

 VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ		Předmět <b>Měření fyzikálních veličin</b>	
		Jméno <b>Pavel Langr</b>	
		Ročník <b>3.</b>	Studijní skupina <b>BKA/01</b>
		Spolupracoval <b>Roman Lebeda</b>	Měřeno dne <b>5.3.2011</b>
Kontroloval		Hodnocení	Dne
Číslo úlohy <b>1</b>	Název úlohy <b>Monitorování vibrací na valivých ložiscích</b>		

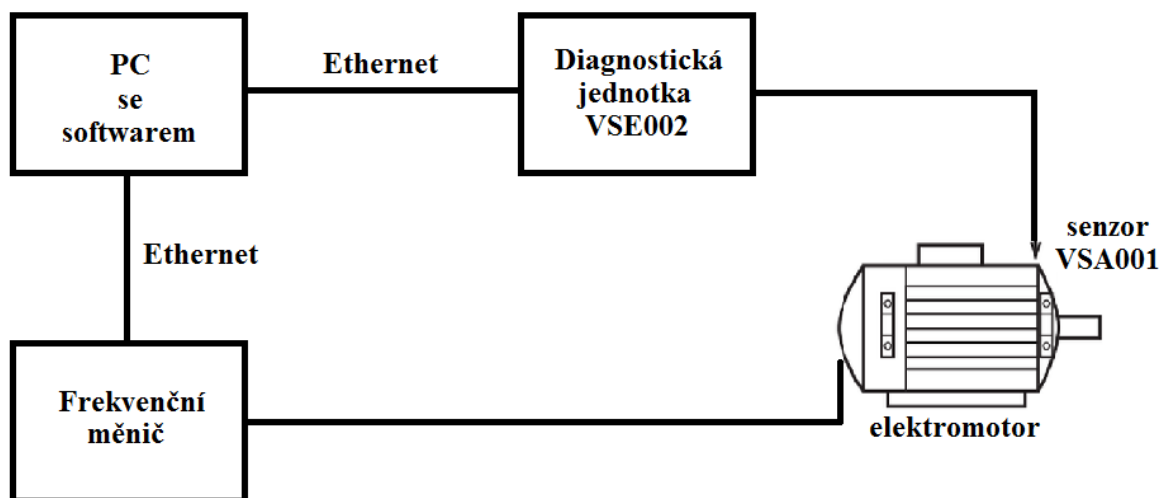
#### Zadání:

- 1) Nastavte měřicí řetězec podle pokynů v postupu měření
- 2) Proveďte měření vibrací při 233 ot./min, 465 ot./min, 930 ot./min. a 1020 ot./min.
- 3) Porovnejte výstupy programu s naměřeným frekvenčním spektrem
- 4) Vyhodnoťte stav ložiska, stanovte pásmo ve kterém se ložisko nachází

#### Použité přístroje:

- kapacitní senzor vibrací IFM electronic VSA001
- vyhodnocovací jednotka IFM electronic VSE002
- ss zdroj 24V
- elektromotor MEZ 4AP90L-6 s ložisky 6205
- frekvenční měnič PowerFlex 700 VC
- PC se softwarem: Efektor octavis, RSLinx, VSExxxUpdate tool, Drive explorer

### Blokové schéma měřicího řetězce:



Obr. 1 – Blokové schéma měřicího řetězce

### Teoretický rozbor:

#### Měření vibrací podle normy ČSN ISO 10816

Norma ČSN ISO 10816 ustavuje obecná pravidla pro měření a vyhodnocování vibrací strojů. Tyto vibrace jsou měřeny na nerotujících částech, zejména pak na ložiscích. Měření podle této normy je základem pro vyhodnocení provozních podmínek a pro přejímací zkoušky strojů. Hodnocení provozních podmínek strojů je nezbytné pro zajištění co nejdelšího bezporuchového a bezpečného provozu, jakožto i pro plánování servisu a oprav při zjištění jakýchkoliv závad.

Norma stanovuje, že měření je zásadně širokopásmové, a to takové aby byl pokryt celý frekvenční rozsah konkrétního měřeného stroje. Měřené veličiny potom podle normy jsou výchylka vibrací, rychlost vibrací a zrychlení vibrací. V praxi se pro vyhodnocování vibrací používá zejména efektivní hodnota rychlosti vibrací díky svému vztahu s energií těchto vibrací. Nicméně lze použít i ostatní dvě veličiny (špičková hodnota výchylky nebo zrychlení), avšak za cenu složitějších vztahů k hodnotícím kritériím, která jsou založena na efektivních hodnotách.

Velikost vibrací je naměřená hodnota na daném měřicím místě a daném směru. Protože se měření provádějí na více místech a ve více směrech, výsledkem je souhrn naměřených hodnot. Nejvyšší naměřenou hodnotu z tohoto souboru potom nazýváme mohutnost vibrací. Mohutnost ve většině případů popisuje situaci stroje po stránce vibrací.

Jako měřicí místa se doporučuje používat samotná ložiska, konstrukce uložení ložisek nebo taková místa, kde naměřené hodnoty budou odpovídat skutečným vibracím stroje. Pro přejímací zkoušky stroje je nutné provádět měření ve třech navzájem kolmých směrech, při běžném provádění provozního monitorování vibrací pak postačuje provedení jednoho nebo lépe dvou

měření v radiálním směru. Pokud jsou však měřeny vibrace u axiálních ložisek, je vhodnější měřit ve směru axiálním.

Pro posouzení mohutnosti vibrací jsou směrodatná dvě kritéria, prvním je velikost vibrací, druhým kritériem je velikost změny vibrací.

Pro posuzování kritéria velikosti vibrací norma zavádí pásma a meze hodnocení. Tyto pásma se liší pro jednotlivé kategorie strojů, tak jak je norma definuje, a vycházejí z maximálního přípustného dynamického zatížení ložisek a stroje samotného. Pásmo A je takové, ve kterém by se měly stroje nacházet při začátku provozu – tj. nové stroje. Stroje, jejichž vibrace leží v pásmu B, norma označuje jako stroje, které mohou být provozovány po neomezeně dlouhou dobu. Stroje ležící v pásmu C již nejsou vhodné pro dlouhodobý provoz a vyžadují opravu. Pásmo D potom zahrnuje vibrace strojů vyloženě nebezpečných při provozu.

Jednotlivé meze jsou stanoveny tak, aby pásmo vibrací, ve kterém se stroj nachází, odráželo skutečný stav bez ohledu na použitý typ ložisek. K zařazení do těchto pásem se využívá měření efektivní hodnoty rychlosti vibrací, což ve většině případů postačuje. Vyžití samotné rychlosti bez frekvence ale může vést k značným výchylkám vibrací – např. pro pomaloběžné stroje. Naopak u strojů s vysokými otáčkami to může mít za následek velké zrychlení. Proto norma stanovuje frekvenční rozsah, ve kterém je zavedeno kritérium konstantní rychlosti (obr. 12 rozmezí  $f_x - f_y$ ), pod a nad tímto frekvenčním rozsahem je přípustná rychlost vibrací funkcí frekvence. U naprosté většiny strojů se setkáváme s tím, že vibrace mají jedinou frekvenční složku stanovenou rychlostí rotace rotační části stroje.

Jednotlivé třídy strojů jsou podle normy rozděleny následovně:

**Třída I:** Typicky elektrické motory s výkonem maximálně 15 kW (motor laboratorní úlohy)

**Třída II:** Elektrické motory s výkonem 15 až 75 kW a motory a stroje s výkonem do 300 kW připevněné na speciálních základech

**Třída III:** Velké pohonné jednotky s rotačními částmi, připevněné na pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření vibrací tuhé

**Třída IV:** Velké pohonné jednotky s rotačními částmi, připevněné na pevných a těžkých základech, které jsou ve směru měření měkké (jako příklad se uvádí plynové turbíny a generátory s výkonem větším než 10 MW).

<b>Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]</b>	<b>Třída I</b>	<b>Třída II</b>	<b>Třída III</b>	<b>Třída IV</b>
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,80				
2,80	C	C	C	C
4,50				
7,10	D	D	D	D
11,20				
18,00				
28,00				
45,00				

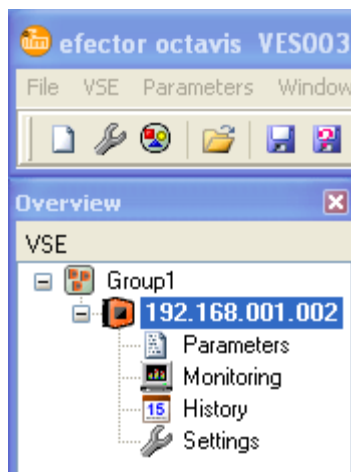
**Tab. 1 – Pásma vibrací pro jednotlivé skupiny strojů**

#### Frekvenční analýza vibrací

Jestliže známe přesné parametry měřeného ložiska, je možné pomocí analýzy signálu vibrací a jeho jednotlivých frekvenčních složek poměrně přesně určit případný typ a povahu závady tohoto ložiska. Obálková metoda vychází z výše popsaného jevu vzniku rázů při rotaci ložiska, rázy vznikají kontaktem s poškozenou částí. Detekovaný signál je nejdříve filtrován (filtrují se zejména nízkofrekvenční složky, které neukazují na samotné poškození ložisek) a potom vyhlazen. Touto metodou lze nejen detekovat poškození, ale ve spojení s rychlou Fourierovou transformací (FFT) aplikovanou na signál lze i určit konkrétní místo poškození ložiska (valivý element, vnější nebo vnitřní kroužek, klec).

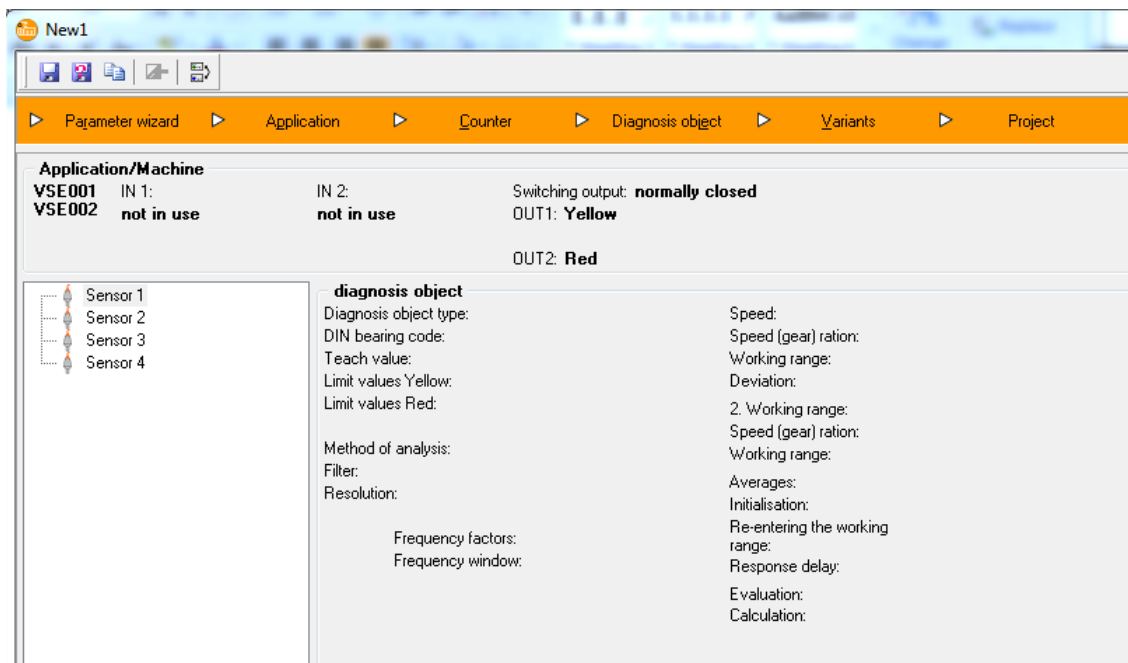
#### **Postup měření:**

- 1) Spustíte program Efektor octavis. Provedte spojení s diagnostickou jednotkou. Nastavení spojení s jednotkou je možné přes položku hlavního menu Sensor -> New -> VSE. Tato volba otevře okno, ve kterém postupně volíme typ spojení, IP adresu (192.168.0.2) a port (2231). Po zadání správných údajů je možné se s jednotkou spojit, spojení je indikováno v okně Overview, v části Group (obr. 4).

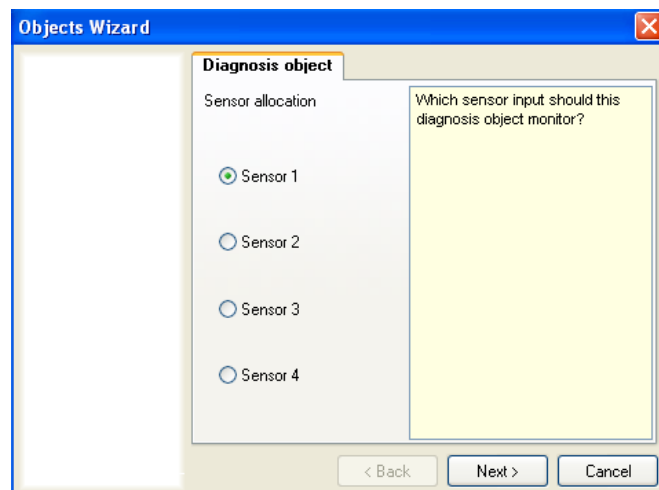


**Obr. 4 – Indikace spojení s diagnostickou jednotkou**

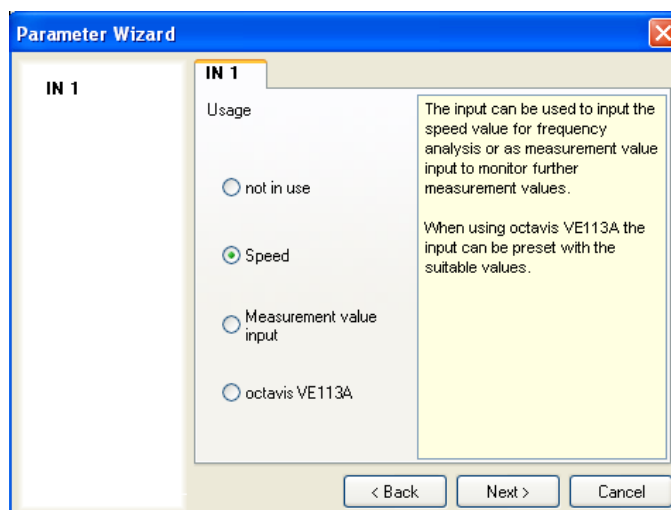
- 2) Nastavte parametry měření. Nastavení měření se provede zvolením položky Parameter wizard v hlavním okně aplikace (obr. 5). V nově otevřeném okně je potřeba postupně vyplnit senzor, který budeme monitorovat (Sensor 1, obr. 6), použití (rychlost, obr. 7), zdroj (proudová smyčka 0-20 mA, obr. 8), nejnižší a nejvyšší referenční hodnoty proudu a odpovídající rychlosti (0/20 mA a 0-930 ot./min., obr. 9 a 10).



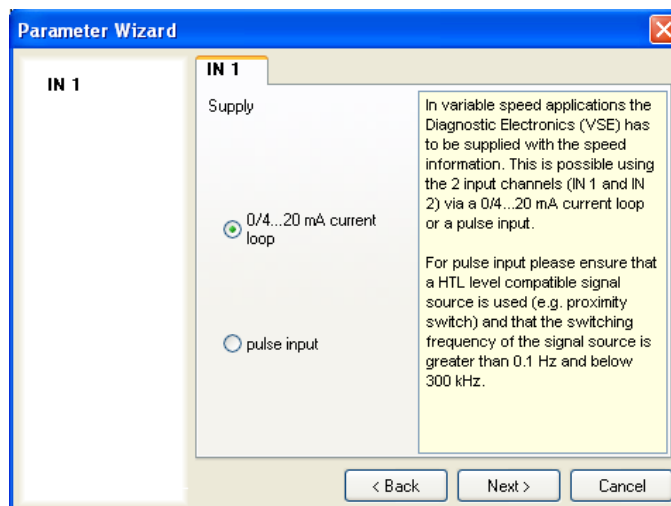
**Obr. 5 – Hlavní okno aplikace**



**Obr. 6 – Výběr monitorovaného senzoru**



**Obr. 7 – Výběr použití senzoru**



**Obr. 8 – Výběr zdroje senzoru**

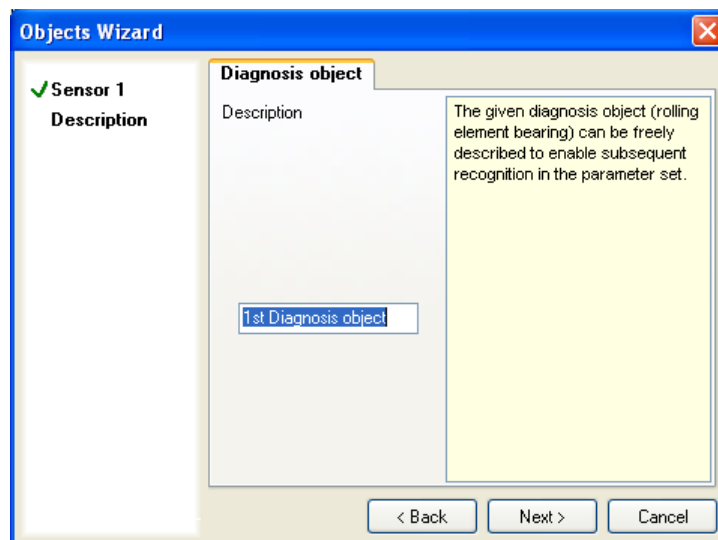
The screenshot shows the 'Parameter Wizard' dialog box with the 'IN 1' tab selected. The 'Lowest reference point' section is active. It contains two input fields: 'Current' with a value of 0 mA and 'Speed' with a value of 0 rpm. To the right of these fields is a yellow information box with the following text: 'Two pairs of values (current, speed) calibrate the speed input. Input the lower reference point of the current flow for the 0/4...20 mA current loop at the corresponding speed. Current: The permissible input value is between 0 and 19.999 mA. Speed: The permissible input value is between 0 and 500000 rpm.' At the bottom of the dialog are three buttons: '< Back', 'Next >', and 'Cancel'.

**Obr. 9 – Výběr nejnižší referenční hodnoty**

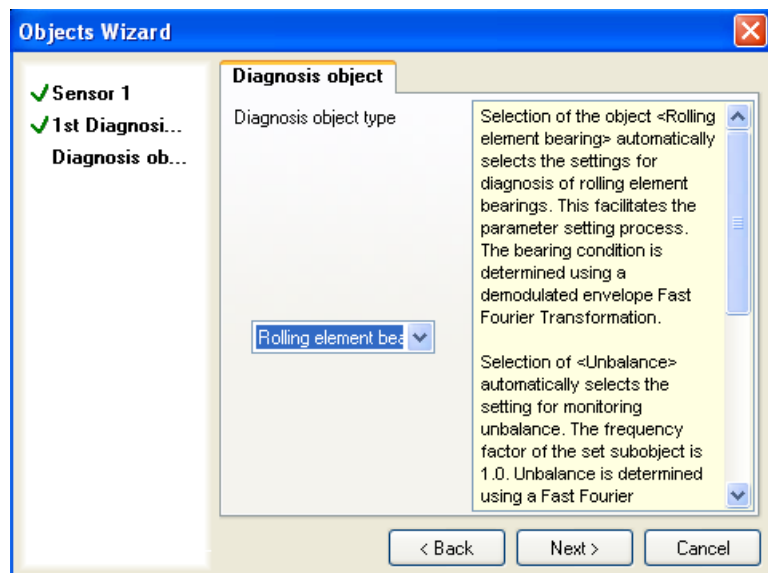
The screenshot shows the 'Parameter Wizard' dialog box with the 'IN 1' tab selected. The 'Highest reference point' section is active. It contains two input fields: 'Current' with a value of 20 mA and 'Speed' with a value of 930 rpm. To the right of these fields is a yellow information box with the following text: 'Input the upper reference point of the current flow for the 0/4...20 mA current loop at the corresponding speed. Current: The permissible input value is between 0.001 and 20 mA. Speed: The permissible input value is between 0 and 500000 rpm.' At the bottom of the dialog are three buttons: '< Back', 'Next >', and 'Cancel'.

**Obr. 10 – Výběr nejvyšší referenční hodnoty**

Dalším krokem je nastavení ložiska, které provedeme zvolením položky Diagnosis object na hlavní obrazovce. V průvodci zadáme jméno diagnostického objektu (obr. 11), typ diagnostického objektu (valivé ložisko, obr. 12), konkrétní typ ložiska (obr. 13, 6205), zdroj rotační rychlosti (obr. 14), typickou rychlost (obr. 15) a volbu potvrdíme (obr. 16). Po úspěšném nastavení jsou všechny údaje shrnuty na hlavní obrazovce aplikace.



Obr. 11 – Výběr jména objektu



Obr. 12 – Výběr typu objektu



**Objects Wizard**

DIN bearing code: manual input

DIN Bearing code: 6205

Search result

Search

DIN Bearing...	Manufacturer	Inner race	Outer race	Rolling elem...	Balls
<input type="checkbox"/> 6205	NTN	5.415	3.585	4.717	9
<input checked="" type="checkbox"/> 6205	SKF	5.415	3.585	4.715	9
<input type="checkbox"/> 6205	KOYO	5.416	3.584	4.71	9
<input type="checkbox"/> 6205	ZKL	5.415	3.585	4.715	9
<input type="checkbox"/> 6205	SNR	5.423	3.576	4.67	9
<input type="checkbox"/> 6205.Z15...	FAG	5.435	3.565	4.605	9
<input type="checkbox"/> 6205.ZR....	FAG	5.43	3.57	4.631	9
<input type="checkbox"/> 6205.E	FAG	4.982	3.018	3.828	8
<input type="checkbox"/> 6205.E	SKF	4.982	3.018	3.828	8
<input type="checkbox"/> 6205	SNR	4.989	3.01	3.794	8

required frequency window

2 %

0 %

Actual

Search

OK Cancel Help

Obr. 13 – Výběr ložiska

**Objects Wizard**

✓ Sensor 1

✓ 1st Diagnosi...

✓ Rolling elem...

Speed

Diagnosis object

Source of rotational speed

IN 1

IN 2

Net Command

Constant speed

How will the speed for the given diagnosis object be determined?

< Back Next > Cancel

Obr. 14 – Výběr zdroje rotační rychlosti

**Objects Wizard**

✓ Sensor 1  
✓ 1st Diagnosi...  
✓ Rolling elem...  
Speed

**Diagnosis object**

Constant speed

Speed  
930 rpm

Input constant operating speed in rpm. Please ensure the nominal speed is below the nominal load.  
The permissible input value is between 1 and 500000 rpm.

< Back   Next >   Cancel

**Obr. 15 – Volba typické rychlosti**

**Objects Wizard**

✓ Sensor 1  
✓ 1st Diagnosi...  
✓ Rolling elem...  
✓ Speed

**Assistant**

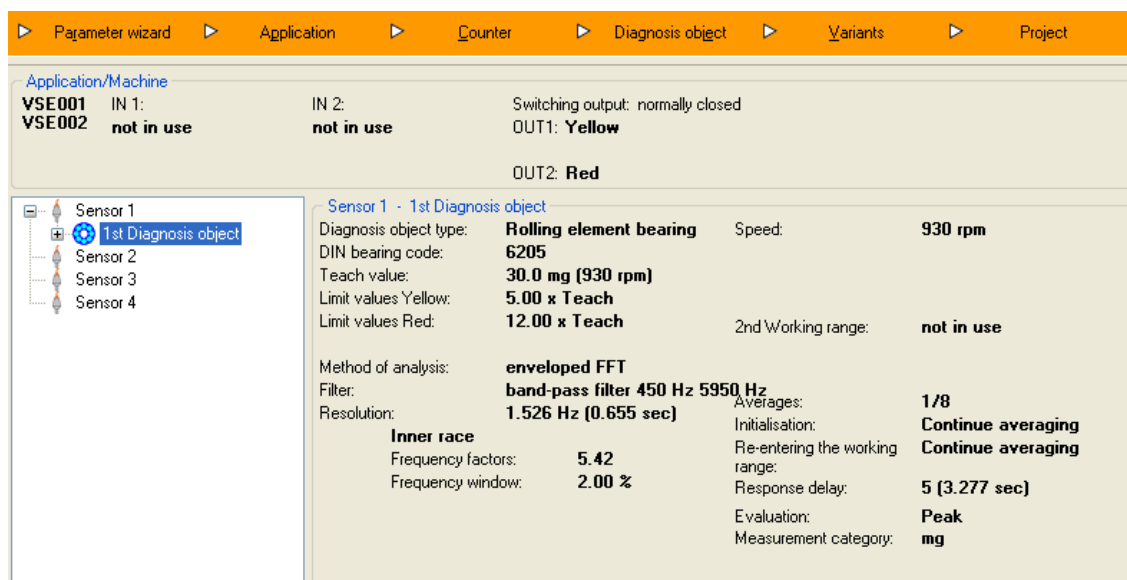
Summary

Sensor 1  
- 1st Diagnosis object  
Rolling element bearing:  
6205  
930 rpm

Please check your input values are correct.

< Back   Finished   Cancel

**Obr. 16 – Potvrzení dat**

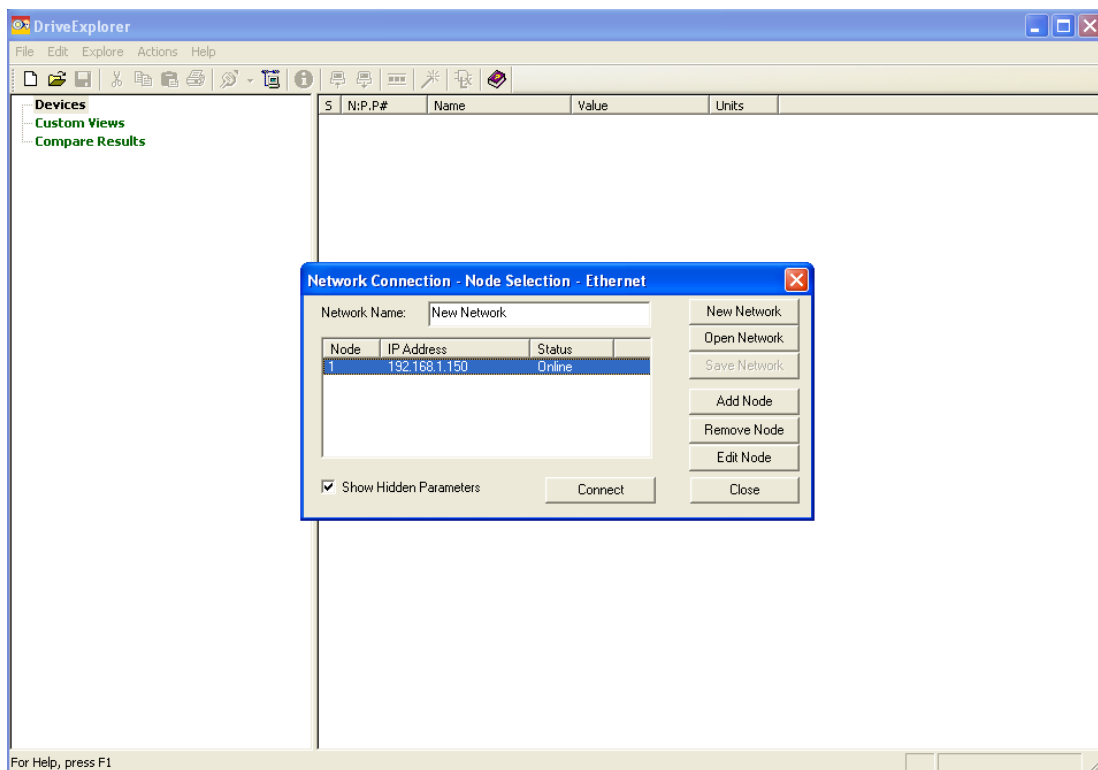


**Obr. 17 – Hlavní okno aplikace s vyplněnými daty**

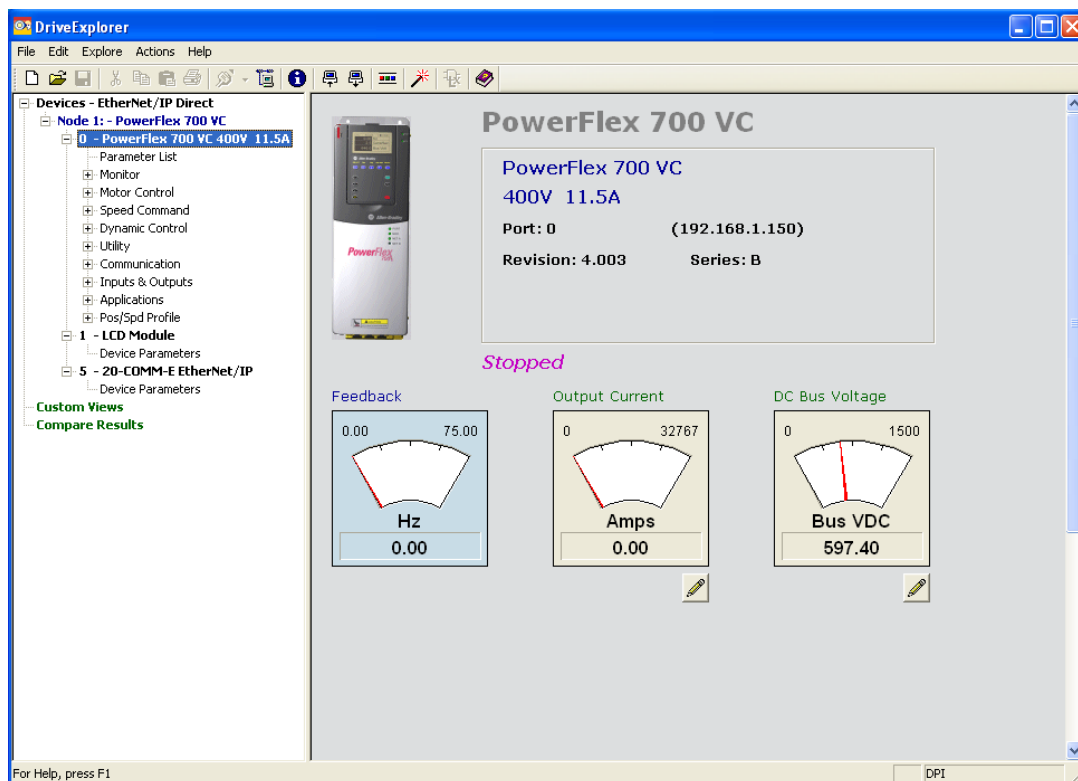
Po zadání všech nezbytných údajů pro měření aplikace sama zvolí další nejvhodnější parametry měření. Jde zejména o referenční hodnotu vibrací (Teach-in) a od ní vztažené hodnoty mezí velikostí vibrací. Pro ložisko 6205 byla automaticky zvolena referenční hodnota vibrací 30 mg. Meze pásem jsou potom pěti a devítinásobek této referenční hodnoty. Aplikace dále automaticky volí metodu analýzy (obálková FFT) a filtr aplikovaný na signál.

Posledním krokem před započítím měření je uložení nastavení do diagnostické jednotky. Proveďte se zvolením položky hlavního menu Parameters -> Write to VSE. Toto zapsání je nutné provést vždy, když jsou změněny parametry měření, typicky otáčky motoru. Úspěšné zapsání parametrů je indikováno oznámením.

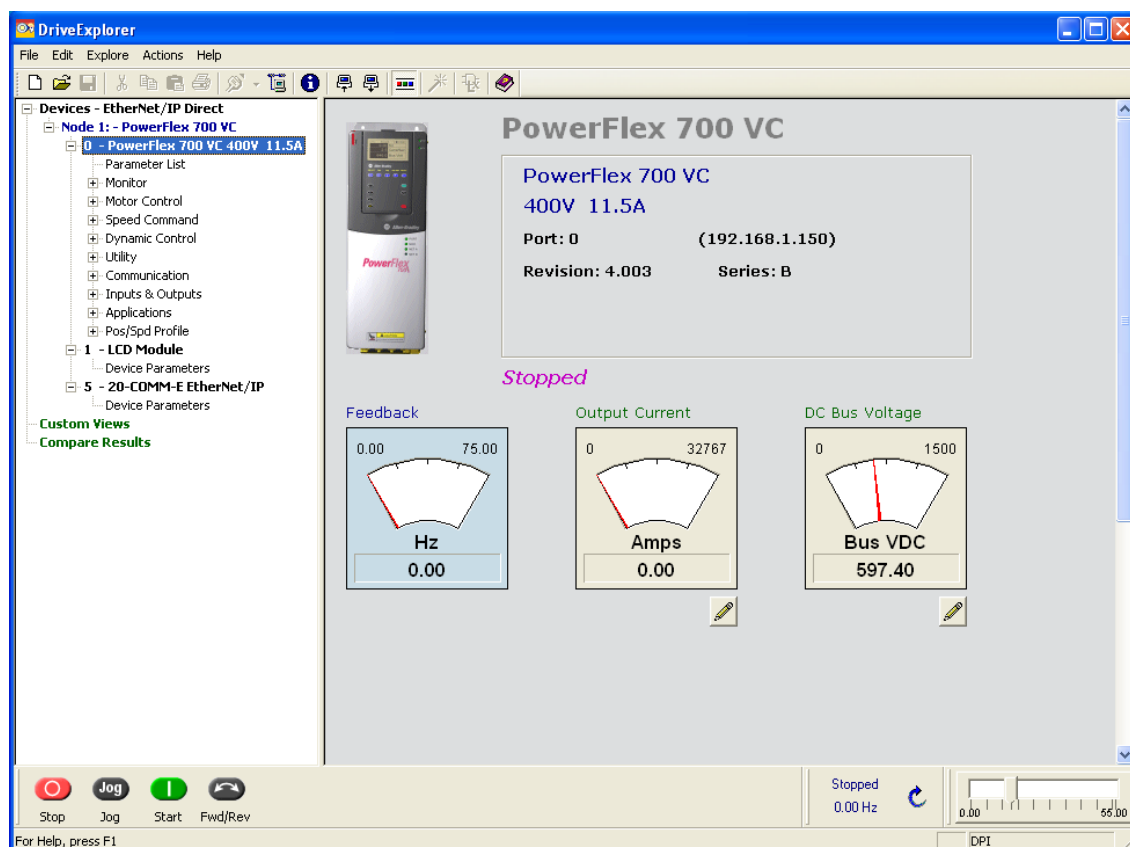
- 3) Nastavte otáčky motoru a spusťte ho. To se provede v programu DriveExplorer. Volbou síťového připojení a zadáním IP adresy frekvenčního měniče (obr. 18), dojde k identifikaci měniče a spárování s ním (obr. 19). Posledním krokem je volba Actions -> Control bar, která zpřístupní ovládání měniče z prostředí programu (obr. 20).



Obr. 18 – Zadání IP adresy měniče



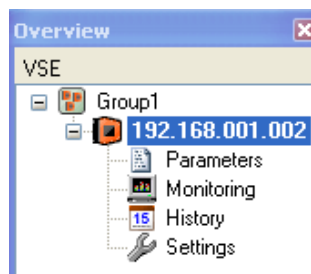
Obr. 19 – Frekvenční měnič v DriveExplorer



**Obr. 20 – Ovládání měniče v DriveExplorer**

Motor se spustí zeleným tlačítkem start, otáčky motoru lze měnit za chodu poslníkem v pravém dolním rohu okna aplikace. Nastavte otáčky motoru na 233 ot./min. (12,5 Hz).

- 4) Spusťte měření v Efektor octavis. Okno měření se otevře volbou položky Monitoring z okna Overview u příslušné spárované diagnostické jednotky (obr. 21).



**Obr. 21 – Otevření okna měření vibrací**

V okně monitorování vyberte zobrazení frekvenčního spektra. Pro měření vyberte volbu obálkové FFT (H-FFT). V okně frekvenčního spektra zvolte jednotku pro vibrace [mm/s], zobrazení efektivních hodnot (RMS) a rozsah monitorovaného spektra (pro měření zvolte vždy takový rozsah, aby posuzované frekvence, zelené svislé čáry, pro jednotlivé elementy byly co nejlépe viditelné). Je také možno manuálně zvolit rozsah osy

X (volte opět tak, aby hodnoty pro jednotlivé elementy byly dobře viditelné). Filtr ponechte tak, jak ho program zvolil jako nejvhodnější při nastavení měřicího řetězce (band-pass 450Hz 5950Hz). Pořídte dokumentaci frekvenčního spektra tlačítkem kopírování do schránky.

Zvolte zobrazení vibrací jednotlivých elementů. Zobrazení obsahuje tři sloupce reprezentující jednotlivé části ložiska (Inner race – vnitřní kroužek, Outer race – vnější kroužek, Rolling elements – valivé elementy). Výška sloupců na stupnici indikuje velikost vibrací. Tento typ monitorování je možno zobrazit pouze ve zrychlení [mg]. Pořídte dokumentaci frekvenčního spektra tlačítkem kopírování do schránky.

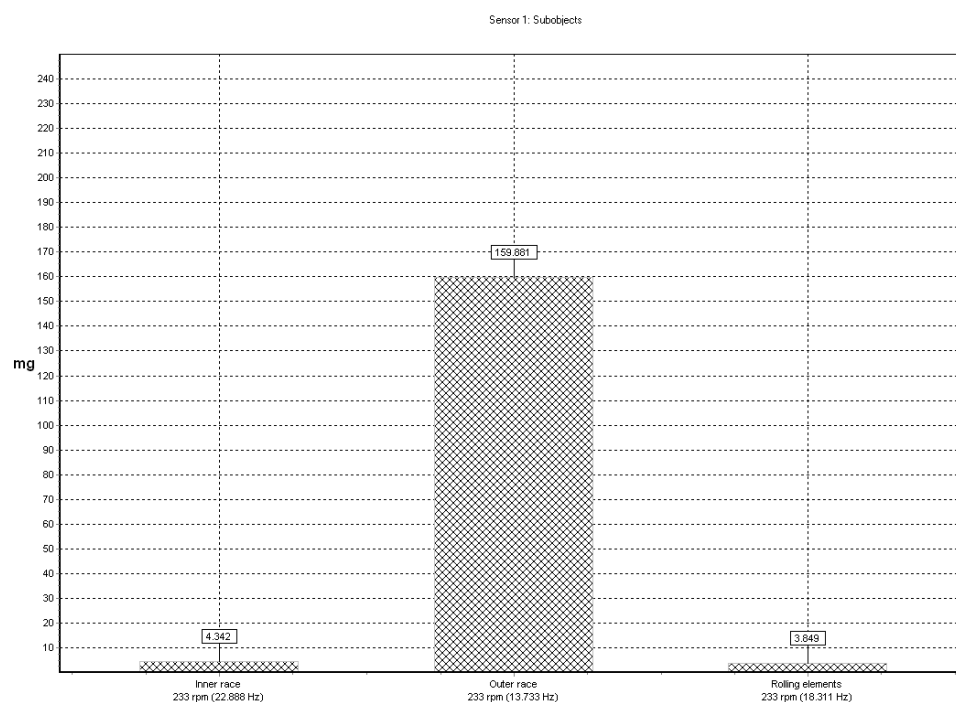
Zobrazte vibrace celého ložiska. Obdobně jako v předchozím případě se jedná o sloupcové zobrazení, také v tomto případě je veličinou zrychlení [mg]. Pořídte dokumentaci frekvenčního spektra tlačítkem kopírování do schránky.

Zobrazte poškození ložiska ve vztahu k pásmům poškození definovaným normou. Jde o bezrozměrné sloupcové zobrazení, kdy je hodnota vibrací znázorněna jako násobek Teach-in hodnoty (hodnota 1 označuje nové ložisko), jsou zde také pro větší názornost vyznačeny jednotlivá pásma. Pořídte dokumentaci frekvenčního spektra tlačítkem kopírování do schránky.

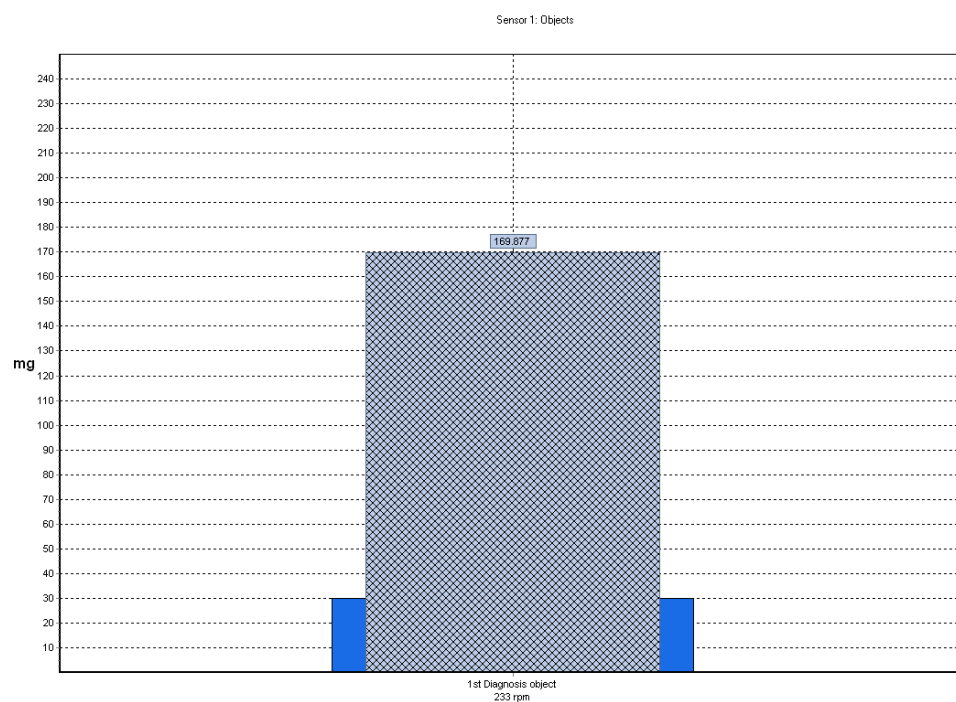
- 5) Opakujte měření pro zadané hodnoty otáček. Po změně otáček frekvenčním měničem je nutno dané otáčky nastavit i v monitorovacím programu. To se provede v hlavním okně aplikace, volba Diagnosis object, záložka Speed. Po změně otáček je třeba tuto změnu uložit do diagnostické jednotky – Write to VSE.

**Naměřené hodnoty:**

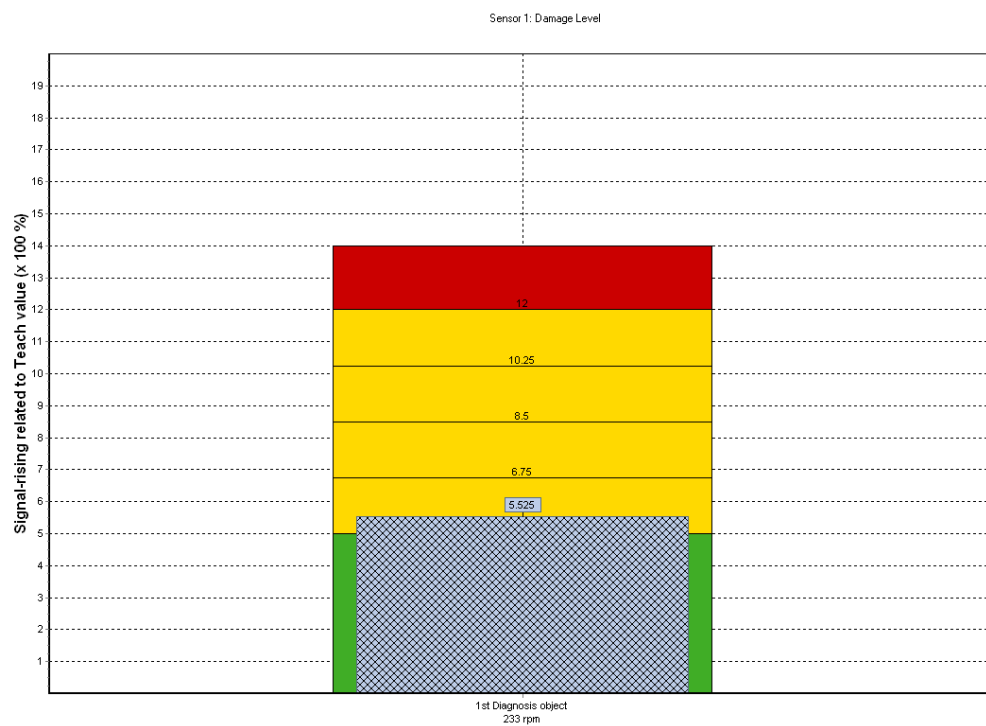
**Měření 233 ot./min.**



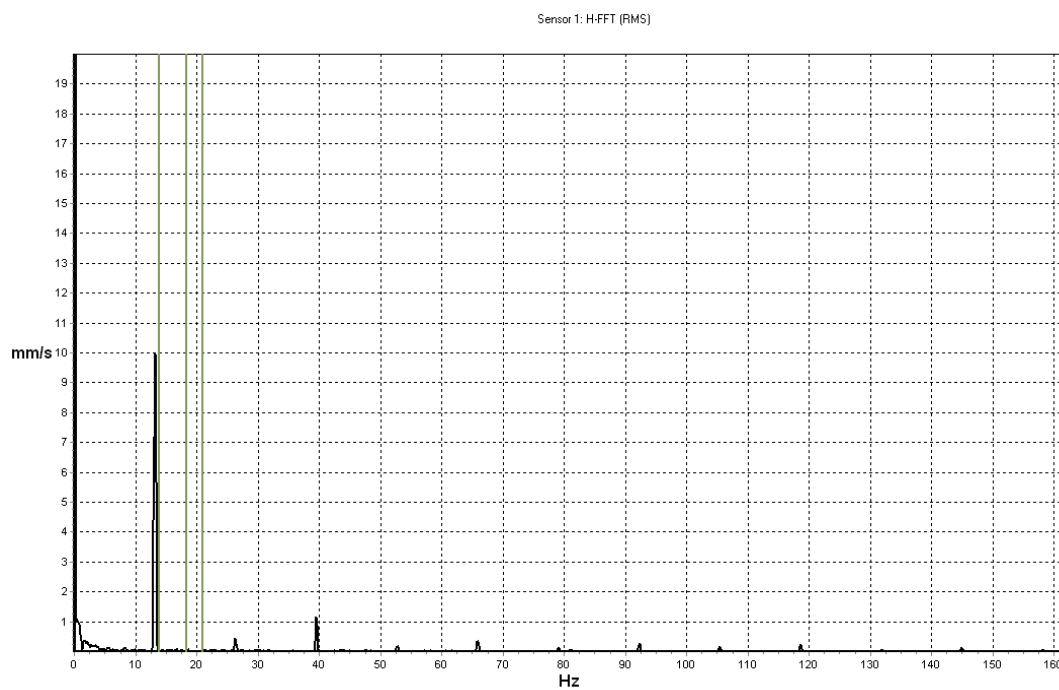
**Vibrace jednotlivých elementů při 233 ot./min.**



**Vibrace ložiska při 233 ot./min.**



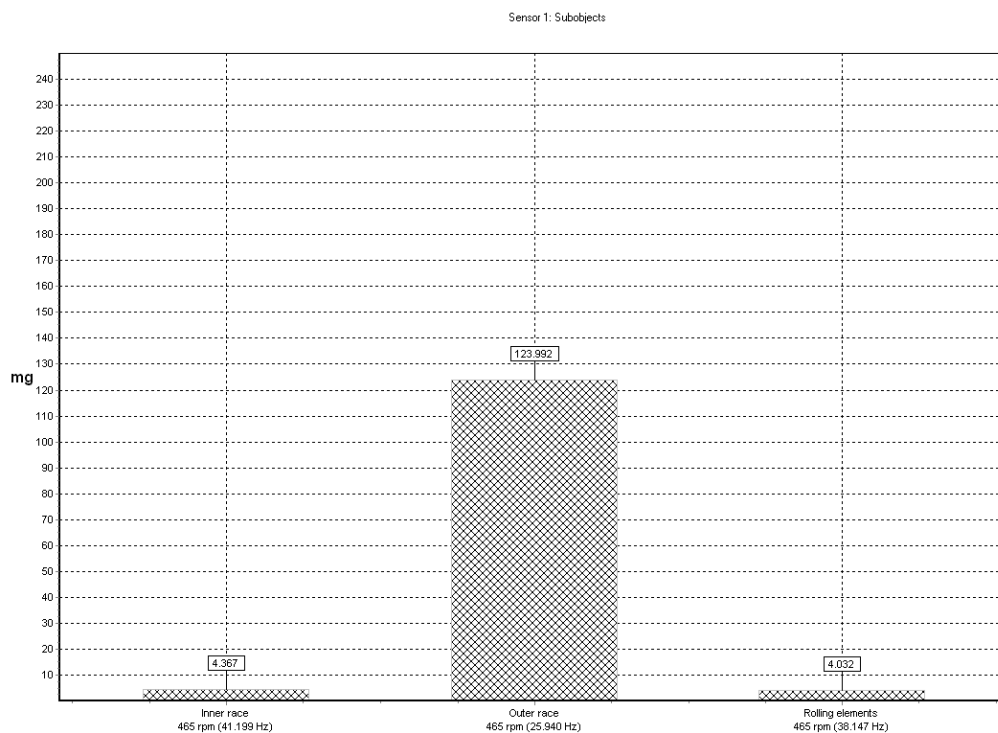
**Pásmo ložiska při 233 ot./min.**



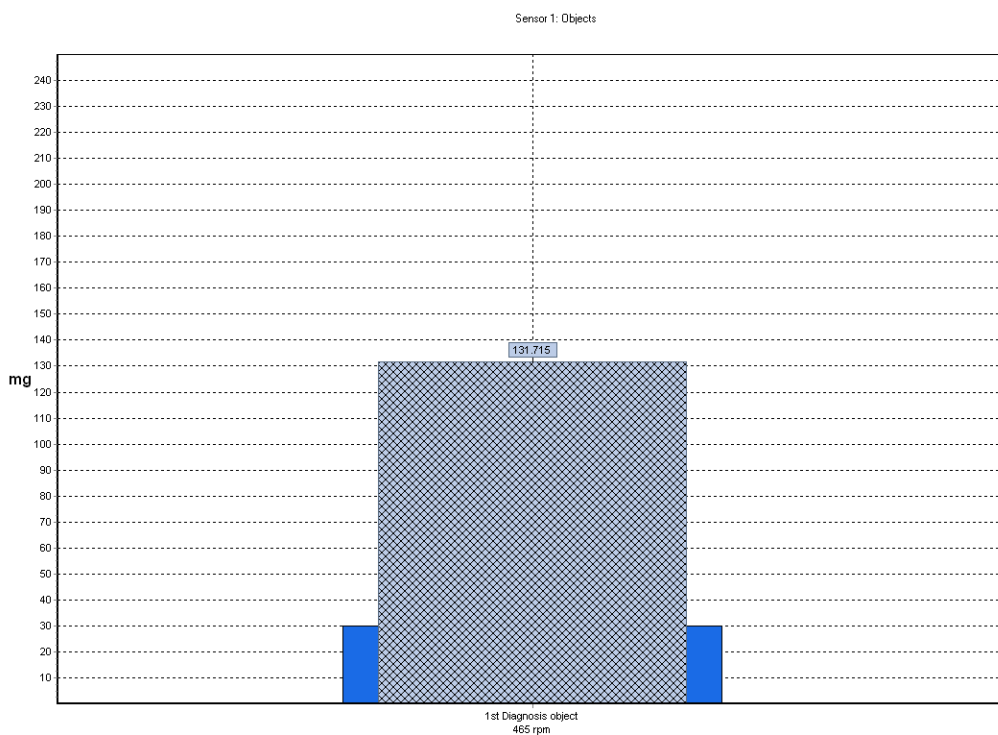
**Frekvenční spektrum vibrací při 233 ot./min.**



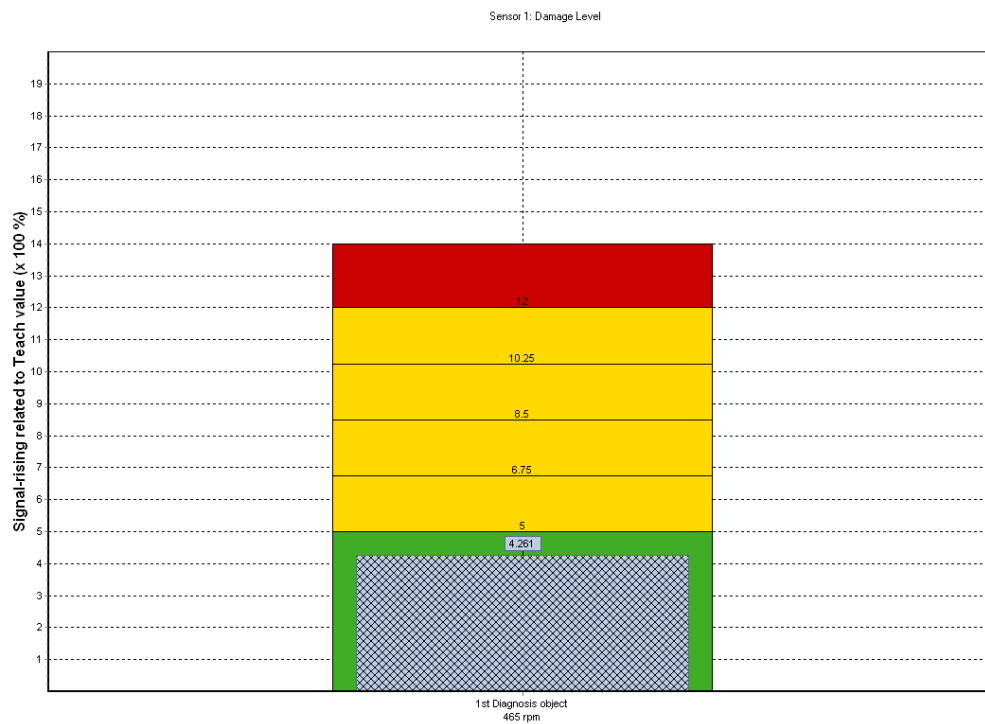
## Měření 465 ot./min.



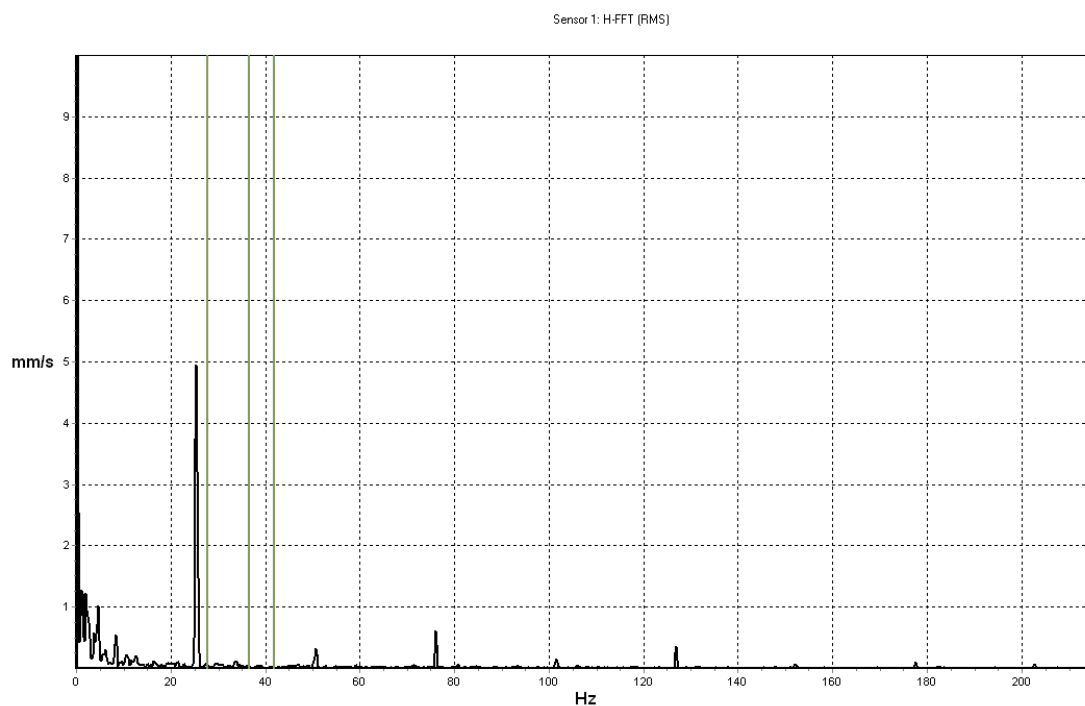
## Vibrace jednotlivých elementů při 465 ot./min.



## Vibrace ložiska při 465 ot./min.

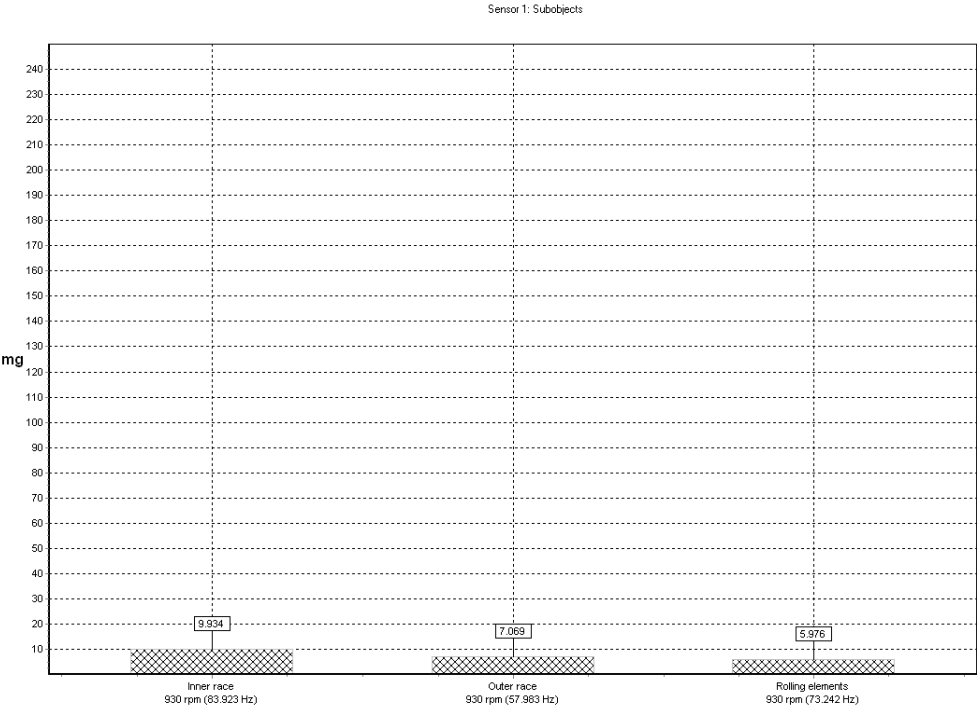


### Pásmo ložiska při 465 ot./min.

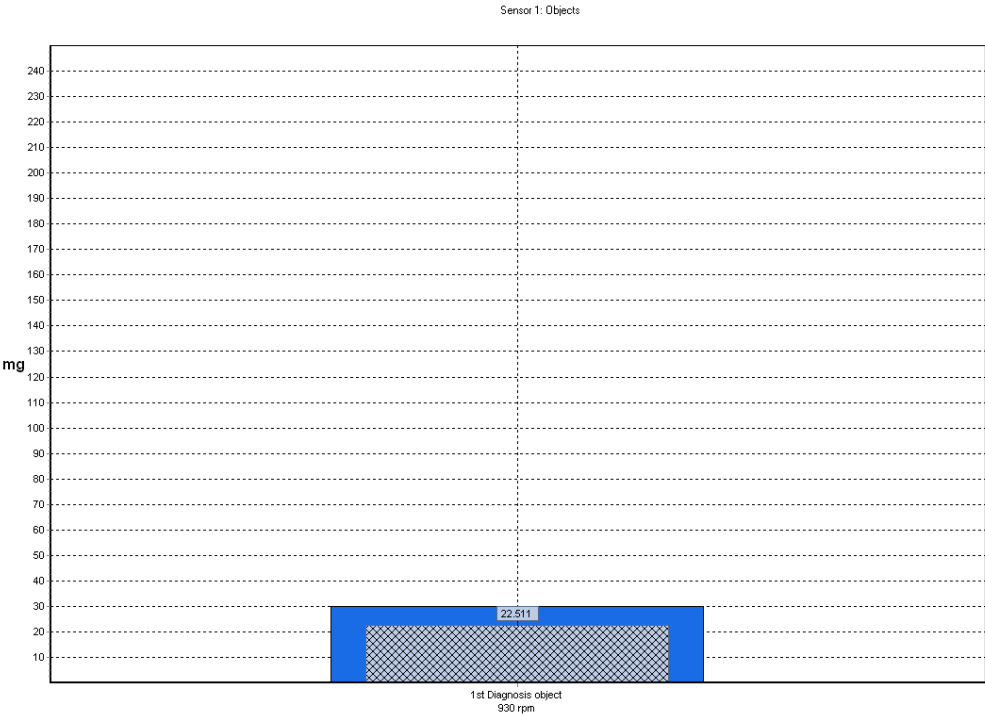


### Frekvenční spektrum vibrací při 465 ot./min.

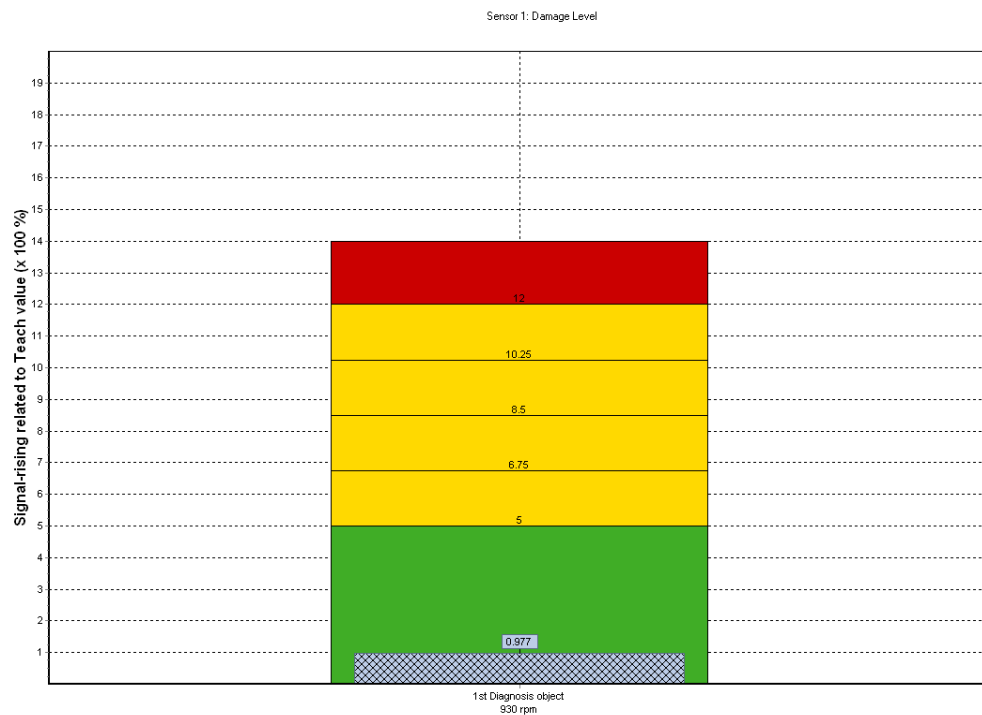
Měření 930 ot./min.



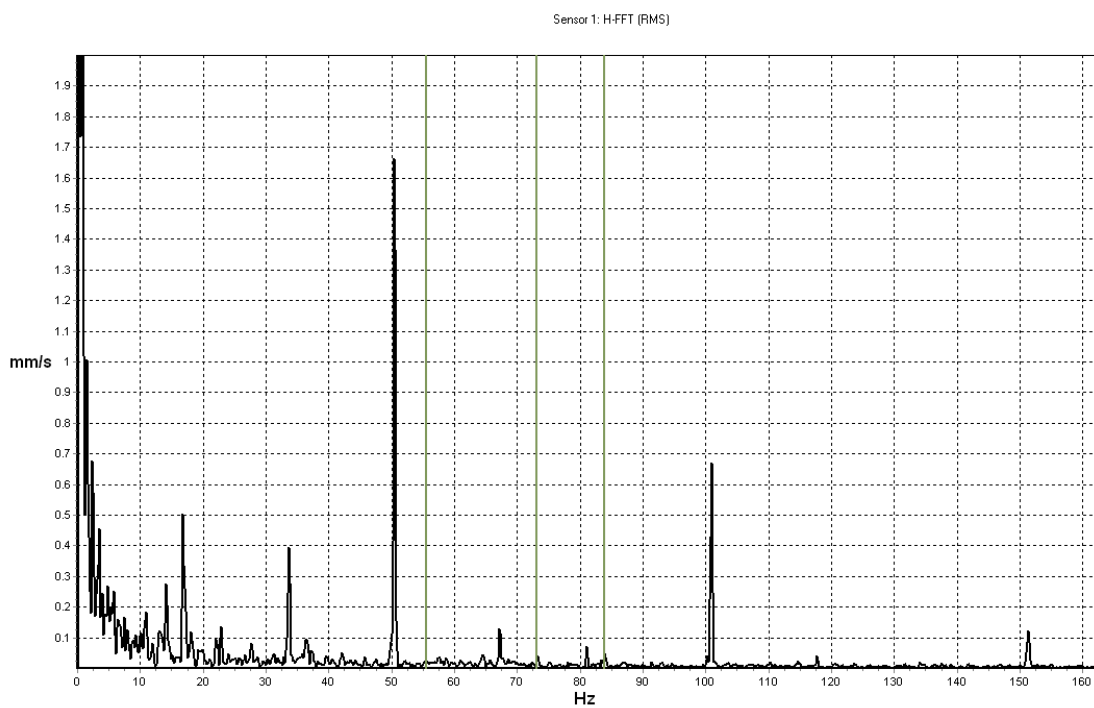
Vibrace jednotlivých elementů při 930 ot./min.



Vibrace ložiska při 930 ot./min.

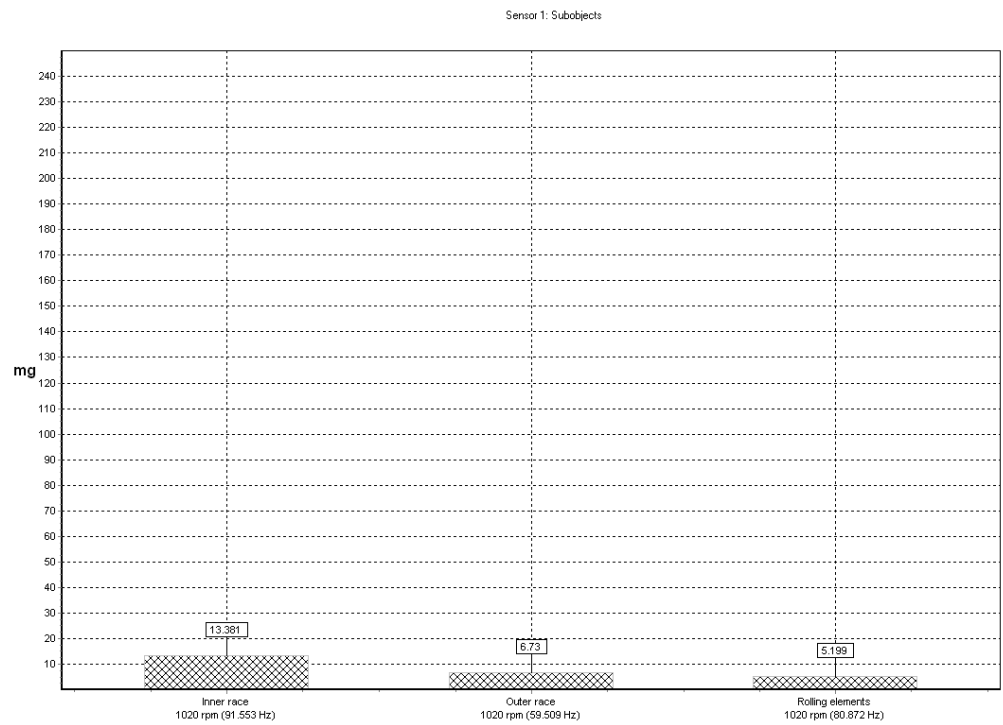


### Pásmo ložiska při 930 ot./min.

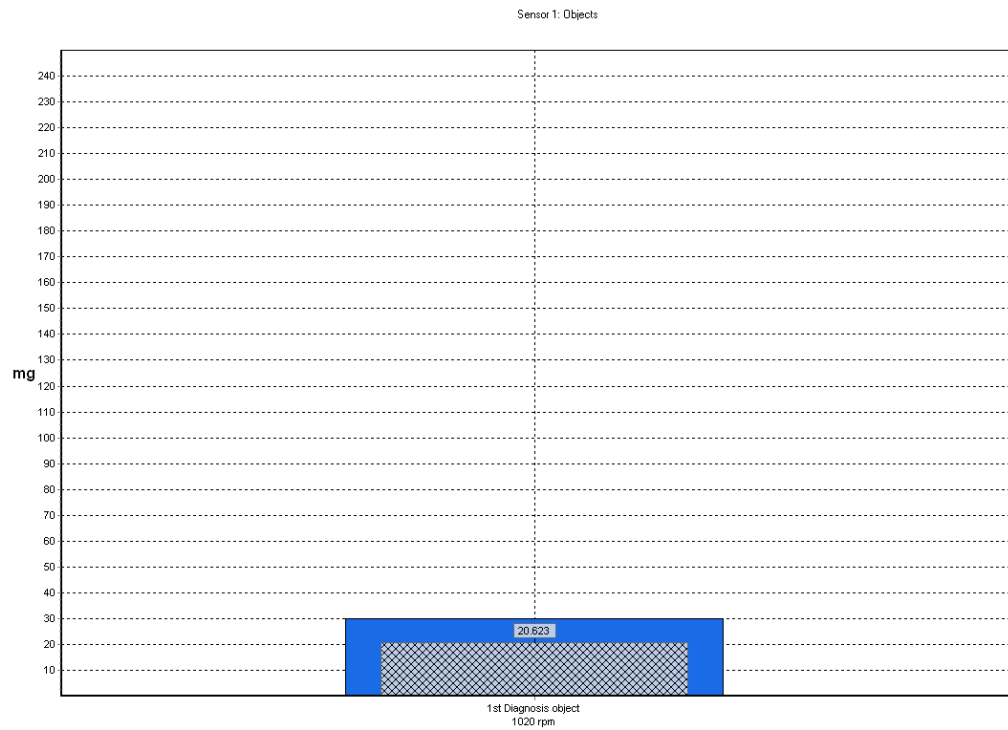


### Frekvenční spektrum vibrací při 930 ot./min.

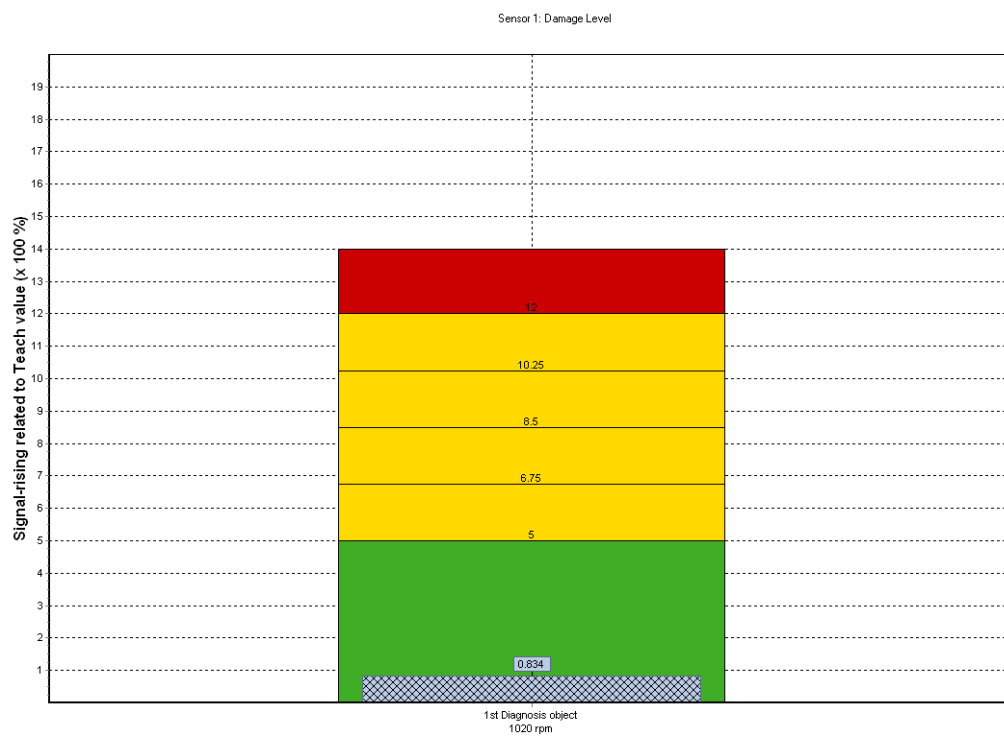
Měření 1020 ot./min.



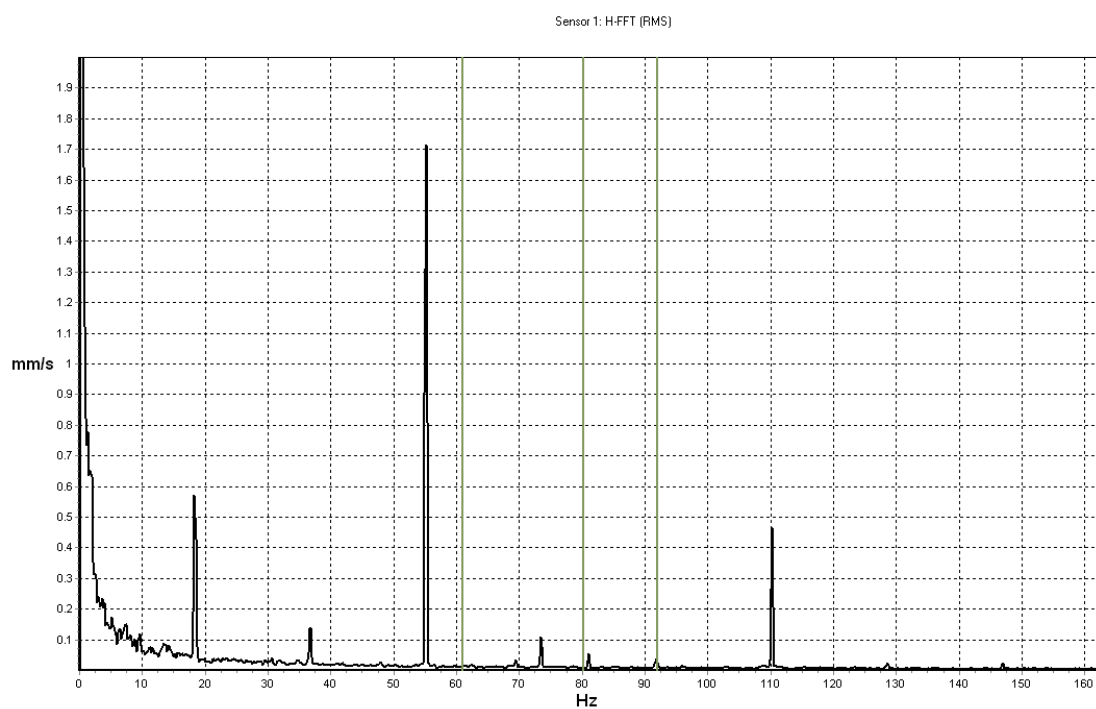
Vibrace jednotlivých elementů při 1020 ot./min.



Vibrace ložiska při 1020 ot./min.



### Pásmo ložiska při 1020 ot./min.



### Frekvenční spektrum vibrací při 1020 ot./min.

otáčky [ot./min.]	233	465	930	1020
vibrace vnitřního kroužku [mg]	3,342	4,367	9,934	13,381
vibrace vnějšího kroužku [mg]	159,881	123,992	7,069	6,730
vibrace valivých elementů [mg]	3,849	4,032	5,967	5,199
celkové vibrace [mg]	169,877	131,715	22,511	20,623
pásmo – násobek Teach-in hodnoty [-]	5,525	4,261	0,977	0,834
vibrace z frekvenčního spektra [mm/s]	10,000	5,000	1,650	1,700

### **Tabulka naměřených hodnot**

#### **Závěr:**

V laboratorní úloze jsem se v praxi seznámil s principy a postupy měření vibrací valivých ložisek. Nastavil jsem měřicí řetězec a provedl jsem měření vibrací ložiska.

Výsledky měření vibrací jsou uvedeny výše. Celé měření bylo ovlivněno nemožností přesného nastavení a zjištění otáček motoru. To do výsledků měření vnáší rozdíl mezi vyhodnocením stavu ložiska programem (program hodnotí stav ložiska jako perfektní) a mými závěry. Osobně na základě frekvenčních spekter hodnotím ložisko pásmem B, tj. jako ložisko ve stavu dobrém a vhodném pro dlouhodobé použití.