

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 258

ISSN 1213-418X

Luboš Pazdera

**MODERNÍ METODY
TESTOVÁNÍ MATERIÁLŮ, STRUKTUR
A KONSTRUKCÍ - ANALÝZA SIGNÁLŮ
ČASOVĚ FREKVENČNÍMI METODAMI**

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV FYZIKY

Doc. Ing. Luboš Pazdera, CSc.

**MODERNÍ METODY TESTOVÁNÍ MATERIÁLŮ,
STRUKTUR A KONSTRUKCÍ**

**ANALÝZA SIGNÁLŮ ČASOVĚ FREKVENČNÍMI
METODAMI**

**ADVANCED METHODS OF MATERIAL, STRUCTURE
AND CONSTRUCTION TESTING –
SIGNAL ANALYSIS USING TIME–FREQUENCY
METHODS**

Teze přednášky k profesorskému jmenovacímu řízení
v oboru

Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství



BRNO 2008

KLÍČOVÁ SLOVA

měření, analýza, materiál, struktura, časově-frekvenční transformace, nedestruktivní a destruktivní testování, stavebnictví

KEY WORDS

Measuring, Analysis, Material, Structure, Jointed Time-Frequency Transformation, Non-Destructive and Destructive Testing, Civil Engineering

Obsah

Obsah.....	3
Představení autora	4
Úvod.....	6
1 Přehled dosažených výsledků.....	7
<i>1.1 Působení v oblasti vědy a výzkumu</i>	<i>7</i>
<i>1.2 Pedagogické působení</i>	<i>8</i>
2 Teze pedagogicko odborné přednášky	9
<i>2.1 Moderní matematické postupy</i>	<i>9</i>
<i>2.2 Analýza akustických opatření u kola.....</i>	<i>11</i>
<i>2.3 Vyhodnocení kvality stavebních prvků</i>	<i>13</i>
<i>2.4 Perspektivy využití časově frekvenčních metod...15</i>	
3 Koncepce další činnosti.....	16
<i>3.1 Koncepce vědecké práce.....</i>	<i>16</i>
<i>3.2 Koncepce výuky ve fyzice na fakultě.....</i>	<i>16</i>
4 Vybraná literatura autora.....	17
Abstract.....	19

Představení autora

Doc. Ing. **Luboš Pazdera**, CSc

narozen roku 1963 v Brně.



V roce 1988 absolvoval Vysoké učení technické v Brně, Fakultu strojní, obor přístrojová, automatizační a regulační technika. Tématem diplomové práce byla „Digitální filtrace“.

Roku 1994 obhájil disertační práci „Kybernetizace experimentálního studia flukuačních procesů v pevných látkách“ ve vědecké aspirantuře pracovníků školících pracovišť a získal hodnost kandidáta matematicko-fyzikálních věd v oboru 11-22-9 „Fyzika kondenzovaných látek a akustika“.

V roce 1998 obhájil v oboru „Aplikovaná fyzika“ habilitační práci „Studium zatěžovaných stavebních materiálů a konstrukcí metodou akustické emise“ před Vědeckou radou Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Od roku 1988 (dosud) pracuje jako pedagogicko-vědecký pracovník na Ústavu fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Vede teoretická a laboratorní cvičení a přednášky ze základního kurzu fyziky. Dále vede experimentální cvičení a přednášky v oborech doktorského studia zabývajících se aplikací fyzikálních jevů pro potřeby stavebních inženýrů. Zavedl nové předměty: Modelování fyzikálních aplikací pro stavební inženýry (doktorské studium) a Modelování fyzikálních procesů (magisterské studium). Při řešení projektu ESF je spolunavrhovatelem nového předmětu Problematika životního prostředí ve vztahu k dopravním stavbám. Celková doba pedagogické praxe je 18 let.

Od roku 1996 pravidelně vedl nadané studenty v soutěži Studentské tvůrčí činnosti.

Úspěšně vyškolil tři doktorandy v oboru Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství a v současné době je školitelem doktoranda.

Zabývá se výzkumem a vývojem v oblasti teoretické i experimentální. Při měření využívá svých fyzikálních znalostí jak při návrhu experimentu, tak při analýze výsledků. Jeho tvůrčí činnost je zaměřena zejména na použití automatizační a regulační (výpočetní) techniky do měření a matematického zpracování experimentálních dat vč. jejich analýzy.

V roce 1997 byl spoluřešitelem úspěšného fakultního úkolu „Analýza a rekonstrukce nestacionárních signálů“, č. FU270004.

V letech 1997 až 2000 byl řešitelem grantového úkolu „Studium, analýza a vyhodnocení signálů akustické emise aplikované na tenkostěnné systémy“, GA ČR 103/97/P140.

V roce 2000 byl spoluřešitelem úspěšného projektu FRVŠ „Laboratoř pro měření vibrací a hluku“, projekt MŠMT FR 201591.

Od roku 1997 je spoluřešitelem (vedl skupinu pracovníků Ústavu fyziky) projektů spolupráce s průmyslem řešených formou hospodářských smluv. Zde řeší problematiku hlukových a vibračních poměrů v železniční dopravě.

Byl a je aktivním členem řešitelských kolektivů několika projektů jak domácích, tak zahraničních. Konkrétně se jedná o vědecko-výzkumný záměr „Teorie, spolehlivost a mechanismus porušování staticky a dynamicky namáhaných stavebních konstrukcí“ CEZ J22/98:261100007 a „Diagnostiky a spolehlivosti elektronických součástek“ COPERNICUS CP 93 a další.

Publikoval více než 50 příspěvků na mezinárodních fórech v jazyce anglickém. Příspěvky na významných vědeckých konferencích prezentoval osobně. Více jak 50 příspěvků publikoval na národním fóru. Preferuje kolektivní spolupráci nad prací jednotlivce. Spolupracuje také s mladými začínajícími vědeckými pracovníky, což dokazuje méně samostatných publikací. Je autorem (spoluautorem) skript a příspěvků v oblasti pedagogiky.

Od roku 1999 je členem výboru Regionální skupiny Jižní Moravy České společnosti pro nedestruktivní testování.

Jeho vědecká činnost na počátku byla zaměřena zejména na šumovou spektroskopii elektronických součástek pod vedením prof. RNDr. Ing. Josefa Šikuly, DrSc^{*}. Konkrétně se jednalo zvláště o automatizaci experimentu a aplikaci matematického postupu zpracování (Fourierovy transformace). V současné době se zabývá testováním (měřením a analýzou) stavebních konstrukcí zejména pomocí metod nedestruktivního testování. Specializuje se na oblast měření a analýzy akustických vln a vibrací zvláště ve stavebnictví, kde navazuje na výzkum v minulosti vedeném doc. RNDr. Zdeňkem Weberem, CSc[†]. Spolupracuje zejména s Ústavem železničních konstrukcí a staveb v oblasti měření a analýzy hluku a vibrací s využitím v současnosti nejmodernějšího matematického aparátu. Věnuje se také vlivu elektromagnetického pole na lidský organismus. Ve spolupráci s Ústavem konstruování Fakulty strojního inženýrství se podílí na řešení problematiky sledování únavy materiálu.

V posledních deseti letech se snaží prosazovat nové metody zpracování a hodnocení technických (experimentálních) dat s využitím moderních matematických postupů.

* bývalý vedoucí Ústavu fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, který se zabýval zejména šumovou spektroskopií

† bývalý pracovník Ústavu fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně, který se zabýval metodou akustické emise po mnoho let

Úvod

Začlenění České republiky do svazku států Evropské unie vyžaduje rozsáhlé sladěání našich metodik, výzkumných postupů, norem a předpisů s evropskými. Rozvoj společnosti je spojen se zvyšováním kvality a jakosti materiálů, konstrukcí. To se týká také stavebnictví. Nástrojem zvyšování kvality je vytvoření či převzetí vhodných metodik, tj. technologie, návrhů materiálů a konstrukcí a kontrola v průběhu životnosti. To je neoddělitelně spojeno s měřením, analýzou a modelováním. Zvyšování kvality je podmíněno především získáváním správných detailních znalostí o vlastnostech stavebních materiálů a konstrukcí a jejich rozumném využití. K dosažení uvedených cílů slouží moderní metody měření, analýzy a modelování jako nezastupitelný integrovaný vědní obor spojující teoretické a praktické znalosti.

Měření je rozsáhlý soubor technických operací určených ke stanovení parametrů a vlastností materiálů, konstrukcí a systémů. Jejich analýza a modelování pak slouží k jejich optimálnímu využití ve stavebním díle. Komplex zahrnující teorii, metodiku, měření, analýzu a modelování je interdisciplinárním vědním oborem určeným k nalezení fyzikálních mechanismů resp. technických parametrů, které slouží k výzkumu a rozvoji nových technologií, konstrukcí, systémů a koncepcí ve stavebnictví. Nedílnou součástí měření je také jeho dostatečná automatizace často zahrnující rovněž vyhodnocení.

Jako pracovník zaměřený na teoretickou i praktickou přípravu a řízení experimentů se aktivně podílím na návrzích, výrobě a ověřování řady metodik, měřicích systémů a zařízení pro zkoušení vlastností zejména stavebních materiálů a konstrukcí. Zabývám se zvláště oblastí využití metod nedestruktivního testování pro potřeby stavebních inženýrů. Rozvíjím rezonanční inspekci, akustickou emisi, metodu impact-echo a další metody. Ideově navrhuji a snažím se prosadit inovaci a doplnění přístrojového vybavení ústavu tak, aby uvedené metody včetně jejich metodik a analýz mohly sloužit pro potřeby studentů, pedagogů a výzkumných pracovníků nejen Ústavu fyziky.

Při řešení vědecko-výzkumných projektů preferuji týmovou práci a soustavně ji prosazuji mezi svými spolupracovníky a snažím se získávat mladé pracovníky a doktorské studenty pro tuto spolupráci. Podporuji jejich neustálý odborný růst jak formou doktorského studia, tak formou postgraduálních kurzů a odborných školení.

Předkládané teze přednášky jsou shrnutím činnosti ve vědecké a pedagogické oblasti v součinnosti s řešenými aktuálními úkoly celého ústavu, včetně nástinu perspektivy činnosti v nejbližších letech.

1 Přehled dosažených výsledků

Celou svou pracovní činnost jsem realizoval na Ústavu fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně

1.1 Působení v oblasti vědy a výzkumu

Počáteční činnost působení na Ústavu fyziky byla ve znamení zájmu o oblast šumové spektroskopie elektronických součástek a automatizaci s tím souvisejících experimentů.

Pro automatizované měření teploty současně ve více místech vzorku jsem navrhl metodiku, připravil aparaturu včetně programového vybavení a provedl řadu experimentů na různých typech vzorků.

Navrhl jsem a aplikoval aparaturu (včetně software) na měření hluku a vibrací.

Dále se zabývám měřením a analýzou signálu akustické emise s aplikací na stavební materiály, konstrukce apod. Realizoval jsem automatizované měřicí pracoviště pro snímání a analýzu signálů akustické emise s použitím paměťového osciloskopu. Dále jsem realizoval přenosnou aparaturu zejména pro měření signálu akustické emise s možností záznamu časových průběhů zvolených událostí akustické emise. Zprovoznil jsem a rozšířil o další doplňková zařízení firemní přístroj na měření signálu akustické emise. S těmito systémy byla provedena měření akustické emise jak v rámci základního výzkumu, tak v rámci grantových a výzkumných projektů.

Navrhl jsem a realizoval měřicí zařízení na testování stavebních struktur pomocí metody impact-echo, rezonanční inspekce, akustické emise, impedanční spektroskopie, modální analýzy atd. Současně se podílím na výzkumu a realizaci nových metod nelineárního testování.

Dále aplikuji matematické postupy pro analýzu měřených signálů. Zde se zabývám zejména aplikací časově frekvenčních postupů na reálné výstupy z měření. Toto úzce souvisí se změnami metodik vyhodnocování, příp. i vlastního měření.

Další významnou oblastí je experimentální sledování akustických a vibračních vlastností kolejové dopravy. V této oblasti jsem realizoval aparatury a měřicí postupy včetně jejich vyhodnocení na sledování akustických a vibračních charakteristik vznikajících vlivem kolejové dopravy. Netradičním způsobem vyhodnocení je použití časově frekvenčních analýz. V této oblasti spolupracuji na vývoji metodiky měření akusticko-vibračních vlastností kolejové dopravy a vývoji akustických absorbérů umístěných na kole kolejového vozidla.

Cíle mé práce v oblasti vědy a výzkumu jsou:

- testování možností použití výše uvedených metod pro praktické aplikace se zaměřením na stavební materiály, struktury a konstrukce v laboratorních podmínkách i při reálném provozu,
- návrh výběru postupů a parametrů pro testování kvality, mikroskopických či makroskopických vad, pevnosti apod. u stavebních materiálů a konstrukcí pomocí uvedených metod,

- studium a výzkum metod, které lze použít k racionální analýze měřených signálů, doporučení metod zpracování signálů s důrazem na časově frekvenční analýzu.

Většina uvedených metod využívá šíření elastických vln generovaných při deformaci namáhaných materiálů.

Časově frekvenční analýza je vhodná zejména pro aplikace využívající akustické oblasti (elektroakustika, akustika apod.) a vibrací. Hlavní použití je v oblasti nestacionárních signálů, přechodových jevů a odezвовých signálů. Tato analýza je tedy vhodná pro popis široké oblasti fyzikálních signálů.

Vzhledem k nárůstu požadavků na kvalitu, spolehlivost a životnost stavebních materiálů, dílců a konstrukcí při snižování materiálové a ekonomické náročnosti je nutností nalézt vhodné metodiky měření, speciální nebo univerzální měřicí zařízení a vhodné analýzy změřených hodnot. Toto umožňuje posouzení jednotlivých parametrů a vlastností. Tento požadavek se týká nejen oblasti praktické, ale také oblasti teoretické (včetně laboratorních měření).

Při řešení grantů ve spolupráci Kloknerova ústavu Českého vysokého učení technického v Praze a Ústavu fyziky Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně jsme prováděli měření signálu akustické emise tenkostěnných ocelových panelů při dynamickém zatěžování. Měření prokázala, že metoda akustické emise může být použita nejen při statických zatěžovacích zkouškách, ale také při aplikaci dynamického (harmnického) zatížení.

Pro analýzu signálů akustické emise jsem vytvořil a dále pracuji na metodice, která využívá nejen popis obvyklými parametry, ale také prostředky moderní analýzy. Vzhledem k tomu, že se jedná o nestacionární signál, je vhodné použití nejen frekvenční analýzy, ale také časově frekvenční analýzy.

Zapojil jsem se také do dalších výzkumných oblastí elektromagnetického pole, využití fraktálů, elektrického výboje, netradiční metody řešení GIS atd.

Podrobněji se lze s publikovanými výsledky autora ze jmenovaných oblastí seznámit v literatuře.

1.2 Pedagogické působení

Výchova mladých perspektivních studentů a pracovníků pro náročné pedagogické, vědecké a inženýrské úkoly je cílem pedagogického působení autora na Ústavu fyziky Fakulty stavební. Hlavním cílem je dosáhnout u studentů co nejobecnějšího fyzikálního a technického rozhledu. Snažím se vychovávat studenty a zvláště doktorandy k samostatnému myšlení. Doktorandy se snažím zapojit do vědeckých týmů a pověřovat je řešením dílčích náročných úkolů s ohledem na jejich schopnosti.

Studenty učím využívat všech dosažených znalostí, které by měly být zvláště obecného charakteru, a dokázat je vhodným způsobem aplikovat při řešení konkrétních problémů. Pomáhám jim aplikovat teoretické znalosti do praxe tak, aby vznikala realizovatelná řešení. Jedním z významných cílů je dosažení aktivního přístupu studentů ke studiu – tedy dokázat se „správně“ ptát na důležité věci. Přípravuji je, aby z empirických znalostí byli schopni dle vhodně zvoleného matematického, logického a intuitivního přístupu vyvodit závěry.

Nové výsledky získané při výzkumu se snažím vhodně aplikovat v pedagogickém procesu zejména při výuce doktorandů. V laboratořích uplatňuji metodu přechodu od jednoduššího srozumitelného experimentu s využitím metody přímého měření, písemným záznamem a ručním výpočtem postupně k experimentu s plně automatizovaným moderním zařízením. Kladu důraz na znalost principu metody a zdůvodnění vhodnosti jejího použití.

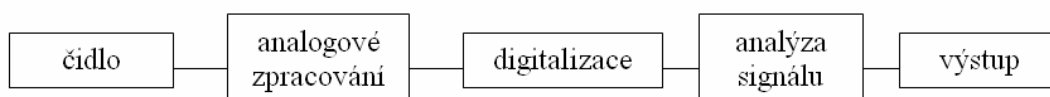
Ústav fyziky zajišťuje výuku základního kurzu fyziky pro bakalářské a magisterské studium, na kterém se podílím výukou ve studentských laboratořích a přednáškami. Fyzikální základy měření a Modelování fyzikálních procesů jsou dva předměty, které vyučuji v doktorském studiu. Zaměřuji se zejména na fyzikální aplikace ve stavebnictví. Od roku 2000 jsem školitelem doktorandů v oboru Fyzikální a stavebně materiálové inženýrství.

V roce 2004 úspěšně dokončil doktorské studium doktorand Bronislav Bechník, jehož práce se zabývala v současnosti Evropskou unií podporovanou oblastí ekologického stavitelství s názvem „Přímý vliv vlhkosti v energetické bilanci pasivní stavby“. Dále jsem byl školitelem Petry Prouzové, která se zabývala využitím metody impact-echo ve stavebnictví. Práce byla nazvána „Hodnocení kvality tenkostěnných keramických materiálů metodou impact-echo“ a úspěšně ji obhájila v roce 2006. Třetí doktorandkou, jejímž školitelem jsem byl a která úspěšně v roce 2007 obhájila doktorskou práci „Analýza signálů akustické emise generovaného při tepelném namáhání stavebních prvků metodou Wavelet“, byla Marie Chrástová (roz. Pálková).

2 Teze pedagogicko odborné přednášky

2.1 Moderní matematické postupy

Základní schéma měření velkého množství fyzikálních a technických veličin je při použití digitalizačních převodů zobrazeno na obr. 1. Jednou z významných částí je analýza signálu včetně vyhodnocení.



Obr. 1 Základní blokové schéma měření fyzikálních a technických veličin

Při měření v mnoha oborech techniky dostáváme řadu změřených hodnot v daných konstantních časových okamžicích. Při zpracování těchto signálů lze použít časovou oblast, ve které byl signál zaznamenán, nebo přejít do jiné – pro některé aplikace výhodnější – oblasti. Jednou z neznámějších oblastí je frekvenční, do které lze signál převést pomocí např. *Fourierovy transformace* dané integrálním vztahem

$$S(f) = k \cdot \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \exp(-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \cdot dt \quad (1)$$

kde f je frekvence, t čas, $s(t)$ signál v časové oblasti a $S(f)$ jeho reprezentace ve frekvenční oblasti, k je konstanta. V praktických aplikacích obvykle pracujeme s diskrétní formou

$$S_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} s_n \cdot \exp\left(-i \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N} \cdot k \cdot n\right) \quad (2)$$

kde s_n je hodnota n -tého prvku diskrétní posloupnosti tedy $s(n \cdot \Delta t)$, S_k je k -tá frekvenční složka signálu tedy $S(k \cdot \Delta f)$, N je počet prvků naměřené posloupnosti a i značí imaginární jednotku.

Poznamenejme, že výsledkem je obvykle amplitudové spektrum

$$|S(f)| \cong \sqrt{S_{\text{Re}}^2(f) + S_{\text{Im}}^2(f)} \quad (3)$$

a fázové spektrum

$$\Theta[S(f)] = \tan^{-1}\left(\frac{S_{\text{Im}}(f)}{S_{\text{Re}}(f)}\right) \quad (4)$$

kde S_{Re} je reálná a S_{Im} je imaginární část.

Pro diskrétní Fourierovu transformaci pak platí vztah zachování energie signálu

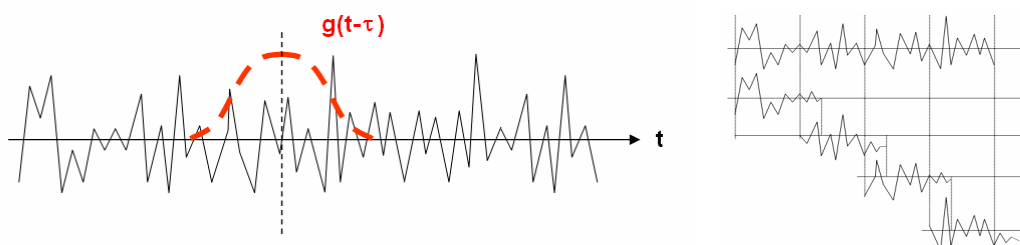
$$E = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} s_n^2 = \sum_{k=0}^{N-1} S_k^* \cdot S_k \quad (5)$$

kde '*' značí komplexní konjunkci.

Lze také využít oblast, která spojuje výhody jak časové, tak i frekvenční oblasti, tedy transformovat signál do časově frekvenční oblasti. K převodu do této oblasti lze použít velkého množství transformací. Nejvíce propracovanou je jistá modifikace Fourierovy transformace nazývaná dle postupu výpočtu **Krátkodobá Fourierova transformace** (STFT – Short Time Fourier Transform).

$$STFT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot g^*(t - \tau) \cdot \exp(-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \cdot dt \quad (6)$$

kde g je okénková funkce, '*' komplexní konjunkce, t je čas, τ časové posunutí okénka, $x(t)$ je časová reprezentace signálu a $STFT(\tau, f)$ je jeho časově frekvenční reprezentace.

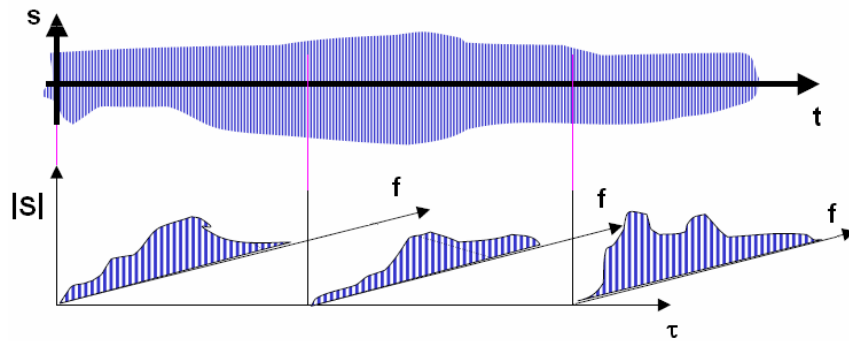


Obr. 2 Postup výpočtu STFT

Základní vztah pro výpočet diskrétní Krátkodobé Fourierovy transformace STFT jako funkce frekvence $f=k \cdot \Delta f$ a posunutí $\tau=r \cdot \Delta t$

$$STFT(r, k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot g[n-r]^* \cdot \exp\left(\frac{-i \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{M}\right) \quad (7)$$

kde $r = 0, 1, 2, \dots, \frac{N-M}{D}$ a $k = 0, 1, 2, \dots, M$, M je délka okénkové sekvence a D je posun okna. Jednotlivé okénkové funkce (segmenty) se mohou překrývat. Postup výpočtu je naznačen na obr. 2. Tedy celý signál je rozdělen na jednotlivé úseky, které se mohou překrývat, a výsledkem jsou jednotlivá spektra dle obr. 3. Výsledkem je zobrazení funkce v 3D.



Obr. 3 Interpretace výpočtu STFT

Časově frekvenční zobrazení Krátkodobé Fourierovy transformace má určité omezení. Výsledné rozlišení v čase a frekvenci je limitováno tzv. **Heisenbergovým principem neurčitosti**.

$$\Delta t \cdot \Delta f = \text{konst.} \quad (8)$$

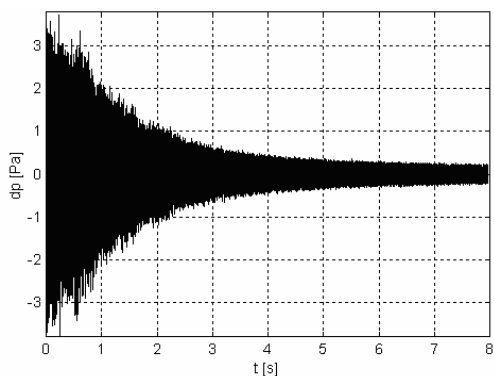
Rozlišení v časové i frekvenční oblasti nemůže být nekonečně malé a lze je vyjádřit výše uvedeným principem neurčitosti.

V technické praxi obvykle signál obsahuje význačné frekvenční složky různých řádů. Proto je někdy nevýhodou Krátkodobé Fourierovy transformace skutečnost, že se aplikuje časové okno stejné šířky pro všechna frekvenční pásma a tudíž frekvenční oblast je rozdělena lineárně.

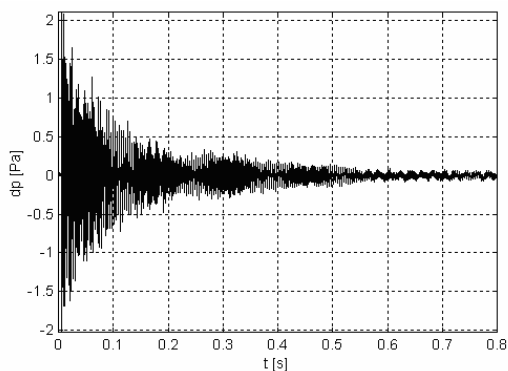
Přes určitá omezení vyplývající z Heisenbergova principu neurčitosti a z něj pramenících omezení s výběrem vážící okénkové funkce a její šíře se tato transformace stává jedním ze základních a rychlých přístupů pro časově frekvenční analýzu stacionárních i nestacionárních signálů.

2.2 Analýza akustických opatření u kola

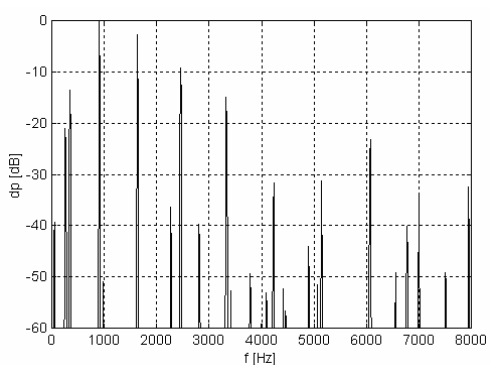
Jelikož jedním z důležitých cílů Evropské unie je snížení negativního vlivu člověka na životní prostředí, je nutné snižovat hluk od dopravních prostředků, k nimž kolejová vozidla patří. Významnou částí hluku je hluk vznikající valením kola po kolejnici, tzv. hluk z valení. Omezení šíření tohoto hluku je možné použitím různých typů akustických absorbérů např. umístěných na kole.



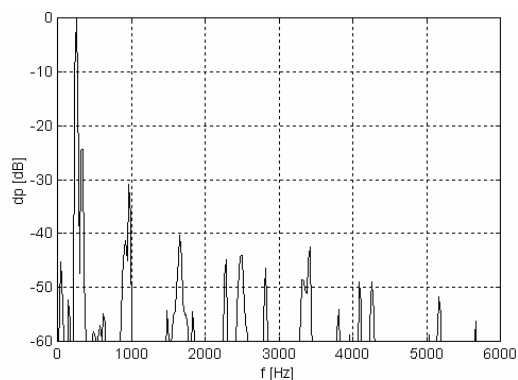
Obr. 4 Průběh výchylky na čase u kola bez absorbérů



Obr. 5 Průběh výchylky na čase u kola s absorbéry

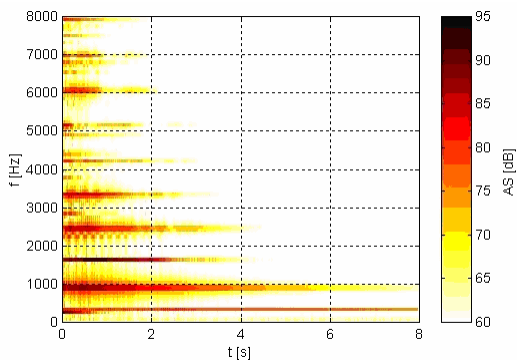


Obr. 6 Průběh amplitudy na frekvenci u kola bez absorbérů

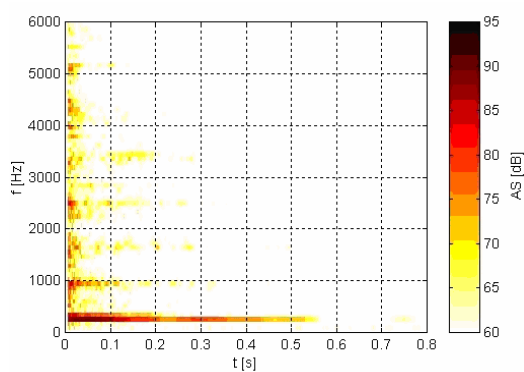


Obr. 7 Průběh amplitudy na frekvenci u kola s absorbéry

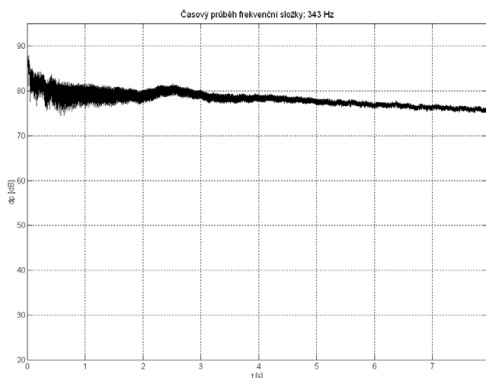
Frekvenční spektra pak ukazují, že u kol s absorbéry (obr. 7) jsou frekvenční složky „širší“ než u kol bez absorbérů (obr. 6), což znamená vyšší útlum.



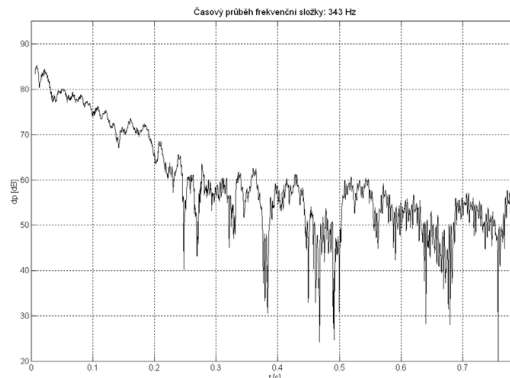
Obr. 8 Průběh amplitudy na čase a frekvenci u kola bez absorbérů



Obr. 9 Průběh amplitudy na čase a frekvenci u kola s absorbéry



Obr. 10 Průběh amplitudy frekvenční složky 343 Hz na čase u kola bez absorbérů



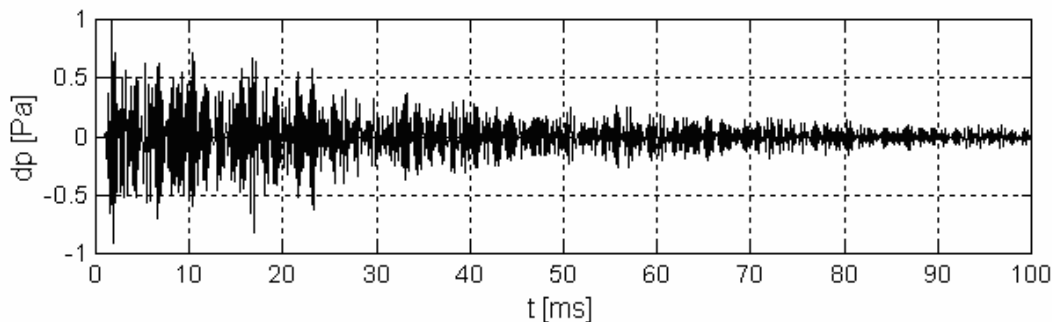
Obr. 11 Průběh amplitudy frekvenční složky 343 Hz na čase u kola s absorbéry

Pro testování vlivu tlumičů byl použit dopad koule z definované výšky a byla analyzována odezva. Z časového průběhu akustického tlaku je zřejmé, že útlum u kola bez absorbérů (obr. 4) je podstatně menší než u kola s absorbéry (obr. 5).

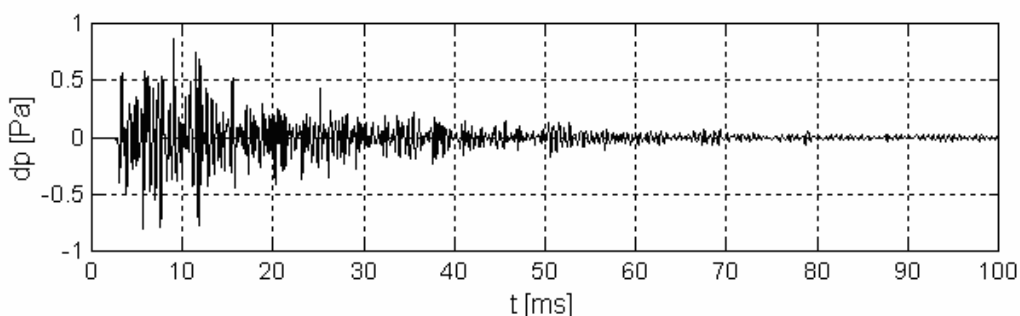
Časově frekvenční spektra již na první pohled ukazují význačné „ostré“ frekvence a jejich dobu útlumu (obr. 8), které je nutné potlačit, aby absorbér měl významnou účinnost. Po aplikaci absorbérů je zřejmý další možný postup k potlačení dominantních frekvencí (obr. 9). Z uvedeného je zřejmé, že z porovnání průběhu časově frekvenčních spekter (obr. 8 a 9) je zřejmý vliv absorbérů v komplexnosti. Útlum na jednotlivých frekvencích lze pak lehce získat řezem na této frekvenci (obr. 10 a 11). Pomocí těchto řezů lze také usuzovat na linearitu dané frekvenční složky.

2.3 Vyhodnocení kvality stavebních prvků

Základním úkolem destruktivního a nedestruktivního testování je určení kvality nebo chování daného materiálu, struktury či konstrukce. Jednou z velmi dávno používaných metod je metoda odezvy na ráz. Tato metoda byla použita pro analýzu stavu střešní tašky.

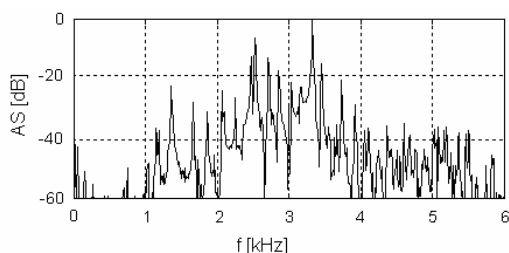


Obr. 12 Časový průběh akustického tlaku u nepoškozeného vzorku

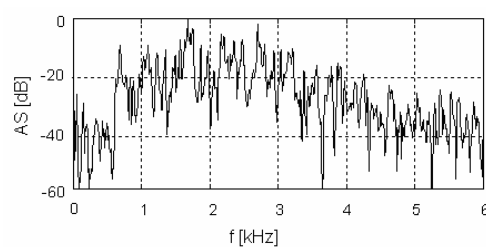


Obr. 13 Časový průběh akustického tlaku u vadného vzorku

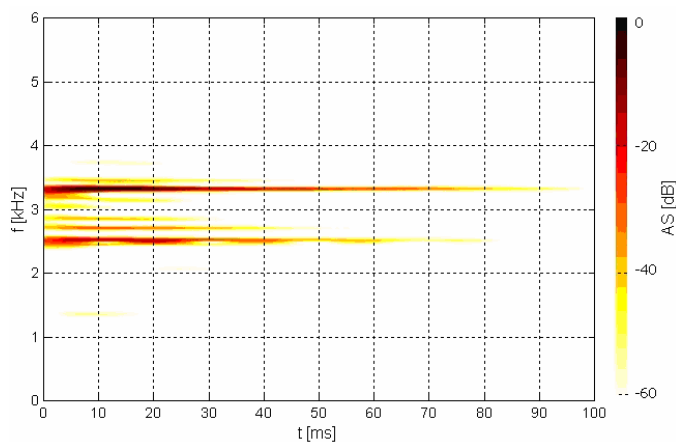
Z uvedených časových a frekvenčních průběhů odezvy na ráz v případě nepoškozeného (obr. 12 a 14) a vadného (obr. 13 a 15) vzorku je zřejmé, že pro vyhodnocení je nutná vysoce vyškolená osoba s praxí. Naopak porovnáním časově-frekvenčních spekter dobrého (obr. 16) a vadného (obr. 17) vzorku jsou zřetelné rozdíly. U dobrého vzorku lze sledovat zejména dvě ostré frekvenční složky na frekvencích 3,3 kHz a 2,6 kHz s velmi dlouhou dobou trvání. Naopak u vzorku s vadami (obr. 17) se frekvenční složka 3,3 kHz téměř ztrácí a frekvenční výrazné pásmo je v oblasti od 500 Hz do 4,5 kHz. Tedy porovnáním obou grafů je zřetelný rozdíl mezi odezvou obou vzorků.



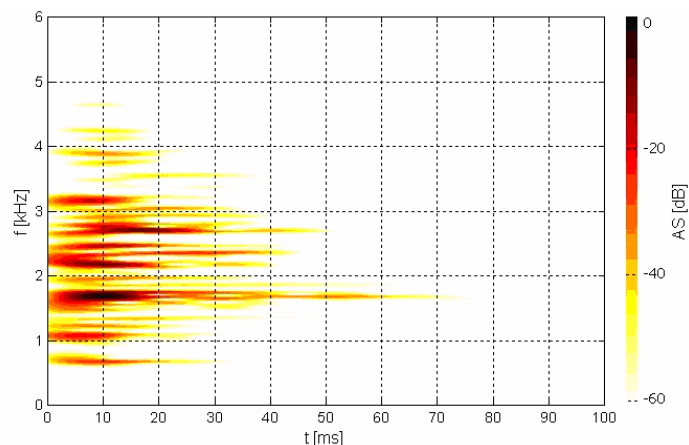
Obr. 14 Frekvenční průběh akustického tlaku u dobrého vzorku



Obr. 15 Frekvenční průběh akustického tlaku u vadného vzorku



Obr. 16 Časově frekvenční průběh dobrého vzorku



Obr. 17 Časově frekvenční průběh vadného vzorku

2.4 Perspektivy využití časově frekvenčních metod

Jak vyplývá z předchozího, jsou v mnoha případech výhody analýzy s pomocí časově frekvenčních transformací oproti analýze v časové nebo frekvenční oblasti významné. Tento trend je zřejmý zejména s rostoucím výkonem procesorů a se snadnější možností zobrazení v 3D oblasti i pro průmyslová zařízení. V teziích byla z velké třídy časově frekvenčních oblastí prezentována Krátkodobá Fourierova transformace (STFT).

Tab. 1 Porovnání Fourierovy transformace a její časově frekvenční modifikace

Metoda	Fourierova transformace FT	Okénková Fourierova transformace STFT
Typ signálu	Stacionární	Stacionární i nestacionární
Spektrum	Průměrné	Okamžité pro daný časový interval

Přesnost a vhodnost této metody závisí na volbě okénkové funkce, její velikosti a na případném překrytí jednotlivých segmentů. Aplikace metody vyžaduje získání určité zkušenosti pro „rozumné“ definování vstupních parametrů a také interpretaci jejího spektra. Tabulka 1 poskytuje výstižné srovnání vhodnosti použití Fourierovy transformace a Krátkodobé Fourierovy transformace.

Je třeba poznamenat, že výraznějších výsledků lze obvykle dosáhnout použitím nelineárních časově frekvenčních transformací. Avšak jejich výpočet je náročnější než u lineárních metod. Relativně známou lineární časově frekvenční transformací se stává Vlnková (Waveletová) transformace.

3 Koncepce další činnosti

3.1 Koncepce vědecké práce

Nadále budu rozvíjet vědeckou práci na Ústavu fyziky v několika směrech, jako je nedestruktivní testování betonových vzorků různých směsí a konstrukcí, keramických vzorků, dále rozvíjet moderní metodu nelineárního testování, řešení metodik pro měření účinnosti protihlukových zařízení apod. Mým zájmem je rozvíjení teoretické a praktické oblasti, resp. spojení těchto dvou vědeckých disciplín. Snažím se o mezioborovou spolupráci a její prohlubování. Jedná se jak o aplikace moderního technického vybavení v různých oblastech zejména techniky, tak o aplikaci netradičních matematických postupů. Předpokládám další prohloubení spolupráce s průmyslem.

Budu pokračovat v zapojování doktorandů do vědecko-výzkumné činnosti pracoviště. Domnívám se, že základním cílem „fyziky“ na technické univerzitě je podpora v oblasti aplikace teoretických fyzikálních principů a obzvláště pak v oblasti měření. V součinnosti s odbornými ústavu budu spolupracovat na návrzích, přípravách a provádění technických měření a při analýze a aplikaci získaných výsledků. Domnívám se, že maximální automatizace a digitalizace je cílem v oblasti měření a vyhodnocování.

Důležitým prvkem pro zvyšování vědecké a výzkumné erudice je rovněž získání moderního přístrojového vybavení. Vyškolení obsluhy, kterou lze čerpat z řad doktorandů tak, aby byly využity všechny možnosti jak přístrojů, tak mladých vědců.

V rámci konkurenceschopnosti a získávání zahraničních zkušeností pak v rámci nejen Evropské unie se budu snažit spolupracovat se zahraničními institucemi.

Výsledky vědecké činnosti budu uplatňovat zejména na přednáškách a cvičeních ve výuce, prezentovat na konferencích a v časopisech. Mou snahou bude ve spolupráci s ostatními akademickými pracovníky nejen fakulty vybudovat pedagogicko-vědecké výzkumné pracoviště vybavené vyspělou technikou, na kterém se budou školit, vzdělávat a zkoumat zejména studenti doktorského programu studia. Spolupráce s průmyslem je rovněž nedílnou součástí.

3.2 Koncepce výuky ve fyzice na fakultě

Hlavním cílem je dosáhnout u studentů bakalářského, magisterského i doktorského studia co nejobecnějšího fyzikálního a technického rozhledu. Je nezbytné vychovávat studenty a zvláště doktorandy k samostatnému myšlení. Doktorandy je třeba zařadit do vědeckých týmů a pověřovat je řešením dílčích úkolů s ohledem na jejich možnosti.

Ve výuce budu kombinovat výhody moderních pedagogických postupů s klasickým způsobem. Cíleně budu rozšiřovat znalosti fyzikálních principů tak, abych se zaměřil na výsledný profil studenta – v tomto případě stavebního inženýra. Obsahem budou nejen obecné principy v oblasti teoretické fyziky, ale i možnosti její aplikace v jednoduchých technických případech.

Nedílnou součástí vhodně volených témat fyziky bude skloubení s potřebami ostatních ústavů. Budu se snažit vytvořit komunikaci na všech úrovních, odborné diskuse s ostatními akademickými pracovníky a se studenty.

Modernizace laboratoří moderními přístroji a případné vytvoření počítačové části by určitě přispělo k posunu znalostí studentů. Zvláštností se vyznačuje doktorský styl výuky, který by měl odrážet nejmodernější metody, postupy a znalosti. Předpokládám, že získáním projektů v rámci operačních programů bude možné realizovat vybavení laboratoří špičkovými moderními přístroji. Zde budu opět usilovat o spolupráci s ostatními akademickými pracovníky.

Rovněž v této oblasti budu usilovat o spolupráci s odbornými ústavami. Výuka fyziky je totiž mezioborovou výukou, na kterou navazují odborné předměty.

4 Vybraná literatura autora

- [1] SMUTNÝ, J., PAZDERA, L.: *Časově frekvenční analýza reálných signálů*, 1. vyd. Brno ECON s. r. o., 2003, pp. 191, ISBN 80-86433-23-4.
- [2] PAZDERA, L., SMUTNÝ, J., MAZAL, P.: *Využití metody akustické emise při sledování vlastností zatěžovaných materiálů a konstrukcí*, 1. vyd. Praha Betis s. r. o., 2004, pp. 112, BETIS, ISBN 80-214-2802-3.
- [3] SMUTNY, J., PAZDERA, L.: New Techniques in Analysis of Dynamic Parameters of Rail Fastening, *The Journal of The British Institute of Non-Destructive Testing, Insight*, Vol 46, No 10, October 2004, pp. 612–655, ISSN 1354-2575 (Impact Factor ~ 0.41).
- [4] PAZDERA, L.: Acoustic emission – a modern testing method of active disturbances to loading material and mechanical structures, *Acta Mechanica Slovaca*, 1998, pp. 189–192, ISSN 1335-1339.
- [5] SMUTNÝ, J., PAZDERA, L.: Laboratorní měření a analýza dynamicko-akustických parametrů železničních kol bez tlumičů a s tlumiči typu Schrey & Veith, *Vědeckotechnický sborník českých drah*, 11, 2001, pp. 111–125, ISSN 1211-2321.
- [6] SMUTNY, J., PAZDERA, L.: New techniques in analysis of dynamic parameters of rail fastening, *Insight* 46 (10): 612–615 OCT 2004 v GARDNER TJ, MAGNASCO MO, Sparse time-frequency representations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103 (16): 6094–6099 APR 18 2006.
- [7] DVOŘÁČEK, J., PAZDERA, L.: Fáze kontaktního poškození a jejich popis pomocí signálu akustické emise, *NDT Bulletin*, 3/2000, pp. 14–15, ISSN 1210-7034.
- [8] FICKER, T., MACUR, J., PAZDERA, L., KLIMENT, M., FILIP, S.: New System for Digital Acquisition of Microdischarge Pulses and its Employment in Statistical Analyses, *Journal of Electrical Engineering*, 9–10, vol. 51, Slovak Centre of IEE, 2000, ISSN 1335-3632.
- [9] PAZDERA, L.: Wigner Spectrum as Powerful Tool for Description of Acoustic Emission Hit Generated from Ceramic Structures upon Bend Load, *15th World Conference of NDT*, October 15–21, 2000, Roma, Italy, CD.

- [10] PAZDERA, L., SMUTNÝ, J.: Management of Town Transport by Utilising the Ant Colony Theory, *Histocity book*, The best of 1996–2000 Network Research on: “The Historical Cities Sustainable Development using GIS”, edited by M. Antonietta Esposito, pp. 71–76, ISBN 88-8125-178-7.
- [11] DVORACEK, J., PAZDERA, L., PETRAS, J.: The Phase of Contact Damage and its Description by Help of AE, *EWGAE 2000*, CETIM, Senlis (Paris) France, May 24th–26th, 2000, pp. 119–123, ISBN 2-85400-496-5.
- [12] SMUTNÝ, J., PAZDERA, L.: Využití moderních matematických postupů při analýze dynamických účinků od kolejové dopravy, *Vědeckotechnický sborník českých drah*, 8, Praha, 1999, pp. 53–65, ISSN 1211-2321.
- [13] SMUTNÝ, J., PAZDERA, L.: Using GIS in structural economy, *XI. mezinárodní vědecká konference VUT*, sekce Stavební ekonomika a řízení výstavby, 18.–20. 10. 1999, Brno, Česká rep., pp. 97–100, ISBN 80-214-1441-3.
- [14] PAZDERA, L.: Acoustic emission – a modern testing method of active disturbances to loading material and mechanical structures, 36. EAN, Košice, *Acta Mechanica Slovaca*, 1998, pp. 189–192, ISSN 1335-1339.
- [15] PAZDERA, L., BRABLEC, A.: Non-destructive Testing of Justicion in Material by Noise Diagnostics, *International conference on advanced materials and technologies*, Plzen, June 13–16, 1995.
- [16] KOŘENSKÁ, M., PAZDERA, L.: Acoustic Emission Method as a Diagnostic Tool for Corrosion Cracking in Reinforced Concrete Beams, *26th European Conference on Acoustic Emission Testing*, September 15–17, 2004 Berlin, pp. 959–966, ISBN 3-931381-58-7.
- [17] PAZDERA, L., SMUTNÝ, J.: Hlukové poměry na modernizovaných železničních tratích, *Nová železniční technika*, 4, ÚVAR Brno a. s., pp. 105–106, 1996 (ISSN 1210-3942).
- [18] ŠIKULA, J., KOKTAVÝ, B., WEBER, Z., KOŘENSKÁ, M., PAZDERA, L., LOKAJICEK, T., MATEJKA, F.: Acoustic Emission Method for Partial Discharges of Electric Power Components, 8 *International Symposium on Nondestructive Characterisation of Materials*, Boulder, Colorado, USA, June 15–20, 1997.
- [19] ČERMÁKOVÁ, E., PAZDERA, L.: Study of Magnetic Fields in the Neighbourhood of Ferromagnetic Materials, *Environmental Statistics and Earth Science, Satelite Meeting to the 4th World Congres of the Bernoulli Society for Statistics and Probability*, pp. 37, Viena, August 26–31, 1996 (Brno, Czech Republic, August 20–24, 1996).
- [20] SMUTNÝ, J., PAZDERA, J.: *Měření a analýza hluku a vibrací s využitím moderních matematických metod*, ECON Publishing s. r. o., 2000, ISBN 80-9402268-8-4.
- [21] PAZDERA, L., SVOBODOVÁ, J.: *Výpočetní technika pro učitele fyziky*, Skripta PF MU, Brno 1993.
- [22] SMUTNÝ, J., PAZDERA, L.: *Železniční stavby – Měřicí technika a dynamika železničních staveb*, skripta, VUT FAST, Brno, 1998, ISBN 80-214-0976-2.

Abstract

Author has worked as academic pedagogue-research worker at the Department of Physics at the Faculty of Civil Engineering of the Brno University of Technology for more than 18 years. He has taught the basic course of physics for bachelors and masters studies and some special part students for doctoral degree (Ph.D.). He led successfully three Ph.D. students. Three his printed lessons were published as well as two scientific and research books, more than 30 articles in scientific journals and over 80 presentations at international conferences. His scientific work is mainly interdisciplinary. He is interested in non-destructive testing (acoustic emission, impact-echo, nonlinear methods, ultrasound methods, noise testing etc.), acoustics, vibrations, electromagnetic field, contact fatigue, especially application mathematics methods into practical usage.

The measurement, analysis and modelling in the civil engineering are complex of activities enabling the determination of the material, construction or system properties with an approach to their optimal application at the projecting. Testing is a tool for the quality improvement. The measurement, analysis and modelling, from the viewpoint of research and development, are an interdisciplinary specialisation helping the verification of hypotheses, analyses and models of physical phenomena.

The Acoustic Emission Method, Resonant Inspection, Impact-Echo Method and Nonlinear Spectroscopy are powerful techniques for non-destructive testing and materials evaluation, physical essence is propagation of elastic waves through the structure. These waves are recorded and converted to electrical signals by sensors. Above mentioned methods are tools to determine quality of material, structures and constructions.

To detect the railway superstructure construction properties different methods and different criteria could be applied. Dynamic testing often uses the method of exciting the structure by mechanical shock. Exciting by shock is useful for the setting up a given set of frequencies as the shock, according to the theory, stimulates all frequencies, mainly resonant. There are only the methods of the time-frequency analysis in connection with the classic spectral analysis that make the thorough analysis of the signals measured providing good possibilities of classifying and identifying properties (defects, damping etc).

The signals from these methods are usually described by different ways:

- i. analysis in time domain
- ii. analysis in frequency domain
- iii. time-frequency analysis

Frequency and modern time-frequency analysis are part of the following presentation. Traditional spectral analysis techniques based on Fourier transform provide a good description of stationary and pseudo-stationary signals, but there are some limitations when analysing non-stationary signals. Short-time Fourier Transform and Wavelet Transform present the some of the time-frequency analyses. They optimally describe signal in time and frequency domain simultaneously and help to evaluate physical properties of material, structure, construction and processes.

All the results and knowledge obtained from the research works are consequently applied by the author in the study programme and the courses and the department is a guarantee.