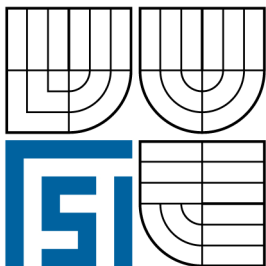


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE**

SOUČASNÝ STAV VIBRODIAGNOSTIKY

PRESENT STATE OF VIBRATION-DIAGNOSTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VERONIKA HAMPLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

ING. DANIEL ZUTH

SUPERVISOR

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Veronika Hamplová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Současný stav vibrodiagnostiky

v anglickém jazyce:

Present State of Vibration-diagnostics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

S rozvojem výpočetní techniky se rozšiřují i možnosti současným měřicím přístrojů. Současné přístroje mohou být výkonnější a zároveň se snižují jejich rozměry a díky této skutečnosti dochází stále více k vývoji přenosných přístrojů. Práce se zaměří na současné nové trendy v oboru vibrodiagnostiky. Zaměří se na vlastnosti současných měřicích přístrojů a také používaných snímačů.

Cíle bakalářské práce:

- Zpracovat problematiku vibrodiagnostiky
- Provést průzkum trhu se zaměřením na nové trendy
- Porovnat principy současných a dřívějších přístrojů
- Porovnat vlastnosti současných přístrojů

Seznam odborné literatury:

- VDOLEČEK, F.: Spolehlivost a technická diagnostika. [Text pro podporu výuky v kombinovaném studiu]. VUT Brno 2002
- KREIDL, M.: Diagnostické systémy. Praha: ČVUT 2000
- časopisy Automa, Automatizace
- Firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne

L.S.

Ing. Jan Roupec, Ph.D.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na současné nové trendy v oboru vibrodiagnostiky. V textu jsou blíže popsány a porovnány vlastnosti současných měřicích přístrojů a používaných snímačů. Z nejnovějších trendů poskytuje přehled o nyní nejrychleji se vyvíjejících pokrocích a to hlavně oblastech bezdrátového přenosu, minimalizace a zvyšování přesnosti přístrojů. Dále se zabývá přenosnými přístroji, u kterých se objevuje, jak obrovský pokrok v minimalizaci, tak i zvýšení přesnosti.

ABSTRACT

This bachelor's thesis is interested in new trends in vibrodiagnosis. There are described and compared properties of present-day measuring instruments and sensors. The thesis shows the newest trends and progress in the wireless transmission, minimisation and better accuracy of sensors. Then, there are described portable instruments, where progress has been registered in two fields, minimisation and better accuracy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vibrodiagnostika, piezoelektrické snímače, diagnostika, stacionární přístroje, přenosné přístroje

KEYWORDS

Vibradiagnosis, piezoelectrict senzors, diagnosis, stationary instruments, portable instruments

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HAMPLOVÁ, V. *Současný stav vibrodiagnostiky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tuto bakalářskou práci *Současný stav vibrodiagnostiky* jsem vypracovala a napsala samostatně, pod vedením Ing. Daniela Zutha a uvedla jsem v seznamu literatury všechny literární a odborné zdroje.

V Brně dne: 24.5.2010

Veronika Hamplová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Danielu Zuthovi za jeho ochotu a odbornou pomoc.

Obsah

1	ÚVOD	13
2	TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA	15
2.1	Historie diagnostiky	15
2.2	Diagnóza technického stavu	15
2.2.1	Dělení a příčiny poruch	16
2.3	Spolehlivost	17
2.4	Defektoskopie	17
2.5	Hlavní účel technické diagnostiky	17
2.6	Druhy diagnostiky	18
2.6.1	Hluková diagnostika	18
2.6.2	Tribodiagnostika	19
2.6.3	Elektrodiagnostika	19
2.6.4	Termografie	19
2.6.4.1	Bezdotykové a dotykové snímače	20
2.6.4.2	Pasivní a aktivní termografie	20
2.6.5	Diagnostika modální analýzou	20
3	VIBRODIAGNOSTIKA	21
3.1	Základní pojmy vibrodiagnostiky	21
3.2	Snímače	22
3.2.1	Druhy senzorů	23
3.2.1.1	Senzory výchylky	23
3.2.1.2	Senzory rychlosti	24
3.2.1.3	Senzory zrychlení (akcelerometry)	24
3.3	Způsoby uchycení	26
3.4	Měření ve vibrodiagnostice	27
3.4.1	Vyhodnocování vibrací	28
3.4.1.1	Vyhodnocování vibrací v časové oblasti	28
3.4.1.2	Vyhodnocování vibrací ve frekvenční oblasti	28
3.4.2	Normy pro měření vibrací	29
3.5	Aplikace vibrodiagnostiky	30
4	SOUČASNÝ STAV VIBRODIAGNOSTIKY	31
4.1	Snímače	31
4.2	Přenosné přístroje	32
4.3	Stacionární ON-LINE přístroje	34
4.4	Optické vláknové senzory	35
4.5	Bezdrátové technika	35
4.6	Minisenzory	37
5	ZÁVĚR	39
	Seznam použité literatury	41
	Seznam obrázků	44
	Seznam použitých zkratk a symbolů	45
	Seznam tabulek	46

1 ÚVOD

Od pradávných dob se lidé starají o své věci. Již v pravěku například mazali svoje kůže tukem, aby se zachovaly jejich vlastnosti.

Tato snaha uchovávat věci co nejdéle funkční, se projevila i po průmyslové revoluci. V té době se lidé začali o stroje starat, aby jim vydržely co nejdéle. Tato péče byla minimální, jako například pravidelné mazání strojů. Diagnostika v té době byla velice subjektivní a hodnotila se jen teplota, hluk a vibrace. Tyto veličiny se hlavně používaly k předcházení mezních stavů.

Na počátku 20. století se velice rychle rozvíjí elektronika, elektrotechnika a počítačové systémy, což umožnilo v 50. letech vznik technické diagnostiky. Urychlení použití diagnostických přístrojů v průmyslu uspěla ještě rostoucí cena strojů.

Nyní je diagnostika rozsáhlý obor, který se dále dělí na vibrodiagnostiku, hlukovou diagnostiku, tribodiagnostiku, elektrodiagnostiku, termografii a diagnostiku modální analýzou.

Vibrodiagnostika je jeden z nejdůležitějších oborů a to z důvodů používání převážně točivých strojů. Je nemožné vyrobit strojní zařízení tak, aby při svém chodu nebylo doprovázeno vibracemi. Proto je velmi důležité sledovat a zaznamenávat tyto hodnoty. Hodnoty vibrací udávají technický a provozní stav stroje. Jejich pomocí je zjišťován aktuální stav zařízení a tím je umožněno navrhnout plán údržby, případných oprav a také předcházení kritickým stavům. Diagnostické přístroje se používají hlavně v místech, kde získané úspory jsou výrazně vyšší, než náklady na její pořízení a provoz. Další uplatnění najdeme v oblastech, kde jsou v ohrožení lidské životy, ať již přímo obsluhy nebo i následnými katastrofami způsobenými poruchou stroje.

Vibrodiagnostika se velice rychle rozvíjí. Snímače, které je možné koupit nyní, a jsou běžně dostupné, jsme si před pěti lety ani nedokázali představit. Proto se v této práci nejvíce zajímám o nové výrobky na trhu, nejnovější trendy a nejmodernější technologie.

2 TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA

„Technická diagnostika je vědní obor, který se zabývá metodami, postupy a prostředky bezdemontážního a nedestruktivního zjišťování technického stavu objektu“ [1]. „Technický stav se projevuje schopností technického systému vykonávat funkci, ke které byl určen za předem stanovených podmínek“ [2].

„Technická diagnostika poskytuje objektivní informace o provozním stavu strojů a případně i o potřebách jejich údržby. V případě hrozící havárie může automaticky zastavit provoz diagnostikovaného stroje. Technická diagnostika je rychlým tempem modernizována technickými prostředky a programovým vybavením stejně jako jiné měřicí či monitorovací řídicí systémy“ [3].

2.1 Historie diagnostiky

Diagnostika je slovo pocházející z řeckého slova diagnosis znamenající skrze poznání. Tento termín byl několik století používán pouze v oblasti lékařství [1].

Spolu s rozvojem techniky a narůstající složitostí a cenou strojů bylo potřeba začít se o stroje starat a to jak o jejich údržbu, tak i o předcházení havarijních stavů. Proto se stroje začaly diagnostikovat a začíná se objevovat i pojem technická diagnostika.

Do začátku 20. století se nejčastěji zkoumal stav strojů subjektivními metodami. Nejčastějšími parametry u subjektivního monitorování strojů byly vibrace, hluk a teplota. Tyto metody byly postupem času zpřesňovány a přestaly se zakládat na subjektivních poznatcích, ale začaly se objektivně měřit [3].

Na počátku 20. století se setkáme se zařízeními, které hlídaly mezní hodnoty, jež vedly k havarijnímu stavu. Nejčastějšími zařízeními byly pojistné ventily, pojistky atd.

Technická diagnostika je mladý obor, který se začal rozvíjet v padesátých letech 20. století. Její vznik byl zapříčiněn rozvojem elektrotechniky a počítačových systémů.

Nyní je technická diagnostika velmi přesná, zakládající se na výsledcích měření. Metody měření jsou většinou nedestruktivní a bezdemontážní [1].

2.2 Diagnóza technického stavu

Stav objektu lze určit pomocí pozorování různých parametrů. Za tyto parametry se považují fyzikální veličiny, funkce těchto veličin měřené na objektu ve statickém nebo dynamickém režimu jeho práce nebo fyzikální veličiny, které nenáleží k objektu, ale jsou dány jeho činností [3].

V reálném případě je vybíráno několik parametrů, podle kterých objekt zkoumáme. Tyto parametry nesou informace o chování objektu, proto se snažíme volit parametry, které nesou největší informační obsah. Změny parametrů mohou být plynulé, nepravidelné, ale i náhodné, proto se často zkoumají změny parametrů v čase. Vlastnosti objektu se mění s časem až do okamžiku, kdy elementární prvek svým chováním způsobí poruchu části nebo celého objektu [1].

Diagnostické prostředky tvoří soubor technických zařízení a pracovních postupů pro analýzu a vyhodnocení stavu diagnostikovaného objektu. Tyto prostředky se dělí na ON-LINE a OFF-LINE. OFF-LINE prostředky diagnostikují objekt mimo provoz, nebo též pomocí kolektorů, které sbírají informace za provozu, ale nejsou okamžitě vyhodnocovány. ON-LINE prostředky diagnostikují objekt za provozu [1].

V technické diagnostice se často setkáváme s pojmy:

Monitorování - průběžné nebo periodicky opakovatelné sledování a vyhodnocování technického stavu

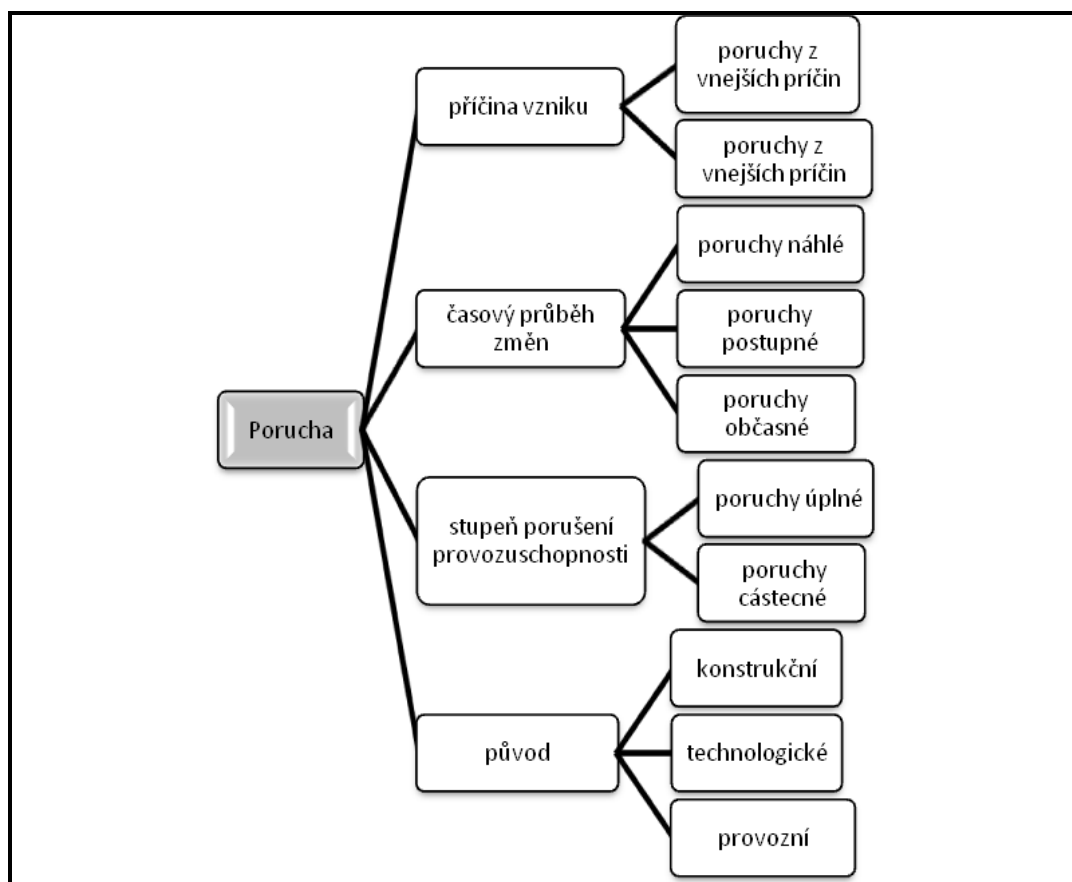
Funkčnost - schopnost vykonávat svojí funkci za daných podmínek

Vada - stav, u kterého je změna parametru bez příčinné souvislosti bez překročených předepsaných podmínek

Porucha - jev způsobující ukončení provozuschopnosti objektu

2.2.1 Dělení a příčiny poruch

Celý tento oddíl čerpá ze zdroje [4].



Obr. 1 Dělení poruch [4]

Nejčastější příčiny poruch:

- Stárnutí - nevratné děje dílčích poškození, které vedou k dosažení mezního stavu
- Dynamické namáhání - výskyt špiček a krátkodobých přetížení
- Trvalé (dlouhodobé) střídavé a míjivé namáhání součástí
- Křehký lom u mechanických prvků
- Koroze
- Vliv okolního prostředí
- Nedostatky a chyby při projektování a konstruování
- Nedostatky a chyby při výrobě a montáži.
- Nestabilita zdrojů energie, tj. krátkodobý pokles nebo výpadek napájecí energie
- Přerušení vodiče, zkrat u elektrotechnických prvků
- Přechodové odpory (studené spoje)
- Vliv okolí (elektrické a elektromagnetické pole)
- Náhodné krátkodobé porušení pravidel pro obsluhu a údržbu výrobku při provozu

2.3 Spolehlivost

Spolehlivost je vlastnost objektu plnit požadovanou funkci při zachování daných provozních podmínek objektu za určitého času, díky tomu je to také nejdůležitější parametr hodnocení kvality. Pomocí dobré údržby a včasné diagnostiky se může spolehlivost zvyšovat.

Nejdůležitějšími parametry spolehlivosti jsou [4]:

- Bezporuchovost - schopnost plnit požadovanou funkci po určitou dobu za stanovených podmínek
- Opravitelnost - způsobilost ke zjištění příčin vzniku poruch a odstranění jejich následku
- Udržovatelnost - způsobilost předcházet poruchám předepsanou údržbou
- Skladovatelnost - schopnost zachovávat nepřetržitě bezvadný stav po dobu skladování a přepravy při dodržení předepsaných podmínek
- Životnost - schopnost plnit požadovanou funkci do dosažení mezního stavu
- Bezpečnost - schopnost neohrožovat zdraví, životní a pracovní prostředí

2.4 Defektoskopie

Defektoskopie je nedestruktivní diagnostická metoda zabývající se zkoumáním povrchových, ale i vnitřních vad materiálů, bez porušení jeho celistvosti.

Základní defektoskopické metody[1]

- *Vizuální* – odražené světlo objektu je snímáno světlocitlivými detektory
- *Kapilární* – nanášení fluorescenčního nebo jiného kapilárního barviva na povrch objektu
- *Magnetické* – mapování magnetického pole zmagnetizovaného objektu
- *Ultrazvukové* – vysokofrekvenční akustické pulzy prostupující objektem a odrážející se zpět
- *Akustické emise* – elastické vlny vzniklé vadou se snímají piezoelektrickými senzory
- *Defektoskopie prozařováním* - vyhodnocování absorpce gama/ rentgenového záření
- *Infračervená defektoskopie* – změna teploty se projeví na změně struktury a rozměrů tělesa sledovaného termovizní kamerou nebo pyrometrem
- *Elektromagnetická defektoskopie vířivými proudy* – vyhodnocení magnetického toku cívky a toku vybuzených vířivých proudů v objektu

2.5 Hlavní účel technické diagnostiky

Hlavním cílem technické diagnostiky je včasné poznání skutečného stavu stroje, pomocí informací získaných za chodu stroje, jak za běžných, tak i extrémních podmínek, a následně rozhodnutí o jeho dalším provozu [6]. Diagnostika sbírá co nejvíce užitečných informací o stroji, které se pak vyhodnocují za námi požadovaným účelem. Stejně jako ve všech dalších odvětvích jsou důležité i náklady, proto se velice často vypočítávají úspory, jaké nám dokážou diagnostické přístroje přinést. Nejčastějšími úsporami při dobré údržbě jsou snížení potřeby náhradních dílů, prodloužení životnosti stroje a udržení si vysoké kvality výrobků.

V posledních letech jsou díky těmto výhodám diagnostické přístroje používány čím dál častěji. A to především proto, že náklady na pořízení strojů se rapidně zvyšují a zvyšují se i požadavky na bezpečnost práce a kvalitu výrobků.

Speciální pozici má v diagnostice přesná diagnostika, která je používána hlavně v letectví, kosmické technice, ale i v pozemní dopravě. Přesná diagnostika pomáhá snížit riziko ztráty lidských životů [6].

2.6 Druhy diagnostiky

Jednotlivé druhy diagnostiky se rozlišují podle sledování různých fyzikálních veličin, které umožňují stanovit správná kritéria o provozním stavu sledovaného objektu [6]:

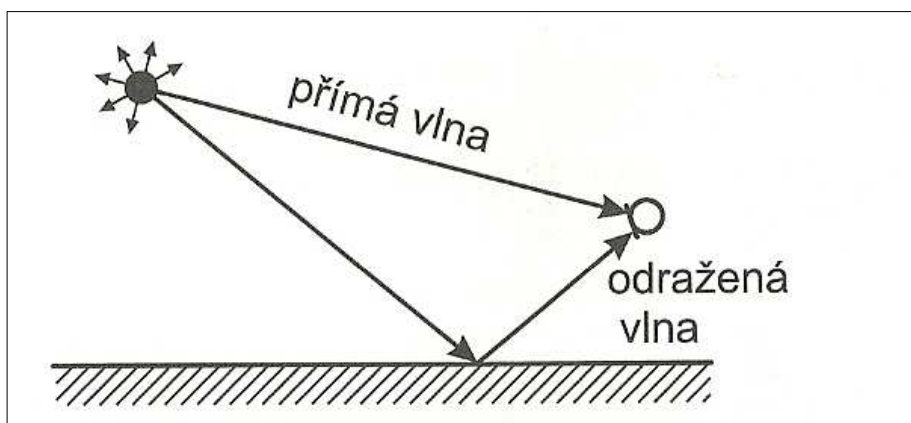
- *Vibrodiagnostika* - v kritických bodech sledovaného objektu se měří a vyhodnocuje mechanické kmitání (viz kapitola 3)
- *Hluková diagnostika* – měří se intenzita hluku a jeho frekvenční spektrum v kritických místech objektu
- *Tribodiagnostika* - analyzují se aplikovaná maziva v kritických místech objektu
- *Elektrodiagnostika* – měří se velikosti a změny elektrických veličin, změny ve funkci elektrických přístrojů, změny izolačních odporů elektrických vedení atd.
- *Termografická diagnostika* - měří se a analyzuje teplotní pole
- *Diagnostika modální analýzou* - měří se a vyhodnocují vlastní frekvence mechanické konstrukce sledovaného objektu a jejich tlumení

2.6.1 Hluková diagnostika

Hluková diagnostika je bezdotyková diagnostika, která se zabývá vibracemi strojů vytvářející energii přenášenou ve formě hluku do okolí. Hlukem je označován nežádoucí zvuk o frekvenci od 20Hz do 20kHz. Tento zvuk vzniká kmitáním pružného prostředí. Pokud částice kmitají ve směru šíření vlny, mluvíme o podélném kmitání, pokud kmitají v kolmém směru šíření vlny, jedná se o šíření příčné [1].

Jako snímače se používají mikrofony, nejčastěji kondenzátorové. Pro stanovení přesného místa se používají dva souosé mikrofony, které dokážou stanovit energetické toky, tak i směry šíření.

Problém hlukové metody je interference vln (obr. 2). Dalším problémem je více zvukových zdrojů, kde lze jen obtížně stanovit dílčí toky námi zkoumané součásti. Toto je často ještě ztíženo o odrazy zvuku a šумы v pozadí [1].



Obr. 2 Interferenční jev při odrazu hluku od pevné přepážky [1]

2.6.2 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika je bezdemontážní diagnostika analyzující odebrané vzorky olejů a maziv. Tribodiagnostika pochází z latinského slova Tribos, které znamená mazání.

V praxi se odebírají vzorky, které musí být brány za provozu stroje, protože jinak dochází k usazení drobných částic a výsledek je zkreslený. V laboratořích se analyzují oleje a maziva a hlavně jejich příměsi, ze kterých se dá určit opotřebení. Při této metodě se nejčastěji zkoumá kinematická viskozita, bod vzplanutí, hodnota pH a obsažené nečistoty.

Hlavní tři úkoly tribodiagnostiky jsou [7]:

- sledování stavu opotřebení z otěrových kovů v mazivu
- určení životnosti maziva z jeho znehodnocení
- stanovení lhůt pro výměnu maziv

Výhodou této metody je, že dokáže určit poškození v předstihu, než dojde k nežádoucímu opotřebení.

Nevýhodou je naopak složitější automatizace, proto se musí přesně vybírat testy, které jsou potřebné [7].

2.6.3 Elektrodiagnostika

Elektrodiagnostika sleduje stav objektu pomocí měření elektrických veličin. Dělí se na diagnostiku silové elektrotechniky (energetiky) a řídicí elektroniky. U silové energetiky se nejčastěji pozoruje stav izolace a odporů v instalaci. Elektrodiagnostika se stále rychle rozvíjí, což je způsobené vývojem řídicí a výpočetní techniky, ale také vývojem lékařské diagnostiky, kdy se zkoumá elektrická dráždivost tkání lidského těla [8].

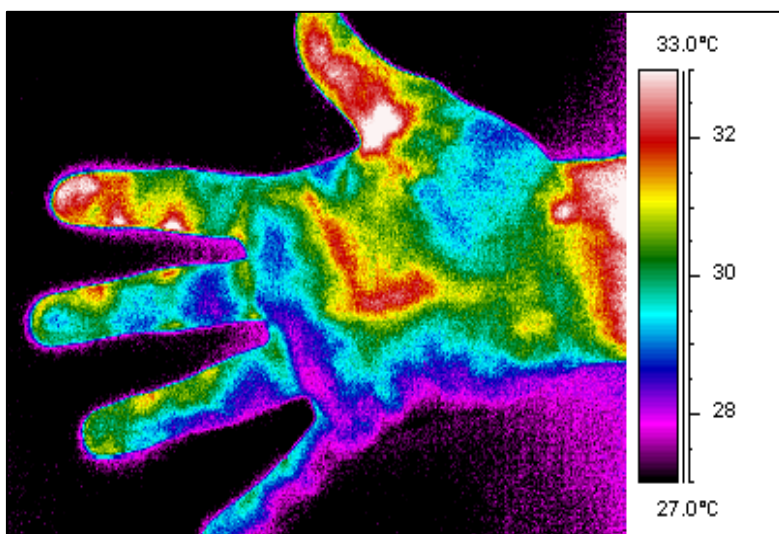
2.6.4 Termografie

Celá podkapitola čerpána ze zdrojů [1] a [6].

Termografie je bezdemontážní, nedestruktivní metoda technické diagnostiky snímající teplotní pole objektu. Termografie může být aktivní i pasivní, a její snímače můžeme dělit na:



Obr. 3 Snímání termovizí



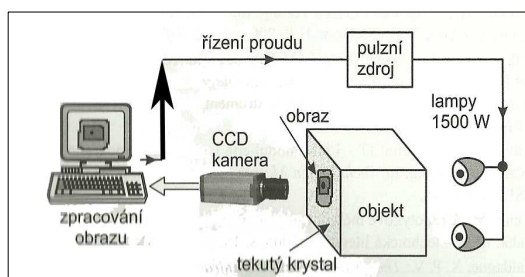
Obr. 4 Teplotní pole snímáno termovizí [32]

2.6.4.1 Bezdotykové a dotykové snímače

Bezdotykové snímače využívají rozdílná spektra vlnových délek elektromagnetického infračerveného záření vyzařovaná tělesy o různé teplotě. Snímače pracující na tomto principu se nazývají termovize (termické kamery), tyto kamery používají vlnovou délku od 2 do 13 μm infračerveného záření a jejich výpočet se řídí pomocí zákonů záření.

Jako dotykové snímače se většinou používají indikátory na bázi kapalných krystalů s použitím CCD (Charge-Coupled Device) kamery. Kapalně krystaly jsou látky, které si i při zvyšování teploty a změně skupenství udržují svou směrovost. CCD kamery jsou kamery fungující na principu fotoefektu, snímající námi sledovaný objekt (viz obr. 5).

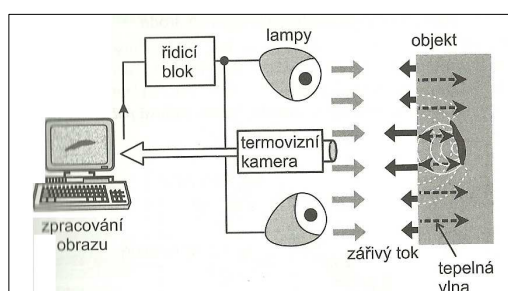
2.6.4.2 Pasivní a aktivní termografie



Obr. 3 Uspořádání aktivní termografie s CCD kamerou [1]

Pasivní termografie se zabývá objekty, u kterých během provozu vzniká nebo je pohlcováno teplo. Při této metodě se hodnotí rozdíl teploty naměřené a referenční pomocí bezdotykových snímačů. Tato metoda je nyní automatizovaná a moderní programy nám umožňují okamžitě zjistit místo s nejvyšší teplotou, teplotu libovolného bodu, vykreslení teplotního profilu atd. Nevýhodou je, že výsledky mohou být vlivem okolního prostředí zkreslené.

Aktivní termografie je založena na řízené stimulaci tepelné vlny v objektu, která je snímána termografickou kamerou. Pulzní termografie využívá prudkého ohřevu tělesa. Celým objektem se pak šíří teplotní vlna, která při nárazu na defekt sníží svojí rychlost (viz obr. 5). Lock-in termografie je založena na modulaci tepelného toku. Tepelná vlna proniká do tělesa, kde po nárazu na defekt se odrazí zpět k povrchu, který je snímán termovizí (viz obr. 6).



Obr. 4 Uspořádání systému aktivní termografie [1]

2.6.5 Diagnostika modální analýzou

Modální analýza je bezdemontážní metoda, kterou získáme dynamický popis objektu. Mechanické chvění a nadměrný hluk je často způsoben vlastnostmi systému. Tyto vlastnosti nazýváme modálními a nejčastěji jsou charakterizovány veličinami vlastní frekvence soustavy, vlastní tvary kmitů a vlastní tlumení tvarů kmitů. Tuto metodu můžeme provádět jak teoreticky, za pomoci výpočtů nebo také experimentálně. Tato metoda se často označována jako vibrodiagnostická metoda [10].

3 VIBRODIAGNOSTIKA

Vibrodiagnostika je bezdemontážní a nedestruktivní metoda snímající a vyhodnocující mechanické kmitání objektu. Za mechanické kmitání neboli vibrace je označován vratný pohyb hmotných bodů, nebo celého tělesa kolem své rovnovážné polohy. Vibrace jsou charakterizovány budící silou, jejím směrem a kmitočtem. Měření je většinou prováděno on-line [1].

Vibrodiagnostika je jedním z nejvýznamnějších oborů technické diagnostiky.

3.1 Základní pojmy vibrodiagnostiky

Vlna - změna vlastností nebo fyzikálního stavu prostředí šířící se tímto prostředím a přenášející energii aniž by docházelo k přemísťování prostředí. Je charakterizovaná výchylkou a fázovou rychlostí [1]

Stojatá vlna - dvě totožné vlny superponované se stejnou fázovou rychlostí. Tento jev je zapříčiněn odrazem vlny a je charakterizován neměnností výchylek kmitajících bodů [1]

Rázy - mechanické vibrace, které vznikají při střetu dvou pohybujících se částí a způsobují přechodový kmitavý jev generující postupnou rázovou vlnu [1]

Výchylka - určuje změnu vzdálenosti nebo polohy objektu vzhledem k referenční poloze [12]

Periodické kmitání - časový průběh veličin se opakuje a periody kmitů jsou v poměrech, které jsou dané racionálními čísly [1]

Harmonické kmitání - periodické vibrace obsahující jedinou frekvenci [1]

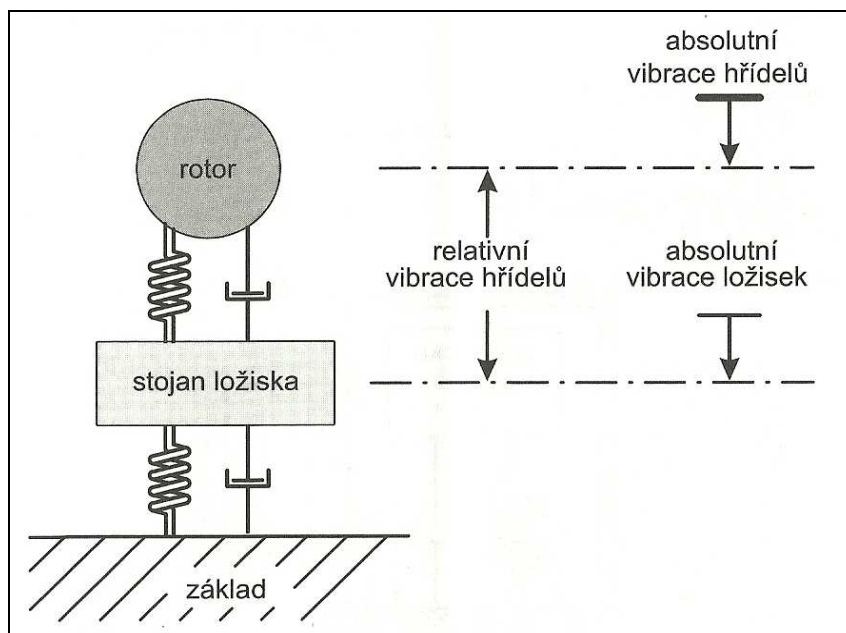
Složené vibrace - vibrace dané superpozicí různých časových průběhů [1]

Absolutní vibrace - pohyb je vztahován ke gravitačnímu poli Země nebo k pevnému, ale fixnímu bodu [1]

Relativní vibrace - pohyb je vztahován ke zvolenému reálnému bodu [1]

Absolutní snímače – snímají absolutní vibrace

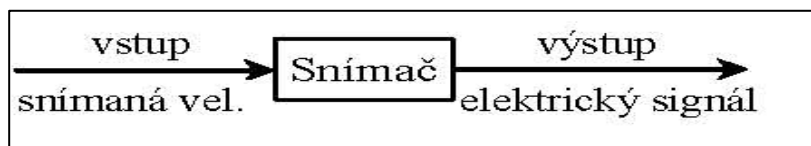
Relativní snímače – snímají relativní vibrace (viz obr. 7)



Obr. 5 Relativní a absolutní kmity [1]

3.2 Snímače

Snímač neboli senzor je první člen řídicího řetězce a z hlediska přesnosti a spolehlivosti je často nejslabším článkem, proto záleží na jeho kvalitě a volbě správného druhu snímače[10]. Důležitá je dostupnost inkriminované části stroje buď přímá, nebo popř. s využitím přenosu jejího chvění na přístupnější místo[11].



Obr. 6 Převodní charakteristika - vyjádření závislosti výstupního signálu na vstupní veličině [1]

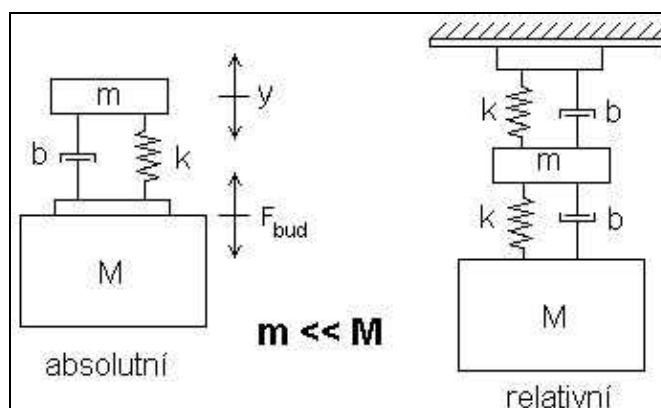
U vibrodiagnostiky sledujeme mechanické kmity, které jsou určeny frekvencí, výchylkou, rychlostí a zrychlením. Tyto parametry jsou na sobě závislé a pro výpočet se používá vztahu:

$$my'' + by' + ky = F_b = Mx'' \quad [11]$$

Zkratka	Význam
Y	VÝCHYLKA
y'	RYCHLOST
y''	ZRYCHLENÍ (POHYVU SEISMICKÉ HMOTY SNÍMAČE VZHLEDEM K OBJEKTU)
x''	ZRYCHLENÍ OBJEKTU
m	HMOTNOST SEIZMICKÉ HMOTY SNÍMAČE
M	HMOTNOST OBJEKTU
K	TUHOST PRUŽINY
B	SOUČINITEL TLUMENÍ
F_b	BUDÍCÍ SÍLA

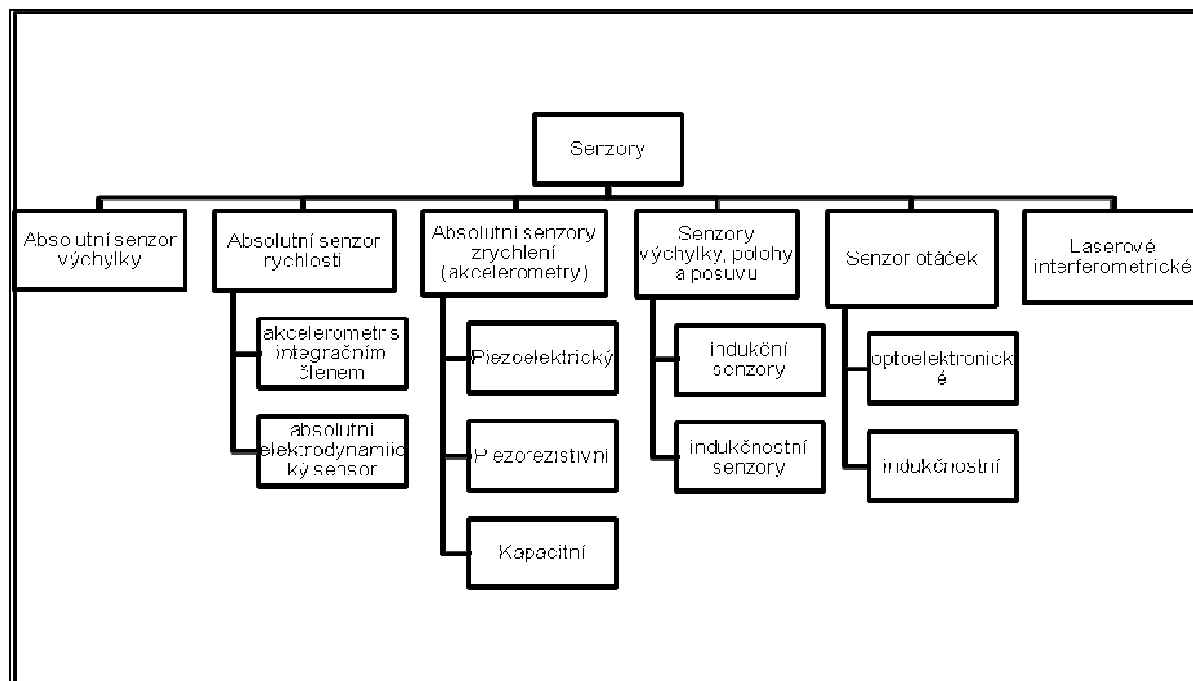
Tabulka 1 Seznam zkratk

Na základě modelu lze vhodnou volbou hodnot jeho parametrů m , b a k vytvořit snímač kterékoliv z charakteristických veličin kmitavého pohybu, tedy výchylky, rychlosti a zrychlení[11].



Obr. 7 Mechanický model absolutního a relativního snímače vibrací [1]

3.2.1 Druhy senzorů

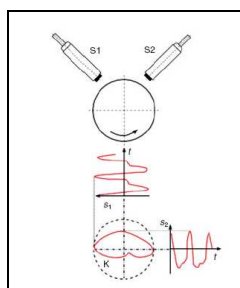


Tabulka 2 Rozdělení senzorů [4]

3.2.1.1 Senzory výchylky

Snímače výchylky mají výrazně velkou hodnotu m při zanedbatelném tlumení b a tuhosti k , čímž přejde vztah do podoby.

$$my'' = Mx'' \rightarrow y \approx x \quad [11]$$



Obr. 8 Model absolutního senzoru vibrací [11]

Nejrozšířenějšími senzory výchylky jsou na indukčním a indukčnostním principu, ale existují i na principu kapacitním, magnetickém nebo optickém. Indukční senzory využívají závislost indukčnosti cívky na proudové hustotě vířivých proudů [12]. „Vzhledem k vysokofrekvenčnímu principu jsou tyto senzory náchylné na parazitní vlivy (např. délka kabelu k měřícím obvodům, vnější elektromagnetické pole). Z těchto důvodů se vyrábějí jako integrované (v kovovém stíněném krytu je kromě cívky zabudována také základní část elektroniky). Tyto senzory mají obvykle kmitočtový rozsah 0 - 10 000 Hz“ [11].

V praxi se s těmito senzory jen málokdy setkáme.

3.2.1.2 Senzory rychlosti

Analogicky lze při dominantním tlumení b a zanedbatelně malých hodnotách m a k upravit vztah na

$$by' = Mx'' \rightarrow y \approx x' \quad [11]$$

Elektrodynamický snímač je principiálně absolutním snímačem amplitudy kmitavého pohybu, ale vzhledem k vnitřnímu uspořádání je při mechanicko-elektrické transformaci signálu přímo vyhodnocována rychlost kmitání jeho pouzdra. Snímače tohoto typu mají vlastní (rezonanční) frekvenci mezi 5 až 10 Hz [11].

Nevýhodou těchto senzorů je omezení horního kmitočtu (max. 3500 Hz) a citlivost na parazitní magnetická pole. Naopak výhodou je nízká cena, vysoká úroveň výstupního signálu i při nízkých frekvencích kmitání, velmi malý vnitřní odpor a možná aplikace bez zdroje napájení [12].

V současné době se pro měření rychlosti kmitání se používají buď senzory zrychlení a výstupní signál z tohoto senzoru se integruje nebo senzory elektrodynamické [12].

3.2.1.3 Senzory zrychlení (akcelerometry)

Při výrazně velké tuhosti k oproti zanedbatelné hmotnosti m a tlumení b lze rovnici převést do podoby [11]

$$ky = Mx'' \rightarrow y \approx x'' \quad [11]$$

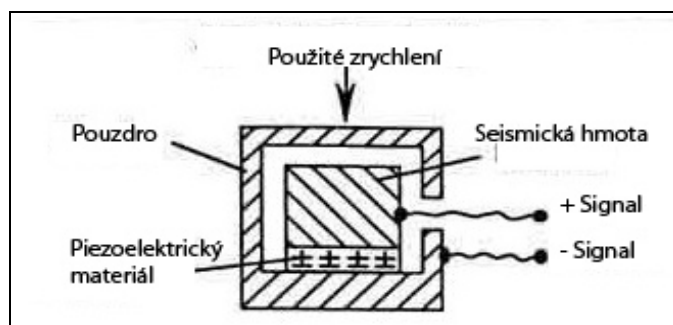
Akcelerometry jsou senzory pro měření statického nebo dynamického zrychlení, jsou vhodné pro měření odstředivých a setrvačných sil, pozice tělesa, naklonění nebo vibrací. Nejčastěji používaným je piezoelektrický snímač, ale existují i další snímače jako je například piezoresistivní akcelerometr a akcelerometry s proměnnou kapacitou [13].

Piezoelektrický akcelerometr

Piezoelektrický akcelometr funguje na principu piezoelektrického jevu. Tento fyzikální jev je popisován jako deformování krystalu (polykrystalu), při kterém vzniká elektrický dipólový moment indukující elektrické napětí. Tato změna způsobí elektrickou polarizaci čidla. Velikost náboje je závislá na velikosti a směru deformace krystalu. Nejčastěji používanými materiály na výrobu krystalů jsou křemen, piezokeramika, piezoelektrické polymery atd.

Základní princip a struktura piezoelektrických akcelerometrů (viz. obr. 11) [15]:

- *Piezoelektrický materiál* - snímač měřící zrychlení
- *Seismická hmota* - převádí dle Newtonova zákona hodnotu zrychlení na sílu ($F=m \cdot a$)



Obr. 9 Nejjednodušší blokové schéma principu piezoelektrických akcelerometrů [1]

Piezoelektrický efekt generuje na výstupu náboj q úměrný působící síle.

Na co nejpřesnější měření je potřeba, co největší elektrický signál, což by znamenalo obrovské rozměry senzorů, proto se používají předzesilovače [15].

Výhody piezoelektrických akcelerometrů:

- velký dynamický rozsah senzorů od 5 000 do 10 000 Hz, se speciální aparaturou lze měřit od 0,01 Hz do 20 000 Hz
- malé rozměry a hmotnost akcelerometrů (i do 1kg)
- necitlivost na parazitní magnetické pole

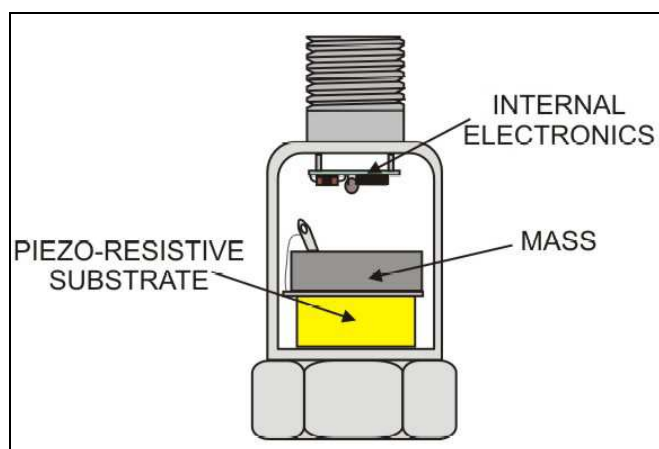
Nevýhody:

- vyšší pořizovací cena měřicího řetězce
- nízká úroveň výstupního signálu, nelze aplikovat bez zesilovače a tedy bez napájecího zdroje

Piezorezistivní akcelerometr

Piezoresistivní akcelerometr využívá nejčastěji mikrokřemíkovou mechanickou strukturu, kdy změna elektrického odporu látky odpovídá mechanickému namáhání. Piezorezistivita je vlastností mnoha materiálů, proto dělíme senzory (tenzometry) na kovové a polovodičové. Piezorezistivita závisí nejen na zvoleném materiálu, ale také na krystalové orientaci [1].

Tyto rezistory jsou vhodné pro dlouhodobá měření. Nevýhodou je jejich závislost na teplotě, naopak výhodou je vysoká citlivost.

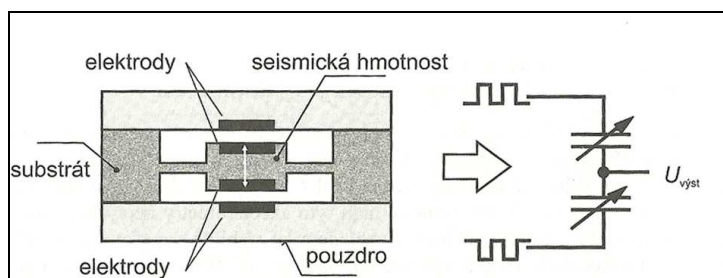


Obr. 10 Model piezorezistivního snímače [13]

Akcelerometry s proměnnou kapacitou

Využívají mikrokřemíkovou mechanickou strukturu, kde zrychlení odpovídá změně kapacity. Při pohybu seismické hmoty se mění kapacita, která je snímána na dvou místech a porovnává se její změna v čase. Měření je velmi přesné a citlivé (od 20 do 10000 mV/g_n) a je vhodné pro nízké dynamické rozsahy zrychlení (do 250g_n), teplotní rozsah je od -55 do 250 °C. Problémem kapacitních snímačů je malý frekvenční rozsah, ve kterém jsme schopni měřit (od 0 Hz do 6 kHz) [1].

V současnosti se používají v robotice, ale najdeme je také v mobilních telefonech, kde slouží k určení náklonu. Další využitím je například měření hladiny látek. Jejich výhodou jsou malé rozměry a nízká cena.

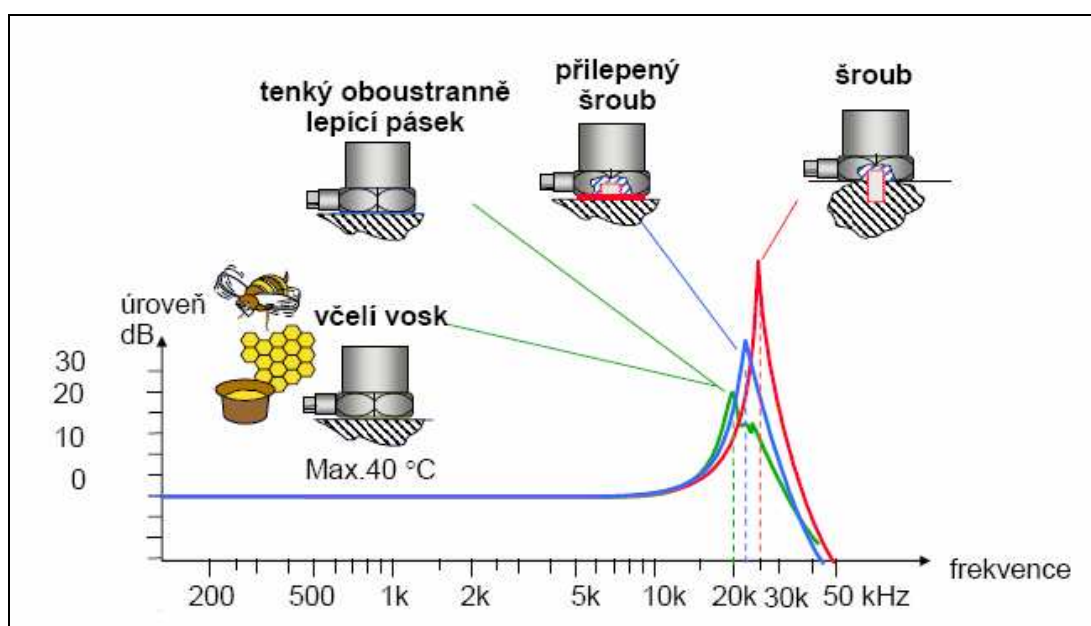


Obr. 11 Uspořádání kapacitního akcelerometru [1]

3.3 Způsoby uchycení

Způsobů uchycení je poměrně mnoho, dříve se nejčastěji používal včelí vosk, který má dobré přenosné vlastnosti, ale problémem byla často teplota, při které se s ním mohlo pracovat. Proto se včelí vosk začal nahrazovat jinými prostředky.

Dnes se nejčastěji používá spojení magnetem, lepidlem nebo pomocí šroubů, mezi méně typické spojení je spojení vazelínou, kterou se nahrazuje starší spojení voskem. Způsob uchycení má velký vliv na snímanou frekvenci a hlavně na její rozsah. Každé posunutí snímací frekvence do většího pásma je pro každou firmu velký úspěch, proto se vyvíjejí stále lepší uchycení, které k tomu mohou dopomoci.



Obr. 12 Frekvence ovlivňující uchycení [24]

Montáž pomocí magnetů

Montáž je většinou dočasná. Používá se k upevnění akcelerometrů k feromagnetickým materiálům různých strojů, zařízení nebo motorů. Umožňuje, aby se snímač snadno umístil na různá místa v dané oblasti [23].

Upevňovací magnety vyrábí například firma PROFESS, STEGO nebo PCM. Firmy nabízí poměrně velkou nabídku magnetů různých rozměrů. Jako příloha je jeden výrobní výkres magnetu od firmy PCM.

Lepidla

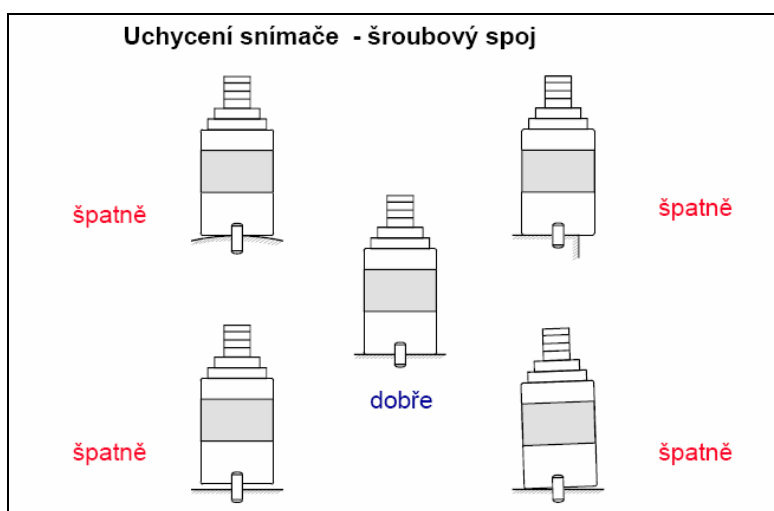
Slouží ke stálé instalaci. Lepidla jako epoxydy nebo kyanoacryláty se osvědčily jako uspokojivé spojení pro většinu aplikací. Vrstva lepidla musí být velmi tenká, aby se omezilo nežádoucí utlumování vibrací vlivem pružnosti vrstvy lepidla [23].

Nejčastější používaná lepidla jsou od firem HBM (HBM X60), VersiLock (VersiLock 406), LockTite (LockTite Depend, LockTite Liquid Metal), Brüel & Kjær Vibro (WQ 0732) nebo také od firmy PCM (Adhesive Kit Model 075A05).

Závitové šrouby

Jsou nejrozšířenějším typem spojení. Nutné je vrtání a řezání závitů, avšak spojení je potom pevné a spolehlivé. Postupuje se pečlivě, aby nedošlo k poškození snímače nebo stržení závitů. Senzor musí být také přesně upevněn na podlažku, protože se zde nemohou vyskytovat žádné ohyby, odsazení nebo přesah senzoru přes uchycovaný materiál (viz obr.15) [23].

Spojovací šrouby prodává skoro každý výrobce senzorů, většinou se však dají použít i obyčejné šrouby. Poměrně speciální nabídku má firma PCM, která nabízí i přesně upravené desky pro šrouby Motor Fin Mounting Stem, což jsou prodloužené vodící destičky pro šroub. Tyto desky nám umožňují pevné spojení senzoru i v hůře dostupných místech [24].



Obr. 13 Správné uchycení šroubového spojení [24]

3.4 Měření ve vibrodiagnostice

Druhy měření ve vibrodiagnostice [14]:

- Jednorázové měření
 - Slouží k posouzení mechanického stavu zařízení a pro stanovení základních příčin vibrací.
 - Měřením lze získat poznatky pro odstranění vibrací, ale prognóza o budoucím vývoji stavu zařízení je velmi obtížná.
- Periodické měření
 - Pravidelné měření vibrací s cílem získat informace o vývoji detekovaných stavů.
 - Velmi účinný nástroj metody prediktivní údržby strojů a strojních zařízení.
- Stabilní monitorování
 - On-line nepřetržité sledování stavu strojního zařízení.
 - Okamžité vyhodnocení provozního stavu strojního zařízení, obvykle použité, jako bezpečnostní monitorování strojů s možností odstavení zařízení, při překročení nastavené poplachové úrovně.

3.4.1 Vyhodnocování vibrací

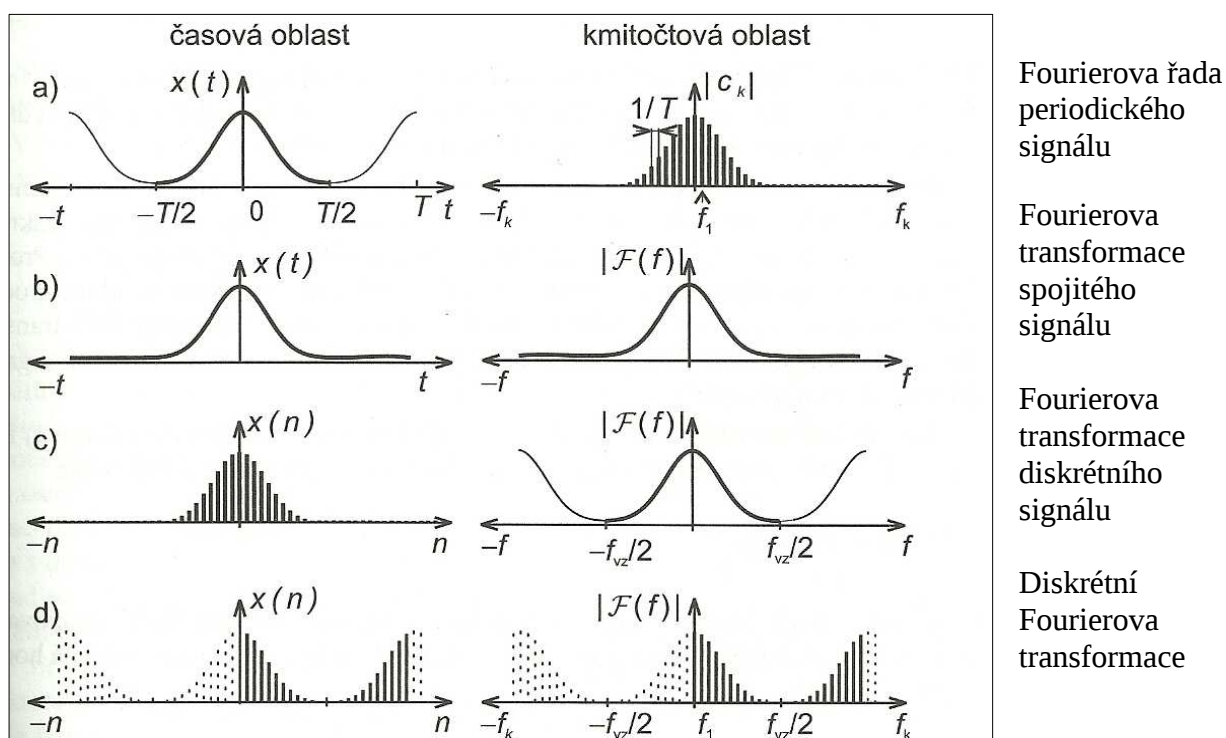
3.4.1.1 Vyhodnocování vibrací v časové oblasti

Vyhodnocení signálů v časové oblasti (Time Domain Analysis) rozdělujeme na vyhodnocení celkového kmitání a na vyhodnocení časových průběhů signálů. Celkové kmitání souvisí se všemi frekvencemi kmitání v daném bodě měření. Vyhodnocením se porovnává naměřená hodnota celkového kmitání v předchozím měření, kdy stroj pracoval bez poruchy, nebo se nastavují kritické hodnoty, se kterými se porovnávají naměřené hodnoty. Analýza vibrací v časové oblasti se nejčastěji používá pro přechodové jevy, jako jsou například rozběhy a doběhy motorů, rázové odezvy atd. Tato metoda je vhodná pro měření, kde existuje jeden dominantní zdroj vibrací [12][1].

3.4.1.2 Vyhodnocování vibrací ve frekvenční oblasti

Frekvenční analýza je nástroj pro nalezení periodických jevů ve vibračním signálu. Úplná frekvenční analýza je dána amplitudovou hustotou a fázovým spektrem. Spektrální analýza se nejčastěji provádí pomocí diskrétní Fourierovy transformace (Discrete Fourier transform - DFT) a rychlé Fourierovy transformace (Fast Fourier transform - FFT). Frekvenční analýza provádí rozklad původního časového průběhu na jeho harmonické složky. Ze spektra signálů jsou obvykle vybrány jen určité frekvenční složky nesoucí požadovanou informaci. Grafickým zobrazením frekvenční analýzy je frekvenční spektrum, které poskytuje detailní informace o zdrojích signálu, které není možné získat z časového signálu [1],[11].

Správným použitím frekvenční analýzy se odstraňují nevýhody vyhodnocování v časové oblasti, protože jen vyhodnocování ve frekvenční oblasti určuje místo vznikající poruchy u jednotlivých strojních součástí. Fázové spektrum tvoří podklad pro rozlišení závad na rotujícím stroji, jako jsou nevyváženost ozubených soukolí a ložisek [1].



Obr. 14 Fourierova transformace [1]

3.4.2 Normy pro měření vibrací

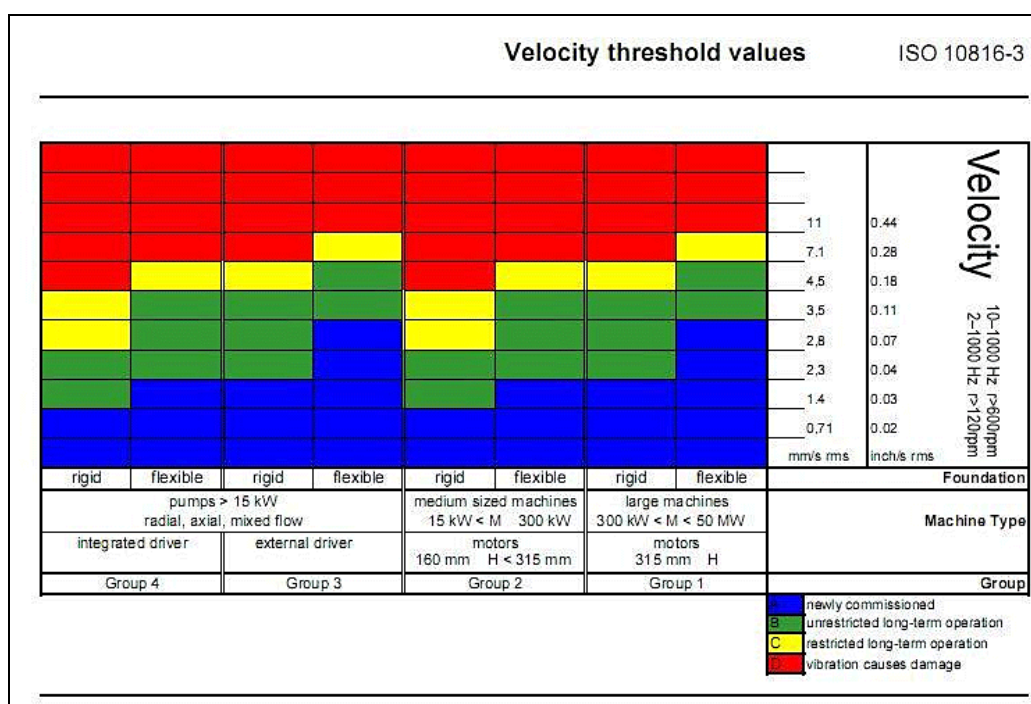
V České republice existuje mnoho norem, jsou označené písmenem ČSN ISO a pak následuje číslo, které je specifické pro každou normu.

„ Normy jsou tzv. dokumentované dohody obsahující technické specifikace a další kritéria pro materiály, výrobky, postupy a služby tak, aby vyhovovaly danému účelu. Jsou kvalifikovanými doporučeními a jejich používání je dobrovolné. Pojem "závazné normy" zmizel z terminologie české technické normalizace v roce 2000. Závaznými právními předpisy jsou nařízení vlády, která stanoví technické požadavky pro konkrétní výrobky a zařízení. Tzv. "harmonizované normy" jsou normy sladěné s těmito nařízeními vlády [34].”

Vibracemi se zabývá několik norem, a to jak jejich měřením, tak i terminologií.

Normy zabývající vibracemi jsou například ČSN ISO 1017, ČSN ISO 14964, ČSN ISO 10816, ČSN ISO 7919-1, ČSN ISO 7919 a mnoho dalších [16].

Více bych se zaměřila na normu ČSN ISO 10816, která upřesňuje vhodnost použití různých měřidel podle rychlosti a výkonu.



Tabulka 3 Část normy ISO 10816 [41]

Do skupiny IV (group 4) patří jednotlivé části a podskupiny strojů integrované do celkové soustavy, provozující se v normálních provozních podmínkách. Takovým příkladem jsou elektrické motory do 15kW [41].

Do skupiny III (group 3) patří středně velké stroje bez speciálních základů, nehybně uložené stroje nebo stroje se speciálními základy do 300kW. Příkladem je elektromotor o výkonu 17-75kW [41].

Do skupiny II (group 2) patří velké hnací stroje nebo jiné velké stroje s rotační hmotou, které nejsou namontovány na tuhých a masivních základech a jsou relativně tuhé ve směru vibrací [41].

Do skupiny I (group 1) patří hnací stroje nebo jiné velké stroje s rotační hmotou, namontované na základech, které jsou relativně pružné ve směru vibrací. Příkladem jsou turbogenerátory s relativně lehkými základy [41].

3.5 Aplikace vibrodiagnostiky

Provoz všech točivých strojů je provázen mechanickým chvěním. Vyhnout se mechanickému chvění v provozní praxi je téměř nemožné. Hlavními příčinami mechanického chvění jsou dynamické síly provázející výrobní nepřesnosti, vůle pohybových součástí, styk dílů třením a odvalováním, nevyváženost součástí s rotačním, kmitavým, kývavým a vratným pohybem [17].

Nejčastějšími místy, kde jsou buzeny kmity, jsou klidové ústrojí a součásti s přímočarým vratným pohybem, ozubená soukolí, řetězové převody, řemenové převody, vačkové mechanismy, opotřebovaná kluzná a valivá ložiska (zvláště poškozená) [2].



Tabulka 4 Aplikace vibrodiagnostiky [33]

4 SOUČASNÝ STAV VIBRODIAGNOSTIKY

Vibrodiagnostika se velice rychle rozvíjí. Na trhu můžeme nalézt mnoho firem zabývajících se vibrodiagnostikou a obrovské množství výrobků, které se od sebe liší nejen kvalitou, ale i cenou.

4.1 Snímače

Piezelektrické snímače jsou jedny z nejběžnějších snímačů používaných a také dostupných na našem trhu.

Jak už bylo uvedeno, mají mnoho výhod jako je velký frekvenční rozsah a malé rozměry a poměrně jednoduchou a cenově dostupnou konstrukci. Tyto snímače jsou díky své konstrukci nazývány ICP (Integrated circuit piezoelectric). Snímače s integračním piezoelektronickým obvodem (ICP) mají v sobě zabudovanou mikroelektroniku vytvářející nízkou impedanci a napěťový signál slučitelný s většinou výstupního čtecího vybavení.

Snímače pro průmysl

Tyto snímače jsou nejčastěji připevněny napevno pomocí šroubů a pomocí konektoru jsou informace odváděny do sběrače dat. Tyto snímače pracují na analogovém principu.



Obr. 15 B&K Model 4371 s bočním konektorem [35]

Na českém trhu se setkáme s malými i velkými výrobci. Jedny z nejdůležitějších firem na výrobu piezoelektrických akcelerometrů jsou společnosti PCB, Brüel & Kjær a Omega.

	Model 4371	Model 288D01	Model 301A12	ACC793
Společnost	B&K	PCB	PCB	OMEGAROMETER™
Frekvence	0.1 až 4800 Hz	1 až 5000 Hz	1 až 10 000 Hz	1,5 až 5000 Hz
Teplota	-74 do 250 °C	-18 do 95 °C	-54 do 121 °C	-50 do 120 °C
Váha	43 g	19.2 g	42 g	112 g
Citlivost	10 pC/g	100 mV/g	0.5 mV/g	100 mV/g
Resonanční frekvence	≥16 kHz	≥20 kHz	≥ 30 kHz	≥ 25 kHz

Tabulka 5 Porovnání snímačů pro průmysl [35], [36], [37]

4.2 Přenosné přístroje

Přenosné přístroje nejsou na stroj napevno upevněny a v některých případech se při měření snímače jen přidrží u stroje. Velmi často obsahují zabudované snímače, které jsou zmíněny v předchozí kapitole.



Obr. 16 Přenosný přístroj ADASH 4300-VA3 [38]

Tyto přístroje mají v sobě již zabudovanou vyhodnocovací techniku a jsou vybaveny LCD displejem, kde se nejen okamžitě objeví naměřené hodnoty, ale také se přímo zobrazí grafy a další tabulky k potřebnému vyhodnocení snímání a tím i stavu. Tyto přístroje mohou být velice přesné. Velice často tyto stroje umí snímat více veličin, jako například teplotu nebo otáčky.

	4101	VIBSCANNER	Hand-held 2260H	4300-VA3	VSA -1215
Firma	Adash	Pruftechnik	B&K	Adash	Datastick system
Frekvenční rozsah	10 - 200 Hz	2hz- 65kHz	0.5Hz - 20,156 kHz	20 Hz - 20 kHz	50Hz-20kHz
Zobrazení:	grafický LCD	128 x 64 px		LCD ^s podsvětlením	320x 480 px
	s podsvětlením	s podsvětlením	černobílý LCD	320 x 240 px	barevný
Paměť dat:	512 kB (1MB)	4 MB	32MB	12 MB	100 MB
Napájení:	9V	7.2V	9V	9V	24 V
Velikost: [mm]	223 x 105 x 40	250 x 100 x 55	375 x 120 x 52	223 x 105 x 50	146 x 79 x 48
Hmotnost:	500 g	690 g	1200 g	970 g	283 g
FFT analýza	101 - 801 čar	400 - 3200	429	6400-12 800	400-3200

Tabulka 6 Porovnání přenosných přístrojů [38],[35],[39],[40]

Tužkové přístroje

Čerpáno ze zdrojů [21] a [22].

Z přenosných přístrojů můžeme díky své velikosti ještě vyčlenit tužkové přístroje pracující jako integrovaný piezoelektrický akcelerometr. Tyto tužkové detektory se nejčastěji používají pro měření ložisek a jsou spíše jen informativní. Přístroje jsou digitální a dokážou si zapamatovat velké množství hodnot, které se po předání informací do počítače vyhodnocují nebo se zobrazují přímo na LCD display, který je u většiny přístrojů přímo zabudován. Tyto detektory mají často také zabudované teplotní čidlo. Veškeré další funkce se ovšem projeví i na ceně přístroje.

Rozměry tužkových senzorů jsou okolo 160 mm na délku, 25-40mm na výšku a 15-20 mm na šířku (rozměry produktu závisí na výrobci a na vlastnostech, které požadujeme). Váha těchto měřidel je okolo 100 - 140 g.



Obr. 17 Tužkový detektor CMMS 908s [22]

V České republice je nyní nejdůležitějším výrobcem a prodejcem firma CMMS a SKF. SKF je firma vyrábějící ložiska a proto i jejich tužkové senzory jsou zaměřené na snímání vibrací ložisek.

	908s	909z	909z-6	CMVP50
Firma	CMMS	CMMS	CMMS	SKF
Rychlost	-	0.1—199.9 mm/s	0.1—250 mm/s	1-55mm/s(RMS)
Frekvence	10-1000 Hz	10-1000 Hz	10-1000 Hz	10Hz-1000Hz
Vnější prostředí	0 – 50°C	0 – 50°C	0 – 50°C	0 – 50°C
Relativní vlhkost	<85%	<85%	<85%	<90%
Rozměry	160 x 25 x 17 mm	160 x 25 x 17 mm	110 x 35 x 17 mm	17,8 x 30x 157,5mm
Hmotnost	120 g	120 g	100 g	77 g

Tabulka 7 Porovnání tužkových přístrojů [22], [41]

Použití tužkových přístrojů upřesňuje norma ČSN ISO 10816.

4.3 Stacionární ON-LINE přístroje

Stacionární hlídací stanice monitorují zařízení nonstop a jsou k němu stále připojené. Tyto přístroje jsou velice spolehlivé, přesné a cenově dostupné.



Obr. 18 Ukázka stacionárního přístroje B&K VC 1500 [35]

Přístroje mohou být připojeny na počítač, kde pomocí různých softwarů můžeme generovat grafy a další potřebné informace pro správné vyhodnocení vibrací. Výhodou je, že výsledky jsou stále aktuální. Tyto měřené informace umí většina přístrojů i vyhodnocovat a například při kritických hodnotách umí rozesílat sms nebo email. Velice často jsou tyto informace sledované online na internetu.

	VC 1500	CMMA 9910	Pruftechnik
Firma	B&K	SKF	VIBROWEB® XP
Zobrazení	2 řadkový LCD	-	-
Frekvenční rozsah	1 - 1 000 Hz	5 - 10 000Hz	48 - 48 000Hz
Počet spektrálních čar	320 čar	800 čar	400-12800 čar
Rozměry	90 x 75 x 115 mm	156 x 104 x 116mm	300 x 240 x 135 mm
Váha	700 g	500 g	4 000 g

Tabulka 8 Porovnání stacionárních přístrojů [35], [41], [39]

Většina přístrojů je možné upevnit na DIN lištu a jsou vybaveny i dalšími senzory, nejčastěji pro měření teploty.

4.4 Optické vláknové senzory

Optické vláknové senzory (často označované zkratkou VOS) jsou ideální technologií pro měření v extrémních a náročných podmínkách. Optické senzory jsou tolerantní vůči vysokým teplotám, vibracím a nárazům a především jsou odolné proti korozi. Opticky vláknově založené senzory nabízí lehčí, přesnější a univerzálnější řešení než konvenční nástroje [26].

Optické vláknové snímače většinou pracují na principu snímání vnějších veličin, které se projevují změnou výkonu nebo fáze přijatého světelného paprsku. Zdroj optického záření je podle požadavků nejčastěji tvořen luminiscenční (nekoherentní zdroj záření) nebo laserovou diodou (koherentní zdroj záření) a je charakterizován zejména vlnovou délkou, šířkou pásma, optickým výkonem, stabilitou a druhem provozu (kontinuální nebo pulzní). Optická vlákna jsou vyrobena ze skla nebo plastu s průměrem do 50 μm a spojena do svazku několika set jednotlivých vláken do tvaru tzv. optického kabelu. Konce jsou spojeny a vyleštěny tak, aby splňovaly kritéria optického průmyslu. Jednotlivá optická vlákna jsou trvale mazána jemnými mazacími prostředky, aby se snižovalo tření s vnějším pláštěm a také mezi vlákny samotnými, protože vlákna jsou neustále namáhána tahem a krutem a mohou být zlomena. Takto mohou být vlastnosti přenosu zaručeny na dlouhou dobu. V optickém vlákně se šíří informace pomocí fotonů uvnitř optického vlákna, tzn. ve VOS je snímány vnějšími veličinami ovlivňován tok fotonů. Vláknově optický senzor se volí s ohledem na druh měřené veličiny, způsob modulace, metodu měření a dále podle požadovaných parametrů (nároků na měření) [26],[27].

Výhodou těchto snímačů je vysoká rozlišovací schopnost při poměrně značném měřicímu rozsahu. Dalšími výhodami jsou velmi malá hmotnost, rozměry a biokompatibilita, odolnost proti elektrostatickému a elektromagnetickému rušení [27].

Nevýhodou je závislost na kvalitě povrchu měřeného objektu, vysoká cena, malá ohebnost a velká křehkost. Další nevýhody najdeme u použití těchto strojů, protože se nedají použít tam, kde měřený objekt není viditelný nebo tam, kde hrozí nebezpečí znečištění optického členu, například v blízkosti hydrodynamických ložisek, kde se vyskytuje olejová mlha, nelze znečištění snímače vyloučit [27].

Optické vláknové senzory nacházejí rozmanité uplatnění nejen v průmyslu, ale nově i v lékařství, kde už nyní mají nezastupitelnou pozici. Vláknově optické senzory se pomalu začínají stávat součástí běžného života. Najdeme je například u rotorů uložených v aerodynamických ložiscích (Zde nehrozí nebezpečí znečištění) [27].

K rozšíření vláknově optických senzorů do každodenních aplikací a k jejich rozsáhlejšímu nasazování je nutná jejich průmyslová sériová výroba, čímž se sníží jejich cena. Nyní ještě stále není prioritní u optoelektroniky snímání vibrací, ale daleko častěji se používají ke snímání polohy, a teploty. V České republice se nyní vyskytuje několik dodavatelů vláknově optických senzorů a jednou z firem je například společnost Balluff, přímo výrobcem je firma OPTOVIT.

4.5 Bezdrátové technika

Čerpáno ze zdrojů [28],[29].

Bezdrátové technika je jeden ze současných trendů vibrodiagnostiky. Některé velké firmy tuto techniku pomalu začínají využívat, jiné s jejím použitím stále otálejí.

S použitím bezdrátové techniky lze dokonaleji a efektivněji řídit spojitě technologické procesy i provozy a závody, v nichž jsou provozovány. Tuto efektivnost zvyšujeme pomocí množství dostupných informací jak o technologickém procesu, ale i celkovém chodu závodu. Větší množství dostatečně kvalitně naměřených hodnot znamená více příležitostí ke snižování provozních nákladů a ke zvyšování kvality výrobků a výkonnosti a dostupnosti výrobního zařízení. Použití bezdrátové techniky pomáhá zvýšit i bezpečnost na pracovištích a pomáhá splnit legislativní požadavky.

“Tovární bezdrátové sítě podle konceptu Smart Wireless Architecture jsou otevřené, jsou založeny na komerčních standardech jako IEEE 802.11 (WiFi), nově přicházejícím standardu 802.11s (WiFi *mesh*) a 802.16 (WiMAX), široce podporovaných množstvím snadno a levně dostupných zařízení [29].“

Výhody bezdrátové techniky:

- Umožňuje okamžitý přístup k informacím i mimo pracoviště
- Zlepšení komunikace mezi pracovníky (nahrazení radiostanic)
- Rozšíří možnosti v oblasti sběru dat, napomáhá zdokonalit řízení procesů a správu výrobních aktiv
- Jednodušší připojení nových měřicích míst
- Není třeba se starat o celý složitý systém kabelů

Maximálních výhod docílíme při jejich hromadném využití v mnoha rozmanitých úlohách přenosu informací. Čím více informací sledujeme a potřebujeme pro chod závodu, tím je výhodnější použít bezdrátovou techniku.

Nevýhody bezdrátové techniky:

- Omezený dosah dosavadních bezdrátových snímačů a převodníků pro sběr dat a nedostatečná spolehlivost rádiových spojení v rušivém továrním prostředí
- Technika nevyhovující potřebám uživatelů, co se týče stupně informační bezpečnosti požadovaného v průmyslu a dostatečně efektivního způsobu dodávky energie do provozních přístrojů
- Neexistence standardů pro samotná rádiová spojení i pro celkovou strukturu systémů

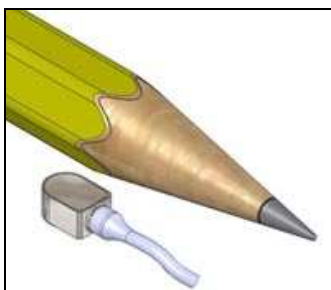
Využití bezdrátové techniky

„Možnosti využití bezdrátové techniky jsou početné a rozsáhlé, od automatizace operátorských obchůzek, přes připojení přídavných měřidel až po měření na rotujících částech technologického zařízení závodu apod. Bezdrátové snímače vibrací nyní např. mohou poskytovat informaci o spolehlivosti zařízení v reálném čase každý den, popř. kdykoliv podle rozpisu, a ne pouze jednou za čtvrt roku. Lze sledovat činnost odpouštěcích ventilů, a tím efektivněji zajišťovat chování závodu v souladu s regulačními požadavky v oblasti ovlivňování životního prostředí, i trvale v režimu 24/7 sledovat bezpečnostní sprchy s možností okamžitého zásahu při poruše. Mnohé z uvedených úloh jsou myslitelné i bez použití bezdrátové techniky, z důvodu cenových či technických omezení to však často není možné [28].“

V běžné praxi se bezdrátové snímače vibrací používají jako dveřní detektory pohybu pro zabezpečení domů.

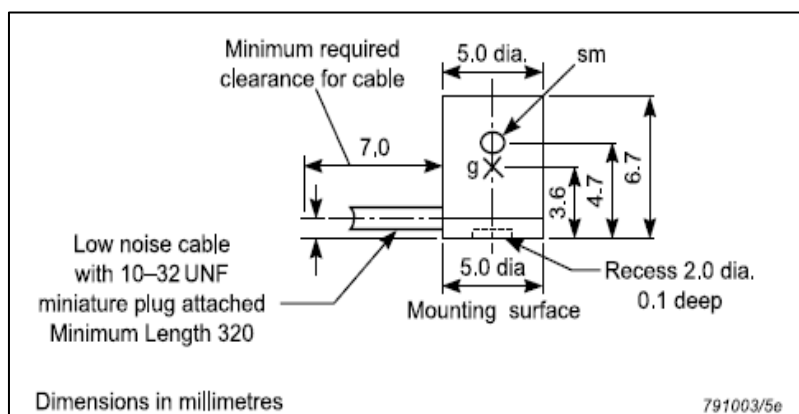
4.6 Minisenzory

Minisenzory fungují na piezoelektrickém přístupu. Jejich velikost se pohybuje do dvou centimetrů. Spojení se strojem je lepené nebo šroubové a je voleno podle velikosti snímače. Menší snímače (ultra mini) jsou lepené.



Obr. 19 Velikost minisenzoru [19]

Tyto senzory vibrační mohou být použity v úzkých a stíněných prostorech, kde by použití normálních senzorů nebylo možné.



Obr. 20 Velikost senzoru [35]



Obr. 21 Reálný senzor [35]

	3225F3	8640A10	4375	4374
Společnost	Dytran	Kistler	B&K	B&K
Frekvence	1.6 - 10 000 Hz	0.5 – 3 000 Hz	0.1 – 16 500 Hz	1 – 26 000 Hz
Teplota	-50 do 121 °C	-40 do 65 °C	-74 do 250 °C	-74 do 250 °C
Váha	0,6 g	3.5 g	2.4 g	0.65 g
Citlivost	10 mV/g	500 mV/g	5 mV/g	1.5 mV/g
Velikost	7,87x12,19x4,83 mm	10,1xφ10,1 mm	6,7xφ5mm	7,3xφ11,1 mm

Tabulka 9 Srovnání minisenzorů [35],[19],[20]

Tyto senzory jsou novinku na trhu a jejich použití se nyní zaměřuje nejvíce na lékařské aplikace, ale mohou být stejně jako ostatní snímače použity na snímání vibrační ložisek, či jiných zařízení.

Minisenzory jsou vyráběny firmami Dytran, Kistler, B&K, Pruftechnik atd.

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo monitorování současného stavu vibrodiagnostiky, jejích nejmodernějších technik a nových trendů.

V první části práce pojednává o diagnostice obecně, protože poznání postupného vývoje nejen vibrodiagnostiky, ale i ostatních diagnostických metod nám mohou pomoci pochopit současný vývoj.

Novinky v diagnostice se objevují každý den, což částečně komplikovalo tvorbu této práce. Dalším problémem, který se vyskytl, bylo nevstřícné jednání firem v poskytování informací o přístrojích a technologiích, proto mohou být některé informace zkreslené.

V současnosti vidím největší pokrok v minimalizaci přístrojů, přenosnosti přístrojů a bezdrátovém přenosu dat.

V minimalizaci se v posledních letech udělali největší pokroky díky rozvoji mikroelektrotechnických systémů. Nyní se jedním z nejmenších senzorů může pochlubit firma Dytran, jejíž senzor má velikost 7,87x12,19x4,83 mm. V nejbližších letech bude trend minimalizace a zvyšování přesnosti pokračovat, a jejich uplatnění v lékařství se bude stále zvyšovat.

Přenosné přístroje mají největší výhody v universálnosti, přesnosti měření a jednoduché přenositelnosti, čehož využívají diagnostické firmy. Výrobci se nyní nejvíce zabývají zvýšením rozsahu, univerzálnosti a jednoduchosti ovládání přístrojů. Dalším zájmem výrobců je zlepšení grafického zobrazení naměřených hodnot s pomocí softwaru na počítači, ale i přímo na přístroji. Speciálním zástupcem této skupiny jsou tužkové přístroje, které se používají spíše pro orientační měření.

Nejčastěji se v průmyslu můžeme setkat se stacionárními ON-LINE přístroji a také s průmyslovými senzory. ON-LINE přístroje mají svoji obrovskou výhodu ve schopnosti snímat a vyhodnocovat vibrace v reálném čase. Průmyslových senzorů je na trhu velký počet druhů, ze kterých je možné si vybrat podle námi stanovených kritérií.

Bezdrátová technika je nyní novinkou a mnoho firem stále váhá s uplatněním této metody, i přes stále se zlepšující dosah a zabezpečení přenosu dat. Tato metoda není ještě v průmyslu moc obvyklá a to i díky dlouho chybějícím normám.

Vibrodiagnostika nachází každým rokem větší uplatnění. Jedním z důvodů je uvědomování si ceny lidských životů, dále pak cena strojů a v neposlední řadě zvyšování dostupnosti a povinnosti používat vibrodiagnostiku v určitých provozech. Nejčastěji se s ní setkáme v energetice, kde je použití diagnostiky povinností.

Seznam použité literatury

- [1] KREIDL, M.; Šmíd, R.. *Technická diagnostika*. 1. vyd. Praha, 2006. 408 stran. ISBN 80-7300-158-6.
- [2] LIŠKA M.; Sládek Z., *Spolehlivost a technická diagnostika*, 1.vyd. Brno 1989,146 stran, ISBN 80-214-1047-7.
- [3] JANOUŠEK, I.; Kozák, J.; Taraba, O. a kol.. *Technická diagnostika*. 1. Vydání Praha, SNTL Praha; 1988. 432 stran. ISBN 04-236-88.
- [4] VAD 09/10 Z [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. Automatická diagnostika. Dostupné z WWW:
<<https://www.vutbr.cz/elearning/course/view.php?id=90847>>.
- [5] ZUTH D., VDOLEČEK F. : Možnosti a problémy moderní (vibro)diagnostiky. *Automa [online]*, 2009, říjen [cit. 19.ledna 2010] Dostupné na WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39703>
- [6] ČERNOHORSKÝ J.: Technická diagnostika, *Automa[online]*, 2003 květen [cit. 25.ledna 2010]
Dostupné na WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28810>
- [7] KRŽÍŽEK M., Studijní podklady pro výuku - Testování a diagnostika strojů [online] Dostupné z: <<http://home.zcu.cz/~krizek4/zcu/podklady/TDS11.pdf>>
- [8] VDOLEČEK F.: Technická diagnostika v systémech údržby, *Automa [online]*, 2008 květen [cit. 1.února 2010]
Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37313>
- [9] DVOŘÁK V., Experimentální modální analýza, In Sborník SP FST [online] 2009, 28.4.2009 [cit. 2.února 2010]
Dostupné na:
<[http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST\(SVOC\)/_2009/_sbornik/PapersPdf/Ing/Dvorak_Vitezslav.pdf](http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST(SVOC)/_2009/_sbornik/PapersPdf/Ing/Dvorak_Vitezslav.pdf)>
- [10] Němec Z., *Prostředky automatického řízení elektrické*, 2.upravené vydání Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
Dostupný na WWW: <<http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>>
- [11] ZUTH D., VDOLEČEK F.: Měření vibrací ve vibrodiagnostice, *Automa [online]*, 2010 leden [cit. 5.února 2010]
Dostupné na: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40375>
- [12] VDOLEČEK, F., *Spolehlivost a technická diagnostika*. Brno, 2002. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
Dostupný na WWW:< <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>>
- [13] Honeywell Sensotec, FAQ [online]. 2003, září 2003 [cit. 15.února 2010]
Dostupné na:<http://www.sensotec.com/pdf/FAQ_092003.pdf>

- [14] JANDOVÁ, Kateřina. *Vibrodiagnostika*. [online]. 2006. [cit. 29.února.2010]. Dostupné z: <http://www.cdm.cas.cz/czech/hora/vyuka/tdk/sem2006/VD_JANDOVA.ppt#256,1,Vibrodiagnostika>
- [15] VOJÁČEK, Antonín. *Principy akcelerometrů*. Automatizace.hw [online]. 2007, leden [cit. 25.května. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>>
- [16] *ICS 17.160 - Vibrace, rázy a měření vibrací a rázů* [online]. 2010 [cit.2010-04-18]. Normy.biz. Dostupné z WWW: <<http://shop.normy.biz/show.php?categoryID=ics&ics=17.160>>.
- [17] Smutný, Diagnostické parametry a signály: deterministické signály, náhodné signály, základní podmínky výběru diagnostických, Ostrava, 2002. Vysoká škola báňská, Fakulta strojního inženýrství. Dostupný na WWW: http://fs1.vsb.cz/3_Smutny/Predmety/02_Provoz_sys_rizeni/11_DiagMetody-Vibro-Termo_Akust.doc.
- [18] LOUDA, P. Materiály ve strojírenství. In Úvod do strojírenství. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2001, 189 stran, ISBN 80-7083-538-9
- [19] *Dytran.com* [online]. 2008 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <www.dytran.com>.
- [20] *Kistler.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. PiezoBeam Mini Accelerometer. Dostupné z WWW: <http://www.kistler.com/ca_en-us/13_Productfinder/App.8640A10/PiezoBeam-Mini-Accelerometer-10-g.html?print=true>
- [21] *Vibrační pero plus CMVP* [online]. Praha 7 : 2005 [cit. 2010-04-18]. Skf.com. Dostupné z WWW: <skf.com/files/260849.pdf>
- [22] *Cmms.cz* [online]. 2008 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <www.cmms.cz>.
- [23] *Úvod do snímačů zrychlení* [online]. 2007 [cit. 2010-04-18]. Omegaeng.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/Accelerometers.html>>.
- [24] *Probe tips* [online]. 2009 [cit. 2010-04-18]. Pcb.com. Dostupné z WWW: <http://www.imi-sensors.com/Accessories/Probe_Tips.aspx>
- [25] Optoelektronické prvky. *Měřicí technika : Optoelektronika* [online]. 2007, 3., [cit. 2010-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data1/MT/mt-prednasky/K03optoelektronika.pdf>>.
- [26] *Products- Optické mikrofony* [online]. 2009 [cit. 2010-04-18]. Safibra.cz. Dostupné z WWW: <<http://www.safibra.cz/cesky/produkty/mikrofony/monitoring.html>>.

- [27] HANÁČEK, F., et al. Vláknové optické senzory – hudba budoucnosti. *Automatizace*. Říjen 2009, 52, 10, s. 577-579. Dostupný také z WWW: <<http://www.automatizace.cz/article.php?a=2624>>
- [28] FERRIS M., Bez datových vodičů v závodě: proč ne? . *Automa*. Duben 2008, 4, s. 65-67. Dostupný také z WWW: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36974.pdf>>
- [29] Otevřené bezdrátové systémy pro závody s kontinuálními technologickými procesy . *Automa*. Únor 2008, 2, s. 32-35. Dostupný také z WWW: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=36691>.
- [30] *Accelerometers -- Miniature / ESS* [online]. 2008 [cit. 2010-04-18]. Dytran.com. Dostupné z WWW: <<http://www.dytran.com/go.cfm/en-us/content/product/621/ACCELEROMETERIEPE-3225F3/x?SID=>>>.
- [31] *Products - Compare* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Bksv.com. Dostupné z WWW: <<http://www.bksv.com/products/compare.aspx?list=:4374:4375:&p={B8F0DBC-A7A8-4AB7-89E6-49758EF6D816}>>>.
- [32] *Termovizní měření teplotních polí* [online]. 2007 [cit. 2010-04-18]. Zcu.cz. Dostupné z WWW: <<http://tp.zcu.cz/cz/vyzkum/teplotni-mereni/termovizni-mereni>>
- [33] *Výrobní stroje* [online]. 2009 [cit. 2010-04-18]. Ksd.tul.cz. Dostupné z WWW: <http://www.ksd.tul.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-7pr.pdf>.
- [34] *Normy* [online]. 6.12.2005 [cit. 2010-04-18]. Knihovny.cvut.cz. Dostupné z WWW: <http://knihovny.cvut.cz/vychova/vychova1/inf_pram/normy.html>.
- [35] *Bksv.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.bksv.com>>.
- [36] *Pcb.com* [online]. 2009, [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.pcb.com>>.
- [37] *Omegaeng.cz* [online]. 2005 [cit. 2010-04-18]. ACC793. Dostupné z WWW: <<http://www.omegaeng.cz/ppt/pptsc.asp?ref=ACC793>>.
- [38] *Adash.cz* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Přenosné přístroje. Dostupné z WWW: <www.adash.cz>.
- [39] *Pruftechnik.com* [online]. 2010 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.pruftechnik.com/condition-monitoring/>>.
- [40] *Datastick.com* [online]. 2009 [cit. 2010-04-18]. VSA 1215. Dostupné z WWW: <<http://www.datastick.com/products/vsa1215analyzer.html>>
- [41] *Skf.com* [online]. 2007 [cit. 2010-04-18]. Dostupné z WWW: <www.skf.com>.

Seznam obrázků

Obr. 1 Dělení poruch [4]	16
Obr. 2 Interferenční jev při odrazu hluku od pevné přepážky [1]	18
Obr. 3 Snímání termovizní	19
Obr. 4 Teplotní pole snímáno termovizní [32]	19
Obr. 5 Uspořádání aktivní termografie s CCD kamerou [1]	20
Obr. 6 Uspořádání systému aktivní termografie [1]	20
Obr. 7 Relativní a absolutní kmity [1]	21
Obr. 8 Převodní charakteristika- vyjádření závislosti výstupního signálu na výstupní veličině [1]	22
Obr. 9 Mechanický model absolutního a relativního snímače vibrací [1]	22
Obr. 10 Model absolutního senzoru vibrací [11]	23
Obr. 11 Nejjednodušší blokové schéma principu piezoelektrických akcelerometrů [1]	24
Obr. 12 Model piezorezistivního snímače [13]	25
Obr. 13 Uspořádání kapacitního akcelerometru [1]	26
Obr. 14 Frekvence ovlivňující uchycení [24]	26
Obr. 15 Správného uchycení šroubového spojení [24]	27
Obr. 16 Fourierova transformace [1]	28
Obr. 17 B&K Model 4371 s bočním konektorem [35]	31
Obr. 18 Přenosný přístroj ADASH 4300-VA3 [38]	32
Obr. 19 Tužkový detektor CMMS 908s [22]	33
Obr. 20 Ukázka stacionárního přístroje, B&K VC 1500 [35]	34
Obr. 21 Velikost minisenzoru [19]	37
Obr. 22 Velikost senzoru [35]	37
Obr. 23 Reálný senzor [35]	37

Seznam použitých zkratek a symbolů

CCD	Charge-Coupled Device (Zařízení s vázanými náboji)
ČSN	Česká soustava norem
DTF	Discrete Fourier transform (Diskrétní Fourierova transformace)
FFT	Fast Fourier transform (Rychlá Fourierova transformace)
ICP	Integrated circuit piezoelectric (Snímač s integrovaným piezoelektrickým obvodem)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Institut inženýrů elektrotechniky a elektroniky)
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
LCD	Liquid Crystal Display (Displej z tekutých krystalů)
VOS	Vláknový optický senzor
WiFi	Wireless fidelity (Spolehlivá bezdrátová komunikace)

Seznam tabulek

Tabulka 1 Seznam zkratek	22
Tabulka 2 Rozdělení senzorů [4].....	23
Tabulka 3 Část normy ISO 10816.....	29
Tabulka 4 Aplikace vibrodiagnostiky [33].....	30
Tabulka 5 Porovnání snímačů pro průmysl [35], [36], [37].....	31
Tabulka 6 Porovnání přenosných přístrojů [38],[35],[39],[40].....	32
Tabulka 7 Porovnání tužkových přístrojů [22], [41]	33
Tabulka 8 Porovnání stacionárních přístrojů [35], [41], [39].....	34
Tabulka 9 Srovnání minisenzorů [35],[19],[20].....	37