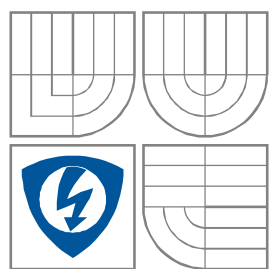


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MONITOROVÁNÍ VIBRACÍ NA VALIVÝCH LOŽISCÍCH

VIBRATION MONITORING FROM ROLLING BEARING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL LANGR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o problematice měření a diagnostiky vibrací na valivých ložiscích.

První část se soustředí na vysvětlení základních pojmů, definuje co jsou vibrace, ložiska a jak v důsledku poškození ložisek vibrace vznikají.

Druhá část této bakalářské práce se zabývá diagnostikou vibrací z pohledu normy ČSN ISO 10816 a popisuje základní principy a pravidla, která je nutné podle této normy dodržet.

Ve třetí části se práce zabývá seznámením s instrumentací firmy IFM electronic spol. s r. o. sloužícím pro diagnostiku vibrací.

Poslední část je věnována návrhu a realizaci laboratorní úlohy sloužící k praktickému seznámení s problematikou vibrací valivých ložisek.

Klíčová slova

vibrace, ložisko, poškození, stav, diagnostika, norma, ISO 10816

Abstract

This bachelor thesis deals with problematics of vibration measurement and diagnosis of rolling bearings.

The first part is focused on describing basic terms, defines what vibration and bearings are and how vibration occur as a result of ball bearing defects.

The second part of this bachelor thesis deals with vibration diagnosis according to ČSN ISO 10816 standard and describes basic principles and rules, to comply with this standard.

Third part of the thesis deals with instrumentation of IFM electronic company, used for vibration diagnosis.

The last part is attended to design and realiation of laboratory exercise, which is meant to familiarize with ball bearing vibration problematics.

Keywords

vibration, bearing, damage, state, diagnostics, standard, ISO 10816

Bibliografická citace:

LANGR, P. *Monitorování vibrací na valivých ložiscích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 53s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Monitorování vibrací na valivých ložiscích jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Radku Štohlovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: 23. května 2011

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod	9
2	Vibrace	10
3	Ložiska	11
3.1	Valivá ložiska a jejich poškození	11
4	Diagnostika vibrací podle normy ČSN ISO 10816	14
4.1	Měření	14
4.1.1	Velikost a mohutnost vibrací	14
4.2	Měřicí místa	14
4.3	Měřicí přístroje	17
4.4	Kritéria hodnocení	17
4.4.1	Velikost vibrací	17
4.4.2	Změna velikosti vibrací	19
4.5	Provozní meze	19
4.6	Speciální metody pro valivá ložiska	19
4.6.1	Analýza dalších veličin	19
4.6.2	Frekvenční analýza vibrací	20
4.6.3	Ostatní metody	20
5	Instrumentace ifm electronic	21
5.1	IFM electronic	21
5.2	Instrumentace pro diagnostiku vibrací	21
5.2.1	Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory VSE002	21
5.2.2	Vibrační senzor VSA001	23
5.2.3	Software Efektor octavis	23
6	Návrh a realizace laboratorní úlohy	28
6.1	Použité přístroje	28
6.2	Měřicí řetězec	28
6.2.1	Měřicí místo na elektromotoru	29
6.2.2	Ovládání elektromotoru	29
6.2.3	Síťové nastavení diagnostické jednotky	32
6.2.4	Nastavení Efektor octavis	33
6.3	Měření a jeho výsledky	39
6.3.1	Měření 233 ot./min.	41
6.3.2	Měření 465 ot./min.	43

6.3.3	Měření 930 ot./min.....	45
6.3.4	Měření 1020 ot./min.....	47
6.4	Vyhodnocení měření.....	49
7	Závěr.....	51
8	Použitá literatura.....	52
9	Seznam příloh.....	53

1 ÚVOD

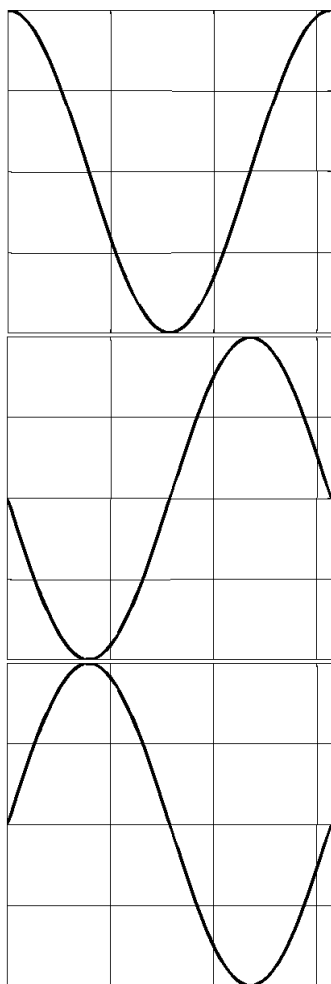
Cílem této bakalářské práce je seznámení s problematikou monitorování a vyhodnocování vibrací valivých ložisek a to především prostřednictvím normy ČSN ISO 10816, která o této problematice podrobně pojednává. Norma stanovuje požadavky na měřicí přístroje, postup měření i vyhodnocování naměřených hodnot.

Dalším úkolem je podrobné seznámení se s instrumentací firmy IFM electronic spol. s r.o., která v rámci svého výrobního portfolia vyrábí a dodává i kompletní řešení pro detekci vibrací. Tato řešení mimo jiné splňují podmínky stanovené normou ČSN ISO 10816.

Posledním úkolem je návrh a realizace laboratorní úlohy na základě výše zmíněné instrumentace, která bude prakticky seznamovat a demonstrovat měření vibrací valivých ložisek.

2 VIBRACE

Vibraci definujeme jako děj, během něhož hmotné těleso kmitá kolem své rovnovážné polohy. Vibraci v daný moment popisujeme amplitudou a fází. Protože ale v reálné situaci nelze těleso popsat jako jeden hmotný bod, dochází k tomu, že se kmitání tělesem postupně od jedné částice k druhé šíří. Tento jev pojmenováváme vlnění. Vlnění rozdělujeme na neperiodické a, jako v našem případě, periodické. Periodické vlnění (harmonické vibrace) má sinusový průběh a lze jej popsat jeho rychlostí, zrychlením a výchylkou. Tyto tři veličiny jsou základem pro popis a měření vibrací, rychlost využíváme zejména pro zjištění energie vibrací, zrychlení pro určení vysokofrekvenční složky vibrací a výchylku používáme pro nízkofrekvenční složky.



rychlost: $v = x_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \varphi)$

zrychlení: $a = -x_0 \cdot \omega^2 \sin(\omega t + \varphi)$

výchylka: $x = x_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$

Obr. 1 – Časový průběh veličin vibrací

3 LOŽISKA

Ložisko je mechanické zařízení – součástka, která umožňuje pohyb dvou nezávislých mechanických částí. Ložiska při pohybu těchto dvou částí snižují jejich tření a tím i teplotu, dovolují větší rychlosti pohybu a mají jednoznačný příznivý vliv na životnost a spolehlivost pohybujících se mechanických částí.

Ložiska primárně rozdělujeme podle principu na kterém pracují, podle pohybu který vykonávají a podle síly která na ložisko působí. Podle principu rozlišujeme ložiska valivá, kluzná, magnetická. Lze se setkat i s jinými méně běžnými typy ložisek. Podle pohybu ložiska rozlišujeme na rotační a lineární. Podle síly působící na ložisko rozdělujeme na axiální (taková ložiska, kde zatížení působí ve směru osy ložiska) a radiální (zatížení působí kolmo na osu ložiska).



Obr. 2 – Valivá ložiska [4]

3.1 Valivá ložiska a jejich poškození

Valivá ložiska jsou taková, v jejichž konstrukci jsou použity valivé elementy. Tyto elementy jsou umístěny mezi dvě pohybuující se části a jejich vzájemný rotační nebo posuvný pohyb je přenášen na rotační pohyb vložených elementů. Tím se eliminuje tření, které by vzniklo bez těchto rotujících elementů. Konstrukčně rozeznáváme podle typu vloženého elementu valivá ložiska kuličková, válečková, soudečková, jehlová, aj.

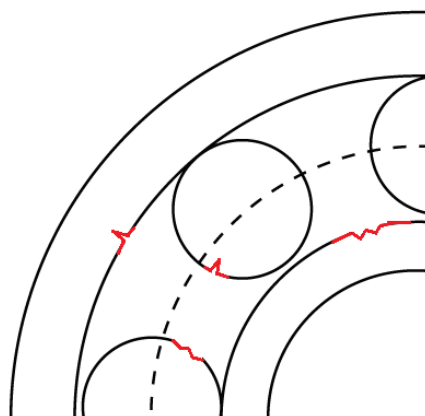


Obr. 3 – Válečkové ložisko [4]

Všechna valivá ložiska ve své konstrukci používají dva kroužky (vnější a vnitřní), výše zmíněné valivé součásti umístěné mezi kroužky a klec, která pomáhá dodržet vzdálenost a omezuje vzájemný pohyb kuliček (nebo prvků daného ložiska). Konstrukční typy ložisek mají rozdílné vlastnosti a proto i různé místa použití. Liší se především v možnosti axiálního a radiálního zatížení a svou únosností. To je další důležitý parametr ložiska, únosnost dělíme na statickou a dynamickou. Statická únosnost vyjadřuje zatěžovací vlastnosti ložiska, když se neotáčí (nebo otáčí pomalu), dynamická únosnost popisuje chování ložiska při provozu (když rotuje). Všechny tyto klíčové vlastnosti ložisek jsou zpravidla uváděny výrobcem, neboť pro volbu správného ložiska pro danou aplikaci jsou nezbytné.

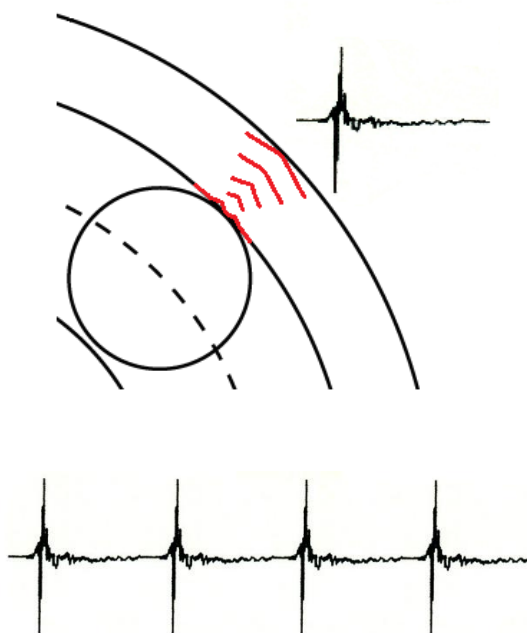
Vznik vibrací valivých ložisek je primárně způsoben poškozením v důsledku provozního zatížení, nevhodnými provozními podmínkami (vlhkost, nesprávné mazání, vyšší než doporučené otáčky, působení axiálních a radiálních zátěží nevhodných pro dané ložisko, vysoké provozní teploty), méně často také nesprávnou či nepřesnou instalací ložiska. Obvyklé poškození ložiska je reprezentováno nepatrným odpadáváním kovu (v případě kovových ložisek) ze styčných ploch vnějšího a vnitřního kroužku (tzv. pitting) a ze styčných ploch valivých částí.

Další, pro funkci závažnějším, poškozením jsou praskliny, ať už na kroužcích nebo valivých částech. Méně častým poškozením ložiska bývají defekty klece, defekty klece většinou následují až jako důsledek poškození kroužků nebo valivých částí.



Obr. 4 – Defekty ložiska

Všechna tato poškození mají za následek při provozu vznik vibrací. Pokud je v dráze valivého elementu nerovnost nebo je sám valivý element poškozen, při rotaci je následkem narážení do těchto nerovností vznik rázové vlny v materiálu a periodickým opakováním těchto rázů vznikají samotné vibrace.



Obr. 5 – Vznik vibrací

4 DIAGNOSTIKA VIBRACÍ PODLE NORMY ČSN ISO 10816

Norma ČSN ISO 10816 (dále jen norma), celým názvem Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech, byla vydána v roce 1995 Mezinárodní organizací pro normalizaci. Tato norma 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.

4.1 Měření

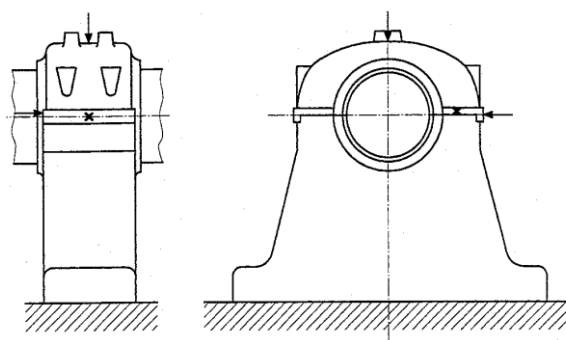
Norma stanovuje, že měření je zásadně širokopásmové, a to takové aby byl pokryt celý frekvenční rozsah konkrétního měřeného stroje. Měřené veličiny potom podle normy jsou výchylka vibrací, rychlost vibrací a zrychlení vibrací. V praxi se pro vyhodnocování vibrací používá zejména efektivní hodnota rychlosti 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.

4.1.1 Velikost a mohutnost vibrací

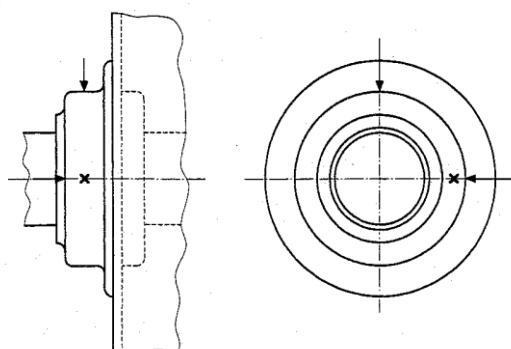
Velikost vibrací je naměřená hodnota na daném měřicím místě a daném směru. Protože se měření provádějí na více místech a ve více směrech, výsledkem je souhrn naměřených hodnot. Nejvyšší naměřenou hodnotu z tohoto souboru potom nazýváme mohutnost vibrací. Mohutnost ve většině případů popisuje situaci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

4.2 Měřicí místa

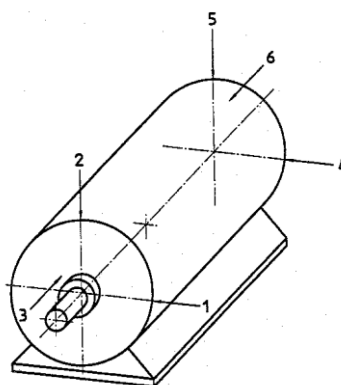
Jako měřicí místa se doporučuje používat samotná ložiska, konstrukce uložení ložisek nebo taková místa, kde naměřené hodnoty budou odpovídat skutečným vibracím stroje. Pro přejímací zkoušky stroje je nutné provádět měření ve třech navzájem kolmých směrech, při běžném provádění provozního monitorování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



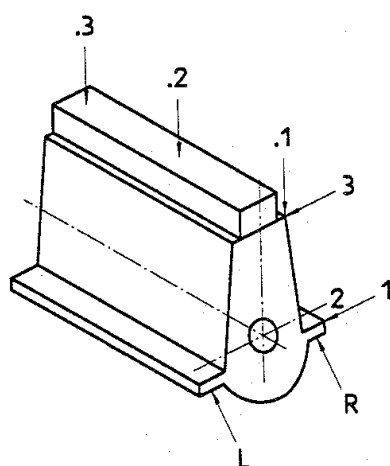
Obr. 6 – Měřicí body ložiskových stojanů [1]



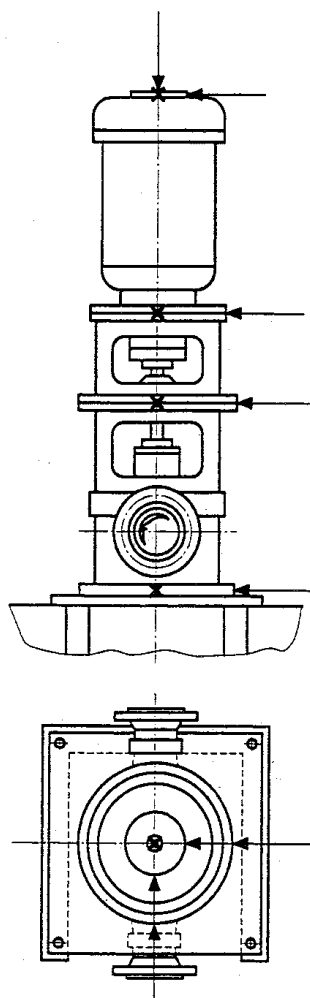
Obr. 7 – Měřicí body těles ložisek [1]



Obr. 8 – Měřicí body malých elektrických strojů [1]



Obr. 9 – Měřicí body pro motory s vratným pohybem [1]



Obr. 10 – Měřicí body pro vertikální ústrojí [1]

4.3 Měřicí přístroje

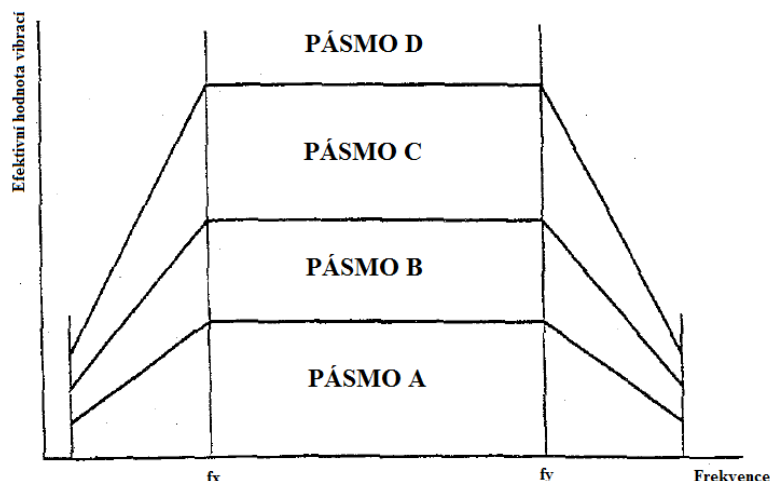
Měřicí přístroje a snímače musejí být voleny s ohledem na vlastnosti prostředí aplikace (teplota, vlhkost, chemická agresivita) a instalovány tak, aby neovlivňovaly samotné měření. Podle normy jsou dovolené dva druhy měřících zařízení: taková, která měří a udávají efektivní hodnoty a zařízení detekující efektivní hodnoty, zobrazující však rozkmit nebo špičkové hodnoty. Když je měřena více než jedna veličina, musí měřicí soustava umět zpracovávat všechny tyto veličiny.

4.4 Kritéria hodnocení

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

4.4.1 Velikost 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.



Obr. 11 – Průběh kritéria velikosti vibrací [1]

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.

Efektivní hodnota rychlosti vibrací [mm/s]	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
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 [1]

Jednotlivé třídy strojů jsou podle normy rozděleny následovně:

Třída I: Typicky elektrické motory s výkonem maximálně 15 kW

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 měkké (jako příklad se uvádí plynové turbíny a generátory s výkonem větším než 10 MW).

4.4.2 Změna velikosti vibrací

Změna velikosti vibrací se provádí vzhledem ke zvolené referenční hodnotě. Velikost vibrací se v průběhu času může značně měnit (zvyšovat i snižovat), což by mělo být důvodem ke zjištění příčiny a přijetí opatření, i když se vibrace stroje nenachází ve výše definovaném pásmu C. Tyto změny jsou totiž stejným indikátorem poškození stroje jako samotná velikost vibrací. Vzhledem k tomu, že při vyhodnocování změny velikosti porovnáváme s referenční hodnotou, norma stanovuje, že se měření provádí v jednom stejném místě a za pokud možno stejných provozních podmínek.

4.5 Provozní meze

V praxi se pro stroje v provozu stanovují meze. Rozlišujeme mez Výstraha a mez Přerušení provozu. Pro obě meze jsou stanoveny konkrétní hodnoty vibrací, při kterých se tato mez vyhlašuje.

Mez Výstraha znamená, že byla dosažena hodnota vibrací, která vyžaduje nápravu tohoto stavu. Mez Výstraha nemá za následek zastavení provozu stroje. Konkrétní hodnoty vibrací se liší pro jednotlivé stroje, obecně je však doporučeno, aby hodnota ležela v pásmu C. V případě velmi nízké základní hodnoty vibrací i v pásmu B.

Mez Přerušení provozu, jak už název napovídá, má za následek zastavení provozu, a to protože vibrace dosáhly takové meze, že může dojít ke škodám. Hodnotu se nedoporučuje odvozovat od hodnoty meze výstrahy, protože pro jednotlivé konkrétní stroje a jejich aplikace můžou být provozní meze od sebe rozlišně vzdáleny. Obecně lze potom říci, že mez Přerušení provozu bude ležet v pásmu C nebo D.

4.6 Speciální metody pro valivá ložiska

Použití jednoduchých měřících metod pro diagnostiku stavu ložiska a stroje je v mnohých případech dostatečné, faktem však zůstává, že ne ve všech. Nevhodné vyhodnocení jednoduchých metod může být způsobeno přítomností rezonančních vlivů v ložiscích nebo přenosem cizích vibrací na ložisko, ale i faktem že existuje mnoho různých typů, konstrukcí a závad ložisek. Proto byly vyvinuty speciální metody pro diagnostiku valivých ložisek.

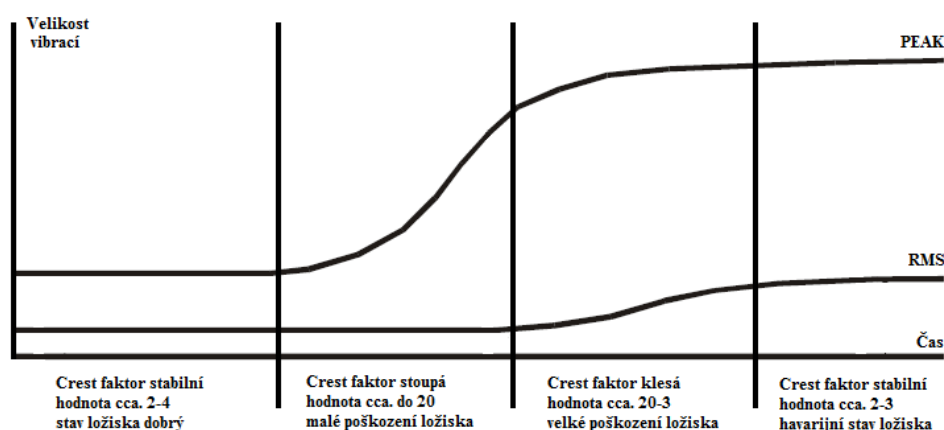
4.6.1 Analýza dalších veličin

Jako další možnost pro určení stavu valivých ložisek se jeví vyhodnocování dalších veličin (jiných než rychlosti vibrací). Tyto další veličiny jsou špičková hodnota zrychlení, poměr špičkové a efektivní hodnoty zrychlení a součin efektivních a špičkových hodnot zrychlení.

4.6.2 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. Konkrétní metody jsou následující:

Crest faktor – metoda založená na porovnávání efektivní a špičkové hodnoty (RMS a PEAK) signálu vibrací. Vlastností této metody je brzké odhalení defektů ložisek, jako značná nevýhoda se může jevit fakt, že při kritickém poškození ložiska jsou výstupní hodnoty této metody stejné jako u ložiska nového. Proto se tuto metodu doporučuje používat pouze jako doplněk metody jiné.



Obr. 12 – Průběh hodnot RMS/PEAK v čase pro Crest faktor [3]

Kurtosis faktor – metoda vychází z faktu, že signál vibrací u nepoškozeného ložiska je šum, který kopíruje normální rozložení (Gaussova křivka). Poškozením ložiska se začínají v normálním rozložení projevovat odchylky, podle jejich povahy lze určit typ poškození ložiska.

Obálková metoda – tato 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).

4.6.3 Ostatní metody

Mezi ostatní metody se řadí analýza hluku ložisek, provozních teplot ložisek nebo kovových částí vzniklých opotřebením ložisek. Žádnou z těchto metod se však tato práce nezabývá, nelze je ani považovat za tolik přesné a včasné jako analýzu vibrací.

5 INSTRUMENTACE IFM ELECTRONIC

5.1 IFM electronic

Firma IFM electronic spol. s r.o. je dceřinou společností firmy IFM electronic GmbH, zabývající se vývojem a výrobou senzorů, sběrníkových, diagnostických a řídicích systémů pro nejrůznější průmyslové použití.

5.2 Instrumentace pro diagnostiku vibrací

IFM electronic spol. s r.o. vyrábí kompletní systém Efector octavis pro diagnostiku vibrací. Základními vlastnostmi jsou modularita, jednoduchá implementovatelnost a automatické snímání a diagnostika vibrací. Systém Efector octavis je možné implementovat do již existujících aplikací díky podpoře komunikace s řídicími kontroléry PLC nebo systémy SCADA. Pro pozdější návrh a realizaci laboratorní úlohy byly z portfolia IFM vybrány vibrační senzor VSA001, vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory VSE002, software pro vyhodnocovací jednotku a nezbytná kabeláž.

5.2.1 Vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory VSE002

Vyhodnocovací jednotka VSE002 je schopna vyhodnocovat signál až čtyř připojených senzorů, pomocí čtyř LED dokáže indikovat provozní stav diagnostikovaného objektu a zda byly u snímačů překročeny přednastavené limitní hodnoty. U VSE002 lze nastavit frekvenční pásma pro vyhodnocování. Jednotka pracuje na principech spektrální analýzy s FFT, výše popsané obálkové metody s FFT a analýzy trendu, pro výpočet používá detekované maximální a efektivní hodnoty rychlosti nebo zrychlení vibrací. Jednotku lze pro další diagnostiku propojit ethernetem s PC, může také pomocí svých výstupů v případě nutnosti spustit poplach. Práce jednotky splňuje podmínky normy ISO 10816.

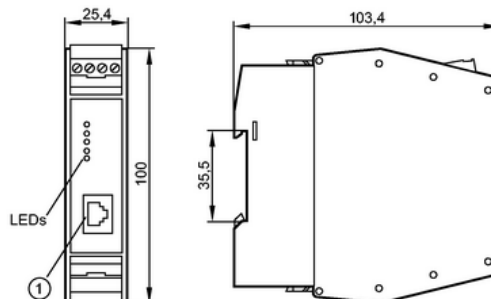
VSE002

vyhodnocovací jednotka pro vibrační senzory

pouzdro z plastu
přípoj Combicon

Rozhraní Ethernet

spínaný výstup, analog. výstup



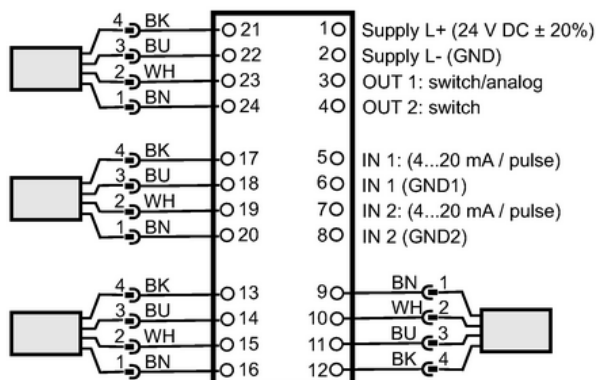
1: Rozhraní Ethernet



Made in Germany

Výstupní funkce	2 digitální poplachové výstupy (PNP 100 mA) nebo 1 digitální výstup a 1 analogový výstup 0/4...20/22 mA
Provozní napětí [V]	24 DC $\pm 20\%$ *)
Proudový odběr [mA]	< 100 (24 V)
Vstupy	vstupy dynamicky: 4 x 0...10 mA
Zapojení	vstupy staticky: 2 x 0/4...20 mA nebo impulsní
datové rozhraní	ethernet TCP/IP
Paměť historie	integrován
počet vzorků [kSamples]	100
Okolní teplota [°C]	0...70
Krytí, tř. krytí	IP 20, III
El.mag. kompatibilita	EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 50178
Materiál pouzdra	PA
Připojení	Combicon
Hmotnost [kg]	0,242
Upozornění	Vstupy otáček IN1/2 jsou galvanicky oddělené *) při použití vstupu IEPE 24 V (Integrated Electronics Piezo Electric)
Příslušenství (volitelné)	Zkřížený kabel pro přímé propojení diagnostické elektroniky VSExxx s rozhraním PC Ethernet

Zapojení kontaktů



Obr. 13 – Katalogový list vyhodnocovací jednotky VSE002 [2]

5.2.2 Vibrační senzor VSA001

VSA001 je kompaktní kapacitní senzor vibrací speciálně určený pro diagnostický systém Efektor octavis. Ve spojení s ním nabízí kromě diagnostiky vibrací samotné např. i self-test hlídající jeho funkčnost. Parametry senzoru jsou shrnuty v níže uvedeném katalogovém listu výrobce.[2]

efektor

Diagnostické systémy

ifm electronic

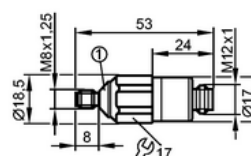


VSA001

Vibrační senzor
VSA

Konektorové provedení

k připojení na externí diagnostickou elektroniku



1: Kónický úhel = 90°



Oblast nasazení Výstupní funkce	detekce vibrací do ± 25 g 0...10mA, analogový
Provozní napětí [V]	9 DC
Proudový odběr [mA]	< 15
Měřicí rozsah [g]	± 25
Princip senzoru	mikromechanický senzor zrychlení / kapacitní měřicí princip / jedna měřicí osa
Odolnost vůči přetížení [g]	500
citlivost [mg/ $\sqrt{\text{Hz}}$]	0,2
frekvenční rozsah [Hz]	0...6000
linearita [%]	0,2
Okolní teplota [°C]	-30...125 *)
Krytí, tř. krytí	IP 68 / IP 69K, III
EI.mag.kompatibilita	EN 61000-6-2 EN 61000-6-3 EN 50178
Materiál pouzdra	pouzdro: V4A (1.4404)
Připojení	M12 konekt. připojení; doporučena max. délka kabelu 30 m
Upozornění	*) pro aplikaci UL: max. 85 °C
Příslušenství (volitelné)	Kónická podložka E30115 (5 kusů)
Zapojení kontaktů 1: L+ (+9 V) 2: I out 3: GND 4: Test	



Obr. 14 – Katalogový list senzoru VSA001 [2]

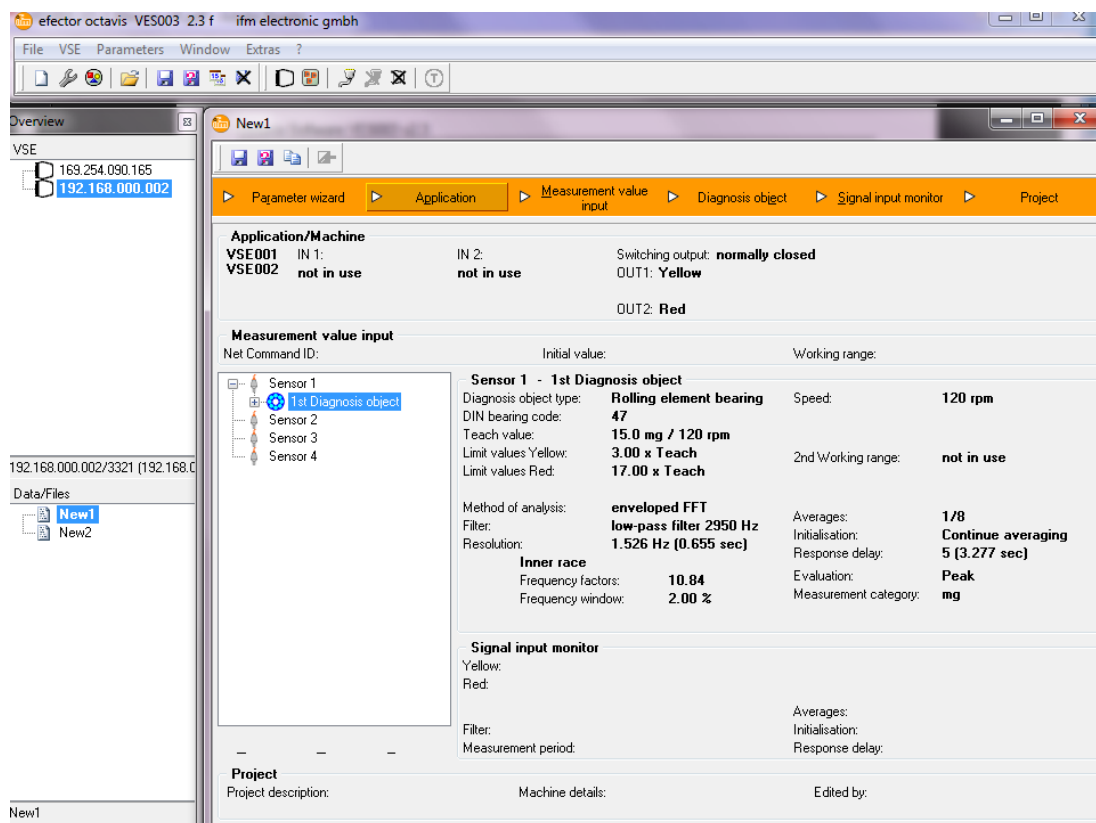
5.2.3 Software Efektor octavis

Software Efektor octavis je speciálně navržen pro spolupráci s vyhodnocovacími jednotkami řady VSE, jejichž funkce rozšiřuje a umožňuje podrobnější diagnostiku a

vyhodnocování. Základními funkcemi jsou monitoring v reálném čase, záznam trendu a hloubková analýza (FFT mód).

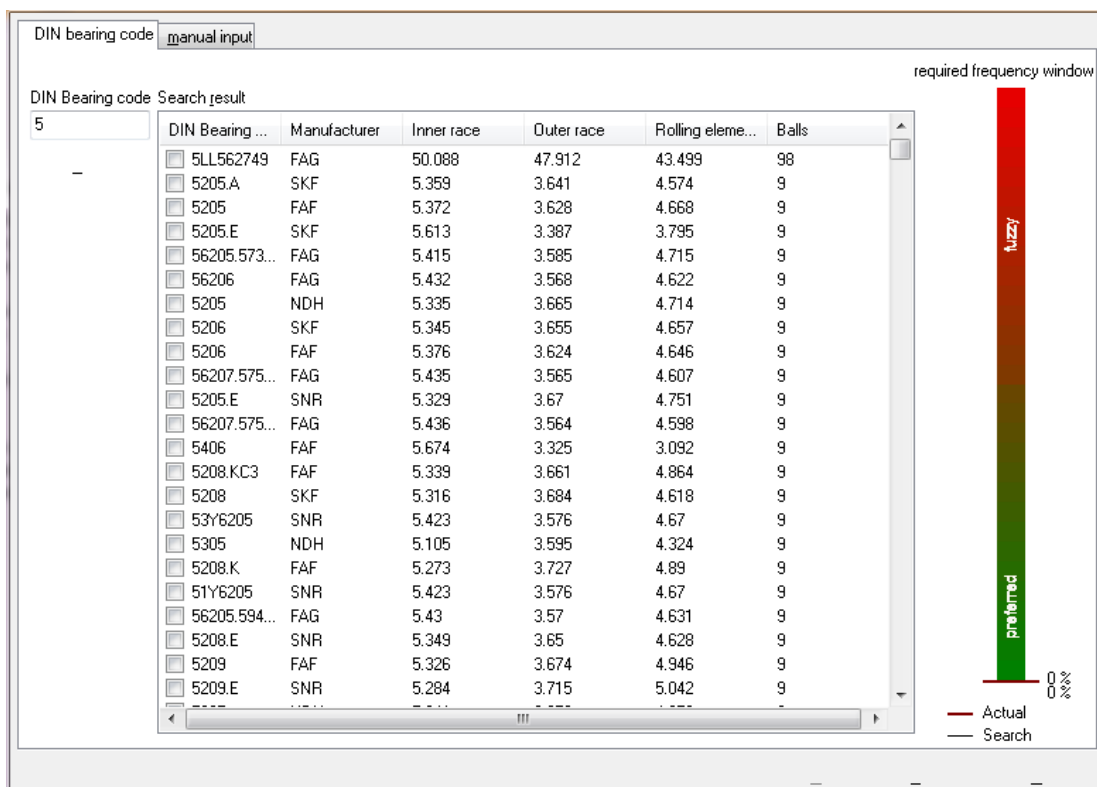
Nastavení

Po fyzickém zapojení jednotlivých součástí monitorovacího řetězce, spojení s PC a spuštění software je před započítím diagnostiky nejprve nutné provést základní nastavení.



Obr. 15 – Základní prostředí Efeotor octavis

Spárování s jednotkou VSE001 se provede zvolením položky VSE z hlavního menu aplikace. Po zadání správné IP adresy a portu je jednotka detekována a zobrazena na pravé straně v samostatném okně s popiskem VSE. V hlavním okně lze po zvolení připojeného senzoru zvolit konkrétní ložisko, které je senzorem monitorováno. Volbu ložiska lze provést buď z interní databáze aplikace, to pokud známe výrobce a přesný typ, zadáním DIN čísla ložiska nebo zadáním přesných rozměrů ložiska. Po zvolení ložiska a zadání rychlosti jeho rotace aplikace automaticky určí nejvhodnější referenční hodnotu vibrací, limitní hodnoty vibrací, frekvenční rozsah, filtr a metodu analýzy snímaného signálu. Aplikace zároveň umí pro ložisko při dané rychlosti rotace určit konkrétní hodnoty mezi pásem popsané v kapitole 4.4.1.



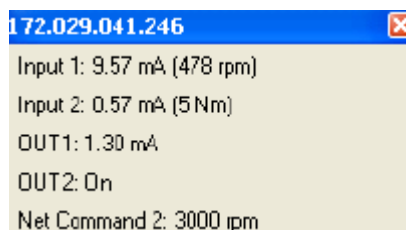
Obr. 16 – Okno výběru ložiska

Teach-in funkce

Teach-in je funkce, která dovoluje měřit referenční hodnoty vibrací a následně je uložit do jednotky VSE002. Referenční hodnoty jsou nezbytné v případě monitorování provozního stavu ložisek. Referenční hodnota se měří při provozu stroje za obvyklých podmínek. Funkce se spouští z hlavního menu, volba VSE>Teach-in.

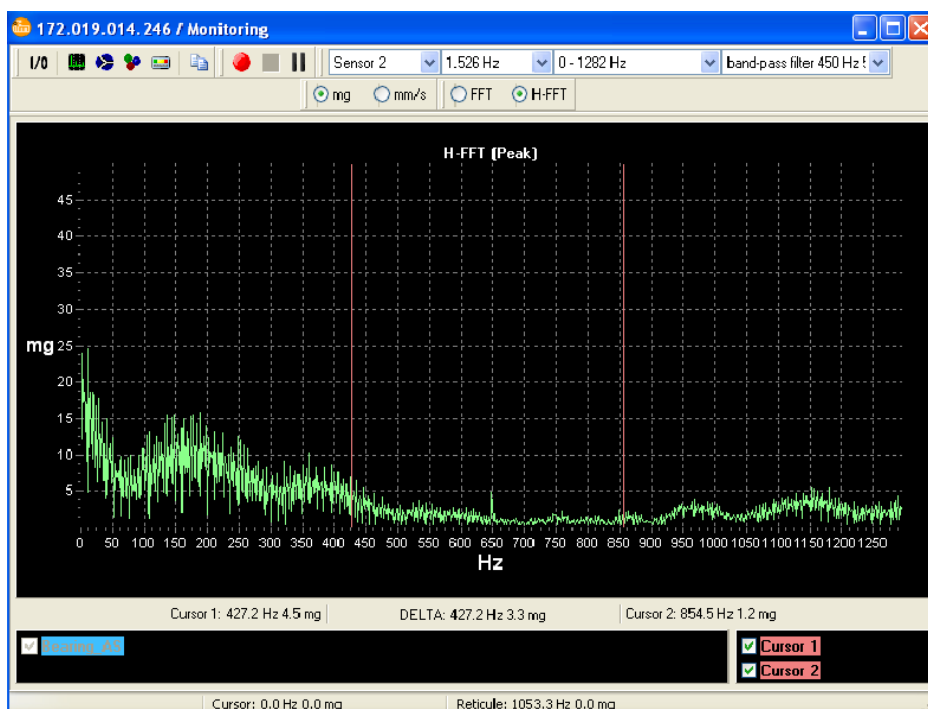
Okno monitorování

V okně monitorování lze volit z několika možností zobrazení. Jsou to vstupy/výstupy a monitorování spektra. V okně vstupy/výstupy lze sledovat jmenovité hodnoty snímané vyhodnocovací jednotkou.



Obr. 17 – Okno zobrazení jmenovitých hodnot vstupů/výstupů [2]

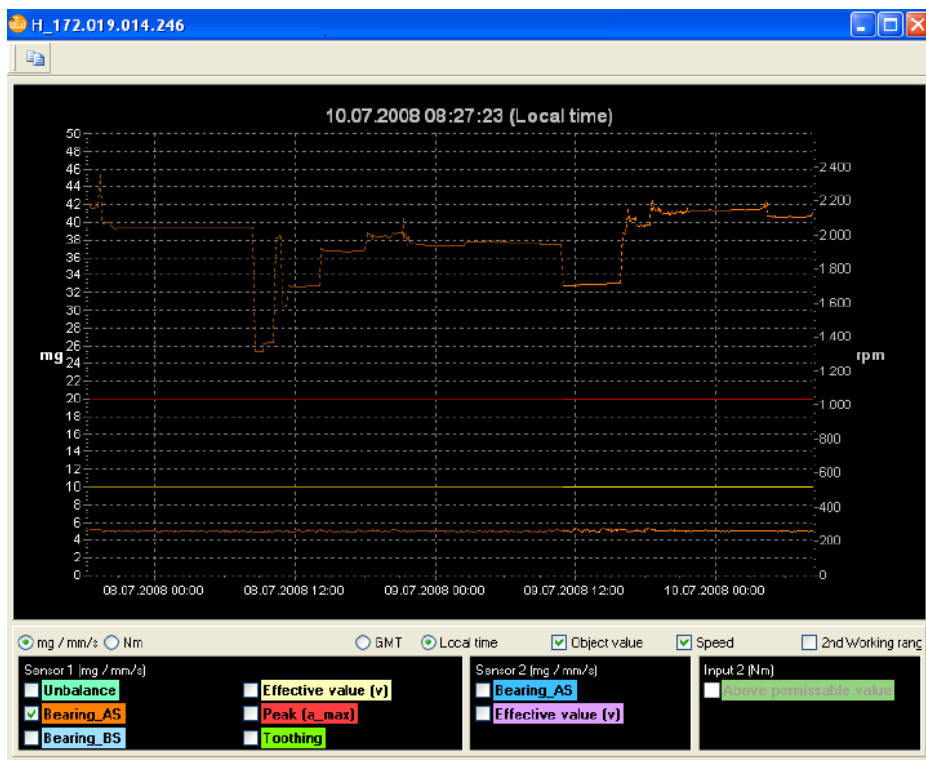
Volba monitorování spektra zobrazuje signál ze senzorů. V okně lze volit senzor, monitorovaný frekvenční rozsah, monitorovanou veličinu (zrychlení nebo rychlost vibrací), filtry pro snímání signálu a metodu analýzy signálu. Metody analýzy signálu jsou FFT a H-FFT. Volbou FFT zobrazíme nezpracovaný signál, tato volba slouží pro diagnostiku harmonických signálů vznikajících při chybách ložiska jako nevyvážení, kavitace nebo nepřesné uložení. Volba H-FFT zpracuje detekovaný signál obálkovou metodou (popsáno výše), je vhodná pro zpracování vysokofrekvenčních signálů. Tyto dvě možnosti lze nezávisle volit pro každý senzor a tím i ložisko. V okně lze také zvýraznit frekvenční pásma relevantní pro poškození konkrétní části ložiska.



Obr. 18 – Okno zobrazení monitorování spektra [2]

Historie měření

Diagnostická jednotka disponuje interní pamětí měření, je možno uložit až 30000 záznamů společně s jejich časem pořízení. Historie měření je důležitá zejména pro stanovení trendu vývoje stavu ložiska.



Obr. 19 – Okno zobrazení historie měření [2]

Vyhodnocování stavu ložiska

Pro vyhodnocení stavu ložiska jsou v Efactor octavis definována čtyři pásma odpovídající pásmům definovaným v normě ISO 10816. Nad rámec normy jsou však definovány nejen konkrétní hodnoty efektivní hodnoty vibrací, ale i typická špičková hodnota vibrací pro dané pásmo, dále je zde rozšíření v podobě kategorizace podle otáček stroje.

6 NÁVRH A REALIZACE LABORATORNÍ ÚLOHY

Jak už bylo řečeno, cílem laboratorní úlohy bude prakticky seznámit s monitorováním vibrací a s vyhodnocením stavu valivých ložisek. Laboratorní úloha potom vychází z výše popsané normy ISO 10816 a je založena na instrumentaci IFM electronic spol. s r. o.

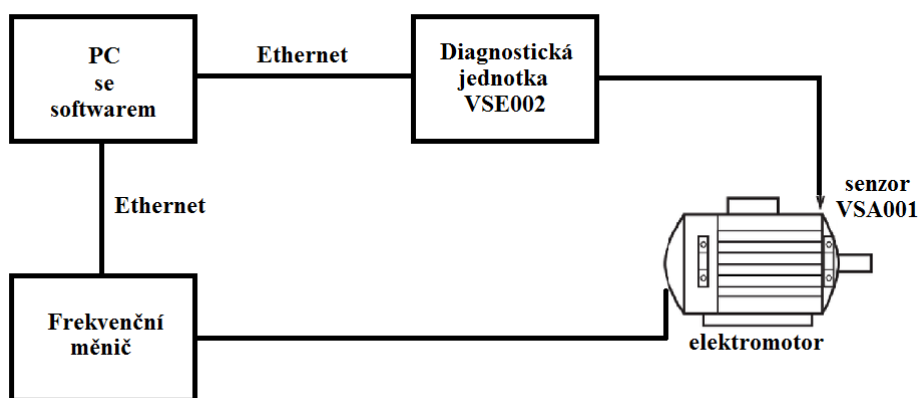
6.1 Použité přístroje

Pro laboratorní úlohu jsou použity následující přístroje:

- kapacitní senzor vibrací VSA001
- vyhodnocovací jednotka 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

6.2 Měřicí řetězec

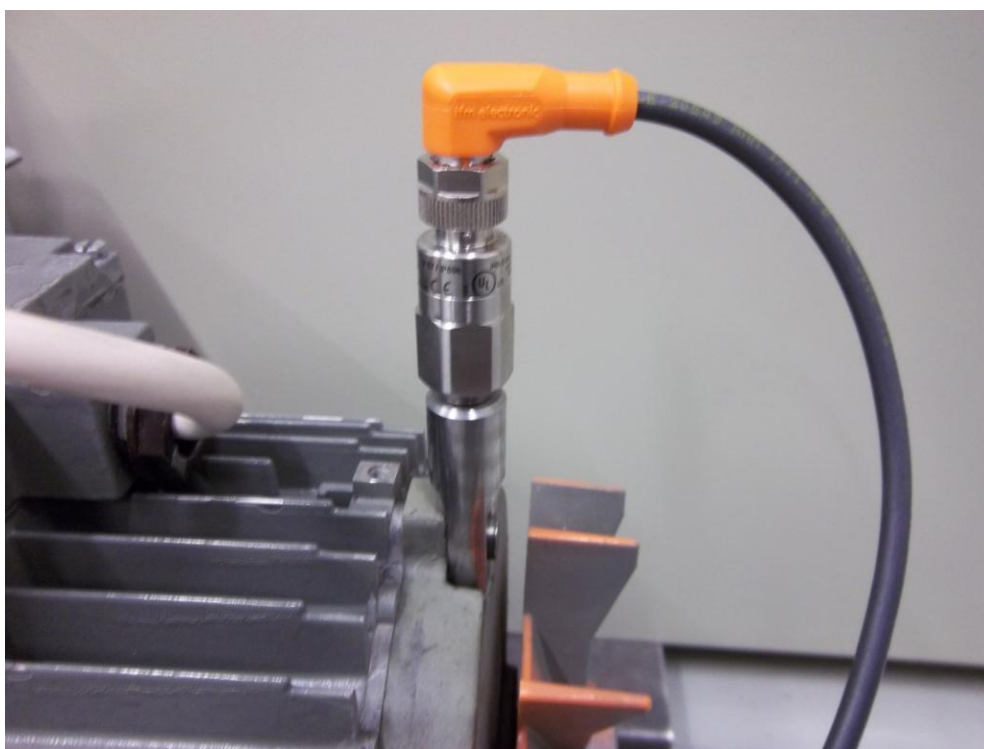
Měřicí řetězec je realizován z výše uvedených přístrojů podle následujícího zjednodušeného schématu. Nespornou výhodou tohoto zapojení je možnost ovládat a nastavovat celý měřicí řetězec pomocí PC.



Obr. 20 – Schéma diagnostického řetězce

6.2.1 Měřicí místo na elektromotoru

Měřicí místo na elektromotoru je zvoleno a provedeno tak, aby bylo v souladu jak s normou ČSN ISO 10816, tak i s požadavky výrobce senzoru. Konkrétně to znamená, že místo umístění senzoru bylo vybráno tak, že je co nejbližší tělesu ložiska a že osa senzoru je umístěna kolmo na osu rotoru – tj. v předpokládaném směru šíření vibrací. Konstrukce motoru bohužel nedovolila přímé spojení tělesa motoru se senzorem, bylo nutno vytvořit kovový nástavec, do kterého je senzor uchycen. Protože je toto spojení pevné a nástavec se dá považovat za součást motoru, přenášené vibrace do senzoru jsou utlumeny nebo zkresleny zcela zanedbatelně. Umístění senzoru je zachyceno na obrázku 21.



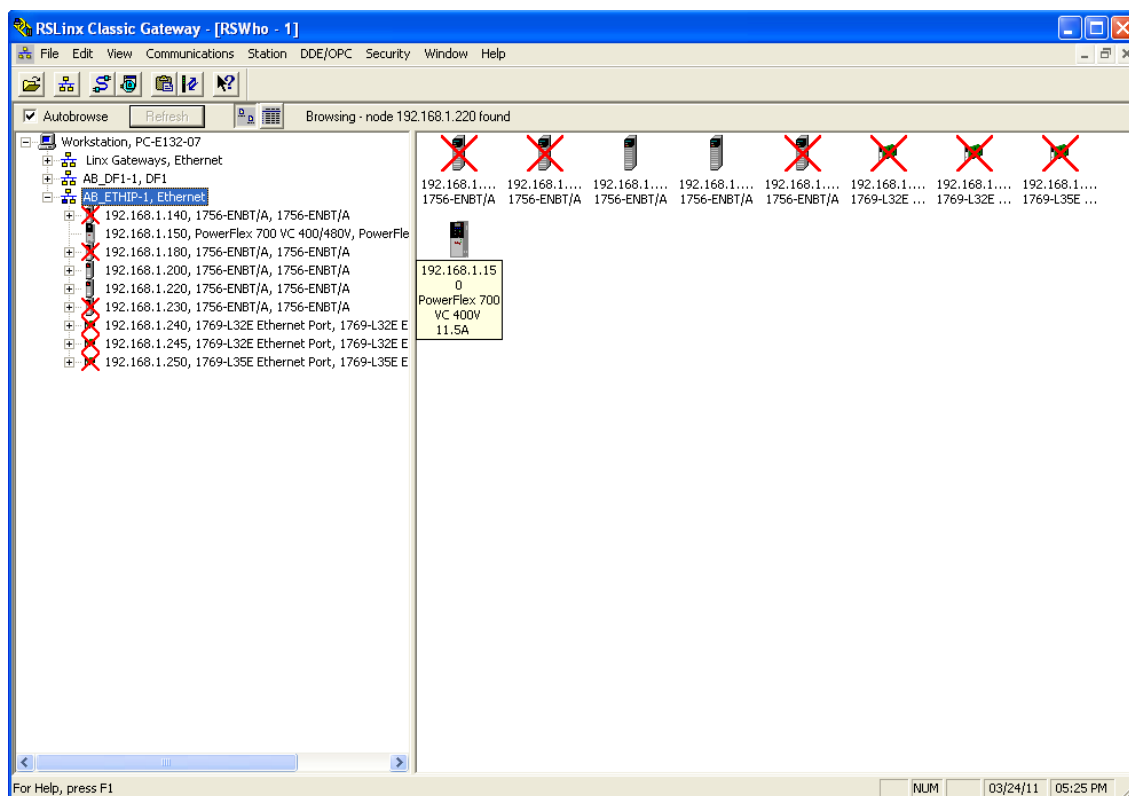
Obr. 21 – Provedení měřicího místa na elektromotoru

6.2.2 Ovládání elektromotoru

Ovládání elektromotoru je řešeno pomocí frekvenčního měniče PowerFlex 700 VC a bylo realizováno v rámci jiné bakalářské práce. Frekvenční měnič umožňuje elektromotor nejen vypnout a zapnout, ale i plynule regulovat frekvenci a tím i otáčky motoru. To je nezbytné pro měření vibrací při jiných než nominálních otáčkách motoru. Rozsah možných frekvencí měniče je 0 až 55 Hz, což při nominálních otáčkách motoru 930 ot./min. při 50 Hz znamená volitelný rozsah otáček přibližně 0 až 1020 ot./min.

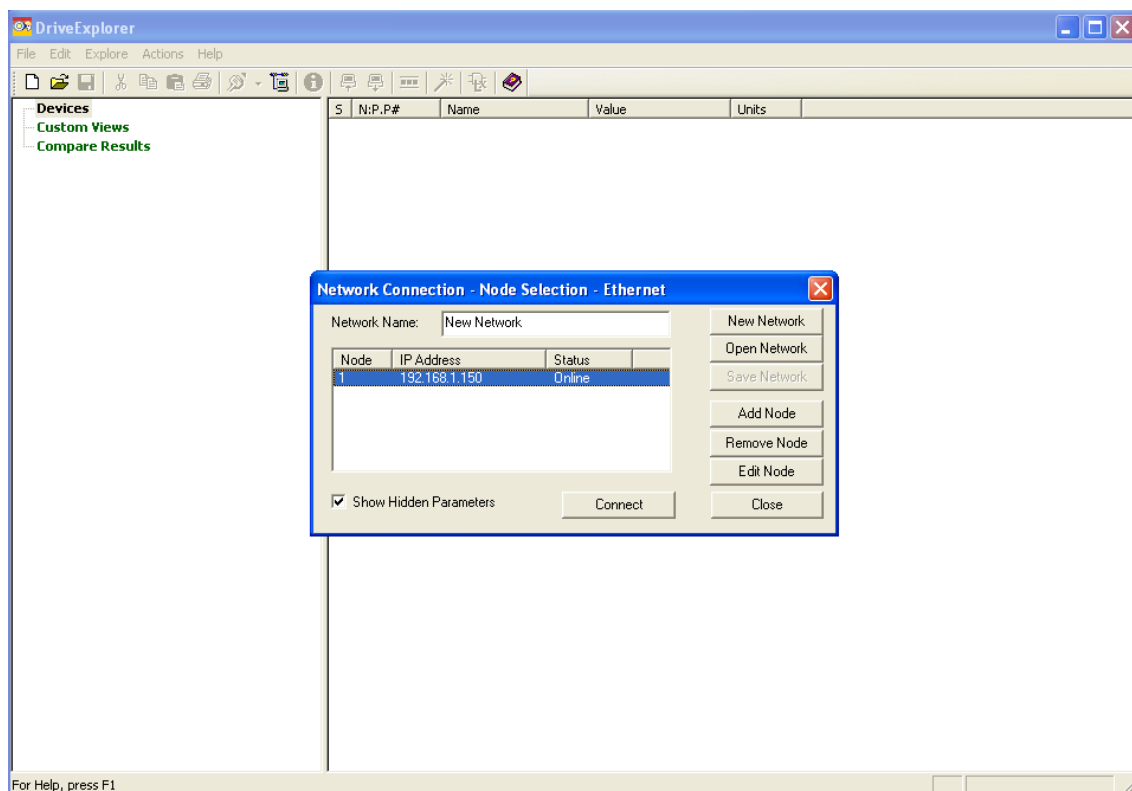
Nastavení frekvenčního měniče

Frekvenční měnič se ovládá pomocí PC a programu DriveExplorer přes rozhraní ethernet a pro správnou funkčnost se jak PC, tak i frekvenční měnič musí nacházet ve stejné síti. IP adresu PC jednoduše zjistíme v nastavení síťových adaptérů, pro zjištění IP adresy a její případnou změnu poslouží program RSLinx.

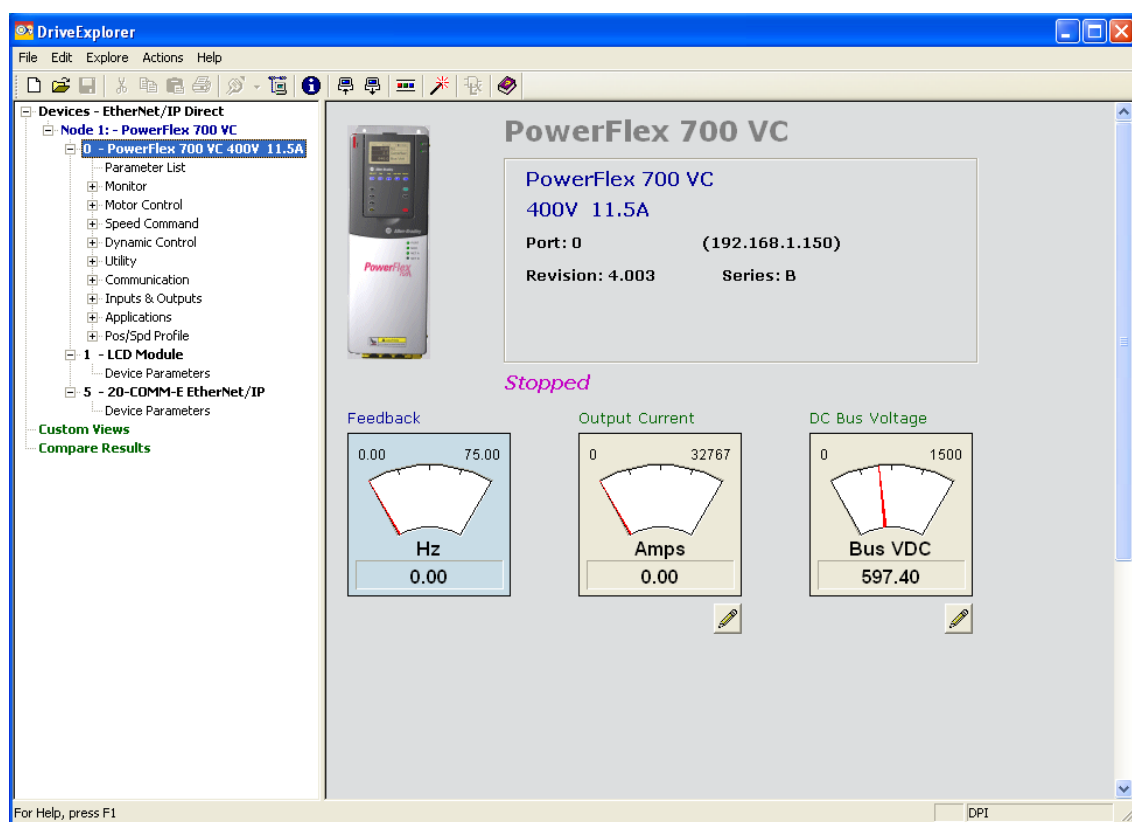


Obr. 22 – Prostředí programu RSLinx

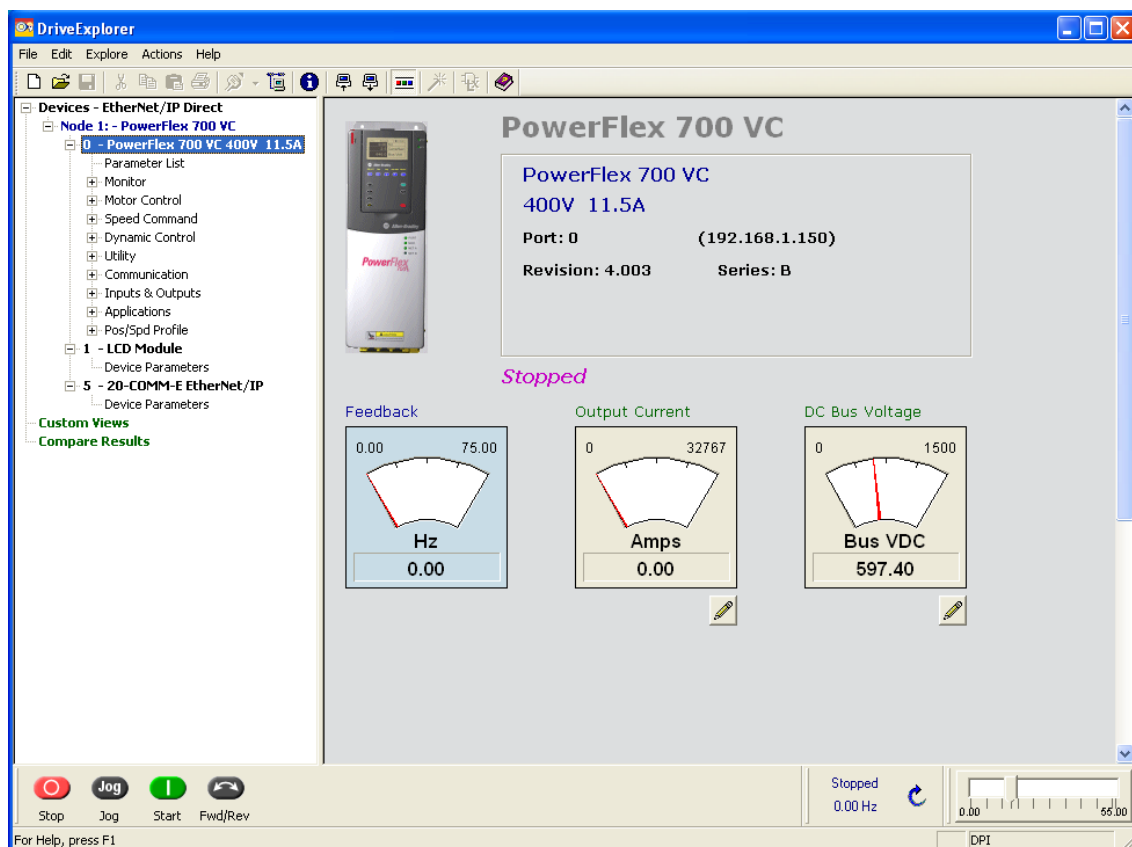
Na obr. 22 vidíme, že je frekvenční měnič připojen k síti a má IP adresu 192.168.1.150. Dalším krokem je spuštění programu DriveExplorer. Volbou síťového připojení a zadáním IP adresy frekvenčního měniče (obr. 23), dojde k identifikaci měniče a spárování s ním (obr. 24). Posledním krokem je volba Actions -> Control bar, která zpřístupní ovládání měniče z prostředí programu (obr. 25).



Obr. 23 – Zadání IP adresy měniče



Obr. 24 – Frekvenční měnič v DriveExplorer

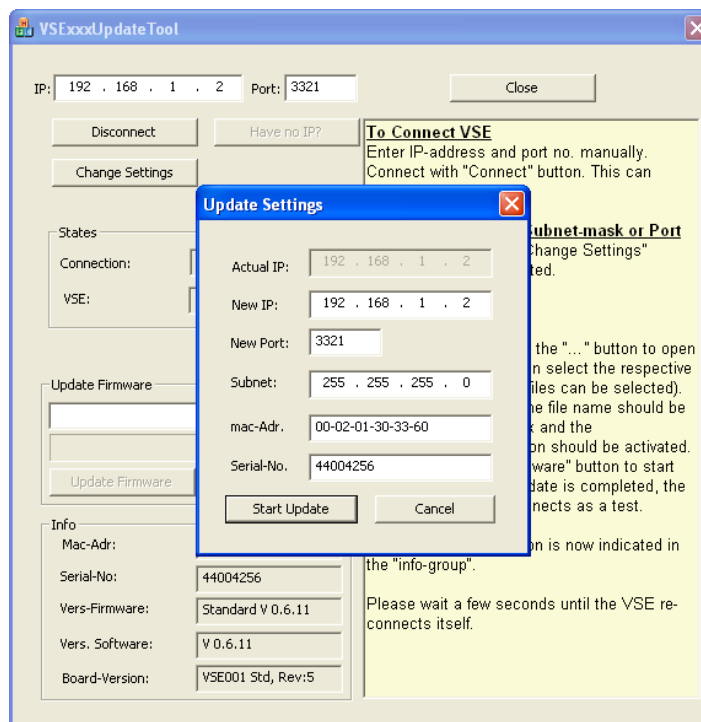


Obr. 25 – Ovládání měniče v DriveExplorer

Ovládání frekvenčního měniče je velmi jednoduché a sestává z následujících prvků: tlačítka Start/Stop (obr. 25 vlevo dole) a posuvník pro zadání požadované frekvence (obr. 25 vpravo dole). Frekvenci lze posuvníkem měnit i za chodu motoru.

6.2.3 Síťové nastavení diagnostické jednotky

Diagnostická jednotka VSE002 je stejně jako frekvenční měnič spojena a ovládána PC po rozhraní ethernet. Je proto nutné zajistit její správné síťové nastavení. Implicitně je u jednotky pro komunikaci nastavena IP adresa 192.168.0.1 a port 3321. Toto nastavení lze v případě potřeby změnit programem VSExxxUpdate Tool. Po spuštění tento program jednotku v síti vyhledá a zobrazí její aktuální nastavení. Stisknutí tlačítka Change settings otevře okno změny nastavení (obr. 26). Po zadání zvolené IP adresy (případně i portu) a stisku tlačítka Start update jsou nastavení uložena do diagnostické jednotky. Pomocí těchto zadaných parametrů lze jednotku identifikovat v programu Efektor octavis.

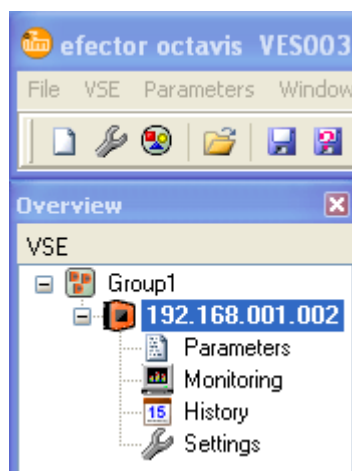


Obr. 26 – Nastavení IP jednotky VSE002

6.2.4 Nastavení Efektor octavis

Spojení s jednotkou VSE002

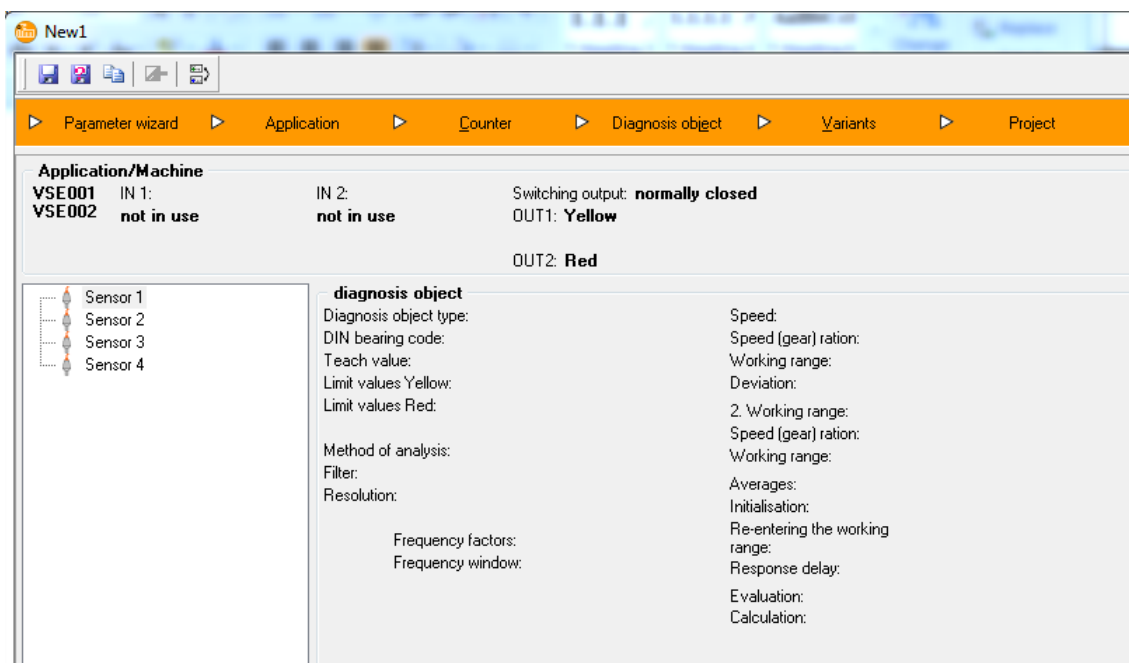
Nastavení spojení s jednotkou je možné přes položku hlavního menu Sensor -> New -> VSE. Tato volba otevře okno, ve kterém postupně volíme typ spojení, IP adresu a port. Po zadání správných údajů je možné se s jednotkou spojit, spojení je indikováno v okně Overview, v části Group (obr. 27).



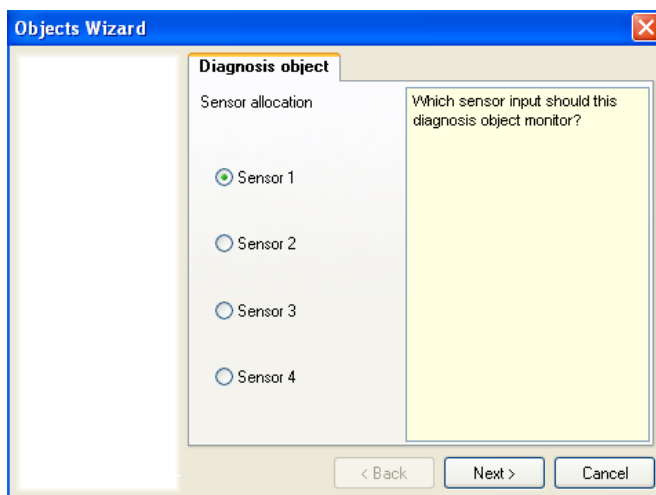
Obr. 27 – Indikace spojení s diagnostickou jednotkou

Nastavení měření a ložiska

Nastavení měření se provede zvolením položky Parameter wizard v hlavním okně aplikace (obr. 28). V nově otevřeném okně je potřeba postupně vyplnit senzor, který budeme monitorovat (Sensor 1, obr. 29), použití (rychlost, obr. 30), zdroj (proudová smyčka 0-20 mA, obr. 31), nejnižší a nejvyšší referenční hodnoty proudu a odpovídající rychlosti (0/20 mA a 0-930 ot./min., obr. 32 a 33).



Obr. 28 – Hlavní okno aplikace



Obr. 29 – Výběr monitorovaného senzoru

Parameter Wizard

IN 1

Usage

☐ not in use
☒ Speed
☐ Measurement value input
☐ octavis VE113A

The input can be used to input the speed value for frequency analysis or as measurement value input to monitor further measurement values.

When using octavis VE113A the input can be preset with the suitable values.

< Back Next > Cancel

Obr. 30 – Výběr použití senzoru

Parameter Wizard

IN 1

Supply

☒ 0/4...20 mA current loop
☐ pulse input

In variable speed applications the Diagnostic Electronics (VSE) has to be supplied with the speed information. This is possible using the 2 input channels (IN 1 and IN 2) via a 0/4...20 mA current loop or a pulse input.

For pulse input please ensure that a HTL level compatible signal source is used (e.g. proximity switch) and that the switching frequency of the signal source is greater than 0.1 Hz and below 300 kHz.

< Back Next > Cancel

Obr. 31 – Výběr zdroje senzoru

Parameter Wizard

IN 1

Lowest reference point

Current
 mA

Speed
 rpm

Two pairs of values (current, speed) calibrate the speed input.

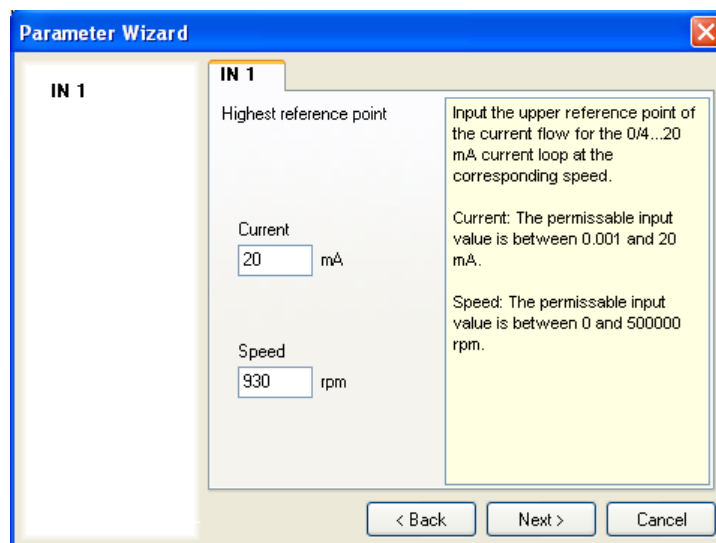
Input the lower reference point of the current flow for the 0/4...20 mA current loop at the corresponding speed.

Current: The permissible input value is between 0 and 19.999 mA.

Speed: The permissible input value is between 0 and 500000 rpm.

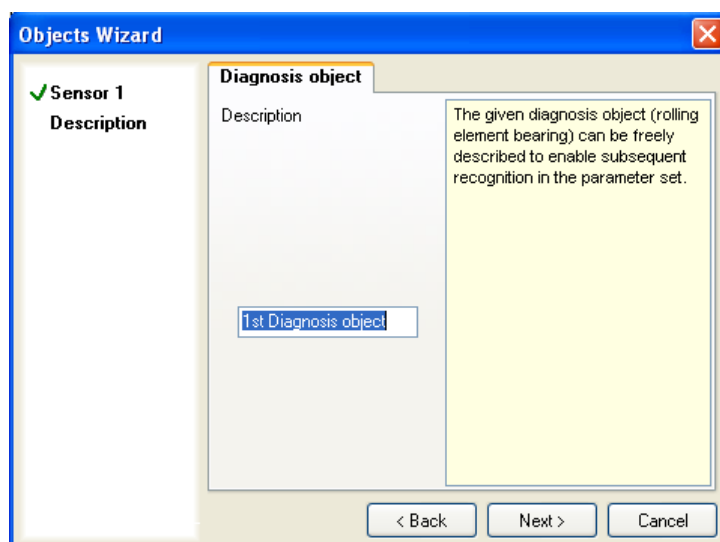
< Back Next > Cancel

Obr. 32 – Výběr nejnižší referenční hodnoty

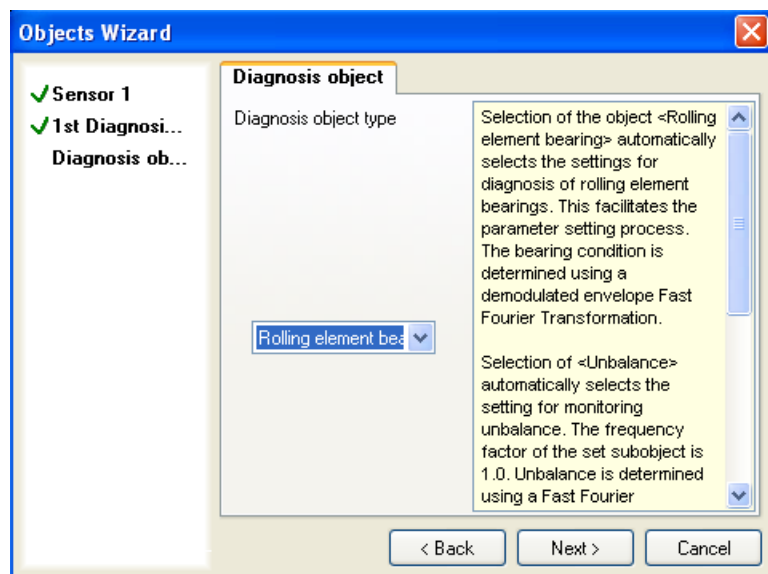


Obr. 33 – Výběr nejvyšší referenční hodnoty

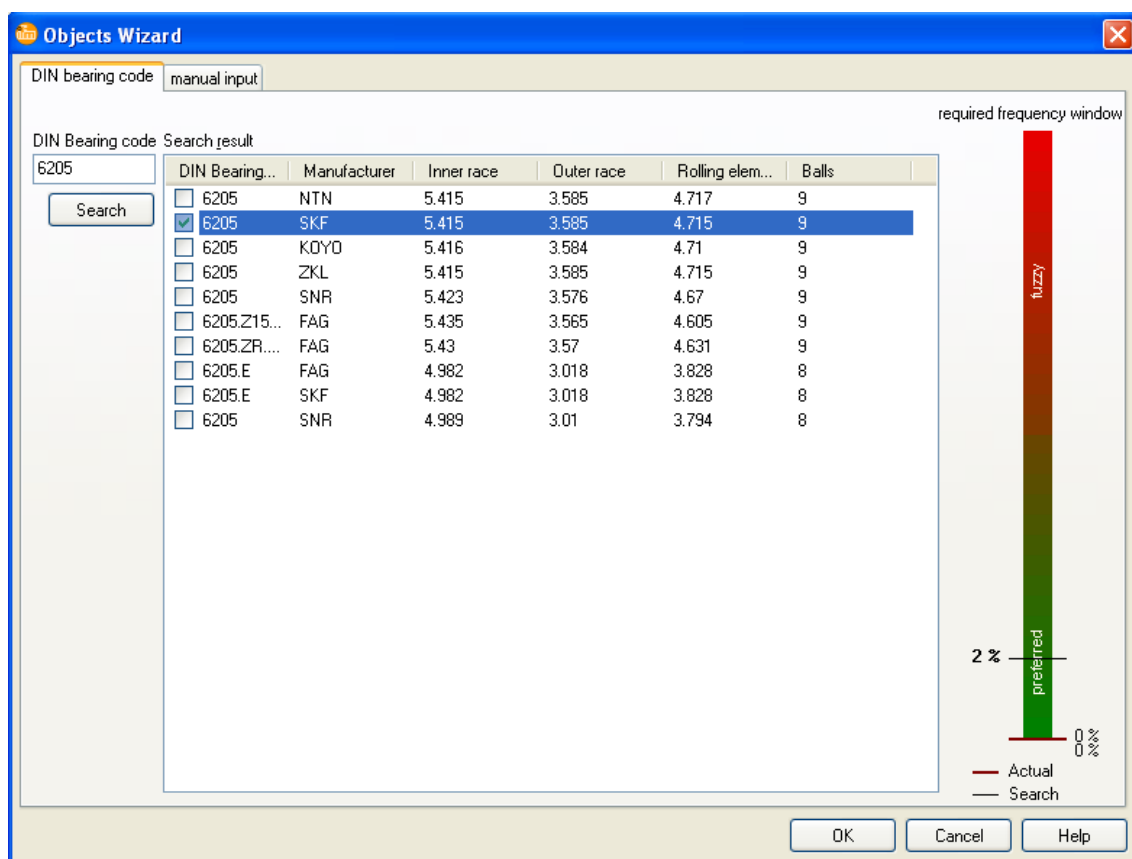
Dalším krokem je nastavení ložiska, které provedeme zvolením položky Diagnosis object na hlavní obrazovce. V průvodci zadáme jméno diagnostického objektu (obr. 34), typ diagnostického objektu (valivé ložisko, obr. 35), konkrétní typ ložiska (obr. 36), zdroj rotační rychlosti (obr. 37), typickou rychlost (obr. 38) a volbu potvrdíme (obr. 39). Po úspěšném nastavení jsou všechny údaje shrnuty na hlavní obrazovce aplikace.



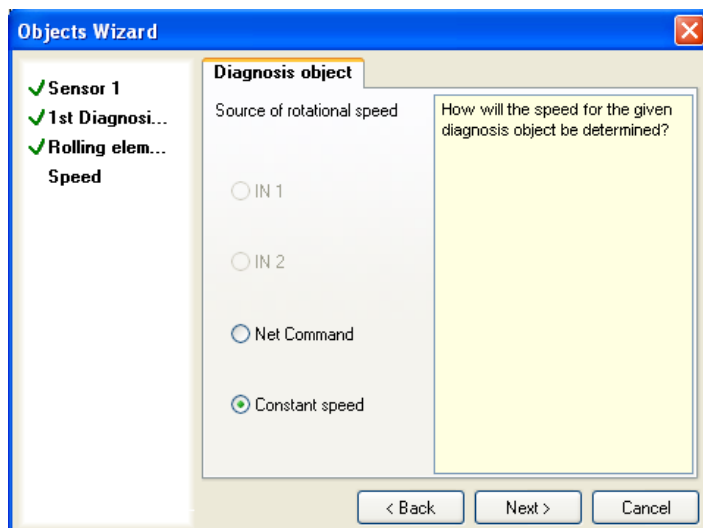
Obr. 34 – Výběr jména objektu



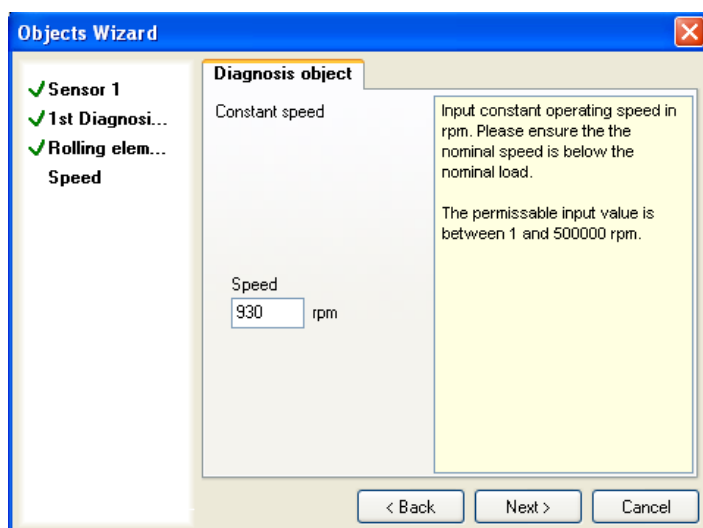
Obr. 35 – Výběr typu objektu



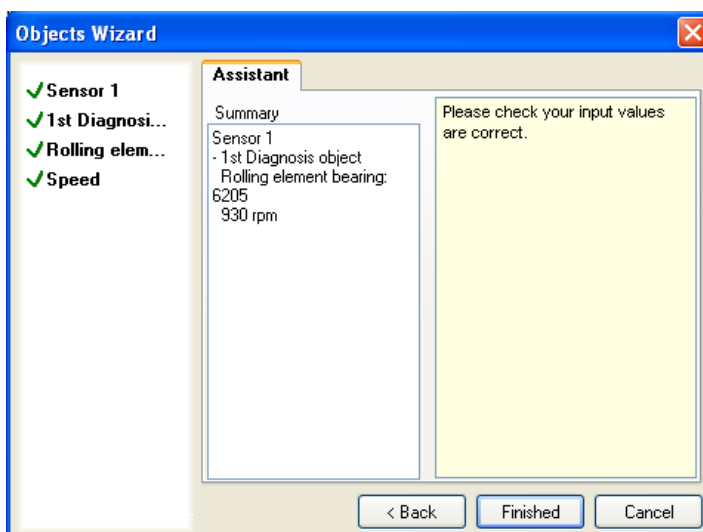
Obr. 36 – Výběr ložiska



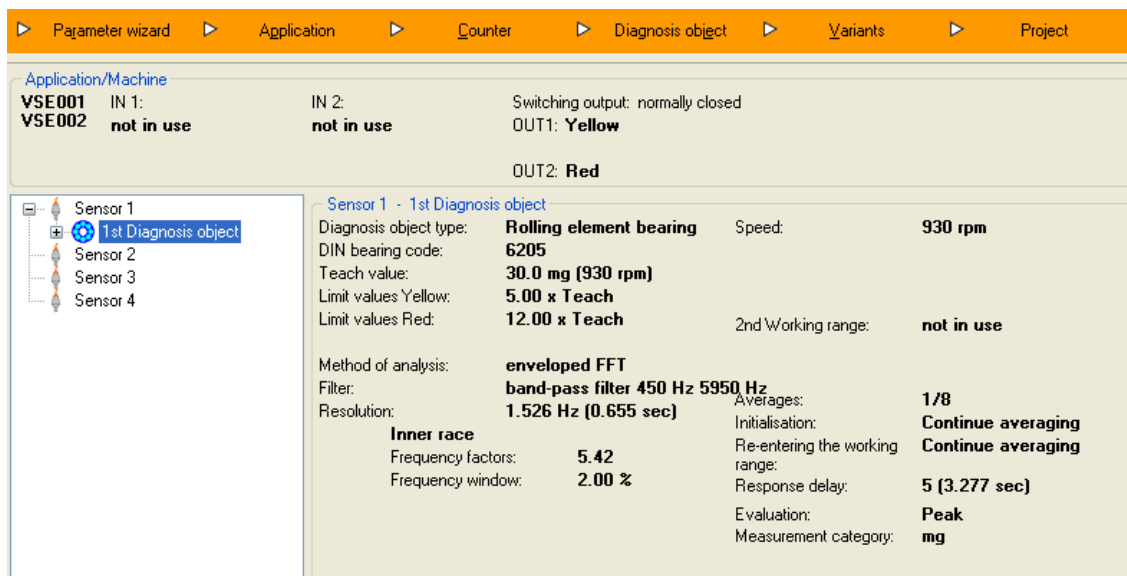
Obr. 37 – Výběr zdroje rotační rychlosti



Obr. 38 – Volba typické rychlosti



Obr. 39 – Potvrzení dat



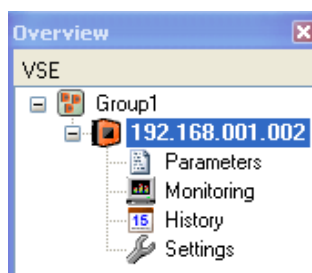
Obr. 40 – Hlavní okno aplikace s vyplněnými daty

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 mezi velikostí vibrací. Pro ložisko 6205 byla automaticky zvolena referenční hodnota vibrací 30 mg. Meze pásem jsou potom pěti a devítinásobek této referenční hodnoty. Referenční hodnotu lze také získat měřením, to je však vhodné pro ložisko nové. Aplikace dále automaticky volí metodu analýzy (zde obálková FFT zmíněná v kapitole 4.6.2) 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.

6.3 Měření a jeho výsledky

Ve chvíli, kdy je celý měřicí řetězec nastaven a nastavení uloženo do diagnostické jednotky je možno začít měření. Okno měření se otevře volbou položky Monitoring z okna Overview u příslušné spárované diagnostické jednotky (obr. 41).



Obr. 41 – Otevření okna měření vibrací

V okně monitorování je na výběr několik možností zobrazení monitorovaných vibrací. První možností je zobrazení frekvenčního spektra. Frekvenční spektrum je možno zobrazit s použitím FFT nebo obálkové FFT. Pro měření byla použita volba obálkové FFT (H-FFT), tato možnost totiž umožňuje ve frekvenčním spektru zvýraznit frekvence důležité pro jednotlivé elementy ložiska (frekvence jsou zvýrazněny svislou zelenou čarou). V okně frekvenčního spektra je dále možno zvolit jednotku pro vibrace (zrychlení [mg] nebo rychlost [mm/s]; pro měření byla zvolena rychlost, protože norma určuje meze na základě této veličiny), zobrazení špičkových nebo efektivních hodnot (PEAK/RMS; pro měření zvoleny efektivní hodnoty tak jak to doporučuje norma) a rozsah monitorovaného spektra (pro měření zvolen vždy takový rozsah, aby posuzované frekvence pro jednotlivé elementy byly co nejlépe viditelné). Je také možno manuálně zvolit rozsah osy X (velikost vibrací; voleno opět tak, aby hodnoty pro jednotlivé elementy byly dobře viditelné). Jestliže monitorujeme frekvenční spektrum pomocí H-FFT, je také možno zvolit filtr aplikovaný na signál. Tento filtr byl ponechán tak, jak ho program zvolil jako nejvhodnější při nastavení měřicího řetězce (band-pass 450Hz 5950Hz).

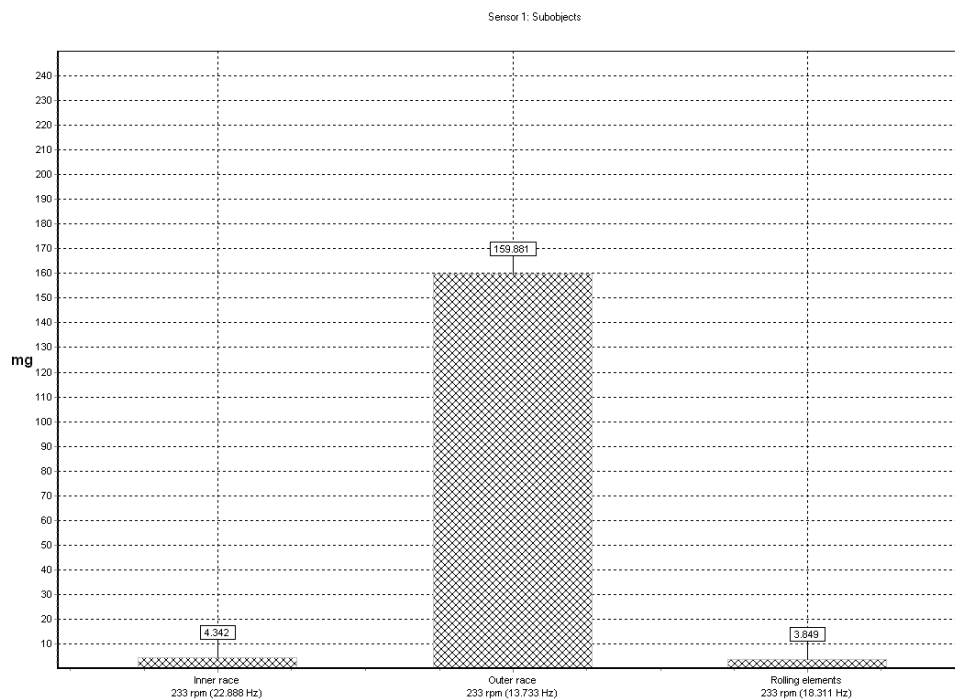
Druhou možností monitorování je zobrazení vibrací jednotlivých elementů. Zobrazení obsahuje tři sloupce reprezentující jednotlivé části ložiska (Inner race – vnitřní kroužek, Outer race – vnější kroužek, Rolling elements – valivé elementy). Výška sloupců na stupnici indikuje velikost vibrací. Tento typ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

Dalším možným zobrazením je zobrazení vibrací celého ložiska. Obdobně jako v předchozím případě se jedná o sloupcové zobrazení, také v tomto případě je veličinou zrychlení [mg].

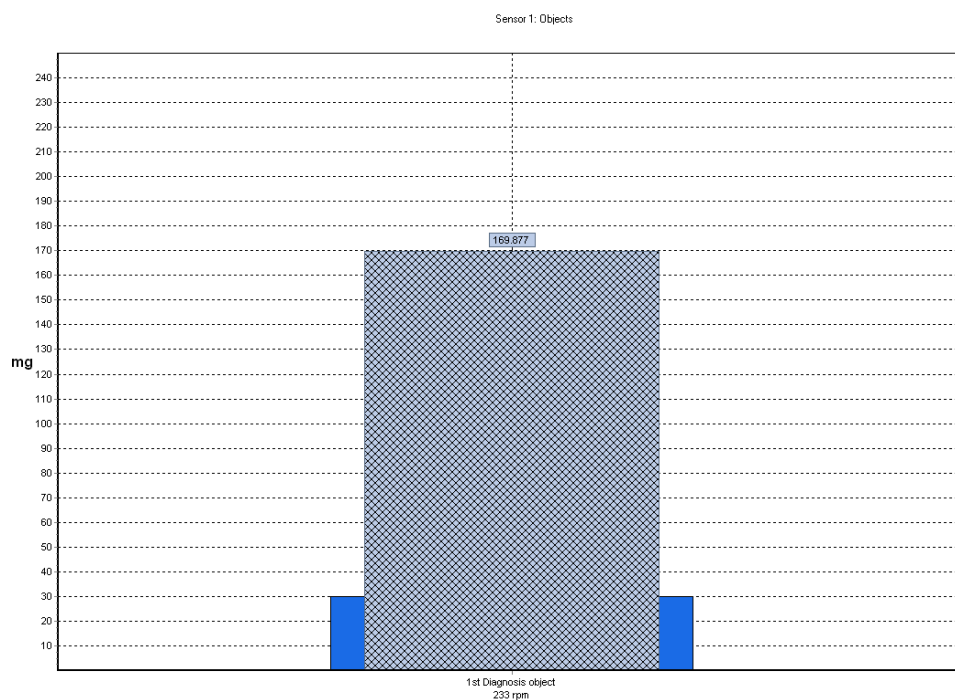
Poslední možností je zobrazení poškození ložiska ve vztahu k pásmům poškození definovaným normou. Jde o bezrozměrné sloupcové zobrazení, kdy je hodnota vibrací znázorněna jako násobek Teach-in hodnoty (hodnota 1 označuje nové ložisko), jsou zde také pro větší názornost vyznačeny jednotlivá pásma.

Pro měření byly kromě nominálních otáček (930 ot./min.) motoru zvoleny ještě hodnoty 233, 465 a 1020 ot./min., které představují 25, 50 a 110% otáček nominálních.

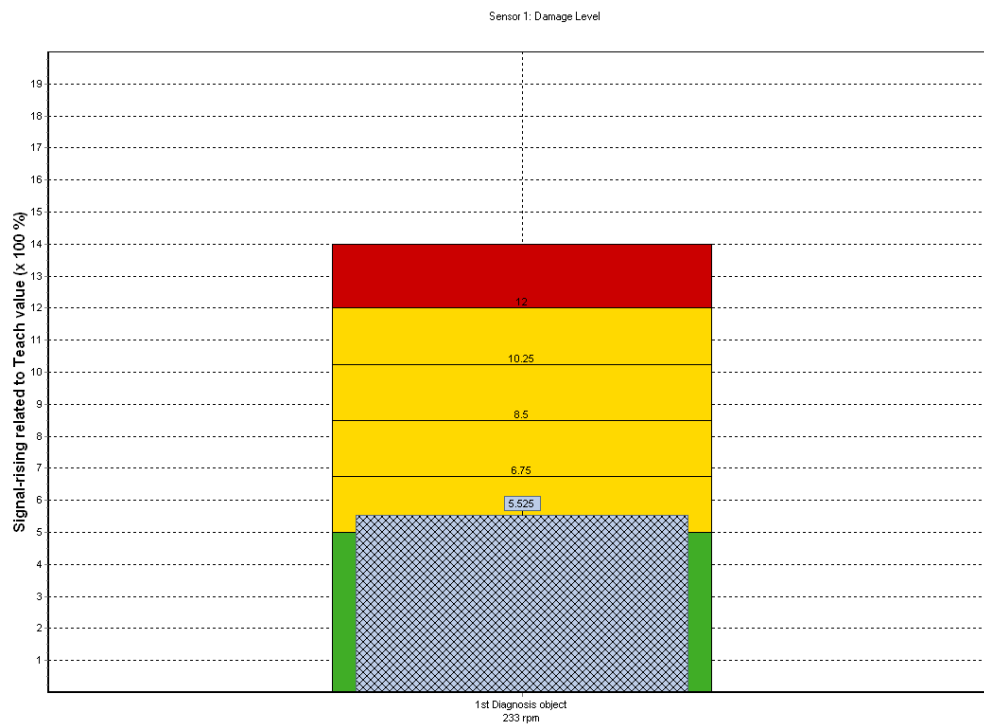
6.3.1 Měření 233 ot./min.



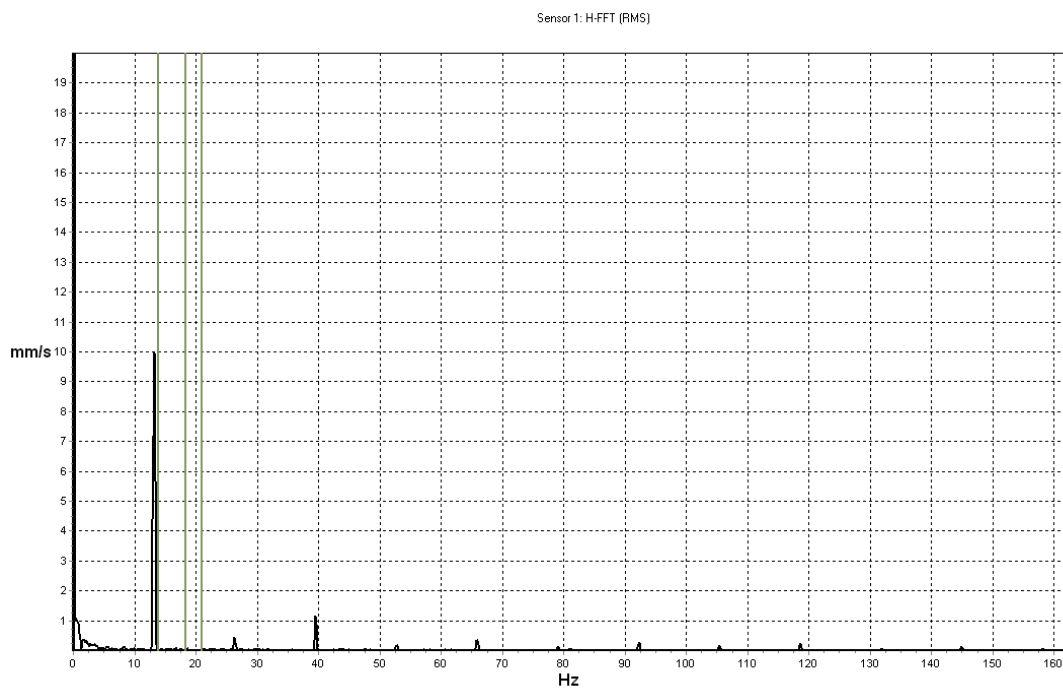
Obr. 42 – Vibrace jednotlivých elementů při 233 ot./min.



Obr. 43 – Vibrace ložiska při 233 ot./min.

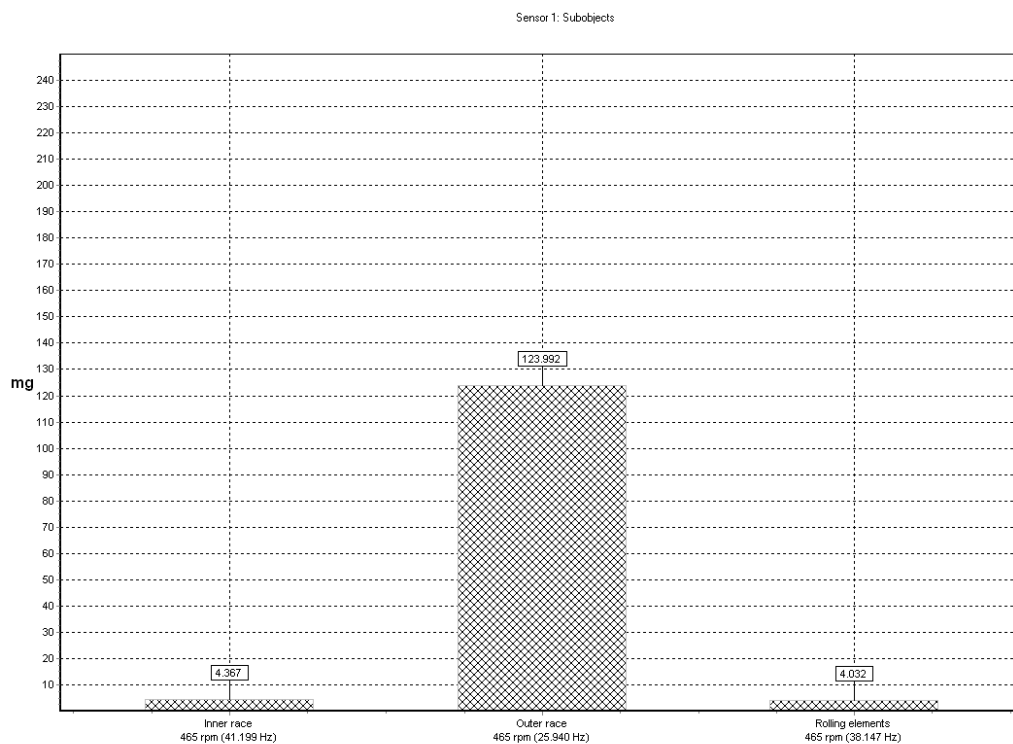


Obr. 44 – Pásmo ložiska při 233 ot./min.

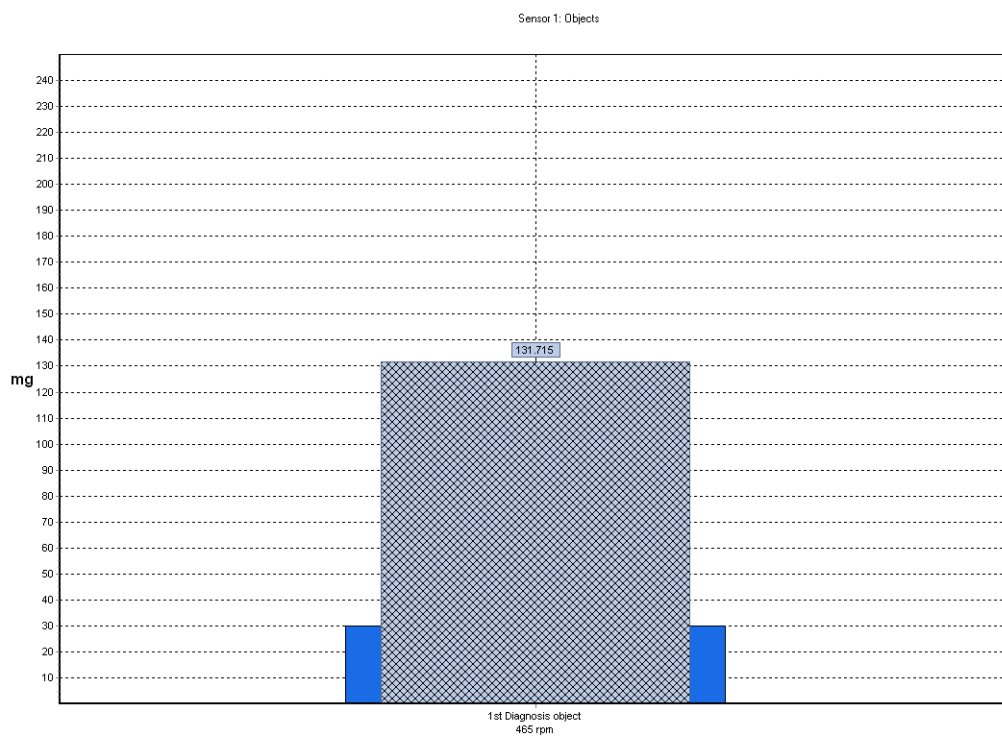


Obr. 45 – Frekvenční spektrum vibrací při 233 ot./min.

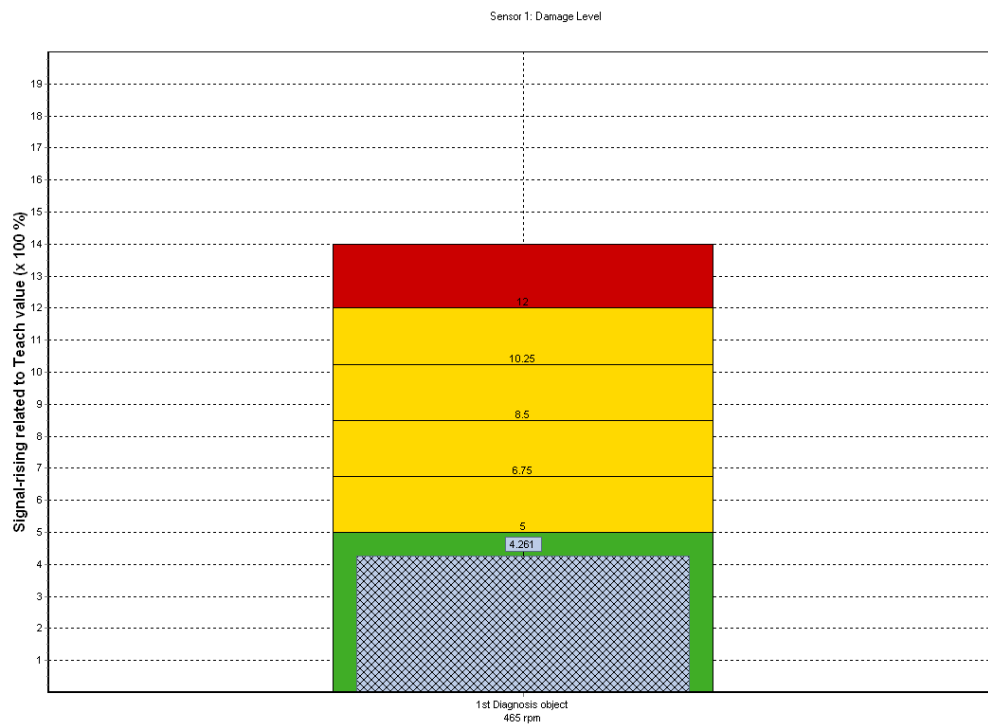
6.3.2 Měření 465 ot./min.



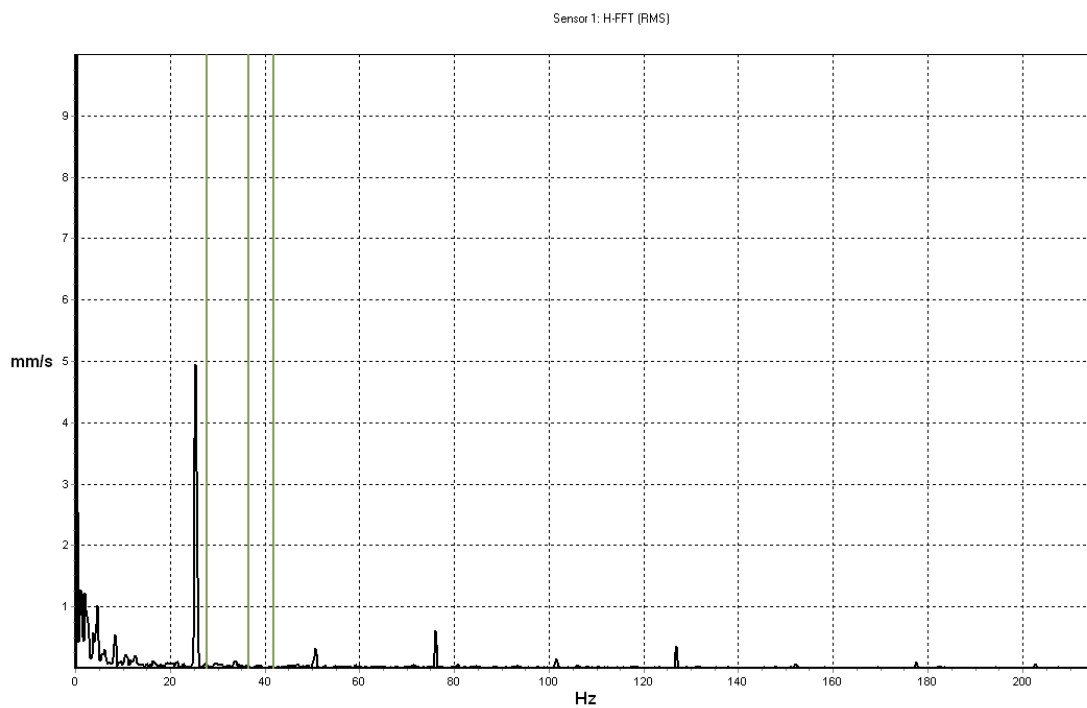
Obr. 46 – Vibrace jednotlivých elementů při 465 ot./min.



Obr. 47 – Vibrace ložiska při 465 ot./min.

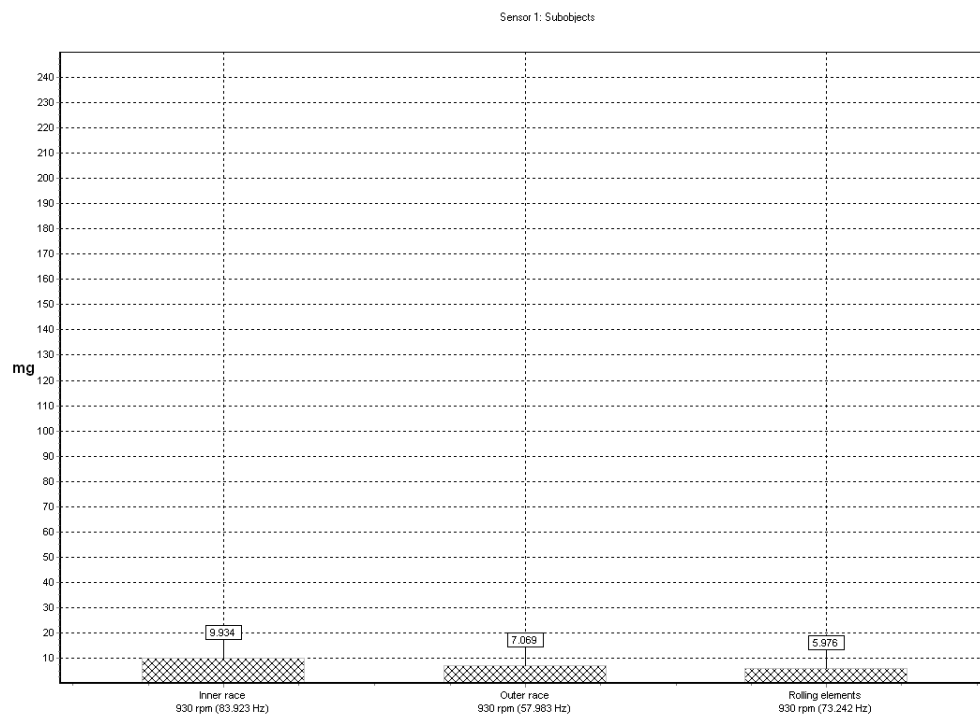


Obr. 48 – Pásmo ložiska při 465 ot./min.

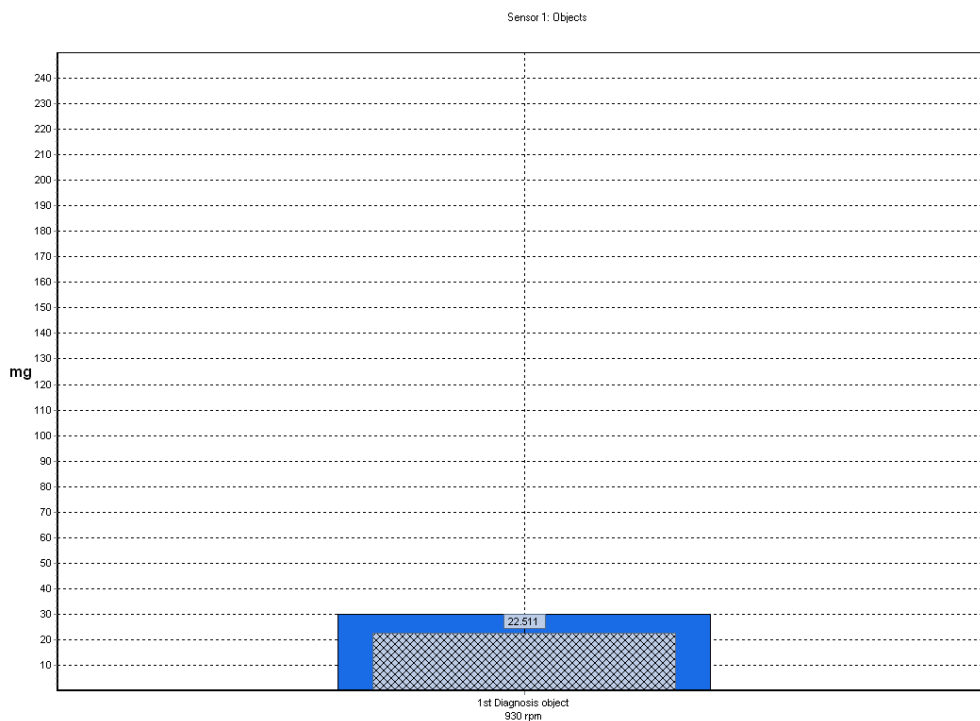


Obr. 49 – Frekvenční spektrum vibrací při 465 ot./min.

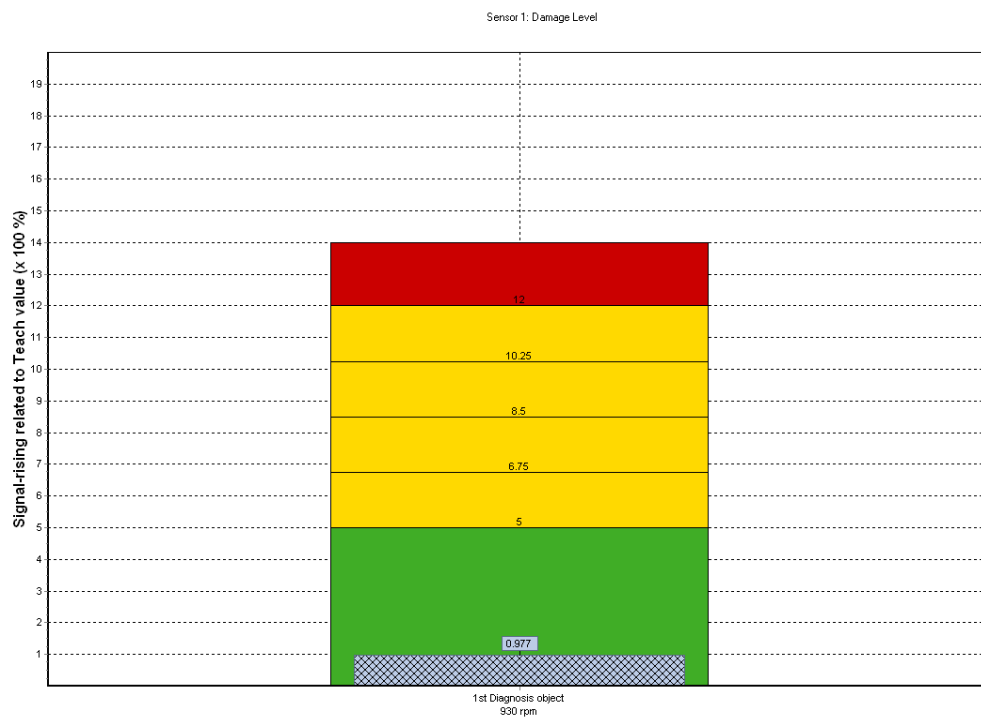
6.3.3 Měření 930 ot./min.



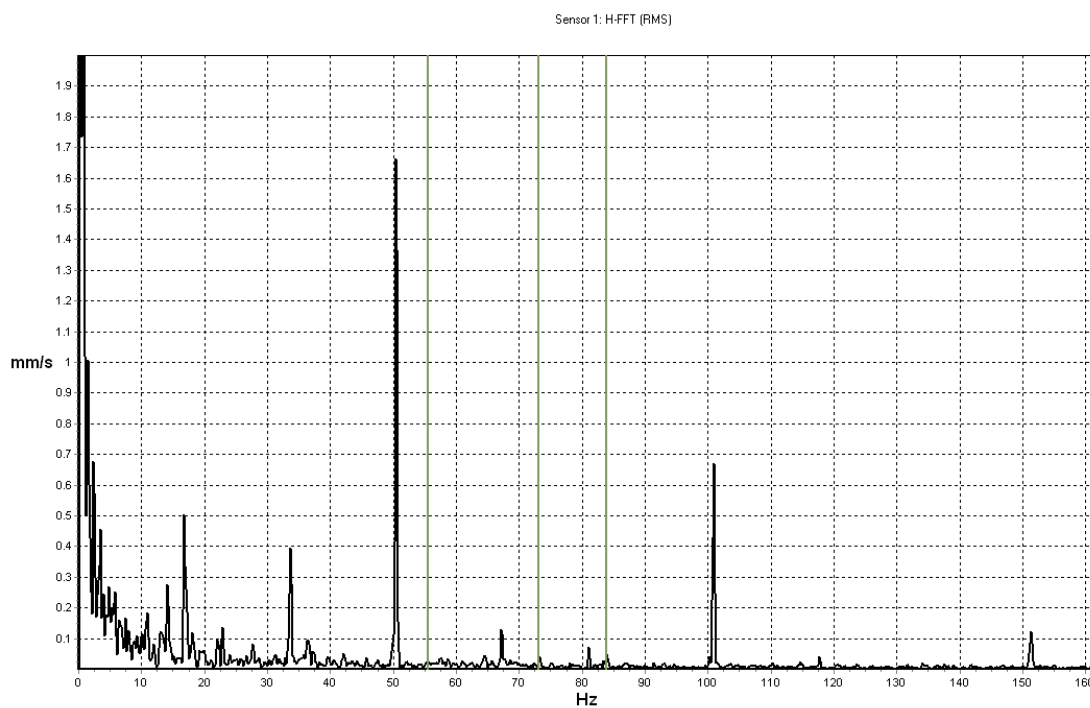
Obr. 50 – Vibrace jednotlivých elementů při 930 ot./min.



Obr. 51 – Vibrace ložiska při 930 ot./min.

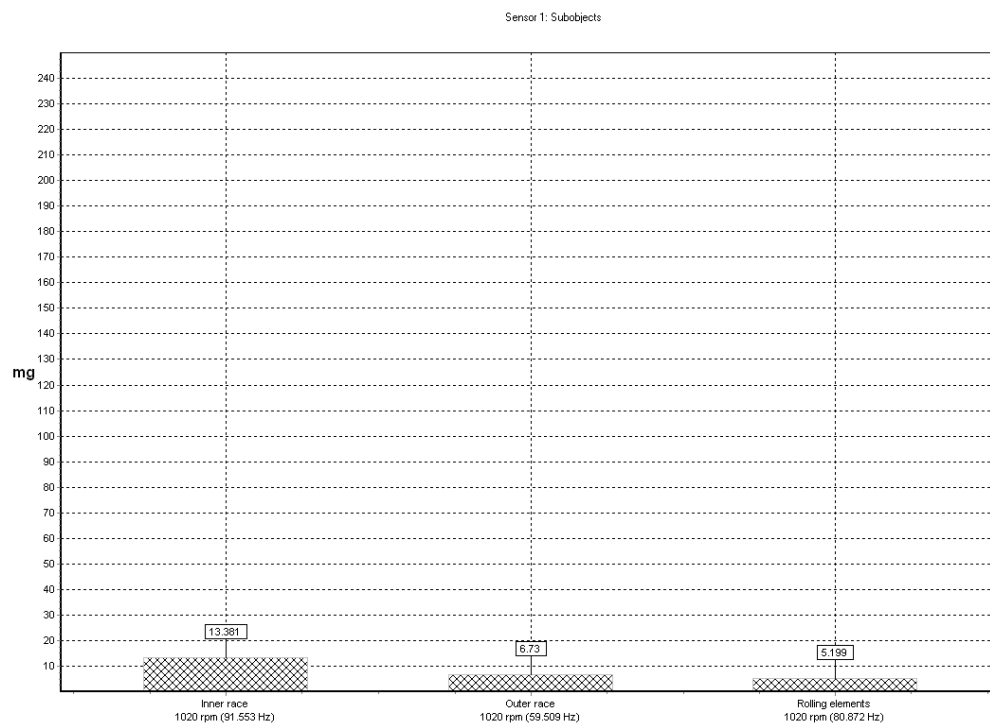


Obr. 52 – Pásmo ložiska při 930 ot./min.

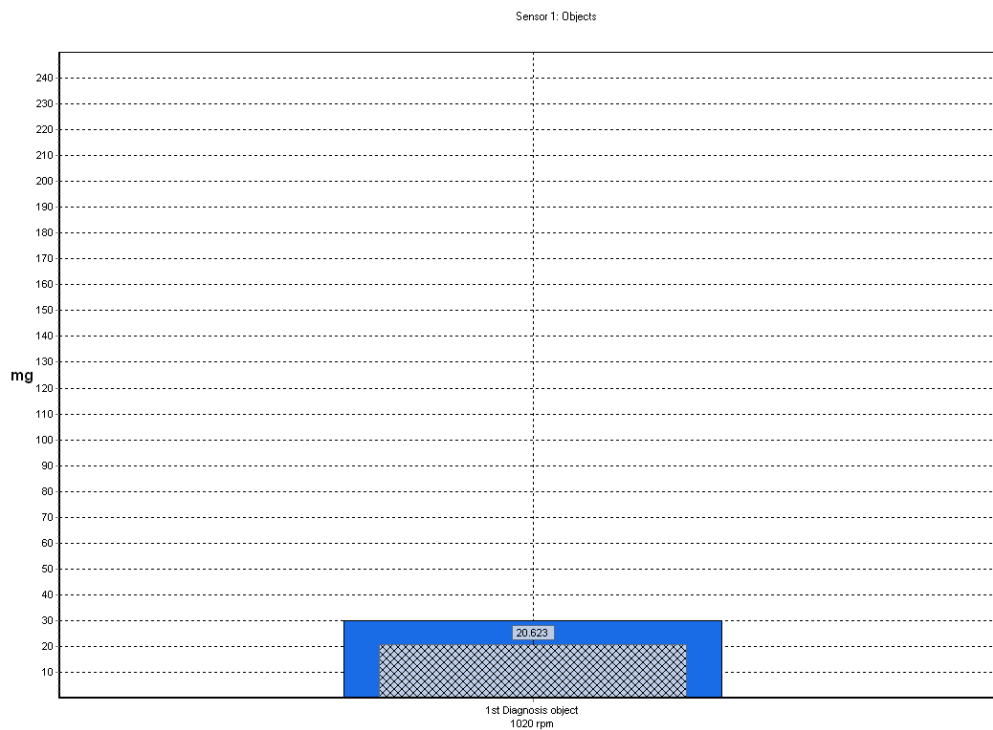


Obr. 53 – Frekvenční spektrum vibrací při 930 ot./min.

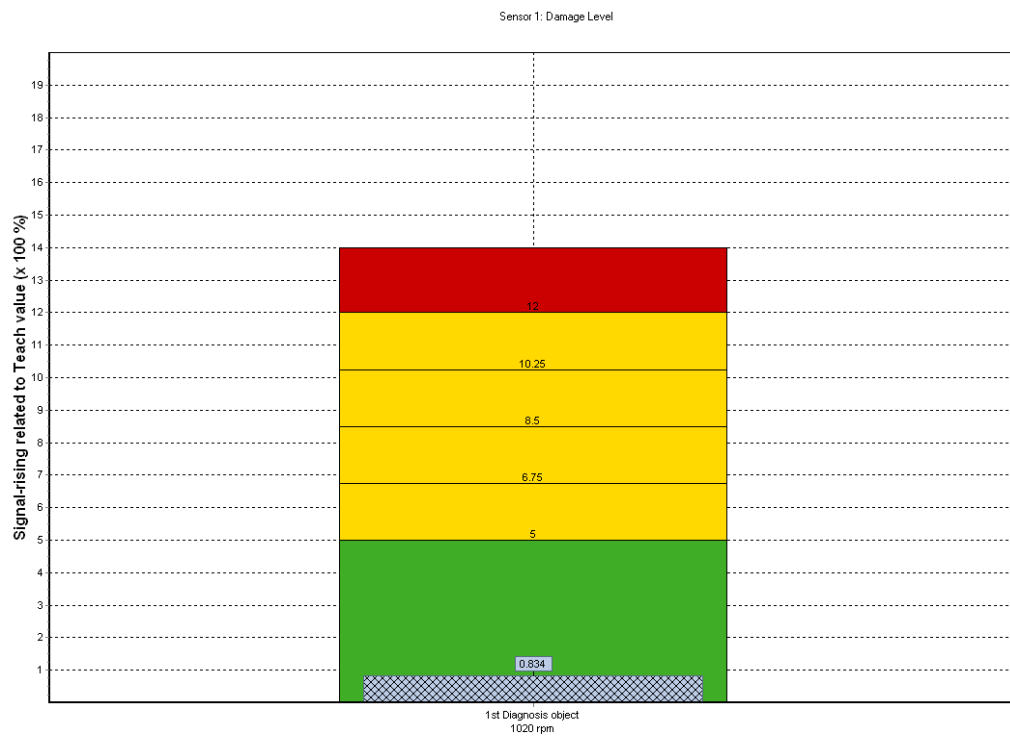
6.3.4 Měření 1020 ot./min.



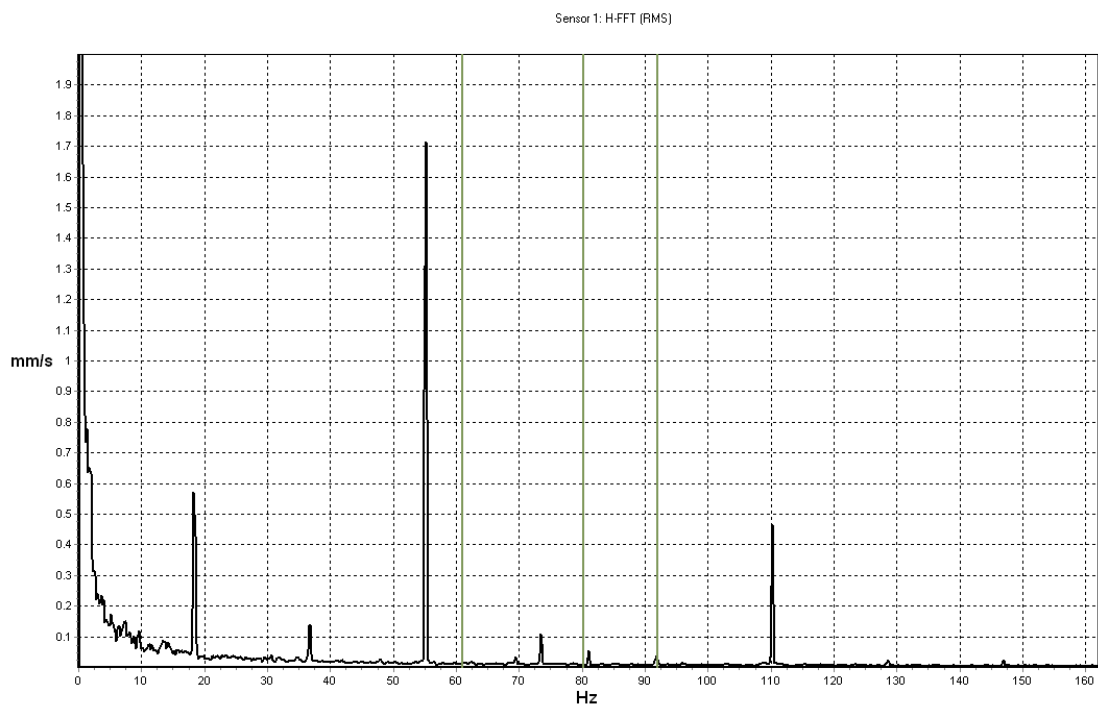
Obr. 54 – Vibrace jednotlivých elementů při 1020 ot./min.



Obr. 55 – Vibrace ložiska při 1020 ot./min.



Obr. 56 – Pásmo ložiska při 1020 ot./min.



Obr. 57 – Frekvenční spektrum vibrací při 1020 ot./min.

6.4 Vyhodnocení měření

Měření vibrací při 233 ot./min. naznačuje, že nejpoškozenějším elementem použitého ložiska je vnější kroužek. Hodnota vibrací na něm (159 mg) je mnohonásobně vyšší než vibrace na zbylých částech ložiska (vnitřní kroužek i valivé elementy zhruba 4 mg). Celkové vibrace na ložisku jsou rovny 170 mg, což je zhruba 5,5násobek Teach-in hodnoty. Po prozkoumání frekvenčního spektra je jasné, že při daných otáčkách motoru jsou opravdu největší vibrace na vnějším kroužku ložiska, hodnota rychlosti vibrací však dosahuje 10 mm/s. To podle normy značí pásmo D a havarijní stav ložiska a je to zároveň v zásadním nesouladu s vyhodnocením programu.

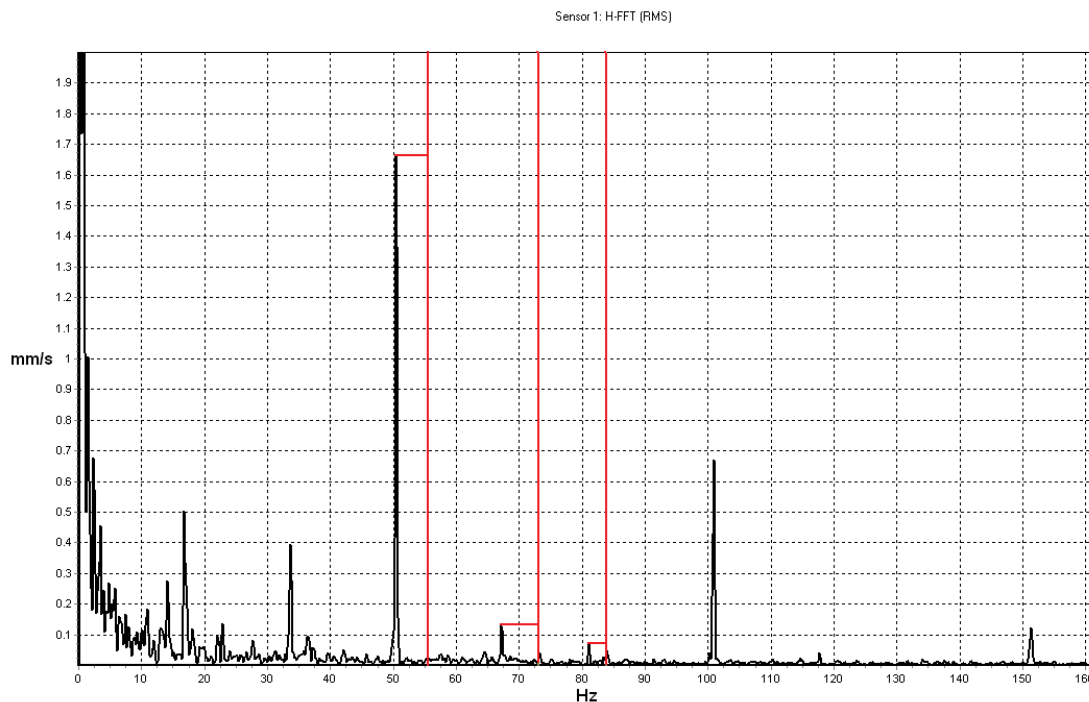
Měření při 465 ot./min. potvrzuje opět největší vibrace vnějšího kroužku (124 mg), zdaleka ne už takové jako při 233 ot./min. Vibrace ostatních částí ložiska zůstávají na stejné úrovni. Razantní snížení vibrací vnějšího kroužku přičítám tomu, že v nízkých otáčkách dochází k rezonancím. I hodnoty rychlosti vibrací odečtené z frekvenčního spektra jsou podstatně nižší, dobře viditelné je to pro element vnějšího kroužku, kde je hodnota (5 mg) poloviční oproti předchozímu měření.

Při nominálních otáčkách motoru (930 ot./min.) je pozorovatelný trend vzdálení od rezonanční frekvence, a i když jsou vibrace vnějšího kroužku stále z jednotlivých elementů nejvyšší, jsou alespoň stejného řádu. Zvláštní situace nastává při měření celkových vibrací ložiska, hodnota zrychlení (22 mg) se nachází pod hodnotou Teach-in (30 mg) a násobek Teach-in hodnoty je menší než 1. To by znamenalo, že stav použitého ložiska je lepší, než u ložiska nového. Tuto situaci se pokusím vysvětlit níže. Ve frekvenčním spektru lze odečíst maximální hodnotu rychlosti vibrací 1,65 mm/s, to řadí stav ložiska do pásma B.

Pokud jsou otáčky motoru zvýšeny na 1020 ot./min., vibrace jednotlivých částí ložiska nepatrně vzrostou. Za těchto podmínek lze již pozorovat předpokládaný vývoj vibrací, tj. že s rostoucími otáčkami rostou i vibrace. I ve frekvenčním spektru nejvyšší hodnota rychlosti vzrostla na 1,7 mm/s (pásmo B). Opět je zde ale patrný rozpor mezi pásmem vyhodnoceným programem a pásmem, do kterého je ložisko zařazeno podle rychlosti vibrací odečtené z frekvenčního spektra (program opět stav ložiska určí jako perfektní, násobek Teach-in hodnoty 0,834).

Tyto rozdíly mezi hodnocením programem a odečtením hodnot z frekvenčního spektra jsou podle mého názoru způsobeny tím, že program po zadání otáček, při kterých měření probíhá, pevně určí frekvence podstatné pro jednotlivé části ložiska a vyhodnocuje ložisko na základě hodnot získaných na těchto frekvencích. Skutečné otáčky motoru ale budou pravděpodobně jiné než ty zadané. Ovládání motoru frekvenčním měničem totiž není zcela plynulé, ale je prováděno v krocích přibližně 0,5 Hz. Také chybí jakákoliv zpětná vazba, otáčky motoru nejsou monitorovány a není známa jejich skutečná velikost. Rozdíl skutečných a nastavených otáček lze nepřímo

dokázat zkoumáním frekvenčního spektra vibrací. Nejlépe viditelný nesoulad hodnot skutečných a zadaných otáček je ve frekvenčním spektru měření při 930 ot./min.



Obr. 58 – Rozdíl frekvencí pro jednotlivé elementy

Na obr. 58 byly zvýrazněny frekvence určené programem pro jednotlivé části ložiska a jejich vzdálenosti od frekvencí jim blízkých, na kterých dochází ke značným vibracím. Vzhledem k tomu, že ve všech třech případech je tato vzdálenost víceméně stejná, dá se prohlásit, že existuje rozdíl mezi skutečnými a zadanými otáčkami ovlivňující měření.

Celkový stav ložiska proto hodnotím hlavně podle frekvenčního spektra. Pokud odhlédnu od značně vysokých hodnot vibrací (způsobených pravděpodobně rezonancemi) při nízkých otáčkách, hodnotím ložisko jako vhodné pro dlouhodobé použití při nominálních otáčkách, protože na základě měření spadá do pásma B pro danou kategorii strojů.

7 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce jsem se detailně seznámil s problematikou vzniku, měření a diagnostiky vibrací valivých ložisek. Toto seznámení proběhlo hlavně prostřednictvím normy ČSN ISO 10816, která o problematice vibrací ložisek obsáhle pojednává. Shrnutí získaných poznatků je obsaženo v kapitole 4.

Dalším úkolem práce bylo seznámení se s instrumentací firmy IFM electronic spol. s r. o., která v rámci svého výrobního programu systémy pro diagnostiku vibrací dodává. Soustředil jsem se především na kapacitní senzor vibrací VSA001, diagnostickou jednotku VSE002 a software Efector octavis. Tyto tři součásti podle mých poznatků plně postačují k řešení problému diagnostiky valivých ložisek.

V poslední části bakalářské práce jsem s pomocí poznatků získaných v normě ISO 10816 a na základě instrumentace IFM electronic spol. s r. o. navrhnul laboratorní úlohu, která bude sloužit k praktickému seznámení s diagnostikou vibrací valivých ložisek. Tato laboratorní úloha především v praxi ukazuje, jak se vibrace měří, seznamuje s tím jak nastavit měřicí řetězec a software, jak postupovat při měření a jaká pravidla je nutno dodržet. Nedostatkem této realizace a zároveň prostorem pro další případné vylepšení je otázka přesného nastavení a detekování otáček elektromotoru.

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN ISO 10816-1. Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech. Praha : Český normalizační institut, 1998. 24 s.
- [2] Automation technology - ifm international [online]. 2010 [cit. 2010-12-16]. Diagnostické systémy - inteligentní hlídání vibrací. Dostupné z WWW: <<http://ifm.com/cz>>.
- [3] SGLUNDA, Radomír. Adash [online]. 2010 [cit. 2010-12-12]. Diagnostika stavu valivých ložisek. Dostupné z WWW: <www.adash.cz>.
- [4] SKF Group [online]. 2010 [cit. 2010-12-8]. Principles of bearing selection and application. Dostupné z WWW: <www.skf.com>.
- [5] VSB [online]. 2009 [cit. 2010-12-15]. Vibrační diagnostika. Dostupné z WWW: <www.337.vsb.cz>
- [6] *David Stevens - Bearing failures* [online]. 2010 [cit. 2010-12-10]. Bearing corrosion and its Causes. Dostupné z WWW: <<http://www.vibanalysis.co.uk>>.

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Zadání laboratorní úlohy

Příloha 2. Řešení laboratorní úlohy