

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Diagnostika mechanických komponent elektrických strojů

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Stanislav SVOBODA**
Osobní číslo: **E13N0015K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Diagnostika mechanických komponent elektrických strojů**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište diagnostické metody pro kontroly mechanických komponent.
2. Popište metodiku diagnostiky mechanických komponent el. strojů.
3. Na dlouhodobém měření demonstруйте způsob diagnostiky poruchy.
4. Zhodnoťte možnosti a výhody průběžné diagnostiky v podnikovém prostředí.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Hruška, Ph.D.
Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

V této diplomové práci bych chtěl ukázat vývoj metodiky údržby, která je v současné době ovlivněna informacemi o skutečném stavu stroje. Dále jsou popsány základní diagnostické metody, jejichž využitím lze dosáhnout lepší efektivity výrobního procesu a také větší bezpečnosti práce. Konkrétně je zpřehledněna vibrační diagnostika, která je nejvyužívanější diagnostickou metodou pro svojí široké možnosti použití. Velmi podrobně jsou zpracovány dva příklady využití vibrační diagnostiky, které ukazují na možnost zachycení problému v počátku nebo problém způsobený cizím zaviněním. Na závěr mé práce je poukázáno na ovlivnění informací z on-line přístroje, zapříčiněné agresivním prostředím nebo lidským činitelem.

Klíčová slova

Diagnostika, termodiagnostika, tribodiagnostika, vibrodiagnostika, rychlost, zrychlení, časový záznam, spektrum, akcelerometr, snímač vibrací, měření on-line, měření of-line, diagnostické metody.

Abstract

In my diploma work I would like to present the development of machine maintenance methodic, which is influenced today by information about the true condition of the machine. Further basic diagnostic methods are described. Their use helps us to achieve a better effectiveness of the manufacturing processes and also better workplace safety. This is followed by detailed overview of vibration diagnostic, which is the mostly used diagnostic method for its wide range of application. Two application cases of vibration diagnostic are described in specific detail, showing the possibilities of discovering the problem in its beginnings, or discovering a problem caused by foreign cause. In the conclusion of this work, the data interferences from the on-line device, caused by aggressive environment or human factor, are pointed out.

Key words

Diagnostics, thermodiagnosics, tribodiagnosics, vibrodiagnosics, speed, acceleration, time record, accelerometer, vibration sensor, diagnostic methods.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.



podpis

V Plzni dne 30.4.2015

Stanislav Svoboda

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Karlu Hruškovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a hlavně při metodické vedení práce.

Poděkování patří i mé rodině a rodičům, kteří mi poskytli neutuchající podporu v mém, už takto pozdním studiu.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	9
1 ÚDRŽBA VERSUS DIAGNOSTIKA	10
1.1 SYSTÉMY ÚDRŽBY AKCEPTOVATELNÉ MANAGEMENTEM.....	11
2 ŽIVOTNOST VÝROBKU	13
3 DIAGNOSTICKÉ METODY POUŽÍVANÉ V PLZEŇSKÉM PRAZDROJI	14
3.1 BEZKONTAKTNÍ METODY.....	15
3.1.1 Termodiagnostika	15
3.1.2 Tribodiagnostika	18
3.2 KONTAKTNÍ METODY.....	19
3.2.1 Kamera do potrubí.....	19
3.2.2 Hluková diagnostika	22
3.2.3 Měření teploty.....	23
3.2.4 Vibrodiagnostika.....	24
3.2.5 Jiné postupy a metody.....	24
4 VIBRODIAGNOSTIKA MĚŘENÍ	25
4.1 ZÁKLADNÍ POJMY	25
4.2 ABSOLUTNÍ SENZOR RYCHLOSTI.....	29
4.3 ABSOLUTNÍ SENZORY ZRYCHLENÍ – AKCELEROMETRY	30
4.3.1 Piezoelektrický akcelerometr	30
4.3.2 Základní parametry piezoelektrických akcelerometrů	33
5 POUŽITÉ PROSTŘEDKY PRO MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ.....	35
5.1 MĚŘÍCÍ BODY.....	35
5.2 SNÍMAČ VIBRACÍ.....	39
5.3 KONEKTOR PRO SNÍMAČE VIBRACÍ	40
5.4 PŘÍSTROJE PRO SNÍMÁNÍ VIBRACÍ	40
5.4.1 Měření on-line.....	41
5.4.2 Měření off-line	41
5.5 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT.....	51
6 VIBRODIAGNOSTIKA V PRAXI	53
6.1 VÝMĚNA LOŽISKA NEBYLA PROVEDENA VČAS	53
6.2 LOŽISKO PO SVAŘOVÁNÍ.....	58
7 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ VIBRODIAGNOSTICKÉ MĚŘENÍ.....	64
7.1 VLIV PROSTŘEDÍ.....	64
7.2 LIDSKÝ ČINITEL	67
ZÁVĚR	69
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1

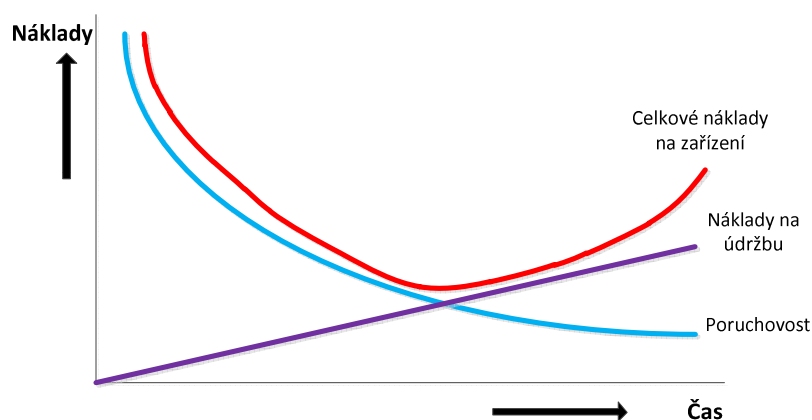
Úvod

Využití diagnostických metod v údržbě je jedním z důležitých faktorů pro včasnou identifikaci vznikajících poruch nebo pro zajištění bezpečnosti, ekonomické výhodnosti nebo dokonce ekologického provozu zařízení. Úkolem diagnostických metod je včasná identifikace závady v počátečním stavu, což umožňuje včasné naplánování a provedení opravy v určeném časovém intervalu. Vždyť čas, energie nebo malá zmetkovitost jsou v současné době jednou z mála věcí, na nichž se dají ušetřit značné investice. Zavedením technické diagnostiky do údržby je dosahováno ekonomického provozu a současně je zajištěna vysoká spolehlivost a bezpečnost strojního zařízení. Pro zajištění správné údržby na zařízení je využíváno velké množství metod. Je nutné uvést, že žádná metoda nezajišťuje bezproblémový provoz, využitelnost na všech zařízeních a za všech provozních podmínek. Z těchto důvodů dochází ke kombinaci jednotlivých metod a tím ke zvyšování pravděpodobnosti včasného odhalení počátečního stavu možného budoucího problému. Tato identifikace zabraňuje výpadkům výrobního procesu, škodám na těchto zařízeních nebo možným ohrožením života či ekologickým katastrofám.

Diagnostické metody, které využívá hodně podniků, ale i soukromých subjektů, jsou zajímavé z hlediska návratnosti vložených nákladů. Z hlediska podniků se jedná o zásadní rozhodnutí o investici do revizí či navrhování úsporných řešení. V současnosti jsou a pravděpodobně i nadále budou na prvním místě úspory energií, zvyšování efektivity výrobního procesu a zároveň bezpečnosti i ekologie. Jednou z příležitostí pro zlepšování je samozřejmě řízení údržby, hlavně nastavení pravidel v preventivní údržbě.

1 Údržba versus diagnostika

V poslední době, kdy narůstá ekonomický dohled na výrobu, je zvyšován tlak na náklady spojené s tímto procesem. Z celkového procenta financí, tvoří nemalá část nákladů na opravy a údržbu zařízení. Jakékoliv snížení nákladů na údržbu je vítáno a v jisté míře i podporováno. Hlavními oblastmi sledování jsou náklady na údržbu a finanční ztráta při poruše, která byla způsobena zastavením nebo omezením výroby. Minimalizace nákladů je jedním z parametrů, o který vedení usiluje. Celkové náklady na zařízení mají přímý vliv na poruchovost, ale v určitém okamžiku náklady rostou bez většího vlivu na efektivitu (Obr. 1.1.). [3]



Obr. 1.1 Poměr celkových nákladů versus celková poruchovost zařízení[2]

Samozřejmostí je udržet výrobu v daných parametrech a eliminovat poruchy nad přípustnou mez. V současné době je plánování oprav, rekonstrukcí nebo výměn, výhradně založeno na informacích o stavu a provozování stroje. Z tohoto pohledu jsou veškeré informace velmi cenné, protože vyhodnocení provozního stavu stroje a označení vadné části, je podkladem pro výměnu celku nebo jeho části, či odhad doby, po kterou lze zařízení ještě bezpečně provozovat. Žádné prostředky nelze vynakládat zbytečně a proto je nutná správná organizace údržby v každém podniku.

V současné době, kdy většina strojních zařízení vykazuje velmi dlouhou životnost, se posunují nároky na školené odborně zaměřené pracovníky, kteří jsou více zaměřeni na prevenci, vyhodnocování dat z měřících přístrojů a sledování skutečného provozního stavu zařízení. Výměna nebo oprava je pouze posledním krokem na zařízení. [3]

1.1 Systémy údržby akceptovatelné managementem

Čekat na poruchu a teprve poté ji odstranit je nejstarší způsob řízení údržby. Dnes žádný podnik tento systém oficiálně nepoužívá, ale při důkladnějším pohledu do praxe je i tento způsob stále někde praktikován.

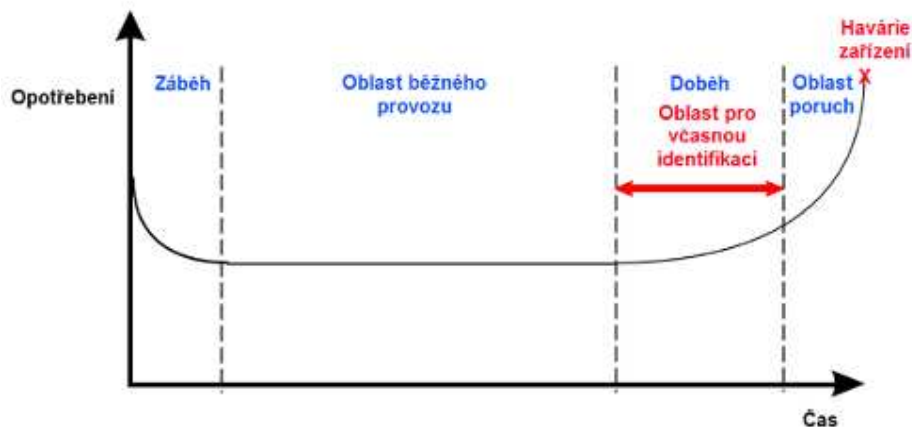
Rozvoj počítačové technologie a hlavně jeho širší dostupnost je využíván při druhém systému údržby a to je systém preventivních výměn. Doporučení výrobce nebo daná životnost určovaly výměnu bez jakéhokoliv ohledu na skutečný stav daného dílu. Každá část měla určenou dobu životnosti a to byl ten pravý spouštěcí mechanismus na výměnu plánovaných a určených částí zařízení. Teprve po dlouhé době a podloženo statistickou analýzou bylo zjištěno, že sice klesly nečekané odstávky zařízení, ale vzrostly výdaje za náhradní díly a lidskou činnost potřebnou při opravách. V praxi se nikde nepřistupovalo k objektivní kontrole vyměněných součástí a možné montáži zpět. V současné době je tato praxe pouze u speciálních strojů, kde náklady jsou akceptovány, plánovány a stroje jsou klíčové pro daný provoz.

Současně se systémem preventivních výměn byl rozvíjen také třetí způsob řízení údržby a to systém dle skutečného stavu. Systém je v podstatě velmi jednoduchý, ale jeho aplikace již tak snadná není. Podstatou systému je měření skutečného stavu stroje. Výsledky z měření a další informace mají zásadní význam pro zjištění skutečného stavu stroje a jeho dalšího provozování či plánování oprav. Měřicí metody podložené citlivými přístroji umožňují registrovat vznik závady už v počátečním stádiu, a tudíž existuje časový prostor pro zajištění a naplánování nejvhodnějšího termínu opravy. Samozřejmostí je snížení nákladů náhradních dílů nutných pro okamžitou potřebu a plánování rozložení lidského kapitálu pro jednotlivé úkony. Můžeme pouze provádět inspekční a preventivní činnost, tudíž nemusí být k dispozici velký počet zaměstnanců údržby. V případě náročnějších úkonů jsou požadavky plánovány a řešeny externí firmou. Celá údržba má tak menší počet kmenových zaměstnanců, jejichž úkolem je především inspekční a preventivní činnost. Povinností údržby je i odstraňování nečekaných poruch, protože žádný systém údržby neumí nečekané poruchy zcela odstranit. Po odstranění problému nastupuje kontrola po opravě zařízení dle dat z měření, jelikož jsou k dispozici data před poruchou zařízení. V případě, že měření zjistí podobný stav jako před opravou, tak je to okamžitý důvod k reklamaci opravy bez čekání na zkušební provoz zařízení. Dá se říct, že je to podobá strategii „just in time“, kdy jsou výrobní části dodávané přímo na linku v okamžiku potřeby bez předchozího skladování. Zásahy v údržbě jsou prováděny až v okamžiku skutečné potřeby.

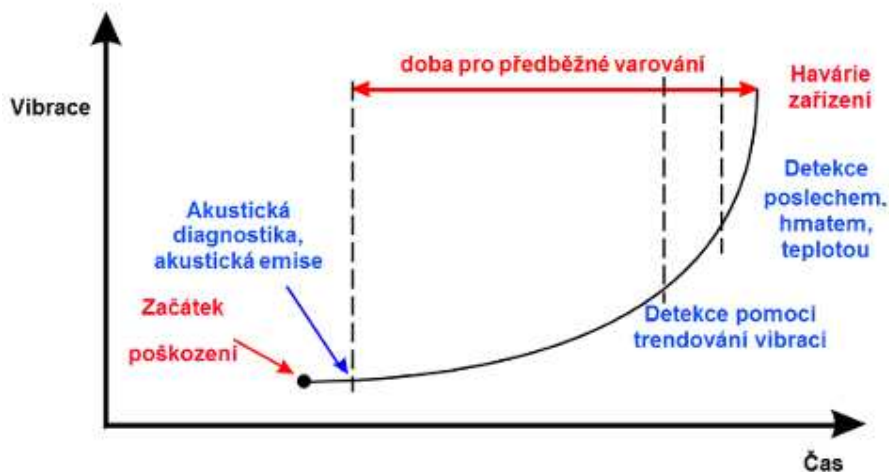
Dnešní management podniků je vystaven množství tlaků, z nichž nejsilnější je tlak ekonomický. Snižování cen finálního produktu, zvyšování produktivity a hlavně snižování nákladů, to je nutná každodenní praxe manažera, jestliže se má podnik udržet na trhu. Protože z celkového nákladu jsou náklady na údržbu nezanedbatelnou složkou celkových nákladů, a proto je akceptovatelný systém řízení pouze ten, který omezuje a minimalizuje náklady při nízkém riziku nečekaných poruch. V jiných oborech jsou tyto požadavky obvykle protichůdné a je nutné volit kompromisní řešení. Existuje způsob, který opravdu obě složky minimalizuje. Pouze správným, koordinovaným a plánovaným vedením údržby podle skutečného stavu zůstane jediným akceptovatelným systémem.[3]

2 Životnost výrobku

Vanová křivka, která je znázorněna na obrázku (Obr. 2.1) zobrazuje jednotlivé oblasti průběhu opotřebení v čase. U nového zařízení dochází na začátku provozu ke zvýšenému opotřebení (oblast záběhu), protože je to způsobeno vzájemným záběhem jednotlivých součástí. Běžné provozní opotřebení se ustálí na pracovních hodnotách, ale záběhové opotřebení se postupně snižuje, až pomalu zanikne. V závěrečné fázi provozu zařízení dochází k postupnému navyšování opotřebení až k finálnímu prudkému nárůstu. V této fázi provozu, je nutné zařízení odstavit, případně odstranit rozvíjející se poruchu, protože může dojít ke vzniku havárie celého zařízení. Havárie může mít celou řadu negativních faktorů na bezpečnost, ekonomičnost provozu, apod. V tomto případě byla popsána a vysvětlena vanová křivka s průběhem opotřebení, které je především využívána v tribologii, ale obdobným způsobem lze aplikovat průběh vanové křivky na průběh opotřebení, vibrací, teploty, hluku, apod. [5]



Obr.2.1 Vanová křivka průběhu opotřebení [5]



Obr. 2.2 Konečná fáze vanové křivky, možnosti identifikace. [5]

3 Diagnostické metody používané v Plzeňském Prazdroji

V roce 2001 začal Plzeňský Prazdroj a.s. v preventivní údržbě využívat diagnostické metody. Jako první metoda byla zavedena vibrodiagnostika. Diagnostická metoda se osvědčila a doložené výsledky byly podkladem nejen pro rozšíření o další diagnostické metody doplňující informace potřebné pro vibrodiagnostiku, ale byly také motivací pro další rozšiřování prostředků týkajících se diagnostických metod. Postupně se doplňovaly znalosti, prostředky a v současné době se v Plzeňském Prazdroji a.s. používají tyto metody.

- a) bezkontaktní: - termodiagnostika
 - tribodiagnostika

- b) kontaktní: - kamerový systém do potrubí
 - hluková diagnostika
 - měření teploty
 - vibrodiagnostika

Diagnostika se provádí v plánovaných intervalech nebo jsou dokonce osazeny on-line detektory a snímače zaznamenávají data kontinuálně. Takto se s velkou pravděpodobností lze vyhnout neplánovaným odstávkám výroby a následně drahým opravám. Všechny používané metody mají záznamová zařízení, jejichž data pak mohou být zpracována a porovnána s novým plánovaným či neplánovaným měřením. V případě kombinací jednotlivých metod hovoříme tzv. multiparametrické diagnostice.

3.1 Bezkontaktní metody

3.1.1 Termodiagnostika

Termodiagnostika představuje nedestruktivní metodu založenou na zobrazení a vyhodnocení teplotního pole (tzv. termogramu) povrchu testovaného objektu. Z dotykových metod měření teplot lze pro získání termogramu použít indikátory na bázi kapalných krystalů se záznamem CCD kamerou. Fyzikálním základem bezdotykové termografie je měření teploty povrchu těles termografickou kamerou (termovize) a to na základě infračerveného spektra elektromagnetického záření, vyzařovaného povrchem tělesa v oblasti vlnových délek od 0,4 μm do 25 μm . Pro monitorování technického stavu objektu během provozu a pro nedestruktivní testování (defektoskopii) materiálu objektu se využívá krátkovlnná oblast infračerveného záření od 2 μm do 5 μm a dlouhovlnná oblast záření od 7 μm do 13 μm . V uvedených pásmech se nacházejí tzv. atmosférická okna s přijatelnou propustností záření ve vzduchu. [4]

3.1.1.1 Termokamera - parametry

Ve společnosti Plzeňský Prazdroj a.s. je využíván systém maticový a pyroelektrický senzor. Termokamera je značky FLUKE Ti 40 viz parametry v tabulce (Tab. 3.1) a od roku 2008 je termokamera používána diagnostickým oddělením.

Detektor	30Hz 160x120 Focal Plane Array
Spektrální pásmo	8 μm - 14 μm
Teplotní citlivost	$\leq 0,080^\circ\text{C}$ při 30°C
Digitální displej	5" s rozlišením 320 X 240, barevný LCD
Zápisové medium	Compact Flash Card
Úhel pozorování	23° horizontálně x 17° vertikálně
Kalibrovaný teplotní rozsah	-20°C až 350°C, -4°F až 662°F
Korekce emisivity	0,01 až 1,00
Část pro viditelné spektrum: rozlišení	1280 x 1024, 1,3M
Baterie	Li-Ion Smart Battery, nabíjecí, vyměnitelná
Rozměry	71 x 262 x 196 mm

Tab. 3.1. Specifikace parametrů termokamery FLUKE Ti 40



Obr 3.1. Termokamera Fluke Ti 40

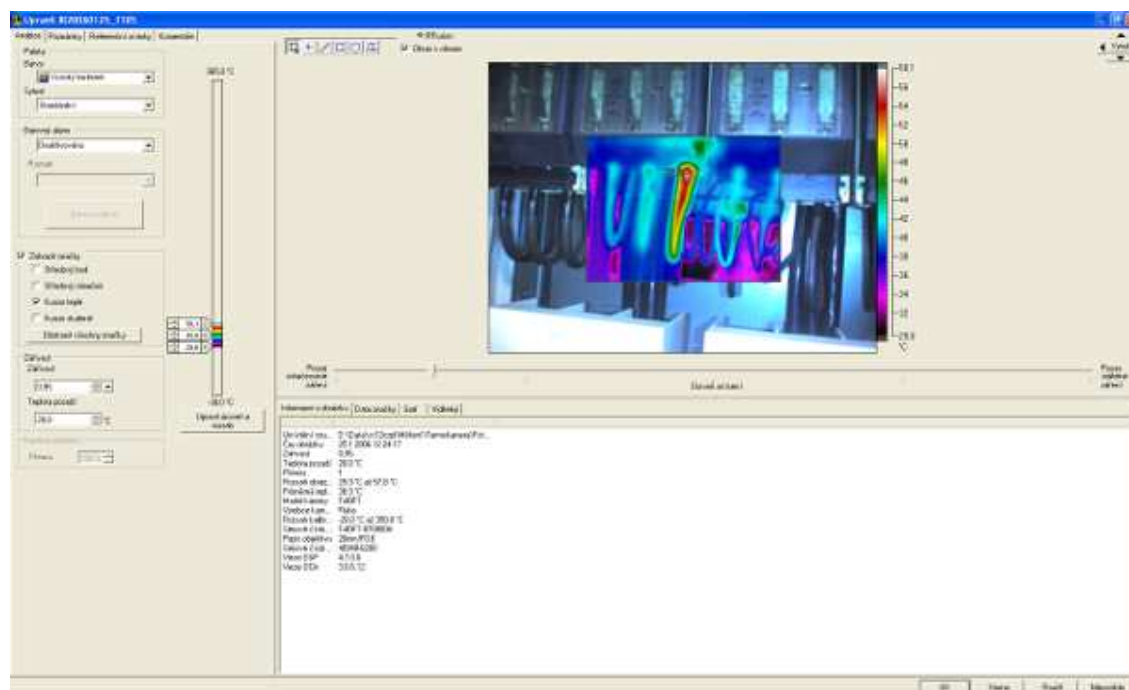
Samotné měření je vizualizováno na barevném digitálním LCD displeji a ukládáno na Compact Flash Card. Bezdotykové měření zajišťuje bezpečnost měření a zároveň snímání záběrů na předmětech i v málo nebo špatně dostupných místech. Kamera byla pořízena za účelem podpory diagnostiky v elektrozařízeních a také pro odstraňování energetických úniků. V dnešní době se kamera používá pro predikci závad na elektro výzbroji rozvaděčů, ke kontrole potrubních tras, kontrole správného fungování parního systému, ověřování stavu oprav a zateplení systémů, případně jen preventivně pro ověření dané situace a rozhodování ohledně dalších investic.

3.1.1.2 Vyhodnocovací program

Pro vyhodnocení má je možnost používat dva standardně dodávané programy. InsideIR4 je program, který nemá takové možnosti nastavení a vyhodnocování jako jeho kolega Smart View. Smart View je jednoduchý program pro vyhodnocování záběrů z termokamery. Vzhledem k jeho popularitě dochází ze strany dodavatele i k jeho aktualizacím. V současnosti je používána česká verze Smart View 3.3. Ovládání a nastavování parametrů na jednotlivých snímcích je velmi intuitivní, záleží na potřebách, jak s daným výstupem pracovat, či co je potřeba zdůraznit.

Celý vyhodnocovací proces začíná úplným popisem daného snímku:

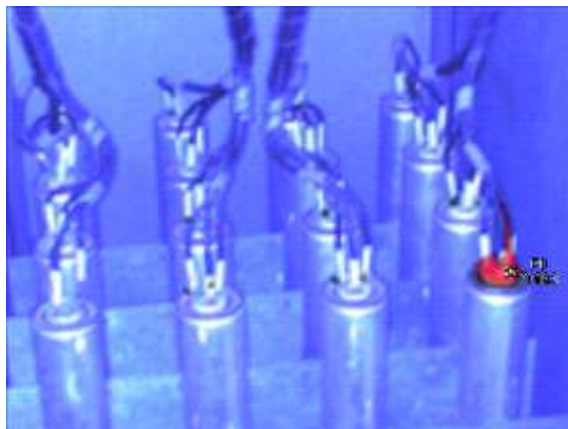
- Popis daného objektu
- Teplota okolí
- Informace ohledně snímaného materiálu (odhad emisivity)
- Případně jiné okolnosti z daného měření



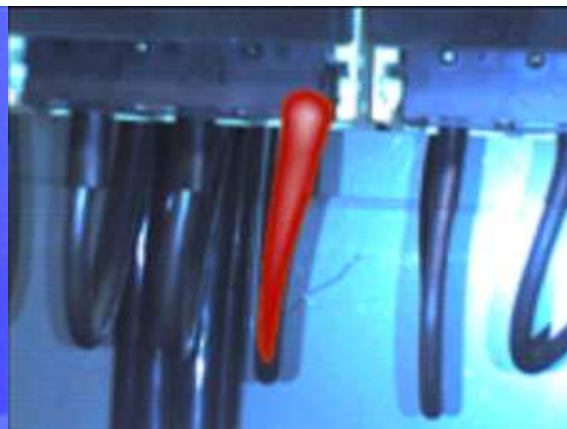
Obr. 3.2. Pracovní prostředí programu Smart View 3.3.

Dále je potřeba dané oblasti zvýraznit. K nastavení správné emisivity v těchto oblastech slouží geometrické výřezy, které jsou nám k dispozici. Podle nastavení emisivity je dále možné přesné stanovení teploty.

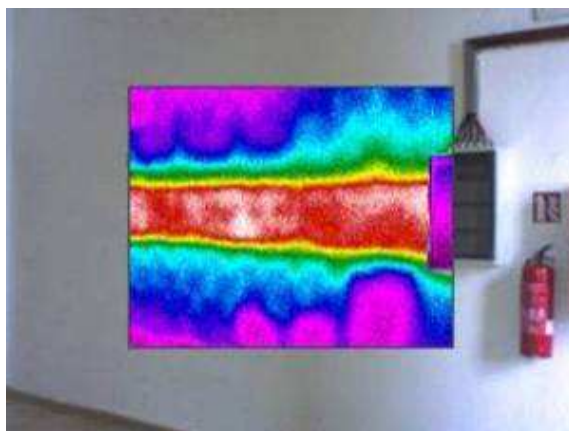
Pro zdůraznění hodnoty lze teplotu průměrovat nebo zvýraznit minimum či maximum. Výběr správného barevného alarmu je důležitý pro zákazníka, neboť on potřebuje s přehledným snímkem pracovat a správně se orientovat v daném problému. Na obrázcích jsou uvedeny příklady možného grafického zvýrazňování problémů. Přidání komentáře nebo vyjádření znamená konečnou fázi ve zpracování snímku, jehož výsledkem je termogram. Obrázky níže znázorňují možné vizualizace termogramů.



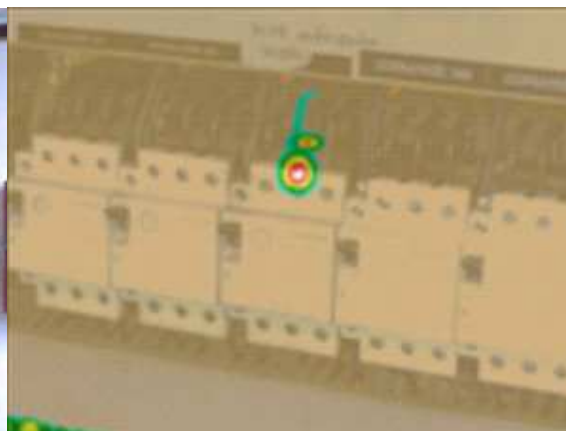
Obr. 3.3. Barevný alarm s popisem



Obr. 3.4. Barevný alarm bez popisu



Obr. 3.5. Vysoký kontrast a obraz v obraze



Obr. 3.6. Poloprůhledný termogram

Výhody měření	Nevýhody měření
Na měřený objekt není žádný vliv (bezkontaktní měření)	Nutná znalost emisivity pro správné vyhodnocení teploty (někdy problém s odhadem)
Možnost měření nedostupných míst, rotujících těles nebo pohybujících se těles	Obtížné měření objektů s nízkou emisivitou
Možnost měření teploty z bezpečné vzdálenosti	Měření teploty pouze na povrchu tělesa
Možnost snímání a následné zobrazování teplotního pole tělesa v 2D a další možné zpracování	Neznalost správné hodnoty prostupnosti prostředí mezi čidlem a objektem
Možnost měření velmi malých a velmi velkých objektů	Parazitní modulace měřeného signálu propustností prostředí
Možnost měření i těles s velmi vysokou teplotou (teplota nad tavnou teplotou čidel)	Parazitní modulace měřeného signálu zářením pozadí
Možnost měření velmi rychlých změn teploty	

Tab. 3.2 Výhody a nevýhody termografického měření

3.1.2 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika je odvětví, které se zabývá rozbořem olejů a maziv. Při správném postupu odběrů vzorků a následných určených krocích postupu je tato metoda vhodná pro diagnostiku systému. Z rozboru jsou důležité dvě oblasti:

- a) kvalita oleje
- b) stav a kvalita provozovaného zařízení

3.1.2.1 Rozbor olejů a maziv z pohledu kvality oleje

Hlavním ukazatelem je tzv. TBN ukazatel nebo-li kyselost oleje. Kyselost představuje jeden z důležitých a podstatných faktorů životnosti a stáří oleje. Ostatní vlastnosti jsou doplňující, pokud tyto informace máme, můžeme s velkou pravděpodobností rozhodovat o daném zařízení. Tímto způsobem lze naplánovat výměny olejů s nejlepší využitím pro jejich danou životnost na konkrétním zařízení. Plánované výměny výrobcem zařízení jsou většinou častější z důvodů bezpečnosti a garance. Pokud ale tribodiagnostika zajistí kvalitu oleje na daném zařízení, je výměna oleje možností pro šetření prostředků a pracovní síly při stoprocentní funkci zařízení. Metoda dokonce směřuje k neustálé kontrole zařízení a dokladuje životnost zařízení.

3.1.2.2 Rozbor olejů a maziv z pohledu stavu a kvality provozovaných zařízení

Tribodiagnostika odhaluje možné vnitřní poškození, nedostatky či začínající problémy zařízení při jejich výkonu. Report obsahuje informace o:

- mechanických nečistotách (různé velikosti)
- obsahu vody
- přítomnosti stopových prvků
- případně jiné informace

Výsledná data z odběru vzorku mohou prokázat konkrétní problém, upozornit na začínající nebo rozvinutý nedostatek, únavu zařízení a tím určit například jejich stav životnost.

3.2 Kontaktní metody

3.2.1 Kamera do potrubí

Kamera do potrubí se používá pro vizuální identifikaci možného nestandardního stavu uvnitř potrubí a nádob. K dispozici jsou dvě snímací hlavice. Stacionární hlavice $d = 42$ mm je primárně určená do potrubního rozvodu s průměrem větším než 50 mm. Otočná hlavice $d = 86$ mm je určená do větších dimenzí a hlavně do uzavřených nádob. Má možnost plynulého natáčení ve všech směrech, možnost změnu jasu, kontrastu, barev a zaostření na

určitou vzdálenost. Obě dvě hlavice jsou voděodolné s vlastním přisvícením. Kamera je vybavena kabelovým systémem dlouhým 50 m a displejem. Součástí je také paměťové zařízení, SD karta, na níž je možné ukládat záznamy v podobě videa či fotek.



Obr. 3.7 Kamera do potrubí TI 40 [9]

Kamera tlačná TI 40 je nejčastěji používána v těchto oblastech

- 1) Hledání předmětů
- 2) Kontrola stavu uvnitř potrubí
- 3) Kontrola svarů
- 4) Podpora diagnostiky

3.2.1.1 Kamera do potrubí - hledání předmětů

Hledání předmětů není stav častý nebo často se opakující, ale je to situace, kdy se musí jednat rychle a výsledek musí být jednoznačný. Několik příkladů z vlastní praxe ukazuje na rychlou orientaci v dané situaci a ochranu technologie před následkem poškození či

destrukce. Předměty putují v potrubí, proto je velmi těžké odhalit místo, kde by se mohly nalézat. Takto jsme hledali vibrační sondu ze rmutovací kádě, která mechanicky nevydržela a utrhla se, případně kontrola potrubního rozvodu po montáži firmy, která nechala špony po vrtání v potrubí. Poslední zdokumentovaný příklad byl na Varně PU, kde se hledala matice na oběžné kolo (Obr. 3.9.).



Obr. 3.8 Cizí těleso uvnitř výměníku



Obr. 3.9 Cizí těleso detail

3.2.1.2 Kamera do potrubí – kontrola stavu uvnitř potrubí

Většinou se jedná o stav potrubí při možném využití pro jiné médium nebo je potřeba vizualizovat vnitřek před a po sanitačním procesu. Pro lepší představu uvádím fotografii nepoužívaného potrubního systému.



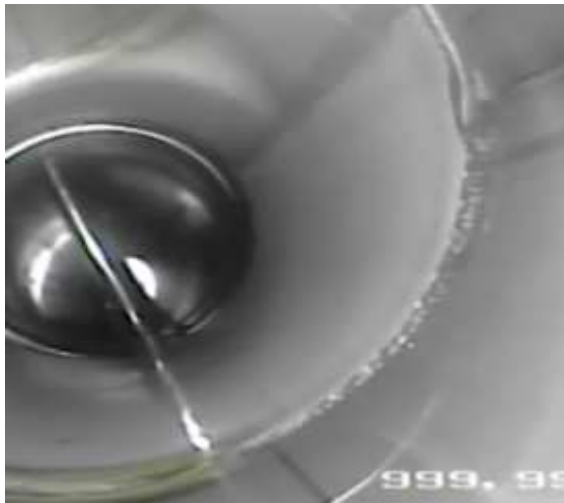
Obr. 3.10 Nečistoty nalepeny na stěnách



Obr. 3.11 Nečistoty nalepeny na stěnách detail

3.2.1.3 Kamera do potrubí – kontrola svarů

V poslední době je kontrola svarů hodně využívána, a to hlavně při investičních akcích nebo rozšiřování technologie, z důvodu špatných zkušeností z minulých let. Dodržování technologického postupu při svařování je nedílnou součástí při předávání a přebírání určeného díla, avšak kontrola a vyhodnocení je přesto prováděno. Kamera do potrubí nám ukáže detail místa uvnitř potrubního systému, z kterého můžeme při jisté zkušenosti odhalit nestandardní kořen svarů.



Obr. 3.12 Nestandardní kořen svaru



Obr. 3.13 Nestandardní kořen svaru

3.2.2 Hluková diagnostika

Hluková diagnostika je pouze doplňková a slouží hlavně pro konkretizaci nebo ujasnění místa v praktických podmínkách, odkud se nestandardní hluk šíří. Jsou to například stroje jako etiketovačka, plnič nebo stroje, které nejsou osazeny měřícími body. Jedná se o komponenty, které jsou například uloženy na jedné základné desce. Hluková diagnostika s velkou pravděpodobností určí zdroj nestandardního signálu, který se určuje při poslechu sondou na desce nebo přímo na komponentech. Samozřejmostí je měření za chodu stroje, a proto musíme dbát na zvýšenou pozornost při měření a bezpečnost práce.

Používáme přístroj od firmy SKF, který nejvíce vyhovuje našim potřebám, při kontrole nebo vyhledávání mechanických ne standardů na točivých strojích (Obr. 3.15.). Ve speciálních případech používáme sonoanalyzátor 4900 od fy Adash, který nám pomáhá zejména při diagnostice parního a kondenzátního systému (např. správná funkce kondenzátních odvaděčů (Obr. 3.14.)).



Obr. 3.14 detektor Adash



Obr. 3.15 detektor SKF

3.2.3 Měření teploty

Měření teploty bylo doplněno pro diagnostické účely, z důvodu potřeby upřesnění informací. Z počátku byl používán bezdotykový infračervený teploměr, ale teploměr měří pouze orientačně, z důvodu odrazu měřicího paprsku – nastavení emisivity.

Pro měření se používá dotykové teplotní čidlo přímé FTF109PH (Obr. 3.15.). Čidlo je napojené do ALMEMO 459004S (Obr. 3.15.), které slouží jako zobrazovač a úložiště naměřených údajů. V současné době se zobrazovač ještě používá s kombinovaným čidlem měření vlhkosti, teploty a rosného bodu. Informace z měření se používají ve spojení s termokamerou. Zobrazovač byl zvolen jako univerzální přístroj, který bude možné použít pro další čidla (klešťový snímač proudu, tlakový snímač, atd.).

Teploměr se z důvodu jeho přesnosti využívá pro ověřování teploty v konkrétních technologických krocích, kdy je možné ověřit teplotu v přesně určených bodech. Při ověřování správnosti měření pevně umístěných technologických čidel. Největší využití má při ověřování teplot na parním a kondenzátním hospodářství, zejména při kvalitě dodávky páry do jednotlivých technologií a při využití páry v jednotlivých krocích ohřevu.



Obr. 3.16 Zobrazovač ALMEMO [10]



Obr. 3.17 Dotykový teploměr [10]

3.2.4 Vibrodiagnostika

Vibrační diagnostika, bude hlouběji řešena v dalších kapitolách.

3.2.5 Jiné postupy a metody

Zde můžeme zahrnout nejrůznější metody a postupy pro diagnostiku vybraných zařízení. Metody slouží pro doplnění informací a tím prodloužení jejich životnosti, jednotlivé preventivní kroky údržby a obsluhy, používání, mazání atd.

4 Vibrodiagnostika měření

Provozní zkušenosti hovoří jednoznačně: čím větší, složitější a dražší je provozovaný stroj nebo zařízení, tím důležitější je jeho preventivní údržba. K této prevenci slouží též vibrodiagnostika.

Každý točivý stroj vytváří chvění, jehož působení na okolí snímáme a stanovujeme možnosti určení chodu zařízení. Větší vibrace mohou vznikat z důvodů:

- špatného uložení
- nevyváženého točivého stroje
- závadě na ložisku
- nesouososti
- špatného podstavce
- vlnění při otáčení
- nečistotě
- nesprávného provozování

Vibrodiagnostika snímá vibrace z předem stanovených míst (motor, převodovka, hřídel atd.). Získaná a uložená data slouží ke zjištění rozsáhlého množství informací o daném zařízení. Tyto informace jsou velmi přesné a při jejich zkušeném vyhodnocení je možné s velkou pravděpodobností určit problém na zařízení.

Základem měření pohybu točivých strojů jsou rychlost (mm/s) a zrychlení (mm/s²) jejich točivých částí. Z těchto parametrů lze snadno identifikovat případný problém, který je možné odstranit nebo naplánovat možnou opravu či výměnu zařízení.

4.1 Základní pojmy

Mechanické kmitání je dynamický jev, při kterém hmotné body a tuhá tělesa vykonávají vratný pohyb kolem klidové rovnovážné polohy. Kmitání tělesa je vždy způsobeno budící silou a naopak rovnovážná poloha tělesa je podmíněná nulovou hodnotou působících sil, která může působit jak interně (z vnitřku tělesa), tak externě. Tuhé těleso v technické diagnostice prezentujeme jako celek, který lze nahradit jediným hmotným bodem a pohyb všech částí tělesa je v daném časovém okamžiku totožný. Termín vibrace odpovídá pojmu kmitání a tento

termín vibrace budeme nadále používat.

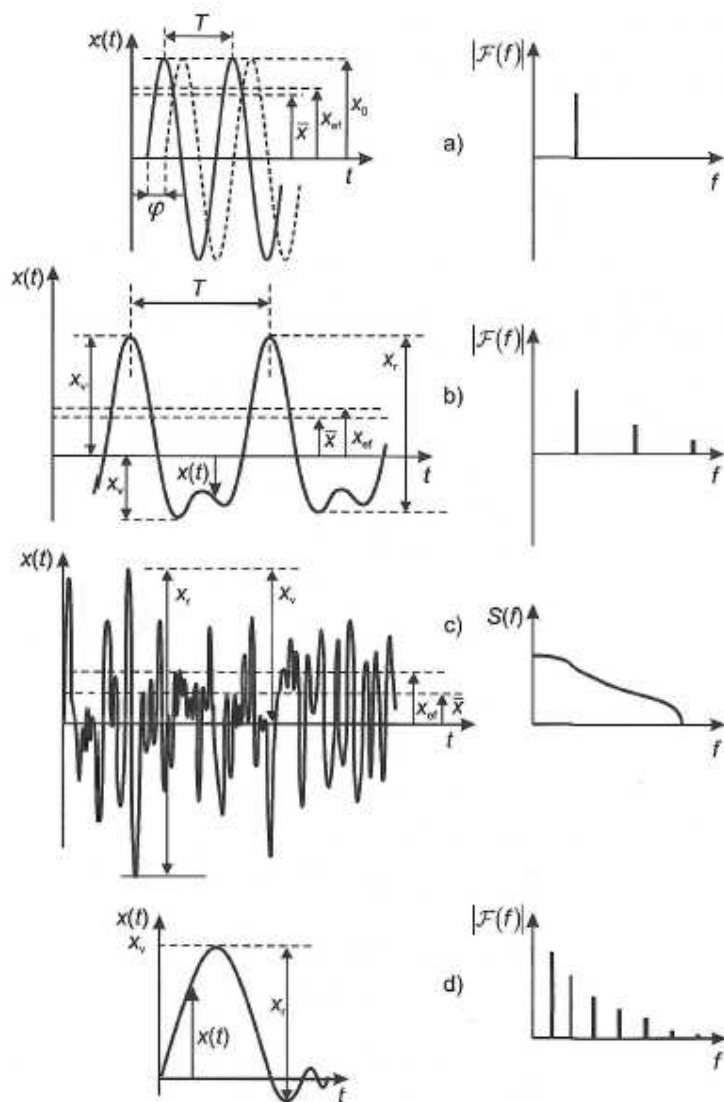
Hodnoty vibračních veličin mechanických kmitání jsou dány budící silou, jejím směrem a kmitočtem. Amplituda a fáze v daném časovém okamžiku lze popsat termínem vibrace. Vibrace tělesa je kombinace šesti pohybů a to posunem v ortogonální soustavě souřadnic x , y , z a rotací kolem os x , y , z , neboli mechanický systém má šest stupňů volnosti. Ve většině případů mechanické systémy nekmitají jako jeden pevný bod a dochází ke vzniku vln. Vlna se šířící v tomto prostředí a přenáší energii, beze změn vlastností nebo fyzikálního stavu prostředí. Body kmitají s různou amplitudovou výchylkou a fázovou rychlostí a pružným prostředím se jev šíří postupnými vlnami. Vlivem odrazu se v tělese můžou superponovat dvě totožné vlny a ty se šíří proti sobě stejnou fázovou rychlostí vzniká stojatá vlna. Maximální a minimální výchylky a rozložení kmitajících bodů v prostředí se u stojaté vlny nemění. K superpozici obou uvedených jevů dochází v praxi často, tj. vibracím a vlnám.

Dynamické namáhání stroje jsou spojeny s vibracemi stroje a technickým stavem hřídelí, ložisek, převodovek, válečkových mechanismů, nevyváženosti rotujících dílů, klikových ústrojí, vůlemi v kluzných ložiscích, opotřebením, vznikajícími trhlinami, korozi, únavou materiálu atd. Rotující i přímočaře pohybující se tělesa budí vibrace (včetně pohybů kapalin a plynů). Mechanické vibrace jsou také způsobeny rázy, například kulička v poškozeném ložisku nebo nesprávně sesazená spojka čerpadla. Generující ráz způsobí přechodový kmitavý jev, který v tělese vyvolá postupnou rázovou vlnu, která se šíří v daném směru. V technické diagnostice se někdy uměle generuje ráz např. diagnostickým kladívkem se zabudovaným senzorem měření síly.

Vibrace mají charakter jevu periodického, neperiodického nebo náhodného, dle časových změn veličin (Obr. 4.1). U periodických vibrací se časový průběh vibrodiagnostických veličin opakuje. Periodické vibrace obsahující jedinou frekvenci se nazývají harmonické vibrace a jsou dány vztahem (4.1.). Pro harmonické vibrace stačí stanovit pouze jedinou veličinu (výchylku nebo rychlost nebo zrychlení) a zbývající veličiny lze vypočítat ze vztahu (Tab. 4.1).

$$x = x_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad (4.1)$$

Posun dvou periodických veličin je dán fází (nebo také fázovým posunem), přičemž posun o 360° (resp. o 2π) je považován za nulový posun nebo fázový posun u rotačních



Obr. 4.1 Vlevo časové průběhy veličin vibrací[2]
 a) harmonický b) složený periodický c) náhodný d) přechodový
 A v pravo odpovídající spektrální veličiny

objektů měřen vůči tzv. referenční značce (tj. vztažnému bodu) např. na hřídeli. Složené vibrace dle vztahu (4.2)

$$x = x_{01} \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + \dots + x_{0n} \sin(\omega_n t + \varphi_n) \tag{4.2}$$

jsou vibrace dané superpozicí různých časových průběhů a mohou být jak periodické, tak neperiodické.

Periodické složené vibrace vzniknou superpozicí harmonických vibrací. Vibrace neperiodické je poměr složených vibrací vyjádřený iracionálním číslem. Harmonické vibrace

se vyskytují pouze u budičů vibrací. U vibrací strojů se nejčastěji vyskytuje superpozice složených vibrací a náhodných vibrací (šumu). Většinou překrývá složený signál obsahující podstatnou diagnostickou informaci šumová složka a proto je nutné šum eliminovat, filtrovat.

Značka	Jednotka	Název, vysvětlení vztahy
s	m	Okamžitá výchylka vibrací, změna polohy bodu (tělesa) k referenční soustavě souřadnic
φ	rad, °	fáze harmonické veličiny v čase $1^\circ = \pi/180$ rad
ω	rad s ⁻¹	úhlová frekvence $\omega = 2\pi f$
T	s	perioda, nejkratší doba, po níž se vibrační děj a obecně každá hodnota určující periodické veličiny pravidelně opakuje
f	Hz	frekvence, kmitočet, platí $f = 1/T$
v	m s ⁻¹	rychlost vibrací $v = ds/dt$
a	m s ⁻²	zrychlení vibrací $a = dv/dt$
g	m s ⁻²	tíhové zrychlení, $g_n = 9,80665$ m s ⁻² je standardní (normální) tíhové zrychlení

Tab. 4.1 Přehled vybraných veličin a vztahů mechanických vibrací [2]

Vyhodnocení výchylky je v diagnostice mechanických zařízení vhodné používat pro měření nesouměrnosti, diferencí například ve spojkách. Obvykle tyto ne standardy měříme v nízké frekvenci a to v oblasti kmitů (v rádech hertzů). Efektivní hodnota rychlosti RMS je jednou z měřených veličin, neboť je přímým ukazatelem destruktivnosti vibrací z hlediska přenosu energie.

Chceme-li zvýraznit složky ve vyšších frekvencích oblastech vibrací, je vhodné vyhodnocovat efektivní hodnotu RMS zrychlení a naopak pro zvýraznění nízkých kmitočtů je optimální vyhodnocovat efektivní hodnotu výchylky. Jednoznačně lze definovat, že vibrace stroje generují hluk, který se šíří do okolí. Měření vibrací se často doplňuje a kombinuje s měřením dalších diagnostických ukazatelů, jako jsou krouticí moment, otáčky, provozní tlak, teplota, parametry rozběhů a doběhů stroje aj.

Většinou je nutné rozlišovat absolutní a relativní vibrace, hlavně při měření a následné diagnostice stroje. Absolutní vibrace tělesa, je pohyb tělesa vztahován ke gravitačnímu poli zeměkoule neboli ale fixnímu, ale pevnému bodu. Relativní vibrace jsou vztažena vůči zvolenému reálnému bodu, například jiná část stroje, který není uchycen a může také být v pohybu.

Podle stejného principu se senzory vibrací dělí:

- absolutní senzory vibrací
- relativní senzory vibrací

Veličinu mechanických vibrací vzhledem k vlastní setrvačné tzv. seismické soustavě měří absolutní senzor vibrací. Používá se tam, kde není k dispozici vhodný dostupný pevný bod k upevnění vztažného bodu senzoru (velké motory, ložiskové skříně, jedoucí vozidla, letadla apod.)

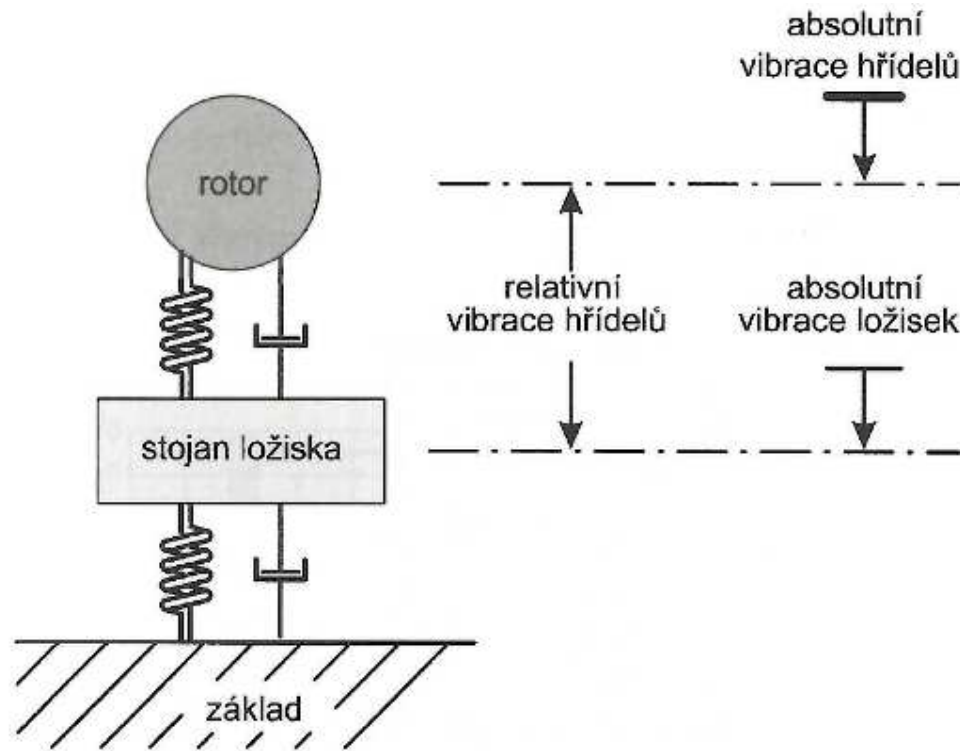
Relativní senzor vibrací se využívá např. při vyhodnocování vibračního pohybu jedné části stroje versus druhé (např. vibrace hřídele vůči spojce nebo čerpadlu). V současné době se pro relativní měření používají bezdotykové senzory. [2]

4.2 Absolutní senzor rychlosti

Pro měření rychlosti vibrací můžeme použít buď senzor zrychlení (akcelerometr) a výslednou hodnotu rychlosti vibrací získáme následnou integrací (vyrábí se akcelerometry s již zabudovaným integračním členem) nebo absolutní elektrodynamický senzor. Na obrázku (Obr. 4.2) jsou ukázky dvou provedení. Absolutní elektrodynamický senzor vibrací pracuje na bázi absolutního senzoru amplitudy vibrací. Jeho pracovní oblast snímaného kmitočtu je nad kmitočtem vlastních netlumených kmitů. Senzor měří výchylku vibrací, ale vzhledem k vnitřnímu uspořádání dochází při vzájemném pohybu magnetu a cívky k indukci napětí na cívce. Magnetický tok se mění v závislosti na výchylce vibrací a výstupní napětí na cívce je úměrné derivaci proměnného magnetického toku a tedy rychlosti vibrací.

Malý vnitřní odpor a vysoká úroveň výstupního signálu je nespornou výhodou absolutních elektrodynamických senzorů rychlosti. Senzor se může používat bez zdroje napájení a elektrické napětí lze měřit libovolným multimetrem bez specializovaných zesilovačů.

Nevýhodou a omezením senzorů je omezený kmitočet horního pásma (2000 Hz až 3500 Hz), citlivost na parazitní magnetické pole a větší rozměry. Podíl výroby na trhu je stále nižší, ale i tak se v současné době elektrodynamické akcelerometry stále vyrábějí.[2]



Obr. 4.2 Absolutní a relativní vibrace [2]

4.3 Absolutní senzory zrychlení – akcelerometry

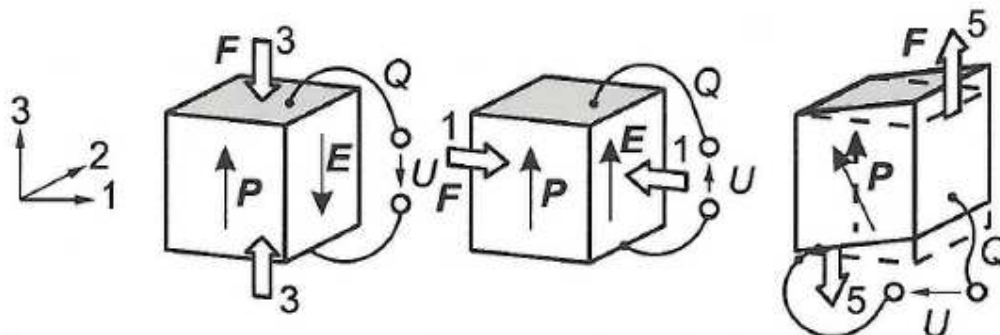
U akcelerometrů není vztažná seismická hmota v klidu. Pracovní oblast je pod kmitočtem vlastních netlumených kmitů. Velké hodnoty kmitočtu vlastních kmitů se u absolutních senzorů zrychlení dosahuje velkou hodnotou tuhosti a malou hodnotou seismické hmotnosti. Existuje celá řada fyzikálních principů využívaných pro realizaci akcelerometrů (piezoelektrický, piezorezistivní, kapacitní, s elektromechanickou zpětnou vazbou aj.). Pro diagnostické účely se budeme dále zabývat akcelerometry piezoelektrickými, piezorezistivními a kapacitními. [2]

4.3.1 Piezoelektrický akcelerometr

Nejužívanějším typem absolutních senzorů vibrací je piezoelektrický akcelerometr. Podstatou těchto piezoelektrických senzorů používaných pro měření vibrací je přímý piezoelektrický jev, při kterém deformací vybraných krystalických nebo polykrystalických látek vzniká dipólový elektrický moment objemového elementu a výsledným efektem je působení elektrického polarizačního čidla. Piezoelektrický jev je závislý na směru deformace

směrem k osám krystalové mřížky. Pokud využíváme piezoelektrický jev, rozlišujeme působení ve směru oproti ose. Tímto rozlišujeme podélný, příčný a stříhový jev (Obr. 4.3).

Pro piezoelektrické elementy akcelerometrů se používají modifikace křemene (SiO_2), piezokeramiky, PZT-keramika a některé piezoelektrické polymery.



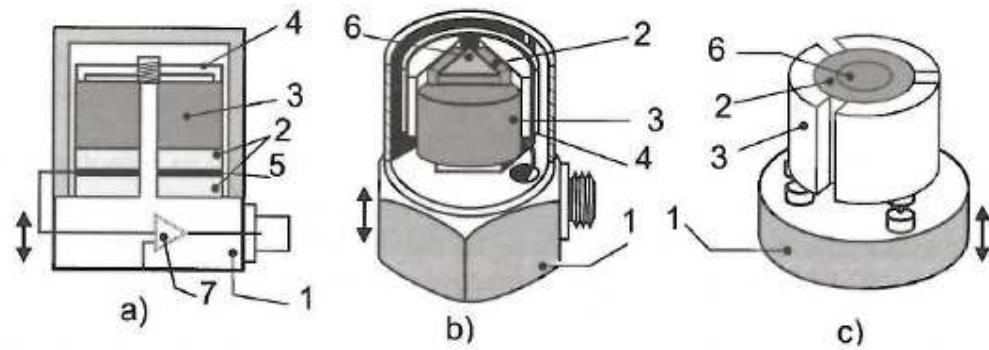
Obr.4.3 Podélný, příčný a stříhový (smykový) piezoelektrický jev (F je síla, E je intenzita elektrického pole, P je vektor polarizace, Q je elektrický náboj) [2]

Ve své podstatě je to kondenzátor o kapacitě C (dielektrikum se dvěma elektrodami). Pro elektrické napětí na elektrodách platí vztah (4.3)

$$U = \frac{Q}{C} \quad (4.3)$$

Nevýhodou akcelerometrů využívající podélný jev (tj. s tlakovou deformací) je současný účinek příčného jevu, protože se indukují přídavný náboj, který závisí na rozměrech piezoelektrického elementu. Akcelerometr pak vykazuje nežádoucí směrovou citlivost. Z tohoto uvedeného důvodu se velmi často využívá stříhový (smykový) piezoelektrický jev, který používá akcelerometr oproti podélnému jevu dvojnásobnou citlivost a měřicí senzor je necitlivý na tlakové deformace způsobené na základové desce, vytvořené např. rušivým přenosem mechanických napětí, který je na povrchu měřeného objektu nebo kolísáním teploty.

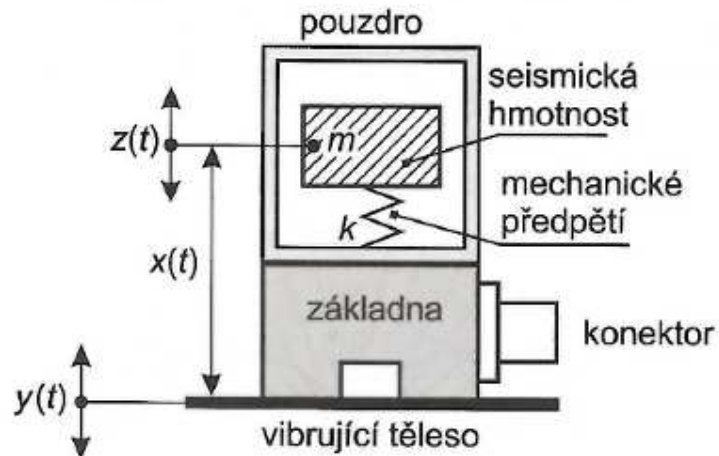
Dle uspořádání se akcelerometry se stříhovým jevem dále označují např. jako – DELTA, ORTHO, THETA, a ANNULAR.



Obr.4.4 Uspořádání piezoelektrických akcelerometrů: [2]

- a) S tlakovou deformací
 - b) Uspořádání DELTA se stříhovou deformací
 - c) Tříosé uspořádání ORTHO se stříhovou deformací
- (1- Základová deska, 2-piezoelektrické elementy, 3-seismická hmotnost, 4-mechanické předpětí, 5-elektroda, 6-trn, 7- předzesilovač)

Při zanedbání lineárního tlumení a předpětí a za předpokladu, že spojení akcelerometru s povrchem měřeného tělesa má nekonečnou hodnotu tuhosti, lze použít zjednodušený model akcelerometru (Obr. 4.5).[2]



Obr.4.5 Model piezoelektrického akcelerometru [2]

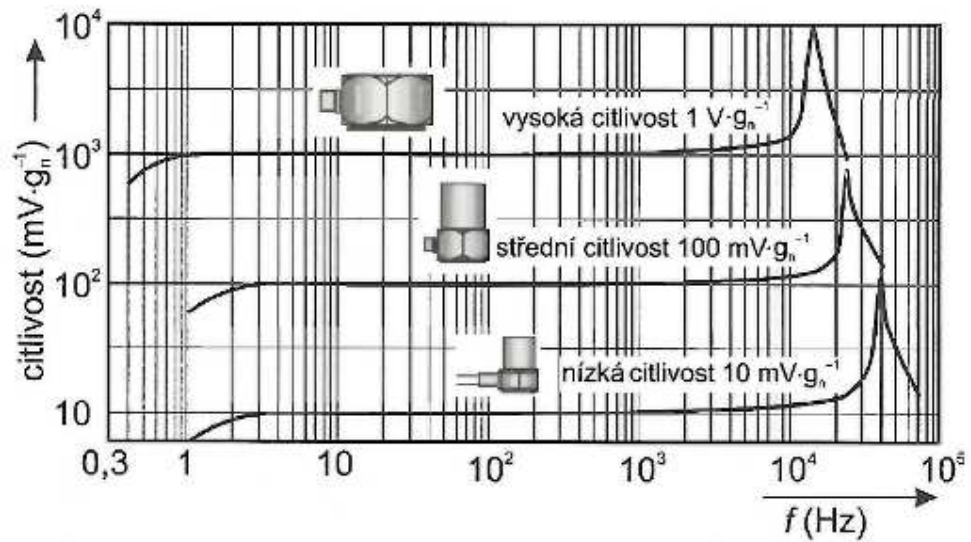
4.3.2 Základní parametry piezoelektrických akcelerometrů

- Dynamický rozsah a_v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) výkmitu zrychlení nebo násobku normálního gravitačního zrychlení g_n ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), ($g_n=9,80665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$),
- Frekvenční rozsah: dolní a horní mez pracovní oblasti,
- Nábojová citlivost K_Q ($\text{pC}\cdot\text{g}_n^{-1}$) nebo napěťová citlivost K_u ($\text{mV}\cdot\text{g}_n^{-1}$),
- Teplotní rozsah: akcelerometry se zabudovaným zesilovačem $J<165^\circ\text{C}$, vysokoimpedanční akcelerometry $J_{\text{max}}=250^\circ\text{C}$ až 700°C ,
- Vliv okolního prostředí (elektromagnetické pole, vlhkost, akustický tlak).

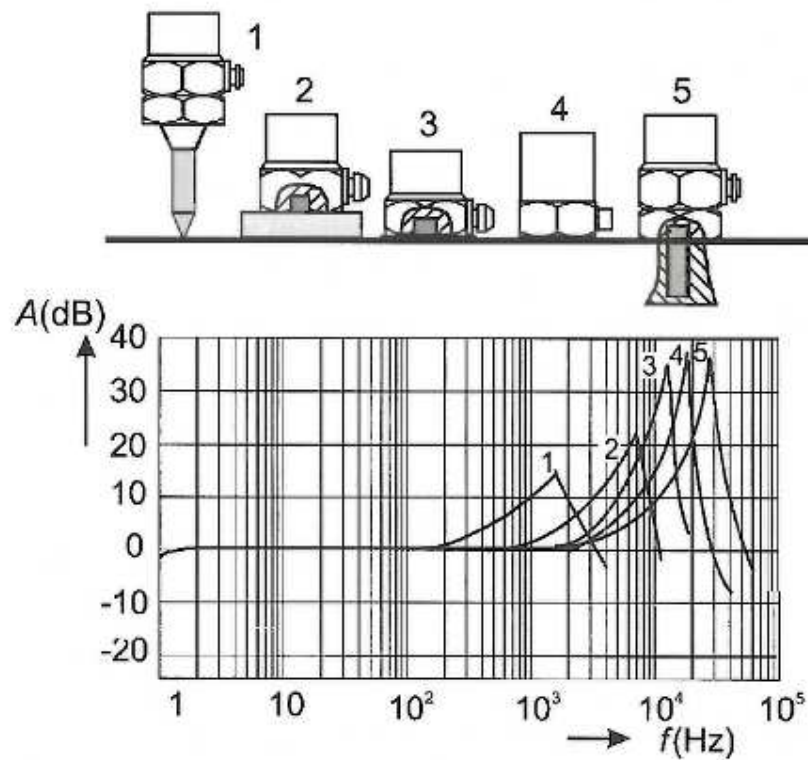
Frekvenční rozsahy a jejich frekvenční charakteristiky, které mají akcelerometry, závisí na hodnotě seismické hmotnosti. Z tohoto vyplývá, že zvětšováním seismické hmotnosti klesá hodnota vlastního úhlového kmitočtu, a tím narůstá citlivost akcelerometru, ale současně je omezen frekvenční rozsah akcelerometru nebo-li se sníží maximální kmitočet a zvětší se rozměr a následně také dojde ke zvětšení celkové hmotnosti senzoru. Dá se říct, že akcelerometry s vysokou hodnotou citlivosti mají nižší horní mez frekvenčního rozsahu.

Způsob připevnění akcelerometru k měřenému objektu má velký vliv na výslednou frekvenční charakteristiku (Obr. 4.6.). Ruční sonda je použitelná pouze pro velmi orientační měření. Pro použití permanentního magnetu je nutné připravit hladký povrch měřeného objektu. Lepení podložky se šroubem nebo přímé lepení akcelerometru k povrchu předpokládá rovinný tvar stykové plochy a může způsobit problém při demontáži. Je také nutná domluva s výrobcem zařízení o povolení k menším úpravám pro měření podložky.

Při montáži akcelerometrů je nutno brát zřetel na poměr hmotnosti měřeného objektu a hmotnosti akcelerometru, aby akcelerometr neovlivnil vlastní kmitočet a zrychlení měřeného objektu. [2]



Obr.4.6 Typické frekvenční charakteristiky pro různé citlivosti piezoelektrických akcelerometrů[2]



Obr.4.7 Vliv montáže na frekvenční charakteristiky: [2]

- 1) Ruční sonda
- 2) Upevnění šroubem přes permanentní magnet
- 3) Přilepená kovová podložka se šroubem
- 4) Přímé přilepení akcelerometru k objektu lepidlem nebo samolepící podložkou případně upevnění přes včelí vosk
- 5) Upevnění přes zavrtaný šroub do objektu s možností elektrické izolace od objektu

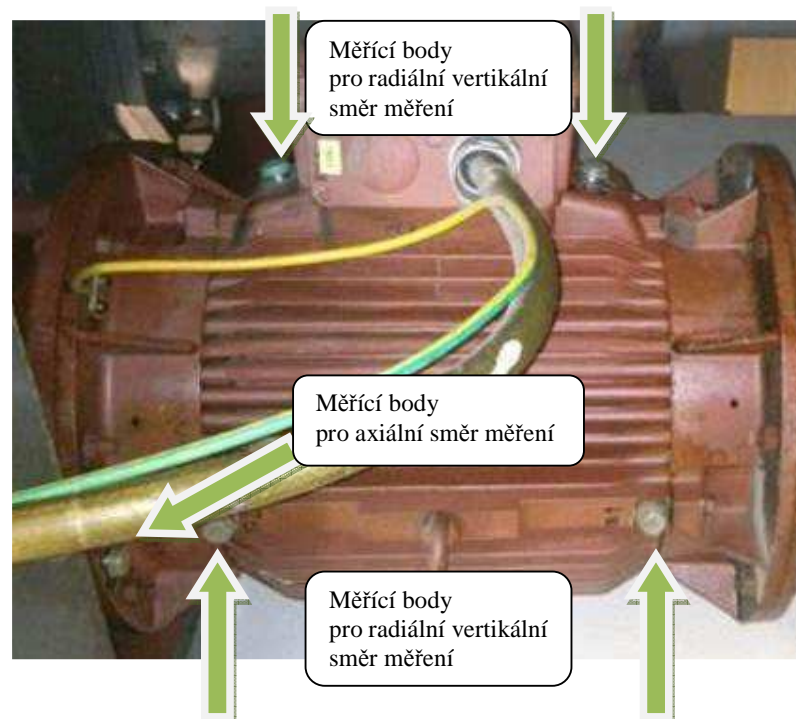
5 Použité prostředky pro měření a vyhodnocení

5.1 Měřicí body

Měřicí body jsou důležitou součástí měření. Plní hned několik důležitých úkolů při správné diagnostice.

- Správný výběr měřicího místa
- Opakovatelnost měření
- Stejný přítlak snímače na vybraném místě
- Připravená čistá rovná plocha
- Rezervace daného místa před používáním někoho jiného

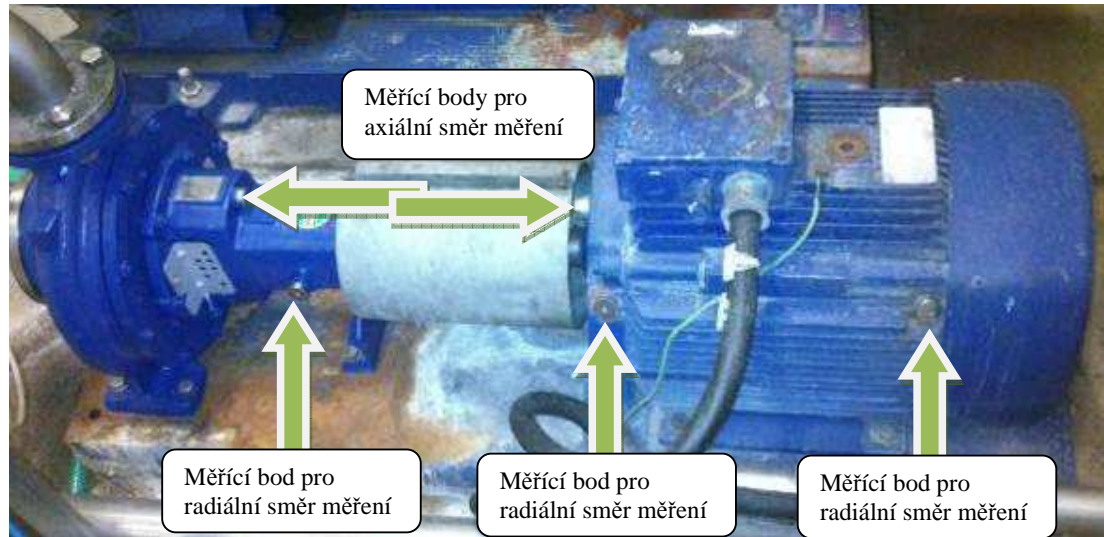
Správný výběr měřicího místa je jedním ze základů porozumění vibrodiagnostiky. Pro demonstraci budou použity základní body měření na motoru (Obr. 5.1).



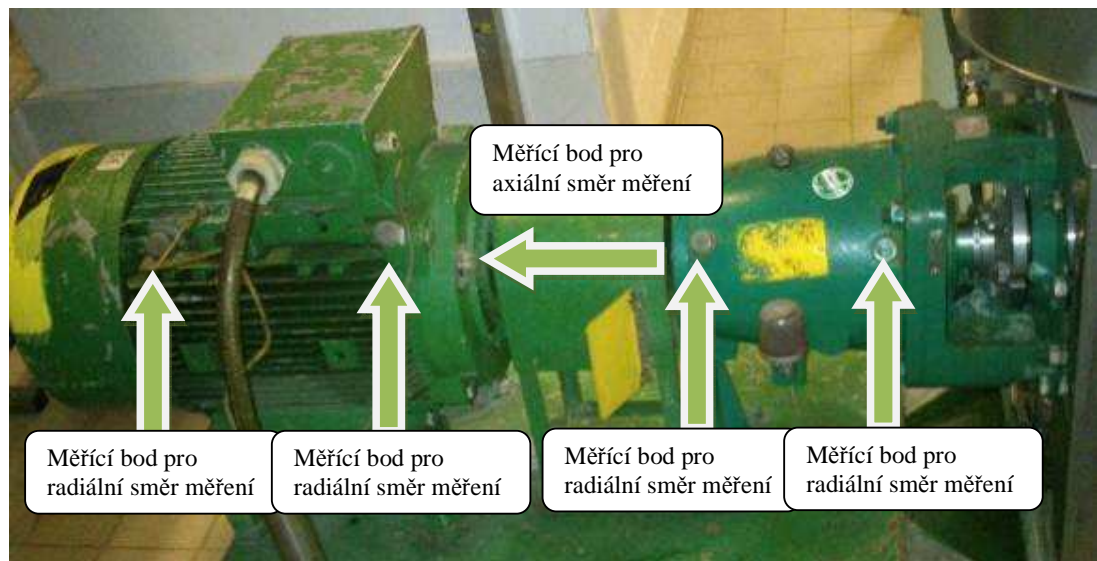
Obr. 5.1 Umístění měřících bodů na hlavním motoru kopačky na výhozu mláta.

Měření jednoho místa v horizontálním i vertikálním směru je použito pouze u klíčových strojů nebo při speciálním měření například seřízení spojky. Většinou používáme základní systém měření, že první bod B1 (B-bearing) je umístěn u vrtule motoru v radiálním směru a

druhý bod B2 je použitý u hřídele motoru v radiálním směru. Dle důležitosti, kapacity či jiných parametrů je osazen B2 AX, který je umístěn u bodu B2, ale v axiálním směru. Následují měřicí body B3, B4, atd., které mají umístění na další části ústrojí, například čerpadlo (Obr 5.2) nebo převodovka (Obr. 5.3).



Obr.5.2 Umístění měřících bodů na čerpadle teplé vody na CKT GA



Obr.5.3 Umístění měřících bodů na čerpadle ze rmutovací kádě do scezovací kádě Varna GA

Idea stejné filosofie osazování měřících bodů je výhodná pro všechny dotyčné diagnostiky i pochůzkáře. Rychlost a jasná orientace při jakémkoliv problému v praxi, například při odstranění popisu měřícího bodu nebo dokonce odstranění samotného měřícího bodu.

Osazení motoru je celkem jednoduchým úkolem. Jsou ale soustrojí či kompresory, které bez technické dokumentace nelze osadit, proto je znalost čtení technických výkresů nedílnou

nutností znalostí diagnostika, jak při osazování, tak i při vyhodnocení naměřených dat.

Měřicí body jsou osazovány také pro správnou opakovatelnost měření. Výběr vhodného místa, osazení měřicí podložky, zaručuje stejné měřicí místo i ostatní podmínky při preventivním opakovaném měření.

Měřicí podložky jsou vyráběné z nerezové magnetické oceli. Používáme podložky plné, se závitem nebo zvýšené (Obr. 5.4).



Obr. 5.4 Podložky pro měřicí body

Měření je prováděno silným magnetem s akcelerometrem, který se opatrně přikládá na připravenou podložku. Upevnění akcelerometrů je důležité z hlediska frekvenční charakteristiky (Obr. 4.7).

Pochůzkové měření je řešeno magnetem, ale pokud je měřicí místo osazené akcelerometrem, použije se podložka se závitem a spojení je šroubové.

Nalepená podložka představuje ideální plochu pro snímání potřebných dat. V tomto případě je nutné připomenout důležitou podmínku. Čistá plocha podložky a správné měřicí místo jsou výchozími body správného měření.

Pokud je nalepená měřicí podložka a popřípadě popsané měřicí místo, je patrné, že tato oblast se používá k nějakým konkrétním účelům. Tímto je zaručeno, že další možné použití tohoto prostoru bude přesunuto nebo konzultováno s odpovědným pracovníkem provozu.

Na přichycení měřicí podložky se používá dvousložkové lepidlo na bázi kovu, které je rychletvrdnoucí (Obr. 5.7.). Spoj musí být kvalitní, jelikož nese váhu snímače a také odolává vibračním silám měřené části zařízení.



Obr. 5.5 a 6 Snímač se šroubem a podložkou



Obr. 5.7 Dvousložkové lepidlo pro lepení měřících bodů

5.2 Snímač vibrací

Volba snímačů je mezi střížným piezoelektrickým snímačem a tlačným piezoelektrickým snímačem. Střížný snímač je lepší a přesnější, ale zároveň je jeho cena vysoká, z toho důvodu používáme tlačný piezoelektrický snímač. Na přiloženém snímku lze porovnat nový akcelerometr a vadný rozříznutý snímač (Obr. 5.8.). Rozsah tlačných snímačů neboli vlastní frekvence těchto snímačů je 12 kHz.



Obr. 5.7,8,9 Snímač a rozříznutý snímač.

Snímač obsahuje piezoelektrický článek, který reaguje na tlakovou změnu. Tím mění svůj náboj, který se převádí na napětovou hladinu. Převod náboje je důležitý z hlediska přenosu informací na větší vzdálenost.

Akcelerometr představuje vlastně víceúčelové zařízení, které zajistí měření rychlosti, zrychlení i fáze s velmi velkou spolehlivostí.

5.3 Konektor pro snímače vibrací

Používáme konektor CF-D2J-250, který je odolný proti silnému vibračnímu i dynamickému zatížení. I přesto, že konektor je konstruován do extrémních podmínek, je tato součást nejvíce poruchovou částí na celém hardwaru používaném při vibrodiagnostickém měření.



Obr. 5.10 a 11 Rozdělený konektor a konektor sestavený

5.4 Přístroje pro snímání vibrací

Vibrodiagnostika v Plzeňském Prazdroji a.s. se provádí od roku 2000. Od samého začátku spolupracujeme s firmou Adash a jejími produkty. Základní rozdělení je měření on-line a měření off-line.

5.4.1 Měření on-line

Měření on-line je charakteristické u klíčových zařízení. U těchto strojů je důležité mít informace o stavu a chodu. Při neplánované odstávce zařízení by došlo k zastavení nebo výraznému zpomalení výroby, která by znamenala výraznou ztrátu.

V Plzeňském Prazdroji a.s. je nainstalováno 20 on-line měření na 17 zařízeních, které snímají informace o stavu a posílají je na centrální server. Přehled on-line měřících bodů je uveden v tabulce (Tab. 5.1).

Varna GA	Hydrostál - Mladinové čerpadlo
CKT GA	Odstředivky
Sladovna	Hvozdový ventilátor č.1
Sladovna	Hvozdový ventilátor č.2
Sladovna	Hvozdový ventilátor č.3
Varna PU	Šrotovník nový
Varna PU	Šrotovník starý
Varna GA	Šrotovník
Simonazzi	Vkladač
Simonazzi	Vykladač
KEG	Plnič, hlavní mytí, předmytí
Centrální stáčírna	Kombi - plnič plechovek
Centrální stáčírna	RB
Centrální stáčírna	PET - linka
Centrální stáčírna	Kompresor pro PET linku
Energetika PU	Kompresory NH3
Energetika GA	Kompresory NH3

Tab. 5.1 Seznam on-line měření v Plzeňském Prazdroji

5.4.2 Měření off-line

Měření off-line se používá jako nejčastější sběr dat, které se zaznamenávají na specializované přístroje. Samozřejmě i v této oblasti je patrný vývoj měřících přístrojů, který směřuje k rychlejšímu sběru, větší paměti a vyššímu uživatelskému komfortu.

V začátcích byl používán přístroj A4101, který se i v současné době používá pro základní pochůzková měření. Přístroj umí pouze základní RMS měření a má velmi omezenou paměť, pro měření spektra a časového záznamu bylo nutné speciální rozšíření, avšak pro pochůzková měření je velmi vhodný. Základní vlastnosti přístroje:

- Základní měření
- Omezená paměť
- Malý display
- Není možno měřit pomaloběžné stroje
- Větší pravděpodobnost poruchy (2 přístroje v poslední době)
- Častější oprava kabelů
- Delší doba měření



Obr. 5.12 Měřicí přístroj A4101 [8]

Nástupce základního přístroje byl A4300-VA3, který byl v té době opravdovým krokem **vpřed**. Přístroj byl pro vibrodiagnostiku naprosto dostačující. Základní vlastnosti přístroje:

- Pokročilé měření
- Velká paměť
- Malý display
- Delší doba měření
- Základní cena je pouze přístroj bez speciálních měření (ACMT, vyvažování, měření otáček, atd.)
- Nemožnost 2 měření za sebou bez přemazání dat
- Databáze je pouze v PC



Obr. 5.13 Měřicí přístroj A4300-VA3 [8]

V současné době používáme přístroj A4400-VA4 Pro, který je pro naše požadavky měření naprosto ideální. Díky tomuto přístroji jsme rozšířili naše schopnosti diagnostického zásahu a máme možnost s jedním přístrojem určovat více informací o diagnostikovaném zařízení. Velkou výhodou při hledání problémů je možnost nahrání celého záznamu z měřícího místa. Záznam je možné elektronicky poslat komukoliv. Informace v záznamu jsou komplexní a nejsou potlačené nebo utlumené. Jednotlivé spektra, časové záznamy nebo obálky jsou neporušeny a záleží pouze na zkušenosti vyhodnocovacího technika, které informace si vybere pro diagnostiku.

Základní vlastnosti přístroje:

- Pokročilé měření
- Velká paměť
- Velký display
- Doba měření je zkrácena 3x při krátkém měření a 7x při dlouhém měření
- Základní cena přístroje je stejná jako VA3
- Data mohou být stahována bez omezení, protože přístroj má harddisk – velký manipulační prostor pro data
- Databáze je možno používat uvnitř přístroje



Obr. 5.14 Měřicí přístroj A4400-VA4 [8]

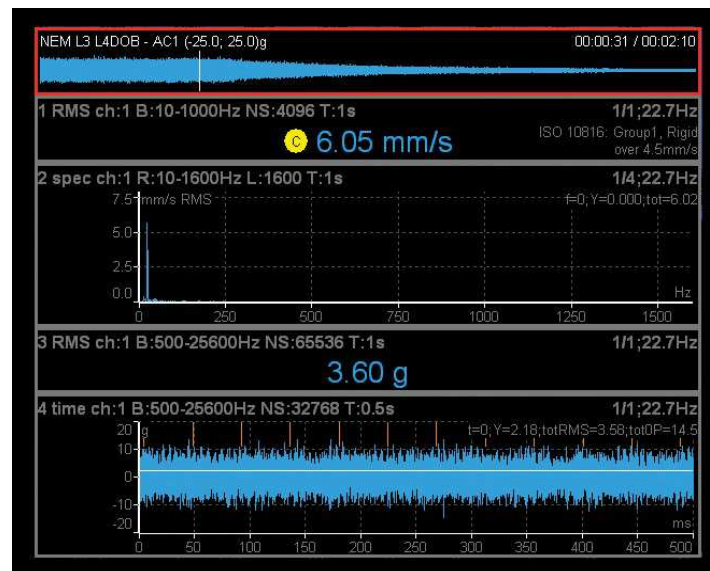


Obr. 5.15 Měřicí přístroj A4400-VA4 - pohled shora [8]

PARAMETRY VA4	
Vstupní kanály	4 AC, ICP napájení (0/1) 4 DC pro procesní veličiny 1 TACHO pro externí spouštění
Vstupní rozsah	AC +/- 12V špička-špička DC +/- 24V
Dynamický rozsah	120 dB
Frekvenční rozsah	max 90 kHz (1 Ch, 196 kHz vzorkování) max 25 kHz (4 Ch, 64 kHz vzorkování) min 25 Hz (4 Ch, 64 Hz vzorkování)
Způsob vzorkování	plně synchronní pro 4 kanály
Rozlišení FFT:	min 100 čar max 3 276 800 čar
Módy měření	Analyzátor - analytická měření Sběrač dat - měření pochůzky Vyvažování - provozní vyvažování strojů Rozběhy/Doběhy Rekordér - nahrávání signálů Stetoskop - poslech vibračního signálu FASIT - expertní systém pro detekci poruch Oktávová analýza - akustická měření Rázový test - Bump test
Procesor	Intel Atom 1,6 GHz
Paměť. Pochůzka	120 GB, max 4 GB pro jednu pochůzku, počet pochůzek je limitován pouze volnou pamětí
Zpracování dat	FFT v reálném čase DEMODO - ENVELOPE analýza ACMT - analýza pomaloběžných ložisek Řádová analýza Uživatelská definice pásem Měření RPM Měření DC (procesních veličin) Měření orbit
Rekordér signálu	Vzorkovací frekvence 64 kHz 4 Ch - spotřeba paměti 3 GB/hod 4 Ch celková doba nahrávání - 35 hod
Rozhraní	USB
Provozní teplota	-10°C až +50°C
Pouzdro	Hliníkové odolné
Rozměry	230 x 140 x 60 mm
Váha	2200 g

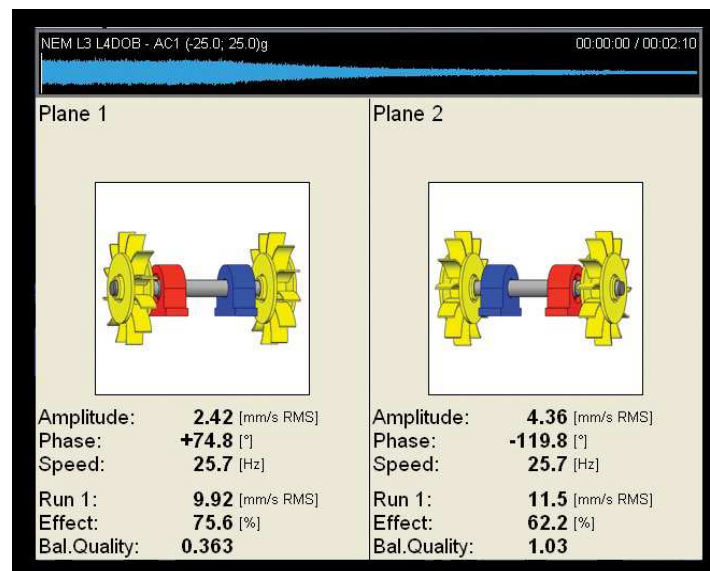
Tab. 5.2 Parametry VA4 [8]

Analyzátor umožňuje čtyř kanálové simultánní měření, které je vizualizováno na displeji a ukládáno do paměti.



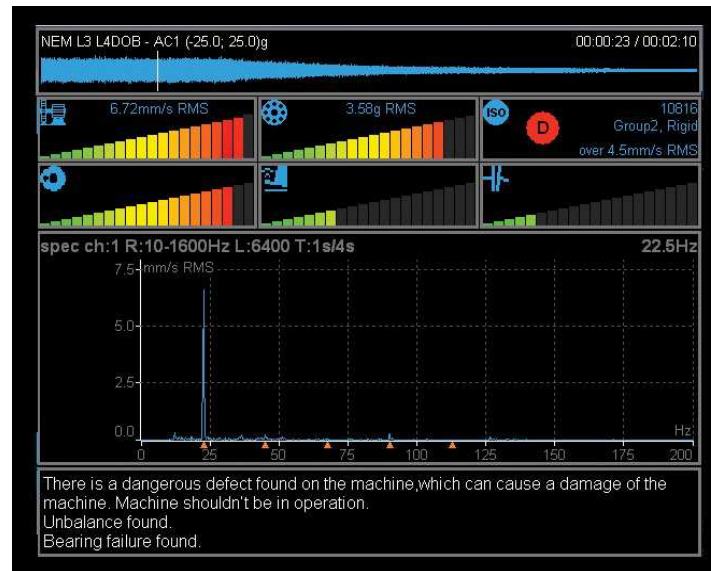
Obr. 5.16 Vizualizace měření VA4 – 4 rozdílná měření [8]

Přístroj má vlastní software pro vyvažování. Program je vytvořen jako průvodce a jednotlivé kroky jsou postupně zadávány do vyvažovacího procesu.



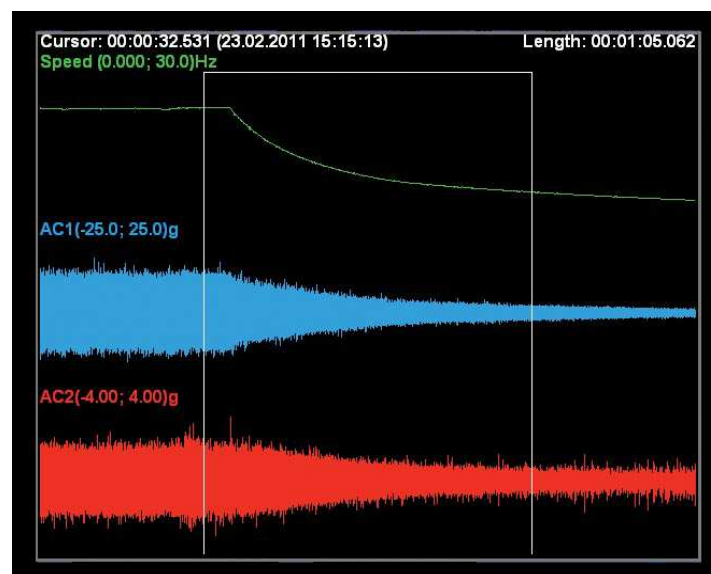
Obr. 5.17 Vizualizace měření VA4 – vyvažování [8]

Další možností přístroje je expertní systém, který umožňuje automatickou detekci poruchy a udělá vizualizaci na displeji. Vizualizace využívá možnosti semaforového efektu, kde zelená je dobře, žlutá znamená hodnoty přesahující povolené limity a červená varuje před problémem.



Obr. 5.18 Vizualizace měření VA4 – automatická detekce poruchy [8]

Rekordér má možnost záznamu 4 kanálů na paměťové zařízení. Délka představuje cca 35 hodin záznamu. Záznam je ideální pro začátečníky nebo při složitějších problémech, protože je možné nahrání měřících bodů do paměti zařízení. Poté se tento signál odesílá specialistovi, kdekoliv přes internetová uložení. Specialista má k dispozici celé konkrétní měření. Veškeré nezakreslené informace a proto může poskytnout patřičné informace o daném zařízení.



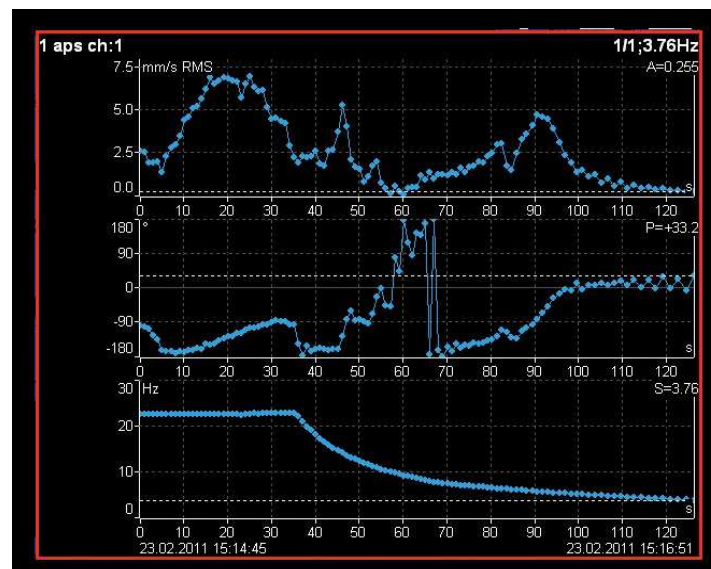
Obr. 5.19 Vizualizace měření VA4 – rekordér [8]

Pochůzkový systém, který komunikuje s vyhodnocovacím softwarem DDS 2011, nainstalovaný na našem PC.



Obr. 5.20 Vizualizace měření VA4 – pochůzka [8]

Záznam a informace na displeji jsou přizpůsobeny pro rozběhy a doběhy pohonů, motorů, převodovek, čerpadel atd. Používá se například při diagnostice rotorů, hřídelí nebo spojek.



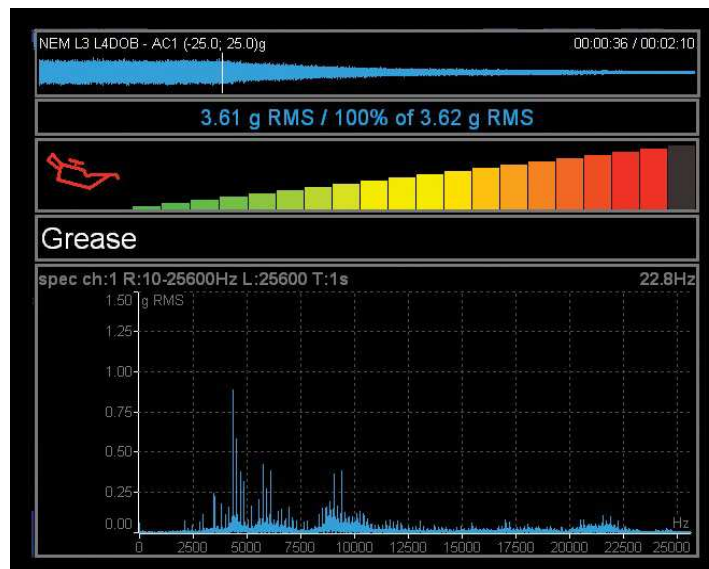
Obr. 5.21 Vizualizace měření VA4 – rozběh a doběh [8]

Poslech signálu umožňuje stetoskop. Využití není jenom ve vibrační diagnostice, ale také například při kontrole kondenzátních odvaděčů při jejich správné funkčnosti.



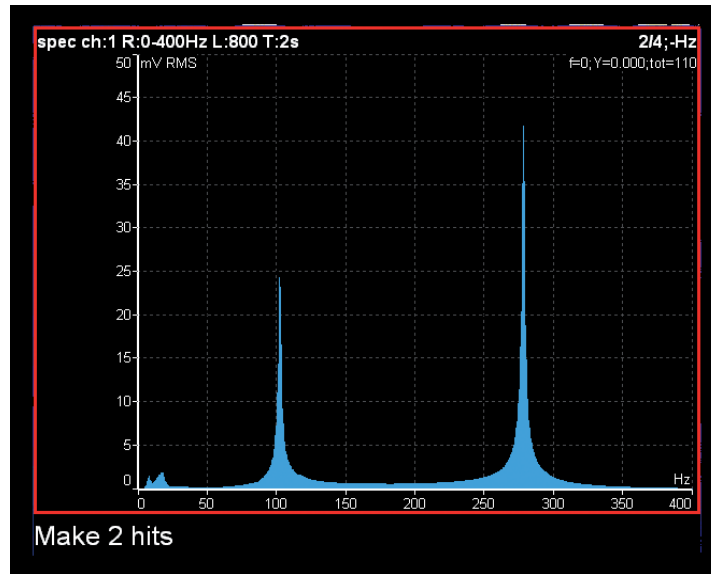
Obr. 5.22 Vizualizace měření VA4 – stetoskop [8]

Detekce stavu ložiska a jeho mazání je zastoupena funkcí lubri. Pokud je potřeba mazání ložiska, využívá se tato funkce. Mazací tuk je pod tlakem zaváděn přes maznici do ložiska a v okamžiku kdy tuk dorazí do ložiska, signál poklesne. Tímto je eliminováno přemazání nebo nedomazání požadované části soustrojí.



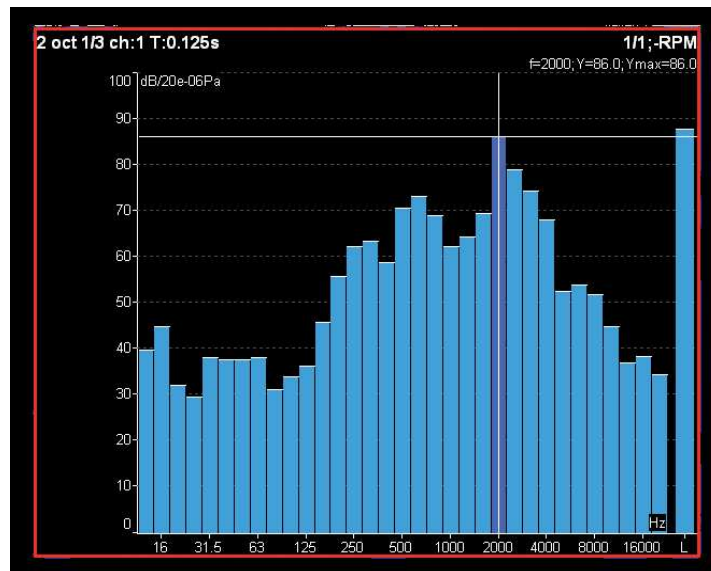
Obr. 5.23 Vizualizace měření VA4 – lubri [8]

Rázový test je další funkcí pro lepší diagnostiku soustrojí. Používá se například při hledání špatného uchycení podesty soustrojí.



Obr. 5.24 Vizualizace měření VA4 – rázový test [8]

Poslední funkce přístroje je oktávová analýza



Obr. 5.25 Vizualizace měření VA4 – oktávová analýza [8]

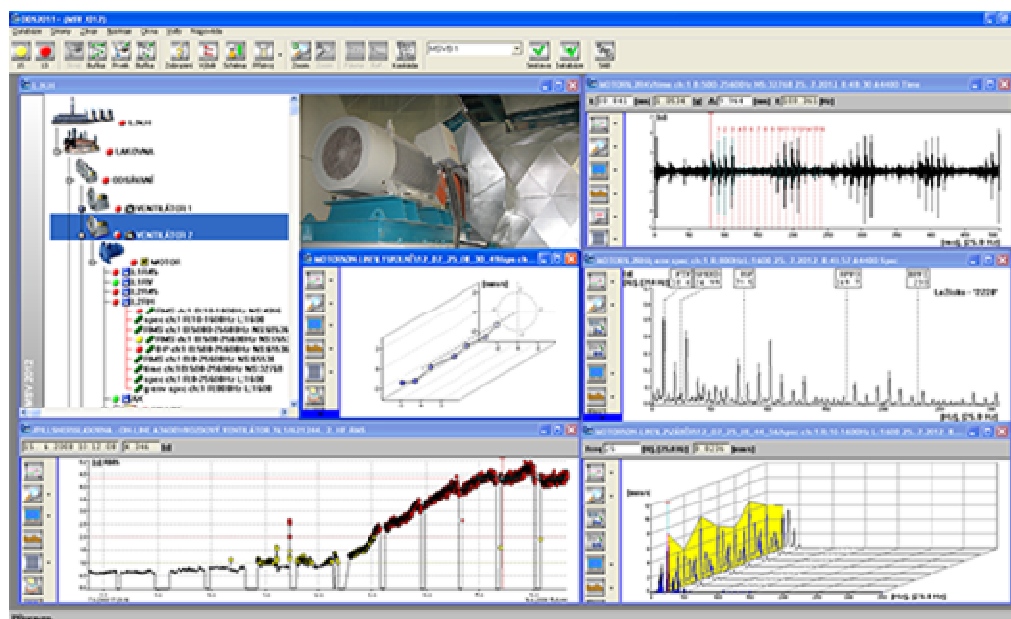
5.5 Vyhodnocení naměřených dat

Z měřicího místa jsme zaznamenali potřebná data a nyní je musíme správně diagnostikovat. První možností je využití přístroje VA4 a jeho velkého přehledného displeje. Můžeme si zvolit potřebné parametry, které chceme sledovat. Rozsahy, kmitočty, rozsah vzorkování, způsob měření a jiné pro nás důležité parametry v daném okamžiku a v dané situaci (Tab. 5.2).

Používaná měření	Staré značení	Nové značení	Jednotky	Poznámky
Statické efektivní hodnoty v pásmu 0-1,6 kHz	LF-RMS	ISO RMS	[mm/s]	První měření jsou v pásmu 0-1 kHz
Statické efektivní hodnoty v pásmu 5-25kHz	HF-RMS	Bearing RMS	[mm/s ⁻²] [g]	
Statické efektivní hodnoty v pásmu 0,5-25 kHz		L-Bearing RMS	[mm/s ⁻²] [g]	
Statické špičkové hodnoty v pásmu 0,5-25 kHz	HF-PEAK	L-Bearing PEAK	[mm/s ⁻²] [g]	HF-PEAK měřil v rozsahu 5-16 kHz
Statické efektivní hodnoty v pásmu 0-25 kHz	LIN-RMS	OverAll	[mm/s ⁻²] [g]	
Časový záznam	HF-TIME	Time L-Bearing	[mm/s ⁻²] [g]	Dle předem nastavených parametrů
Časový záznam s možností nastavení délky záznamu i vzorkovací frekvence		ACMT	[mm/s ⁻²] [g]	Nová metoda měření pro pomaloběžné stroje, k dispozici pouze v některých měřicích přístrojích
Spektrum 0-1,6 kHz	LF-SPEC	Spec ISO	[mm/s]	První měření jsou v pásmu 0-1 kHz
Spektrum 0-25 kHz	LIN-SPEC	Spec overall	[mm/s ⁻²] [g]	
Obálka 0-800 HZ	ENV-SPEC	Spec ENV	[mm/s ⁻²] [g]	

Tab 5.3 Používaná měření, značení a dané jednotky

Jedno z diagnostických pravidel však říká, že informace je důležité zaznamenat a pokud možno měření opakovat, pro zaznamenání vývoje hodnot na daném zařízení. K tomuto účelu používáme software DDS 2011. Software pracuje na našem PC a data jsou uložena na serveru. Máme zakoupené dvě licence a proto je program používán pouze na dvou PC stanicích. Program umožňuje přístup na uložená data a také samozřejmě jejich vyhodnocení v jednotlivých daných parametrech.

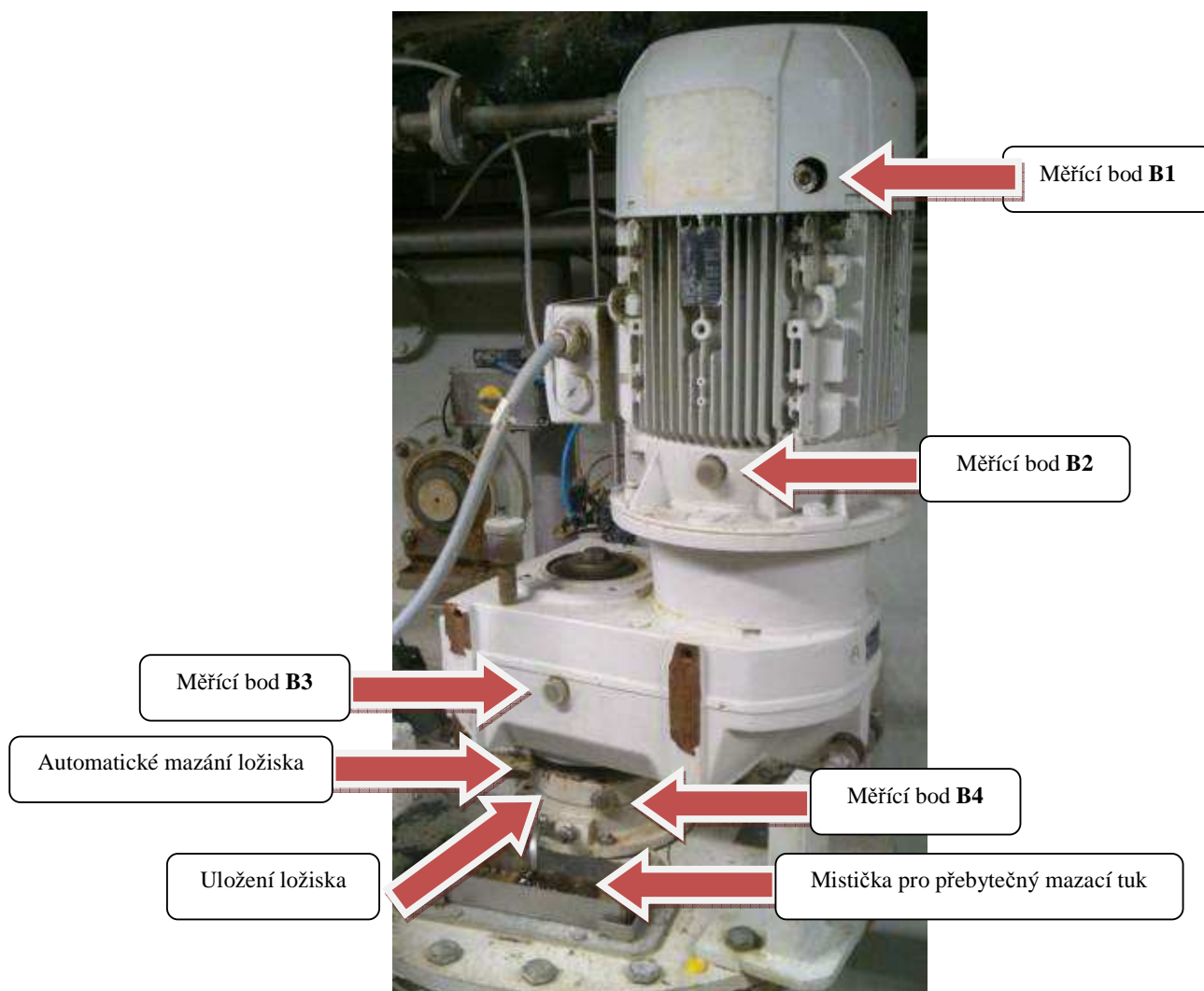


Obr. 5.26 SW pro vyhodnocování - DDS 2011 [8]

6 Vibrodiagnostika v praxi

Praktické příklady z vibrační diagnostiky, které byly podchyceny a je možné dokladovat všechny podrobnosti a doložit jednotlivé důkazy, jako například: data, protokoly, foto atd. Vzhledem k rozsáhlosti vibrační diagnostiky nejsou uvedeny a popsány všechny problematické oblasti, ale jsou vybrány příklady z praxe, které byly zajímavé z diagnostického hlediska. Měřené oblasti, spektra, časové záznamy a ostatní používané zkratky či názvosloví jsou definovány v tabulce (Tab. 5.2).

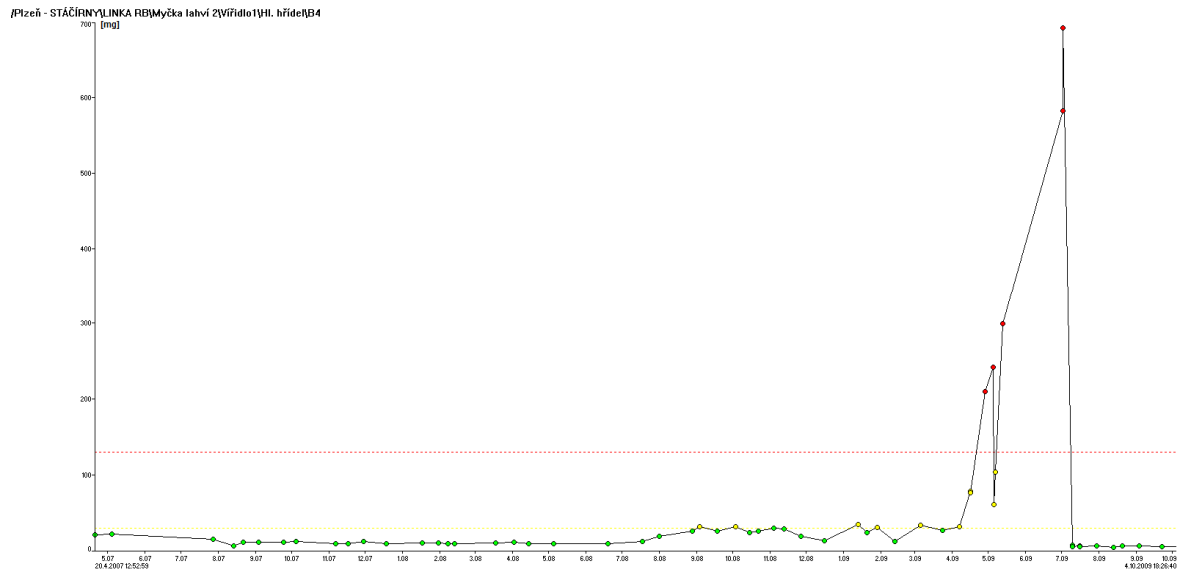
6.1 Výměna ložiska nebyla provedena včas



Obr 6.1 Vřídlo a jeho měřicí body

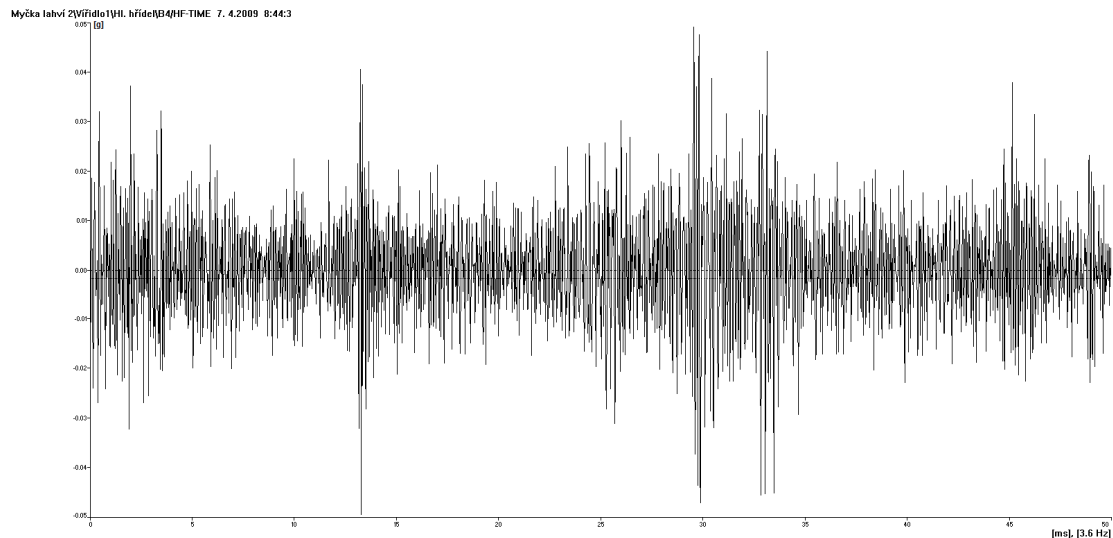
Vířidlo je zařízení, které je umístěné na myčce lahví a má za úkol promíchávat sanitační prostředky. Důležité parametry motoru a převodovky jsou: výkon 11 kW a 1470 ot/min, převodovka má výstup - 224 ot/min. Zde je prováděno pochůzkové měření, které se skládá z měření motoru, převodovky a hlavního ložiska na které je zavěšena hřídel (Obr. 6.1).

Pravidelným měřením byly zaznamenány vyšší statické HF-RMS hodnoty na měřicím bodě B4, které jsou měřeny v g (Obr. 6.2).



Obr 6.2 Měřicí bod B4 – Statická hodnota HF RMS ve frekvenčním pásmu 5kHz-16kHz, měřeno v mg

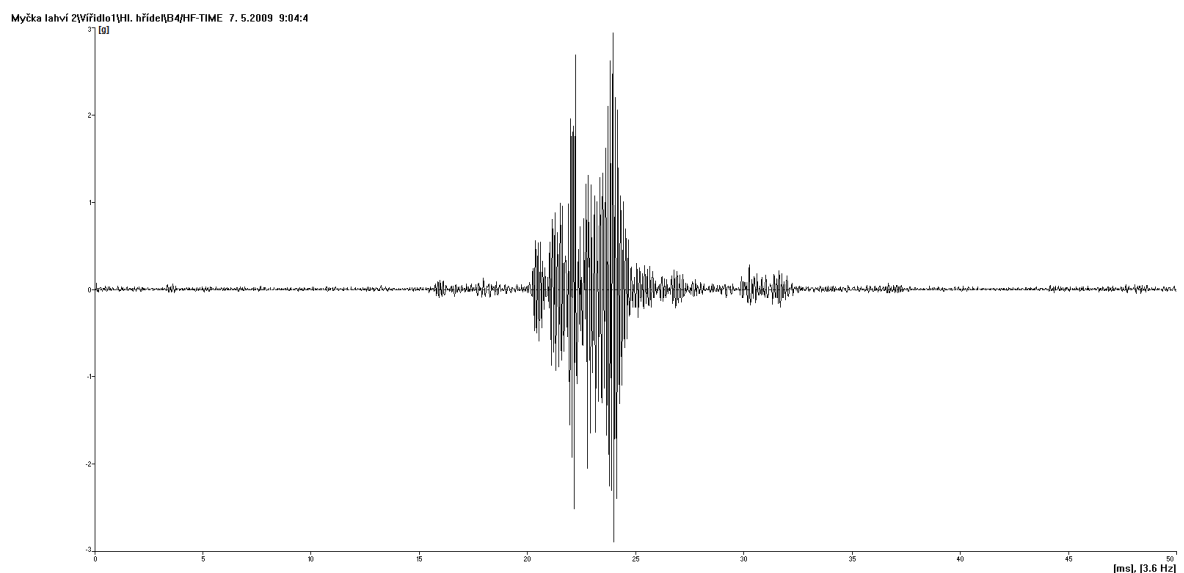
Bylo provedeno důkladné měření na všech měřicích bodech a to: časový záznam, měření spektra 0-1,6 kHz a spektra 0-16 kHz. Ve spektrálním měření nebylo zaznamenáno žádné hodnotové navýšení, ani další změny proti minulému měření. Problém se ukázkově projevil v časovém záznamu, kde naměřený impulz potvrzuje problém na ložisku. Na (Obr.6.3) je časový záznam z posledního měření před poruchou a obr.6.4 ukazuje rázové pulzy na již poškozeném ložisku.



Obr 6.3 Měřicí bod B4 – časový záznam před poruchou – jednotky g

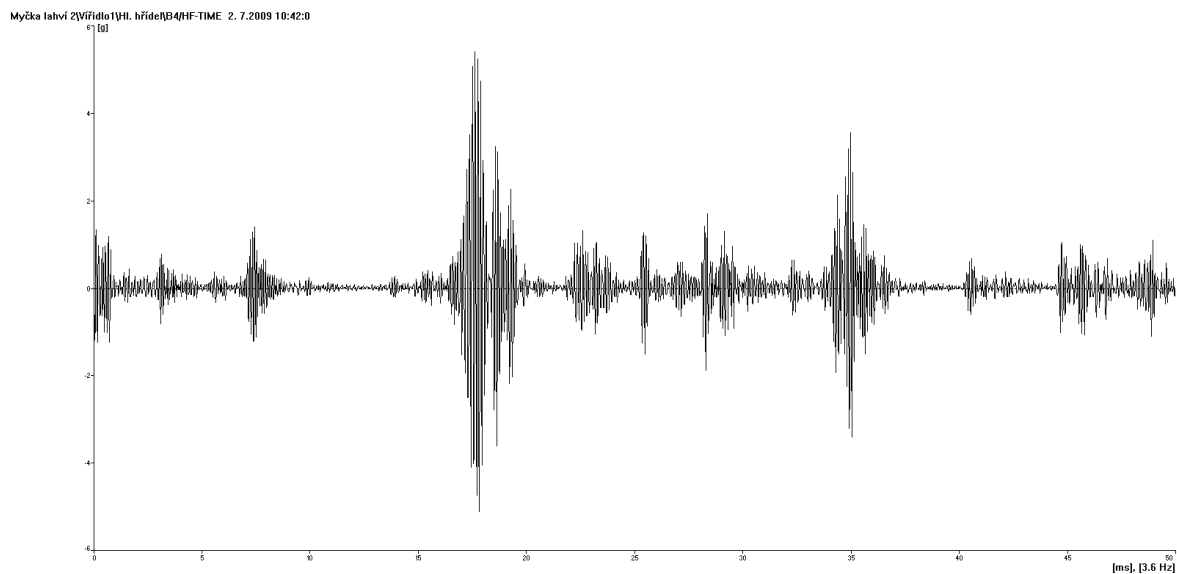
Hned po zjištění problému, byl napsán report a bylo provedeno hlášení o stavu ložiska a žádostí naplánování jeho výměny, v co nejdříve možný vhodný naplánovaný odstávkový termín.

Rozsah poškození ložiska se dá určit i velikostí g v časovém záznamu, kdy špičková hodnota zdravého ložiska je kolem 0,05g a poškozené ložisko má hodnotu špičky kolem 3g. Nárůst hodnoty v časovém záznamu ukazuje na problém uvnitř ložiska, konkrétně na kuličky v ložisku. Pokud by problém byl na vnějším nebo vnitřním kroužku ložiska, naměřím opakovací frekvenci v obálce, což je zobrazení harmonických frekvencí vyjádřených z časového záznamu.



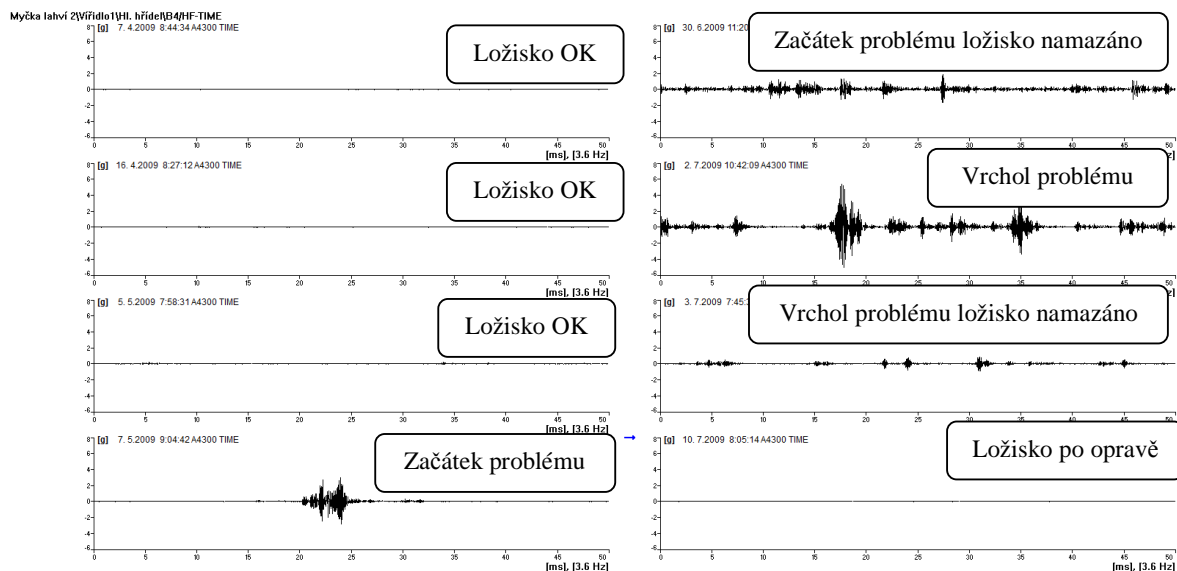
Obr 6.4 Měřicí bod B4 – časový záznam při poruše – jednotky g

Časový záznam na (Obr.6.5) je z posledního prováděného měření. Velikost časového záznamu ve špičkové oblasti dosahovala 6g. V této době již bylo ložisko slyšitelné i pro obsluhu a mistra výroby.



Obr 6.5 Měřící bod B4 – časový záznam při havárii – jednotky g

Pro lepší přehled je časový záznam převeden do dlaždicového zpracování. V této vizualizaci se lépe ukáže problém, který postupně gradoval a také je vidět naměřené hodnoty při měření po namazaném ložisku.



Obr 6.6 Měřící bod B4 – vývoj časových záznamů – jednotky g

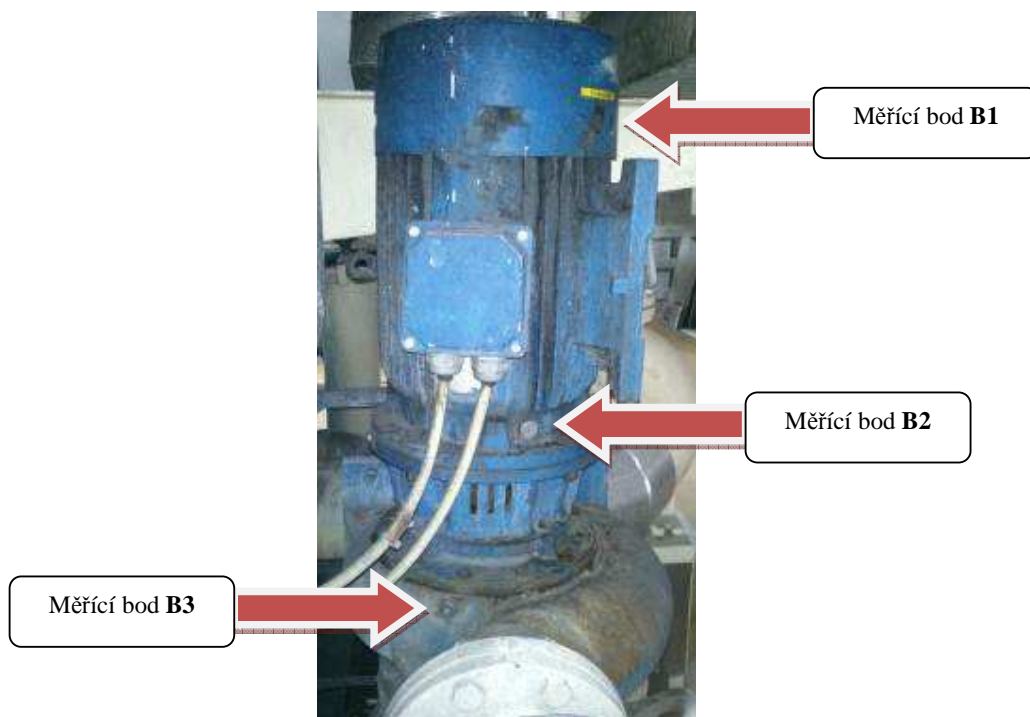
**Obr.6:7** Ložisko z vířidla**Obr.6.8** Kuličky z ložiska

Ložisko nešlo vyměnit, protože byla nutná příprava lešení pro zavěšení čtyř metrové hřídele. Bohužel bylo nutné speciální lešení, které bylo třeba vyrobit. Vzhledem k tomu, že nebylo k dispozici lešení, dohodlo se provizorní řešení a to častější a hlavně důkladnější mazání. Doba na výrobu speciálního lešení stačila na to, aby ložisko pro hřídel, bylo definitivně zničeno (Obr. 6.7 a Obr. 6.8).

Životnost ložiska se dá prodloužit vhodným zvýšením mazáním, ale v tomto případě, ani automatické mazání, které je rozvedeno i do tohoto ložiska nepomohlo proti jeho zničení. Vývoj poruchy na točivých strojích je velmi individuální a záleží na okolnostech provozu jednotlivých zařízení. Může se stát, že i včasné varování nemusí být vždy podmínkou dostatečně rychlé výměny nebo opravy zařízení. Příklad zničení ložiska byl pro nás cenný zdroj informací, jak se zachovat a jak rychle reagovat u daného problému.

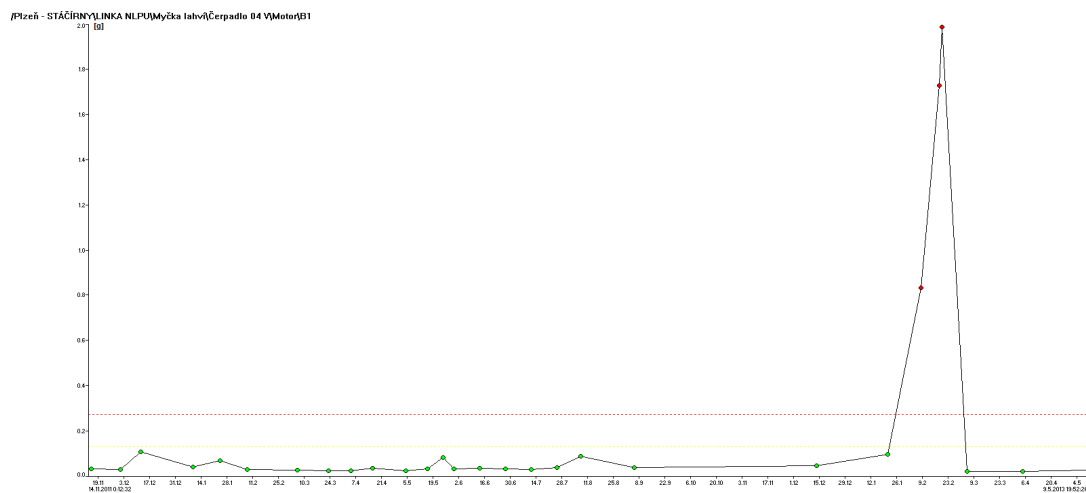
6.2 Ložisko po svařování

Ložisko čerpadla na myčce lahví na stáčírně Simonazzi. Důležité parametry motoru jsou: výkon 18 kW a 1460 ot/min. Na čerpadle se provádí pochůzkové měření, které plánuje plánovač oddělení. Čerpadlo slouží k promíchávání sanitační náplně na myčce lahví Simonazzi, která je určena pro stáčení lahví (Obr. 6.9).



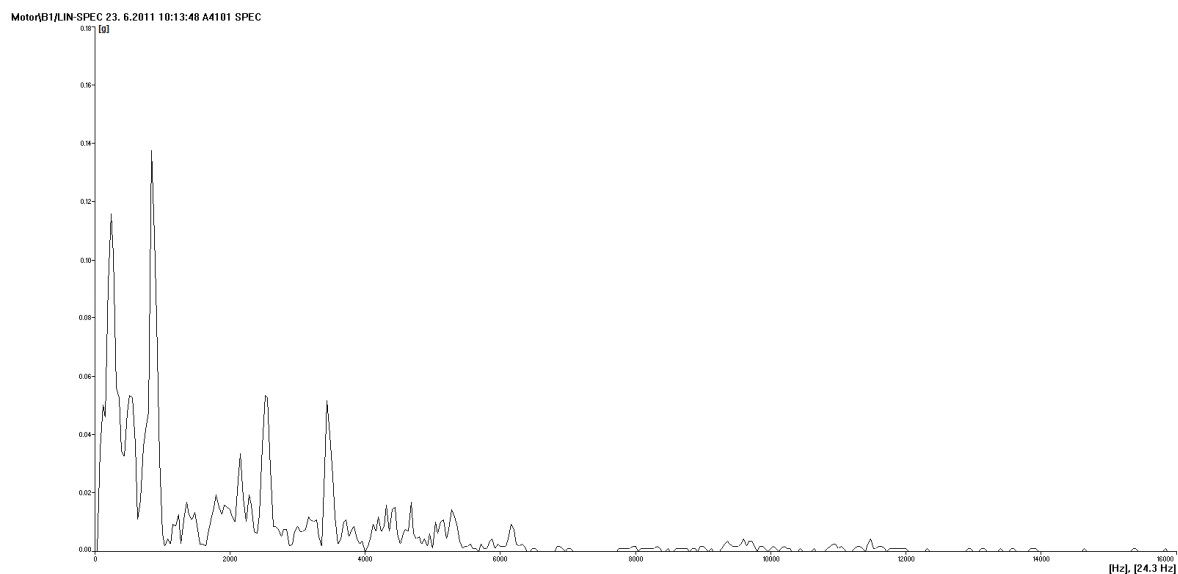
Obr 6.9 Čerpadlo a jeho měřící body

Při pravidelném pochůzkovém měření byl zaznamenán rychlý nárůst v oblasti HF RMS (frekvenční pásmo 5 KHz-16 kHz) (Obr. 6.10).

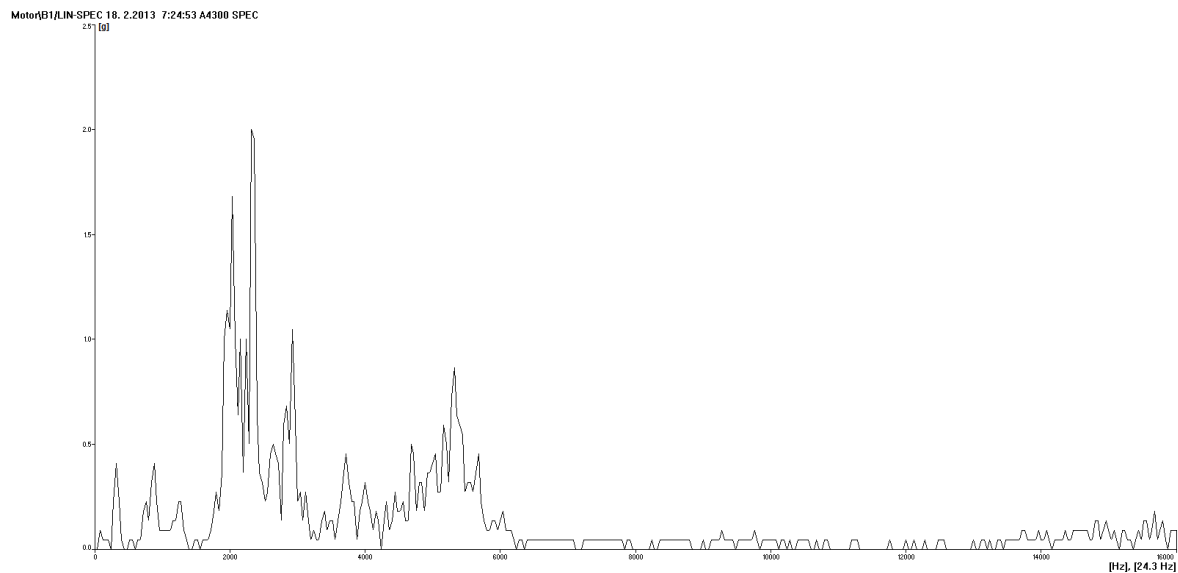


Obr.6.10 Statická hodnota HF RMS ve frekvenčním pásmu 5kHz-16kHz, měřeno v g

Ihned bylo provedeno dlouhé měření všech potřebných parametrů. V ISO spektrálním měření v pásmu 0-1 kHz nebyla zjištěna žádná změna ani viditelný nárůst hodnot. V LIN spektrálním měření v pásmu 0-16 kHz, byl zaznamenán nárůst v oblasti 2 kHz. Pro srovnání spekter před (Obr. 6.11) a v době poruchy (Obr. 6.12).

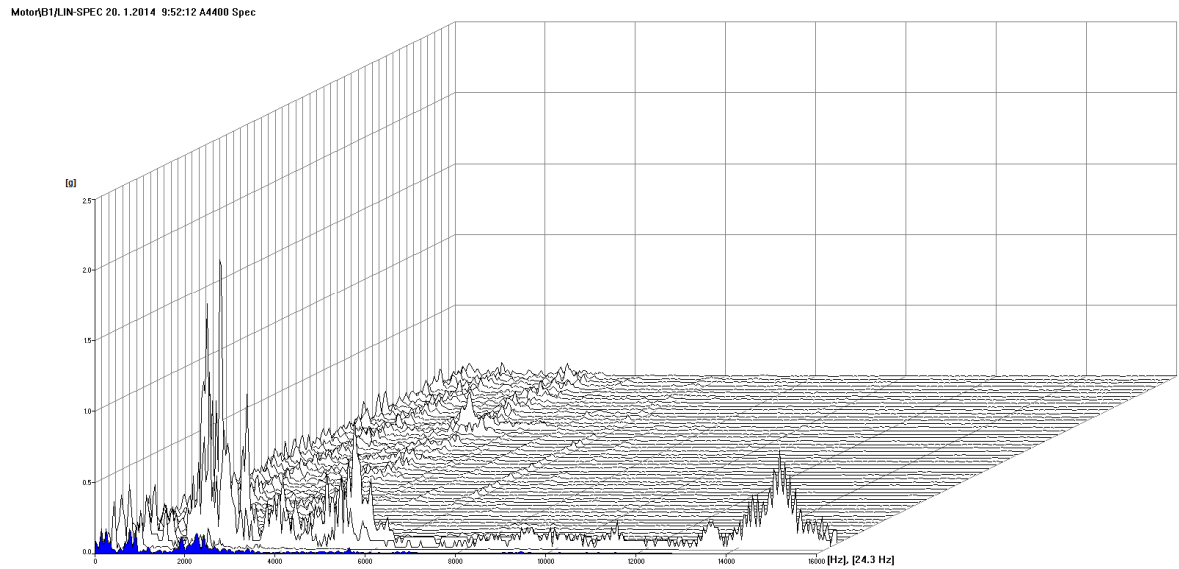


Obr.6.11 Spektrum v rozsahu 0-16 kHz – před poruchou – jednotky g

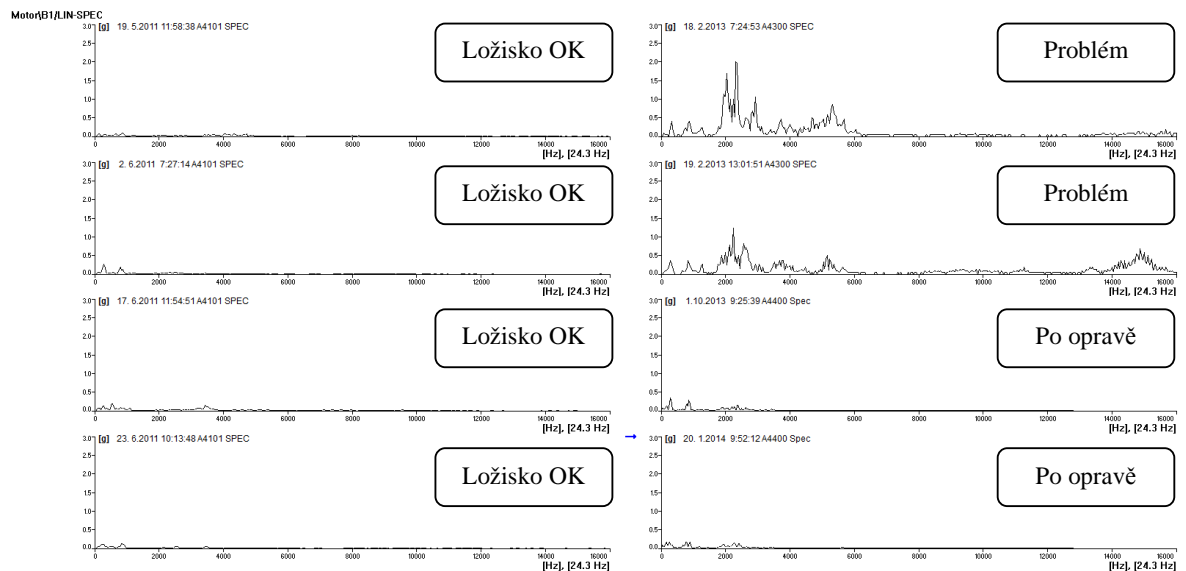


Obr.6.12 Spektrum v rozsahu 0-16 kHz – při poruše – jednotky g

Pro lepší přehled je vytvořena kaskáda měření (Obr.6.13), kdy v zadní části je nejstarší měření a v přední části je vidět nárůst hodnot v oblasti 2 kHz - 6 kHz a problém je i na vysoké frekvenci 15 kHz. Modré spektrum, které je jako první v popředí, znázorňuje měření po opravě (výměně ložisek). Dlaždicové spektrum je na (Obr.6.14).

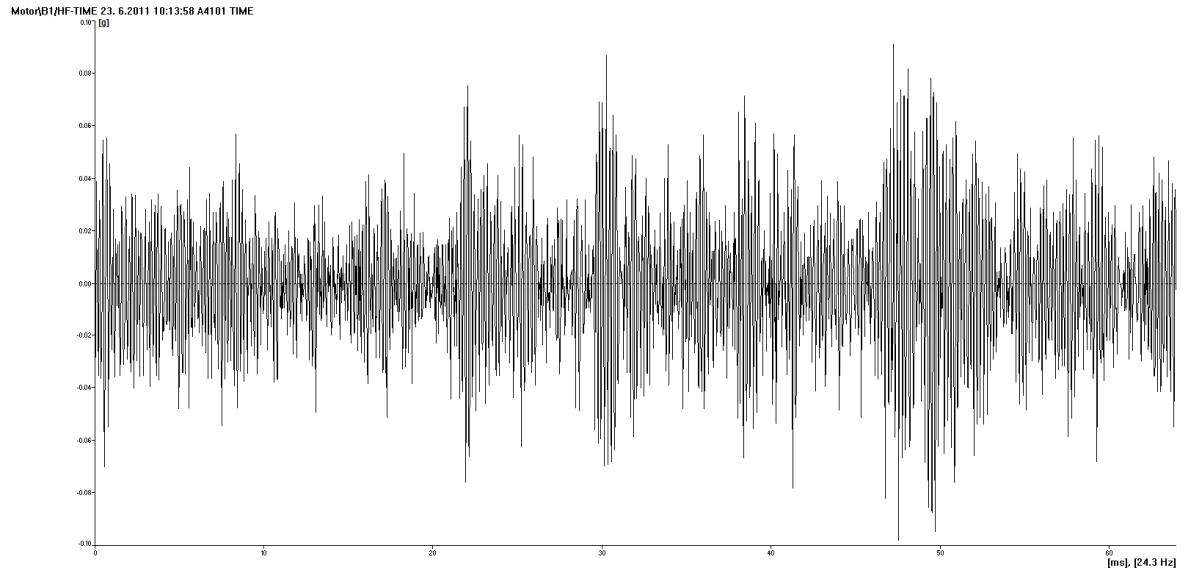


Obr.6.13 Spektrum v rozsahu 0-16 kHz – přehled měřených spekter kaskáda jednotky g

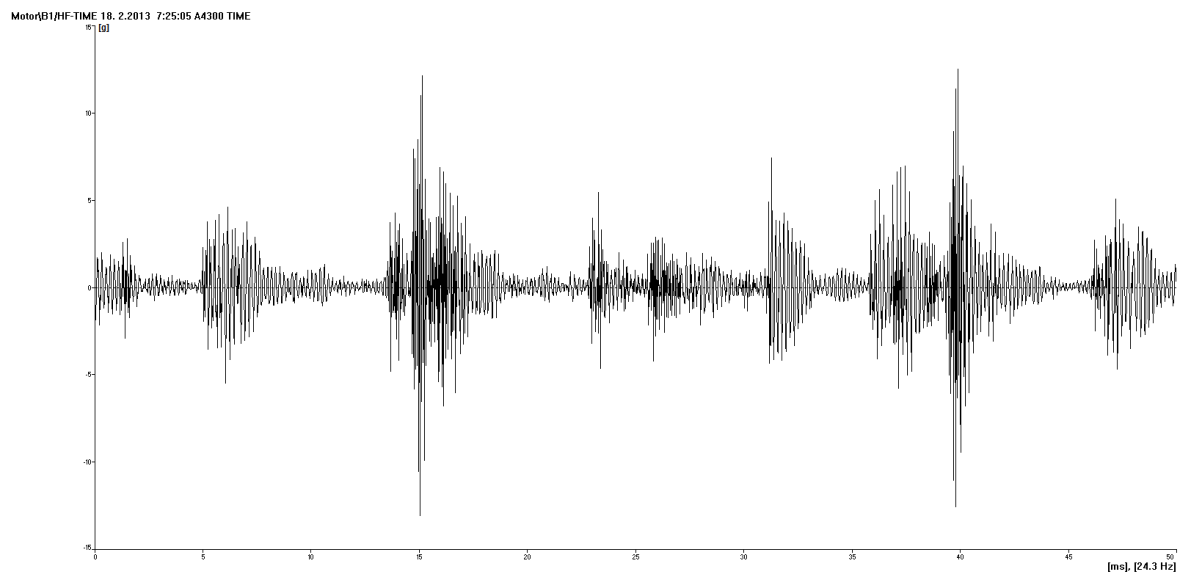


Obr.6.14 Spektrum v rozsahu 0-16 kHz – přehled měřených spekter dlaždice jednotky g

Nárůst byl zachycen i v časovém záznamu, kde se potvrdilo poškození ložiska v plném rozsahu. Časový záznam před poruchou ložiska (Obr.6.15) a časový záznam při poruše ložiska (Obr.6.16).

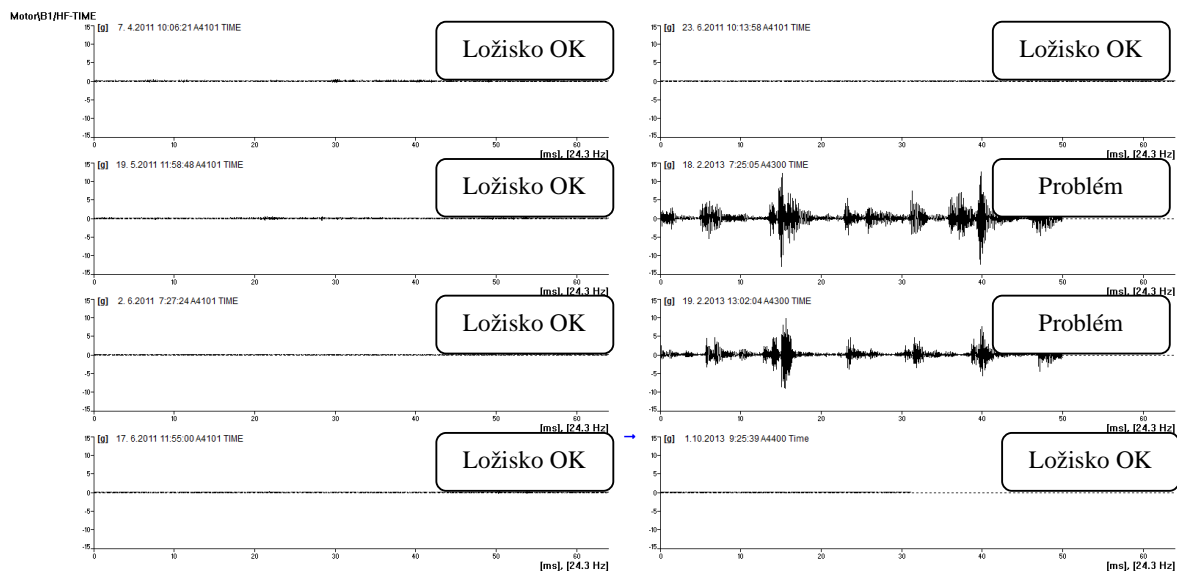


Obr.6.15 Měřící bod B1 – časový záznam před poruchou – jednotky g



Obr.6.16 Měřící bod B1 – časový záznam při poruše – jednotky g

Dlaždicový pohled na vývoj situace v měření v časovém záznamu.(Obr.6.17).



Obr.6.17 Měřící bod B1 – časový záznam před a po poruše – jednotky g

Velmi rychlý nárůst hodnot, po delším odstávce zařízení. Takto rychlé poškození ložiska je dosti nepravděpodobné, a proto ložisko bylo podrobena důkladnému prozkoumání. Po vyndání klece a důkladnému vyčištění ložiska od mazacích prostředků bylo jasné, že poškození bylo způsobeno neodborným zásahem při odstávce zařízení, způsobené při montáži nového potrubního rozvodu. Točivá soustrojí jsou osazená na všech, pro technologii důležitých pozicích. Při montáži, opravě nebo jiném zásahu na technologii, je důležitá příprava, znalost a dodržování plánovaných postupů. Poškození vzniklo při montáži nového potrubního rozvodu, kde nebyl dodržen technologický postup při svařování. Tavicí elektroda uzavírá oblouk na svařovaném místě a zemnicí elektroda je přiložena co nejbližší svařovanému místu tak, aby tekoucí proud nepoškodil okolní elektronické přístroje či jiné zařízení. V tomto případě elektroda nebyla připojena co nejbližší svařovanému místu, a tudíž proud při svařování si našel vodivé spojení přes ložisko v motoru (Obr. 6.18).



Obr.6.18 Vnější kroužek, kulička a vnitřní kroužek poškozeného ložiska

7 Faktory ovlivňující vibrodiagnostické měření

Diagnostika pracuje s daty, která jsou předem definována. Pokud jsou data zkreslená či jiným způsobem zdeformovaná, je vyhodnocování nepřesné nebo chybné. Proto je potřeba se o diagnostické součásti starat, kontrolovat, chránit, nebo pokud je to nezbytné, tak i opravovat či vyměňovat.

7.1 Vliv prostředí

Důležitým faktorem technické diagnostiky je prostředí, které působí na jednotlivé dílčí části měřící soustavy. Prostředí je zpravidla definováno na začátku provozování zařízení, ale někdy se může měnit v průběhu provozu, dle jednotlivých požadavků na výrobu. Nejvíce požadavků v potravinářském provozu je kladeno na čistotu vně, ale i uvnitř linky. Úklid je řešen tzv. sanitací, kde se sanitační roztok nanese na potřebné části, nechá se působit a potom se spláchne vodou. Problém je v tom, že sanitační roztoky se připravují z čím dál tím více agresivních chemikálií, mající tendenci vzlínat i do méně zabezpečených míst a delší působení sanitačního roztoku způsobuje problémy. Projevuje se to vizuálně i funkčně na mechanických součástech diagnostiky. V některých případech dochází i ke zničení části z měřící soustavy či měřícího nebo převodního prvku.



Obr.7.1 Nerezová magnetická podložka



Obr.7.2. Podložka po působení sanitace



Obr.7.3. a 7.4. Nerezová magnetická podložka po působení sanitace



Obr.7.5. a 7.6. Konektory po působení sanitací



Obr.7.7. a 7.8. Snímače po vniku sanitace dovnitř



Obr.7.9. Konektory po působení sanitace



Obr7.10 a 7.11. Mechanické poškození kabelu, silikonová ochrana spoje kabel-konektor

7.2 Lidský činitel

Diagnostika je založena na faktech, datech a znalosti daného problému. Bohužel z toho nelze vyloučit i lidský činitel, který pozměňuje nebo dokonce ničí potřebná data. Příkladem toho je neodborná oprava. Motor ze Rmutovací kádě č. 1 na Varně GA byl diagnostikován a poslán do opravy na výměnu ložisek. Po opravě byla provedena zpětná montáž na převodovku, odzkoušen a uveden do běžného provozu. Měřící body byly bez zjevného poškození, a tudíž bylo provedeno vibrodiagnostické měření. Po provedení rozboru dat byl zjištěn velký pokles hodnot, který byl podobný jako při standardním provozu. Na měřícím bodu B1 byl zjištěn abnormální pokles hodnot. Bod B1 je umístěn u chladící vrtule motoru a dokonce pod krytem vrtule, protože musí být co nejbližší ložisku motoru. Po sejmutí krytu byla zjištěna příčina. Měřící podložka byla při výměně ložiska uražena. Technik chtěl

napravit chybu a podložku přilepil silikonem (Obr. 7.12 a Obr. 7.13), bohužel silikon působí tlumícím účinkem při vibracích a proto je velmi nevhodný pro lepení podložek.



Obr..7.12 a 7.13. Měřící podložka po neodborné opravě

Další příklad byl zaznamenán při opravě PET linky, kdy bylo nutné provést zvětšení kanalizace. Stavební úprava byla naplánovaná, ale došlo k jisté časové změně, kdy stavební bourací práce začaly s předstihem. Rozvaděč pro on-line měření má standardní filtr pro normální prostředí, který je standardně osazován do normálního prostředí. Bohužel při bouracích pracích byl vytvořen jemný prach, který pronikl dovnitř do rozvaděče a dokonce dovnitř elektroniky on-line monitorovacího zařízení (Obr.7.14). Po zjištění problému, byl rozvaděč zabezpečen, ale bylo již pozdě. Při čištění a foukání byl zjištěn problém na zdroji PC, který musel být vyměněn.



Obr.7.14 Jemný prach na PC on-linu

Závěr

Úkolem pivovaru je vyrábět pivo a k tomu je potřeba mít k dispozici plynulou, spolehlivou a vždy připravenou výrobní část, která je efektivní a splňuje potřebné nároky na kvalitu i kvantitu. K údržbě strojního výrobního zařízení je nutné mít v moderní době co nejlepší přehled o jednotlivém zařízení. Speciální stroje pro přípravu surovin, výrobu nebo stáčení vyžadují preventivní, proaktivní a plánované úkony, které je potřeba doplňovat informacemi o daném zařízení. Není možné mít všechny náhradní díly ve skladovém hospodářství a dle potřeby je čerpat, protože peníze uložené v náhradních dílech lze využít jinak a efektivněji. V dnešní době lze dostat dodávky náhradních komponentů v delších časových termínech, protože ani výrobci určité komponenty nemají na skladě, ale vyrábí se při objednávce, tudíž je pro výrobní zařízení důležité mít pravděpodobnostní jistotu chodu stroje v okamžiku, kdy je to potřeba. Diagnostika slouží k optimálnímu řízení skladového hospodářství a zároveň zvyšuje pravděpodobnost správné funkce sledovaného stroje. Tohle funguje pouze při správném nastavení preventivních kontrol, jejich dodržování a v nastavení optimalizovaných časových intervalech. Efektivita vibrodiagnostiky podporovaná a doplňovaná ostatními diagnostickými metodami dosahovala 96 procent. Zbytek nešlo ovlivnit z důvodu neočekávaných a rychlých dějů. V neposlední řadě zvyšuje bezpečnost výroby a snižuje environmentální riziko.

Jednoznačně lze doložit, že diagnostika má pozitivní vliv na výši náhradních dílů a celého skladového hospodářství, ovlivňuje i výši nákladů na prevenci na zařízení a její optimalizaci nebo organizaci. Podporuje plánování výměny klíčových prvků na zařízení, případně plánování při objednání do skladového hospodářství. Vhodně dodržovaná, plánovaná a nastavená diagnostika má pozitivní dopad na výši nákladů pokud vznikne škoda na výrobku nebo dokonce snižuje možnost zastavení výroby a tudíž výpadku produktu na trhu.

Metoda vibrodiagnostiky je metodou nejrozsáhlejší a z našeho pohledu (točivé stroje) nejvíce přínosnou pro plánování oprav a plánování životnosti zařízení. Je osazeno přes 2 300 měřících míst. Doložené výsledky jednoznačně prokázaly úsporu financí, času, energie a posunuly naši společnost na vrchol mezi světové pivovarské, ale i ostatní společnosti.

Na závěr naše pivovarnické

Dej Bůh štěstí!

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BARTOŠ Václav, SKALA Bohumil: *Měření na elektrických strojích*, ZČU Plzeň, Plzeň 2006
- [2] KREIDL Marcel a ŠMÍD Radislav: *Technická diagnostika*, BEN-technická literatura, Praha 2006
- [3] RNDr. SGLUNDA Radomír: *Technická diagnostika příštího tisíciletí*. [online] Odborný článek Adash s.r.o. [cit. 11. 3. 2015], Dostupné z: http://www.adash.cz/doc/ApplicationNotes/system_diagnostiky_cz.pdf
- [4] KREIDL Marcel, *Měření teploty – senzory a měřící obvody*, BEN-technická literatura, Praha 2005
- [5] BLATA, J. *Metody technické diagnostiky*. /Učební text předmětu „Technická diagnostika“ / Ostrava: Vysoká škola báňská, 2011.
- [6] LYSENKO Vladimír: *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. BEN-technická literatura, Praha 2005
- [7] Ing. VDOLEČEK František, CSc.: *Spolehlivost a technická diagnostika*. Skriptum VUT Brno
- [8] Materiály Adash s.r.o. [online], [cit. 12. 11. 2014], dostupné z: http://www.adash.cz/doc/a4400/A4400_VA4_CZ.pdf
- [9] Materiály Zikmund electronics s.r.o. [online], [cit. 3. 8. 2013], <http://www.e-zikmund.cz/produkty.html>
- [10] Materiály Ahlborn měřící a regulační technika s.r.o. [online], [cit. 3. 4. 2015], [http://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/ALMEMA_2014\(2\).pdf](http://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/ALMEMA_2014(2).pdf)