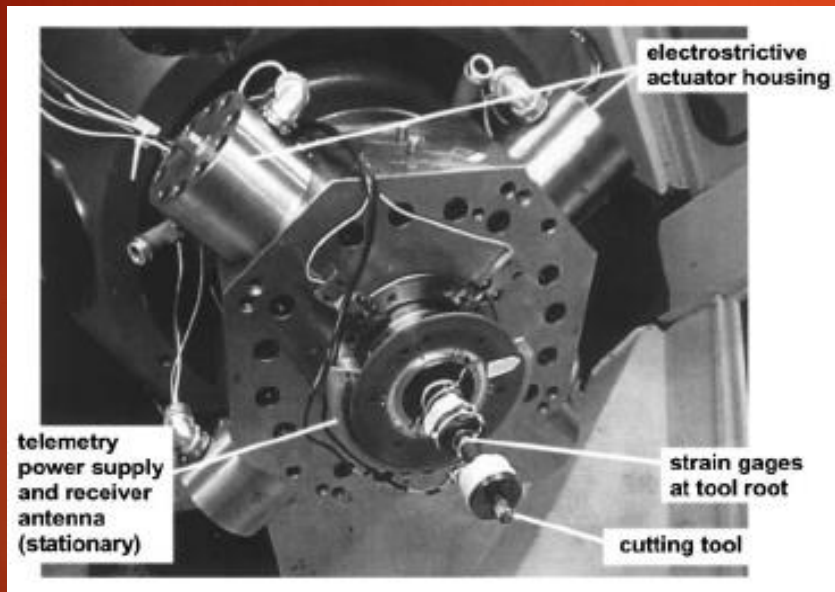
# METODY ELIMINACJI DRGAŃ - BUDOWNICTWO



Tuned Mass Damper zastosowany w wieżowcu Taipei 101 (masa: 660 ton)

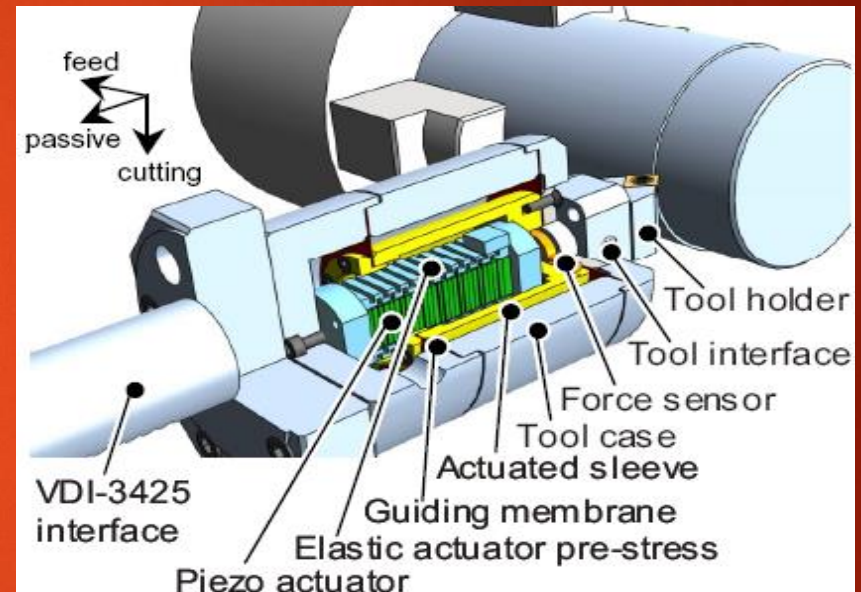
# AKTYWNA ELIMINACJA DRGAŃ W OBRÓBCE SKRAWANIEM

Konstrukcja wrzeciona obrabiarki



Źródło: J. Dohner, J. Lauffer, T. Hinnerichs, N. Shankar, M. Regelbrugge, C. Kwan, „Mitigation of chatter instabilities in milling by active structural control”, *Journal of Sound and Vibration*, 269, 197-211, 2004.

Konstrukcja imaka narzędziowego

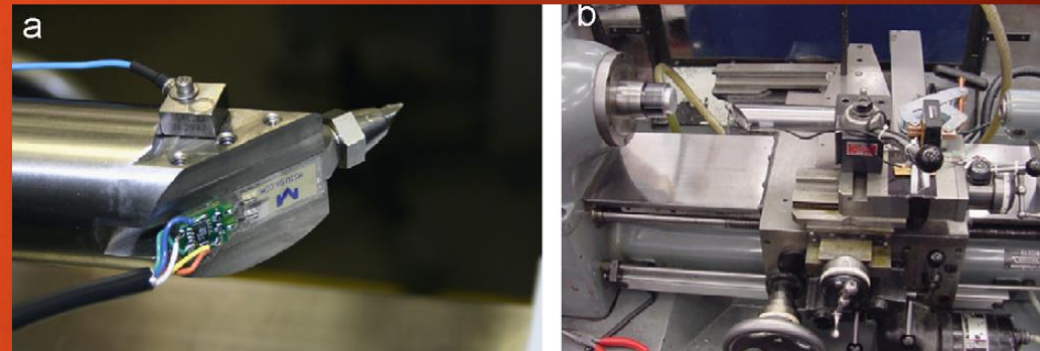
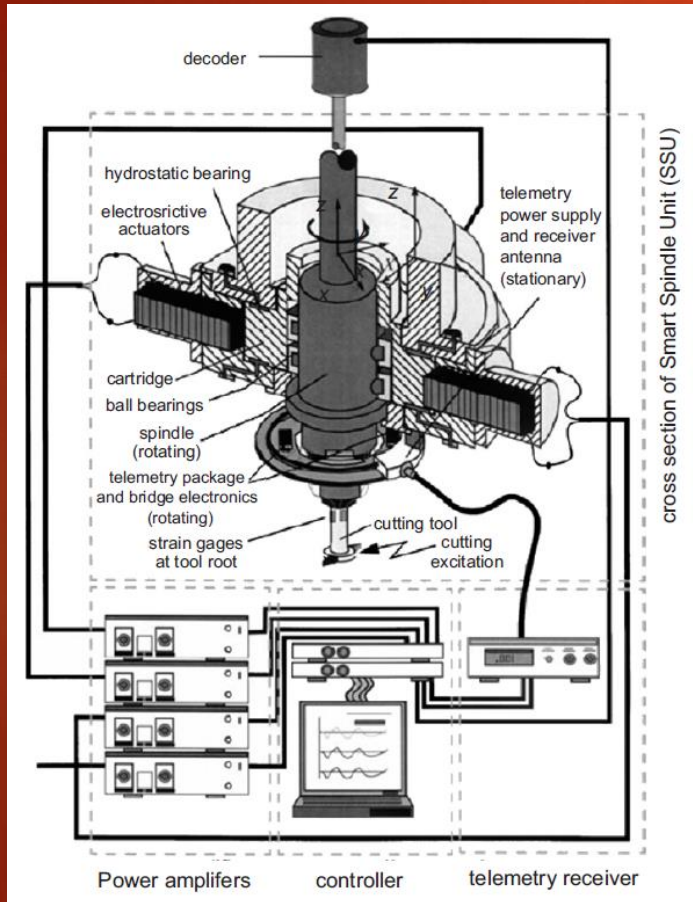


Źródło: A. Harms, B. Denkena, N. Lhermet, “Tool Adaptor for Active Vibration Control in Turning Operations”, 9<sup>th</sup> International Conference on New Actuators, ACTUATOR 2004, 14-16 June 2004, Bremen, Germany.



# AKTYWNA ELIMINACJA DRGAŃ W OBRÓBCE SKRAWANIEM

## Konstrukcja wrzeciona obrabiarki



## Konstrukcja imaka narzędziowego

Źródło: G. Park and all, „The use of active materials for machining processes: A review”,  
International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 2189–2206.



# PODSUMOWANIE

- Drgania mechaniczne występują powszechnie w praktycznie każdym układzie.
- Mogą mieć negatywny wpływ na człowieka i jego otoczenie.
- Szczególnie niebezpiecznym zjawiskiem w układach drgających jest zjawisko rezonansu.
- Można skutecznie zapobiegać występowaniu niekorzystnych drgań już na etapie projektowania (stosując tzw. izolację czynną lub bierną).
- Skuteczna redukcja drgań w układach już istniejących wymaga zastosowania metod pasywnych lub aktywnych.

# DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

## *AKTYWNE I PASYWNE METODY ELIMINACJI DRGAŃ W UKŁADACH MECHANICZNYCH*

POLITECHNIKA LUBELSKA  
Katedra Mechaniki Stosowanej  
dr inż. Andrzej Weremczuk

---

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”  
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



POLITECHNIKA  
LUBELSKA



Ministerstwo  
Edukacji i Nauki



POLITECHNIKA  
LUBELSKA  
WYDZIAŁ  
MECHANICZNY