

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

Ústav fyziky

**Ing. Luboš Pazdera, CSc.**

**STUDIUM ZATĚŽOVANÝCH  
STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ  
A KONSTRUKCÍ  
METODOU AKUSTICKÉ EMISE**

TEZE HABILITAČNÍ PRÁCE

BRNO 1998

ISBN 80-214-1130-9

# OBSAH

PŘEDSTAVENÍ AUTORA	4
1. ÚVOD	5
2. AKUSTICKÉ EMISE VE STAVEBNICTVÍ	6
2.1 Přehled dosažených výsledků	6
2.2 Cíle práce	6
2.3 Zvolená metoda zpracování	6
2.4 Výsledky a zhodnocení	8
3. ZÁVĚR	9
4. LITERATURA	10
4.1 Vědecká	10
4.2 Pedagogická	13
ABSTRACT	14



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; diplomová práce „Digitální filtrace“.

Roku 1994 obhájil disertační práci „Kybernetizace experimentálního studia fluktuálních 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“.

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

Vede teoretická a laboratorní cvičení z fyziky. Zabývá se výzkumem a vývojem v oblasti teoretické i experimentální – aplikace fyzikálních znalostí při měření, automatizaci měření a analýze fyzikálních jevů, zvláště zařazení a použití výpočetní (automatizační a regulační) techniky do měření a jeho vyhodnocování.

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

Od roku 1997 je řešitelem grantového úkolu „Studium, analýza a vyhodnocení signálů akustické emise aplikované na tenkostěnné systémy“, GA ČR 103/97/P140.

# 1. ÚVOD

Práce<sup>1</sup> je zaměřena na experimentální detekci poruch a destrukcí v technických materiálech a stavebních konstrukcích aplikací metody akustické emise. Celá práce je rozdělena do pěti základních kapitol.

V první kapitole je uveden přehled některých výsledků v různých oblastech aplikace fyzikálních metod měření na reálné dílce, struktury, konstrukce a systémy.

V druhé kapitole jsou vymezeny cíle, které byly v práci sledovány.

Třetí kapitola popisuje zvolenou metodu zpracování. Protože se jedná o relativně méně známou metodu, jejíž vývoj je podmíněn zejména technickým rozvojem, je zde proveden její stručný rozbor včetně charakteristik měřeného signálu a použitého experimentálního zařízení. Těžištěm je studium signálů akustické emise z hlediska moderních metod zpracování signálů, např. časově-frekvenční analýzy.

Čtvrtá kapitola formou publikovaných článků podává přehled některých výsledků experimentálního studia aplikace metody akustické emise.

V poslední kapitole jsou uvedena doporučení pro uživatele.

---

<sup>1</sup> Habilitační práce vznikla v rámci řešení grantových úkolů zejména v oblasti akustické emise „*Akustická emise ve stavebnictví*“ (“Acoustic Emission in Civil Engineering”) GA ČR číslo 103/93/2201, „*Akustická emise jako nástroj studia růstu trhlin při dýchání tenkostěnných ocelových systémů*“ (“Acoustic Emission as a Tool of Study of Crack Growth Upon ‘Breath’ of Thin-Walled Steel Systems”) GA ČR číslo 103/96/1637, „*Analýza a rekonstrukce nestacionárních signálů*“ číslo FU 270004 (1997), a zejména „*Studium, analýza a vyhodnocení signálů akustické emise aplikované na tenkostěnné betonové systémy*“ (“Study, Analysis and Evaluation of Acoustic Emission Signals Applied on Thin-Wall Concrete Systems”) **GA ČR 103/97/P140** a jiných (i zahraničních).

## 2. AKUSTICKÁ EMISE VE STAVEBNICTVÍ

### 2.1 Přehled dosažených výsledků

Pro automatizované měření teploty ve více místech vzorku jsem navrhl metodiku, připravil aparaturu včetně programového vybavení a provedl experimenty.

Navrhl jsem a aplikoval aparaturu (včetně softwaru) 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 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 již zmiňovaných grantových a jiných projektů.

### 2.2 Cíle práce

Celkový cílem práce je:

- shrnutí možností použití metody akustické emise pro některé praktické aplikace se zaměřením na stavební materiály, struktury a konstrukce jak při laboratorních podmínkách, tak i při praktickém provozu,
- návrh výběru parametrů pro testování kvality, mikroskopických či makroskopických vad, pevnosti apod. u stavebních materiálů a konstrukcí pomocí metody akustické emise,
- shrnutí poznatků o přednostech použití akustické emise pro nedestruktivní testování stavebních materiálů a konstrukcí,
- shrnutí metod, které lze použít k racionální analýze signálů akustické emise, doporučení metod zpracování signálu akustické emise s důrazem na časově frekvenční analýzu.

### 2.3 Zvolená metoda zpracování

Defekty v zatěžovaných strukturách a materiálech, které by mohly vést ke konečné destrukci či porušení, mohou být v obecném případě odhaleny řadou metod nedestruktivního testování.

*Metoda akustická emise* patří do skupiny metod nedestruktivního testování. Od jiných metod se odlišuje především schopností registrovat vznik trhliny a její růst, případně lokalizovat její polohu, tedy určit aktivní poruchy v materiálu či struktuře. Přístroje k určení akustické emise mohou spojitě upozorňovat na vady, a to již v okamžiku jejich prvotního vzniku.

Akustická emise využívá registraci elastických vln generovaných při náhlých lokálních deformacích namáhaných materiálů a detekuje mikroskopická posunutí. Signály akustické emise jsou vytvářeny náhlou deformací místa materiálu pod mechanickým napětím. Emise signálu je spojena s koncentrací mechanického napětí.

**Tabulka: Vlastnosti metody akustické emise**

<i>Přednosti</i>	<i>Omezení</i>
detekce a lokalizace trhlin	předmět musí být zatížen
měřicí systémy mohou být nastaveny rychle	aktivita akustické emise je vysoce závislá na struktuře materiálu a stimulaci
vysoká citlivost	irelevantní elektrický a mechanický šum může interferovat s měřením
vyžaduje pouze omezený přístup k měřenému předmětu	omezené přesnosti lokalizace
určení aktivních trhlin	poskytuje omezené informace o druhu trhliny
jsou potřebná jen relativně nízká zatížení	

Signál akustické emise lze popsat obvyklými parametry (např. amplitudou, časem trvání apod.) a také analyzovat některou metodou matematické analýzy.

Tradiční spektrální analýzy, využívající obvykle Fourierovu transformaci, provádějí dobrý popis stacionárních a pseudo-stacionárních signálů.

Analýza signálů obsahuje velké množství nástrojů. Nejznámějším nástrojem je *Fourierova transformace*

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j2\pi ft} \cdot dt ,$$

kteřá rozkládá signál  $s(t)$  do množství sinusových vln různých frekvencí  $f$ . Převádí zkoumání signálu z oblasti časové do oblasti frekvenční.

Pro nestacionární signály je vhodnější použití technik časově-frekvenční analýzy, jako jsou okénková Fourierova transformace, Waveletová transformace a další.

*Okénková Fourierova transformace*

$$STFT(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} [s(t) \cdot g^*(t - \tau)] \cdot e^{-j2\pi f(t - \tau)} \cdot dt ,$$

představuje druh analýzy, která umožňuje jednoduchý časově-frekvenční ( $\tau$  je časová lokalizace,  $f$  frekvenční) popis signálu.

## Transformace Wavelet

$$WT(a, b) = a^{-\frac{1}{2}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot \Psi^* \left( \frac{t-b}{a} \right) \cdot dt,$$

kde  $b$  je časové posunutí,  $a$  je měřítko,  $\Psi$  je základní Wavelet. Tato transformace má „proměnnou“ analyzovanou oblast časově frekvenční. Při analýze nízkých frekvencí uvažuje dlouhý časový úsek a naopak při analýze vysokých frekvencí krátký časový interval.

### Wigner-Ville rozdělení

$$WVD(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} s \left( t + \frac{\tau}{2} \right) \cdot s^* \left( t - \frac{\tau}{2} \right) \cdot e^{-j2\pi f t} dt,$$

kde  $s$  je signál,  $f$  frekvence,  $\tau$  časové posunutí a  $t$  čas. Je to celková transformace, která poskytuje také energetické rozdělení signálu v časové a frekvenční oblasti.

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 odezvových signálů. Tato analýza je tedy vhodná pro širokou oblast popisu fyzikálních signálů.

## 2.4 Výsledky a zhodnocení

Vybrané výsledky jsou zahrnuty v publikacích vložených do habilitační práce, které se zabývají aplikací metody akustické emise. Publikace zabývající se oblastí akustické emise jsou [1], [4–10], [14], [15], [19–21], [23], [26–29], [31], [37], [41], [48]. Ukazují výhody použití této nedestruktivní metody zejména v oblasti testování stavebních materiálů a konstrukcí. Jak již bylo uvedeno, tato metoda, na rozdíl od většiny metod z oblasti nedestruktivního testování, sleduje aktivní poruchy v materiálu. Klasická metoda akustické emise může být použita jen při zatížení konstrukce. Aktivní metoda akustické emise používá externí zdroj buzení mechanického namáhání konstrukce – dodává např. impulsy – a umožňuje testovat kvalitu „nezatížené“ konstrukce.



### 3. ZÁVĚR

Vzhledem k nárůstu požadavků na kvalitu, spolehlivost a životnost stavebních materiálů, dílců a konstrukcí při snižování materiálové a ekonomické náročnosti je nutností použití vhodné metodiky měření, speciálních nebo univerzálních měřicích zařízení a vhodné analýzy naměřených 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 Stavební fakulty Vysokého učení technického v Brně jsme prováděli měření signálu akustické emise tenkostěnných ocelových panelů při dynamickém zatěžování. Z těchto měření je patrné, že metoda akustické emise může být použita nejen při statických zatěžovacích zkouškách, ale také při aplikaci dynamického (harmonického) zatížení.

Pro analýzu signálů akustické emise jsem vytvořil metodiku, a dále na ní pracuji, která využívá nejen popis obvyklými parametry, ale také prostředky moderní analýzy. Protože se jedná o nestacionární signál, je vhodné použití nejen frekvenční analýzy, ale také časově-frekvenční analýzy.

Podrobněji se lze s publikovanými výsledky habilitanta seznámit v uvedené literatuře, seřazené dle data vydání.

## 4. LITERATURA

### 4.1 Vědecká

- [1] Weber, Z., Kořenská, M., Pazdera, L., Cerny, R.: Acoustic Emission from Statically Loaded Timber Panels with Thermally Insulating Filling. Workshop 98, Prague, sborník, 1998, pp. 93–64.
- [2] Pazdera, L.: ELF Magnetic Field Interaction with Biologic Systems, Hygienic Standards, Experiments. Workshop 97, section Preservation & Creation of the Environment, Prague, pp. 1289–1290, January 20.–22., 1997.
- [3] Pazdera, L.: Automated Temperature Measurement Employing NiCr Resistance Sensors. Workshop 97, section Electronics, measuring & communication engineering, Prague, pp. 977–978, January 20.–22., 1997.
- [4] Smutný, J., Pazdera, L.: Modelling and Solving of an Electrical Circuit by Finite-Element Analysis. Workshop 97, section Electronics, measuring & communication engineering, Prague, pp. 965–966, January 20.–22., 1997.
- [5] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Acoustic Emission from Thermal Loaded Isolating Building Materials. Workshop 97, section Physics, Prague, pp.139–140, January 20.–22., 1997.
- [6] Pazdera, L.: Acoustic Emission as a Non-destructive Tool of Study of Crack Growth in Stressed Materials. Workshop 97, section Physics, Prague, pp. 137–138, January 20.–22., 1997.
- [7] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: On the Effect of Timber Humidity on the AE Generation in Low Temperature Stressing Mode. Workshop 97, section Physics, Prague, pp. 89–90, January 20.–22., 1997.
- [8] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Use of AE to Study of the Effect of Congelation on the Strength of Timber,.Workshop 97, section Physics, Prague, pp. 87–88, January 20.–22., 1997.
- [9] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Indication of Partial Discharges in Insulators Using the Acoustic Emission Method. Workshop 97, section Physics, Prague, pp. 77–78, January 20.–22., 1997.
- [10] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Akustická emise vyztuženého stěnového panelu {The Acoustic Emission of prefabriced wall}. In: 3. seminář Akustické emise v Praze (2. 12. 1993).
- [11] Selucký, K., Pazdera, L.: Konstrukce přechodové plochy filtrací okrajových křivek {The Construction of Transition Surface Means of Filtering Marginal Curves}. In: Sborník vědeckých prací matematiky a deskriptivní geometrie VUT FS, s. 227–238.
- [12] Smutný, J., Pazdera, L.: Vliv konstrukční úpravy tramvajového kola na snížení hluku a vibrací při průjezdu smyčkou. Nová železniční technika, 1/1998, s. 9–13, ISSN 1210-3942.
- [13] Smutný, J., Pazdera, L.: Časově frekvenční analýza signálu Wignerovým spektrem. Sdělovací technika, (leden) 1/98, 1998, s. 18–19, ISSN\_0036-9942.
- [14] Pazdera, L., Kořenská, M., Weber, Z.: Akustická emise staticky zatěžovaných sendvičových panelů s tepelnou izolací z čedičové vlny. Defektoskopie '97, Česká společnost pro nedestruktivní testování, sekce AE, 18.–20. 11. 1997, sborník, s. 113–119.

- [15] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Akustická emise izolačních stavebních materiálů Dekalux a Dekalit při nízkoteplotním namáhání. Defektoskopie '97, Česká společnost pro nedestruktivní testování, sekce AE, 18.–20. 11. 1997, sborník, s. 107–111.
- [16] Čermáková, E., Pazdera, L.: Měření nízkofrekvenčních magnetických polí na oddělení intenzivní péče pro nedonošené děti v nemocnici Brno-Bohunice {Measurement of Low-frequency Magnetic fields in the Intensive Care Department for Prematurely Born Babies in the Brno-Bohunice}. Sborník k 290. výročí založení ČVUT, Biologické systémy a elektromagnetické pole, 24. 6. 1997, s.4–6, ISBN 80-01-01660-9.
- [17] Smutný, J., Pazdera, L.: Moderní metody zpracování signálu. Sdělovací technika, 4/97, (ISSN 0036-9942), s. 24–25, duben 1997.
- [18] Pazdera, L., Smutný, J.: Hlukové poměry na modernizovaných železničních tratích {}. Nová železniční technika, 4, ÚVAR Brno, a.s., s. 105–106, 1996 (ISSN 1210-3942).
- [19] Weber, Z. Kořenská, M., Pazdera, L.: Akustická emise staticky zatěžovaných dřevěných prvků s polyuretanovou výplní {}. Konference Akustická emise '96, Sborník abstraktů, ÚF VUT Brno, s. 11, Brno, (18.–19 června), 1996.
- [20] Weber, Z. Kořenská, M., Pazdera, L.: Akustická emise – metoda studia šíření únavových trhlin v dynamicky zatěžovaných ocelových konstrukcích {}. Konference Akustická emise '96, Sborník abstraktů, ÚF VUT Brno, s. 11, Brno, (18.–19 června), 1996.
- [21] Pazdera, L.: Charakteristiky signálu akustické emise {Characteristics of Acoustic Emission Signal}. Konference Akustická emise '96, Sborník abstraktů, ÚF VUT Brno, pp.7, Brno, (18-19 června), 1996
- [22] Čermáková, E., Chramosta, O., Navarová, H., Pazdera, L.: Study of Magnetic Fields in Buildings with Iron Reinforcements and Pipe Installations. Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně, ČR, s. 69–76, 1, 1995.
- [23] Weber, Z., Kořenská, M., Pazdera, L.: Subsequent Acoustic Emission from Glass and Glazed Ceramics. In: Workshop 95, section Physics, Prague, 23.–26. 1. 1995.
- [24] Weber, Z., Kořenská, M., Pazdera, L., Melcher, J.: Acoustic Emission from Statically Loaded Timber Panels. In: Workshop 95, section Physics, Prague, 23.–26. 1. 1995.
- [25] Selucký, K., Pazdera, L.: Testování dvoudimensionálních filtrů na počítači ADT {The Test of Two-Dimensional Filters Implemented on ADT Computer}. In: Sborník X. vědecké konference, odborná sekce 2 – aplikovaná fyzika, s. 84–90.
- [26] Weber, Z., Pazdera, L., Kořenská, M.: Analysis of Acoustic Emission Signals as a Tool to Study Crack Propagation in Breathing Thin Walled Systems. 23rd European Conference on Acoustic Emission Testing, 6.–8. 5. 1998, sborník, Vienna, Austria, pp. 104–107.
- [27] Pazdera, L., Kořenská, M., Weber, Z.: Acoustic Emission in Static Tests of Sandwich Boards with Steel Jacketing and Thermal Isolation. 23rd European Conference on Acoustic Emission Testing, 6.–8. 5. 1998, sborník, Vienna, Austria, pp. 38–41.
- [28] Šíkula, J., Koktavý, B., Weber, Z., Kořenská, M., Pazdera, L., Lokajicek, T., Matejka, F.: Acoustic Emission Method for Partial Discharges of Electric Power Components. 8th International Symposium on Nondestructive Characterisation of Materials, Boulder, Colorado, USA, June 15.–20, 1997.

- [29] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Indikace částečných výbojů generovaných v keramických materiálech vysokým napětím. Zborník – Medzinárodný seminár Výzkumné aktivity katedier fyziky na stavebných fakultách v ČR a SR, Kočovce, 5.–6. 6. 1997, s. 107–112, ISBN 80-227-0957-3.
- [30] Pazdera, L., Smutný, J.: Měření dynamických vlastností tramvajového svršku s protihlukovým a protivibračním systémem. Zborník – Medzinárodný seminár Výzkumné aktivity katedier fyziky na stavebných fakultách v ČR a SR, Kočovce, 5.–6. 6. 1997, s. 79–84, ISBN 80-227-0957-3.
- [31] Kořenská, M., Pazdera, L., Weber, Z.: Studium závislosti akustické emise dřevěných vzorků na vlhkosti. Zborník – Medzinárodný seminár Výzkumné aktivity katedier fyziky na stavebných fakultách v ČR a SR, Kočovce, 5.–6. 6. 1997, s. 69–74, ISBN 80-227-0957-3.
- [32] Čermáková, E., Pazdera, L.: Feromagnetika ve stavebních materiálech. Zborník – Medzinárodný seminár Výzkumné aktivity katedier fyziky na stavebných fakultách v ČR a SR, Kočovce, 5.–6. 6. 1997, s. 34–39, ISBN 80-227-0957-3.
- [33] Čermáková, E., Pazdera, L.: Study of Magnetic Fields in the Neighbourhood of Ferromagnetic Materials. Environmental Statistics and Earth Science, Satellite Meeting to the 4th World Congress of the Bernoulli Society for Statistics and Probability, p. 37, Viena, August 26.–31, 1996 (Brno, Czech Republic, August 20.–24, 1996).
- [34] Chobola, Z., Hruška, P., Pazdera, L., Juránková, V., Šikula, J.: Noise Reliability Indicators for Solar Cells. Grenoble, France, October 25.–27., 1995.
- [35] Šikula, J., Hruška, P., Pazdera, L., Vašina, P., Hanzlíček, D., Buben, M., Vymlát, S.: Low Frequency Noise of Metallic Thin Films and Reliability of Resistors. CARTS-Europe 95, Amsterdam, The Netherlands, pp. 129–132, October 1995.
- [36] Šikula, J., Hruška, P., Navarová, H., Kořenská, M., Pazdera, L.: Low Frequency Noise and Reliability Prediction for Metallic Films. Grenoble, France, October 25.–27., 1995.
- [37] Weber, Z., Pazdera, L., Kořenská, M.: Acoustic Emission as a Tool to Study Crack Propagation in Breathing Thin Waled Systems. In: International Colloquium European Session, Stability of Steel Structures, Hungary, Budapest, September 21.–23., 1995.
- [38] Pazdera, L., Brablec, A.: Basic Noise Characteristics of the SiO<sub>2</sub>+Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Solar Cells. In: International Workshop Noise and Reliability of Semiconductor Devices, Brno, pp. 139–142, July 18.–20., 1995.
- [39] Chobola, Z., Šikula, J., Vašina, P., Pazdera, L., Juránková, V., Řehan, J.: Analysis of Noise Properties of R1 Solar Cells. In: Proc. International NODITO Workshop on Noise and Reliability of Semiconductors Devices, Brno, Czech Rep., pp. 220–223, July 18.–20., 1995.
- [40] Hruška, P., Chobola, Z., Pazdera, L., Juránková, V., Šikula, J.: Analysis of Solar Cell Transport Properties. In: Proc. International NODITO Workshop on Noise and Reliability of Semiconductors Devices, Brno, Czech Rep., pp. 216–219, July 18.–20., 1995.
- [41] Kořenská, M., Vašina, P., Weber, Z., Šikula, J., Pazdera, L.: Signal to Noise Ratio in Sensors for Acoustic Emission. In: Proc. International NODITO Workshop on Noise and Reliability of Semiconductors Devices, Brno, Czech Rep., pp. 204–209, July 18.–20., 1995.

- [42] Pazdera, L. Brablec, A.: Non-destructive Testing of Junction in Material by Noise Diagnostics. In: International Conference on Advanced Materials and Technologies, Plzen, June 13.–16., 1995.
- [43] Koktavý, B., Navarová, H., Pazdera, L., Vašina, P., Schauer, P., Šikula, J.: Low Frequency Noise and Reliability of Thin Film Resistors. In: Proceedings of Relectronic '95, Scientific Society for Telecommunications, Budapest, Hungary, 1995.
- [44] Šikula, J., Schauer, P., Vašina, P., Sikulova, M., Koktavý, B., Chobola, Z., Navarová, H., Pazdera, L.: 1/f Noise in Metallic Thin Films. In: Sixth Quantum 1/f Noise and Other Low Frequency Fluctuations in Electronic Devices Symposium, St. Louis, pp. 59–64, 1994.
- [45] Šikula, J., Pazdera, L., Navarová, H.: 1/f Noise and Reliability of Thin Film Resistors. In: Proc. Conference Components for Electronics, Tesla Lanskrout, Czech Republic, 1994.
- [46] Pazdera, L., Vašina, P., Šikula, J.: 1/f Noise in Silicon Monocrystals under Mechanical Strain. In: Proceedings of Symposium '92 on Fluctuations in Solids (Mezinárodní šumová konference), Brno, (September 14.–15., 1992).

## 4.2 Pedagogická

- [49] Pazdera, L., Svobodová, J.: Výpočetní technika pro učitele fyziky {The Computer Techniques for Teachers of Physics}. In: Skripta PF MU, Brno 1993.
- [50] Pazdera, L., Svobodová, J.: Akustická emise {Acoustic Emission}. Fyzika a didaktika fyziky, Sborník prací Pedagogické fakulty Masarykovy university v Brně, svazek 134, s. 127–131, vyd. MU Brno, 1996.
- [51] Ficker, T., Pazdera, L.: Měření Poissonovy konstanty vzduchu ve studentských laboratořích. 12. konference českých a slovenských fyziků, sborník příspěvků II, sekce 13 fyzikální vzdělávání, s. 666–669 Ostrava, 2.–6. 9. 1996.
- [52] Ficker, T., Pazdera, L.: Nestacionární metoda pro měření tepelné vodivosti pevných látek ve studentských laboratořích. 12. konference českých a slovenských fyziků, sborník příspěvků II, sekce 13 fyzikální vzdělávání, s. 670–673 Ostrava, 2.–6. 9. 1996.
- [53] Ficker, T., Pazdera, L.: Netradiční demonstrace Ottova termodynamického cyklu {Non-traditional Demonstration of the Otto Thermodynamic Cycle}. Matematika-fyzika-informatika 6, č. 8, s. 443–449, 1997, ISSN-1210-1761.
- [54] Smutný, J., Pazdera, L.: Železniční stavby – Měřicí technika a dynamika železničních staveb. Skripta, VUT FAST, Brno, 1998, ISBN 80-214-0976-2.

## ABSTRACT

The thesis "**The Acoustic Emission Method in Civil Engineering**" deals with a non-destructive test technique termed the method of acoustic emission. Such a study is frequently based on monitoring large sets of various signals emitted from the loading of certain building materials or structures. To perform this task successfully it is advantageous to use the method of acoustic emission together with a standard method.

Acoustic emission is a powerful technique for non-destructive testing and material evaluation. It is based on the detection of elastic waves generated by sudden deformation in stressed materials. These waves are converted to electrical signals by acoustic emission sensors. Acoustic emission detects microscopic movements, not geometric discontinuities. Acoustic emission is dependent on the systems measured. The typical modern, computerised acoustic emission system has a number of channels and stores the data to a disk while generating a number of displays for the operator. Acoustic emission is an interesting non-destructive method for measuring the crack in loaded structures.

The analysis of acoustic emission signals plays important role in monitoring loaded building structures (samples). In addition, a selection of convention parameters or methods enables to deduce various micro- or macro- defects or fatigues in structures.

The analysis of acoustic emission signals plays an important role in monitoring loaded building structures (samples). In addition, a selection of convenient parameters or methods enables to deduce various micro- or macro- defects or fatigues in structures.

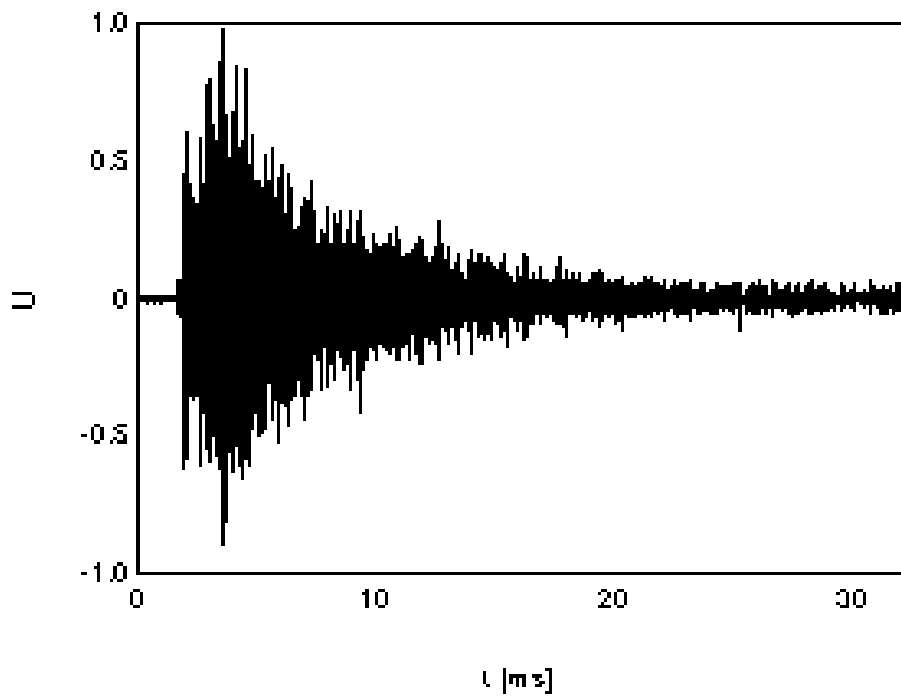
Compared with the standard methods, the acoustic emission method for carrying out non-destructive tests of statically or dynamically loaded building structures is a perspective tool which can be used to acquire data of the load and load induced specimen degradation. The most important advantage of the acoustic emission method – in comparison with the classical method – usually consists in its capacity to capture the damage (which is taking place inside the material) during the load cycling. Moreover, this method, based on detailed analysis of the acoustic emission recorded signals, makes it possible to assess the physical causes of the degradation process with a reliable confidence.

An acoustic emission signal is usually described in two different ways:

- i. quantitative standard parameters of hit (time, count, event, RMS, ASL, energy, amplitude, duration, rise time, average frequency etc.)
- ii. frequency or time-frequency analysis

The frequency and modern time-frequency analyses are shown in this thesis. While traditional spectral analysis techniques based on Fourier transform provide a good description of stationary and pseudo-stationary signals, there are some limitations when analysing non-stationary signals. The Short-time Fourier Transform and Wavelet Transform are time-frequency analyses. They allow optimum simultaneous descriptions of an acoustic emission signal in the time and frequency domains.

This thesis shows the way of measuring and processing acoustic emission signals. It emphasises the advantages of computer aided experiments, i.e. the full control and analysis of the tests, the full description of the sample, and the processing of sample sets by modern techniques.



*Figure: Typical burst acoustic emission signal*

**Table: Some properties of non-destructive techniques**

Acoustic Emission	Most Other Techniques
Requires stress	Do not require stress
Tests whole structure at once	Scan local regions in sequence
Detects active movement of defects	Detect geometric form of defect
Is not immediately repeatable	Are immediately repeatable
Requires access only at sensors	Require access to all regions inspected
Main problems: noise related	Main problems: geometry related