



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



METODY TECHNICKÉ DIAGNOSTIKY

Učební text předmětu „Technická diagnostika“

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2010|2011



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Metody technické diagnostiky

Autor: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Vydání: první, 2010

Počet stran: 27

Studijní materiály pro studijní obor Konstrukce strojů a zařízení Fakulty strojní

Jazyková korektura: nebyla provedena.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji
a výzkumu

Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147

Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Ing. Jan Blata, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-2735-3

POKYNY KE STUDIU

Předmět Technická diagnostika/učební opora Metody technické diagnostiky

Pro předmět 6 semestru oboru konstrukce strojů a zařízení jste obdrželi studijní balík obsahující:

Pro studium problematiky technické diagnostiky jste obdrželi studijní balík obsahující:

- integrované skriptum pro distanční studium obsahující i pokyny ke studiu,
- přístup do e-learningového portálu obsahující doplňkové animace vybraných částí kapitol,
- CD-ROM s doplňkovými animacemi vybraných částí kapitol,

Prerekvizity

[Poznámka: Vyberte jednu z variant, případně vytvořte další variantu.]

Pro studium tohoto předmětu není třeba absolvovat předmět, studenti budou v průběhu studia podrobně seznámeni se základy.

Pro studium této opory se předpokládá znalost absolvovaných předmětů v průběhu studia.

Cíle předmětu Technická diagnostika/ učební opory Metody technické diagnostiky

Cílem je seznámení se základními pojmy technické diagnostiky. Po prostudování modulu by měl student být schopen používat některé metody technické diagnostiky k určení a vyhodnocení technického stavu strojních zařízení.

Pro koho je předmět určen

Modul je zařazen do bakalářského studia oboru Konstrukce strojů a zařízení studijního programu Výrobní stroje a zařízení, Zemní, těžební a stavební stroje, ale může jej studovat i zájemce z kteréhokoliv jiného oboru, pokud splňuje požadované prerekvizity.

Skriptum se dělí na části, kapitoly, které odpovídají logickému dělení studované látky, ale nejsou stejně obsáhlé. Předpokládaná doba ke studiu kapitoly se může výrazně lišit, proto jsou velké kapitoly děleny dále na číslované podkapitoly a těm odpovídá níže popsaná struktura.

Úspěšné a příjemné studium s tímto učebním textem Vám přeje autor

Jan Blata

OBSAH

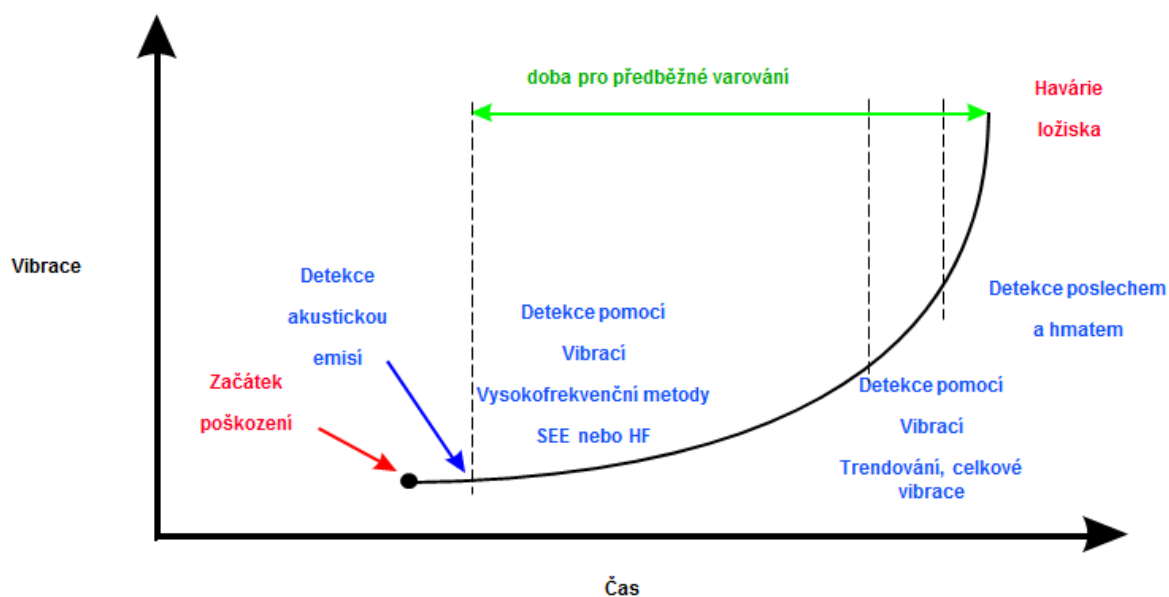
1	ÚVOD.....	6
1.1	Metody technické diagnostiky	6
1.2	Způsoby údržby.....	7
2	VIBRODIAGNOSTIKA.....	8
2.1	Harmonické kmitání, základní vztahy:	8
2.2	Snímače vibrací	9
2.3	Umíst'ování snímačů, provozní pokyny.....	11
2.4	Příklad skládání signálů	12
2.5	Příklad jednoduchého skládání signálu	13
2.6	Nevyváženost rotačních součástí a její projevy	15
2.6.1	Statická nevyváženost	15
2.6.2	Momentová nevyváženost (dvojicová nevyváženost)	16
2.6.3	Dynamická nevyváženost.....	17
3	VYVAŽOVÁNÍ.....	18
3.1	Statické vyvažování.....	18
3.2	Dynamické vyvažování	18
4	REZONANCE	20
4.1	Základní vztahy	20
4.2	Rezonanční módy konstrukce	21
4.3	Využití sledování trendu vibrací.....	23
4.4	Vyhodnocení časového průběhu	23
5	ZÁVĚR.....	26

1 ÚVOD

Využívání metod technické diagnostiky a údržby je nezbytnou součástí včasné identifikace poruchových stavů stroje. Aplikací technické diagnostiky můžeme dosáhnout značných finančních úspor týkajících se včasné identifikace vznikající poruchy a možností naplánovat vhodný čas odstávky, čímž se zabrání vzniku prostojů. Vhodné a účelné nasazení technické diagnostiky a údržby je nedílnou součástí konkurenceschopného a prosperujícího podniku.

1.1 Metody technické diagnostiky

Pro diagnostikování technického stavu strojních zařízení můžeme použít rozličných metod a to samozřejmě i s rozličnými výsledky. Ne každá metoda je vhodná na dané zařízení nebo na daný pracovní režim. Pro určování technického stavu můžeme využít například akustickou diagnostiku, která dokáže odhalit teprve vznikající poškození (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) nebo dokonce poškození ještě před jeho projevem na povrchu materiálu, tudíž již při vzniku pod povrchem, kdy dochází ke spojování mikrotrhlin. Toto vznikající poškození vydává vysokofrekvenční signál, který je možné zachytit. Tento signál lze identifikovat také při použití vibrodiagnostiky a to za využití vysokofrekvenčních metod např. metoda SEE nebo HFD. Dalšími metodami identifikace technického stavu je například využití tribodiagnostiky, kdy dochází ke zjišťování stavu degradace maziva nebo poškození zařízení, dále použití termodiagnostiky, kdy se za pomoci sledování teplot určuje technický stav a jiné metody.



Obrázek 1.1 - Časový průběh poškození ložiska a možnosti identifikace

1.2 Způsoby údržby

V dnešní krizové době je bohužel v řadě podniků častým jevem snaha o úsporu finančních prostředků na úkor údržby, či diagnostiky. Je to tzv. “levná půjčka na drahou opravu“ resp. v první fázi ušetříme, ale zanedbáme-li investice, popř. šetříme-li na nevhodném místě, tak se nám to v konečném výsledku vymstí a následné odstranění škod stojí mnohem více, než jsme z počátku ušetřili. Provádění údržby můžeme rozčlenit do několika kategorií.

Prvním způsobem údržby je **oprava po poruše** – lze aplikovat na nenáročné, většinou levné zařízení, které nezpůsobí při jeho poruše škody na majetku nebo na zdraví. Jejich dočasná absence nezpůsobí přerušení výroby, popř. jejich diagnostika či údržba by nebyla finančně přínosná apod.

Dalším způsobem údržby je **metoda plánovaných preventivních oprav** – řídí se předem stanoveným časovým cyklem, při kterém jsou provedeny naplánované údržbové práce. Časové cykly údržby jsou stanoveny s ohledem na zkušenosti se stejnými nebo podobnými zařízeními. Pro strojní zařízení jsou navrženy časové plány, v kterých je stanoveno kdy dojde k preventivní opravě nebo údržbě. Tato metoda nerespektuje aktuální potřebu provádění údržby, ale řídí se předem stanoveným časovým plánem.

Další metodou je **systém diferencované proporcionální péče** - stroje jsou rozčleněny do několika skupin podle různých vlastností a důležitosti, což vede k rozdílnému přístupu k různým skupinám. Systém diagnostické údržby – je prvním, který respektuje skutečný technický stav technických zařízení. Využívá metod technické diagnostiky k sledování skutečného stavu strojních zařízení. Stroje jsou pod systematickou kontrolou a k odstávkám dochází pouze v případě dosažení mezní životnosti.

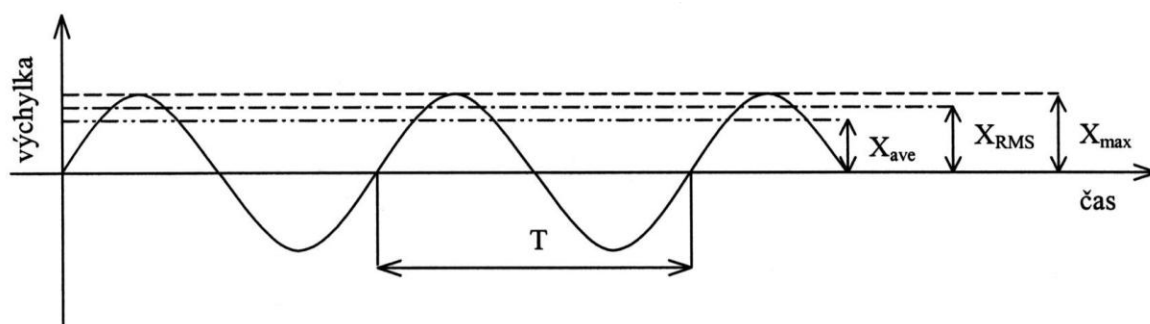
Systém prognostické údržby – tento systém navazuje na předchozí a rozšiřuje jej o možnost predikce, provádí se stanovení zbytkové životnosti strojního zařízení. Zbytková životnost je určována pomocí tzv. trendové analýzy.

Systém automatizované údržby – pro možnost použití tohoto systému je zapotřebí výpočetní techniky vzhledem k jeho náročnosti. Systém je rozdělen do několika modulů. Posledním možností je systém totálně produktivní údržby – je komplexní strategií, nástrojem, který umožňuje a podporuje zlepšování stavu zařízení za účelem maximalizace efektivity a kvality výroby. Popř. další systémy údržby.

2 VIBRODIAGNOSTIKA

Vibrodiagnostika je jednou z hlavních metod používaných v technické diagnostice k identifikaci technického stavu pomocí vibrací. Za pomoci vibrodiagnostiky dokážeme odhalit vznikající závadu (detekce), určit (lokalizace) místo vznikající závady a předpovědět (predikovat) čas, který ještě zbývá, než dojde ke vzniku poruchy. Vhodným použitím vibrodiagnostiky můžeme předcházet nevratným poškozením strojů a tím zabránit finančním ztrátám, nečekaným prostojům, zlepšit spolehlivost strojních zařízení a v neposledním míře také k ochraně zdraví, či života.

2.1 Harmonické kmitání, základní vztahy:



Obrázek 2.1 - Harmonické kmitání se znázorněním maximální amplitudy, střední kvadratické a absolutní hodnoty

$$\text{Okamžitá výchylka: } x = X_{\max} \cdot \sin\left(2\pi \frac{t}{T}\right) = X_{\max} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = X_{\max} \cdot \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

kde $\omega = 2\pi \cdot f$ - kruhová frekvence

$X_{\max}$ - maximální výchylka – amplituda výchylky

Rychlost:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega \cdot X_{\max} \cdot \cos(\omega t) = V_{\max} \cdot \cos(\omega t) = V_{\max} \cdot \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (2.2)$$

Zrychlení:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 \cdot X_{\max} \cdot \sin(\omega t) = -A_{\max} \cdot \sin(\omega t) = A_{\max} \cdot \sin(\omega t + \pi) \quad (2.3)$$

$$\text{Střední absolutní hodnota: } X_{ave} = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |x| \cdot dt \quad (2.4)$$

$$\text{Střední kvadratická hodnota: } X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T x^2 \cdot dt} \quad (2.5)$$

$$X_{\text{RMS}} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot X_{\text{ave}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot X_{\text{max}} \quad (2.6)$$

RMS hodnota je významná tím, že obsahuje informaci o výkonu kmitání.

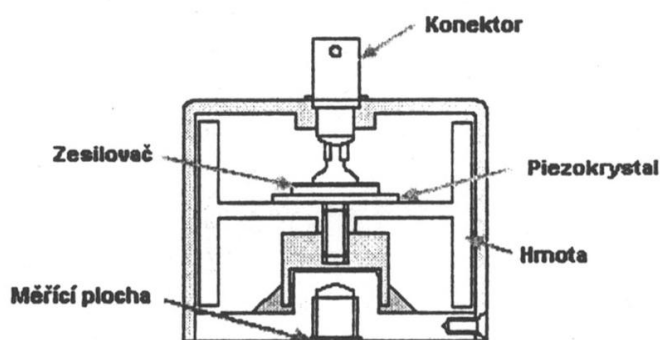
2.2 Snímače vibrací

Pro měření mechanické výchylky (vibrací) a její převod na elektrickou veličinu, kterou dále můžeme zpracovávat, editovat a vyhodnocovat, slouží snímače vibrací. Abychom mohli dosáhnout pokud možno co nejrepresentativnějších výsledků, tak je vytvořeno rozličné množství různých druhů vibračních senzorů, které se liší podle účelu použití, tj. rozsahem frekvence, výchylky, přesností, způsobem použití, cenou aj. Pro základní rozdělení snímačů je možné uvést dva základní druhy:

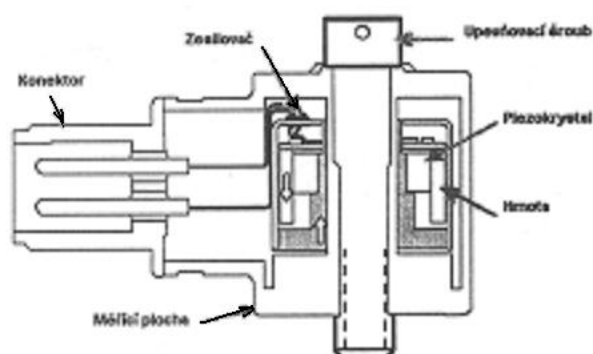
- Seismická zařízení, která se normálně připevňují na konstrukci stroje a jejichž výstup je mírou absolutních vibrací konstrukce.
- Snímače relativní výchylky, které měří relativní vibrační výchylku mezi rotujícími a nerotujícími díly strojního zařízení.

Další rozdělení můžeme provést pomocí měřené veličiny, tj. zrychlení, rychlost, výchylka.

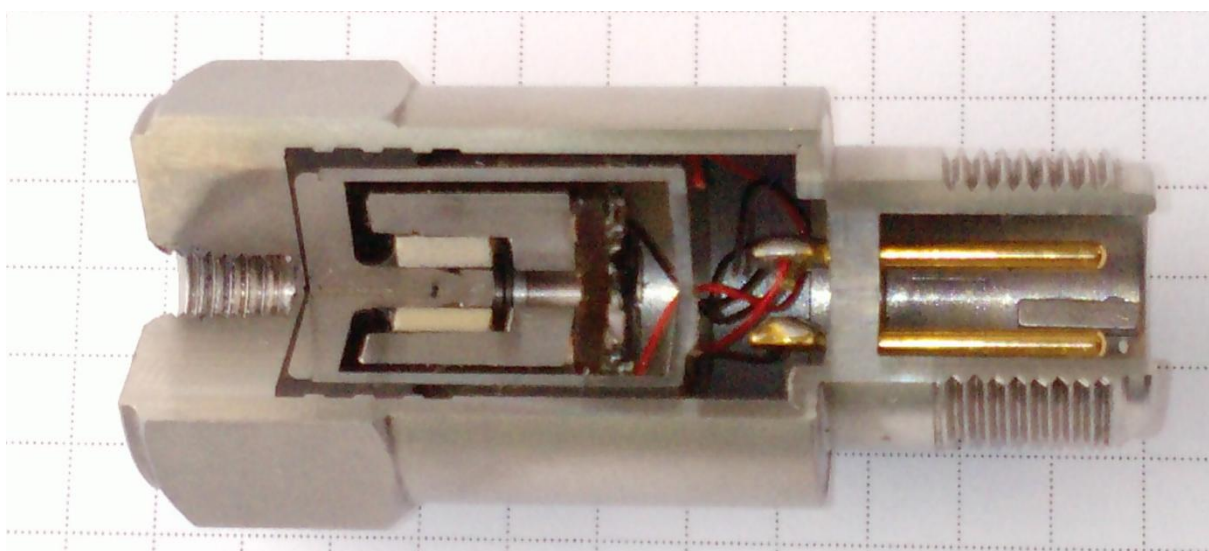
- Nejběžnějším snímačem vibrací jsou **akcelerometry**, naměřená veličina se může dle potřeby libovolně převést na zrychlení, rychlost nebo výchylku vibrací. V případě akcelerometru se jedná o seismické zařízení, které vyhodnocuje absolutní vibrace měřeného zařízení. Velkého rozšíření dosáhly akcelerometry díky své jednoduché konstrukci a nižší ceně. Akcelerometry jsou tvořeny pomocí piezoelektrického krystalu (jednoho nebo více), kde se při působení síly na stěny krystalu vytváří elektrický náboj, který se dále zpracovává. Dle směru působící síly rozeznáváme dva druhy akcelerometrů, **tlakový a smykový**.



Obrázek 2.2 – Tlakový akcelerometr[1]



Obrázek 2.3 – Smykový akcelerometr[1]



Obrázek 2.4 – Řez smykovým akcelerometrem

- **Snímač rychlosti** vibrací, jeho výstup lze integrovat na výchylku vibrací. Snímač rychlosti je také seismické zařízení, které generuje napěťový signál úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Snímač rychlosti se skládá z cívky, ve které se díky pohybujícímu magnetu indukuje elektrické napětí.
- **Bezdotyková sonda**, její výstup je přímo úměrný relativní výchylce vibrací mezi rotujícími a nerotujícími elementy stroje. Dochází ke snímání relativní výchylky stroje, tudíž ke snímání vzdálenosti mezi dvěma díly stroje, většinou rotoru a skříní stroje. Většina bezdotykových snímačů pracuje na principu vířivých proudů. V cívce, kterou prochází generovaný vysokofrekvenční střídavý proud, generuje vysokofrekvenční magnetické pole. Je-li v tomto magnetickém poli vložen elektricky vodivý materiál (hřídel rotoru), jsou v materiálu generovány vířivé proudy, které jsou nadále snímány. Tyto snímače jsou převážně umísťovány u velkých turbínových strojů, kde je mimo jiné možné provádět orbitální analýzu.



Obrázek 2.5 – Bezdotyková sonda



Obrázek 2.6 – Zobrazení různých druhů snímačů vibrací

2.3 Umisťování snímačů, provozní pokyny

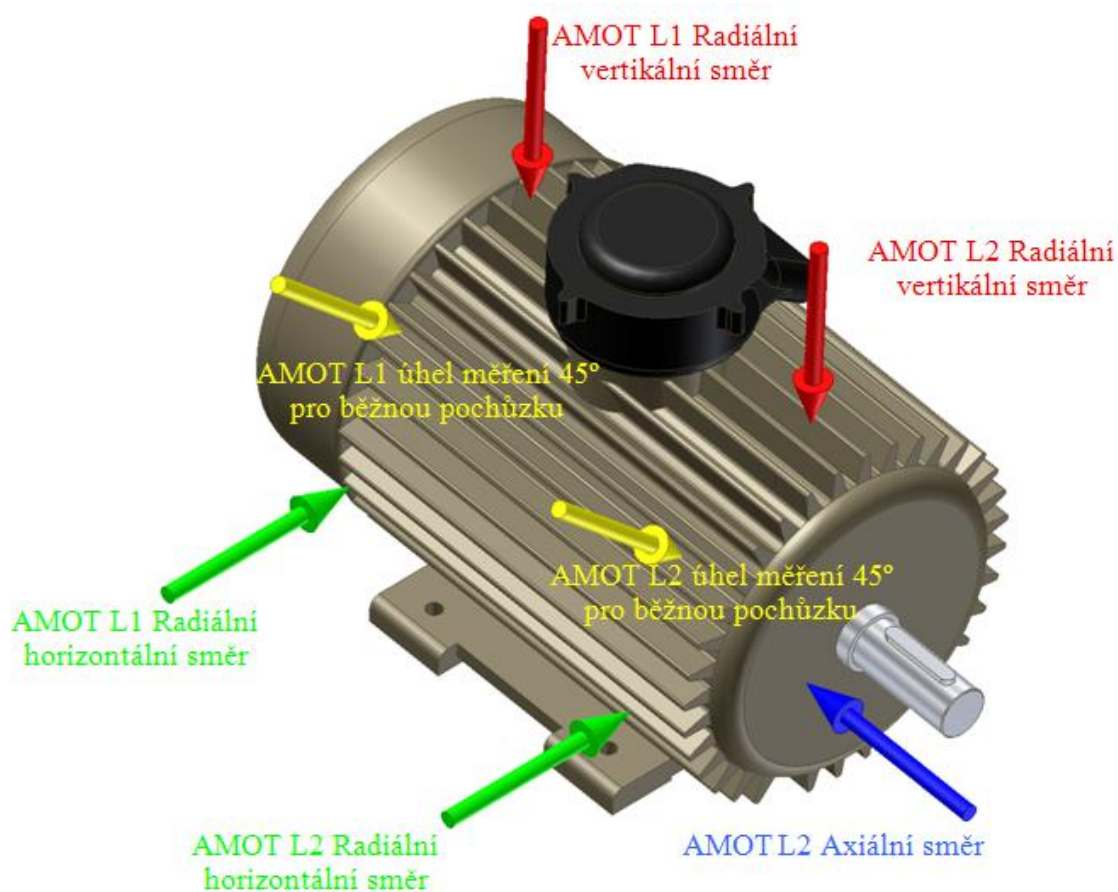
Při umisťování snímače musíme dbát na vhodnou volbu měřicího místa, aby výsledky měření byly reprezentativní a vyjadřovaly co nejlépe skutečnou amplitudu vibrací, aby bylo možné co nejlépe stanovit technický stav zařízení.

Snímač neumísťujeme na znečištěné, popř. lakované povrchy, dbáme na co nejmenší vzdálenost snímače od místa vzniku vibrací. Umísťujeme a měříme v horizontálním, vertikálním a axiálním směru, měření v horizontálním směru obvykle vykazují největší vibrace, je to způsobeno konstrukčním provedením, protože stroj bývá většinou poddajnější v horizontálním směru (je dobrým ukazatelem nevyváženosti). V axiálním směru jsou většinou nízké vibrace, v tomto směru se projevují vibrace souvisící s nesouosostí a ohnutým hřídelem.

Neměříme na přechodech, plechových krytech, ale přímo na materiálu, který je přímo v kontaktu s ložiskem. Měření prováděná v pravidelných cyklech na stejných zařízeních provádíme vždy na stejných místech, aby bylo možné správně porovnat předchozí měření. Měření se má provádět za chodu stroje v běžných podmínkách, tzn. za ustálených provozních teplot a při jmenovitých hodnotách (např. zatížení, napětí, otáčkách, tlaku, atd.).

Při umisťování snímače dbáme také na bezpečnost, umísťujeme v dostatečné vzdálenosti od rotujících součástí, umísťujeme na vhodných a dostupných místech. Při pokládání snímače umísťujeme šikmo, abychom s ním zbytečně silně neklepli, aby nedošlo k poškození snímače.

Na Obrázek 2.7 je znázorněno umisťování snímačů v nejběžnějších směrech. Žlutý směr používáme pouze pro zrychlenou pochůzku, kdy používáme pro diagnostikování stavu zařízení vesměs trend vývoje vibrací. Chceme-li dosahovat lepších výsledků, při identifikaci závad, musíme provádět měření nejlépe ve třech směrech, vertikálním, horizontálním a axiálním.



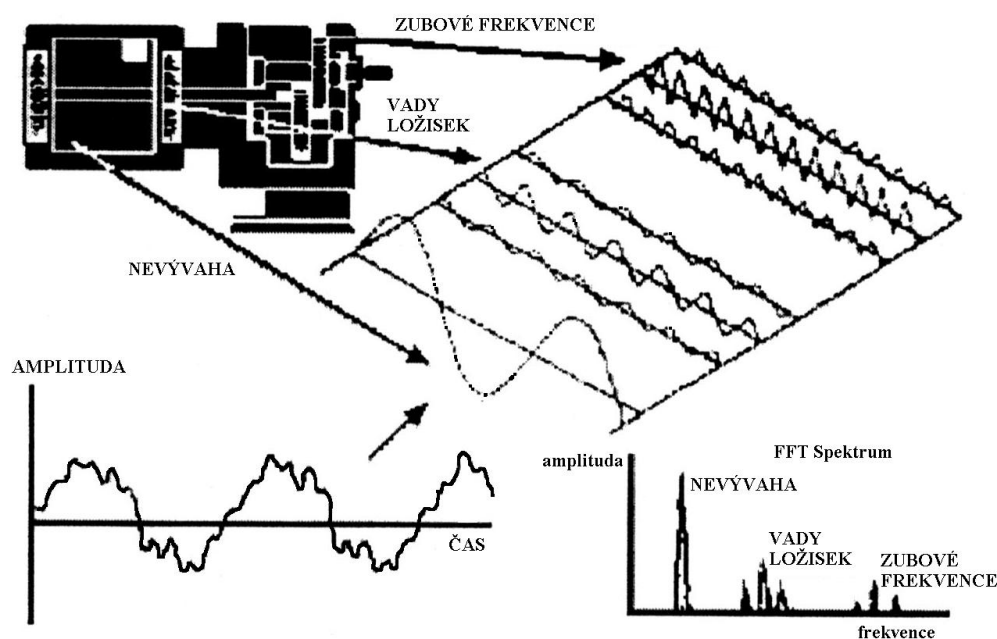
Obrázek 2.7 – Možnosti umístění snímačů na motoru

2.4 Příklad skládání signálů

Časový záznam vibrací se skládá z velkého množství vibračních signálů generovaných různými součástmi strojního zařízení. Tento časový záznam bývá značně nepřehledný a z pravidla bývá těžké identifikovat některé poruchové projevy poškozených součástí.

Abychom mohli identifikovat jednotlivé vibrační projevy od různých částí zařízení, např. ložisek, ozubení převodovky, nevývahu rotoru apod., tak je pro lepší identifikaci používána tzv. rychlá Fourierova transformace – FFT (Fast Fourier Transformation).

Rozklad na Fourierovu řadu se týká hlavně periodických nebo kvasiperiodických signálů. Přestože počet složek rozkladu je obecně nekonečný, obsahuje tento rozklad jen složky s frekvencemi, které jsou násobky harmonické, základní frekvence opakování signálu (vyšší harmonické a subharmonické). Spektrum tak obsahuje jen izolované složky. Princip FFT je schematicky znázorněn na Obrázek 2.8.



Obrázek 2.8 – Princip převodu časového signálu na frekvenční spektrum za pomoci FFT [1]



Řešený příklad

2.5 Příklad jednoduchého skládání signálu

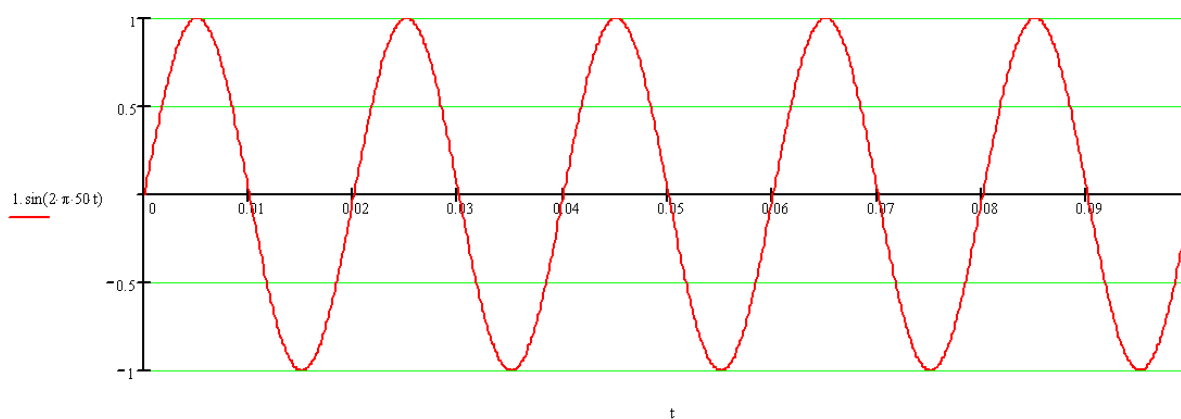
Princip jednoduchého skládání signálu je proveden v následujících příkladech, kde se jedná o pochopení skládání signálu mezi elektromotorem a ozubeným převodem.

Vstupní hodnoty:

Elektromotor s otáčkami $n_1 = 3000$ ot/min

Frekvence otáčení $f = \frac{3000}{60} = 50$ Hz

Bereme-li v úvahu pouze ideální možnost, že bude působit pouze nevyváženost. Dostaneme následné harmonické kmitání s frekvencí 50 Hz.



Obrázek 2.9 – Periodický signál pocházející od motoru

Jednostupňová převodovka: $n_1 = 3000$ ot/min

$z_1 = 10$, $z_2 = 30$ z_1, z_2 počet zubů pastorku, kola

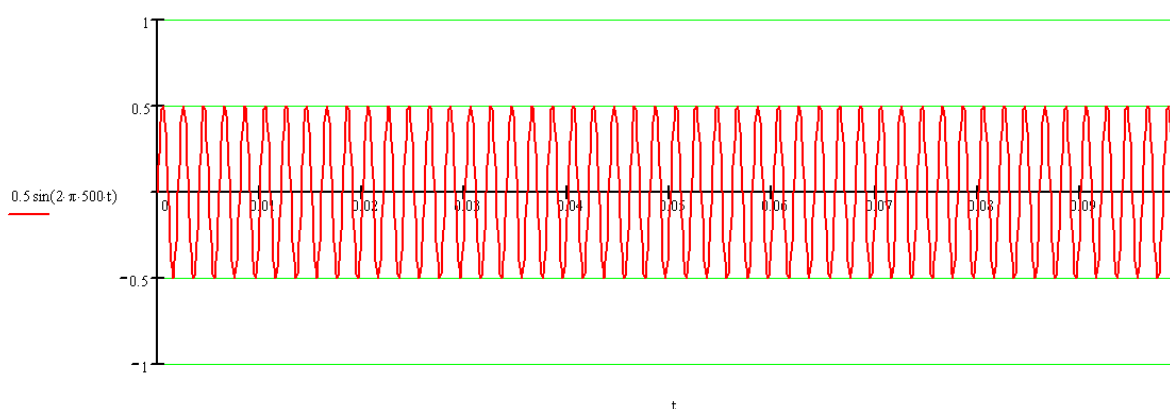
převodový poměr $i = \frac{z_2}{z_1} = 3$

Nesprávná montáž a základní únavové poškození zubů se ve spektrech projevuje na otáčkové frekvenci zubové f_{z12}

$$f_{z12} = z_1 \cdot f_{R1} = z_2 \cdot f_{R2} = 500 \text{ ot/min}$$

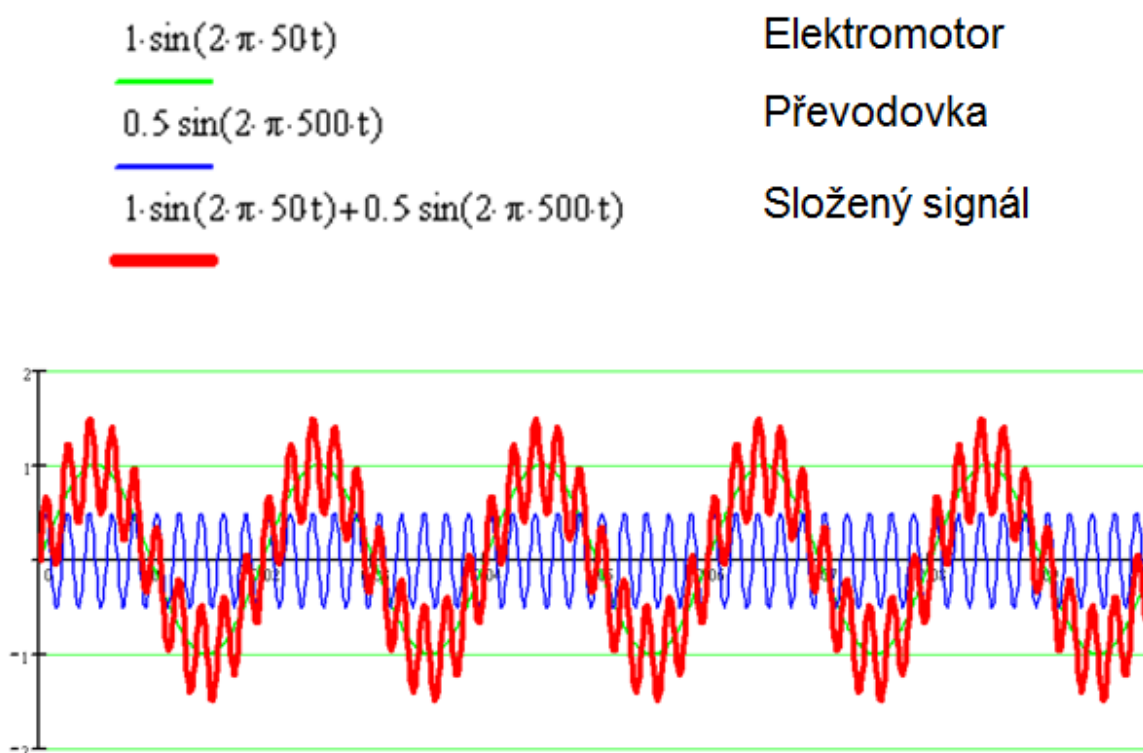
f_{R1}, f_{R2} rotorová frekvence pastorku, kola

Otáčková frekvence zubová musí být stejná pro obě ozubená kola, každý zub na prvním ozubeném kole “naráží“ pouze do jednoho zubu na druhém kole, tudíž způsobí rázovou vibraci, která je rovna součinu počtu zubů a frekvence otáčení daného hřídele.



Obrázek 2.10 – Princip převodu časového signálu na frekvenční spektrum za pomoci Periodický signál generovaný převody

Výsledný složený signál potom bude vypadat následovně:



Obrázek 2.11 – Složený signál vzniklý kombinací signálu z převodovky a elektromotoru

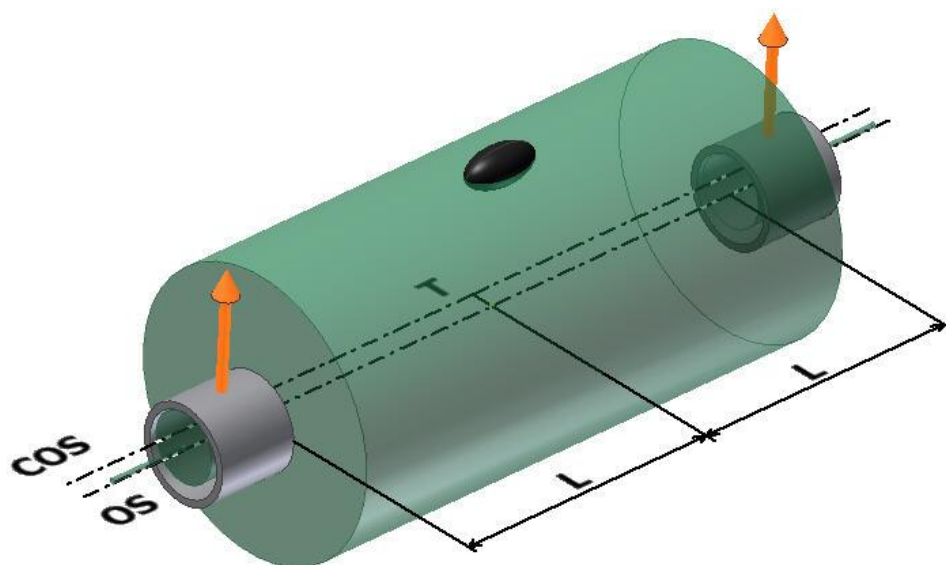
2.6 Nevyváženost rotačních součástí a její projevy

2.6.1 Statická nevyváženost

Vyskytuje se výjimečně, většinou je přítomna pouze u rotujících kotoučů, kde průměr kotouče je podstatně větší, než jeho šířka. Statická nevyváženost má posunutou centrální osu setrvačnosti (COS) oproti ose rotace (OR), vzájemně jsou spolu ale rovnoběžné.

Projev ve spektru vibrací:

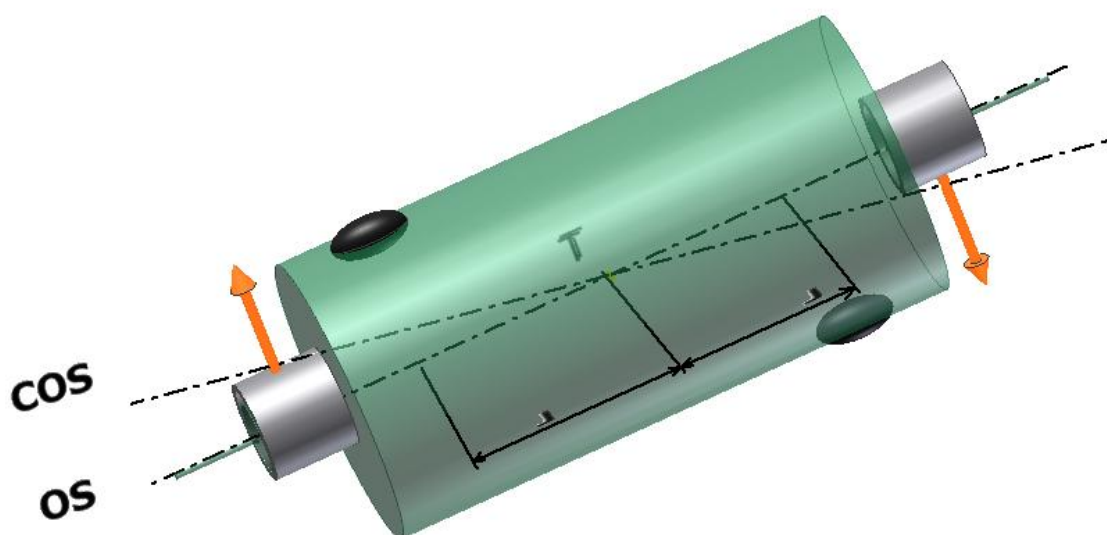
Statická nevyváženost se projevuje výraznou amplitudou na otáčkové frekvenci v radiálním směru na obou ložiskách s nulovým nebo malým fázovým posuvem ($\pm 30^\circ$). Tato amplituda bývá ve většině případů dominantní a je přítomná na základní rotorové frekvenci. Fázový rozdíl mezi horizontálním a vertikálním směrem je přibližně 90° ($\pm 30^\circ$). Přítomnost harmonických násobků otáčkové frekvence ukazuje na vysokou nevyváženost nebo na vymezování vůlí v ložiskách.



Obrázek 2.12 – Statická nevyváženost

2.6.2 Momentová nevyváženost (dvojicová nevyváženost)

V případě momentové nevyváženosti jsou osy rotace (OR) a centrální osa setrvačnosti (COS) různoběžné, ale osy se protínají v těžišti rotoru. Při otáčení rotoru působí dvojice setrvačných sil od nevyvážek na rotor a způsobují vibrace. V klidovém stavu se rotor jeví jako vyvážený, nevyváha se projevuje až při pohybu a to dvojicí sil, které způsobují momentové namáhání.



Obrázek 2.13 – Momentová nevyváženost

Projev ve spektru vibrací:

Momentová nevyváženost se projevuje výraznou amplitudou v radiálním směru na obou ložiskách s nulovým nebo malým fázovým posuvem ($\pm 30^\circ$). Tato amplituda bývá ve většině případů dominantní a je přítomná na základní rotorové frekvenci. Fázový rozdíl mezi horizontálním a vertikálním směrem je přibližně 90° ($\pm 30^\circ$). Přítomnost harmonických násobků otáčkové frekvence ukazuje na vysokou nevyváženost nebo na vymezování vřutí v ložiskách.

2.6.3 Dynamická nevyváženost

Ve většině případů se vyskytuje dynamická nevyváženost, která v sobě kombinuje statickou a momentovou nevyváženost. Hlavní osa setrvačnosti neprotíná osu rotace v těžišti, ale k protnutí dochází mimo toto těžiště.



Obrázek 2.14 – Dynamická nevyváženost

Projev ve spektru vibrací:

Ve spektru dominuje první harmonická složka a pro korigování jsou nutně potřeba dvě roviny. Zde může být fázový rozdíl mezi horizontálními vibracemi na vnějším a vnitřním ložisku jakýkoliv od 0° do 180° . Avšak rozdíl fází v horizontálním směru má významně souhlasit s rozdílem fází ve vertikálním směru při porovnání měření na vnějším a vnitřním ložisku ($\pm 30^\circ$). Navíc, pokud převládá nevyváženost, je zhruba 90° rozdíl fází mezi horizontálními a vertikálními vibracemi na každém ložisku ($\pm 40^\circ$).

3 VYVAŽOVÁNÍ

Pro odstranění nevyváženosti a tím ke snížení vibrací se používá vyvažování s četnými metodami. V současnosti jsou pro vyvažování různé provozní vyvažovací zařízení, které nám velmi zjednoduší práci. Dokáží na základě změřených dat přímo navrhnout množství a umístění vyvažovacích závaží. Asi nejznámější bude vyvažovačka kol v pneuservisu. Možnost vyvažování mají již zabudovány i některé analyzátory pro měření a vyhodnocování vibrací, pro tato měření je ovšem třeba měření fáze.

3.1 Statické vyvažování

Používá se pro rotory o malé tloušťce (pily, brusky apod.), zpravidla s poměrem délky k průměru menší než 0,2. Pro statické vyvažování musí klást uložení rotoru co možná nejmenší třecí odpor, aby bylo možné správně rotor vyvážit. Musí být také možnost s rotorem volně kývat. Vyvažovaný rotor volně roztočíme, pokud jsou odpory opravdu nízké a neklade rotoru nic jiného odpor, zastaví se rotor v poloze s nevyvážkem směrem dolů. Vyvážení provedeme zkušebním přívazkem. Postupnou korekcí tohoto přívazku dosáhneme toho, že se správně vyvážený rotor zastaví v každém místě.

3.2 Dynamické vyvažování

Většina rotorů v technické praxi je třeba vyvažovat dynamicky. K vyvažování dochází ve dvou rovinách. K vyvažování se používají vyvažovačky nebo analyzátory vibrací, je ovšem nutné měřit fázi. K měření fáze se většinou používá infračervených snímačů, které snímají polohu pomocí infračerveného paprsku a jeho zpětného odrazu z odrazové značky umístěné na rotoru.

Postup měření je následovný, nejdříve dochází k běhu naprázdno a měření vibrací, posléze se provede měření vibrací s pomocným přívazkem v jedné rovině, posléze se provede měření s přívazkem ve druhé rovině. Naměřená data se uchovávají v paměti analyzátoru a posléze dojde k jejich zpracování a návrhu korekčních vývažků.

Pro ruční měření bez vyvažovačky lze využít např. **vícepolohovou vyvažovací metodu**. Nedochází k měření fáze, pouze k měření celkových vibrací. Pokud by byly hodnoty vibrací způsobené nevyváhou ovlivněny jinými strojními díly, které vyvolávají vibrace na odlišné frekvenci, tak můžeme odečíst celkové hodnoty vibrací na frekvenci vyvažovaného rotačního zařízení.

Postup měření spočívá v rozdělení obvodu rotoru na několik stejných úhlových úseků, alespoň 5, lepe ale 8 dílků. Provedeme nejdříve měření vibrací před přidáním zkušebního vývažku, posléze umístíme zkušební vývažek do jednotlivých vyznačených bodů na obvodu a zapisujeme vibrace. Tyto vibrace pak pro přehlednost zaneseme do grafu viz. Obrázek 3.1. V našem případě dochází k nejmenším vibracím při umístění vývažku do bodu č. 8, proto další korekce vývažku budou probíhat v tomto místě. Další úpravu vývažku můžeme provést dle následujícího postupu:

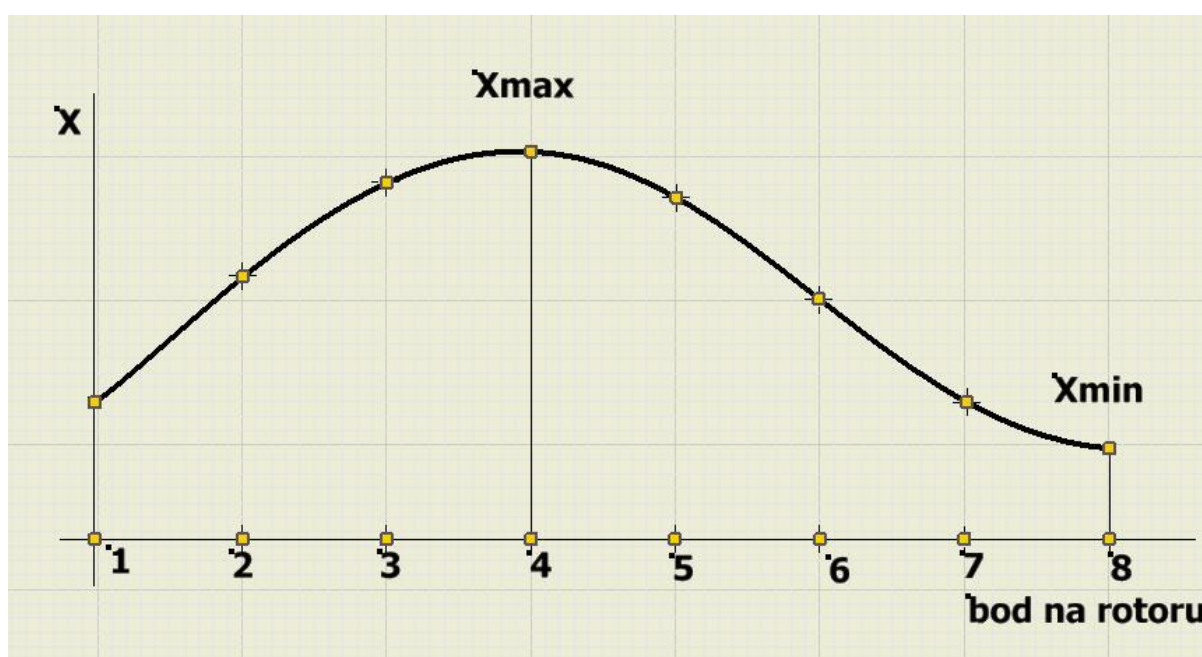
Pokud je
$$X_A \geq \frac{1}{2}(X_{max} + X_{min}) \quad (3.1)$$

X_A ... amplituda rychlosti kmitání (RMS)

Volí se hmotnost vývažku
$$m_v = \frac{X_{max} + X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (3.2)$$

V opačném případě
$$X_A < \frac{1}{2}(X_{max} + X_{min}) \quad (3.3)$$

Se volí hmotnost vývažku
$$m_v = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max} + X_{min}} \quad (3.4)$$



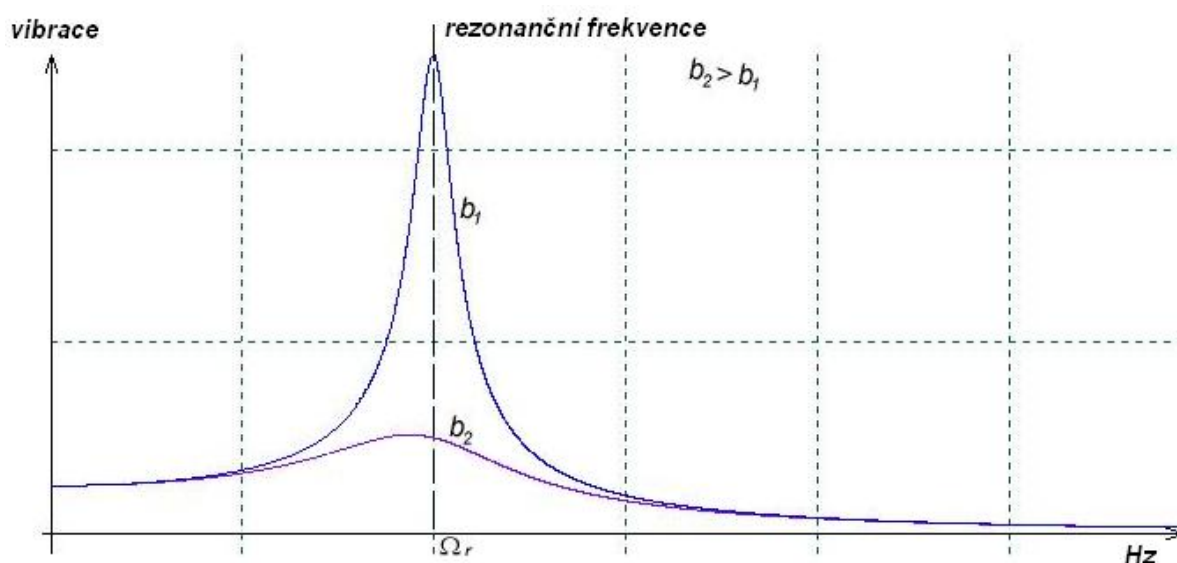
Obrázek 3.1 – Graf vícepolohové vyvažovací metody viz. demonstrační video

4 REZONANCE

4.1 Základní vztahy

Každé zařízení provozované v blízkosti rezonanční oblasti je namáháno neúměrně vysokými vibracemi, které mohou vést k celkovému zničení zařízení. Proto je snahou při vytváření konstrukce zamezit možnému vzniku rezonance, popř. provozování zařízení v rezonanční oblasti. V podstatě se jedná o nucené kmitání, které může zapříčinit i malá budící síla a následně způsobit velké změny v kmitajícím systému. Nastává v případě, když frekvence budící síly odpovídá vlastní frekvenci konstrukce nebo části stroje. Rezonance sama o sobě není příčinou vibrací, ale výrazně je zesiluje a způsobuje značnou citlivost konstrukce (či stroje) na silové působení na rezonanční frekvenci.

Rezonance je nejčastější příčinou problémů spojených s hlukem a vibracemi. Každá část strojního zařízení má určitou tuhost a hmotnost, na nichž především závisí vlastní frekvence a vibrační chování. Nezanedbatelným faktorem je také tření, které snižuje vibrace při rezonanci – tření můžeme zajistit formou tlumení. Úroveň tlumení je však většinou neznámá. Na Obrázek 4.1 je znázorněn vliv úrovně tlumení na velikost vibrací – b_2 představuje velké tlumení, b_1 naopak malé tlumení. Jak je vidět, při nízkém tlumení dochází k většímu růstu vibrací, je umožněn větší amplituda rozkmitání soustavy.



Obrázek 4.1 – Vliv velikosti tlumení na velikost amplitudy vibrací

Z hlediska charakteru vyvozených dynamických zatěžovacích účinků lze rozlišit:

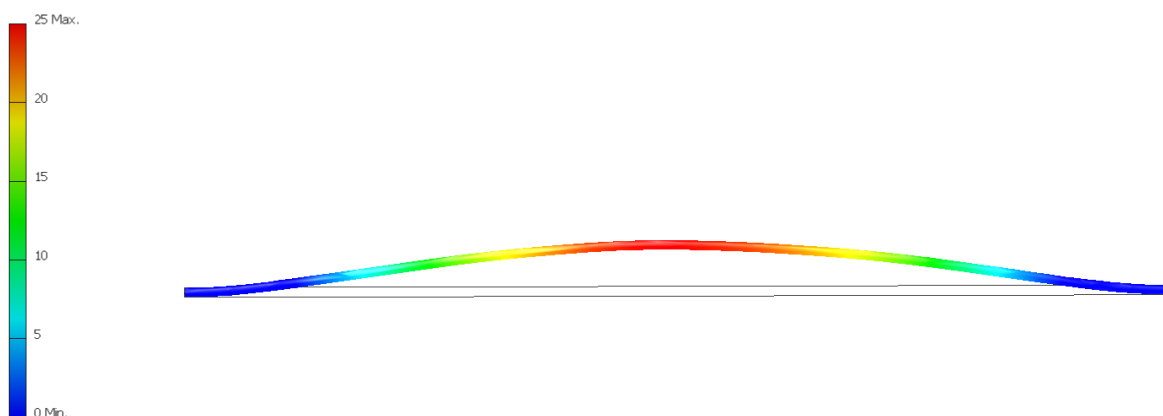
- *rotační stroje* – zdrojem periodicky působících vibrací u těchto zařízení je většinou nevyvážená hmota rotujících součástí
- *pístové stroje* – zdrojem vibrací je periodický translační nebo rotační pohyb pohyblivých součástí stroje;
- *zařízení vyvolující rázy* – zdrojem vibrací jsou silové pulzy (nárazy) v délce trvání řádu jednotek až desítek milisekund, způsobené dopadající hmotou;

- *zařízení, vyvolující mimořádná krátkodobá momentová zatížení* – momentové časové funkce, které nastávají při poruchách či zkratu elektromotoru nebo generátoru nebo nesprávném sfázování generátoru nebo špatný frekvenční měnič, které způsobují rozkmitání konstrukce.

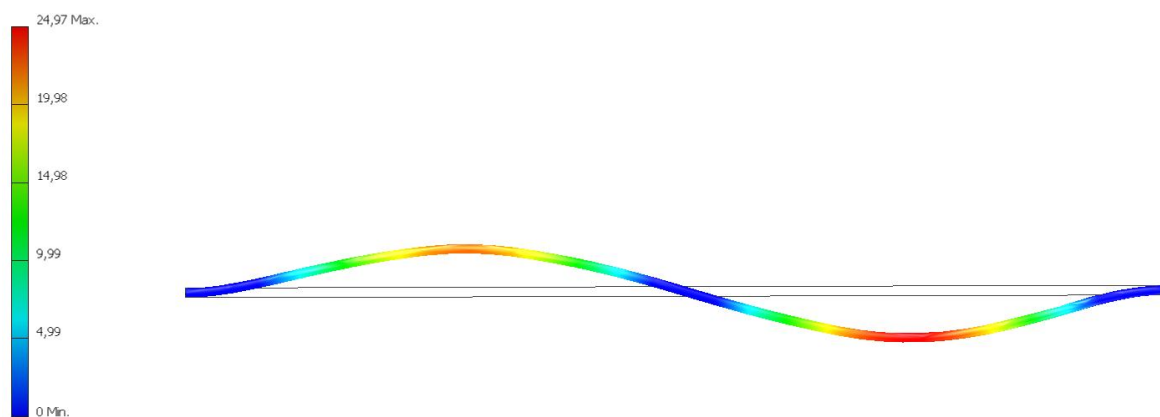
4.2 Rezonanční módy konstrukce

Pro znázornění tvarů jednotlivých rezonančních frekvencí slouží tzv. modální analýza, která umožňuje určení rezonančních frekvencí a zviditelnění tvarů jejich rezonančního chování. Na následujících obrázcích jsou jednotlivé tvary rezonančních módů. V případě, že by se jednalo o nosník nebo o hřídel, tvar kmitání při dosažení jednotlivých rezonančních frekvencí by byl dle obrázků. Je třeba si uvědomit, že konstrukce může být provozována v některém z rezonančních módů. V případě, že bychom chtěli provést vyztužení konstrukce, např. nosníku a snížit tak výkmit konstrukce, tak při prvním rezonančním módu (Obrázek 4.2) a umístění podpěry doprostřed nosníku, tak bychom účinně dokázali zamezit nadměrným vibracím.

Ovšem v případě druhého rezonančního módu (Obrázek 4.3), by vyztužení uprostřed nosníku bylo prakticky zbytečné. Pro vhodné umístění dodatečných vyztužení konstrukce je zapotřebí znát, zda je zařízení provozováno v oblasti rezonance, popř. v jakém rezonančním módu. Pro tyto zjištění lze použít provozních měření nebo nejlépe zabývat se možnými rezonančními stavy již při samotném návrhu celého zařízení. V případě, že se problematikou rezonance budeme zabývat již při návrhu konstrukce, ušetříme si dodatečné problémy při následných komplikacích spojených s následným provozem rezonujícího zařízení.

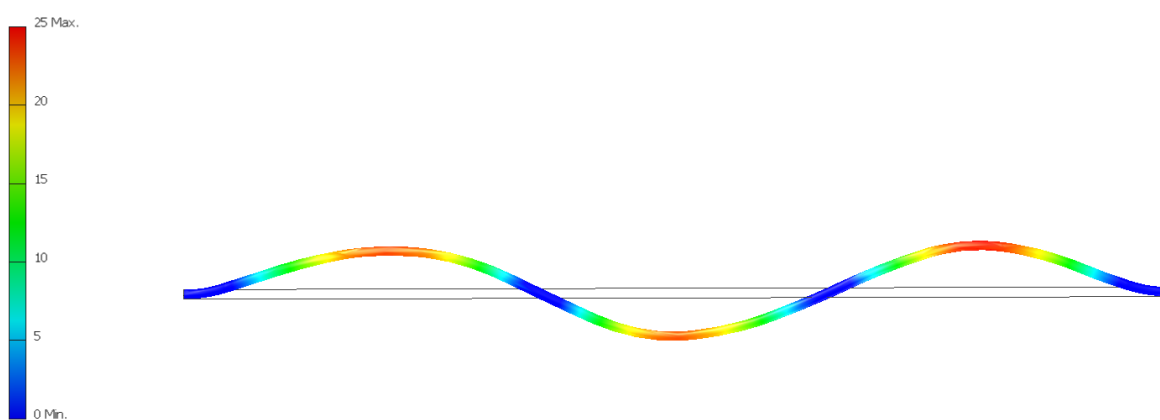


Obrázek 4.2 – První rezonanční mód, viz. *demonstrační video*

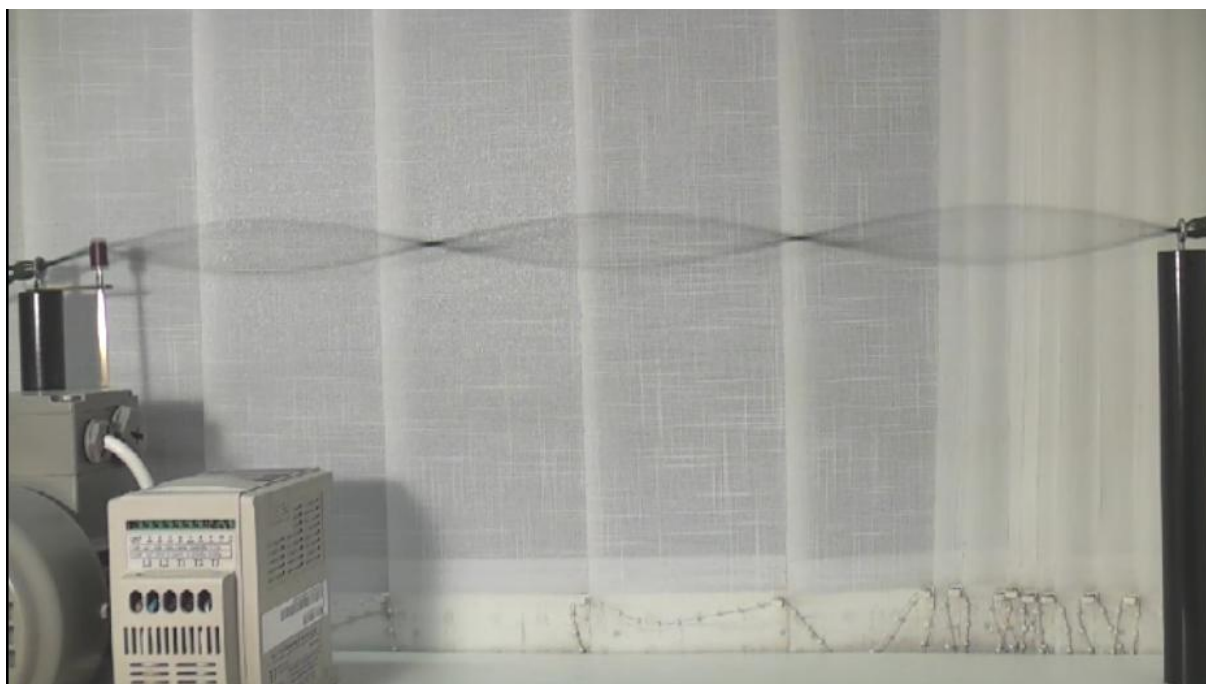


Obrázek 4.3 – Druhý rezonanční mód, viz. *demonstrační video*

Obr. 3:



Obrázek 4.4 – Třetí rezonanční mód, viz. *demonstrační video*

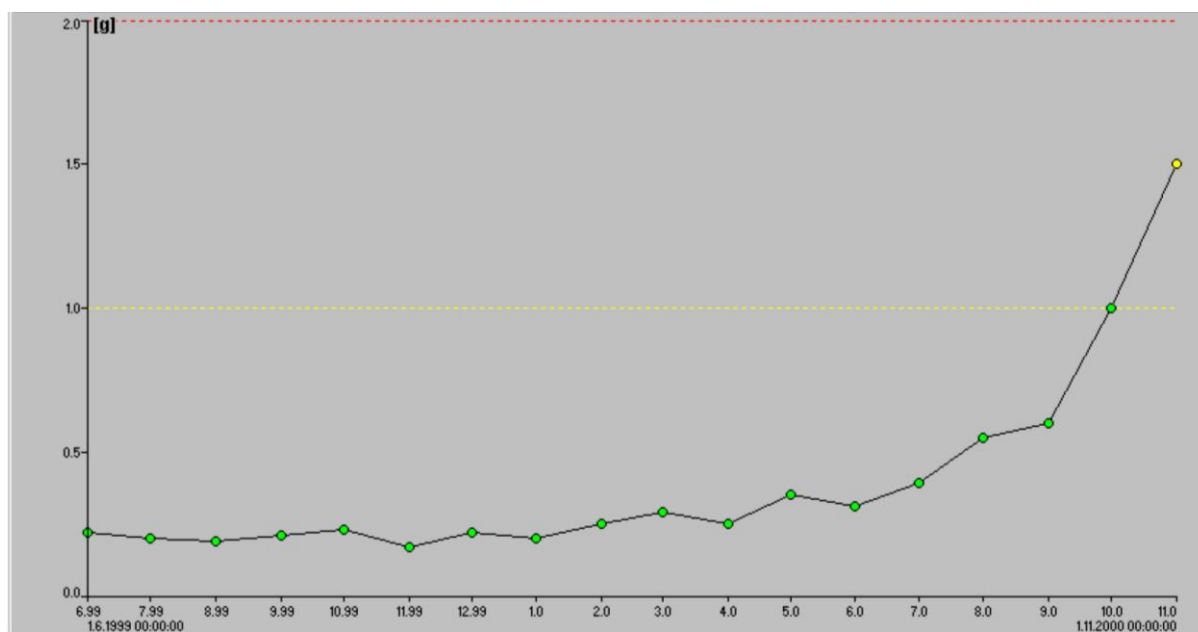


Obrázek 4.5 – Třetí rezonanční mód, viz. *demonstrační video*

4.3 Využití sledování trendu vibrací

Sledování trendu vibrací je jednou z nejjednodušších metod sledování technického stavu zařízení, ale i přes to dokáže dávat velmi přesvědčivé výsledky. Při sledování tohoto časového vývoje (nejlépe dlouhodobého) nejsme odkázáni pouze na celkové hodnoty vibrací, ale s výhodou můžeme použít i sledování časového vývoje zrychlení. Sledování časového vývoje zrychlení můžeme s výhodou použít zejména ke sledování technického stavu ložisek.

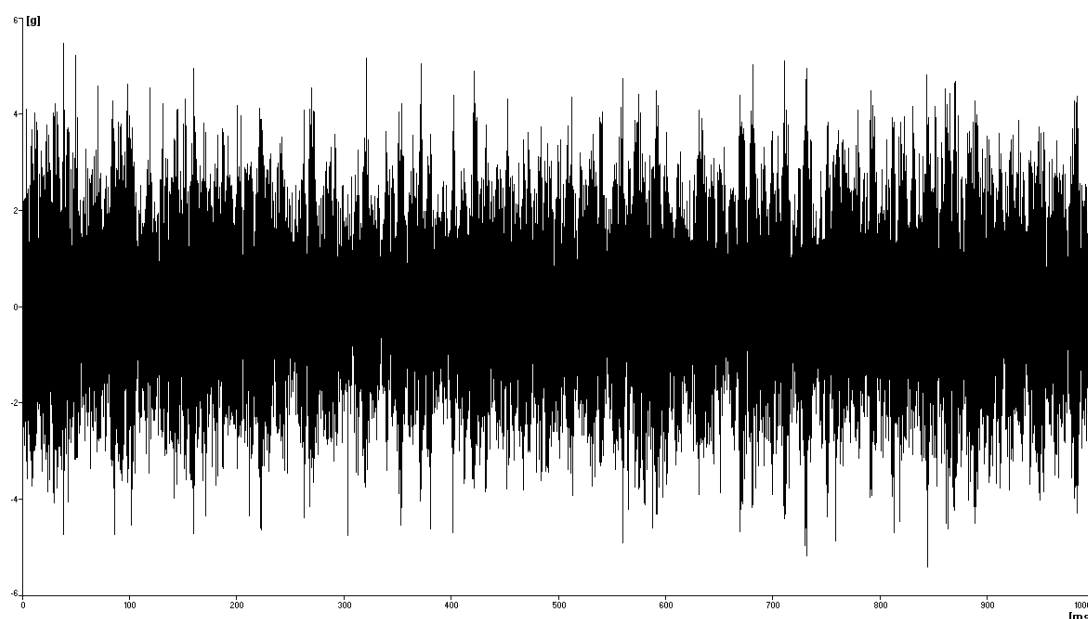
Jeden z příkladů dlouhodobého sledování trendu zrychlení ložiska je na obrázku. Na tomto trendu lze pozorovat vývoj zrychlení ložiska až po dosažení žluté alarmové hladiny. Dosažení této hodnoty znamená upozornění, že ložisko je s největší pravděpodobností na konci své životnosti a je třeba provést jeho výměnu. Zvýšená hodnota zrychlení může být také zapříčiněna špatným nebo chybějícím mazivem. Pro vyloučení této možnosti doporučuji provést domazání ložiska. Pokud vysoké hodnoty zrychlení přetrvávají nebo se v krátké době vrátí na původní hodnoty, tak je ložisko v závěrečné fázi své životnosti. Dosažení žluté alarmové hodnoty nás má varovat a současně poskytnout dostatečný čas na naplánování vhodného termínu odstávky. Při dosažení červené alarmové hodnoty by ale mělo dojít v co možná nejbližší době, protože hrozí druhotné poškození stroje.



Obrázek 4.6 – Trendový vývoj zrychlení v jednom měřícím bodu s vyznačením alarmů

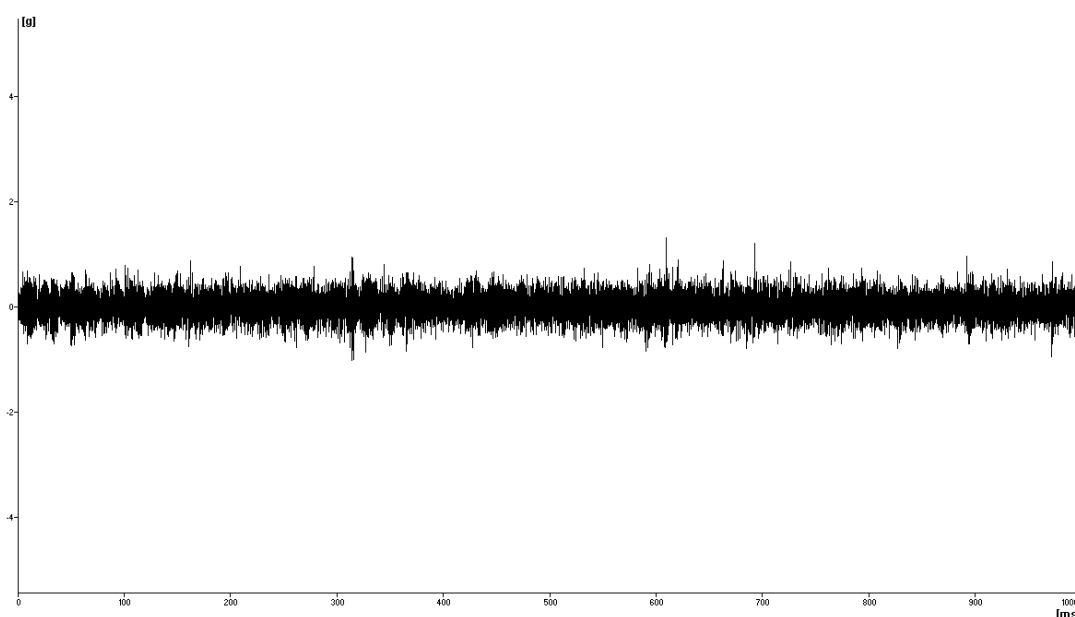
4.4 Vyhodnocení časového průběhu

Na následujícím obrázku je znázorněn časový záznam předcházejícího špatného ložiska o délce záznamu 1s (Obrázek 4.7). Na časovém záznamu si můžete povšimnout vysokých hodnot jednotlivých rázů v ložisku. Oproti trendovému záznamu umožňuje časové spektrum sledovat i špičky rázů vznikajících v ložisku.



Obrázek 4.7 – Časový záznam zrychlení ložiska v bodě ML2A

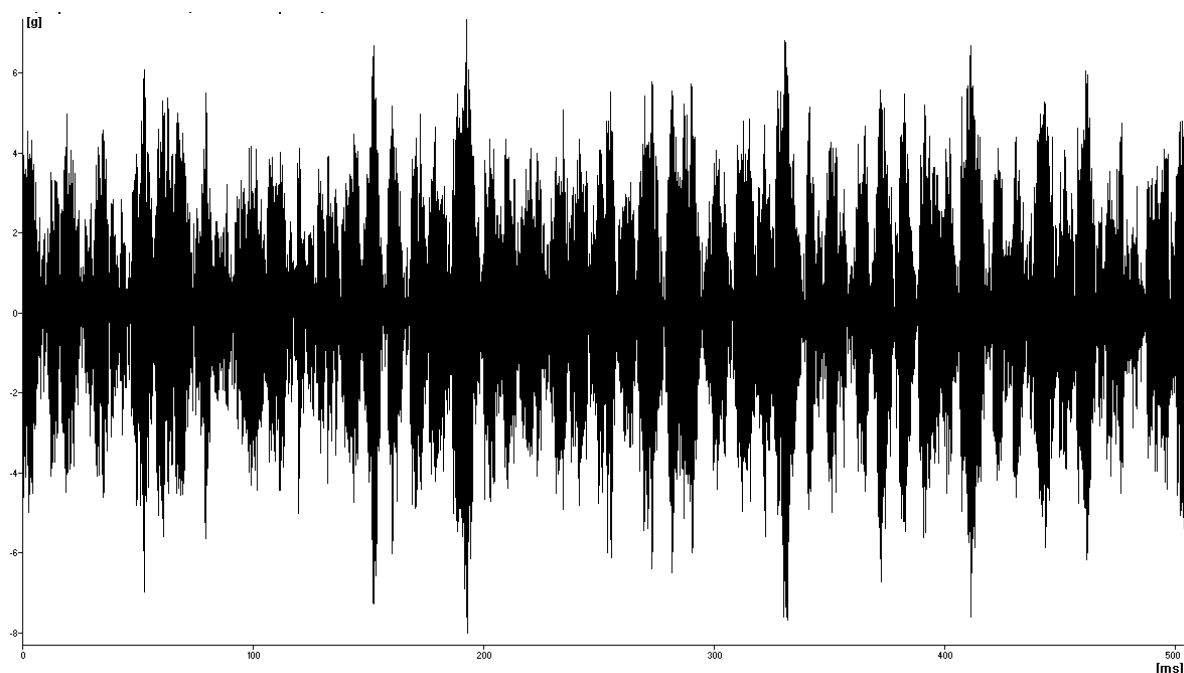
Pro porovnání ložiska na konci životnosti a ložiska uprostřed životnosti, respektive běžně opotřebovaného, je vyobrazení časového záznamu ložiska ze stejného soustrojí (Obrázek 4.8). Toto ložisko je zhruba uprostřed své životnosti, v časovém záznamu lze vidět některé se vyvíjející špičky zrychlení. Ložisko je opotřebováno běžným provozem a zatím není třeba se znepokojovat.



Obrázek 4.8 – Časový záznam zrychlení ložiska v bodě ČL3H

Pro lepší orientaci v časovém záznamu lze provést funkci zoom (Obrázek 4.9), kdy si můžeme libovolně zkrátit délku časového záznamu, čímž můžeme výrazně zlepšit rozlišení a čitelnost těchto záznamů. Na tomto obrázku lze lépe pozorovat výkmity, které vznikly působením vad v ložisku a srovnávat s velikostí šumu ložiska.

Časový záznam a možnosti jeho vyhodnocení jsou v současnosti velmi opomíjeným nástrojem. Spousta diagnostiků časový záznam a jeho vyhodnocení využívá zřídka nebo vůbec ne. To je ale obrovská škoda, protože časový záznam je nosičem spousty informací, které za pomoci spekter nelze vůbec nebo problematicky vyhodnotit. Pomocí analýzy časových záznamů lze diagnostikovat některé specifické problémy, např. prasklé, zlomené nebo deformované zuby, závady valivých ložisek u strojů s velmi nízkými otáčkami a se středními otáčkami, elektrické problémy motorů – závady rotoru i statoru, přechodové problémy při startu motoru, které mají za následek zhoršení ložisek nesymetrie vzduchové mezery, přidírání motoru, rozlišení mezi nesouosostí a mechanickým uvolněním,



Obrázek 4.9 – Zvětšený časový záznam zrychlení ložiska v bodě ML2A

5 ZÁVĚR

Abychom mohli s určitostí rozhodnout o zastavení stroje nebo správně určit vhodný datum opravy, je třeba využívat více postupů a metod. Velmi dobrých výsledků můžeme dosáhnout při využití tzv. multiparametrické diagnostiky, kdy se jedná o kombinaci několika metod technické diagnostiky, např. kombinace vibrodiagnostiky a k ní tribologie nebo termodiagnostika, akustická diagnostika apod. V opačném případě můžeme naměřená data špatně interpretovat nebo můžou být ovlivněny některými specifickými okolnostmi, čímž pak může dojít k dodatečným chybám, popř. následným škodám.

Ke správné diagnostice strojních zařízení je třeba přistupovat komplexně a mít k dispozici co možná nejvíce informací o diagnostikovaném zařízení, např. otáčky, výkon, provozní podmínky a jiné. Absence těchto dat může ve výsledku zapříčinit chybné rozhodnutí. O diagnostikovaném zařízení je třeba mít co nejvíce informací, např. otáčky, druhy ložisek, počet zubů na jednotlivých soukolích, provozní podmínky, provozní zatížení atd. Čím více se dozvíme o zkoumaném zařízení, tím jednodušeji se nám bude určovat porucha nebo příčina poruchy.

Při zjištění poruchy (např. špatné ložisko) je třeba postupovat komplexněji a zabývat se i důvody proč k poškození došlo. Je-li to možné a účelné, zabýváme se ti touto problematikou. Např. pokud předčasně dochází k rychlému opotřebování ložisek, je účelné zjistit také příčinu, proč k tomu dochází, zda není ložisko poddimenzováno nebo zda není nadměrně opotřebováno špatnou spojkou nebo špatným uložením, špatným rámem, popř. špatným mazáním, atd. Pouze odhalení problému v mnoha případech nestačí a je třeba se zamyslet i nad příčinou vzniku. Dobrý diagnostik, ale i konstruktér musí vycházet ze znalosti dané problematiky a dle provozních podmínek navrhnout vhodná řešení.

Bouřlivý rozvoj diagnostiky diagnostiky v posledních letech výrazně přispěl k výraznému zlepšení přesnosti i použití diagnostiky v praxi. Vznikla spousta nových metod, ale i novějších a kvalitnějších vyhodnocovacích zařízení, sledujících technický stav strojních zařízení. Paradoxně i hospodářská krize přispěla k většímu rozvoji a nasazení technické diagnostiky, kvůli většímu tlaku na úspornější provoz a výrobu.

Literatura

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



CD-ROM

Informace o doplňujících animacích, videosekvencích apod., které si může student vyvolat z CD-ROMu nebo je může nalézt na e-learningovém portálu.

- Animace vyvažování - vícepolohová metoda
- Atodesk Inventor Profesional 2011 modální analýza
- DDS 2007 práce s grafy
- DDS 2007 tvorba stromu a pochůzky
- doprovodné animace
- Nedestruktivní diagnostika
- ND – ověření přístroje a odmagnetování vzorku
- Příprava bodů pro měření
- Video rezonance, modální stavy