

Wykonanie pomiarów sygnałów wibroakustycznych przy stałych oraz zmiennych warunkach eksploatacyjnych na stanowisku testowym

Autorzy: Urbanek J., Jabłoński A., Barszcz T

Sprawozdanie z wykonania zadania nr 4 projektu badawczego IP2012 061572 pt. „Opracowanie nowatorskich narzędzi analizy sygnałów wibroakustycznych generowanych przez maszyny wirnikowe pracujące w ekstremalnie zmiennych warunkach operacyjnych”

Dokument zawiera opis przeprowadzonych pomiarów sygnałów drganiowych na stanowisku badawczym. W dokumencie zawarto kompletną specyfikację aplikacji akwizycji w środowisku LabVIEW, zilustrowano wykonany program oraz przedstawiono wygenerowaną bibliotekę sygnałów pomiarowych.

Spis treści

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Wprowadzenie | 2 |
| 1.1 | Informacje ogólne | 2 |
| 1.2 | Wybrane elementy konfiguracji..... | 4 |
| 2 | Wymagania aplikacyjne | 5 |
| 2.1 | POMIARY DLA USTALONYCH CHWIŁOWYCH WARTOŚCI PROCESOWYCH..... | 5 |
| 2.1.1 | Rozpoczęcie i zakończenie pomiarów..... | 5 |
| 2.1.2 | Kanały pomiarowe, próbkowanie i długość przebiegów | 5 |
| 2.1.3 | Schemat zapisu plików | 6 |
| 2.1.4 | Format pliku | 7 |
| 2.1.5 | Tabela pomiarów | 7 |
| 2.1.6 | Informacje dodatkowe..... | 7 |
| 2.1.7 | Zapis wartości procesowych | 8 |
| 2.1.8 | Zapis estymat wolnozmiennych..... | 8 |
| 2.2 | POMIARY DLA ZMIENNYCH WARTOŚCI PROCESOWYCH | 10 |
| 3 | Aplikacja w środowisku LabVIEW..... | 12 |
| 3.1 | Okno inicjacji pomiarów | 12 |
| 3.2 | Okno wysyłania parametrów wejściowych do sterownika..... | 13 |
| 3.3 | Okno odczytu danych..... | 14 |
| 3.4 | Okno zapisu danych | 15 |
| 3.5 | Okno konfiguracji powtórzenia sesji..... | 16 |
| 3.6 | Okno ilustracji pomiarów analiz szerokopasmowych RMS..... | 17 |
| 4 | Wyniki pomiarów | 18 |
| 4.1 | Dane techniczne łożyska | 18 |
| 4.2 | Uszkodzenie rzeczywiste łożyska YAR204-2F..... | 19 |
| 4.3 | Biblioteka sygnałów drgań i sygnałów procesowych | 19 |
| 5 | Obserwacje i wnioski | 22 |
| 5.1 | Obserwacje z pomiarów..... | 22 |
| 5.1.1 | Prędkość obrotowa silnika napędowego | 22 |
| 5.1.2 | Obciążenie silnika hamującego | 22 |
| 5.1.3 | Sygnały drgań – przebiegi czasowe..... | 23 |
| 5.1.4 | Sygnały drgań – estymaty szerokopasmowe | 26 |
| 5.2 | Wnioski końcowe | 28 |
| 6 | Bibliografia | 28 |
| | APPENDIX A..... | 29 |

1 Wprowadzenie

Celem zadania jest przeprowadzenie serii pomiarów drgań na stanowisku laboratoryjnym przy stałych oraz zmiennych warunkach eksploatacyjnych. Zebrane dane, po przetworzeniu wstępnym posłużą do opracowywania modelu matematycznego nowej klasy sygnałów w trakcie realizacji kolejnych zadań projektu. Aby zrealizować zadanie 4., zespół badawczy przeprowadził poniższe czynności:

- ✓ Opracowanie specyfikacji oprogramowania do komunikacji ze sterownikiem urządzenia przez protokół komunikacyjny Modbus
- ✓ Opracowanie specyfikacji oprogramowania do rejestracji danych pomiarowych w środowisku LabVIEW
- ✓ Opracowanie procedury i implementacja automatycznej klasyfikacji sygnałów drgań względem zmieniających się wartości chwilowych parametrów procesowych
- ✓ Opracowanie procedury automatycznej klasyfikacji sygnałów drgań
- ✓ Opracowanie oprogramowania implementującego procedurę automatycznej klasyfikacji sygnałów drgań w środowisku LabVIEW.
- ✓ Przeprowadzenie testów i dostrojenie oprogramowania do automatycznej klasyfikacji sygnałów drgań pod względem zmieniających się chwilowych wartości parametrów procesowych.
- ✓ Przeprowadzenie serii pomiarów na stanowisku badawczym przy zmiennym stanie dynamicznym obiektu
- ✓ Opracowanie oprogramowania do automatycznej konwersji zebranych sygnałów do standardowych formatów danych
- ✓ Opracowanie interfejsu graficznego do automatycznej ekstrakcji sygnałów względem zadanych wartości parametrów procesowych
- ✓ Opracowanie biblioteki zebranych sygnałów w formie bazy danych

1.1 Informacje ogólne

Pomiary przeprowadzono w dniach od 07-sty-2014 do 23-sty-2014 na stanowisku „Vibstand 2”. Do pomiarów użyto 4-kanalowej karty akwizycji National Instruments 9233 przedstawionej na Rysunku 1.



Rys. 1. Karta pomiarowa National Instruments

Podstawowe parametry jednostki akwizycji:

- rozdzielczość 24 bity
- zakres pomiaru 102dB
- 4 kanały analogowe
- akwizycja ciągła
- wbudowany filtr antyaliasingowy
- wyjście USB typu A
- częstotliwość próbkowania 50 kHz
- zakres wejściowy ± 5 V

Do pomiarów użyto 3 czujników typu VIS – 311B przedstawionych na rysunku 2.



Rys. 2. Czujnik pomiarowy VIS-311 B

Podstawowe parametry czujnika drgań:

- czułość (± 5 %) 100 mV/g; 10.2 mV/g
- zakres pomiarów ± 50 g; ± 490 m/s²
- częstotliwość rezonansowa 30 kHz
- szczelność IP68
- zakres częstotliwości (± 3 dB) 0.2 - 15000 Hz
- nieliniowość ± 1 %
- czułość skrośna ≤ 5 %
- maksymalny udar 49050 m/s² pk
- czas ustalenia ≤ 5.0 sec

- stała czasowa rozładowania ≥ 0.8 sec
- napięcie zasilania 18 to 28 VDC
- prąd zasilania 2 to 20 mA
- impedancja wyjściowa < 100 ohm
- szum widmowy (10 Hz) $4.0 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
- szum widmowy (100 Hz) $0.8 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
- szum widmowy (1 kHz) $0.4 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
- wymiary 22 m m x 52.3 mm
- waga 94 g

1.2 Wybrane elementy konfiguracji

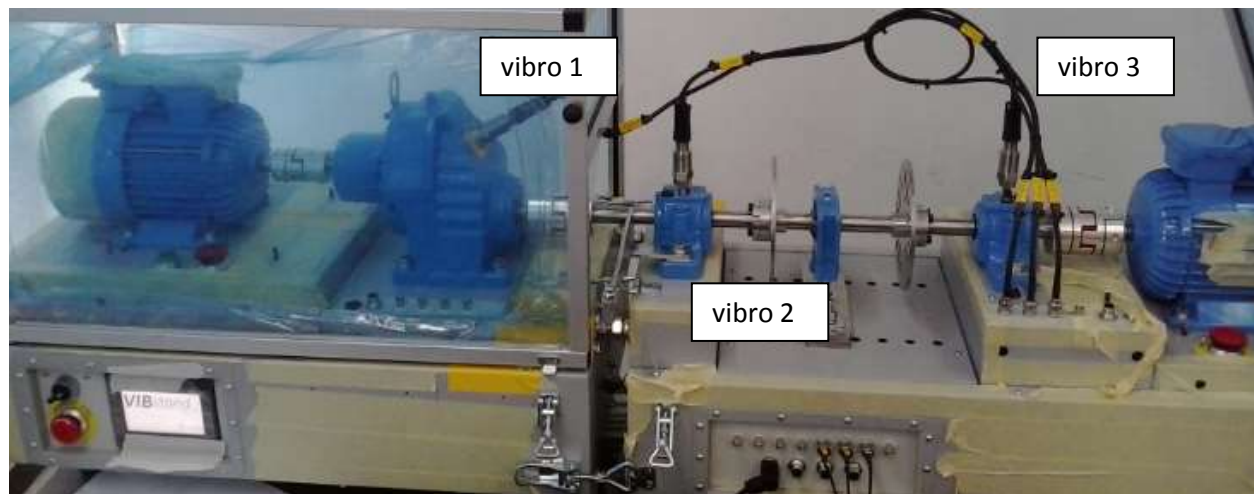
Stanowisko ma podłączone 3 czujniki drgań, znacznik fazy oraz wszystkie odczytywane kanały procesowe z Modbusa (z wyłączeniem dwóch wartości nastawianych).

Kanały „vibro”:

„vibro 1” (VIS – 311B) – obudowa przekładni,

„vibro 2” (VIS – 311B) – obudowa łożyska od strony napędu,

„vibro 3” (VIS – 311B) – obudowa łożyska od strony silnika hamującego.



Rys. 3. Lokalizacja czujników drgań na stanowisku pomiarowym

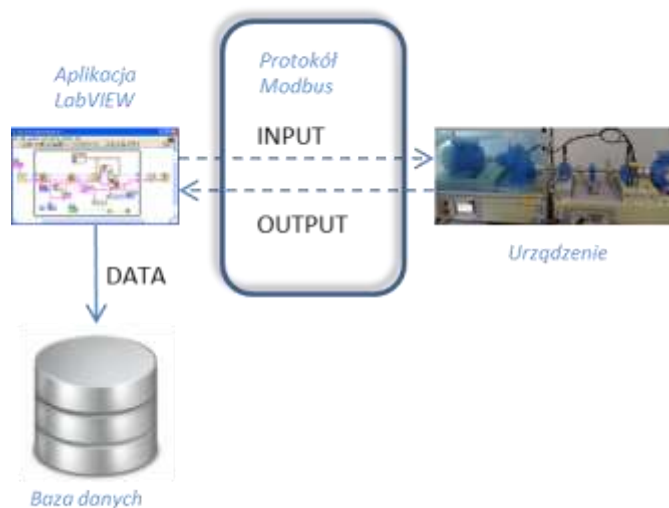
Stanowisko jest sterowane sygnałami wysyłanymi do urządzenia protokołem Modbus z aplikacji napisanej w środowisku LabView. Szczegóły harmonogramu opisano w rozdziale 2. Przebiegi są rejestrowane z długościami 0.4 s i 1 s. Dodatkowo, w fazie uzupełniającej, po usunięciu usterek układu sterującego, zebrane zostaną przebiegi rozbiegu i wybiegu. Wszystkie kanały są obsługiwane synchronicznie.

2 Wymagania aplikacyjne

2.1 POMIARY DLA USTALONYCH CHWILOWYCH WARTOŚCI PROCESOWYCH

2.1.1 Rozpoczęcie i zakończenie pomiarów

Pomiary wykonywane są od przycisku „START” do przycisku „STOP” lub do średniej prędkości z ostatniej sekundy (ew. innego czasu) równej zero. Pomiary uruchamia się ręcznie (ew. zdalnie) przyciskiem „START”.



Rys.4. Schemat komunikacji aplikacji z urządzeniem

Dzięki zastosowaniu kompatybilnego środowiska programistycznego LabVIEW z jednostką akwizycji National Instruments, możliwe było uzyskanie synchronicznego wyzwalania sygnałów sterujących oraz akwizycji sygnałów drgań z poziomu pojedynczej aplikacji, co przedstawiono na Rysunku 4. Za pomocą aplikacji, komputer wysyła sygnały sterujące prędkością obrotową i obciążeniem do sterownika urządzenia protokołem Modbus. Po uzyskaniu stanu ustalonego (około 3 sekund), aplikacja pobiera dane procesowe oraz przebiegi drgań z 3 kanałów i znacznika fazy rejestrowanych równolegle. Skompletowane sygnały z każdej sesji są zapisywane do osobnych, iterowanych folderów.

2.1.2 Kanały pomiarowe, próbkowanie i długość przebiegów

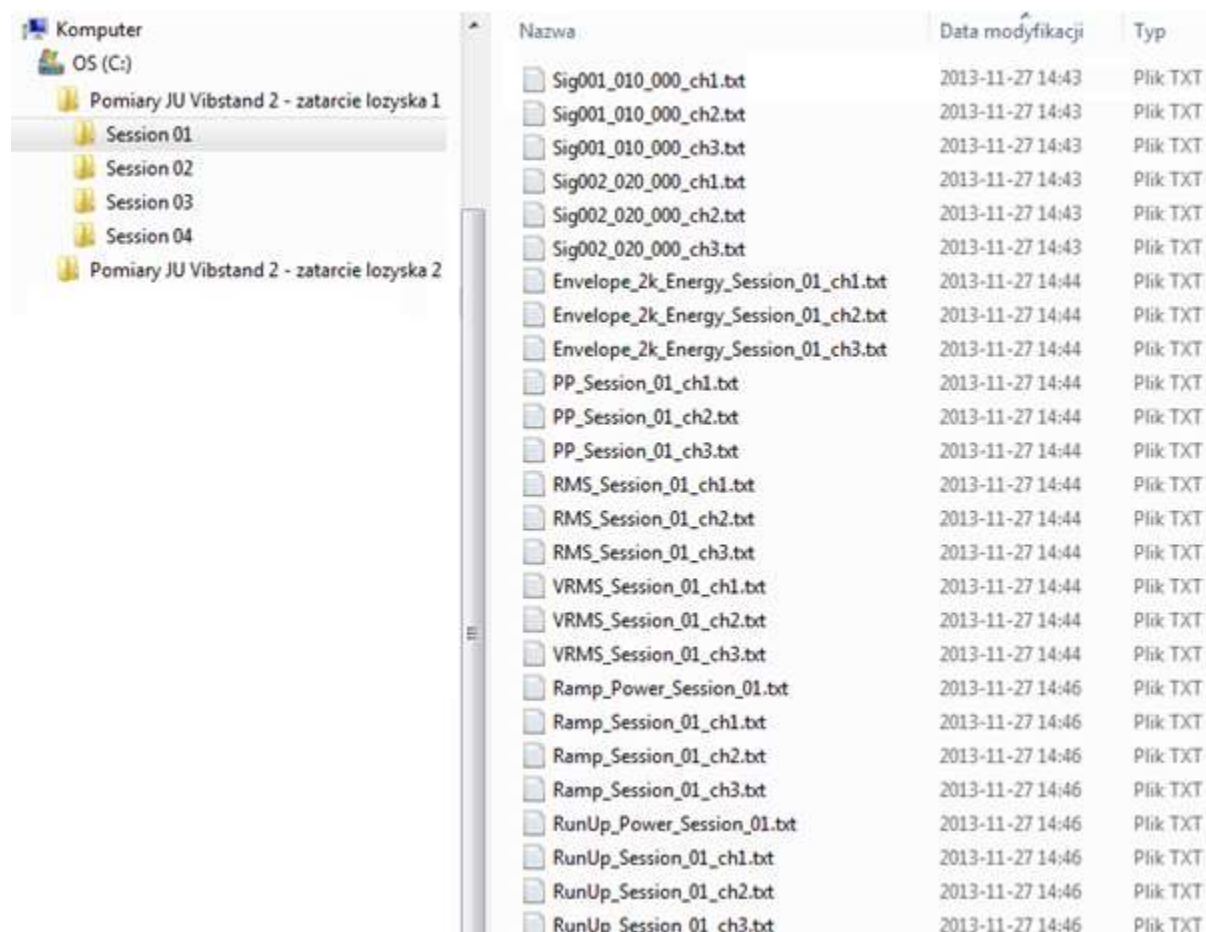
Pomiary przeprowadzone są dla N kanałów drgań (najmniej 3) + 1 kanał KF, rejestrowanych równolegle. Pomiary rejestrowane są w paczkach 1 sekundowych dla wszystkich kanałów drgań z częstotliwością $f_s = 25$ kHz. Jeśli jest to możliwe należy użyć $f_s = 50$ kHz. Zapisywane są tylko kompletne paczki 1-sekundowe.

2.1.3 Schemat zapisu plików

Przed uruchomieniem programu, użytkownik wybiera ścieżkę, gdzie będą zapisywane pomiary. Użytkownik wybiera folder, w którym będą tworzone foldery sesji. W każdym folderze sesji zapisywane będą kolejne pliki. Folder sesji tworzony jest w przypadku, gdy:

- we wskazanej ścieżce nie ma folderu sesji,
- program zakończył „wykonywać tabelkę”¹ i wykona ją ponownie.

Każdy z pomiarów, czyli np. 3 x po 1 sekund dla każdego kanału vibro zapisywany jest w osobnych plikach tekstowych, wg. Rysunku 5.



| Nazwa | Data modyfikacji | Typ |
|---------------------------------------|------------------|----------|
| Sig001_010_000_ch1.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Sig001_010_000_ch2.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Sig001_010_000_ch3.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Sig002_020_000_ch1.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Sig002_020_000_ch2.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Sig002_020_000_ch3.txt | 2013-11-27 14:43 | Plik TXT |
| Envelope_2k_Energy_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| Envelope_2k_Energy_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| Envelope_2k_Energy_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| PP_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| PP_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| PP_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| RMS_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| RMS_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| RMS_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| VRMS_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| VRMS_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| VRMS_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:44 | Plik TXT |
| Ramp_Power_Session_01.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| Ramp_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| Ramp_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| Ramp_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| RunUp_Power_Session_01.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| RunUp_Session_01_ch1.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| RunUp_Session_01_ch2.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |
| RunUp_Session_01_ch3.txt | 2013-11-27 14:46 | Plik TXT |

Rys.5 Schemat przykładowych danych

¹ Opisane w dalszej części.

Nazwa pliku tekstowego składa się z:

Sig<liczba² od 1 do 1000>_<wartość RPM³>_<wartość mocy⁴>_ch<cyfra kanału⁵><nazwa kanału⁶>.txt

2.1.4 Format pliku

Każda seria z kanału drgań zapisywana jest w pliku tekstowym według wzorca poniżej. W nawiasach <> zaznaczono pola dynamiczne. Po znaku „//” znajdują się komentarze.

```
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”7
Number <005> // numeracja plików w sesji
Channel_Name <Accel1_MB> // ta sama nazwa kanału tu i w nazwie pliku!
Unit g
Resolution <24>
Sampling_Rate <25000>
Gain <5> // należy ustawić indywidualnie na 20%!
Range <5000>
Sensitivity <100>
Timestamp.UTC <2013-11-19 14:23:00.366> // początek akwizycji
Kinematic Vibstand 2
Average RPM <425.22> // średnia prędkość dla tego pomiaru
Average power <250.21> // średnia moc dla tego pomiaru
DATA
275818 // dane jako SHORT (np. uint16, uint 24), KF na najmłodszym bicie
-347886
-190056
158376
410446
71474
...
```

2.1.5 Tabela pomiarów

Pomiary wykonywane są wyłącznie w trybie automatycznym wg. tabeli zbudowanej z mocy w zakresie 0:10:100% i prędkości w zakresie 10:10:100%, łącznie 110 komórek, czyli pomiarów/przebiegów przypadających na kompletną sesję. W danym folderze nadrzędnym tylko jedna sesja może być niekompletna (mniej niż 110 plików). Kierunek wykonania tabeli jest dowolny, rosnący.

2.1.6 Informacje dodatkowe

Jeśli będzie taka potrzeba, sesje będzie można przenieść do katalogu np: „Test_1 – łożysko do zatarcia” – folder nadrzędny.

² Kolejna liczba czterocyfrowa, np. 0001, 0050, 9999.

³ Liczba trzycyfrowa, wartość RPM w procentach, np. 010, 020, 100.

⁴ Liczba trzycyfrowa, wartość mocy w procentach, np. 010, 020, 100.

⁵ Cyfra od 1 do *N*.

⁶ Dodatkowa opisowa nazwa użytkownika kanału, np. „_PG” lub „_bearing_motor”.

⁷ Opisane w dalszej części.

2.1.7 Zapis wartości procesowych

Wartości średnich prędkości oraz mocy są zapisywane dodatkowo w 2 plikach o nazwach:

RPM_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>.txt,
Power_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>.txt.

Wartości są zapisywane jako średnia wartość parametrów procesowych z pracy maszyny odpowiadającej rejestracji N przebiegów (N kanałów), czyli każda wartość w kolumnie DATA obliczana jest np. z 10 sekund. W konsekwencji, w kolumnie DATA jest tyle wartości, ile jest zarejestrowanych przebiegów vibro.

Każdy z plików zapisywany jest w formacie:

```
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”
Unit <RPM> // albo <Nm>
Averaging_Time <10> // równy długości skorelowanych vibro
Kinematic Vibstand 2
TIMESTAMP DATA
7.023232e48 723.34
7.234343e4 724.23
... ..
```

2.1.8 Zapis estymat wolnozmiennych

Dla każdego zapisu danych (N kanałów), zapisywane są wartości wolnozmiennych. Wartości estymat wolnozmiennych są zapisywane dodatkowo w $4 \times N$ plików o nazwach:

PP_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>_ch<cyfra kanału><nazwa kanału>.txt,
RMS_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>_ch<cyfra kanału><nazwa kanału>.txt,
VRMS_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>_ch<cyfra kanału><nazwa kanału>.txt,
Envelope_2k_Energy_Session_<numer sesji, dwucyfrowy>_ch<cyfra kanału><nazwa kanału>.txt.

Wartości są zapisywane na podstawie algorytmów z sygnałów z pracy maszyny odpowiadającej rejestracji N przebiegów (N kanałów), czyli każda wartość w kolumnie DATA obliczana jest np. z 10 sekund. W konsekwencji, w kolumnie DATA jest tyle wartości, ile jest zarejestrowanych przebiegów vibro.

Pliki zapisywane są w indywidualnym formacie:

1. PP

```
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”
Unit g
Averaging_Time <10> // równy długości skorelowanych vibro
Kinematic Vibstand 2
TIMESTAMP DATA
7.023232e4 723.34
7.234343e4 724.23
```

⁸ Timestamp może być również jako string, np. 2013-Jun-01 12:34:33.937, wartość równa początkowi akwizycji przebiegów vibro

```
...
...

2. RMS
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”
Unit g
Averaging_Time <10> // równy długości skorelowanych vibro
Kinematic Vibstand 2
TIMESTAMP DATA
7.023232e4 723.34
7.234343e4 724.23
...

3. VRMS
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”
Unit mm/s
Averaging_Time <10> // równy długości skorelowanych vibro
HP cutoff 10 Hz
Range Min 10 Hz
Range Max 1000 Hz
Scale factor 9810
Kinematic Vibstand 2
TIMESTAMP DATA
7.023232e4 723.34
7.234343e4 724.23
...

4. Envelope 2k Energy
Session <01> // sesja to „wykonanie całej tabeli”
Unit g
Averaging_Time <10> // równy długości skorelowanych vibro
Range Min 2000 Hz
Range Max <12500> // fs/2
Kinematic Vibstand 2
TIMESTAMP DATA
7.023232e4 723.34
7.234343e4 724.23
...
...
```

Dodatkowo, należy umożliwić podgląd wartości procesowych i wartości wolnozmiennych przez program w trakcie trwania sesji.