

### 3. ZASADY MOCOWANIA PRZETWORNIKÓW DRGAŃ

#### 3.1. Cel ćwiczeń

Celem omawianych ćwiczeń laboratoryjnych jest zapoznanie studentów z technikami mocowania typowych przetworników oraz zasadami wykonywania pomiarów drgań. W trakcie dwóch zajęć laboratoryjnych, studenci będą badać w jakim stopniu sposób i poprawność mocowania przetworników drgań, oraz lokalizacja płaszczyzn i punktów pomiarowych wpływa na uzyskiwane wyniki pomiarów drgań.

#### 3.2. Wprowadzenie

Zastosowanie w diagnostyce maszyn pomiarów drgań względnych jak i bezwzględnych daje możliwość bezinwazyjnej oceny zarówno ogólnego stanu technicznego monitorowanych obiektów jak i poszczególnych ich podzespołów. Sygnały wibroakustyczne mają bowiem bezpośredni związek z charakterystycznymi dla tych maszyn częstościami obrotowymi wału, kół zębatych, wirników itp.

Pomiar drgań bezwzględnych, poza ogólną oceną stanu technicznego maszyn, pozwala też identyfikować nieprawidłowości działania poszczególnych ich podzespołów spowodowane np. niewyważeniem wirników, uszkodzeniem łożysk, uszkodzeniem zębów przekładni zębatych czy też rozosiewaniem sprzęgieł.

Analiza różnych cech sygnałów drgań względnych (mierzonych np. jako przemieszczenie wału względem nieruchomej panwi łożyskowej) umożliwia m.in. identyfikację nieprawidłowości pracy łożysk hydrokinetycznych, wygięcia, pęknięcia czy złego osiowania wałów, niewyważenia czy też przycierania wirników.

Przetworniki drgań instalowane w warunkach przemysłowych znajdują się pod wpływem wielu różnych czynników zewnętrznych, które bywają często przyczyną istotnych błędów pomiarowych. Do najważniejszych oddziaływań zewnętrznych mających wpływ na uzyskiwane wyniki zaliczane są:

- promieniowanie ( $X, \gamma$ ),
- wysoka lub niska temperatura,
- fluktuacje temperatury,
- wilgoć,
- pole elektromagnetyczne,
- wysokie natężenie dźwięku,
- odkształcenia elementów maszyn w miejscach mocowania przetworników (dotyczy przede wszystkim przetworników drgań bezwzględnych),
- niedokładności i błędy montażowe,
- drgania poprzeczne (względem głównego kierunku pomiaru drgań),
- niejednorodności geometryczne i materiałowe wirujących elementów (dotyczy przetworników drgań względnych).

Współczesne przetworniki drgań, zwłaszcza te które produkowane są w tzw. wykonaniu przemysłowym, posiadają konstrukcje ograniczające lub praktycznie eliminujące wpływ takich czynników jak np. wilgoć, promieniowanie czy też pole elektromagnetyczne. Nie ma jednak przetworników, które byłyby odporne na wszystkie wymienione powyżej czynniki. Należy zatem dołożyć wszelkich starań by oddziaływania te zmniejszyć lub wyeliminować. Szczególnie ważnym zadaniem jest wybór odpowiednich miejsc pomiaru drgań oraz prawidłowy montaż

przetworników. Zarówno bowiem usytuowanie przetwornika jak i sposób zamocowania mają istotny wpływ na uzyskiwany wynik pomiaru drgań.

Ogólnie zaleca się, by pomiary drgań były dokonywane w różnych punktach pomiarowych, w dwóch lub trzech kierunkach [1]. W ten sposób uzyskuje się zbiór różnych wartości intensywności drgań, które dają podstawę do kompleksowej oceny stanu drganiowego monitorowanego obiektu.

Typ przetwornika stosowanego do pomiaru drgań zależy przede wszystkim od rodzaju mierzonej wielkości fizycznej (przeszczenie, prędkość, przyspieszenie) oraz od pasma częstotliwościowego drgań maszyny. Najczęściej wykorzystywanymi obecnie są:

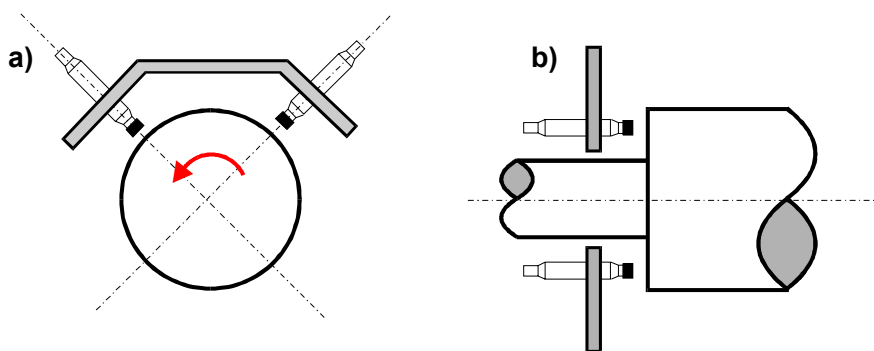
- bezdotykowe przetworniki wiropędowe stosowane do pomiaru przemieszczenia drgań względnych,
- elektrodynamiczne przetworniki prędkości stosowane do pomiaru drgań bezwzględnych,
- piezoelektryczne przetworniki przyspieszenia stosowane do pomiaru drgań bezwzględnych.

W dalszej części tego rozdziału omówione zostaną zasady lokalizacji punktów pomiarowych i montażu trzech wymienionych typów przetworników drgań.

### 3.3. Zasady instalowania przetworników drgań.

#### 3.3.1. Pomiar drgań względnych. Mocowanie przetworników przemieszczenia drgań.

Bezdotykowe przetworniki drgań względnych powinny być montowane w położeniach umożliwiających ocenę poprzecznego lub wzdłużnego ruchu wału czy wirnika (patrz rys.3.1).



Rys.3.1. Przykładowe usytuowanie przetworników do pomiaru drgań względnych:  
a) w kierunku poprzecznym , b) w kierunku wzdłużnym.

W przypadku pomiaru drgań względnych wału w kierunku poprzecznym zaleca się stosowanie dwóch przetworników zamontowanych na każdym łożysku maszyny lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie.

Przetworniki powinny być zainstalowane promieniowo w tej samej płaszczyźnie prostopadłej do osi wału lub w płaszczyznach możliwie bliskich sobie.

Odchylenie osi przetworników od kierunku promieniowego nie powinno przekraczać  $\pm 5^\circ$ . Zaleca się montowanie przetworników na tej samej połowce łożyska, a ich rozstaw kątowy powinien wynosić  $90 \pm 5^\circ$  [2]. Zalecane położenia przetworników drgań względnych przedstawiono na rys.3.2, przy czym należy zwrócić uwagę na konwencję oznaczeń kierunków

pomiaru, gdzie przetwornik „X” umieszczony jest zawsze na prawo od przetwornika „Y” patrząc od strony napędu maszyny.

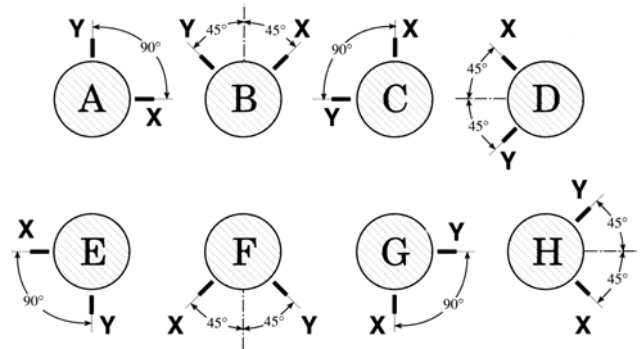
Bezkontaktowe przetworniki przemieszczenia drgań montowane są w niewielkiej odległości od części ruchomych, zwykle w gwintowanych otworach w obudowie łożyska lub za pomocą sztywnych uchwytów przytwierdzonych do obudowy. Jeżeli przetworniki są montowane w panwiach łożysk ślizgowych muszą być one umieszczone w ten sposób, by nie oddziaływały na klin smarny.

Na rys.3.3 przedstawiono przykład prawidłowego zamocowania w obudowie łożyska ślizgowego przetworników przemieszczenia drgań.

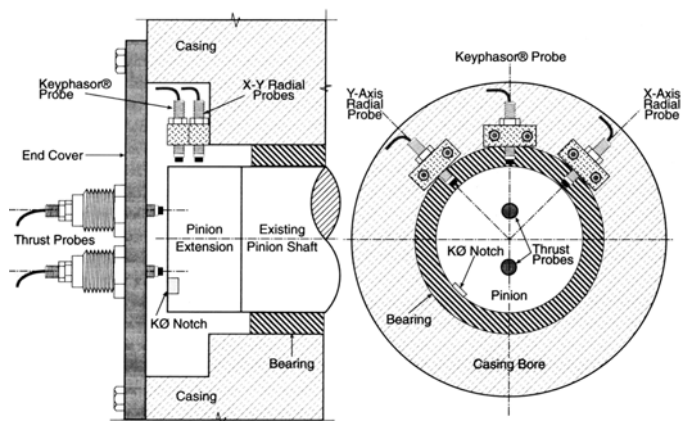
Do obudowy łożyska (Casing), za pomocą uchwytów, przymocowane są promieniowo przetworniki do pomiaru drgań w kierunku poprzecznym (X-Y Radial Probes), oraz przetwornik znacznika fazy (Keyphasor® Probe). Bezpośrednio do pokrywy obudowy (End Cover) są natomiast wkręcane (i zablokowane nakrętkami kontruującymi) przetworniki do pomiaru drgań w kierunku wzdłużnym (Thrust Probes).

Montaż przetworników drgań względnych możliwy jest także w innych przekrojach poprzecznych (poza łożyskami), przy czym jeżeli wymaga to stosowania dodatkowych wsporników to muszą być one odpowiednio sztywne i nie mogą w nich występować drgania własne [2]. Należy jednak zwrócić uwagę by montowane w ten sposób przetworniki nie były zlokalizowane w okolicy punktów węzłowych.

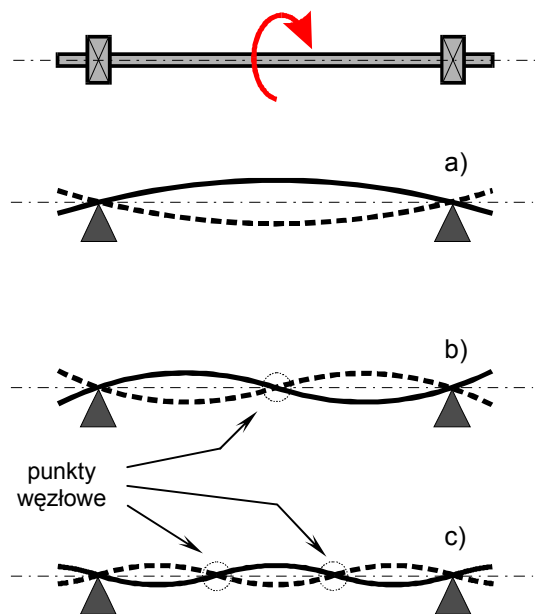
Punkty węzłowe są to miejsca, w których występuje minimalna lub zerowa wartość ugięcia drgającego układu, odpowiadająca danej postaci drgań. Na rys.3.4 przedstawiono przykładowo



Rys.3.2. Zalecane położenia przetworników do pomiaru poprzecznych drgań względnych wału wg [3].



Rys.3.3. Przykład mocowania przetworników przemieszczenia drgań wg [3].



Rys.3.4. Postacie drgań wału: a) pierwszego rzędu b) drugiego rzędu, c) trzeciego rzędu. Rozmieszczenie punktów węzłowych.

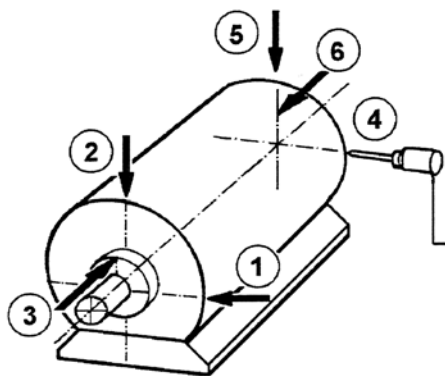
charakterystyczne postacie drgań wału odpowiadające trzem prędkościom krytycznym. Jak widać drganiom drugiego i trzeciego rzędu towarzyszy występowanie odpowiednio jednego i dwóch punktów węzłowych.

Znajdujące się w polu działania przetworników elementy ruchome (czopy, wały) powinny mieć gładką powierzchnię, jednorodną strukturę materiału jak również jednorodne własności magnetyczne. Tylko w takim przypadku sygnał wyjściowy reprezentuje prawie wyłącznie zmiany odległości danego elementu względem nieruchomego przetwornika. W przeciwnym wypadku sygnał wyjściowy jest zniekształcony, a składowa pochodząca od tych zakłóceń nazywana jest **runout**. Zależnie od przyczyny powodującej zakłócenie sygnału rozróżniany jest runout mechaniczny i elektryczny. Bardziej szczegółowe informacje na ten temat tego zagadnienia można znaleźć m.in. w [3].

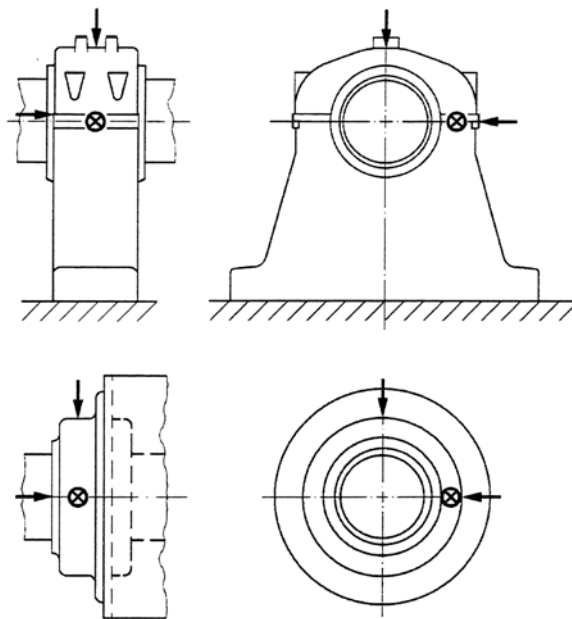
### 3.3.3. Pomiar drgań bezwzględnych.

Pomiary drgań bezwzględnych powinny być dokonywane na obudowach łożysk lub innych elementach konstrukcyjnych przenoszących siły dynamiczne.

Typowe miejsca usytuowania przetworników drgań pokazano na rys.3.5 i rys.3.6.



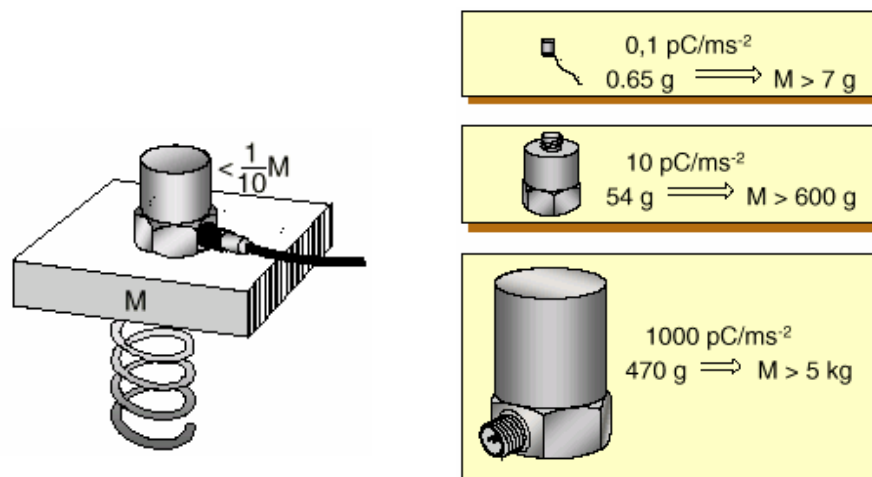
Rys.3.5. Zalecane punkty pomiaru drgań bezwzględnych.



Rys.3.6. Zalecane punkty pomiaru drgań na łożyskach wolnostojących.

Dokonując wyboru typu i wielkości przetwornika drgań bezwzględnych, jak również miejsca i sposobu jego zamocowania należy pamiętać o przestrzeganiu kilku ogólnych zasad.

➤ Masa instalowanego przetwornika nie może wpływać na zmianę charakterystyki drganiowej całego obiektu. Przyjmuje się, że nie może być ona większa niż 1/10 masy drgającego elementu. Zasadę tą ilustruje rysunek 3.7, przedstawiający przetwornik przymocowany do drgającego elementu o masie  $M$ . Rysunek ten przedstawia także zależność pomiędzy czułością i masą przetworników a masą drgającego elementu. Jak widać im większa jest masa  $M$  drgającego

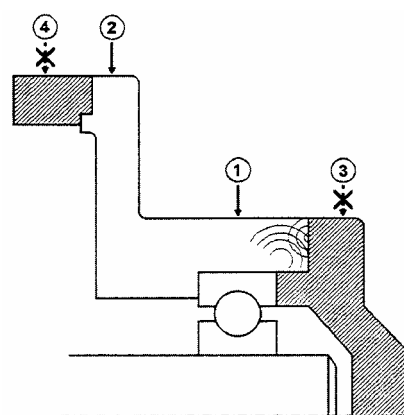


Rys.3.7. Ilustracja zasady doboru wielkości przetwornika wg [4].

elementu maszyny tym większa może być masa przetwornika. Z kolei im większa masa przetwornika tym większa jest jego czułość a więc i większa dokładność pomiaru.

➤ Użytkowy zakres częstotliwościowy i dynamika przetwornika nie może być ograniczony zbyt małą sztywnością jego zamocowania. Mała sztywność mocowania prowadzi zazwyczaj do zniekształceń wyników pomiarów drgań o częstotliwościach większych od około 500 Hz. Zagadnienie to jest bardziej szczegółowo omawiane w rozdziałach 3.3.3.1 oraz 3.3.3.2 .

➤ Pomiedzy źródłem drgań a przetwornikiem powinno być jak najmniej płaszczyzn połączeniowych. W miejscach łączenia elementów konstrukcyjnych dochodzi zazwyczaj do zniekształcenia sygnału drganiowego wskutek m.in. takich czynników jak tłumienie, rezonanse czy też dyfrakcja i interferencja fali drganiowej. Zasadę doboru miejsc pomiarowych zilustrowano na rys.3.8. Źródłem drgań jest w tym przypadku łożysko kulkowe, a prawidłowe miejsca pomiaru drgań oznaczono numerami 1 i 3.



Rys.3.8. Ilustracja wyboru miejsca mocowania przetwornika drgań z uwzględnieniem najmniejszej liczby płaszczyzn połączeniowych wg [5].

➤ Przed zamocowaniem przetworników zaleca się dokonywanie wstępnych pomiarów drgań w różnych miejscach maszyny Daje to możliwość określenia właściwego usytuowania punktów pomiarowych i pozwala uniknąć pomiarów np. w punktach.

➤ Dokładność i powtarzalność pomiarów drgań realizowanych przetwornikami nie mocowanymi na stałe może być zwiększona dzięki uprzedniemu przygotowaniu i oznaczeniu miejsc dokonywania pomiaru.

### 3.3.3.1. Mocowanie przetworników prędkości drgań.

Przetworniki prędkości drgań dają możliwość pomiaru w zakresie częstotliwościowym od 1 do około 2000 Hz. Charakteryzują się one niską częstotliwością rezonansową, która zależy od konstrukcji i wielkości przetwornika wynosi od 1 ÷ 5 Hz. Ich zaletą jest wysoka czułość w zakresie niskich częstotliwości, oraz brak konieczności zasilania, gdyż są tzw. przetwornikami aktywnymi. Do wad tego typu przetworników zaliczyć można natomiast ograniczone pasmo przenoszonych częstotliwości i wrażliwość na oddziaływania silnych pól magnetycznych [5].

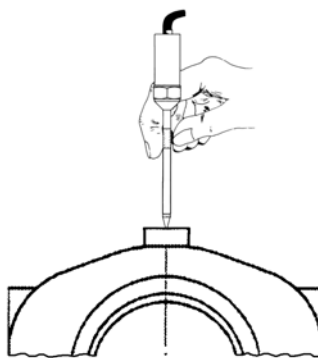
Zalecanym sposobem mocowania przetworników prędkości drgań jest ich przytwierdzenie do elementów maszyn za pomocą połączenia śrubowego. Mocowanie to zapewnia właściwą czułość przetwornika (zgodną z charakterystyką wzorcową) w całym jego użytkowym zakresie częstotliwościowym. Zaletą tego sposobu mocowania jest także duża powtarzalność wykonywanych pomiarów. Wadą tego rozwiązania jest konieczność przygotowania miejsc do których mają być przykręcone przetworniki, oraz konieczność posiadania wielu przetworników co istotnie zwiększa koszty nadzoru drganiowego. Ten sposób mocowania jest powszechnie stosowany w układach ciągłego nadzoru drganiowego.

W przypadku pomiaru drgań w paśmie nie przekraczającym 500 Hz wystarczająco dobrym sposobem jest mocowanie przetworników prędkościowych za pomocą uchwytów magnetycznych. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość wykorzystania jednego przetwornika do pomiaru drgań w wielu punktach pomiarowych, co sprawia, że jest ono zdecydowanie tańsze niż rozwiązanie poprzednie.

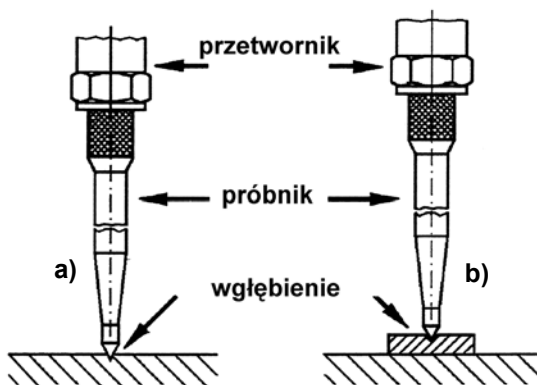
Do wad natomiast zalicza się:

- możliwość mocowania tylko do elementów maszyn posiadających własności magnetyczne,
- konieczność przygotowania miejsc do mocowania uchwytów – muszą mieć one powierzchnię gładką i pozbawioną zanieczyszczeń,
- mniejsza niż w przypadku połączenia śrubowego powtarzalność pomiarów,
- ograniczony zakres częstotliwościowy.

Prosty i szybki pomiar drgań może być realizowany za pomocą przetwornika wyposażonego w próbnik ręczny (patrz rys.3.9), który przykładają się (dociskają) w miejscu dokonywania pomiaru. Użytkowy zakres częstotliwościowy przetwornika jest w tym przypadku zależny od jakości kontaktu ostrza próbnika z powierzchnią punktu pomiarowego. Metoda ta charakteryzuje się małą powtarzalnością realizowanych pomiarów, co jednak można poprawić przez wykonanie wgłębień w punktach pomiarowych, określających jednoznacznie miejsca przykładania końcówki próbnika (patrz rys.3.10).



Rys.3.9. Pomiar drgań za pomocą przetwornika wyposażonego w próbnik ręczny



Rys.3.10. Usytuowanie wgłębnień ustalających położenie próbnika [5]:

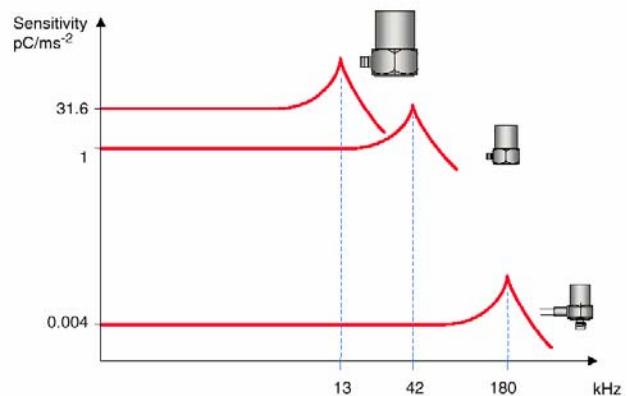
- a) bezpośrednio na powierzchni elementu maszyny,
- b) na podstawie przymocowanej do elementu maszyny.

### 3.3.3.3. Mocowanie przetworników przyspieszenia drgań.

Akcelerometry są zazwyczaj dużo mniejsze od przetworników prędkości drgań. Charakteryzują się one wysoką częstotliwością rezonansową i szerokim pasmem przenoszenia (patrz rys.3.11).

Typowym dla większości stosowanych akcelerometrów jest użytkowy zakres częstotliwościowy od 10 do 20000 Hz.

Dzięki małej masie mogą być instalowane na niewielkich elementach maszyn, pamiętać jednak należy o przestrzeganiu zasady aby masa przetwornika nie była większa od 1/10 masy drgającego elementu.

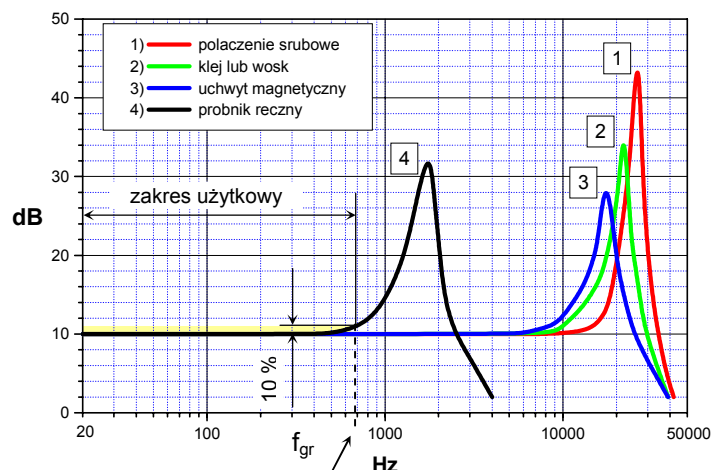


Rys.3.11. Porównanie pasm przenoszenia i czułości akcelerometrów [4].

Najczęściej stosowanymi są następujące techniki mocowania przetworników przyspieszenia drgań :

- połączenie śrubowe,
- za pomocą wosku,
- za pomocą kleju,
- za pomocą uchwytu magnetycznego,
- z wykorzystaniem próbnika ręcznego.

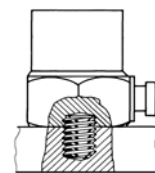
Podstawowym parametrem decydującym o zastosowaniu danego połączenia jest jego użytkowy zakres przenoszonych częstotliwości. Zakres użytkowy jest określony przez maksymalną częstotliwość graniczną –  $f_{gr}$ , (patrz rys.3.12), przy której zniekształcenie poziomu mierzonych drgań osiąga dopuszczalną wartość. Najczęściej jako dopuszczalne przyjmuje się odchylenie od rzeczywistego poziomu drgań wynoszące 10 % lub 3 dB [6].



Rys.3.12. Porównanie charakterystyk częstotliwościowych dla różnych sposobów mocowania akcelerometru.

Z przedstawionego na rys.3.12 porównania charakterystyk częstotliwościowych wymienionych sposobów mocowania akcelerometrów wynika, że ze względu na szeroki zakres przenoszonych częstotliwości technicznie najlepszym jest połączenie śrubowe (krzywa 1).

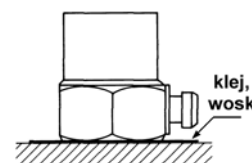
Zaletą tego typu połączenia, pokazanego na rys.3.13, jest zdolność przenoszenia drgań wysokoczęstotliwościowych i bardzo dobra powtarzalność pomiarów. Do wad zalicza się konieczność przygotowywania powierzchni montażowych i gwintowanych otworów, oraz koszty związane z koniecznością posiadania wielu przetworników. Ten sposób mocowania jest stosowany w układach ciągłego nadzoru drganiowego i w przypadku konieczności monitorowania drgań wysokoczęstotliwościowych.



Rys.3.13. Mocowanie za pomocą połączenia śrubowego.

Mocowanie akcelerometrów za pomocą wosku pszczelego (patrz rys.3.14) jest metodą szybką i wygodną, dla której częstotliwość rezonansowa połączenia jest niewiele mniejsza niż w przypadku połączenia śrubowego (patrz rys.3.12 – krzywa 2). Do wad tego sposobu mocowania zalicza się jednak:

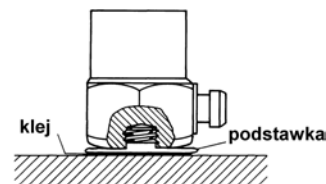
- konieczność przygotowywania powierzchni montażowych, które muszą być gładkie, odtłuszczone i pozbawione zanieczyszczeń stałych,
- temperaturę graniczną nie wyższą niż 40° C,
- maksymalną wartość drgań na poziomie 100 m/s<sup>2</sup>.



Rys.3.14. Mocowanie bezpośrednie za pomocą wosku lub kleju.

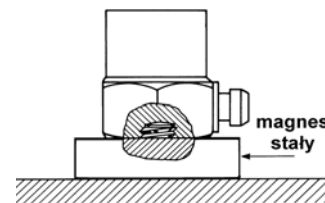
Do przyklejania akcelerometrów wykorzystywane są najczęściej kleje cyjanoakrylowe i epoksydowe. Przetworniki mogą być przyklejane bezpośrednio - tak jak za pomocą wosku (rys.3.14.), lub przy wykorzystaniu gwintowanej podstawki (patrz rys.3.15.). Charakterystyka częstotliwościowa tych sposobów mocowania jest praktycznie taka sama jak w przypadku połączenia za pomocą wosku (patrz rys.3.12 – krzywa 2). Do zalet zalicza się szybkość montażu (szczególnie przy zastosowaniu klejów cyjanoakrylowych), oraz dobre własności połączenia w szerokim zakresie częstotliwości.

Jako wady wymienia się konieczność przygotowywania powierzchni montażowych (muszą być one gładkie, odtłuszczone i pozbawione zanieczyszczeń stałych), a w przypadku bezpośredniego przyklejania przetworników utrudniony demontaż i mała powtarzalność pomiarów.



Rys.3.15. Mocowanie za pomocą przyklejonej podstawki.

Szybkim i wygodnym w zastosowaniu jest mocowanie akcelerometrów za pomocą uchwytu magnetycznego (rys.3.16.). Częstotliwość rezonansowa takiego połączenia jest niewiele mniejsza niż połączenia z wykorzystaniem wosku czy też kleju (patrz rys.3.12 – krzywa 3), a dodatkowo charakterystykę tą można poprawić przez wprowadzenie pomiędzy stykające się ze sobą powierzchnie (magnesu i elementu maszyny) cienkiej warstwy oleju silikonowego.



Rys.3.16. Mocowanie za pomocą uchwytu magnetycznego.



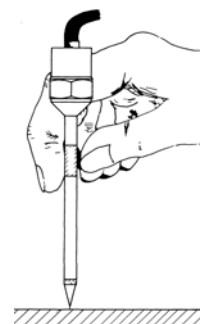
Wadą tej metody jest możliwość mocowania podstawki tylko do elementów o własnościach magnetycznych, posiadających równą i gładką powierzchnię. W niektórych pomiarach drgań, szczególnie małych elementów maszyn, ograniczeniem może być także masa uchwytu, która jest porównywalna a niejednokrotnie i większa od masy samego przetwornika.

W zakresie częstotliwości do około 500 Hz pomiar przyspieszenia drgań może być wykonywany poprawnie za pomocą akcelerometru przymocowanego do próbnika ręcznego (rys.3.17.). Częstotliwość rezonansowa połączenia próbnik – element maszyny zależy przede wszystkim od zachowania odpowiedniej siły docisku i właściwego usytuowania ostrza próbnika.

Podstawową zaletą tego rozwiązania jest możliwość wykonywania łatwych i szybkich pomiarów oraz niskie koszty.

Do wad najczęściej zalicza się:

- ograniczony zakres częstotliwościowy,
- możliwość popełniania błędów pomiarowych,
- mała powtarzalność pomiarów,
- niebezpieczeństwo związane z koniecznością przebywania osoby dokonującej pomiar w okolicy wirujących czy drgających elementów maszyn.



Rys.3.17. Akcelerometr przymocowany do próbnika ręcznego.

### 3.4. Literatura

- 1) Polska Norma PN-ISO 10816-1: *Drgania mechaniczne. Ocena drgań maszyny na podstawie pomiarów na częściach niewirujących*, PKN, Warszawa 1998,
- 2) Polska Norma PN-ISO 7919-1: *Drgania mechaniczne z wyłączeniem maszyn tłokowych. Pomiary na wałach wirujących i kryteria oceny*, PKN, Warszawa 1999,
- 3) Mitchell J.S.: *Introduction to Machinery Analysis and Monitoring*, Pennwell Books, Tulsa, Oklahoma 1993,
- 4) Brüel & Kjær: *Vibraton Transducers and Signal Conditioning – CD version*, Brüel & Kjær magazine, No 2, 2000,
- 5) SCHENCK: *Machine Diagnosis*, CARL SCHENCK AG, Darmstadt Germany, 1993,
- 6) Serridge M., Torben R.: *Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers , Theory and Application Handbook*, Brüel & Kjær, 1987.
- 7) Elsner W., Piątkowski J. :*Instrukcja obsługi układu Rotor-Kit oraz systemu ADRE*, opracowanie wewn. Instytut Maszyn Ciepłych. PCz. 2001.

## CZĘŚĆ 3.A

### MONTAŻ PRZETWORNIKÓW DRGAŃ BEZWZGLĘDNYCH

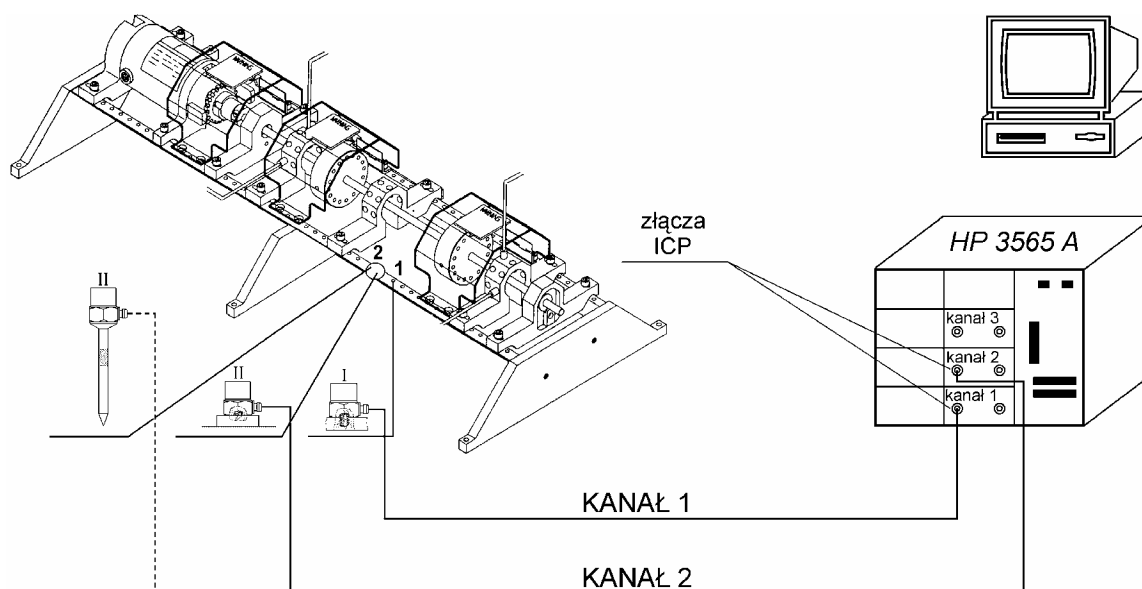
#### 3.A.1. Cel.

Celem tej części ćwiczeń jest zapoznanie studentów z trzema najczęściej stosowanymi technikami mocowania akcelerometrów. W trakcie zajęć studenci dokonają oceny wpływu sztywności mocowania przetworników na uzyskiwane wyniki pomiaru przyspieszenia drgań.

#### 3.A.3. Opis stanowiska pomiarowego.

W skład stanowiska pomiarowego, przedstawionego na rys.3.18, wchodzi:

- model maszyny wirnikowej **ROTR-KIT**,
- dwa akcelerometry typu **Delta Shear**,
- analizator sygnałów **HP 3565A**,
- uchwyt magnetyczny do akcelerometru,
- próbnik ręczny do akcelerometru.



Rys.3.18. Schemat stanowiska pomiarowego .

Do ramy modelu, w punkcie (1), przykręcony jest przetwornik (I), natomiast obok jest przykręcona stalowa podstawka (2). W trakcie ćwiczeń akcelerometr (II) jest najpierw mocowany do podstawki (2) za pomocą uchwyty magnetycznego, a następnie dociskany do podstawki (2) za pomocą próbnika ręcznego.

Przetworniki (I) i (II) są podłączone do analizatora sygnałów (odpowiednio do kanałów 1 i 2) poprzez złącza napięciowe pracujące w standardzie ICP.

### 3.A.3. Przebieg ćwiczenia.

Po uruchomieniu modelu maszyny wirnikowej i ustaleniu prędkości 3600 obr/min należy przeprowadzić pomiary drgań za pomocą akcelerometrów mocowanych trzema metodami:

- A) za pomocą połączenia śrubowego,
- B) za pomocą uchwytu magnetycznego,
- C) za pomocą próbnika ręcznego, przy czym w przypadku próbnika pomiary należy wykonać w dwóch seriach:
  - C<sub>1</sub>) gdy jest on lekko dociskany do podstawki (2) – patrz rys.3.18
  - C<sub>2</sub>) gdy wyraźnie zwiększono siłę docisku.

W szczególności dla każdego sposobu mocowania przetworników drgań należy:

- 1) zarejestrować i wydrukować przebiegi czasowe sygnałów drganiowych,
- 2) zarejestrować i wydrukować widma amplitudowe w zakresie częstotliwościowym  $0 \div 500$  Hz oraz  $0 \div 2000$  Hz,
- 3) dokonać pomiaru wartości skutecznej przyspieszenia drgań ( $a_{rms}$ ) w paśmie częstotliwościowym  $0 \div 500$  Hz oraz  $0 \div 2000$  Hz, zmierzone wartości  $a_{rms}$  wpisać do tabeli pomiarowej (tab.1),
- 4) dokonać pomiaru wartości skutecznej przyspieszenia drgań składowej 1X - wyniki wpisać do tabeli pomiarowej,

Na podstawie uzyskanych wyników należy:

- 1) Dokonać analizy porównawczej przebiegów czasowych zarejestrowanych sygnałów drgań.
- 2) Dokonać analizy porównawczej zarejestrowanych widm sygnałów.
- 3) Omówić w jaki sposób zmiana siły docisku próbnika wpływała na widmo rejestrowanych drgań.
- 4) Obliczyć względne błędy pomiarów  $\delta$  (wg zależności przedstawionych w tabeli 1). dokonywanych poszczególnymi metodami w badanych pasmach częstotliwości i omówić przyczyny występujących różnic pomiarów.

Tab.1. Zestawienie wyników pomiarów

Technika Mocowania	Nr pomiaru	Zakres częstotliwościowy									UWAGI
		0 ÷ 500 Hz			0 ÷ 2000 Hz			1X			
		a mm/s <sup>2</sup>	$\bar{a}$ mm/s <sup>2</sup>	$\delta$ %	a mm/s <sup>2</sup>	$\bar{a}$ mm/s <sup>2</sup>	$\delta$ %	a mm/s <sup>2</sup>	$\bar{a}$ mm/s <sup>2</sup>	$\delta$ %	
<b>A</b>	1			$\delta_{AB} = \frac{\bar{a}_B - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AB} = \frac{\bar{a}_B - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AB} = \frac{\bar{a}_B - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$	
	2										
	3										
<b>B</b>	1			$\delta_{AB} = \quad \%$			$\delta_{AB} = \quad \%$			$\delta_{AB} = \quad \%$	
	2										
	3										
<b>A</b>	1			$\delta_{AC_1} = \frac{\bar{a}_{C_1} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AC_1} = \frac{\bar{a}_{C_1} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AC_1} = \frac{\bar{a}_{C_1} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$	
	2										
	3										
<b>C<sub>1</sub></b>	1			$\delta_{AC_1} = \quad \%$			$\delta_{AC_1} = \quad \%$			$\delta_{AC_1} = \quad \%$	
	2										
	3										
<b>A</b>	1			$\delta_{AC_2} = \frac{\bar{a}_{C_2} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AC_2} = \frac{\bar{a}_{C_2} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$			$\delta_{AC_2} = \frac{\bar{a}_{C_2} - \bar{a}_A}{\bar{a}_A} \cdot 100$	
	2										
	3										
<b>C<sub>2</sub></b>	1			$\delta_{AC_2} = \quad \%$			$\delta_{AC_2} = \quad \%$			$\delta_{AC_2} = \quad \%$	
	2										
	3										

## CZĘŚĆ 3.B MONTAŻ PRZETWORNIKÓW DRGAŃ WZGLĘDNYCH

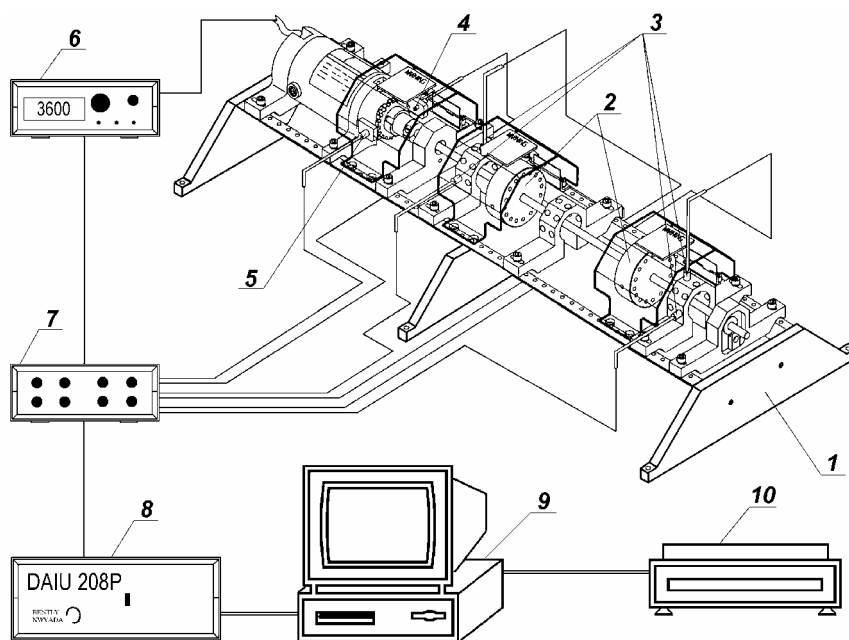
### 3.B.1. Cel.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie studentów z zasadami pomiaru drgań względnych wału realizowanych za pomocą bezdotykowych przetworników wiropędowych. W trakcie zajęć studenci dokonają oceny wpływu lokalizacji płaszczyzn pomiarowych na uzyskiwane wartości amplitudy i fazy przemieszczenia drgań. Przeprowadzone zostanie porównanie wyników pomiaru drgań uzyskanych w miejscach występowania maksymalnej strzałki ugięcia oraz w okolicy punktów węzłowych.

### 3.B.2 Opis stanowiska pomiarowego.

Ćwiczenie jest realizowane przy wykorzystaniu modelu maszyny wirnikowej oraz aparatury kontrolno pomiarowej ADRE. W skład stanowiska pomiarowego przedstawionego na rys.3.19 wchodzi:

- 1) model maszyny wirnikowej (Rotor-Kit),
- 2) tarcze wirnika (wirujące masy),
- 3) przetworniki wiropędowe (X-Y) do pomiaru drgań względnych wału,
- 4) przetwornik wiropędowy układu znacznika fazy,
- 5) przetwornik wiropędowy układu regulacji prędkości obrotowej silnika,
- 6) układ zasilania i regulacji prędkości obrotowej silnika modelu maszyny wirnikowej,
- 7) PROXIMITOR – układ zasilania przetworników wiropędowych i kondycjonowania sygnałów pomiarowych,
- 8) DAIU 208P – układ akwizycji i przetwarzania sygnałów pomiarowych,
- 9) komputer wraz z oprogramowaniem ADRE,
- 10) drukarka.



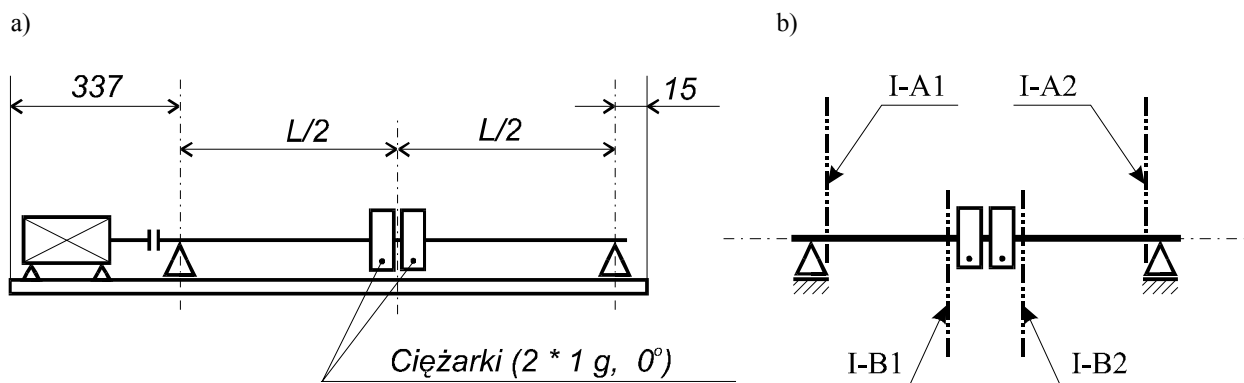
Rys.3.19. Schemat stanowiska pomiarowego .

### 3.B.3. Przebieg ćwiczenia.

W trakcie ćwiczenia należy dokonać pomiaru drgań względnych wału dla dwóch konfiguracji układu Rotor-Kit, które przedstawiono schematycznie na rys.3.20 i rys.3.21.

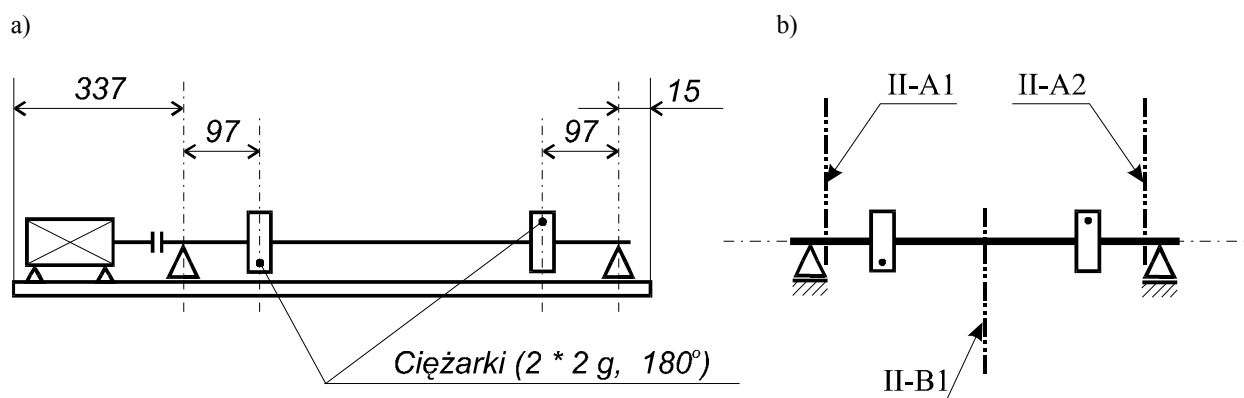
W konfiguracji I tarcze wirnika należy przymocować do wału w środku pomiędzy łożyskami (patrz rys.3.20.a) i wkręcić do każdej z nich ciężarek o masie 1 g, przy czym kąt jaki tworzą proste przechodzące przez oś obrotu wału i osie ciężarków ma być równy  $0^\circ$ . Płaszczyzny pomiarowe należy lokalizować możliwie najbliżej wsporników łożysk (lokalizacja A), oraz tarcz wirnika (lokalizacja B), jak pokazano na rys.3.20.b.

W konfiguracji II do tarcz wirnika przymocowanych zgodnie ze schematem przedstawionym na rys.3.21.a należy wkręcić po jednym ciężarku o masie 2 g, przy czym kąt jaki tworzą proste przechodzące przez oś obrotu wału i osie ciężarków ma wynosić  $180^\circ$ . Płaszczyzny pomiarowe należy usytuować zgodnie ze schematem przedstawionym na rys.3.21.b (lokalizacja A oraz B).



Rys. 3.20. Konfiguracja I układu Rotor-Kit.

- c) Schemat rozmieszczenia łożysk i mas wirujących.
- d) Usytuowanie płaszczyzn pomiarowych (I-A, I-B).



Rys.3.21. Konfiguracja I układu Rotor-Kit.

- a) Schemat rozmieszczenia łożysk i mas wirujących.
- b) Usytuowanie płaszczyzn pomiarowych (II-A, II-B).

Dla obydwu konfiguracji układu Rotor-Kit pomiary drgań względnych wału należy przeprowadzić przy prędkościach obrotowych w zakresie od 600 do 3600 obr/min. Korzystając z systemu ADRE, należy z wykresów biegunowych (Polar) odczytać wartości amplitudy ( $D_{pp}$ ) i fazy ( $\varphi$ ) pierwszej harmonicznej przemieszczenia drgań dla prędkości minimalnej, maksymalnej i prędkości, przy której wystąpią maksymalne amplitudy drgań. Wyniki te należy umieścić w tabelach pomiarowych (Tab.1 oraz Tab.3.) .  
Informacje dotyczące dokonywania pomiarów drgań za pomocą systemu ADRE zawarte są w Instrukcji obsługi systemu [7].

Na podstawie uzyskanych wyników należy:

- przedstawić w postaci wykresów słupkowych amplitudy drgań zmierzone w takcie ćwiczenia,
- obliczyć (wg zależności 1) względne procentowe zmiany amplitud mierzonych drgań wynikające ze zmiany usytuowania płaszczyzn pomiarowych (osobno dla pomiarów realizowanych w kierunku pionowym i poziomym ),

$$\delta_D = \frac{D_{pp_{max}} - D_{pp_{min}}}{D_{pp_{max}}} \cdot 100\% \quad 1)$$

- omówić w jaki wpływ na mierzone wartości amplitudy i fazy drgań miała zmiana lokalizacji płaszczyzn pomiarowych .

Tab.3. Konfiguracja I - zestawienie wyników pomiarów.

Prędkość obrotowa wirnika	Lokalizacja płaszczyzny pomiarowej (kierunek pomiaru)	Amplituda pierwszej harmonicznej				Faza pierwszej harmonicznej				UWAGI
		1 (pion)	1 (poziom)	2 (pion)	2 (poziom)	1 (pion)	1 (poziom)	2 (pion)	2 (poziom)	
		$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	
600 obr/min	I-A									
	I-B									
..... obr/min	I-A									
	I-B									
3600 obr/min	I-A									
	I-B									

Tab.3. Konfiguracja II - zestawienie wyników pomiarów.

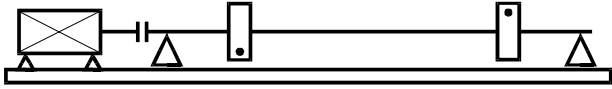
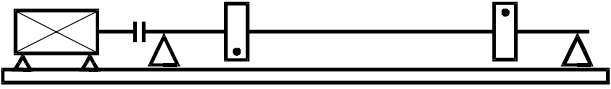
Prędkość obrotowa wirnika	Lokalizacja płaszczyzny pomiarowej (kierunek pomiaru)	Amplituda pierwszej harmonicznej				Faza pierwszej harmonicznej				UWAGI
		1 (pion)	1 (poziom)	2 (pion)	2 (poziom)	1 (pion)	1 (poziom)	2 (pion)	2 (poziom)	
		$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$D_{pp}$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	$\varphi$ [ $^{\circ}$ ]	
600 obr/min	II-A									
	II-B			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>	
..... obr/min	II-A									
	II-B			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>	
3600 obr/min	II-A									
	II-B			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>			<del>XXXX</del>	<del>XXXX</del>	



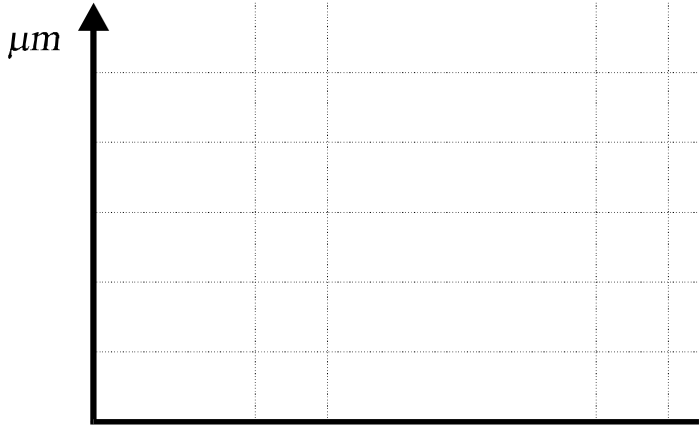
KONFIGURACJA II

LOKALIZACJA A

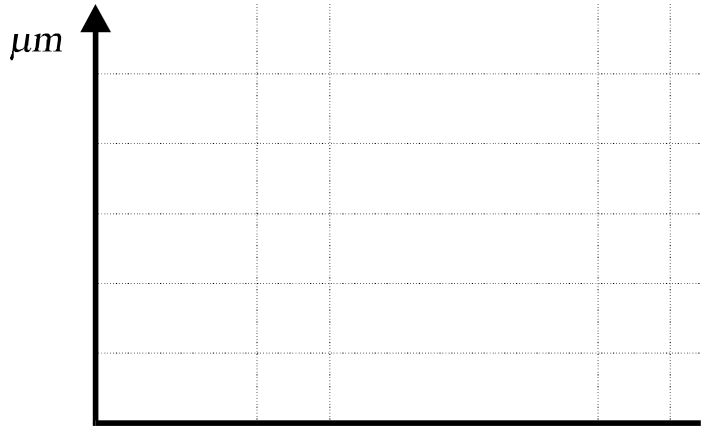
LOKALIZACJA B



KIERUNEK POZIOMY



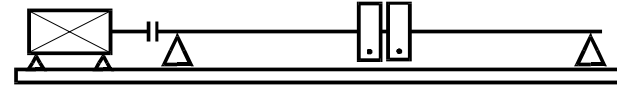
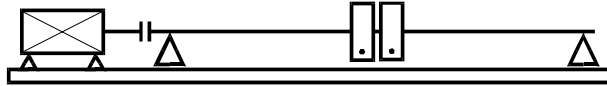
KIERUNEK PIONOWY



KONFIGURACJA I

LOKALIZACJA A

LOKALIZACJA B



KIERUNEK POZIOMY



KIERUNEK PIONOWY





