

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Parametrická a vibrační diagnostika
Parametric and Vibration Diagnostics

Student:

Bc. Petr Šumník

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petr Šumník**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Parametrická a vibrační diagnostika
Parametric and Vibration Diagnostics

Zásady pro vypracování:

Vibrační diagnostika je jednou z nejvýznamnějších metod pro určování technického stavu strojních zařízení. Využijte proto vhodné nástroje této metody a také dostupného zařízení pro určování technického stavu strojních zařízení. V rámci diplomové práce se zabývejte problematikou identifikace vznikající závady, možnostmi použití jiných metod s důrazem na vibrodiagnostiku a také možnostmi použití on-line sledování vibrací.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proveďte konkrétní vyhodnocení.

Další bližší informace provede vedoucí práce a firma dif spol. s r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr.Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

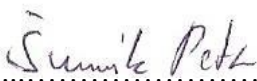
Šumník Petr

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk diplomové práce bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu je se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněná v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2012



podpis

Jméno a příjmení autora práce: Petr Šumník

Adresa trvalého pobytu autora práce: Opava – Podvihov, Lazecká 15a

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ŠUMNÍK, P. *Parametrická a vibrační diagnostika: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 77 s. Vedoucí práce: Blata, J.

Práce se zabývá technickou diagnostikou, konkrétně sledování technického stavu s využitím dvou systémů pro vibrační diagnostiku. Jedná se o on-line systém ifm octavis efektor a pochůzkový systém SKF Microlog/Prism.

V teoretické části práce popisují vibrační diagnostiku, její nástroje, vyhodnocování a normy. Teoretická část je zaměřena na popis jednotlivých systémů, jejich ovládáním s využitím při praktickém měření na papírenském stroji.

ANOTATION OF MASTER THESIS

ŠUMNÍK, P. *Parametric and Vibration Diagnostics: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, 77 p. Thesis head: Blata, J.

The work deals with the technical diagnostics, concretely monitoring the technical condition of using two systems for vibration diagnostics. Its the on-line system ifm octavis effector and a foot system SKF Microlog/Prism.

The theoretical part describes the vibration diagnostics, its tools, evaluation and standards. The theoretical part focuses on the description of two the system, their control in practical measurements on paper machine.

Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	8
0 Úvod.....	9
1 Základní informace o technické diagnostice	10
1.1 Kmitání	10
1.2 Druhy vibrační diagnostiky	13
1.3 Základní typy údržby	17
2 Vibrační diagnostika	19
2.1 Druhy signálu a jeho rozdělení	19
2.2 Snímače vibrací.....	24
2.3 Analýza závad strojů.....	29
2.4 Hodnocení vibrací.....	37
3 Popis diagnostických systému	41
3.1 Popis systému SKF Microlog/Prism.....	41
3.1.1 Technická data analyzátoru Microlog.....	41
3.1.2 Základní principy ovládání Micrologu	44
3.1.3 Popis software Prism	44
3.1.4 Základní ovládání software Prism	44
3.2 Popis systému ifm octavis efektor	48
3.2.1 Základní principy ovládání systému	50
3.2.2 Technická data	55
4 Praktická část	57
4.1 Popis měřeného zařízení papírenského stroje	57
4.2 Měření systémem SKF Microlog/Prism	58
4.2.1 Technická data měřených zařízení.....	58
4.2.2 Příprava a postup měření, frekvence vad měřeného zařízení	59
4.2.3 Vyhodnocení naměřených dat	60
4.3 Měření systémem ifm octavis efektor	67
4.3.1 Popis měřeného zařízení pohonu rozvlákňovače.....	67
4.3.2 Technická data a popis měřeného zařízení	68
4.3.3 Příprava a postup měření, frekvence vad měřeného zařízení	69
4.3.4 Naměřená data	72
5 Závěr	75
6 Použitá literatura	76

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
m	hmotnost	[kg]
k	tuhost pružiny	[N·m ⁻¹]
b	součinitel tlumení	[s ⁻¹]
\ddot{x} , a	zrychlení	[m·s ⁻²]
\dot{x} , v	rychlost	[mm·s ⁻¹]
x, y	výchylka	[μm]
f	frekvence	[Hz]
T	doba kmitu	[s]
X _{AVE}	průměrná hodnota	[mm·s ⁻¹]
X _{RMS}	efektivní hodnota	[mm·s ⁻¹]
X _{MAX}	maximální výchylka	[mm·s ⁻¹]
t	čas	[s]
Pd	střední průměr	[mm]
Bd	průměr valivého elementu	[mm]
RPM	otáčky hřídele	[min ⁻¹]
n	počet valivých elementů	-
∅	kontaktní úhel	[°]
OPC	OLE for Process Control	-
n	počet otáček	[ot·min ⁻¹]
z	počet zubů	-
FFT	rychlá Fourierová transformace	-
MEMS	mikro-elektro-mechanický systém	-
BPFI	poškození vnitřního kroužku	-
BPFO	poškození vnějšího kroužku	-
BSF	poškození válivých tělísek	-
FTF	poškození klece	-

0 Úvod

Technická diagnostika poskytuje objektivní informace o provozním stavu stroje a potřebách jejich údržby i technickém průběhu života. Vlivem neustálé rostoucího zájmu o snížení prostojů, nákladů na energii, zvýšení efektivity, provozní spolehlivosti a bezpečnosti provozu se údržba stává jedním ze základních procesů výrobní společnosti. Cílem každé údržby je co možno nejjednoduššími a základními prostředky udržovat výrobní zařízení v provozuschopném stavu za vynaložení optimálních nákladů.

Hlavní náplní této práce je vibrační diagnostika. Různými aplikacemi jejich metod jsme schopni s jistotou zhodnotit stav sledovaného stroje. Představuji zde pochůzkový diagnostický systémem SKF Microlog/Prism a on-line systémem ifm octavis efektor v aplikacích provozního měření papírenského stroje.

1 Základní informace o technické diagnostice

Technickou diagnostiku dělíme

- technickou bezdemontážní diagnostiku,
 - testová diagnostika,
 - provozní technická diagnostika,
- technickou nedestruktivní diagnostiku.

Za hlavní cíle technické diagnostiky můžeme označit

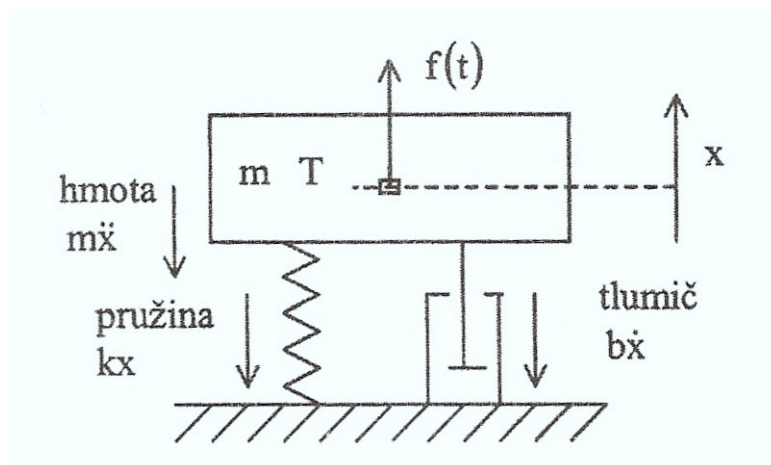
- prodloužení životnosti provozu stroje,
- zvýšení spolehlivosti daného stroje,
- zajištění nejmenších ztrát energií,
- předcházení havarijních stavů,
- snížení nákladu na údržbu.

Základní pojmy technické diagnostiky

- diagnostikovatelnost – vlastnost objektu, která vyjadřuje způsobilost k získávání informací o technickém stavu a metodách jejího získávání,
- detekce – určení existence vznikající poruchy,
- lokalizace – určení místa, vadné části nebo uzlu vznikající poruchy,
- specifikace – určení příčiny vznikající poruchy, vyhodnocením diagnostického signálu.

1.1 Kmitání

Mechanické kmitání můžeme charakterizovat jako pohyb hmotného bodu (tuhého tělesa), kolem určité rovnovážné polohy. Kmitání lze vysvětlit jako pohyb tělesa zavěšeného na pružině. Pohyb takového bodu je způsoben pružnou silou. Počet plných cyklů kmitavého pohybu za sekundu se nazývá kmitočet a vyjadřuje se v Hz. Vibrace jsou charakterizovány budící silou, směrem a kmitočtem. V daném okamžiku je můžeme popsat amplitudou a fází. Amplituda vyjadřuje maximální výchylku od středové polohy a je mírou pro kvantitativní hodnocení velikosti kmitání.



Obr. 1 Model lineární soustavy [1]

Platí:

$$m\ddot{x} + \dot{x} + x = f(t) \quad [1]$$

m – hmotnost seismické hmoty

k – tuhost pružiny

b – součinitel tlumení

 \ddot{x} – zrychlení \dot{x} – rychlost

x – výchylka

$$f = \frac{1}{T} \quad [2]$$

f – kmitočet (Hz)

T – doba 1 kmitu (s)

Sledované parametry vibrační diagnostiky

- výchylka vibrací $y = \int v \cdot dt \quad [m \cdot s^{-1}] \quad [3]$

- rychlost vibrací $v = \frac{dx}{dt} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad [4]$

- zrychlení vibrací $a = \frac{dv}{dt} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad [5]$

Maximální výchylka (špička) – X_{MAX} , vyjadřuje velikost mezi vrcholem vlny a nulou. Nezobrazuje časový průběh, ale indikuje přítomnost špičky.

Rozkmit (špička – špička) – vyjadřuje maximální rozkmit vlny.

Průměrná hodnota – X_{AVE} , většina průběhu nemá ideální sinusový průběh, proto je průměrná hodnota nenulová (0,637 x amplituda).

$$X_{AVE} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad [6]$$

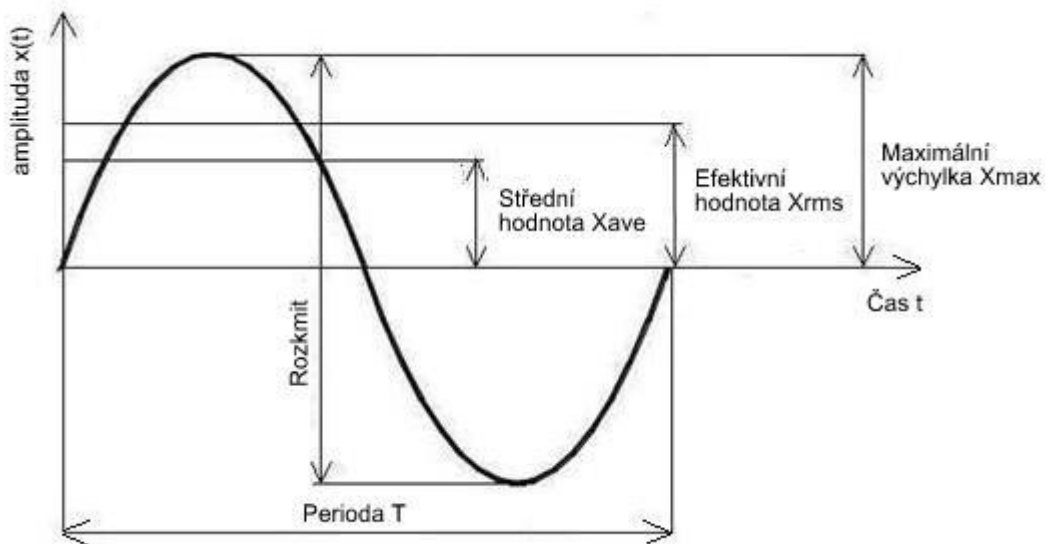
Efektivní hodnota – X_{RMS} , nejčastější vyjádření (0,707 x amplituda). Pro kvantitativní hodnocení amplitud kmitání je nejdůležitější hodnotou. Zobrazuje časový průběh, má přímý vztah k energetickému obsahu.

Efektivní hodnota, obecný vztah:

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x^2| \cdot dt} \quad [7]$$

Efektivní hodnota, pro harmonický pohyb:

$$X_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{MAX} \quad [8]$$



Obr. 2 Popis kmitu

1.2 Druhy vibrační diagnostiky

Kepstrální analýza

Kepstrální analýza je matematická metoda, která hledá periodické děje ve frekvenčním spektru. Vzniká vícenásobnou analýzou signálu, při níž se hledají periodicky se vyskytující děje. Dají se jimi zjistit série harmonických nebo bočních pásem, nacházejících se ve frekvenčních spektrech. Kepstrální analýza se aplikuje na diagnostiku převodovek.

Orbitální analýza

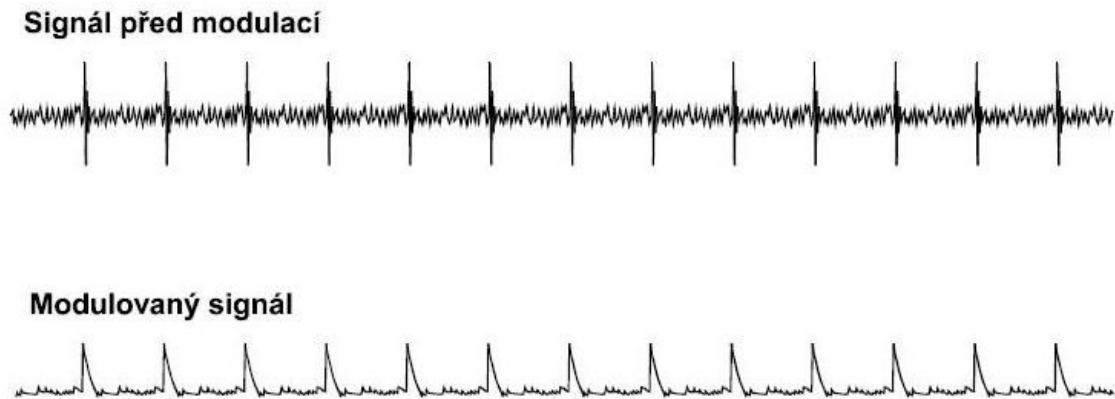
Orbita je tvořena dynamickou (kinetickou) složkou vibrací, která je snímána pomocí dvou na sebe kolmých bezdotykových snímačů výchylky, zobrazuje se v kartézských souřadnicích. Orbity zobrazují pohyby středu hřídele za jednu, nebo více otáček kolem statické polohy středu hřídele. Sledujeme tvar orbity a tím dokážeme určit druh poruchy. Standardní tvar orbity je eliptický. Mění-li se orbita na tvar zploštělý, banánový, až tvar osmičky signalizuje se tím problém v nesouososti.

Modální analýza

Modální analýza rozkládá kmitavé vlastnosti na vlastní příspěvky. Rozklad spočívá v náhradě soustavy vzájemně vázaných diferenciálních rovnic popisující kmitavé chování uvažované konstrukce, soustavou nezávislých, izolovaně řešitelných diferenciálních rovnic pomocí tzv. modální transformace. Odměřuje se odezva konstrukcí ve zvolené bodové síti při řízeném buzení.

Obálková metoda

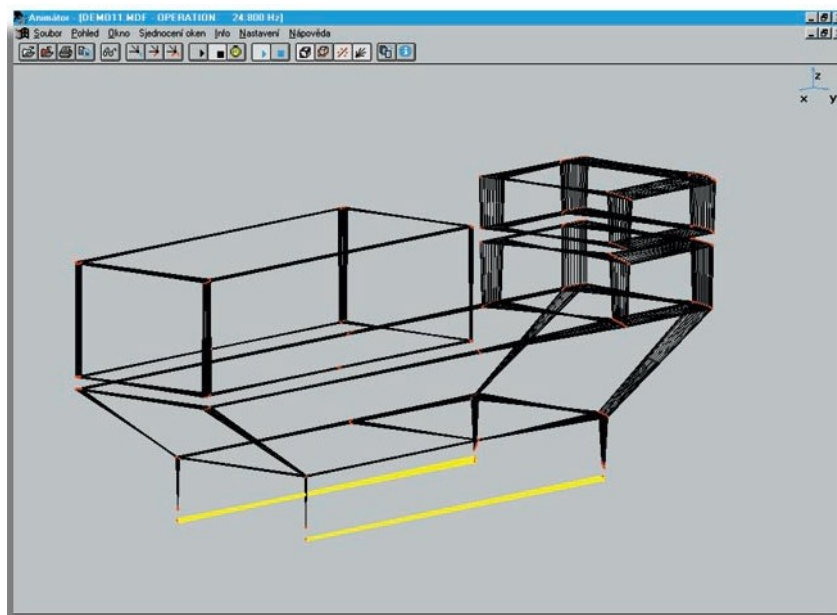
Obálková metoda je metoda, pomocí které dokážeme zjistit nízko úrovně signály, které se opakují. Měří se rázové impulsy vznikající při porušení dráhy ložiska, po kterém se pohybují válivé elementy ložiska. Signál se upravuje aplikací pásmového filtru, kterým odstraňujeme nízkofrekvenční vibrace. Obálkovým detektorem se vyhledá signál. Výsledné spektra FFT zřetelněji znázorňují defekty ložisek i jeho části.



Obr. 3 Schéma signálu obálkovou modulací [15]

Provozní tvary kmitů

Metoda slouží k animaci vibračního pohybu celého stroje. Hodnotí se vibrace celého stroje, kdy snímače jsou rovnoměrně rozmístěny po celém stroji. Slouží k diagnostice závad jako je nevyváženost, nesouosost, mechanické uvolnění. Měření probíhá při provozních otáčkách. Záznamy měření jsou jednoduše pochopitelné, využitím softwaru se zobrazují animace pohybu.



Obr. 4 Schéma měření provozních tvarů kmitů pásového dopravníku [14]

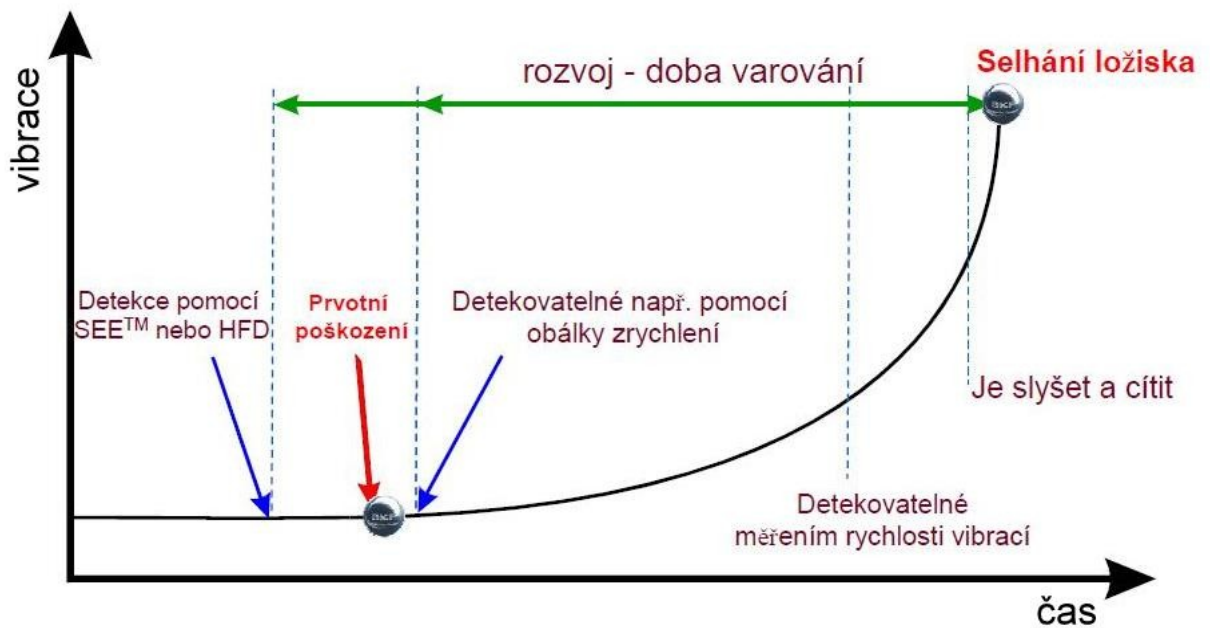
Alternativní metody měření technického stavu ložisek

Existuje mnoho metod pro detekování poškození ložiska v jeho raném stadiu. Metody však ne zcela vždy určují důvod zvýšení vysokofrekvenční energie.

- **SPM (Shock Pulse Meter)** – snímání krátkodobých tlakových vln vyvolaných mechanickými rázy při průchodu přes poškozené místo. Snímají se prahové a špičkové úrovně vibrací. Hodnoty se zakreslí do grafu a porovnávají s mezními hodnotami. Nutno znát přesné rozměry a parametry ložisek. Pásmo 30 - 40 kHz.
- **BCU (Bearing Condition Unit)** – je nepřímé měření rázových impulsů, pomocí obsahu energie akustických kmitů šířených v pevném materiálu, projevujících se ve frekvenčním pásmu 20 – 40 kHz. Vyhodnocují se špičkové hodnoty signálu, četnosti rázu a vnitřní energie. Hodnota je závislá na rozměrech ložiska.
- **RBP (Related Bearing Produkt)** – zjišťujeme efektivní a špičkové hodnoty zrychlení v rozsahu 2 – 16 kHz.
- **Crest faktor** – vyhodnocení poměru špičkového zrychlení, střední hodnoty zrychlení v pásmu 10 Hz – 10 kHz a časové posloupnosti. Základní metoda technické diagnostiky válivých ložisek. Crest faktor je citlivý parametr, při počátku mechanického poškození ložiska, dokáže ho rozpoznat ve velmi raném stadiu. Dobře indikuje poruchu mazání.
- **Q faktor** – využívá poměru mezi střední a špičkovou hodnotou amplitudy emitovaného ultrazvukového signálu na pracovní frekvenci 40 kHz.
- **SEE (Spectral Emitted Energy)** – metoda včas detekuje závadu ložiska a ozubených převodových kol. Měří ultrazvukovou akustickou emisi vznikající důsledkem poškození elementu ložisek. Vhodná pro detekci závad v raném stádiu.

Vibrační diagnostika válivých ložisek

Únavová porucha u valivých ložisek se projevuje odloupenutím, vydrolením na valivých drahách nebo valivých elementech ložisek. Ložiska selhávají především z těchto důvodů např.: nesprávné mazání, znečištěné mazivo, velké zatížení (nevývaha, nesouosost), nesprávná montáž, koroze. Vývoj poškození můžeme graficky znázornit (Obr. 5). Poškozené ložisko vydává zvukové, vibrační, tepelné a další signály.



Obr. 5 Průběh poškození ložiska [3]

Metody vibrační diagnostiky

- Periodická pochůzková diagnostika – měření probíhá ručním měřicím přístrojem v danou časovou periodu, metoda vhodná pro další detekování stavů.
- Jednorázové měření stavu – určení okamžitého stavu, určení prognózy o budoucím stavu je obtížné.
- Kontinuální měření on-line – metoda nepřetržitého sledování stavu strojního zařízení, při překročení daných parametrů dochází ke spuštění alarmu.

1.3 Základní typy údržby

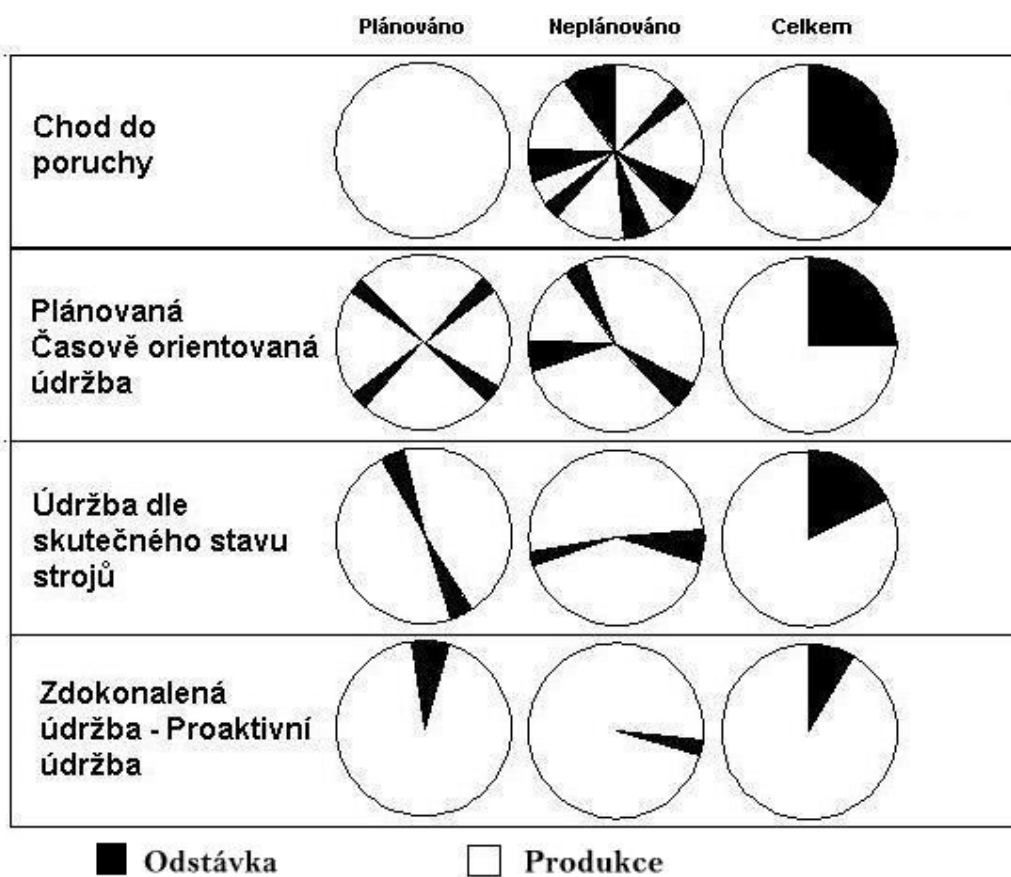
Údržba je nedílnou součástí každého výrobního procesu výrobní společnosti. Je to souhrn všech činností vedoucích k udržení objektu v provozuschopném stavu, nebo návratu do tohoto stavu. Provozeroschopnost, je schopnost objektu plnit danou funkci v mezích, které jsou dány provozními podmínkami.

Chod do poruchy – objekt je provozován celou dobu bez jakéhokoliv dozoru, údržba se provádí v době, až se vyskytne porucha. Využití pro levné, jednoduché stroje a stroje, které jsou snadno nahraditelné. Nejjednodušší typ údržby.

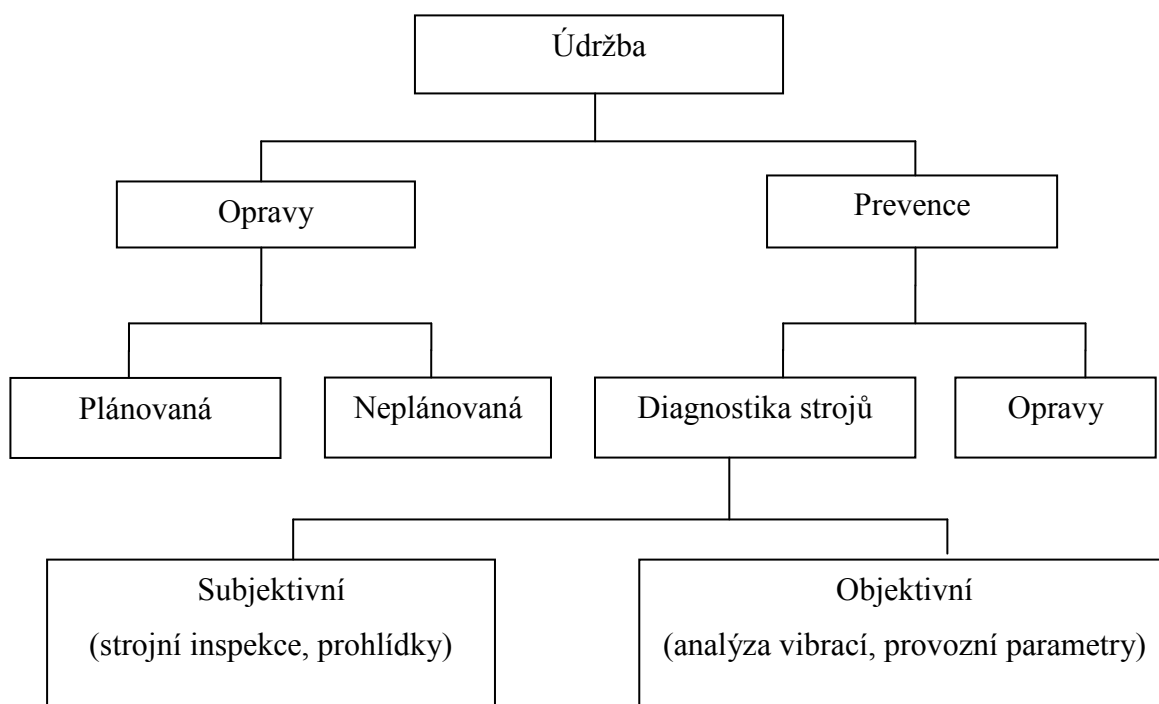
Plánovaná údržba – je zaveden určitý časový cyklus, podle kterého je prováděna údržba v pevně daných okamžicích.

Proaktivní údržba – údržba vychází ze zkušenosti s provozem stroje, provádí se zásahy do konstrukce, provozu, kvality dodávek. Zlepšujeme jeho další provozuschopnost.

Údržba dle skutečného stavu – objektivně zjišťujeme stav stroje.



Obr. 6 Poměr odstávky a produkce, dle metody údržby [6]



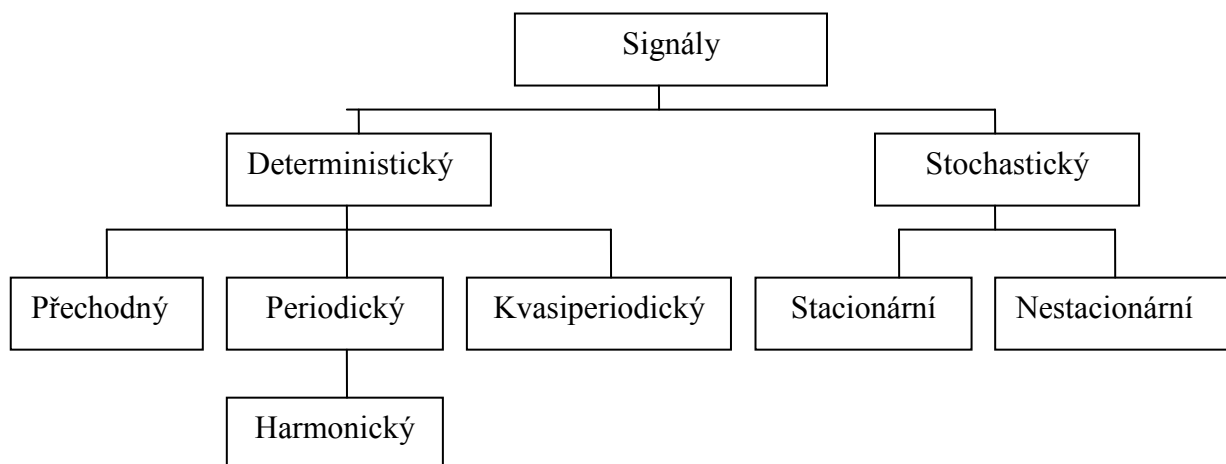
Obr. 7 Schéma ideálního řešení údržby

2 Vibrační diagnostika

Každý stroj je zdrojem vibrací. Vibrační diagnostika je část technické bezdemontážní diagnostiky pomocí, které sledujeme stav diagnostikovaného objektu. Zjišťujeme skutečný stav objektu v reálném čase a tím umožňujeme plánování údržby, omezuje preventivní opravy a předcházíme odstávkám. Sledovaným parametrem jsou vibrace vznikající u rotačních strojních zařízení. Vibrace vznikají vlivem dynamicky namáhaného stroje, stavem ložisek a hřídelí, nevyváhou, nesouosostí. Samotné měření se provádí za běžného provozu stroje.

2.1 Druhy signálu a jeho rozdělení

Signály předávají informaci o technickém stavu.



Obr. 8 Schéma rozdělení signálu [1]

Popis signálu

- Deterministický signál – je signál, jehož časový průběh je determinován (např. funkčním popisem), proto lze jeho průběh předvídat.
- Stochastický signál – náhodný signál, má v průběhu záznamu nepředvídatelný vývoj.
- Přechnodový signál – signál, který je časově omezen např. odezva na impulsní buzení, hluk při přejezdu vozidla.

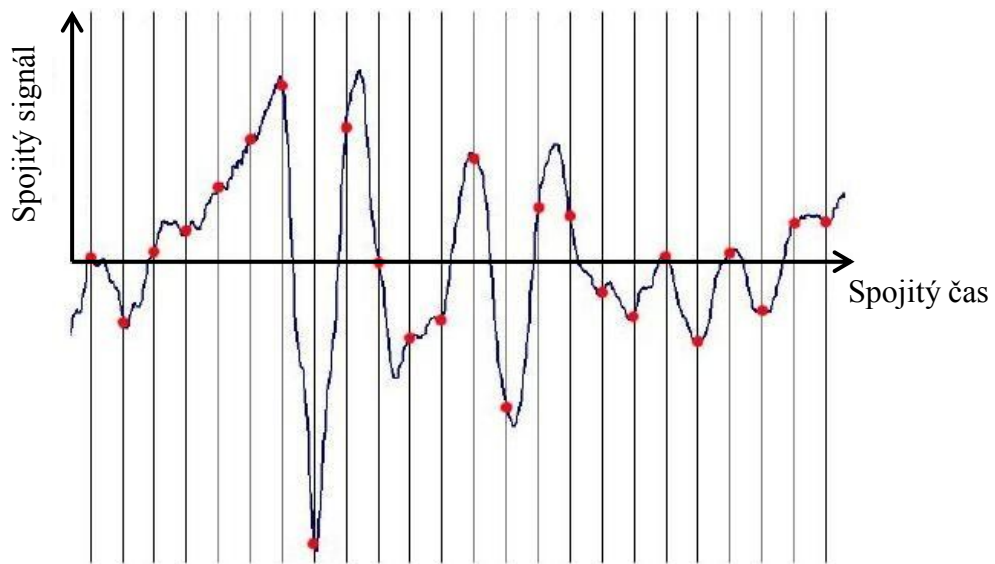
- Periodický signál – složen z harmonických signálů o frekvencích, které jsou násobkem jedné základní frekvence (vyšší harmonické – celé násobky, subharmonické – částečné násobky).
- Kvasiperiodický signál – signál složený z harmonických signálů s frekvencemi, které jsou násobky minimálně dvou základních frekvencí se vzájemným poměrem a velikostí, která je rovna iracionálnímu číslu.
- Stacionární a nestacionární signál – průběh signálu má ustálený nebo neustálený charakter, v závislosti na čase.

Zpracování signálu

Signály získané s praktického měření jsou analogové, což znamená, že se jedná o spojitý signál, který se může zmenšovat na nekonečně malé detaily. Tento signál je však pro další zpracovávání počítači nevhodný z důvodu omezené kapacity paměti.

Převodník A/D – je elektronická součástka, sloužící pro převod analogového signálu na signál digitální (diskrétní).

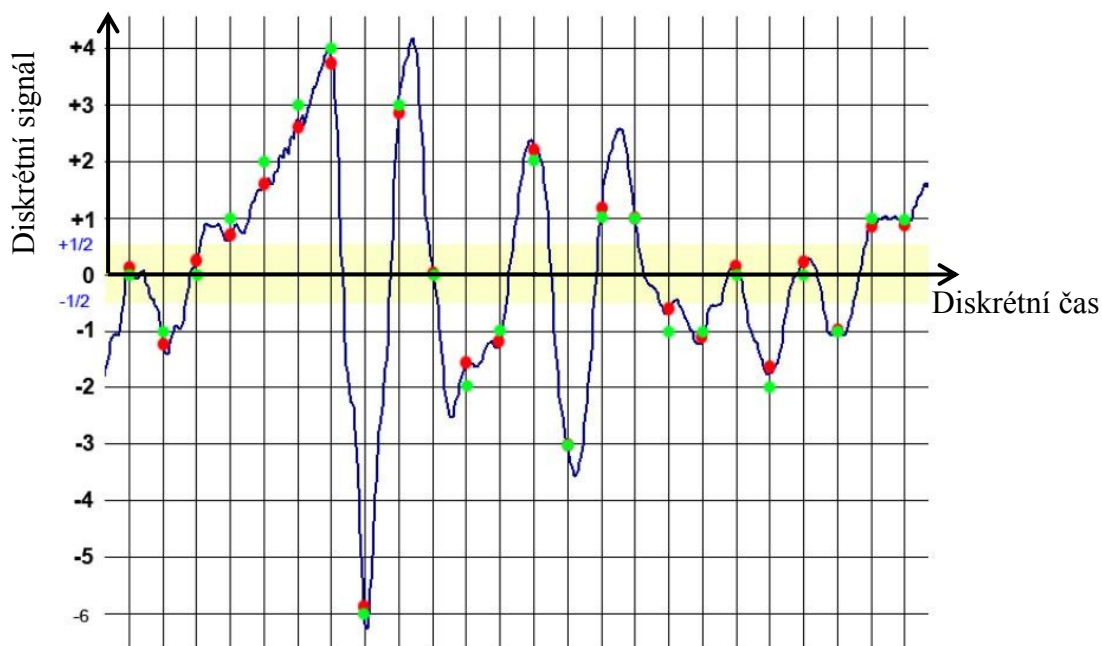
Vzorkování se provádí rozdělením vodorovné osy signálu na rovnoměrné úseky, z každého úseku je odebrán jeden vzorek. Ze spojitého signálu získáváme množinu diskretních bodů, která odpovídá použité vzorkovací frekvenci.



Obr. 9 Vzorkovaný signál

Kvantování je proces, při kterém se upravují hodnoty na svislé ose. Na svislé ose může veličina nabývat pouze celočíselných hodnot, proto musíme prostor kolem

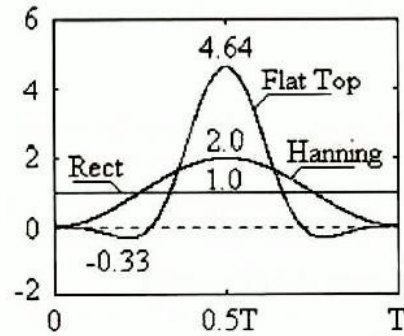
jednotlivých hodnot rozdělit na toleranční pásy. Vzorku vyskytujícího se v daném tolerančním pásmu je přiřazena určitá hodnota. Kvantovaná hodnota je odlišná od skutečné původní hodnoty obr 10.



Obr. 10 Kvantovaný digitální signál

Aliasing je chyba vznikající při vzorkování. Vzniká v případě, když se v původním spojitém signálu vyskytují frekvence, které jsou vyšší než je polovina frekvence vzorkovací. V tomto případě dochází ke znehodnocení signálu. Aliasingu zabráňujeme antialiasingovými filtry, které zachycují vyšší frekvence než je Nyquistova frekvence vstupujícího do převodníku.

Časová okna dělíme na několik typů. Rozeznáváme okna typu Rectangular, Hanning a Flat Top. Společnou vlastností oken typu Hanning a Flat Top je jejich počátek i konec vycházející plynule od nuly. Okno Rectangular má naopak v těchto oblastech skokovou změnu.



Obr. 11 Časová okna [1]

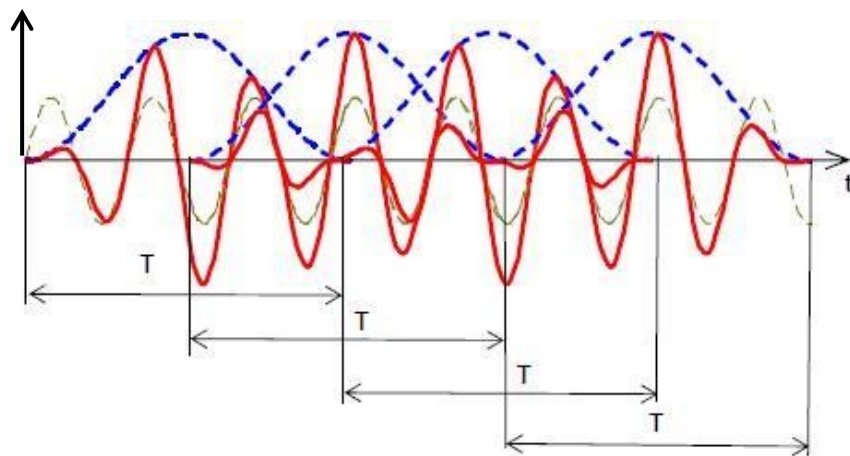
Okno typu Rectangular - signál je v celé své délce násobený jedničkou. Používá se tehdy, když máme informace o signálu.

Okna typu Hanning – je vhodné použít v případech, kdy neznáme amplitudu ani frekvence složek signálu. Největší váha signálu je uprostřed záznamu. Nejpoužívanější typ zobrazení.

Okno typu Flat Top - využívá se pro případy, kdy je nutno znát přesnou amplitudu např. při cejchování, nezkrusuje amplitudu.

Průměrování se využíváme proto, že vibrační signál má pravděpodobnostní charakter. Z tohoto důvodu je nutné pro spolehlivé posuzení dat signál průměrovat. Obecně můžeme říci, že čím je signál proměnlivější, tím více je kontaminovaný šumem a tím více vzorků se musí využít.

Míra překrytí znamená, při zpracovávání signálu brát v úvahu jak novou část signálu, tak i část úseku předchozího signálu, aby byl signál co nejrepresentativnější. Nejvhodnější je volba 2/3 překrytí.



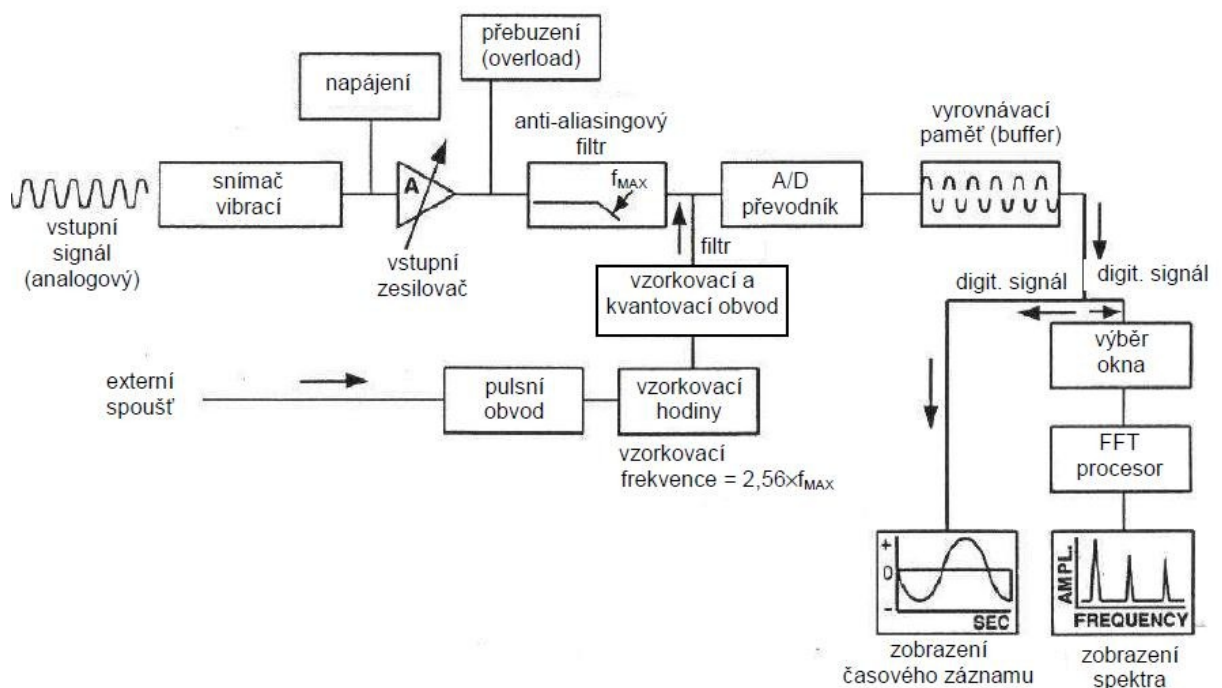
Obr. 12 Průměrování s 50 % překrytím [10]

FFT transformace

Fourierova transformace je základní metoda pro zpracovávání signálu, převádí časový signál do frekvenční oblasti. Některé signály je vhodnější zobrazovat ve frekvenční oblasti jelikož lépe informují o složení signálu, jiné signály je výhodné zobrazovat v oblasti časové. Každá oblast vyžaduje uchovávat jiné množství dat. Ve frekvenční oblasti stačí zaznamenat amplitudu, frekvenci a fázi, při použití časové oblasti musí být signál harmonický, složen alespoň z jedné periody. U současných analyzátorů je nejrozšířenější metoda pro stanovení frekvenčního spektra rychlá Fourierova transformace (FFT).

Schéma a popis frekvenčního analyzátoru

Základní schéma analyzátoru pro vibrodiagnostiku můžeme vidět na obr. 13. Analogový signál získaný ze snímače putuje přes vstupní zesilovač, antialiasingovým filtrem a A/D převodníkem do zásobníku dat (bufferu). Odtud je možné signál zobrazit jako časový záznam a pomocí Furierovy transformace dále zpracovávat a získávat frekvenční spektra.



Obr. 13 Schéma analyzátoru vibrací [10]

2.2 Snímače vibrací

Jednou z nejdůležitějších součástí pro měření vibrací jsou samotné snímače. Snímače vibrací zachycují mechanickou veličinu v širokém spektru frekvencí a tu dále převádějí na elektrický signál.

Výběr snímače závisí na měřené veličině, podle které dělíme snímače:

- snímače výchylky,
- snímače rychlosti,
- snímače zrychlení (akcelerometry).

Další dělení snímačů

Aktivní – snímače rychlosti pracující na feromagnetickém principu, při interakci s měřeným zařízením vzniká elektrický proud.

Pasivní – indukční snímač na principu vířivých proudů, při interakci se mění veličina (elektrický proud).

Absolutní – měří se pohyb k pevnému bodu, gravitační pole Země.

Relativní – měří se pohyb k libovolnému bodu v prostoru, kmitání hřídele vůči ložisku.

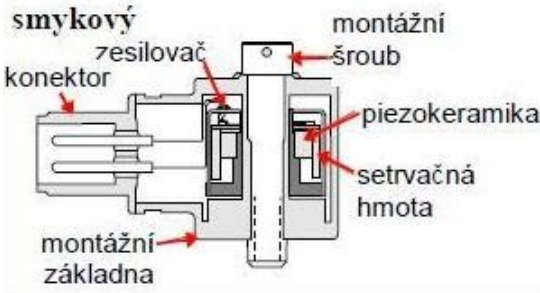
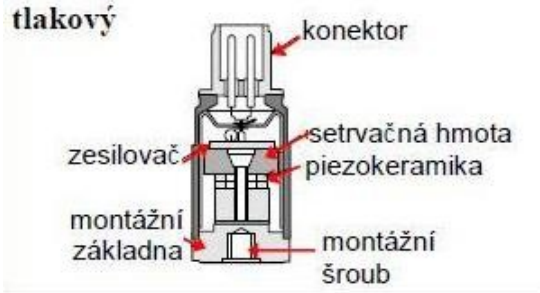
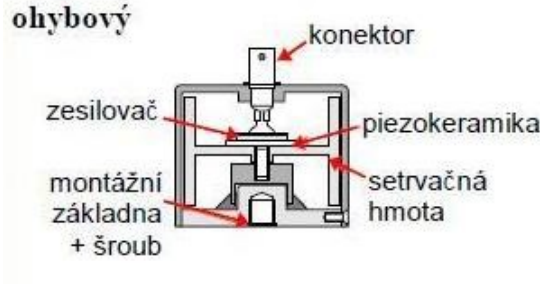
Typy snímačů

- Akcelerometry – (Obr. 14) nejrozšířenější snímače vibrací, slouží k měření zrychlení, rychlosti a výchylky vibrací, snímání probíhá na nerotující části stroje, mají velký dynamický rozsah a široký frekvenční rozsah až 30 kHz.



Obr. 14 Akcelerometr Wilcoxon 786A [3]

- Snímač rychlosti – jedná se o seismické zařízení, které generuje napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa, snímač rychlosti je vybaven cívkou, která vlivem vibrací kmitá v poli permanentního magnetu.
- Bezdotyková sonda – bezdotykové zařízení, které slouží k ověření vibrační výchylky rotujícího hřídele vůči stacionárnímu ložisku nebo skříni stroje.

Typ akcelerometru	výhody	nevýhody
<p>smykový</p> 	<p>široký frekvenční rozsah</p> <p>relativně odolný</p> <p>nizký teplotní vliv</p>	<p>menší citlivost</p>
<p>tlakový</p> 	<p>široký frekvenční rozsah</p> <p>odolný na rázy</p>	<p>náchylný na teplotní vlivy</p> <p>náchylný na deformaci základny</p>
<p>ohybový</p> 	<p>měří velmi nízké frekvence</p> <p>má velmi vysokou citlivost</p>	<p>křehký, citlivý na rázy</p>

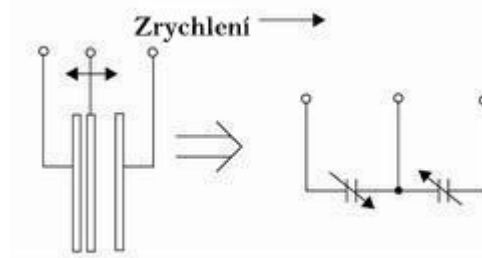
Obr. 15 Typy konstrukcí akcelerometrů [10]

Snímače typu MEMS

MEMS – Mikro Elektro Mechanický Systém. Vzniká kombinací elektrických, mechanických a optických části, vyráběných mikrosystémovými technologiemi. Technologie umožňují realizaci prostorových struktur mikrosystému s mikrometrickými rozměry. Tyto mikrostruktury jsou použitelné pro mikrosenzory, mikrocívky, apod.

Mikromechanické komponenty jsou vyráběny mikroobráběcími procesy, pomocí vyleptávání části křemíkových plátků. Nejčastěji používaným materiálem při konstrukci je

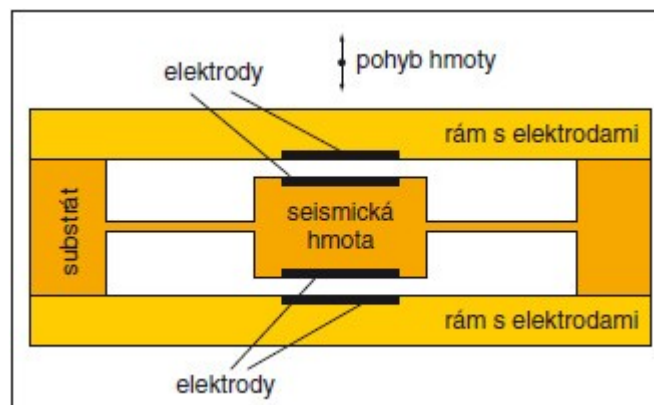
křemík, ten se dále kombinuje se sklem, polymery, keramikou a kompozitními materiály. Rozeznáváme odporové a kapacitní MEMS mikroakcelerometry.



Obr. 16 Základní princip MEMS akcelerometrů

Kapacitní mikroakcelerometr

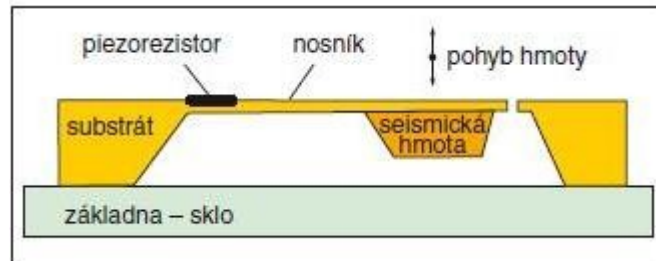
Je založen na proměnné kapacitě tříelektrodeového vzduchového kondenzátoru. Jedna z elektrod je pohyblivá a její pohyb je závislý na působícím zrychlení. Hlavním cílem je zajistit lineární a citlivý převod zrychlení na mechanický pohyb posuvný. Ten totiž určuje minimální a maximální měřitelné zrychlení akcelerometru typu MEMS. Zařízení využívají změnu kapacity v důsledku výchylky seismické hmoty. Oproti piezodoprovým mikroakcelerometrům má tento typ větší citlivost a stabilitu. V běžné praxi nejvíce využívané. Většina akcelerometru pracuje bez silové zpětné vazby, linearita závisí pouze na linearitě pružného upevnění, rychlosti a přesnosti.



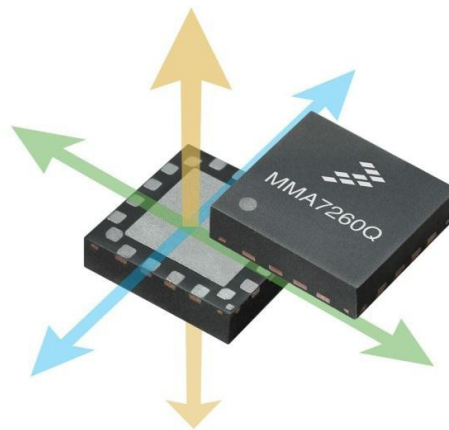
Obr. 17 Kapacitní mikroakcelerometr [13]

Odporový mikroakcelerometr

Základní částí je seismická hmota a pružný nosník, vyrobený z monokrystalického křemíku mikrosystémovou technologií. Pro měření zrychlení se používají piezorezistory, které jsou vytvořené v křemíkovém pružném mikronosníku.



Obr. 18 Mikroakcelerometr s piezorezistory [13]



Obr. 19 MEMS mikroakcelerometr MMA7260Q [16]

Uchycení snímačů vibrací

Upevnění snímačů má velký vliv na přesnost snímání měřených signálů. Snímače se umisťují co nejbližší měřicímu objektu. Pokud je to možné, měříme vibrace ve třech rovinách:

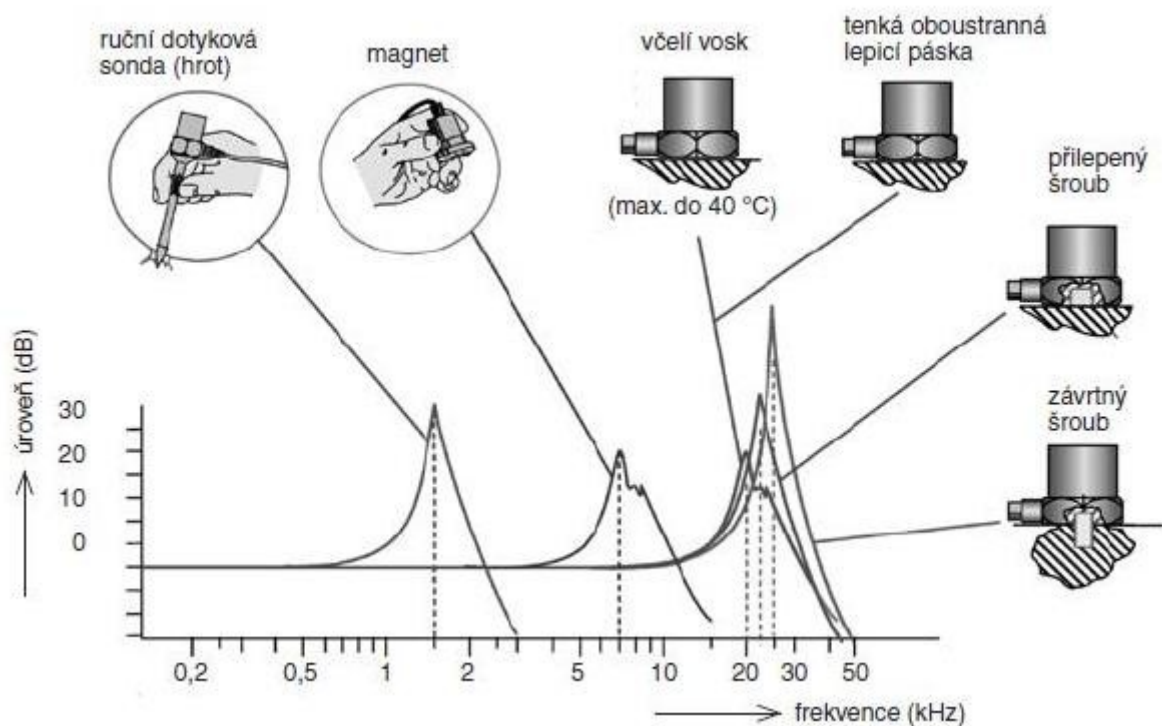
- horizontální,
- vertikální,
- axiální.

V každém z těchto směrů mohou být vibrace způsobeny jinými příčinami. Samotné upevnění snímače má vliv na jeho amplitudově frekvenční charakteristiku. Podle druhu

upevnění snímače dojde ke změně rezonančního kmitočtu soustavy a snížení použitelného frekvenčního rozsahu.

Uchycení snímačů může být provedeno několika způsoby.

- Dotyková jehla – nejnižší citlivost, vhodná pro orientační měření.
- Magnet – vyšší citlivost spojení oproti snímání dotykovou jehlou.
- Lepená podložka – nejvyužívanější metoda uchycení snímače, povrch musí být řádně chemicky a mechanicky očištěn.
- Lepený spoj – méně používaná metoda uchycení, využívají se epoxidová lepidla nebo včelí vosk.
- Šroubové spojení – spojení je velmi tuhé, používá se většinou spoj se závitovým červem, montáž vyžaduje očištění stykových ploch a vytvoření závitu, využívá se v aplikacích na on-line diagnostické systémy.



Obr. 20 Vliv způsobu uchycení snímače na amplitudové frekvenční charakteristice [12]

Zásady pro umístění snímače

Umístění snímačů vychází na základě provozních zkušeností. Snímání probíhá na nerotujících částech stroje tj. ložiskový domek, ložiskový stojan. Měřící místa musí být jednoznačně určena, z důvodu zajištění opakovatelnosti měření. Měření za provozních podmínek v mezních podmínkách se využívá u strojů s proměnlivými otáčkami nebo

proměnlivým zatížením. Vyvarujeme se místům, která by mohla způsobovat rezonanci, jako jsou víka a kryty. Umístění snímače by mělo být co nejbližší místu měření. Důležitým parametrem je citlivost snímačů, dána poměrem elektrického signálu k zrychlení.

2.3 Analýza závad strojů

Mechanické vlivy, jako neustavenost, nesouosost, přetížení, nebo vada mazání způsobí postupně poškození strojní části. Výpočtem chybových frekvencí a jejich srovnáním se změřenými frekvenčními spektry, můžeme zjistit závadu strojní části.

V dalším jsou uvedena typická spektra a chybové frekvence způsobené:

- vadou válivých ložisek,
- nesouosostí,
- neváhou,
- vadou ozubení,
- mechanickým uvolněním.

Vady válivých ložisek

Analýzou naměřených hodnot a vyhodnocením frekvenčních spekter můžeme určit místa, kde vznikají defekty. K tomu je potřeba znát frekvence, při kterých se tyto poruchy vyskytují. Mezi tyto frekvence patří:

- Otáčková frekvence hřídele
- Zubová frekvence
- Poruchová frekvence vnitřního kroužku ložiska
- Poruchová frekvence vnějšího kroužku ložiska
- Poruchová frekvence valivého segmentu ložiska
- Poruchová frekvence klece ložiska

Poškození vnějšího kroužku

$$BPFI = \frac{\gamma}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) fr$$

[9]

Poškození vnitřního kroužku

$$BPFO = \frac{\gamma}{2} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) fr$$

[10]

Poškození valivých elementů

$$BSF = \frac{P_d}{2 \cdot B_d} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right)^2 \right] fr$$

[11]

Poškození klece

$$FTF = \frac{1}{2} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \right] \cdot fr$$

[12]

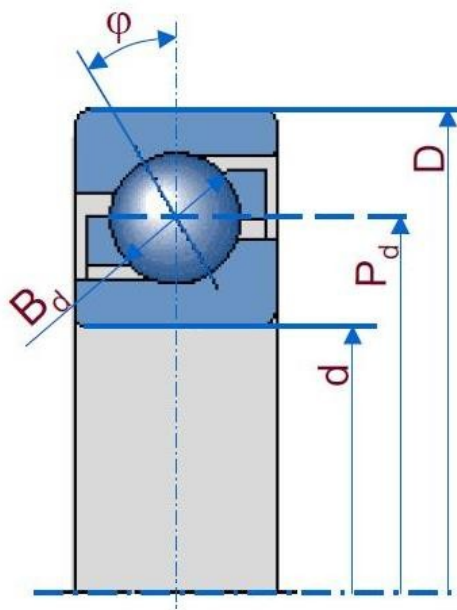
P_d – střední průměr [mm]

B_d – průměr valivého elementu [mm]

fr – rotorová frekvence [Hz]

n – počet valivých elementů [-]

φ – kontaktní úhel [°]

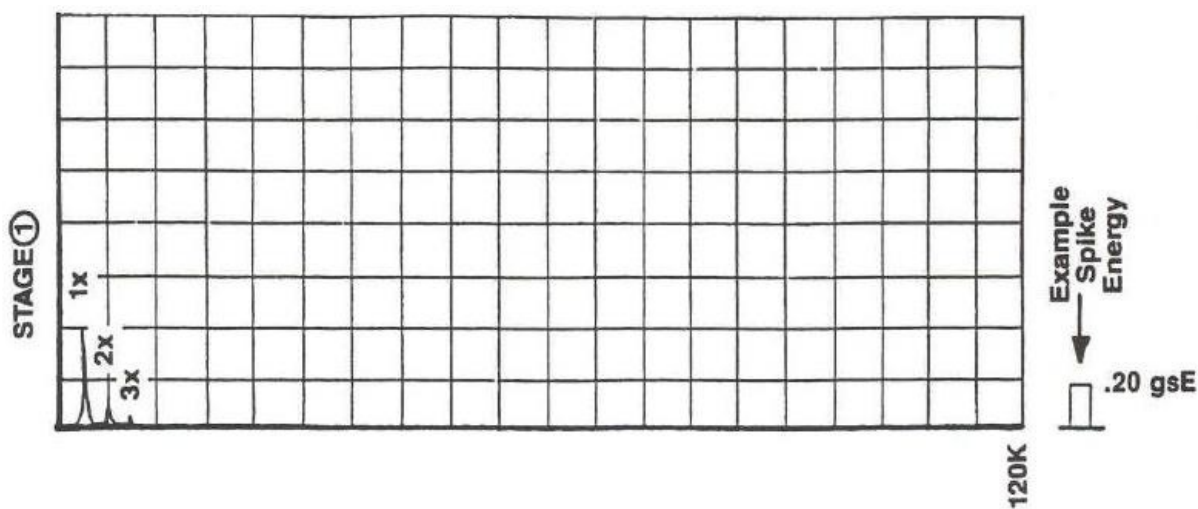


Obr. 21 Rozměrové schéma ložiska [17]

U valivých ložisek se mohou vyskytnout čtyři fáze poruchy

- První etapa:

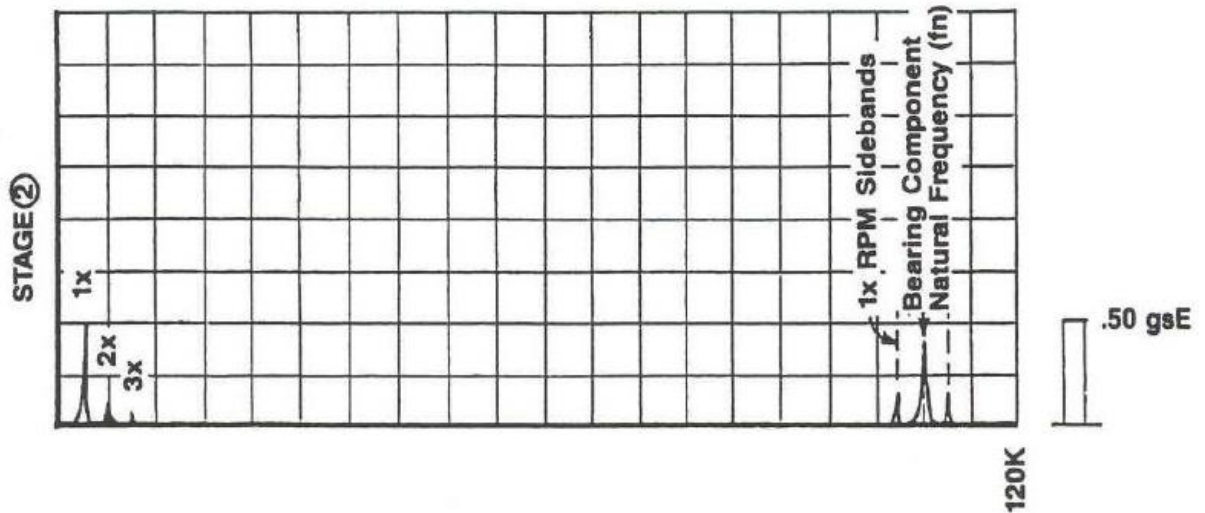
První indikace problémů valivých ložisek se objevují v ultrazvukovém pásmu od 250 kHz do 350 kHz. Na valivých drahách se objevují malé krátery. V FFT analýze můžeme sledovat počátek harmonických násobku závad. Metodou SEE dokážeme zachytit detekovaný signál.



Obr. 22 Projev vady v první fázi poškození ložiska [17]

- **Druhá etapa:**

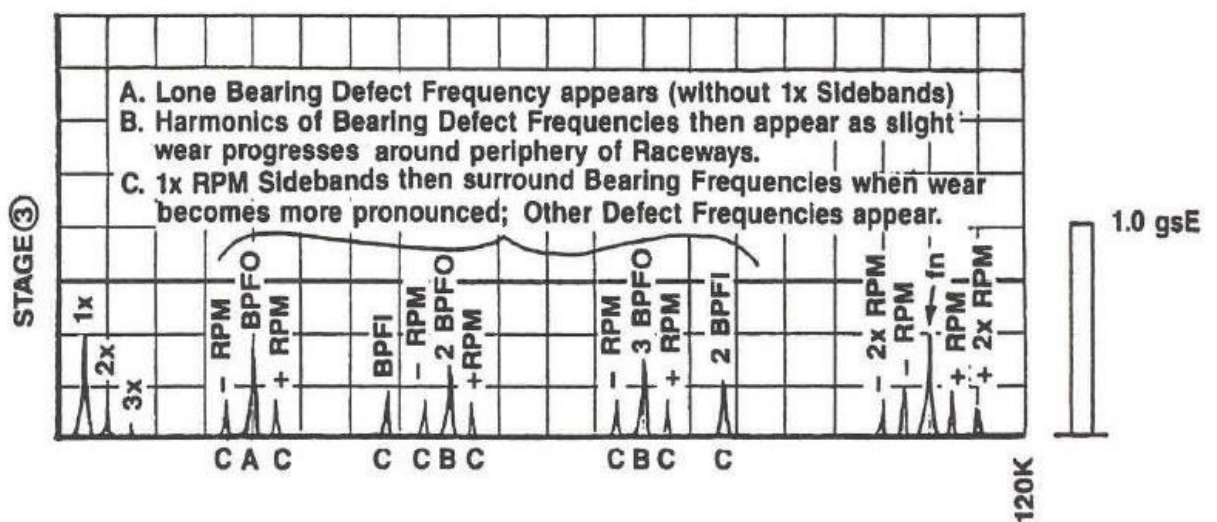
Začínají se projevovat malé ložiskové vady, mikrosváry, na valivých drahách jsou indikovány harmonickými násobky. Ložisko není nutné měnit. Oblast výskytu leží v pásmu od 500 Hz do 2 kHz. Vznikají postranní pásma kolem rezonanční špičky.



Obr. 23 Projev vady v druhé fázi poškození ložiska [17]

- **Třetí etapa:**

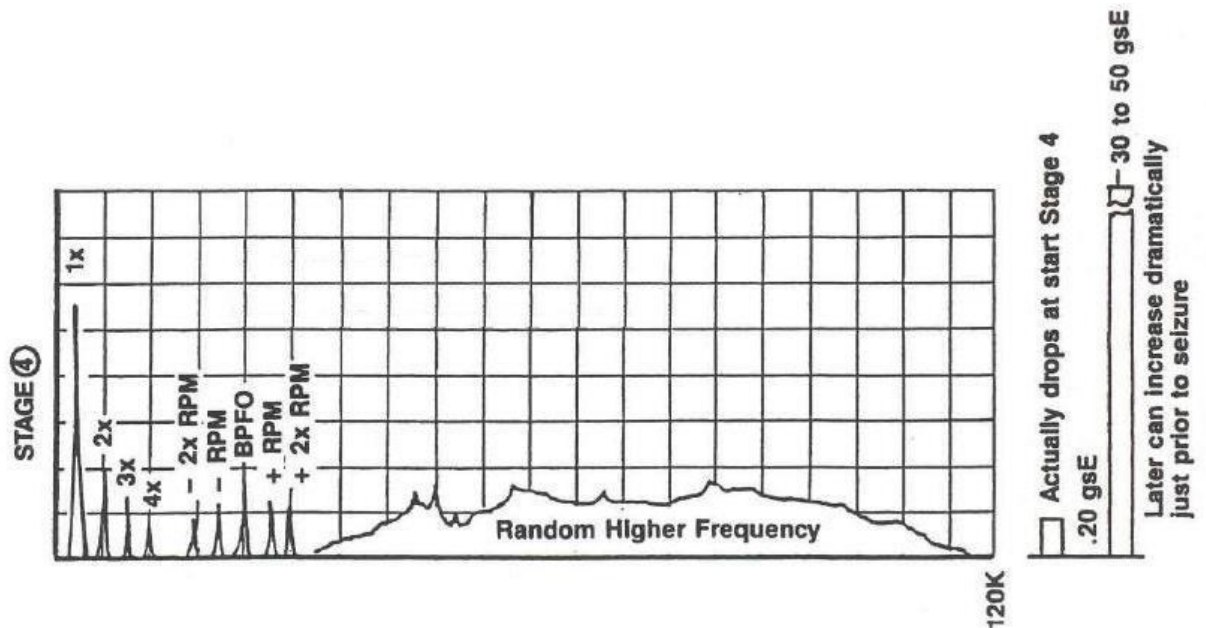
Bliží se konec životnosti ložiska. Při rostoucím opotřebení ložiska se objevuje více harmonických složek ložiskové frekvence a zvyšuje se počet postranních pásem, jak kolem ložiskových frekvencí, tak i kolem vlastních frekvencí ložiska. V této fázi je možné opotřebení odhalit i vizuální kontrolou.



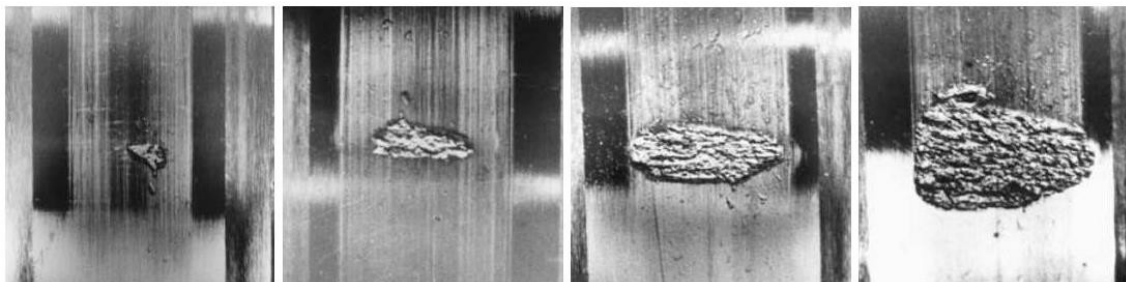
Obr. 24 Projev vady v třetí fázi poškození ložiska [17]

- **Čtvrtá etapa:**

V této fázi je ložisko na konci svého technického života, musí se vyměnit. Ložisko zvyšuje první i mnoho jiných harmonických složek otáčkové frekvence.



Obr. 25 Projev vady v čtvrté fázi poškození ložiska [17]

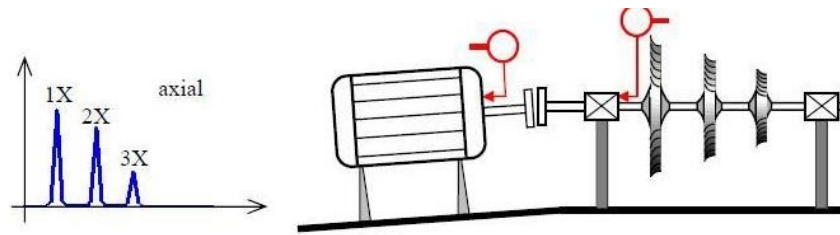


Obr. 26 Vývoj poškození válivého ložiska [17]

Nesouosost

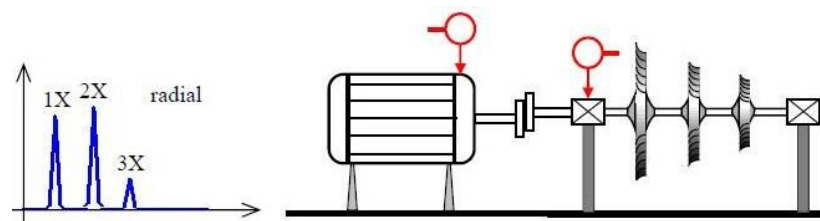
Nesouosost je charakterizovaná asymetrickým uložením hřídelů hnacího a hnaného stroje. Vznikají vynucené síly a kmity, které ovlivňují zatížení hřídelů, spojek i ložisek, tím je poškozují. Nesouosost dělíme na dva základní typy.

Úhlová nesouosost – osy hřídelů leží v jedné rovině, svírají však spolu uhel (různoběžné osy hřídelů). Jsou charakterizované velkými axiálními vibracemi, které působí v protifázi. Dominantními jsou první (1x), druhá (2x), nebo třetí (3x) otáčková frekvence.



Obr. 27 Projev úhlové nesouososti ve frekvenčním spektru [10]

Paralelní nesouosost – osy hřídelů jsou paralelně posunuty. Charakterizované velkými radiálními vibracemi ležícími v protifázi. Druhá otáčková (2x) frekvence je často větší než první otáčková (1x) frekvence.



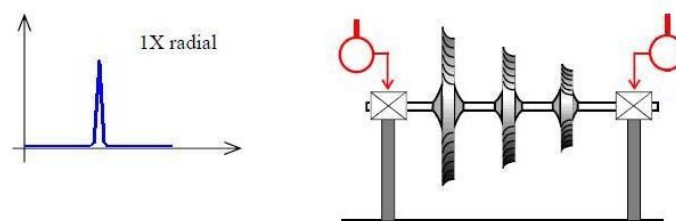
Obr. 28 Paralelní nesouosost s typickým spektrem [10]

V praktickém měření často dochází k vzájemné kombinaci úhlové a paralelní nesouososti, obě osy se nacházejí v mimoběžném směru.

Nevývaha

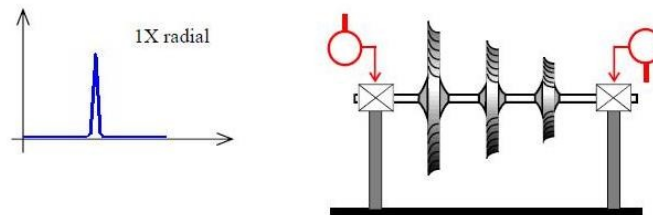
Můžeme charakterizovat polohou těžiště, ležící mimo osu rotace tělesa. Vzniká, jako důsledek nerovnoměrného rozložení hmoty na rotující části stroje. Nevývahu můžeme rozdělit do tří druhů.

Statická nevývaha – působí zde pouze jedna síla. Nejtěžší bod zaujímá nejnižší polohu. Amplituda se projevuje v radiálním směru u obou ložisek.



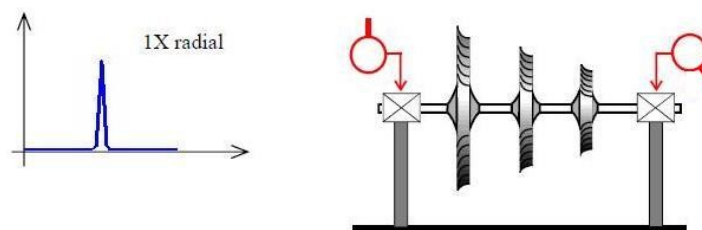
Obr. 29 Statická nevývaha s typickým spektrem [10]

Momentová nevývaha – projevuje se výraznou amplitudou v radiálním směru u obou ložisek. Na stejném hřídeli se projevuje vždy v protifázi.



Obr. 30 Momentová nevývaha s typickým spektrem [10]

Dynamická nevývaha – nejčastěji indikována nevyváženost. Jedná se o kombinaci statické a momentové nevývahy. Osa rotace a centrální osa setrvačnosti jsou mimoběžné. Projevuje se velkou amplitudou v radiálním směru obou ložisek. Fáze vibrací jsou vždy rozdílné.



Obr. 31 Dynamická nevývaha s typickým spektrem [10]

Vady ozubení

Normální frekvenční spektrum ozubených převodu obsahuje první, druhou, a třetí harmonickou, otáčkové a zubové frekvence, otáčkové zubové frekvence se vyskytují i kolem postranních pásem, jejich velikost závisí na frekvenci otáček hřídele.

Výpočet zubových frekvencí

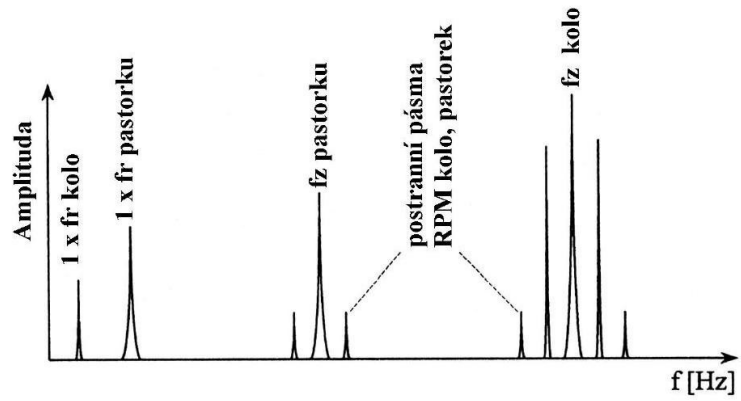
$$f_{z12} = z_1 \cdot f_{r1} = z_2 \cdot f_{r2} \quad [13]$$

z_1, z_2 počet zubů pastorku, kola

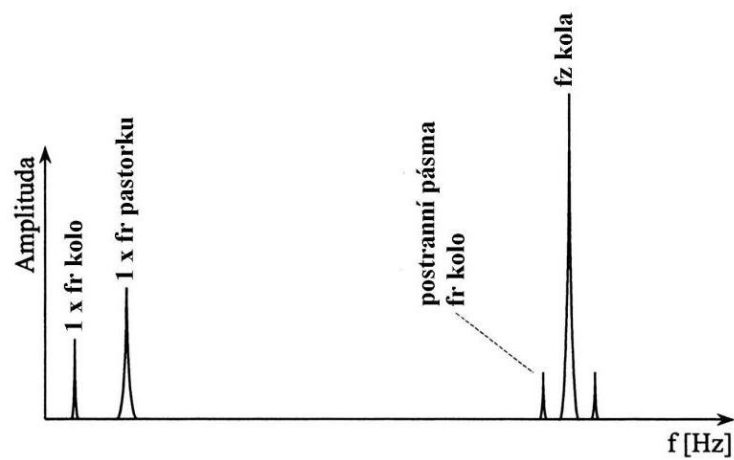
f_{r1}, f_{r2} rotorová frekvence pastorku, kola

n_1 otáčky hřídele

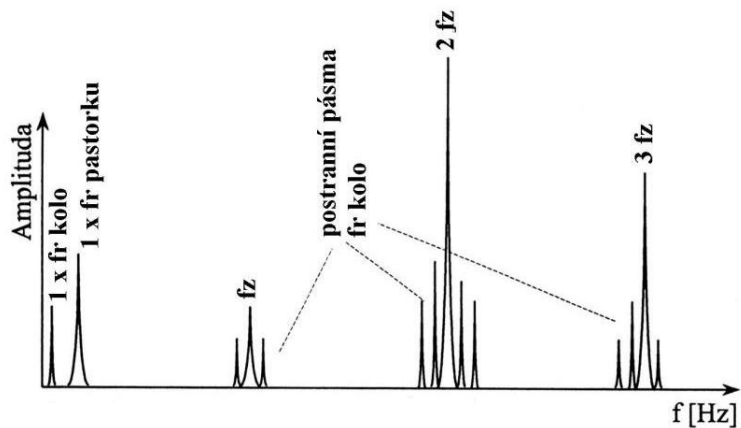
$$f_{r1} = \frac{n_1}{60} \quad [14]$$



Obr. 32 Typické frekvenční spektrum ozubení měřené ve vertikálním směru při opotřebení zubů, excentricitě kola a boční vůli [1]



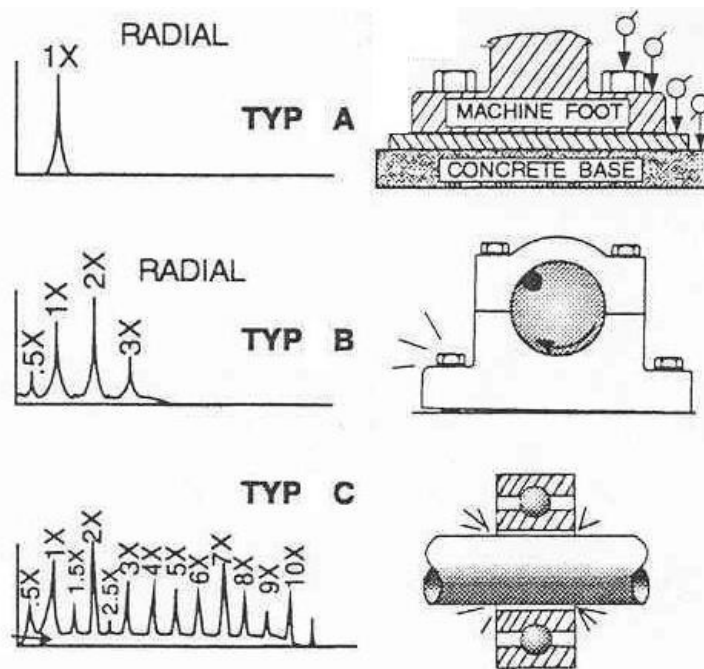
Obr. 33 Typické frekvenční spektrum ozubení měřené ve vertikálním směru při nadměrném zatížení zubů [1]



Obr. 34 Typické frekvenční spektrum ozubení měřené ve vertikálním směru při nesouososti ozubených kol [1]

Mechanické uvolnění

Mechanické uvolnění je způsobené strukturálním uvolněním, zeslabením patek stroje ze základní desky, uvolněním základových šroubů, či poškozením desky. Vzniká jako projev vůle. Mechanické uvolnění je doprovázené rázovým pohybem. Ve spektru vibrací se projevuje základní frekvenci a několika harmonickými složkami.



Obr. 35 Mechanické uvolnění s typickými spektry [5]

2.4 Hodnocení vibrací

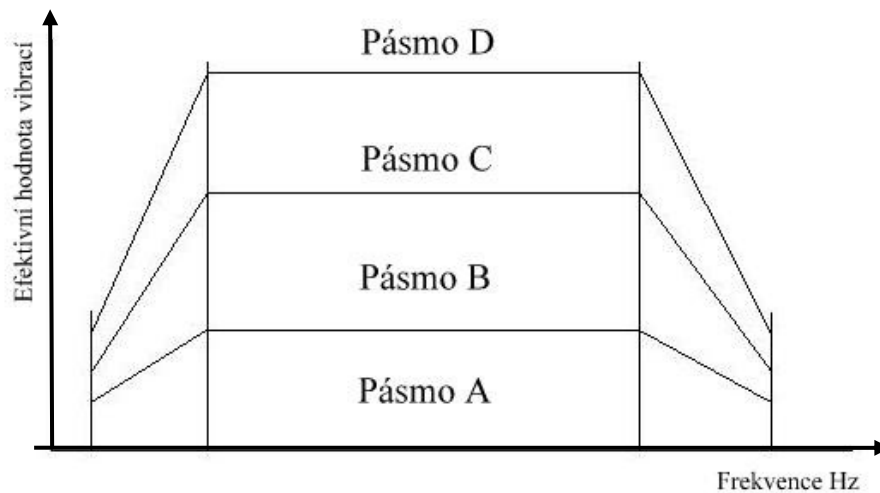
Hodnocení vibrací probíhá podle normy ČSN ISO 10816. Norma je tvořena několika částmi. Pro jednotlivé stroje stanovuje všeobecné podmínky, postupy při měření a hodnocení vibrací. Obecná kritéria hodnocení, která jsou prezentována ve tvaru jak velikosti, tak i změny vibrací, se vztahují na provozní monitorování i přijímací zkoušky.

Kritérium I: Velikost vibrací

Nejvyšší naměřená hodnota z různých míst stroje se nazývá mohutnost vibrací. Dle normy ČSN ISO 10816 jsou definovány mezní hodnoty mohutnosti vibrací, které přiřazují stroj podle stavu do čtyř pásem. Zařazením stroje do pásma napomáháme k rozhodnutí o dalším provozu stroje nebo potřebném opatření.

Pásma hodnocení velikosti vibrací:

- **Pásma A** - vibrace nových strojů.
- **Pásma B** - vibrace ležící v tomto pásmu odpovídají strojům provozovaným po neomezeně dlouhou dobu.
- **Pásma C** - vibrace stroje ležící v tomto pásmu jsou podle normy považovány za neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Provoz do opravy.
- **Pásma D** - hodnoty vibrací jsou považovány za nebezpečné pro další provoz, mohou způsobit poškození stroje.



Obr. 36 Schéma pásem pro hodnocení vibrací

Kritérium II: Změna vibrací

U tohoto typu hodnocení se sledují změny velikosti vibrací vzhledem k referenční hodnotě, která je stanovena předem z ustálených provozních podmínek za dobrého provozního stavu stroje. Hodnocení dle změny vibrací vyžaduje dlouhodobější sledování stroje. Třídy strojů jsou dle normy rozděleny.

- **Třída I** - elektrické motory o výkonu maximálně 15 kW.
- **Třída II** - elektrické motory s výkonem 15 až 75 kW, motory a stroje připevněné na speciálních základech o výkonu do 300 kW.
- **Třída III** - velké motory s rotačními částmi, umístěné na pevných a těžkých základech, ve směru měření vibrací tuhé.
- **Třída IV** - velké motory s rotačními částmi, umístěné na pevných a těžkých základech, ve směru měření vibrací měkké.

Efektivní rychlost 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	B	
4,50					
7,10	D	D	C	C	
11,20					
18,00			D	D	D
26,00					
45,00					

Obr. 37 Hodnocení vibrací na základě rychlosti kmitání dle ČSN ISO 10816

01 1412	ČSN ISO 10816-1	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice
01 1412	ČSN ISO 10816-2	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 2: Parní turbíny a generátory nad 50 MW na pozemních základech s normálními pracovními otáčkami 1 500 1/min, 1 800 1/min, 3 000 1/min a 15 000 1/min
01 1412	ČSN ISO 10816-3	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15 000 1/min při měření <i>in situ</i>
01 1412	ČSN ISO 10816-4	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 4: Soustrojí poháněná plynovou turbínou s výjimkou leteckých pohonných jednotek
01 1412	ČSN ISO 10816-5	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 5: Soustrojí ve vodních elektrárnách a čerpacích stanicích
01 1412	ČSN ISO 10816-6	Vibrace – Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 6: Stroje s vratným pohybem se jmenovitým výkonem nad 100 kW

Obr. 38 Výběr z normy ČSN ISO 10816 platné v roce 2001

Dílčí závěr:

V kapitole jsem uvedl informace o vibrační diagnostice, které jsou důležité pro další části této práce. Přiblížil jsem zde druhy signálu i jeho zpracování, snímače vibrací, představil jsem jednotlivé druhy závad, které se mohou v dané problematice vyskytnout v závěru jsem uvedl, jak se vyhodnocují vibrace dle příslušné normy.

3 Popis diagnostických systému

V práci byly využity dva typy diagnostických systému. Jedná se o pochůzkový diagnostický systém SKF Microlog se softwarem Prism a on-line diagnostický a monitorovací systém ifm octavis efektor. V této části popíšu základní principy ovládání těchto systému.

3.1 Popis systému SKF Microlog/Prism

Systém Microlog se softwarem Prism je diagnostickým systémem firmy SKF. Jedná se o kombinaci měřicího přístroje Microlog, podpůrného modulu pro propojení měřicího přístroje k PC a samotného PC, na kterém je nainstalován software Prism pro následnou analýzu naměřených dat.

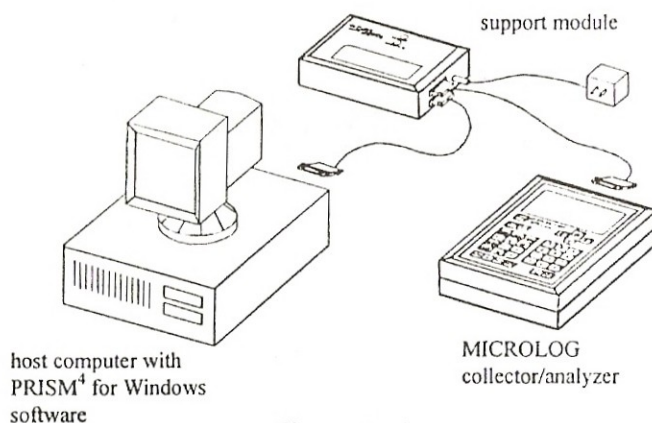


Figure 1 - 1.
The PRISM⁴/Microlog System.

Obr. 39 Schéma systému SKF Microlog/Prism [18]

3.1.1 Technická data analyzátoru Microlog

Microlog je přenosný měřicí přístroj pro sběr a ukládání naměřených dat. Zaznamenává vibrace stroje, měří teplotu a provádí detailní analýzu v náročných průmyslových podmínkách. Microlog plní úkoly, které souvisí s programem prediktivní

údržby. Umožňuje získávat dynamické (vibrace) i statické (teplota, průtok, tlak) záznamy z měření. Vibrace jsou snímány nejčastěji akcelerometry. Ty jsou buď použity jako pochůzkové snímače, k měřenému objektu jsou připojeny magnetem, nebo z pevně nainstalovaných snímačů. Provozní hodnoty (teploty, tlaky) je možné sledovat pomocí klávesnice Micrologu. Kromě funkce sběru dat, umožňuje Microlog i analýzu dat. Zobrazuje frekvenční spektra a časové průběhy.



Obr. 40 SKF Microlog CMVA60 [8]

Zdroje signálu	zrychlení, rychlost a výchylka z ručních nebo instalovaných senzorů, či z monitorovacího systému
	AC/DC proudové snímače
	Tlakové snímače
	Teplotní snímače: rozsah 50°C-1150°C
Výběr filtrů obálky (envelope)	5-100Hz, 50-1000Hz, 500Hz-10kHz, 5-40kHz
Vstupní impedance	1 M Ω
Rozsah měření	0,5-20 kHz (plynule přestavitelné)
Průměrování	programovatelné 1-9999
Typy oken	Hanigovo, obdélníkové (Uniform), Flat Top
Baterie	7,2 V, 2,4 Ah, až 9 h provozu
Mikroprocesor	Intel, 32 bit 25 MHz
Paměť	6 Mb (Flash 4Mb) 70 ns
Rozměry	200mm x 267mm x 64 mm

Obr. 41 Technická data analyzátoru Microlog CMVA60 [8]

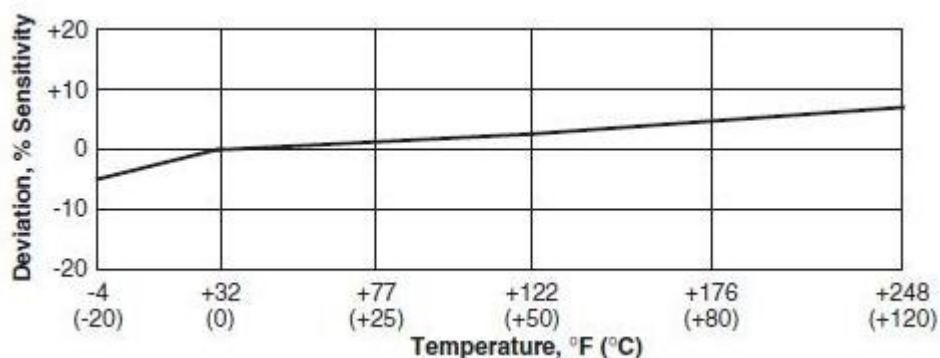
SKF CMSS2200, je akcelerometr určený pro měření vibrací. Využívá se v aplikacích na průmyslové stroje typu čerpadel, motorů, ventilátoru, papírenských strojů, apod. Je kompatibilní s analyzátozem vibrací Microlog.



Obr. 42 Použitý snímač SKF CMSS2200

Citlivost	100 mV/g
Přesnost	± 10% při +25 °C
Rozsah zrychlení	80 g špička
Frekvenční rozsah	± 10%; 1.0 Hz až 5,000 Hz ± 3 dB; 0.7 Hz AŽ 10,000 Hz
Příčná citlivost:	≤ 5% axiální
Elektrický šum	2.0 Hz; 20 µg/vHz
Výstupní impedance	< 100 Ω
Zkreslení výstupního napětí	12V DC

Obr. 43 Technická data snímače SKF CMSS2200 [8]



Obr. 44 Změna citlivosti snímače v závislosti na teplotě [8]

3.1.2 Základní principy ovládaní Micrologu

V hlavním menu najdeme položky „Route“ - cesta, „NonRoute“ – mimo cestu, „Transfer“ - přesun, „Analyzer“ – analýza, „Review“ – průzkum, „Report“ – zpráva a „Utilities“ – utility. Ovládaní při praktickém měření, bylo jednoduché. V menu zvolíme položku „Route“ s nahranou trasou měřicích bodu, pomocí šipek na klávesnici, potvrdíme tlačítkem „Enter“. Vybereme položku prvního měřicího místa, potvrdíme tlačítkem „Enter“. Objeví se první měřicí místo. Snímač umístíme do požadovaného bodu a směru. Pomocí tlačítka „Enter“ potvrzujeme měření a pohybujeme se mezi jednotlivými měřeními. Při průměrování je dostatečný počet tří až pěti průměrů pro analýzu, přerušeni provedeme opět pomocí „Enter“. Stav baterie sledujeme v menu „Utilities“.

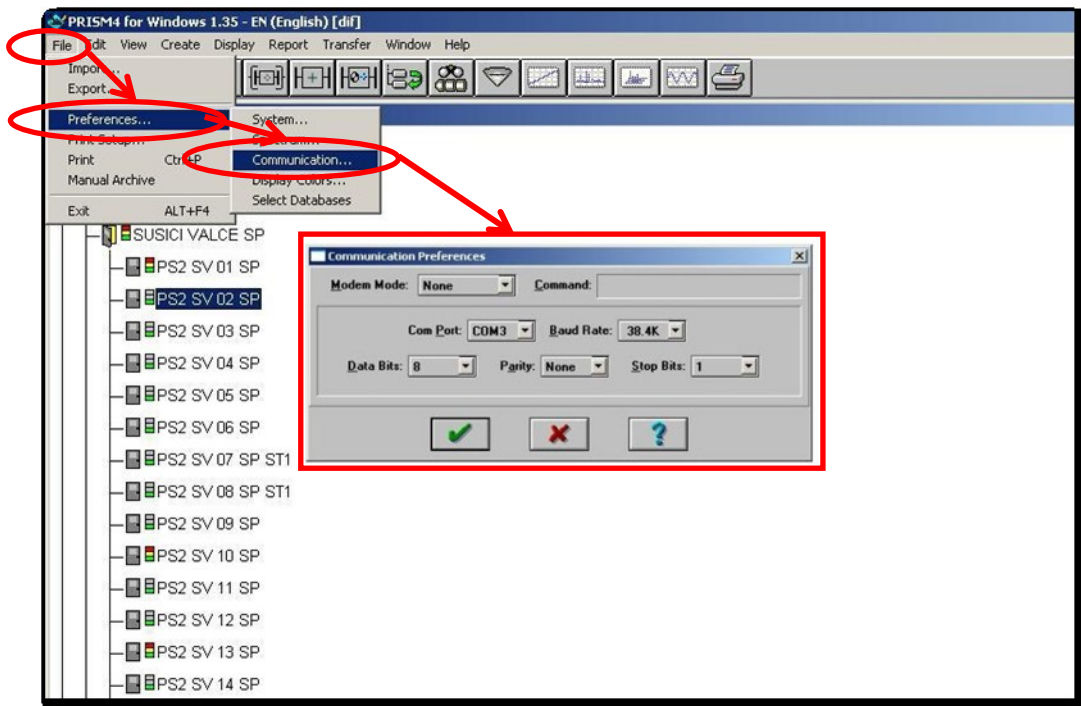
3.1.3 Popis software Prism

Software Prism slouží k analýze naměřených dat získaných pomocí analyzátoru Microlog. Pomocí Prismu ukládáme naměřená data, spravujeme data a provádíme rozsáhlejší analýzu shromážděných dat sloužících pro údržbu a řízení strojů. Graficky znázorňuje naměřená spektra ve frekvenční i časové oblasti. Umožňuje vytváření cest s měřicími místy, které nahráváme a stahujeme z měřicího přístroje. Prism automaticky porovnává aktuální naměřená data s historickými údaji, předdefinované alarmy umožňují detekci změn od normálních provozních podmínek strojů. Software používá operační prostředí Microsoft Windows. Zobrazuje podezřelá místa, aktuální FFT spektra, základní FFT spektra, kaskádu v jedné obrazovce pro snadnou analýzu a vyhodnocování. Software používá operační prostředí Microsoft Windows.

3.1.4 Základní ovládaní software Prism

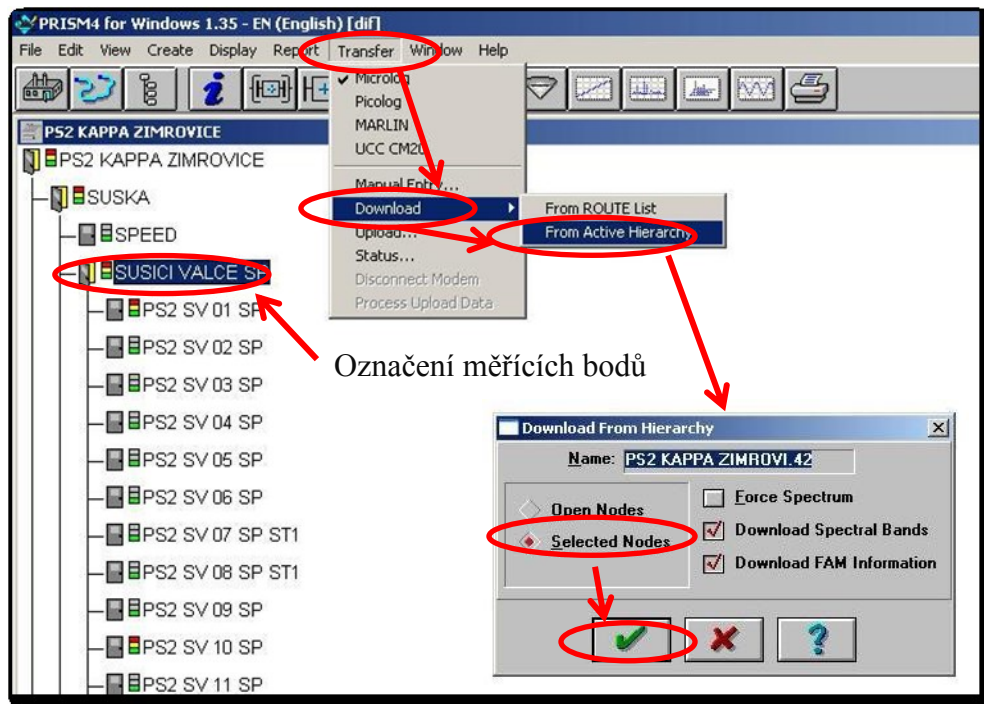
Ukázka ovládaní využitého při provozním měření ve společnosti Kappa Žimrovice. Prvním krokem je kontrola připojení analyzátoru Microlog k softwaru Prism. Kontrolu provedeme kliknutím myši na položku „File“ → „Preferences“ → „Communication“.

Objeví se tabulka „Communication Preferences“, kde kontrolujeme nastavený komunikační port COM 3, přenosovou rychlost (Baud Rate) 38,4 kB/s a další nastavení podle obr. 45.



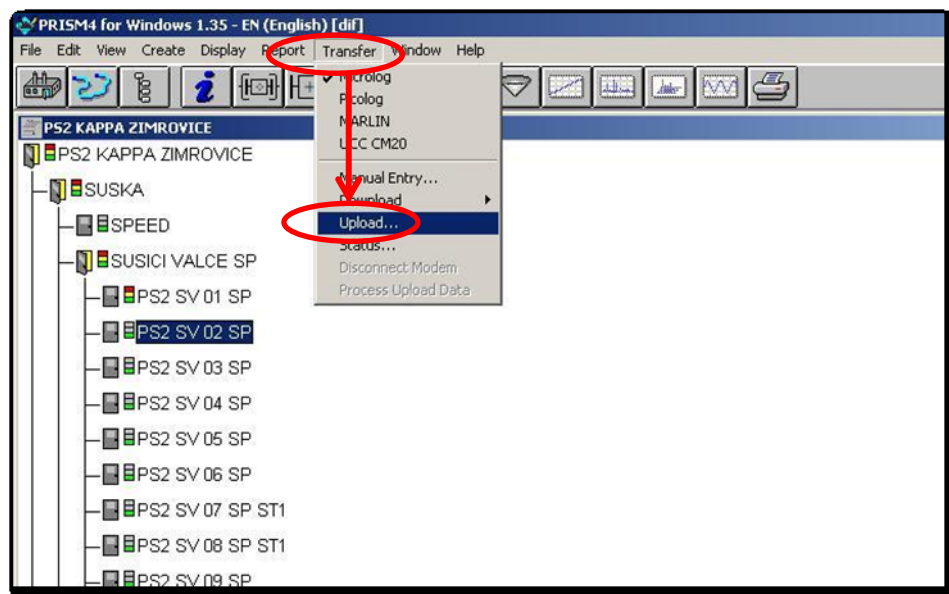
Obr. 45 Kontrola komunikace softwaru a Micrologu

Dalším krokem je nahrání trasy do Micrologu. Označíme si měřící body, které chceme nahrát do analyzátoru, kombinací tlačítka „Ctrl“ a levého tlačítka myši pro označení více měřících bodů po té „Transfer“ → „Download“ → „From Active Hierarchy“ obr. 46. V okně označíme pole „Selected Nodes“, a potvrdíme. Začne načítání dat. Po načtení dat se v levém dolním rohu okna objeví okno, které rozevřeme a dvojklikem zahájíme samotné stahování. Po nahrání měřících bodu provedeme měření analyzátořem Microlog.



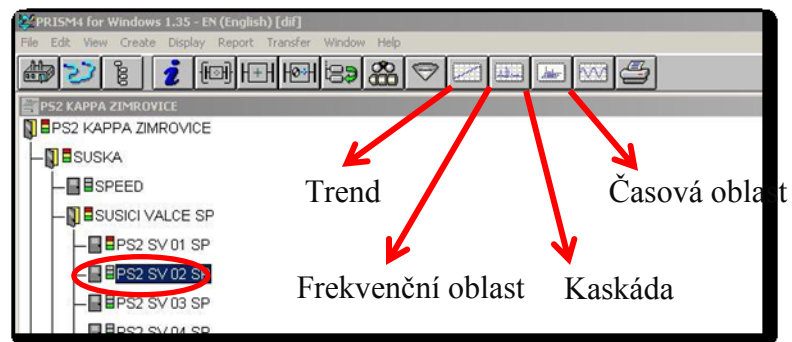
Obr. 46 Nahrávání měřících bodů do analyzátoru Microlog

Nahrání naměřených dat s Micrologu provedeme položkami „Transfer“ → „Upload“ obr. 47. Po stažení dat provedeme vymazání přes položky „Transfer“ → „Status“ a „Clear“.



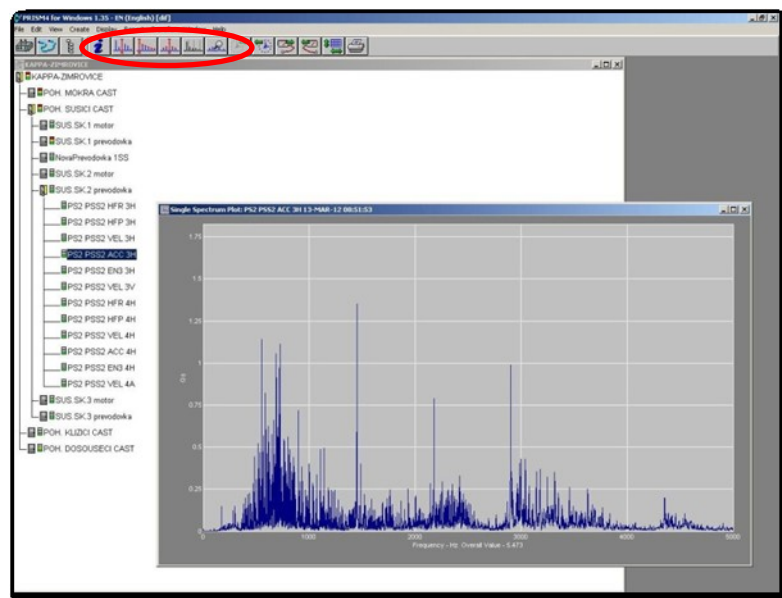
Obr. 47. Získávání dat z analyzátoru Micrologu

Zobrazení spektra provedeme označením měřeného místa, následně v panelu nástrojů vybereme ikonu požadovaného typu zobrazení.



Obr. 48 Zobrazení spekter

Zobrazením spektra se změní i nabídka panelu nástrojů, můžeme zde vidět ikony sloužící pro pohyb ve spektru, a následné odečítání hodnot hledaných frekvencí. Pro usnadnění práce se spektry nabízí Prism různé diagnostické pomůcky, speciální typy kurzorů, různé zobrazení naměřených spekter. Harmonický kurzor slouží pro označení harmonických násobků frekvence označených základním kurzorem. Kurzor pro postranní pásma se využije v případě, že se v signálu vyskytují dvě složky vibrací s různými frekvencemi pocházející z rozdílných zdrojů.



Obr. 49 Zobrazení spektra ve frekvenční oblasti

3.2 Popis systému ifm octavis efektor

Diagnostický systém ifm octavis efektor je určen pro on-line diagnostiku. Aplikuje se k analýze celkových hodnot vibrací v časové oblasti, analýze vibrací ve frekvenčních pásmech, a podrobné frekvenční analýze spekter vibrací. Využívá výkonovou elektroniku umístěnou v blízkosti měřicího místa. Při překročení nastavených alarmových hodnot, systém upozorní na tento stav vizuálně i akusticky. Možnosti využití jsou ve vibrodiagnostice motorů, převodovek, čerpadel a dalších.



Obr. 50 Systém ifm octavic efektor on-line [7]

Systém monitoruje tyto veličiny:

- vibrace (rychlost v_{RMS} , v_P , zrychlení a_{RE} , a_P),
- otáčky,
- stav ložisek,
- technologické veličiny.

On-line systém ifm octavis efektor má trvale připojeny snímače vibrací - akcelerometry. Snímače využívají polovodičovou technologii označovanou MEMS (Mikro Elektro Mechanické Systémy). Pomocí výkonové elektroniky s digitálním signálním procesorem je signál zpracováván přímo na místě využitím FFT transformace. Získáváme

tak frekvenční spektra, stav jednotlivých diagnostických parametrů. Výstup je možné zobrazit pomocí binárního signálu (stavový semafor). Systém využívá parametrické diagnostiky při sledování stavu ložisek ve vybraných frekvenčních pásmech, dále pak měří technologické veličiny. Získává informace o provozních otáčkách stroje nutné, pro objektivní rozhodování o stavu stroje a diagnóze. Data jsou pomocí Ethernetu přenášena do parametrizačního softwaru ifm octavis efektor.

Základní charakteristika diagnostického systému ifm octavis efektor

- Distribuovaný měřicí systém, s nejméně 4 měřenými místy v jedné jednotce.
- Snímače typu MEMS.
- Monitorované veličiny: vibrace, stav ložisek, otáčky, technologické veličiny (rychlost, tlak, teplota).
- Analyzuje celkové hodnoty, frekvenční spektra.
- Parametrická diagnostika, stavový semafor.
- Vnitřní paměť pro uložení historie stroje.
- Analogový výstup měřené veličiny.
- Komunikace pomocí Ethernetu, nebo WIFI.

Parametrizační software ifm octavis efektor slouží pro nastavení měřících jednotek ifm VSE 002. Na datovém serveru běží aplikace OPC server, které vyčítá data z měřících jednotek ifm VSE 002. Ta pak ukládá do SQL databáze. Z ní vyčítá data SCADA vizualizační software Promotic s OPC klientem a zobrazuje je buď lokálně, v podnikové síti, nebo na internetu.

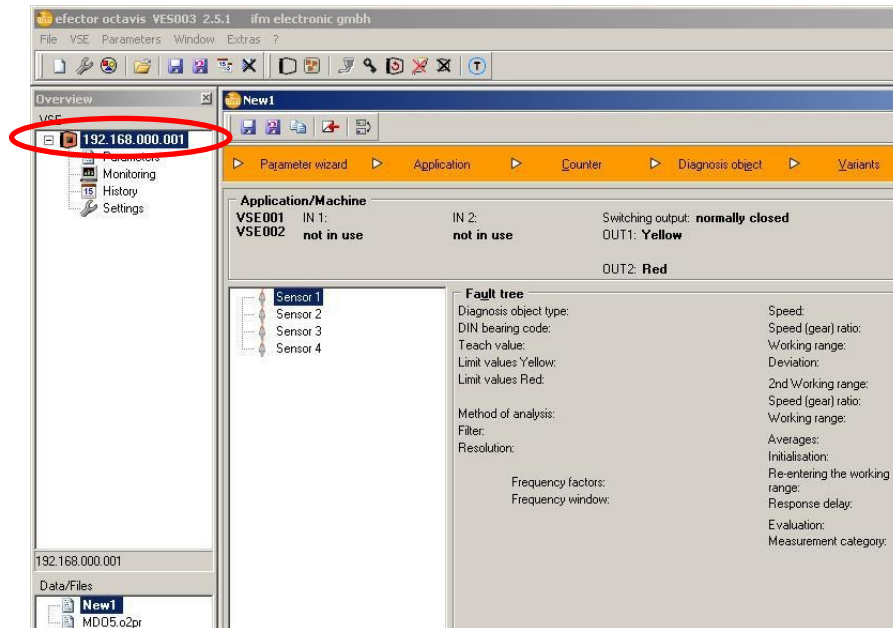
Nadstavbou diagnostického systému ifm octavis efektor je vizualizační aplikace zpracována v prostředí softwaru SCADA Promotic. Umožňuje jednoduše prezentovat data obsluze. K tomu používá parametrickou diagnostiku. Umožňuje zobrazit stav jednotlivých strojů pomocí stavového majáku, trendy naměřených hodnot, zobrazuje přehled alarmů, schéma měřeného objektu s měřícími body.

Monitorované objekty systémem ifm octavis efektor:

- Ložisko - monitoruje amplitudu obálky, zrychlení vibrací.
- Nevyváženost – monitoruje amplitudu rychlosti vibrací.
- Efektivní rychlost vibrací – monitoruje efektivní rychlost vibrací.
- Ostatní – monitorování ostatních vad převodovky, kavitace, zadíraní, uvolnění.

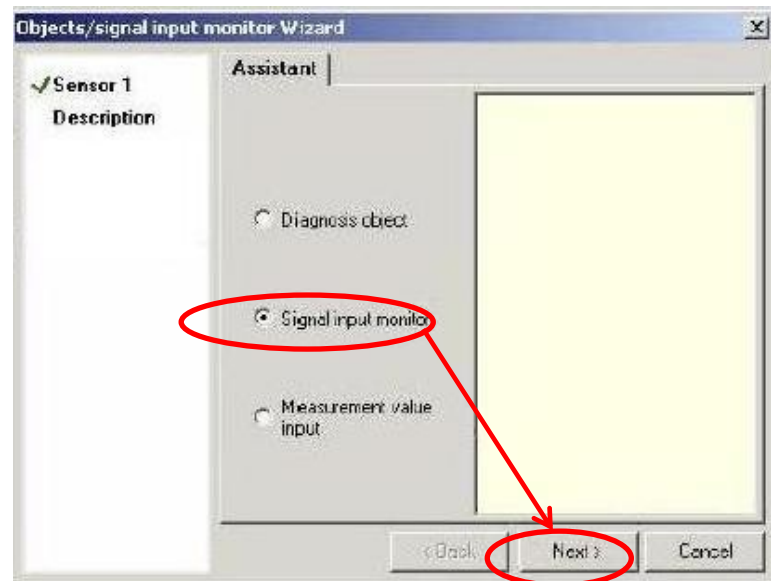
3.2.1 Základní principy ovládaní systému

V levém horním rohu jsou zobrazeny IP adresy jednotlivých jednotek. K jednotce se připojíme dvojklikem na její IP adresu obr. 51, tím zajistíme komunikaci mezi počítačem a jednotkou.



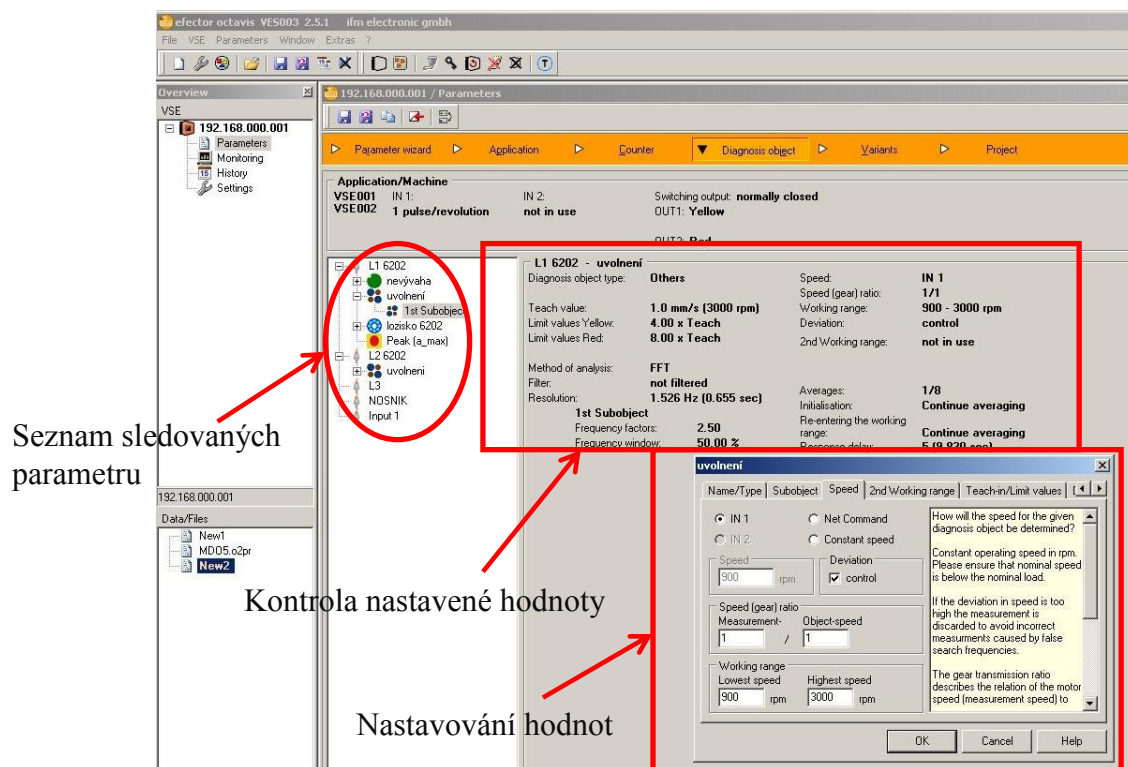
Obr. 51 Načtení jednotky

Nastavení požadovaných hodnot provedeme kliknutím na IP adresu, rozevřeme nabídku jednotky, označíme položku „Parameters“. Zde můžeme nastavovat jednotlivé sledované parametry jako např. uvolnění, nevyváha, poškození ložiska apod.

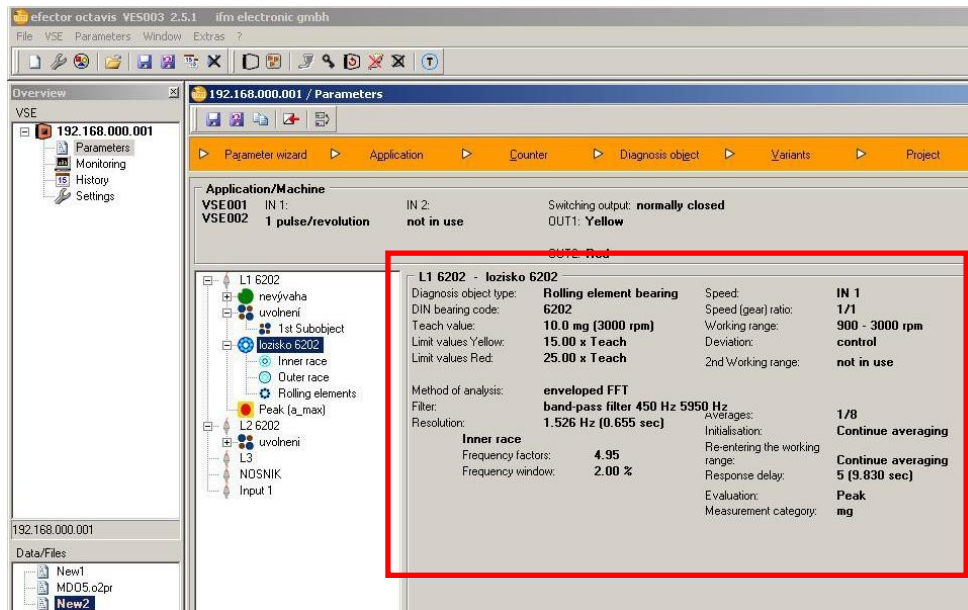


Obr. 52 Nastavování systému ifm octavis efektor

Průvodce nastavení nás vede jednotlivými kroky. Po nastavení příslušné hodnoty nebo vybrání dané položky parametru se posuneme do další pozice pomocí tlačítka „Next“.



Obr. 53 Úprava požadovaných hodnot

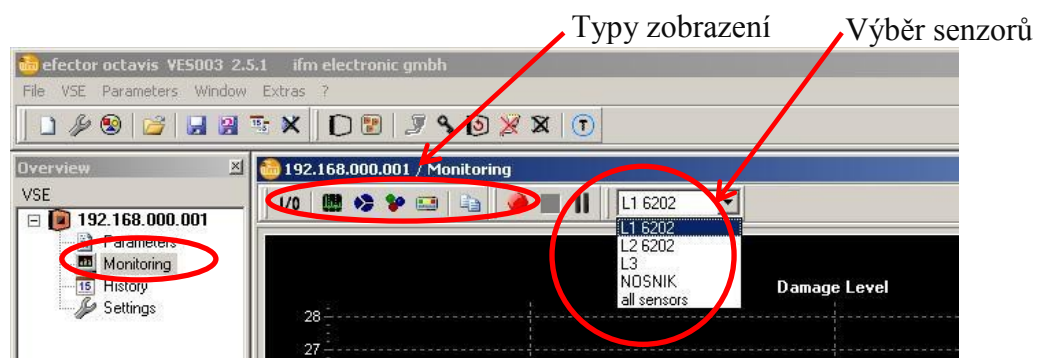


Obr. 54 Výčet nastavených hodnot pro ložisko

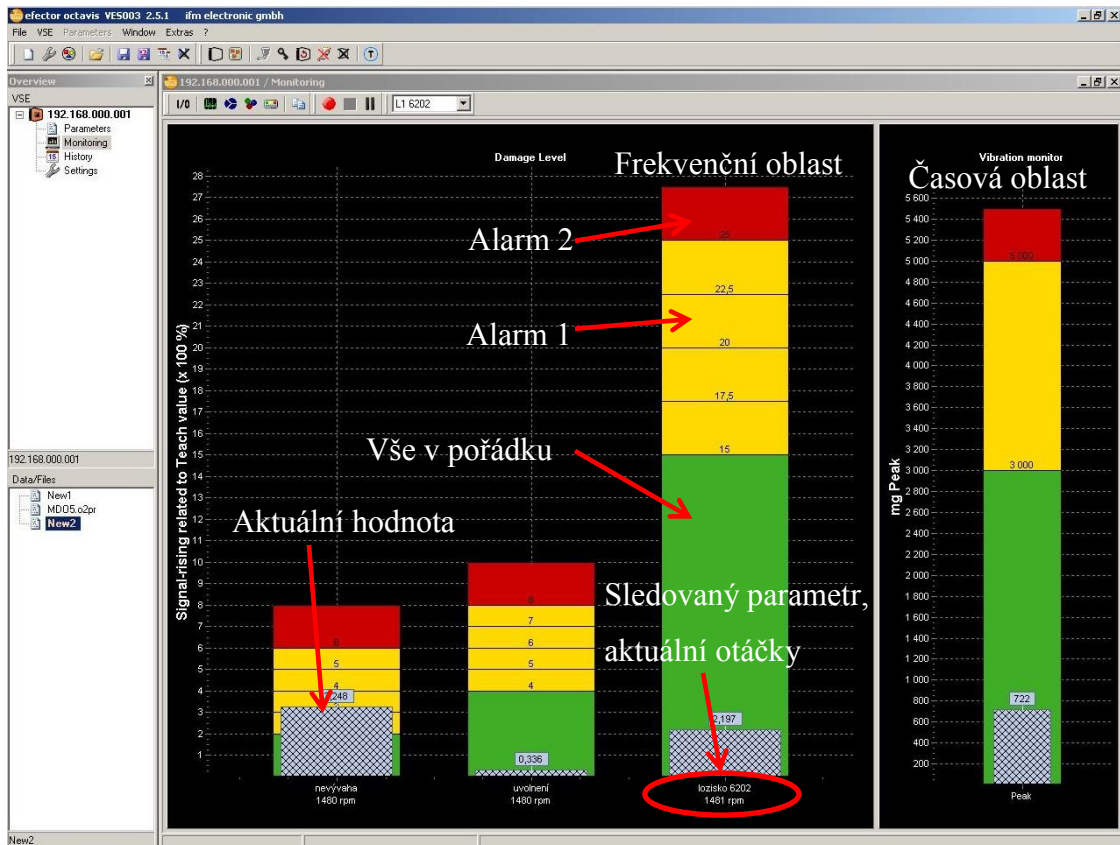
Po nastavení sady parametrů, sadu odešleme do jednotky pomocí ikony zobrazené na obr. 55. K VSE musíme být připojeni a musíme být v nejvyšší uživatelské úrovni a to „level 4“. Nižší úrovně nedovolují zápis a změnu nastavení VSE.



Obr. 55 Odesílání na jednotku



Obr. 55 Prostředí Monitoring

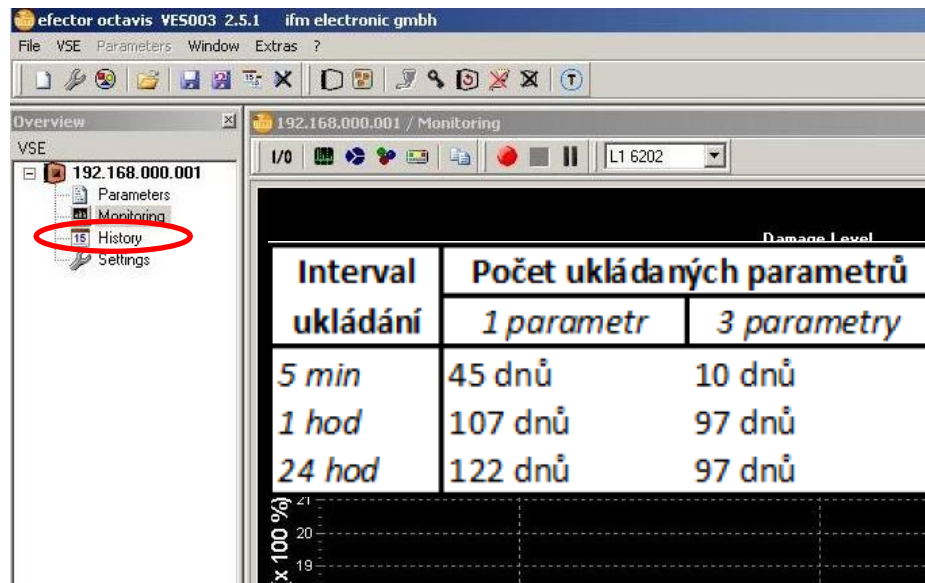


Obr. 57 Sledování aktuálního stavu vzhledem k nastaveným alarmům

Význam alarmů

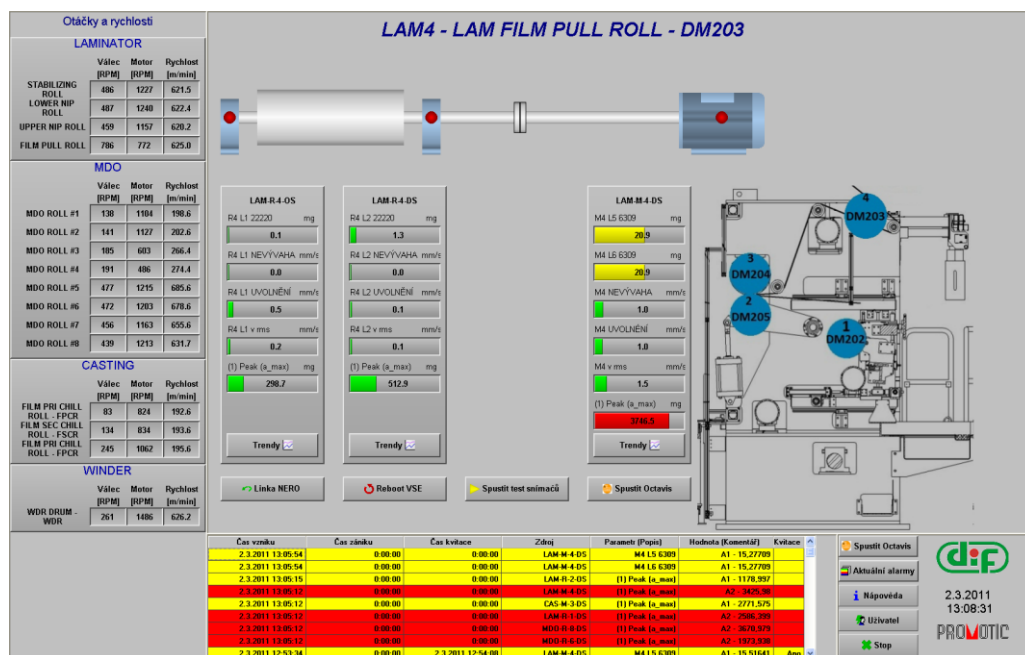
- Zelená – vše v pořádku.
- Žlutá – alarm 1, se strojem není něco v pořádku, nutno odstranit závadu, jinak může dojít k havárii.
- Červená – alarm 2, stroj v havarijním stavu.

Jednotka VSE002 umožňuje trendování naměřených dat. Data jsou uložena ve vnitřní paměti (kruhový buffer) vyhodnocovací jednotky. Paměť je omezena v závislosti na počtu a periodě ukládání parametrů do paměti. Pro představu je na obr. 58 uvedena tabulka možnosti využití paměti jednotky. Trendy je možné nahrát z VSE do PC pomocí softwaru ifm octavis efektor (z nabídky vybereme položku „HISTORY“, viz obr. 54). Software ifm octavis efektor má funkci spojování dat s trendy. Je tedy možné vytvořit historii naměřených dat např. i 5 let zpětně.



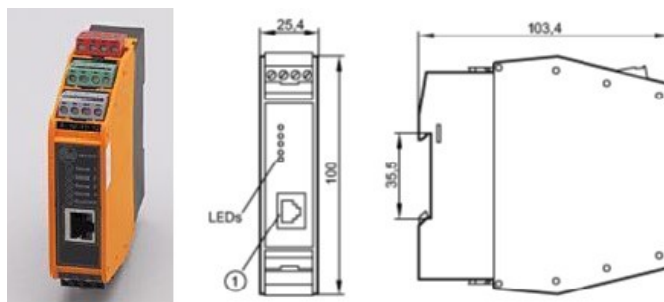
Obr. 58 Sledování historie s tabulkou využití paměti

Diagnostický systém ifm octavis efektor je možné rozšířit o vizualizaci Promotic. Princip vyčítání a zobrazování je uveden v kapitole 3.2.



Obr. 59 Prostředí vizualizace Promotic

3.2.2 Technická data



Provozní napětí [V]	24 DC \pm 20 %
Proudový odběr [mA]	< 100 (24 V)
Třída krytí	III
Výstupní funkce	vstupy dynamicky: 4 x 0...10 mA, vstupy staticky: 2 x 0/4...20 mA nebo impulsní
Výstupní funkce	2 digitální poplachové výstupy (PNP 100 mA) nebo 1 digitální výstup a 1 analogový výstup 0/4...20/22 mA
Okolní teplota [°C]	0...70
Krytí	IP 20
Materiál pouzdra	PA
Hmotnost [kg]	0,242

Obr. 60 Vyhodnocovací jednotka VSE002 [7]



Oblast nasazení	detekce vibrací do \pm 25 g
Výstupní funkce	0 až 10mA, analogový
Provozní napětí [V]	9 DC
Proudový odběr [mA]	< 15
Měřicí rozsah [g]	\pm 25
Princip senzoru	mikromechanický senzor zrychlení / kapacitní měřicí princip / jedna měřicí osa
Odolnost vůči přetížení [g]	500
Citlivost [mg/VHz]	0,2
Frekvenční rozsah [Hz]	0 až 6000
Linearita [%]	0,2
Okolní teplota [°C]	-30 až 125 *)
Krytí, tř.krytí	IP 68 / IP 69K, III
El.mag.kompatibilita	EN 61000-6-2, EN 50178, EN 61000-6-3
Připojení	M12 konekt. připojení; doporučena max. délka kabelu 30 m
Hmotnost [kg]	0,048

Obr. 61 Snímač VSA001 [7]

Dílčí závěr:

V této kapitole jsem popsal diagnostické systémy, které jsem využil v praktické části při měření. Představil jsem zde diagnostické systémy ifm octavis efektor a SKF Microlog/Prism. Uvedl jsem zde základy jejich ovládání a nastavení, specifikoval technická data i příslušenství.

4 Praktická část

Praktická část práce proběhla ve společnosti Smurfit Kappa Žimrovice, ve spolupráci s firmou dif spol. s.r.o. Měření bylo prováděno na papírenském stroji pro výrobu dvouvrstvých kartonu za běžného provozu.

4.1 Popis měřeného zařízení papírenského stroje



Výrobek	Fluting, liner , dvouvrstvé kartony
Plošná hmotnost	110 -225 g/m ²
Produkce stroje	7200 kg/hod na navíječi
Šíře nátoky	2700 mm
Šíře papíru na navíječi	2500 mm
Rychlost stroje	záťahová - 15m/min po dobu 30 min provozní min. – 150 m/min provozní max. – 380 m/min konstrukční – 400 m/min
Klížení	3,9 g/m ² na stranu při koncentraci 10 - 15 % a.s.

Obr. 62 Technická specifikace papírenského stroje

4.2 Měření systémem SKF Microlog/Prism

První část měření se zabývala pochůzkovou vibrační diagnostikou motoru, převodovky a pomaloběžného ložiska válce papírenského stroje. Měření bylo prováděno pomocí analyzátoru Microlog a následně vyhodnocováno pomocí softwaru Prism.

4.2.1 Technická data měřených zařízení



Obr. 63 Motor TES S160 - S730

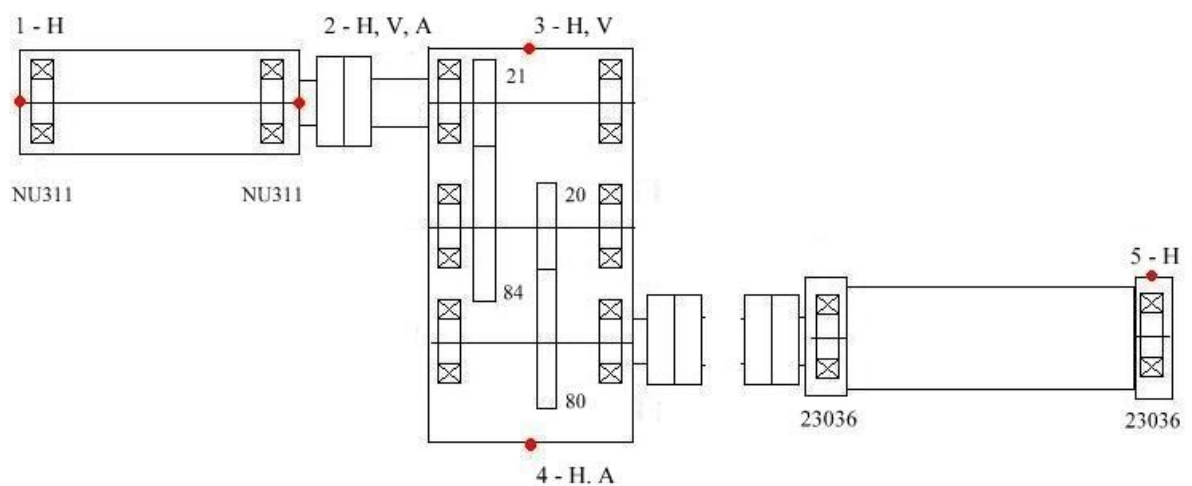


Obr. 64 Převodovka TSA 031-302-05-2



Obr. 65 Pomaloběžné ložisko válce

Schéma měřeného objektu



Obr. 66 Schéma pohonu a válce s měřicími body

4.2.2 Příprava a postup měření, frekvence vad měřeného zařízení

Do Micrologu jsem za pomoci softwaru Prism nahrál trasu pro měření. Postupoval jsem podle nabídky analyzátoru. Papírenský stroj je tvořen 36 sušícími válci s pochůzkovými měřicími body na straně obsluhy. Ložiska sušících válců umístěna na druhé straně (straně pohonu) jsou vybavena stacionárními snímači z důvodu špatného přístupu a špatným vnějším vlivům (vysoká teplota a vlhkost). Tyto snímače jsou

vyvedeny do sdružovací krabice s přepínači, odkud probíhá sbírání dat. Toto měření nebylo náplní práce. Po změření jsem nahrál data do softwaru Prism. Stejný postup jsem aplikoval i na měření vibrací na motoru a převodovce.

4.2.3 Vyhodnocení naměřených dat

Vyhodnocení dat proběhlo ve spolupráci s firmou dif spol. s.r.o v Bohumíně. Nejprve je nutné vypočítat chybové frekvence všech měřených strojních částí. Jsou to otáčkové frekvence všech hřídelí, zubové frekvence, ložiskové frekvence. Pro jejich určení je proto nutné znát otáčky, počty zubů v převodovce, typy ložisek.

Chybové frekvence

$$n_1 = 2070 \text{ ot} / \text{min}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$n_2 = \frac{z_1}{z_2} \cdot n_1 = \frac{21}{84} \cdot 2070 = 517,5 \text{ ot} / \text{min}$$

$$n_3 = \frac{z_2}{z_2} \cdot n_1 = \frac{20}{80} \cdot 480 = 120 \text{ ot} / \text{min}$$

$$f_{z1} = \frac{1}{60} \cdot z_1 \cdot n_1 = \frac{2070}{60} \cdot 21 = 724,5 \text{ Hz}$$

$$f_{z2} = \frac{1}{60} \cdot z_2 \cdot n_2 = \frac{517,5}{60} \cdot 20 = 172,5 \text{ Hz}$$

Otáčky		Typ ložiska	Chybové frekvence (Hz)		
n(ot/min)	n(Hz)		FTF	BPFI	BPFO
2070	34,5	NU311	13,7	270	179
80,4	1,34	23036	0,6	18,5	15

Tab. 1 Vypočtené hodnoty chybových frekvencí ložisek

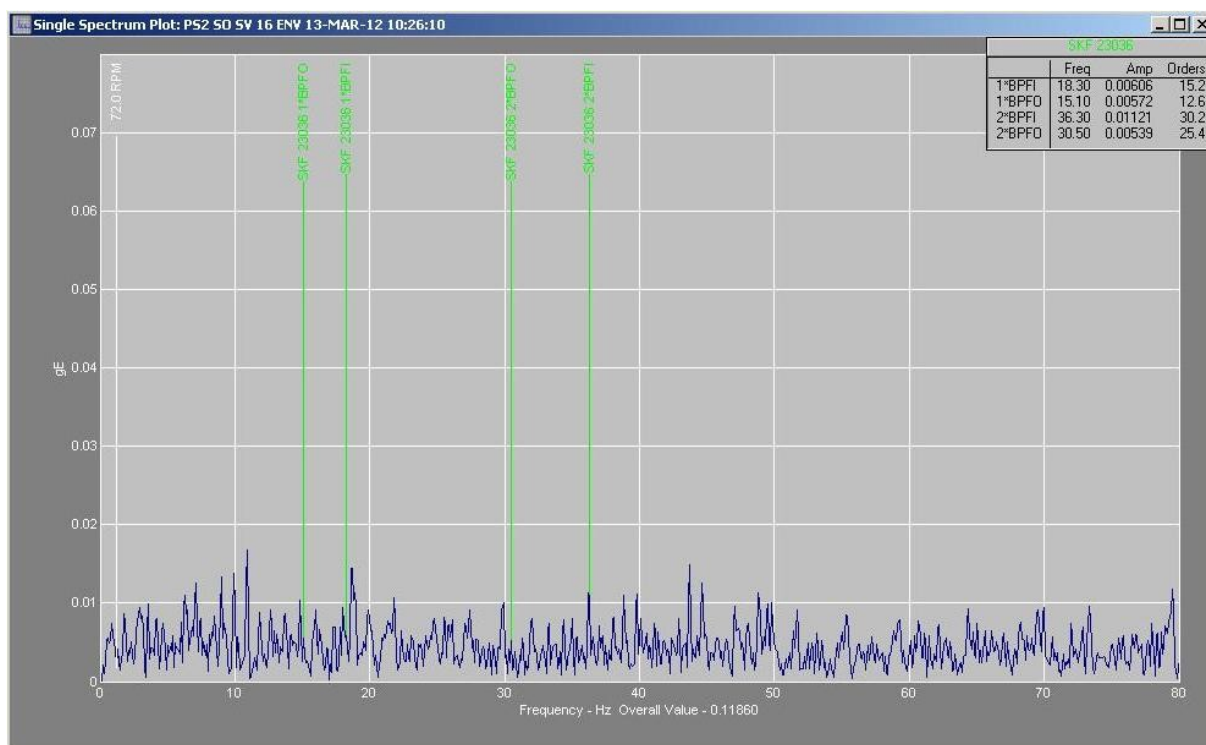
Nastavené a sledované parametry

- vysoko - frekvenční vibrace HFR, HFP,
- rychlost vibrací VEL (do 1 kHz),
- zrychlení vibrací ACC (do 5 kHz),
- obálka zrychlení Envelope EN3 (do 1 kHz).

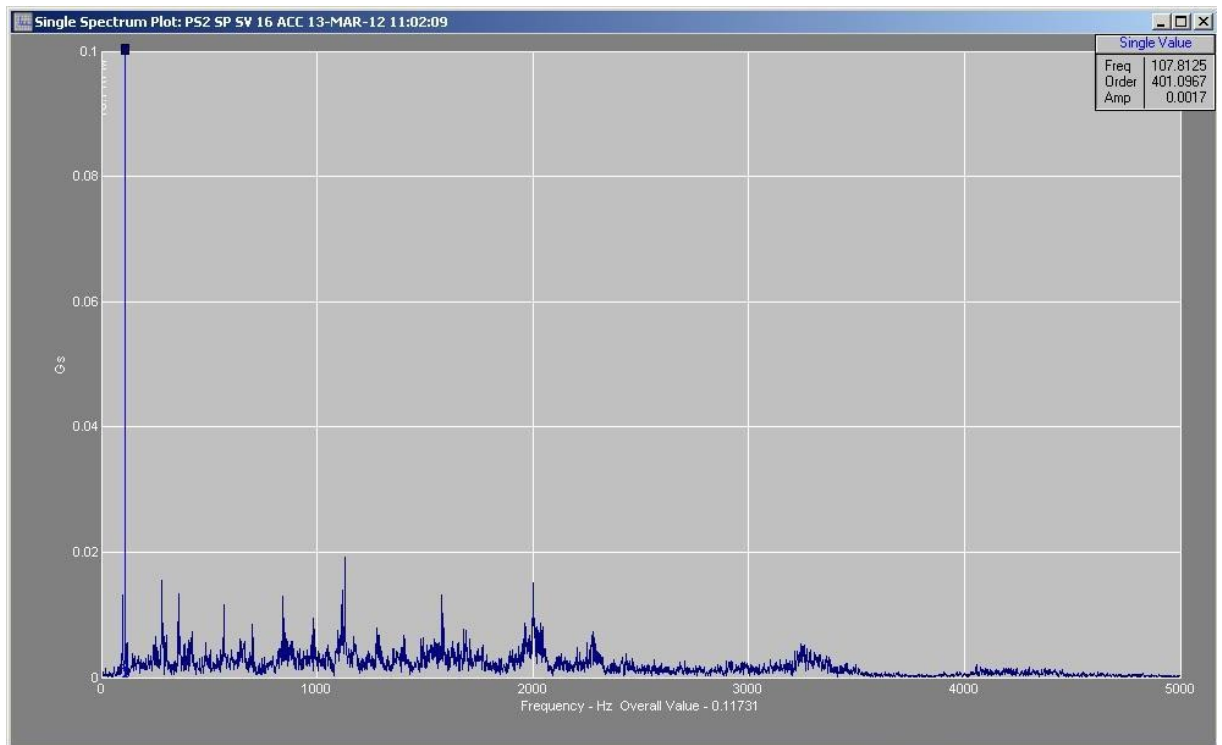
Naměřená data pomaloběžného ložiska, měřicí bod 5 směr horizontální

Objekt: PS2 SV 16 SO ST2	Jednotky	Poslední měření	Předchozí měření	Procentuální změna
PS2 SO SV 16 HFR	G RMS HFD	0,007605	0,02017	-62,3
PS2 SO SV 16 HFP	G HFD	0,03078	0,4984	-38,2
PS2 SO SV 16 ACC	Gs	0,242	0,4114	-41,3
PS2 SO SV 16 EN2	gE	0,2713	0,5684	-52,3
PS2 SO SV 16 ENV	gE	0,3119	0,5312	-41,3
PS2 SO SV 16 VEL	mm/sec	1,957	1,201	63

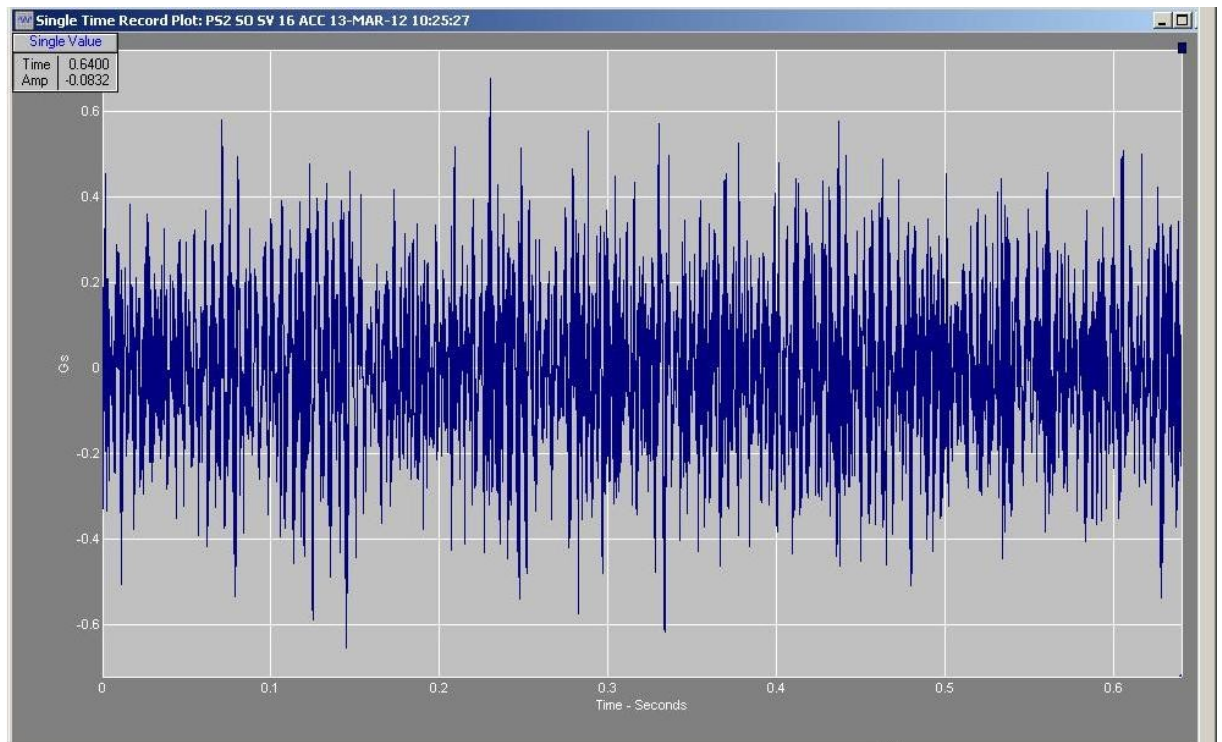
Tab. 2 Naměřené data



Obr. 67 Frekvenční spektrum PS2 SO SV 16 ENV obálky, vyznačené 1x, 2x poruchových frekvencí vnějšího a vnitřního kroužku ložiska 23036, hodnoty jsou nízké, doporučení **PROVOZ**



Obr. 68 Frekvenční spektrum PS2 SO SV 16 ACC zrychlení vibrací a_{peak} , typický průběh bez vady, doporučení PROVOZ

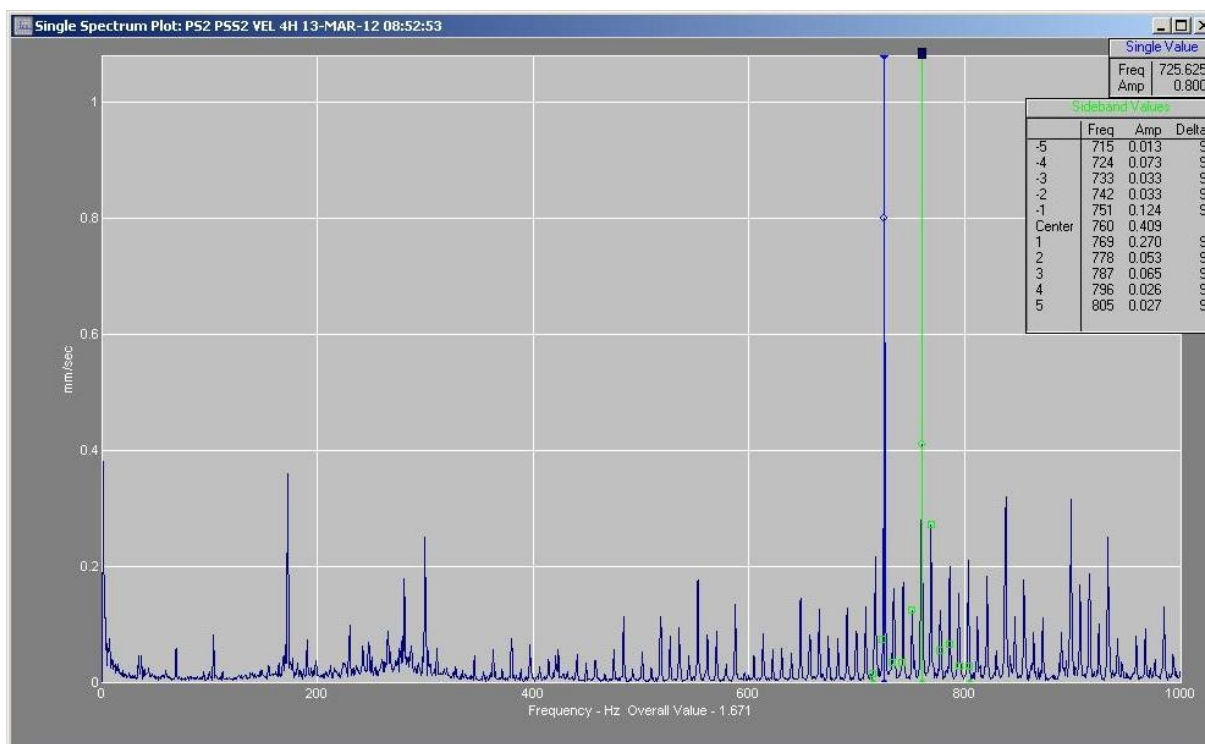


Obr. 69 Časové spektrum PS2 SO SV 16 ACC zrychlení vibrací a_{peak} , typický průběh bez vady, doporučení PROVOZ

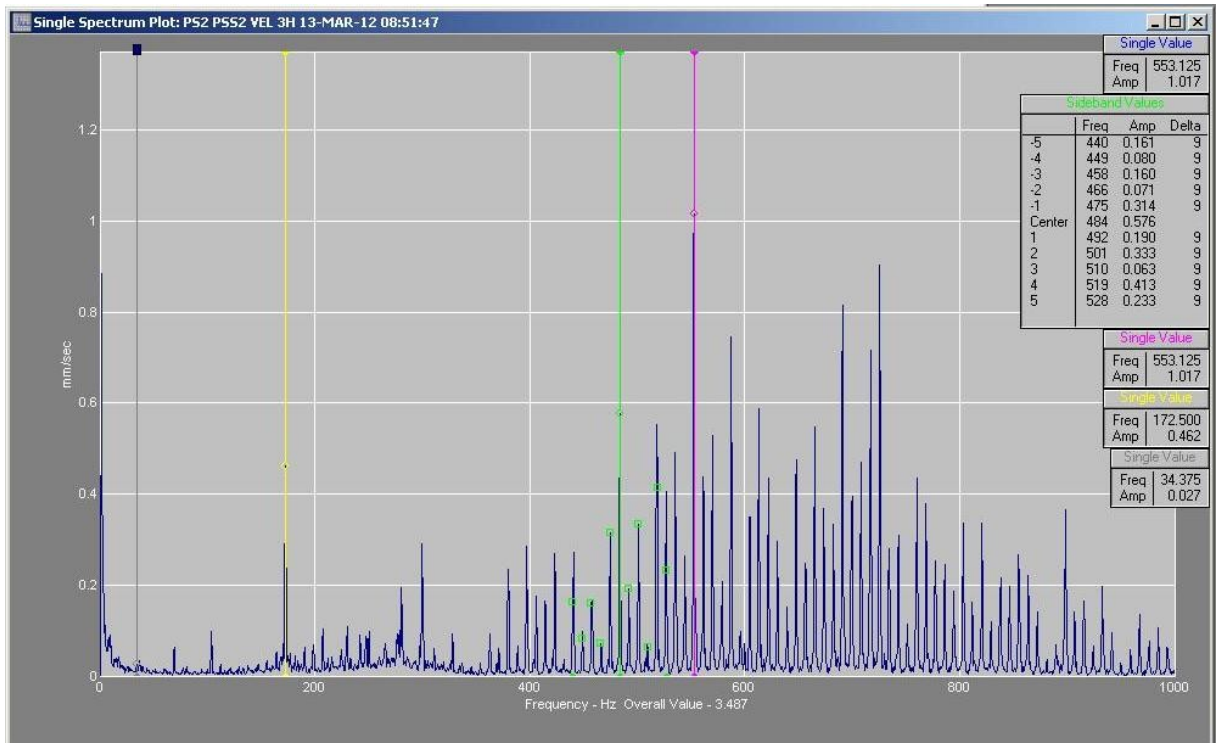
Naměřené data převodovky, měřící body 3 – horizontální, vertikální, 4 - horizontální, vertikální, axiální

Objekt: SUS.SK.2 převodovka	Jednotky	Poslední měření	Předchozí měření	Procentuální změna
PS2 PSS2 HFR 3H	G RMS HFD	0,3004	0,3751	-19,9
PS2 PSS2 HFP 3H	G HFD	0,8205	0,9478	-13,4
PS2 PSS2 VEL 3H	mm/sec	3,4870	3,7860	-7,9
PS2 PSS2 ACC 3H	Gs	5,4730	5,7890	-5,5
PS2 PSS2 EN3 3H	gE	9,9930	7,4910	33,4
PS2 PSS2 VEL 3V	mm/sec	7,8220	2,8340	-35,7
PS2 PSS2 HFR 4H	G RMS HFD	0,1484	0,2445	-39,3
PS2 PSS2 HFP 4H	G HFD	0,3900	0,6185	-36,9
PS2 PSS2 VEL 4H	mm/sec	1,6710	2,2790	-26,7
PS2 PSS2 ACC 4H	Gs	3,5150	5,3170	-33,9
PS2 PSS2 EN3 4H	gE	5,9390	7,4310	-20,1
PS2 PSS2 VEL 4A	mm/sec	0,7763	1,6890	-54,0

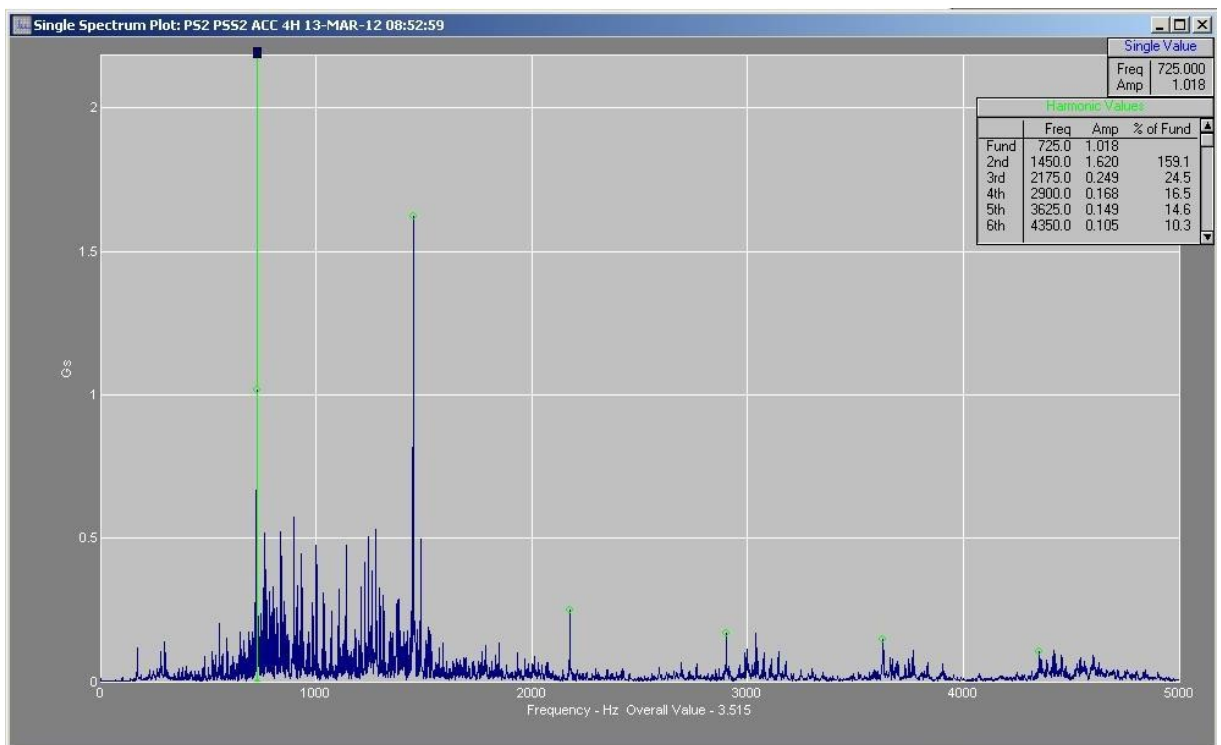
Tab. 3 Naměřené data



Obr. 70 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 VEL 4H rychlosti vibrací v_{ef} vůle na mezikole, odstup frekvenčních špiček 8,61Hz, tj. otáčková frekvence vložené hřídele na převodovce, doporučení OPRAVA



Obr. 71 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 VEL 3H rychlosti vibrací v_{ef} , vůle na mezikole, odstup frekvenčních špiček 8,61 Hz, tj. otáčková frekvence vložené hřídele na převodovce, doporučení OPRAVA

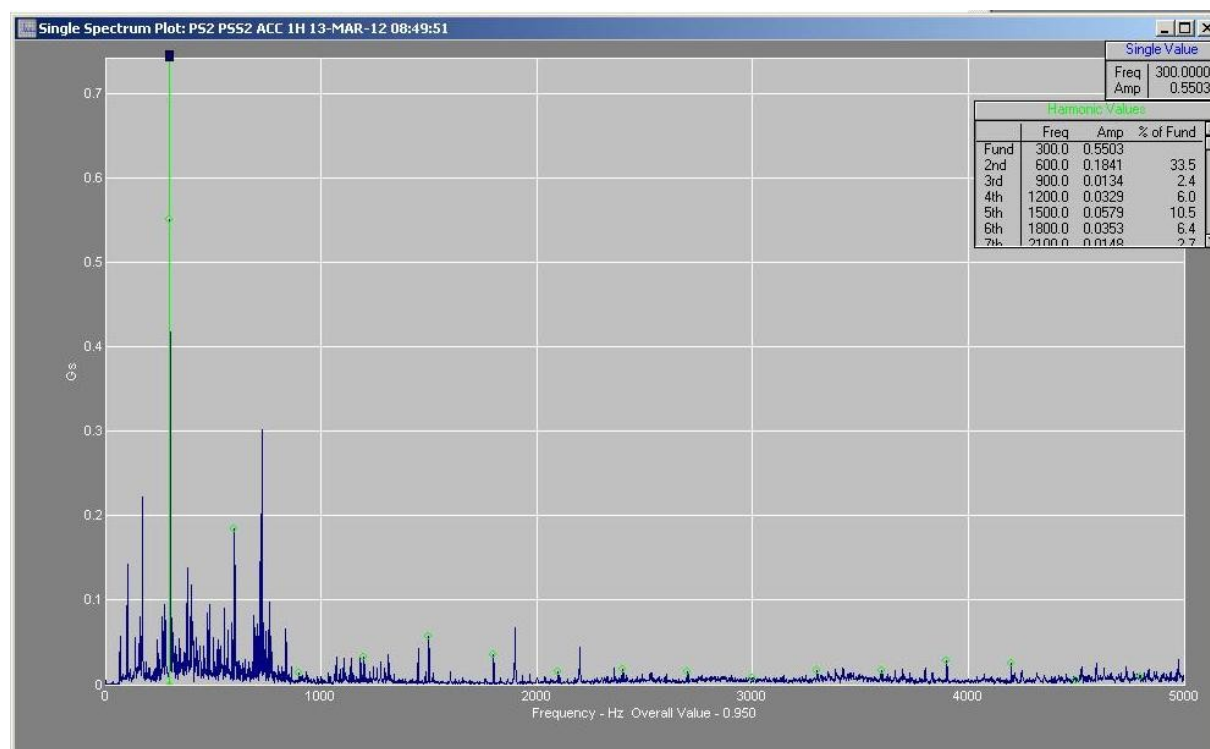


Obr. 72 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 ACC 4H zrychlení vibrací a_{peak} , jsou patrné násobky zubové frekvence f_z1 724,5 Hz, typický průběh bez vady, doporučení PROVOZ

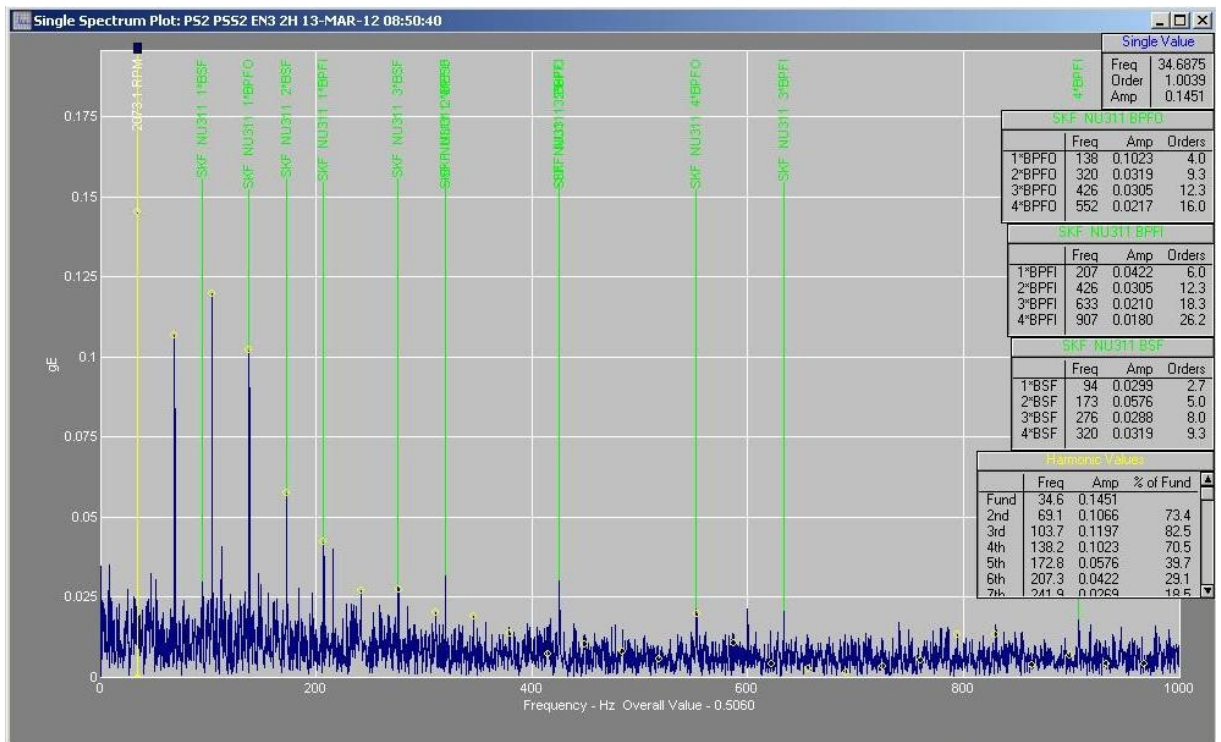
Naměřená data pohonu 2. sušící skupiny, měřící body 1 – horizontální, 2 – horizontální

Objekt: SUS. SK.2 motor	Jednotky	Poslední měření	Předchozí měření	Procentuální změna
PS2 PSS2 HFR 1H	G RMS HFD	0,1654	0,5155	-68,1
PS2 PSS2 HFP 1H	G HFD	0,4614	1,246	-63
PS2 PSS2 VEL 1H	mm/sec	1,867	1,835	1,8
PS2 PSS2 ACC 1H	Gs	0,9501	1,542	-38,4
PS2 PSS2 EN3 1H	gE	0,8927	2,139	-58,3
PS2 PSS2 ACC 2H	G RMS HFD	0,2382	1,795	-86,7
PS2 PSS2 HFP 2H	G HFD	0,9234	3,423	-73
PS2 PSS2 VEL 2H	mm/sec	1,925	1,397	37,8
PS2 PSS2 ACC 2H	Gs	0,9326	1,49	-37,4
PS2 PSS2 EN3 2H	gE	3,261	6,698	-51,3
PS2 PSS2 EN3 2V	mm/sec	1,915	1,335	43,5
PS2 PSS2 EN3 2A	mm/sec	1,673	1,862	-10,1

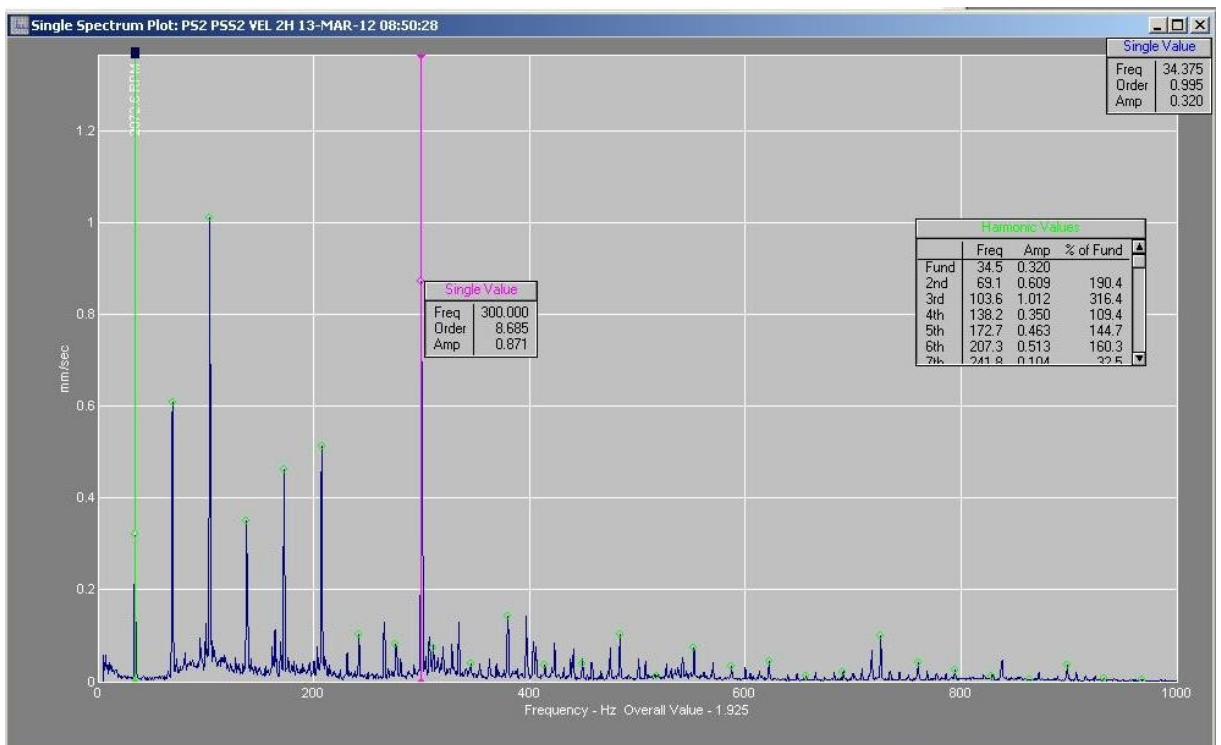
Tab. 4 Naměřené data



Obr. 73 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 ACC 1H zrychlení vibrací a_{peak} , typický průběh bez vady, hodnoty jsou nízké, doporučení PROVOZ.



Obr. 74 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 EN3 2H obálky, vyznačené frekvence poruch ložisek, otáčková frekvence a její násobky, ve spektru přítomná frekvence poškození vnějšího kroužku ložiska NU311 – prvotní poškození ložiska, doporučení PROVOZ



Obr. 75 Frekvenční spektrum PS2 PSS2 VEL 2H, rychlosti vibrací v_{ef} , jsou patrné násobky otáčkové frekvence, ty jsou způsobeny počáteční vůlí, hodnoty jsou však nízké, doporučení

PROVOZ

Závěr a doporučení

Analyzátozem Microlog jsem provedl měření na motoru, převodovce a pomaloběžném ložisku válce. Ve vyhodnocení uvádím vybrané frekvenční spektra pro jednotlivé objekty s popisem vyskytujících se frekvencí.

Ložisko válce 23036 - provozované v dobrém stavu. Doporučení PROVOZ.

Převodovka TSA 031-302-05-2 - převodovka je provozována s vůlí na mezikole. Tento stav neumožňuje trvalý bezproblémový chod stroje. Doporučení OPRAVA.

Motor TES S160-S370 - motor je provozován v dobrém stavu. Doporučení PROVOZ.

4.3 Měření systémem ifm octavis efektor

Pomocí systému ifm octavis efektor je monitorován rozvlákňovač papírenského stroje ve společnosti Smurfit Kappa Žimrovice.

4.3.1 Popis měřeného zařízení pohonu rozvlákňovače

Rozvlákňovač VOITH – rozvlákňovač je určeny rozvlákňování vláknitých materiálu jako je sběrový papír. Rozvlákňovač můžeme rozdělit do několika diagnostikovaných části, na kterých jsou aplikovány stacionární snímače pro on-line diagnostiku systémem ifm octavis efektor:

- pohon,
- převodovka,
- vana rozvlákňovače.

4.3.2 Technická data a popis měřeného zařízení



Obr. 76 Pohon rozvlákňovače, motor ABB M2BA 315MA4B3



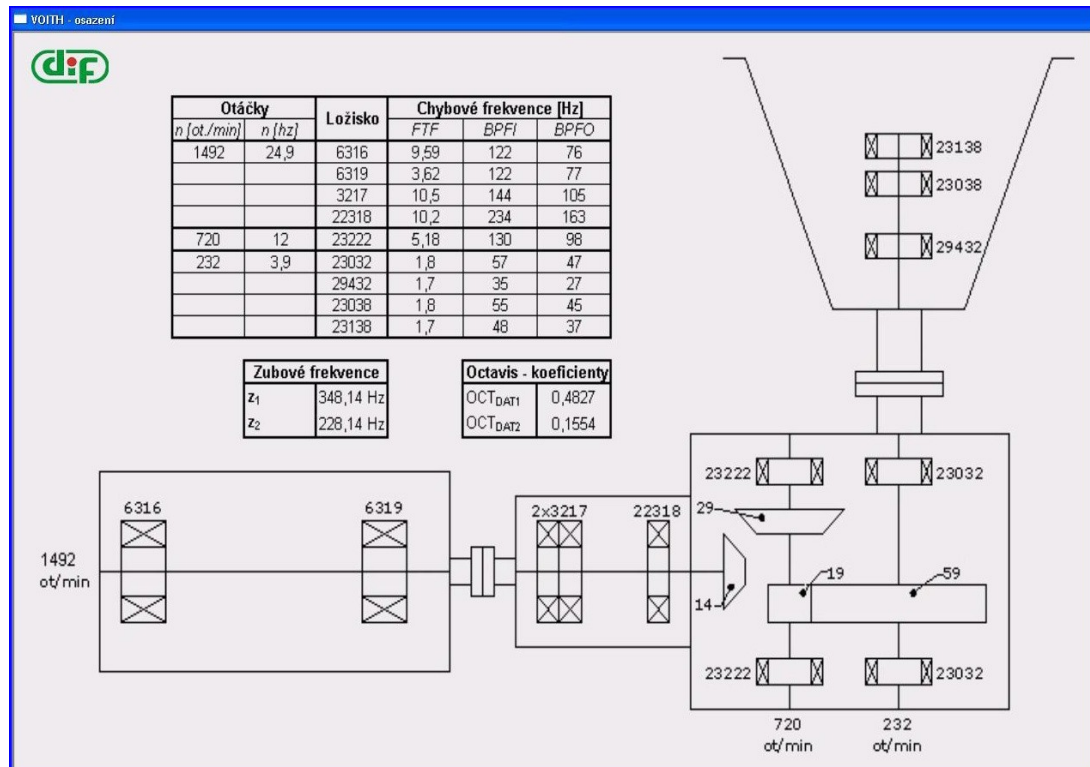
Obr. 77 Převodovka, spojka rozvlákňovače



Obr. 78 Vana rozvlákňovače

4.3.3 Příprava a postup měření, frekvence vad měřeného zařízení

Pro aplikaci je potřeba znát základní technické informace o celém systému. Ve schématu obr. 79 jsou uvedeny informace o vstupních otáčkách, typu ložisek, zubové frekvence a chybové frekvence, na kterých se jednotlivé poruchy vyskytují. Tyto údaje jsou nezbytné pro vyhodnocení technického stavu rozvlákňovače.



Obr. 79 Schéma pohonu rozvlákňovače s potřebnými údaji

Chybové frekvence

$$n_1 = 492 \text{ ot/min}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

$$n_2 = \frac{z_1}{z_2} \cdot n_1 = \frac{14}{29} \cdot 1492 = 720 \text{ ot/min}$$

$$n_3 = \frac{z_2}{z_1} \cdot n_1 = \frac{19}{59} \cdot 1492 = 232 \text{ ot/min}$$

$$f_{z1} = \frac{n_1}{60} \cdot z_1 = \frac{492}{60} \cdot 14 = 114,8 \text{ Hz}$$

$$f_{z2} = \frac{n_2}{60} \cdot z_2 = \frac{720}{60} \cdot 19 = 228,0 \text{ Hz}$$

Otáčky		Typ ložiska	Chybové frekvence (Hz)		
n (ot/min)	n (Hz)		FTF	BPFI	BPFO
1492	24,9	6316	9,59	122	76,7
		6319	3,62	122	77
		3217	10,5	144	105
		22318	10,2	234	163
720	12	23222	5,18	130	96
232	3,9	23032	1,8	57	47
		29432	1,7	35	27
		23038	1,8	55	45
		23138	1,7	48	37

Tab. 5 Vypočtené hodnoty chybových frekvencí ložisek

Product data Print ? Calculations Close

Bearing frequencies

Every care has been taken to ensure the accuracy of this calculation but no liability can be accepted for any loss or damage whether direct, indirect or consequential arising out of the use of the calculation.

Typ ložiska
Bearing: 6316

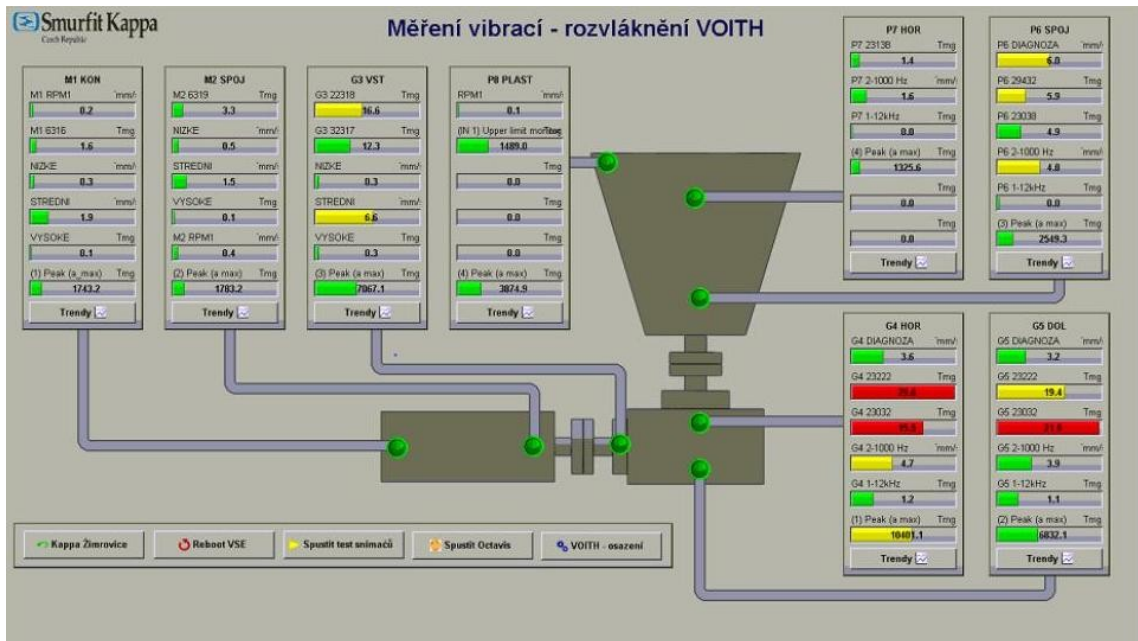
Rozměry ložiska
Bearing data of own choice
P [mm]
D_W [mm]
z
α [degrees]
n_i [r/min]
n_e [r/min]
Calculate

Otáčky
f_i [Hz] 24,9
f_e [Hz] 0
f_c [Hz] 9,59
f_r [Hz] 51,5
Frequencies from potential damages
f_{ip} [Hz] 122
f_{ep} [Hz] 76,7
f_{rp} [Hz] 103

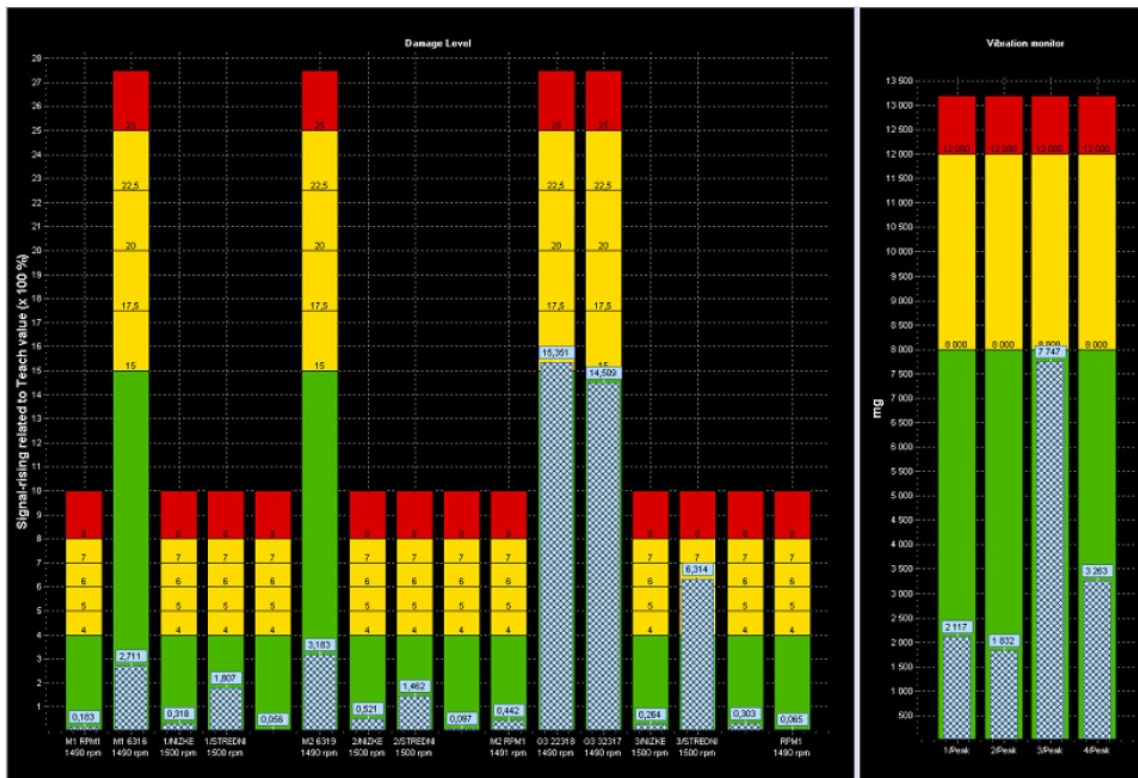
Vypočtené chybové frekvence

Obr. 80 Výpočet chybových frekvencí pomocí SKF

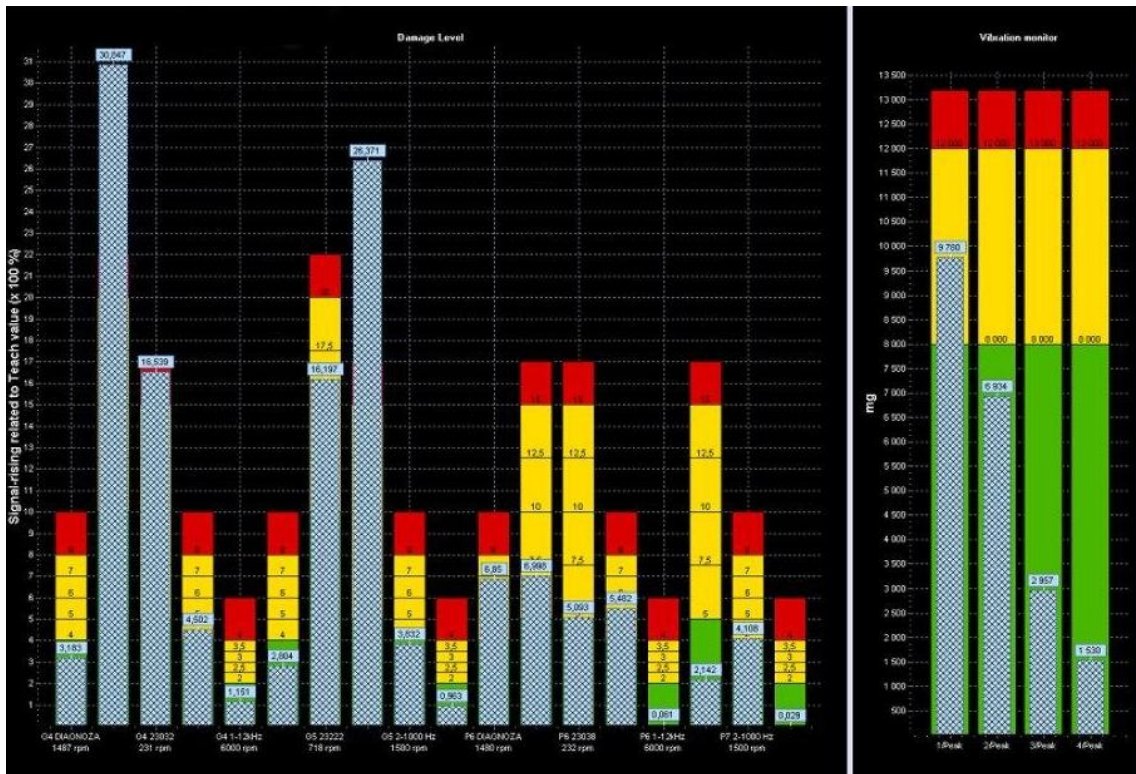
4.3.4 Naměřená data



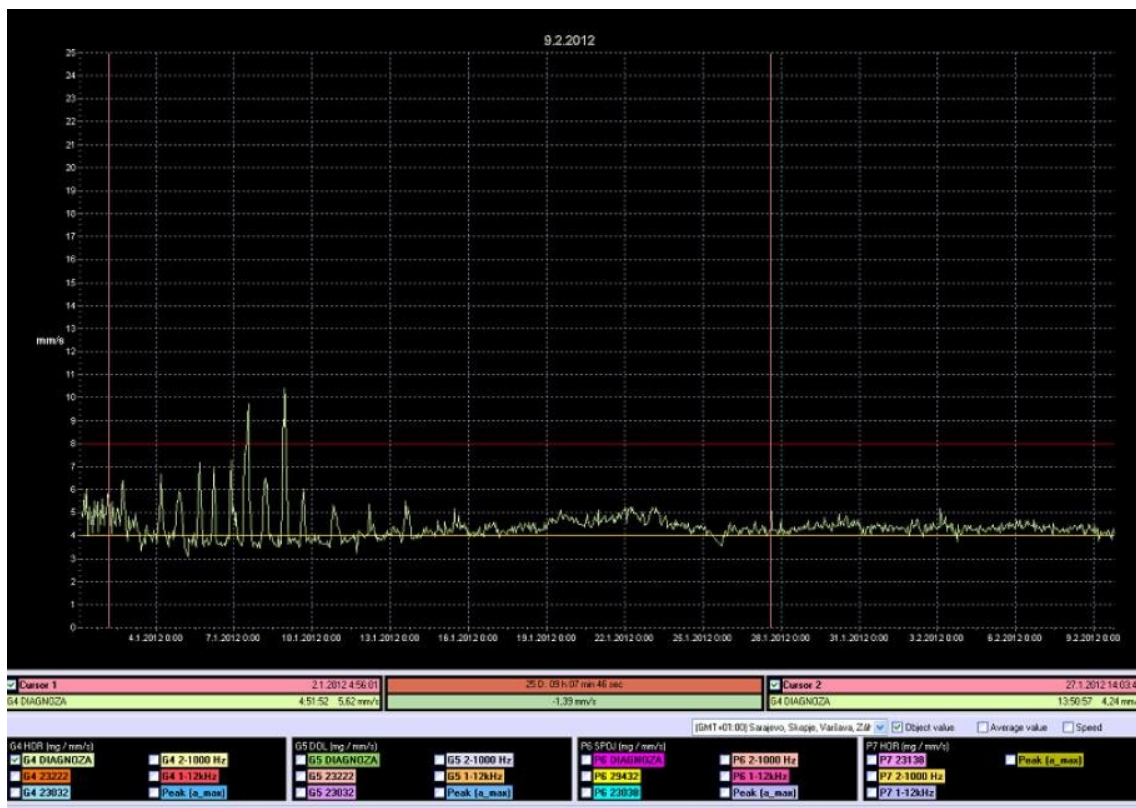
Obr. 81 Záznam obrazovky s on-line měření rozvlákněvače



Obr. 82 Záznam motoru a vstupu do převodovky - zvýšené hodnoty



Obr. 83 Záznam převodovky a vany rozvlákňovače - zvýšené hodnoty



Obr. 84 Časový záznam převodovky zvýšené hodnoty do 9. 1. 2012, vliv záběhu

Závěr a doporučení

Ze záznamu obrazovek rozvlákňovače vidíme, že sledované diagnostikované parametry, jsou v pořádku zeleně signalizované, žlutě a červeně zbarvené alarmy signalizují překročení nastavených alarmů u převodovky. Důvodem překročení nastavených hodnot je skutečnost, že daný měřený objekt byl ve fázi záběhu, časový záznam ukazuje snížení. Z toho důvodů doporučuji PROVOZ. Pravidelně 1x týdně sledovat parametry, které přesáhly výstrahu Alarmu 1.

5 Závěr

Diplomová práce se zabývá aplikací diagnostických systémů SKF Microlog/Prism a ifm octavis efektor na papírenský stroj ve společnosti Smurfit Kappa v Žimrovicích. Oba systémy využívají parametrické diagnostiky.

Ifm octavis efektor nabízí možnost kontroly a vyhodnocení objektu na dálku, s využitím internetu můžeme sledovat data kdekoliv. K samotnému vyhodnocení není potřeba pracovníka zabývajícího se vibrační diagnostikou – pomocí vizualizace Promotic a vhodně nastaveným alarmům sledujeme aktuální stav diagnostikovaného objektu, kdy překročení hodnot je jednoduše sledovatelné změnou barev alarmu, stav dokáže posoudit i laik. Nevýhodou tohoto systému pro společnost bude asi vyšší pořizovací cena, oproti pochůzkové diagnostice.

Systém SKF Microlog Prism naopak oproti předchozímu systému vyžaduje pro vyhodnocení dat vibrodiagnostika, vyhodnocení se provádí pro každé spektrum zvlášť a parametrickým přístupem dokážeme posoudit technický stav sledovaného objektu.

6 Použitá literatura

- [1] HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J., *Technická diagnostika a spolehlivost II. – Vibrodiagnostika*. Ostrava 2005. 178 s. ISBN 80-248-0650-9.
- [2] KONEČNÝ, D., *Aplikace diagnostického systému Octavis Efactor*, VŠB – TU Ostrava, 2011. Diplomová práce. VŠB – TU Ostrava.
- [3] ŠUMNÍK, P., *Diagnostický a údržbářský systém velkostroje*, VŠB – TU Ostrava, 2010. Bakalářská práce. VŠB – TU Ostrava.
- [4] TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174s., ISBN 80-901936-1-7.
- [5] BERRY, J., *Ilustrovaná tabulka pro diagnostiku vibrací: dle Berryho*. Ostrava, 03 2008. 15 s. Oborová práce. Technical associates of Charlotte. P.C. R-0894-4.
- [6] *Podkladové materiály dif spol. s.r.o.*
- [7] *Diagnostické systémy*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] <http://www.ifm.com>
- [8] *SKF Products*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] <http://www.skf.com>
- [9] *Týmová cvičení předmětu vibrační diagnostika*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] http://www.337.vsb.cz/materialy/BilosovaAlena_VibDi.pdf
- [10] *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů: Část vibrační diagnostika*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] http://www.337.vsb.cz/materialy/BilosovaVIBDI_skripta.pdf
- [11] *Vibrodiagnostika*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] <http://measure.feld.cvut.cz/usr/staff/smid/lectures/vibro-sensors08.pdf>
- [12] *Měření vibrací ve vibrodiagnostice*. [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.] <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>

- [13] *Užití MEMS v průmyslu.* [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.]
<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/38277.pdf>
- [14] *PTK – metoda provozních tvarů kmitů v praxi.* [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.]
http://www.adash.cz/doc/mds/mds_info_cz.pdf
- [15] *Diagnostika valivých ložisek.* [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.]
http://www.adash.cz/doc/ApplicationNotes/diag_val_lozisek_man_cz.pdf
- [16] *MMA 7260Q.* [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.]
http://www.freescale.com/files/graphic/product_freescale/MMA7260Q_3ARROW_HIGHRES.jpg
- [17] *Ložisko.* [Online] 2012 [Citace: 18.2 2012.]
http://www.337.vsb.cz/materialy/vibracni_diagnostika/VIBDI_6
- [18] *Prism4 for Windows.* [Online] 2012 [Citace: 4.5 2012.]
<http://www.scribd.com/doc/47175084/E-PRISM4>