

• • • • •  
S T U • •  
• • • • •  
• • • • •

Slovenská technická univerzita

**VÝSKUMNÉ A EDUKAČNÉ AKTIVITY  
NA KATEDRÁCH FYZIKY  
TECHNICKÝCH UNIVERZÍT**

**Zborník príspevkov**

Editori: Jozef Leja, Marcela Chovancová

Bratislava, 3. jún 2008



Slovak University of Technology

**RESEARCH AND EDUCATION ACTIVITIES  
AT DEPARTMENTS OF PHYSICS  
AT TECHNICAL UNIVERSITIES**

**Proceedings**

Editors: Jozef Leja, Marcela Chovancová

Bratislava, June 3, 2008



Európsky sociálny fond

Konferencia bola podporená projektom ESF 13120120117.

## VÝSKUMNÉ A EDUKAČNÉ AKTIVITY NA KATEDRÁCH FYZIKY TECHNICKÝCH UNIVERZÍT

Zborník príspevkov

Editori: Jozef Leja, Marcela Chovancová

Vydala Slovenská technická univerzita

Bratislava 2008

Náklad: 50 CD

ISBN 978-80-227-2887-4

# **Obsah / Contents**

VPLYV FYZIKÁLNYCH FAKTOROV NA FOTOLUMINISCENCIU V NEKRYŠTALICKÝCH POLOVODIČCOCH Z POHĽADU BARRIER-KLASTEROVHO MODELU Ivan Baník	6
THERMOCHARACTERISTICS OF MILK Monika Božíková	16
INOVÁCIA NÁVODOV NA LABORATÓRNE CVIČENIA NA KATEDRE FYZIKY FEI STU V BRATISLAVE Ján Budinský, Ivan Červeň, Peter Ballo	21
SAMOUSPORIADANÉ MONOVrstvy v molekulových nanotechnologiách: technologické podmienky, fyzikálne vlastnosti, aplikácie Július Cirák	23
Využitie fundamentálnych fyzikálnych konštant v definíciách jednotiek SI Ivan Červeň	29
AKUSTICKÁ KVALITA ZVUKU V ŠPECIFICKÝCH PODMIENKACH OTVORENÝCH PRIESTOROV Anna Danihelová	32
MICRODISCHARGES Tomáš Ficker	37
NANOSTRUCTURE OF CEMENT GELS Tomáš Ficker	40
INTERAKTÍVNE APLETY VO VÝUČBE FYZIKY Oľga Fričová, Mária Hutníková, Zuzana Gibová	43
VZDIALENÝ REÁLNY EXPERIMENT CEZ INTERNET Soňa Halusková	47
DYNAMIC VISCOSITY OF PLUM JAM Peter Hlaváč	52
ELECTRICAL AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES UTILIZATION IN FOOD TRAITMENT Zuzana Hlaváčová, Vlasta Vozárová	58
CREATION OF MULTIMEDIA OBJECTS AND THEIR USE IN TEACHING-LEARNING PROCESS Oľga Holá	60

ESTIMATION OF THE POWER OF AIR CONDITIONING IN THE CANTEEN Matúš Holubek	64
MODERNIZÁCIA A EFEKTÍVNOSŤ VÝUČBY FYZIKY Marcela Chovancová	67
BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN KOMPOZITŮ Vlasta Juránková, Jiří Adámek	70
ODHAD EKOLOGICKEJ KAPACITY POZEMNEJ KOMUNIKÁCIE Z HĽADISKA HLUKU Mária Kovalčáková, Júlia Hlaváčová, Brigita Salaiová	73
FYZIKA V ENVIRONMENTÁLNOM INŽINIERSTVE Ľuboš Krišťák, Miroslav Němec	78
APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION (AE) METHOD TO CEMENTING COMPOUND SPECIMENS Ivo Kusák	81
KVANTOVÁ HADRODYNAMIKA Jozef Leja	86
PŘESNOST MĚŘENÍ METODOU IMPEDANČNÍ SPEKTROSKOPIE Miroslav Luňák	89
MEASURING LONGITUDINAL WAVE SPEED IN ALUMINUM BAR Jan Martinek, Lydie Špaňhelová	94
SIMPLE ALGORITHM FOR PEAK RECOGNITION IN FREQUENCY SPECTRUM Jan Martinek	98
VÝzkum akustických metod pro nedestructivní testování stavebních prvků Michal Matysík, Iveta Plšková	102
Využitie nukleárnej magnetickej rezonancie vo výskume tuhých látok Jozef Murín, Viktor Hronský, Dušan Olčák	109
Doplňujúci kurz fyziky Miroslav Němec, Ľuboš Krišťák.	114
MERANIE DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ SÓJOVÝCH BÔBOV Ján Novák	118
E-LEARNING IN THE CONTEXT OF UNIVERSITY EDUCATION Alena Palacková	122

LABORATORNÍ ÚLOHY NEDESTRUKTIVNÍHO TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ NA ÚSTAVU FYZIKY STAVEBNÍ FAKULTY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ	124
Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská	
LABORATORNÍ ÚLOHY TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ METODOU IMPACT ECHO NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ	126
Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská	
LABORATORNÍ ÚLOHY TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ METODOU NELINEÁRNÍ SPEKTROSKOPIE NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ	128
Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská	
LABORATORNÍ ÚLOHY VYUŽÍVAJÍCÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ	132
Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská	
POZNÁMKY KU VZŤAHU MEDZI BAKALÁRSKYM A MAGISTERSKÝM ŠTÚDIOM A K VEDECKEJ PRÁCI NA MENŠÍCH KATEDRÁCH	136
Ján Pišút	
EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ KOEFICIENTU ODPORU PROTI DIFÚZI CO <sub>2</sub> A PROPUSTNOSTI OXIDU UHLIČITÉHO	139
Iveta Plšková, Vlasta Juráňková, Jiří Adámek	
VÝUKA APLIKOVANÉ FYZIKY NA STAVEBNÍ FAKULTĚ ČVUT V PRAZE	144
Petr Semerák	
INVESTIGATION OF 6MM ARMATURE CORROSION WITH IMPACT-ECHO METHOD BY LONGITUDINAL PLACED SENSOR AND IMPACT	146
Jiří Skala, Zdeněk Chobola	
INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE CORROSION WITH IMPACT-ECHO METHOD BY IMPACT AND SENSOR PLACED AT CONCRETE BEAM	151
Jiří Skala, Zdeněk Chobola	
ŠTÚDium VPLYVU FÁZOVEJ MRIEŽKY NA KINETIKU NANOČASTÍC V MAGNETICKEJ KVAPALINE	156
Július Štelina, Ctibor Musil	
MODELY PRE EFEKTÍVNU TEPELNÚ VODIVOSŤ KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV	162
Juraj Veselský	

CAPACITANCE OF A CAPACITOR MEASURED  
WITH THE COACHLAB INTERFACE  
Igor Yanetka

171

INDUCTANCE OF A INDUCTOR MEASURED  
WITH THE COACHLAB INTERFACE  
Igor Yanetka

177

# **VPLYV FYZIKÁLNYCH FAKTOROV NA FOTOLUMINISCENCIU V NEKRYŠTALICKÝCH POLOVODIČOCH Z POHĽADU BARRIER- KLASTEROVHO MODELU**

Baník Ivan

*Katedra fyziky, Stavebná fakulta STU v Bratislave, e-mail: ivan.banik@stuba.sk*

## **Abstrakt:**

V článku je prezentovaný pokus o čo najkomplexnejší matematický opis vplyvu rôznych fyzikálnych faktorov na priebeh fotoluminiscenčného procesu v nekryštalických polovodičoch. Ide predovšetkým o matematický súbor vzťahov, ktoré umožnia opísť napr. proces ustaľovania fotoluminiscencie (po zahájení excitácie), o ktorej je z experimentov známe, že relatívne vysoká začiatočná hodnota jej intenzity sa s časom znižuje a postupne ustáli na značne nižšej úrovni. Priebeh tohto procesu pritom značne ovplyvňujú rôzne fyzikálne parametre, ako je teplota, energia kvant primárneho budiaceho (excitačného) žiarenia, intenzita elektrického poľa, ale aj koncentrácia voľných elektrónov termického pôvodu. Získané teoretické vzťahy poskytujú výsledky, ktoré sú v dobrej zhode s reálne pozorovanými závislosťami. To naznačuje, že bariér-klasterový model nekryštalického polovodiča, z ktorého príslušná teória vychádza, má svoje fyzikálne opodstatnenie.

## **ÚVOD**

Skúmaniu optických javov v nekryštalických polovodičoch, včítane absorpcie a luminiscencie, bola v posledných desaťročiach venovaná značná pozornosť bádateľov [1-28]. Nazhromaždilo sa veľké množstvo experimentálneho materiálu. Dosiaľ však neboli vytvorené uspokojivý model, ktorý by dokázal objasniť z jednotného pohľadu širšiu paletu optických a prípadne aj ďalších fyzikálnych procesov v nekryštalických polovodičoch [29-42].

Domnievame sa, že pri hľadaní riešení v tomto smere by mohol byť vhodným východiskom bariér-klasterov model nekryštalického polovodiča, ktorý bol už viackrát použitý pri výklade niektorých parciálnych problémov fyziky nekryštalických látok [43-49]. Samozrejme, že tento model nebude schopný objasniť všetky javy v nekryštalických látkach v ich nesmiernej rozmanitosti. Môže však vystihnúť tie najcharakteristickejšie spoločné rysy dostatočne širokej triedy nekryštalických látok.

## **BARIÉR-KLASTEROVÝ MODEL**

Bariér-klasterový model predpokladá, že nekryštalická látka je zložená z určitých mikrooblastí - klastrov, medzi ktorými existujú potenciálové bariéry. Tie ovplyvňujú nielen elektrický transport nosičov prúdu na okraji vodivostného a valenčného pásma, ale aj optické vlastnosti nekryštalickej látky. Bariéry medzi klastrami prispievajú v prvom rade ku vzniku silnej elektrón-fonónovej interakcie, ktorá je dôležitým faktorom v optických procesoch. Okrem toho je - pokial' ide o bariéry - významné ešte aj to, že optická absorpcia pri nízkych teplotách je spojená s tunelovaním elektrónov cez potenciálové bariéry.

Štrukturálne klastre ako nanoobjekty môžu mať rôznu podobu, môžu byť otvorené, alebo uzavreté [52-56]. Všetko naznačuje tomu, že v prípade chalkogenidových skiel sa jedná prevažne

o uzavreté klastre. Práve uzavreté klastre umožňujú najlepšie vysvetliť výsledky EPR a röntgeno-štrukturálnych experimentov na týchto sklach. Neexistencia EPR signálu v chalkogenidových sklach sa dá vysvetliť práve tým, že tieto sklá sú vytvorené z uzavretých klastrov, ktoré reprezentujú sústavy bez neobsadených väzieb. Pokial' ide o röntgenové štrukturálne analýzy, budú výsledky takých meraní pritom zodpovedať reálne pozorovaným údajom [52-56]. V prípade takých nekryštalických polovodičov, akým je kremík, budú klastre zrejme otvorené. Prezrádza to predovšetkým evidovaný signál EPR.

Základné črty barier-klasterovho modelu sa rozpracovávali postupne už aj v skorších, resp. v ďalších prácach autora [57-71].

## OPTICKÁ ABSORPCIA

Podstata vzniku exponenciálnych chvostov optickej absorpcie z pohľadu bariérového-klasterového modelu bola opísaná v prácach [43-51]. Dôležitú úlohu v danom modele hrá práve už spomenutá silná elektrón-fonónová interakcia, ktorá umožňuje v nekryštalických látkach realizovať optické prechody spojené s energetickou spoluúčasťou fonónov. Ináč povedané, elektrón pri takom optickom prechode prijme súčasne okrem energie fotónu, aj energiu fonónu. Celkovo bude teda ním prijatá energia tvorená súčtom dvoch dávok energie – súčtom energie fotónu a fonónu. Tento mechanizmus absorpcie umožňuje pri vyšších teplotách (kedy je energia fonónov dostatočne veľká) vysvetliť aj existenciu exponenciálnych chvostov optickej absorpcie, ktoré zasahujú hlboko do zakázaného pásma nekryštalického polovodiča. Vznik a vlastnosti exponenciálnych chvostov pri vyšších teplotách možno tak objasniť bez toho, aby sme museli predpokladať existenciu chvostov hustoty stavov v zakázanom pásme. Zakázané pásmo môže tak elektrón prekonať aj pri nepostačujúcej energii absorbovaného fotónu a to vďaka energetickej spoluúčasti fonónov na prechode.

Takýto mechanizmus absorpcie však nevylučuje apriory existenciu stavov v zakázanom pásme niektorých nekryštalických polovodičov. Stavy v zakázanom pásme však nebudú prioritou príčinou vzniku exponenciálnych chvostov optickej absorpcie. Na podporu takej predstavy možno uviesť aj ten fakt, že exponenciálne chvosti optickej absorpcie vznikajú aj v nekryštalických látkach, pri ktorých sa nepodarilo dokázať existenciu stavov v zakázanom pásme ani pri použití tých najdokonalejších experimentálnych metodík [38].

## KOMPLEX OPTICKÝCH JAVOV

Vznik a vlastnosti exponenciálnych chvostov optickej absorpcie reprezentujú podľa všeobecne prijatej mienky fyzikov dodnes jedno z najväčších doteraz neodhalených tajomstiev nekryštalických polovodičov. Bol vyslovený názor, že objasnenie tohto javu otvorí cestu k pochopeniu mnohých ďalších nevysvetlených javov v tejto oblasti. Nuž a všetko naznačuje, že to platí aj v prípade výkladu exponenciálnych chvostov na základe barier-klasterovho modelu.

Na základe tohto modelu sa podarilo doteraz objasniť už aj rad ďalších optických javov. Patrí medzi ne (okrem objasnenia vzniku exponenciálnych chvostov optickej absorpcie) aj objasnenie vplyvu teploty na exponenciálne chvosti a to tak v oblasti vyšších i nižších teplôt. Barier-klasterov model nekryštalického polovodiča umožnil rozpracovať aj názorný mechanizmus fotoluminiscencie a objasniť typické rysy tohto javu. Významným sa pritom ukázal predpoklad, že proces fotoluminiscencie výrazne ovplyvňujú voľné elektróny, ktoré – ako to bolo pôvodne postulované – stimulujú nežiarivé rekombinačné prechody viazaných elektrón-dierových párov ( $e-d$ ). Vďaka tomu sa s rastom koncentrácie voľných elektrónov, ktoré môžu v látke vznikať pri nízkych teplotách aj optickou cestou, znížuje úroveň žiarivých prechodov a tým aj úroveň fotoluminiscencie. Fotoluminiscenciu potláčajú však aj voľné elektróny vznikajúce v látke bežnou termickou cestou.

Voľné elektróny vznikajú pri optickom prechode za nízkych teplôt v nekryštalickej látke mechanizmom viac-násobného tunelovania elektrónu cez viac potenciálových bariér po sebe. Pochopiteľne, že pravdepodobnosť tunelovania značne ovplyvňuje úroveň energetickej hladiny, na ktorej tunelovanie prebieha. Úroveň tejto hladiny je pritom ovplyvnená nielen energiou budiacich fotónov, ale aj teplotou a inými fyzikálnymi faktormi. V prácach [43, 48-51] boli vysvetlené viaceré javy súvisiace s fotoluminiscenčnými vlastnosťami nekryštalických polovodičov. Medzi ne patrí aj závislosť fotoluminiscencie od teploty a tiež od energie absorbovaných kvantov.

Experimentálny výskum fotoluminiscencie v oblasti energií fotónov prislúchajúcich exponenciálnym chvostom optickej absorpcie ukázal, že pri nižších energiach fotónov intenzita fotoluminiscencie narastá s rastom energie fotónov podobne, ako absorpcia. Fotoluminiscencia v tejto oblasti kopíruje teda priebeh absorpcie. Možno hovoriť o istej korelácii. Dá sa to pochopiť tak, že v tejto oblasti energií fotónov prakticky všetky svetlom vygenerované dvojice  $e-d$  rekombinujú potom žiarivo. Pri vyšších energiach budiacich fotónov (v oblasti exponenciálneho chvostu) sa bude absorpcia s rastom energie fotónov ďalej exponenciálne zvyšovať, no fotoluminiscencia bude prechádzať maximom a s ďalším rastom energie fotónov v oblasti exponenciálneho chvostu už bude klesať.

Pri dostatočne veľkej energii fotónov sa výrazne zvyšuje tvorba voľných elektrónov, nakoľko proces tunelovania prebieha na vyšších energetických hladinách. Tým sa silne zvyšuje pravdepodobnosť tunelovania elektrónu cez viac bariér po sebe. Práve tento proces vedie k rastu koncentrácie voľných elektrónov. Vyššia koncentrácia voľných elektrónov zvyšuje však počet nežiarivých rekombinácií a tým potláča úroveň luminiscencie.

## MATEMATICKÝ OPIS VÝVOJA LUMINISCENČNÉHO PROCESU

Ak chceme adekvátnie opísť vývoj fotoluminiscenčného procesu, musíme správne vyjadriť pravdepodobnosť vzniku voľného elektrónu mechanizmom viacnásobného tunelovania pri samotnom optickom absorpčnom akte. Táto pravdepodobnosť - ako to bolo ukázané v prácach [48-51] - je pri teplote  $T$  a energii budiacich fotónov  $hf$  daná vzťahom

$$P^s \sim \exp(As.(hf+CT)) \quad (1)$$

Na základe tohto poznatku bol riešený problém závislosti fotoluminiscencie od teploty a energie fotónov budiaceho primárneho žiarenia. Vychádzalo sa z predpokladu, že úroveň fotoluminiscencie je závislá od koncentrácie viazaných párov  $e-d$ , ktoré môžu vo všeobecnosti rekombinovať žiarivo, alebo nežiarivo. Počet žiarivých prechodov je pritom priamoúmerný koncentrácií  $N$  viazaných párov. Počet nežiarivých prechodov viazaných párov je zase priamoúmerný tak koncentrácií  $n$  voľných elektrónov (ako stimulátorov takýchto prechodov) ako aj koncentrácií  $N$  viazaných párov. Priebeh oboch uvedených koncentrácií ( $n,N$ ) možno podľa [48,49, 51] opísť prostredníctvom dvoch nasledovných diferenciálnych rovníc

$$\frac{dN}{dt} = C_1 - C_2 N - C_{31} C_1 \exp(sA.(hf+CT)) - C_4 N n + C_5 n^2 \quad (2)$$

$$\frac{dn}{dt} = C_{31} C_1 \exp(sA.(hf+CT)) - C_5 n^2 \quad (3)$$

kde  $dN/dt$  je časová zmena koncentrácie viazaných  $e-d$  párov za jednotku času a  $dn/dt$  je zmena koncentrácie voľných elektrónov za jednotku času. Prvý člen,  $C_1$ , na pravej strane rovnice (10) reprezentuje počet viazaných párov produkovaných dopadajúcim svetlom za jednotku času. Člen  $C_2 N$  znamená počet žiarivých rekombinácií párov  $e-d$  za jednotku času. Člen  $C_{31} C_1 \exp(sA.(hf+CT))$  je počet elektrónov, ktoré tunelovali cez  $s$  bariér po sebe a stali sa tak voľnými. Člen  $C_4 N n$  znamená počet nežiarivých rekombinácií viazaných  $e-d$  párov, ktoré vykonali nežiarivý prechod pod

vplyvom katalytického účinku voľných elektrónov. Konečne člen  $C_5n^2$  predstavuje počet voľných elektrónov ktoré zachytili voľnú dieru a s ňou vytvorili viazaný  $e-d$  pár.

## STABILIZOVANÚ LUMINISCENCIA

Po dlhšej dobe exponovania polovodičovej vzorky nemenným budiacim žiareniom sa vytvorí stacionárny stav o istej úrovni luminiscencie. Pre takýto stav bude platíť

$$\frac{dN}{dt} = 0, \quad \frac{dn}{dt} = 0 \quad (4)$$

Pre tento stav zo vzťahov (2,3,4) plynie

$$0 = C_1 - C_2N - C_{31}C_1F_1 - C_4Nn + C_5n^2 \quad (5)$$

$$0 = C_{31}C_1F_1 - C_5n^2 \quad (6)$$

kde

$$F_1 = C_{31}C_1 \exp(sA(hf + CT)) \quad (7)$$

Funkcia  $F_1(hf, T)$  v uvedenom tvari vystihuje vplyv teploty  $T$  a energie  $hf$  fotónov na  $s$ -násobné tunelovanie cez potenciálové bariery a prostredníctvom vzťahov (2,3, resp. 5,6) aj vplyv teploty na luminiscenčný proces.

Pre stacionárnu koncentráciu voľných elektrónov zo vzťahu (6) plynie

$$n = \sqrt{\frac{C_1 C_{31}}{C_5}} \sqrt{F_1} \quad (8)$$

V ďalšom sa pokúsime získať zovšeobecnené vyjadrenie uvedených rovníc tak, aby tie zovšeobecnené zachycovali aj vplyv ďalších fyzikálnych faktorov na fotoluminiscenciu.

Do matematického modelu zakomponujeme aj vplyv intenzity silného elektrického poľa na fotoluminiscenciu, ako aj vplyv koncentrácie termických voľných elektrónov na celý luminiscenčný proces. Termické elektróny svojim stimulačným účinkom zvyšujú počet nežiarivých prechodov a potláčajú úroveň luminiscencie. Silné pole – ako ukázene v ďalšom – taktiež mení podmienky tunelovania.

## ZOVŠEOBECNENÝ MATEMATICKÝ MODEL FOTOLUMINISCENCIE

### GENEROVANIE VOLNÝCH ELEKTRÓNOV

Generačná funkcia  $F_2$  vystihujúca produkciu voľných elektrónov optickým mechanizmom, zahrňujúca okrem vplyvu teploty a energie budiacich fotónov aj vplyv intenzity  $E$  silného elektrického poľa bude mať tvar

$$F_2 = C_x \left( \frac{\exp(B_2 E) + \exp(-B_2 E)}{2} \right) \exp[-A(2W_a + W_o)] \exp[sA(hf + CT)] \quad (9)$$

kde  $W_a$  je aktivačná energia a  $W_o$  výška potenciálových bariér, meraná od dna vodivostného pásma po vrcholy bariér. Symboly  $C_x$  a  $B_2$  predstavujú konštanty.

## VPLYV TERMICKÝCH ELEKTRÓNOV

Ak okrem vplyvu uvedených troch fyzikálnych faktorov chceme zohľadniť aj vplyv koncentrácie  $n_T$  termických elektrónov na fotoluminiscenciu musíme okrem vzťahu (9) použiť na opis procesu aj diferenciálne rovnice (10, 11) a tiež rovnicu (12)

$$\frac{dN}{dt} = C_1 - C_2 N - C_1 C_{32} F_2 - C_4 N(n + n_T) + C_5(n + n_T)n \quad (10)$$

$$\frac{dn}{dt} = C_1 C_{32} F_2 - C_5(n + n_T)n \quad (11)$$

$$n_T = C_y \exp\left(-\frac{W}{kT}\right) \quad (12)$$

Druhý člen  $C_5(n + n_T)n$ , pravej strany v obidvoch rovniciach (10, 11), vystihuje skutočnosť, že voľný elektrón môže vytvoriť viazaný páár  $e-d$  nielen s dierou optického, ale aj s dierou termického pôvodu. Rekombinačný mechanizmus teda ovplyvňujú aj termické voľné elektróny. Symbol  $C_y$  predstavuje konštantu.

## VPLYV TERMICKÝCH VOLNÝCH ELEKTRÓNOV – STACIONÁRNY REŽIM

Termické voľné elektróny ovplyvňujú fotoluminiscenčný proces vlastne dvoma kanálmi. Podstata prvého je v tom, že podobne ako voľné elektróny optického pôvodu – aj termické elektróny podnecujú (stimulujú) nežiarivé rekombinčné prechody viazaných elektrón-dierových párov. Okrem toho – ako si to ukážeme v ďalšom – termické elektróny ovplyvňujú aj koncentráciu voľných elektrónov optického pôvodu. Dôvodom toho je rekombinačný proces, nakoľko – ako sme už povedali – elektrón optického pôvodu môže rekombinovať aj s dierou termického pôvodu.

Ustálená koncentrácia  $n$  voľných elektrónov optického pôvodu v látke bude teda ovplyvnená koncentráciou  $n_T$  termických elektrónov. Potvrdzuje to nasledovná úvaha. Zo vzťahu (11) plynie, že ustálená koncentrácia  $n$  bude určená vzťahom

$$0 = C_1 C_{32} F_2 - C_5(n + n_T)n \quad (13)$$

kde

$$n_T = C_y \exp\left(-\frac{W}{kT}\right) \quad (14)$$

Rovnica (13) reprezentuje kvadratickú rovnicu, ktorej prípustným fyzikálnym riešením je jediný kladný koreň, udávajúci hodnotu príslušnej koncentrácie

$$n = \frac{-n_T + \sqrt{n_T^2 + 4C_1 C_{32} C_5^{-1} F_2}}{2} \quad (15)$$

pričom pre  $n_T$  platí vzťah (14).

Stacionárnu koncentráciu  $N$  viazaných párov získame podľa (10) zo vzťahu

$$0 = C_1 - C_2 N - C_1 C_{32} F_2 - C_4 N(n + n_T) + C_5(n + n_T)n \quad (16)$$

resp., ak vezmeme do úvahy vzťah (11) a okrem neho podmienku  $dn/dt = 0$  a teda vzťah (13)

$$0 = C_1 C_{32} F_2 - C_5(n + n_T)n \quad (17)$$

Uvedeným spôsobom dostaneme

$$0 = C_1 - C_2 N - C_4 N(n + n_T) \quad (18)$$

z čoho

$$N = \frac{C_1}{C_2 + C_4(n + n_T)} \quad (19)$$

pričom pre  $n$ , resp.  $n_T$  platia vzťahy (14) a (15).

Kedže pre fotoluminiscenciu platí  $I = C_2 N$ , pre ustálenú fotoluminiscenciu možno písat'

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_4(n + n_T)} \quad (20)$$

pričom pre  $n$  a  $n_T$  platia vzťahy (15), resp. (14).

## AK V LÁTKE NIET TERMICKÝCH VOLNÝCH ELEKTRÓNOV

V prípade, ak v látke nie sú volné termické elektróny, teda  $n_T = 0$  z posledného vzťahu plynie už predtým získaný vzťah

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_4 n} \quad (21)$$

pre úroveň fotoluminiscencie determinovanú voľnými elektrónmi čiste optického pôvodu (vytváranými prostredníctvom s-násobného tunelovania).

V špeciálnom prípade, ak  $C_2 \ll C_4 n$  a súčasne elektrické pole má nulovú intenzitu ( $E = 0$ ), dostávame vzťah

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_4 n} \quad (22)$$

resp. v súhlase s vzťahom (15)

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_4} \sqrt{\frac{C_5}{C_1 C_{32}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{F_2}} \quad (23)$$

z ktorého na základe vzťahu (9) bol v práci [47,48,49] odvodený nielen dobre známy Streetov empirický luminiscenčný zákon

$$I \sim \exp\left(-\frac{T}{T_o}\right) \quad (24)$$

ale aj zovšeobecnený Streetov zákon,

$$I \sim \exp\left(-\frac{hf}{H_0}\right) \exp\left(-\frac{T}{T_o}\right) \quad (25)$$

Práve to je vzťah, ktorý vyjadruje závislosť stacionárnej – ustálenej - fotoluminiscencie od energie  $hf$  budiacich fotónov (v oblasti energií prislúchajúcich exponenciálnemu chvostu optickej absorpcie) a od teploty.

Uvedený vzťah možno ďalej zovšeobecniť ak do neho zakomponujeme aj vplyv intenzity  $E$  silného elektrického pola. Ak je vzorka v silnom elektrickom poli, pre fotoluminiscenciu bude na základe vzťahov (9) platiť

$$I \sim K(E) \cdot \exp\left(-\frac{hf}{H_0}\right) \exp\left(-\frac{T}{T_o}\right) \quad (26)$$

kde faktor  $K(E)$  závisí od intenzity poľa. Možno ho vyjadriť v tvare

$$K(E) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\exp(B_2 E) + \exp(-B_2 E)}} \quad (27)$$

Súhrne možno teda pre intenzitu fotoluminiscencie písat'

$$I \sim \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\exp(B_2 E) + \exp(-B_2 E)}} \exp\left(-\frac{hf}{H_0}\right) \exp\left(-\frac{T}{T_o}\right) \quad (28)$$

S rastom intenzity sa úroveň luminiscencie za inak rovnakých podmienok bude teda znižovať. V prípade nie príliš silných polí môžeme exponenciálne výrazy pod odmocninou vo vzťahu (27), (resp. v prvom zlomku vzťahu (28)) rozvinúť do Taylorovho radu a vziať do úvahy len prvé tri členy rozvoja. Vzťah (27) sa tak dá upraviť postupne do tvaru

$$K(E) = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\exp(B_2 E) + \exp(-B_2 E)}} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2 + (B_2 E)^2}} \approx (1 - const.E^2) \quad (29)$$

Zo vzťahov (26,29) je zrejmé, že hodnota  $I$  ustálenej fotoluminiscencie sa bude s rastúcou intenzitou  $E$  elektrického poľa zoslabovať (v uvedenom priblížení) kvadraticky. Všeobecne sa však bude meniť podľa vzťahu (28). Vzťah (28) pritom nezohľadňuje vplyv koncentrácie termických voľných elektrónov na luminiscenciu.

## PRÍPAD, KEĎ SÚ ROZHODUJÚCE TERMICKÉ VOLNÉ ELEKTRÓNY

V špeciálnom prípade, ak  $n_T \gg n$ , pre fotoluminiscenciu platí

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_4 n_T} \quad (30)$$

a ak je súčasne splnené  $C_2 \ll C_4 n_T$  v súhlase so vzťahom (14) tiež

$$I = \frac{C_1 C_2}{C_4 n_T} = \frac{C_1 C_2}{C_4} \exp\left(\frac{W}{kT}\right) \quad (31)$$

Grafom funkcie  $\ln I(1/T)$  je v tomto prípade priamka s kladnou smernicou. S rastúcou teplotou fotoluminiscencia prudko klesá.

Vzťah (31) predstavuje celkom nový typ závislosti fotoluminiscencie od teploty (odlišný od Streetovho luminiscenčného zákona (24)). Vzťah (31) je platný v prípade, ak v látke v procese fotoluminiscencie nevznikajú voľné elektróny optickou cestou (mechanizmom mnohonásobného tunelovania) a ak sú v nej prítomné len elektróny termického pôvodu.

## ZÁVER

Článok prináša komplexnejší pohľad na vplyv rôznych fyzikálnych parametrov na fotoluminiscenciu v nekryštalických polovodičoch. Je venovaný skúmaniu vplyvu takých veličín ako je teplota, energia budiacich fotónov, intenzita elektrického poľa a koncentrácia termických voľných elektrónov na procesy spojené s fotoluminiscenciou. Prezentované úvahy vychádzajú z bariér-klasterovho modelu nekryštalickej látky.

Získané výsledky podporujú nielen opodstatnenosť bariér-klasterovho modelu, ale aj predstavu o úlohe voľných elektrónov ako katalyzátorov nežiarivých prechodov v nekryštalickej látke. Získané výsledky umožňujú odvodiť známu Streetovu formulku pre fotoluminiscenčné žiarenie. Okrem toho možno tak zdôvodniť aj postupný pokles intenzity fotoluminiscencie v priebehu času, počnúc okamihom zahájenia ožarovania budiacim žiareniom. Existuje však aj rad ďalších argumentov v prospech takého prístupu.

Model úspešne objasňuje aj fakt, že pri dostatočnom zvýšení energie budiacich fotónov sa pravdepodobnosť viacnásobného tunelovania elektrónov pri optickej absorpcii zvyšuje, v dôsledku čoho dochádza k zvýšenej optickej produkcie voľných elektrónov. To vedie k potláčaniu fotoluminiscencie. A tak v určitej oblasti exponenciálneho chvostu dochádza k tomu, že hoci sa absorpcia s rastom energie  $hf$  zvyšuje, luminiscencia po dosiahnutí maxima začne klesať.

This research was supported by ESF-grant.

## LITERATÚRA

- [1] R. A. Street, T. M. Searle, I. G. Austin, Journ. Phys. C, 6, p.1830, (1973).
- [2] R. A. Street, T. M. Searle, I. G. Austin, Phil. Mag., 30, p.1181, (1974).
- [3] M. Kastner, D. Adler, H. Fritzsch, Phys. Rev. Lett. 37, p.1504, (1976).
- [4] R. A. Street, T. M. Searle, I. G. Austin, R. S. Sussman, Journ. Phys. C: Solid state phys. 7, p.1582, (1974).
- [5] B. T. Kolomijets and al., J. Non-Cryst. Solids 4, p.289, (1970).
- [6] R. Fischer, U. Heim, F. Stern, K. Weiser, Phys. Rev. Lett., 26, p.1182, (1971).
- [7] B. T. Kolomijets, T. N. Mamontova, E. A. Smor-gonskaya, A. A. Babajev, Phys. Stat. Solidi a 11, p.441, (1970).
- [8] Yu. Ivashchenko, B. T. Kolomijec, T. N. Mamomtova, Phys. Stat. Solidi a 24, p.401, (1974).
- [9] S. G. Bishop, U. Strom, P. C. Taylor, Proc 13<sup>th</sup> Conf. Physics of Semiconductors, ed. F.G.Fumi, Rome, p.563, (1976).
- [10] S. G. Bishop, U. Strom, P. C. Taylor, Phys. Rev. Lett 34. p.1346, (1975).
- [12] J. Cernogora, F. Mollot, and Benoit a la C. Guillaume, Phys. Status Solidi a 15, p.401, (1973).
- [13] K. Morigaki, I. Hirabayashi, M. Nakayama, S. Nitta, K. Shimakawa, Solid State Commun. 33, p.851, (1980).
- [14] D. K. Biegelsen and R. A. Street, Phys. Rev. Lett. 44, p.803, (1980).
- [15] J. Shah and A. E. DiGiovany, Solid State Commun. 37, p.717, (1981).
- [16] J. Shah: Phys. Rev. B 21, 4751, (1980).
- [17] P. B. Kirby, E. A. Davis, J. Non .Cryst. Mater. 35/36, p.945, (1980).
- [18] J. H. Stathis, M. A. Kastner, Phys. Rev B 35 (6), p.2972, (1987).

- [19] G. Fasol, J. phys. C: Solid state phys. 18, p.1729, (1985).
- [20] R. A. Street, Phys. Rev. B 17 1978 issue 10, p.3984, (1978).
- [21] R. A. Street, Adv. Phys. 25, p.397, (1976).
- [22] M. Kastner, J. Phys. C: Solid St. Phys. 13, p.3319, (1980).
- [23] R. A. Street, N. F. Mott, Phys. Rev. Lett. 35, p.1293, (1975).
- [24] G. J. Adrieanssens, A. Stesmans, Journ. Optoelec-tron. Adv. Mater. 4 (4), p.837, (2002).
- [25] S. A. Kozuikhin, E. N. Voronkov, N. P. Kuzmina, J. Non-Cryst.Solids 352, (9-20), p.1547, (2006).
- [26] L. Červinka, J. Non-Cryst. Solids. 106, p.291, (1988).
- [27] M. H. Brodsky, Amorphous semiconductors, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, (1979). (Amorfnye poluprovodniki, Mir, Moskva, 1982).
- [28] N. F. Mott, E. A. Davis, Electron processes in non-crystalline materials, Clarendon Press, Oxford, (1979). (Elektronnye processy v nekristaličeskikh veščestvach, Mir, Moskva (1982)).
- [29] A. M. Andriesh, M. S. Iovu, Optical properties of chalcogenide glasses, Moldavian journal of physical science, 2 (3-4), p.246, (2003).
- [30] A. M Andries h, M. S. Iovu, S. D. Shutov, Chalcogenide Non-crystalline semiconductors in optoelectronics, J. Optoelectronics and Advanced Materials, 4 3, p.631, (2002).
- [31] M. Popescu, Photoinduced Phenomenon and elements for integrated Optics based on Non-crystalline chalcogenide semiconductors, Ed. Chisinau, (2003).
- [32] Photoinduced metastability in amorphous semiconductors, Ed. A. E. Kolobov, Wiley-VCH GmbH, (2003).
- [33] Y. Hamakawa (edit.), Amorphous semicondu-ctor - Technologies and devices, 1983 North – Holland, Amsterdam-New-York-Oxford, OHM, Tokyo-Osaka-Kyoto (Amorfnye polupro-vodniki i pribory na ich osnove, ed. S. S. Gorelika, Metalurgia, Moskva, (1986).
- [34] M. Popescu, Non-crystalline chalcogenides, Solid state science and technology Library, Vol.8, Kluwer academic publishers, Dordrecht/ Boston/London, (2000).
- [35] Semiconducting chalcogenide glass I: Glass formation, structure, and stimulated transformations in chalcogenide glasses, Ed. R. Faimar, B. Ushkov, Semiconductors and semimetals, Vol. 78, Elsevier-academic press, Amsterdam, Boston, London, New York, (2004).
- [36] D. Ležal, P. Macko, Non-crystalline semiconductors, (In slovak: Nekryštalické polovodiče), ALFA, Bratislava, p.238, (1988).
- [37] H. Overhof, Fundamental concepts in the physics of amorphous semiconductors, J. Non-Cryst. Solids. 227-230, p.15, (1998).
- [38] K. Tanaka, J. Optoelectron. Adv. Mater. 3(2), p.189, (2001).
- [39] Z. U. Borisova, Glassy Semiconductors (Plenum Press, New York, (1981).
- [40] K. Tanaka, Disordered Systems and New Materials, eds. M. Borissov, N. Kirov and A. Vavrek (World Scientific, Singapore, 1989), p.290. (1989).
- [41] S. R. Elliott, Physics of Amorphous Materials (Longman, Essex, 1990) 2nd ed. (1990).
- [42] R. A. Street, T. M. Searle, I. G. Austin, Amorphous and Liquid Semiconductors, eds. J. Stuke, W. Brening, Taylor and Francis, London, p.953, (1974).
- [43] I. Banik, CEJP 3(2), p.270, (2005).
- [44] I. Banik, J.Non-Cryst. Sol. 353, p.1920, (2007).

- [45] I. Banik, J. Optoelectron. Adv. Mater., Vol.9, No 10, p.3171, (2007).
- [46] I. Banik, J. Optoelectron. Adv. Mater., Vol.10, No 3, p.3331, (2008).
- [47] I. Baník, Optical transitions in chalcogenide glasses, (v tlači)
- [48] I. Banik, J. Optoelectron. Adv. Mater., in press (2008)
- [49] I. Banik, J. Ovonic Research Vol. 4., No. 2, p. 35, (2008)
- [50] I. Banik, Chalcogenide Letters, Vol. 5, No. 5, p. 87, (2008)
- [51] I. Banik, J. Optoelectron. Adv. Mater., in press (2008)
- [52] M. Popescu, J. Optoelectron. Adv. Mater. 6(4), p.1147, (2004).
- [53] A. Lorinczi, F. Sava, Chalc. Lett, 2 (1), p.1, (2005).
- [54] M. Popescu, Proc. Intern. Conf. „Amorphous semiconductors 78, Pardubice, Vol. 1, p.185, (1978).
- [55] S. Zamfira, M. Popescu, F. Sava, Chalcogenide letters 2 (6), p.55, (2005).
- [56] M. Popescu, F. Sava, A. Lorinczi, Chalcogenide letters 1 (9), p.111, (2004).
- [57] I. Banik, Proc. FCE SUT, SUT, Bratislava, p.221, (1983).
- [58] I. Baník, 7. Conf. czech-slov. phys., august 24-28. 1981, Prague, p.5, (1981).
- [59] I. Baník, Amorphous semiconductors 78, Pardubice, p.529, (1978).
- [60] I. Baník, Proc. 5. Conf. Czech. Phys., Košice, p.643, (1977).
- [61] I. Banik, TVV- 2006, Olomouc jun 20-21. 2006, Votobia Prag, p.361, (2006).
- [62] I. Banik, Proc. 15. conf. of slovak and czech. phys., Košice, september 5-8. 2005, Slovak academy of sciences, Košice, p. 45, (2006).
- [63] I. Banik, TTV 2005, Olomouc 2005, Votobia Praha, p.414, (2005).
- [64] I. Baník, Didmattech 03, 2003, june 24-25, 2003, VOTOBIA, Olomouc, p.88, (2003).
- [65] I. Banik, The transport properties of amorphous semiconductors in high electric fields, SVŠT-SUT, Bratislava, p.105, (1975).
- [66] I. Baník, Czech. J. Phys. B 25, p.552, (1975).
- [67] I. Baník, Czech. J. Phys. B 24, p.1114, (1974).
- [68] I. Baník, Čs. čas. fyz. A 26, p.496, (1976).
- [69] I. Banik a kol., Research reports, SUT Bratislava, I-1-1/16 - 1973, 1975, I-1-1/6a – (1977, 1980)
- [70] I. Baník, Electrical and optical properties of non-crystalline semiconductors under normal and high pressure, SUT Bratislava, p.280, (2002).
- [71] I. Banik, 15. conf. of slov. and czech. phys., Košice, sept. 5-8. 2005, Slov. Acad. of Sciences, p. 45, (2006).

## THERMOCHARACTERISTICS OF MILK

Monika Božíková

*Department of Physics, University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra,  
Slovakia, e-mail: Monika.Bozikova @uniag.sk*

**Abstract:**

This article deals with thermocharacteristics of milk. For thermophysical parameters measurements was used Hot Wire method. There were measured the first series of measurements we measured relations between thermal conductivity and thermal diffusivity in temperature range ( 5 – 25 ) °C by instrument Isomet. In the second series of measurement was measured relation between thermal conductivity and relative fat content. The results of measurements showed that temperature stabilisation process and relative fat content have influence to variation of thermophysical parameters. All measured relations during temperature stabilisation have linear increasing progress – fig. 1-2. Figure 3 shows that increasing relative fat content has decreasing influence on milk thermal conductivity.

### **THERMAL CONDUCTIVITY AND THERMAL DIFFUSIVITY OF MILK**

### **INTRODUCTION**

Knowledge of physical properties of biological materials has a decisive importance for the realization of many technological processes, especially for monitoring their quality and health harmlessness during their production and storage. The quality assessment and guarantee of the safety of foodstuff belong to the main priorities in food industry. HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Point System represents scientifically sophisticated approach to the problems of the protection of foodstuff quality. It is internationally accepted system guarantying the foodstuff safety aimed to the identification, evaluation and risks control in the whole technological procedure of foodstuff production. Its successful application is subject to the complete knowledge of physical properties of foodstuff (Jiřičková – Pavlík - Černý, 2006). One of most important are thermophysical parameters of food which are usually changed during the processing, storage and manipulation. There are many methods and techniques of thermophysical parameters measurements, but in national standards are usually used transient methods. Transient methods of measuring thermophysical parameters of solids represent a large group of techniques which use a dynamic temperature field inside the sample (Kubičár - Boháč, 1999). The transient methods can be characterised as follows. The temperature of the sample is stabilized and uniform. Then the dynamic heat flow in the form of a pulse or step-wise function is applied to the sample. Thermophysical parameters of the material can be calculated from the temperature response.

### **MATERIALS AND METHODS**

Measured samples was provided in storage boxes at the temperature from 4°C to 5°C and 90% of the air moisture content during 24 hours before measurement and

relations of thermophysical parameters to the temperature were measured during temperature stabilization of samples. All measurements were made in laboratory settings. The measurement was realized for milk with relative fat content 0.5 %, 1.5% and 3.5% in temperature range (5 – 25) °C. Methods of measurements were selected according to structural characteristics of the sample. For grated liquids materials is convenient Hot wire method which is described in follows.

Hot wire (HW) method Heat flux is generated for an appropriate time interval through a long thin uniform wire buried in a small groove or otherwise tightly sandwiched between two sample pieces and the temperature response is measured by the change in resistance of the wire or by the temperature sensor. The response is analysed in accordance with a model characterised by the particular formula found by solution of the partial differential equations using boundary and initial conditions corresponding to the experimental set up. (NPL, 2007)

Mathematical model requires ideal, infinitely long thermal source (hot wire) surrounded with infinitely homogenous and isotropic medium with constant starting temperature  $T_0$ . If in time  $t = 0$  there starts radial heat flow  $q$  in measured material, so temperature  $T(r,t)$  will have during time  $t$  increasing progress in distance  $r$  measured from hot wire. This time-temperature function can be described by equation (1)

$$T(r,t) = T_0 - \frac{q}{4\pi\lambda} Ei(-u) \quad (1)$$

$Ei$  is exponential integral with function argument  $u = \frac{r^2}{4at}$ , where  $a$  is thermal diffusivity. For values of function argument  $u < 0,1$  we can approximate exponential integral by formula  $-Ei(-u) = -\ln u - 0,577$  so, the final time-temperature function is:

$$T(r,t) = T_0 + \frac{q}{4\pi\lambda} \left( \ln \frac{4at}{r^2} - 0,577 \right) \quad (2)$$

$$\text{and } \Delta T = T(r,t) - T_0 = \frac{q}{4\pi\lambda} \ln \frac{4at}{Cr^2} \quad (3)$$

$\Delta T$  is temperature increment and  $C = \exp(\gamma)$ , where  $\gamma$  is Euler constant. From linear temperature increment  $\Delta T$  can be calculated thermal conductivity  $\lambda$ , thermal diffusivity  $a$  and specific heat  $c$  by using equations (4-6) and (11). (Carslaw- Jaeger, 1999)

$$\lambda = \frac{q}{4\pi A} \text{ and } a = \frac{Cr^2}{4} \exp\left(\frac{B}{A}\right) \quad (4-5)$$

Where  $A$ ,  $B$  are regression line coefficients obtained from function (Karawacki – Ul-Hang – Nhi, 1992):

$$\Delta T = A + B \ln t . \quad (6)$$

## RESULTS AND DISCUSSION

In the 1st series of measurements were obtained values of thermal conductivity (Tab. 1, Fig. 1) and thermal diffusivity (Tab. 2, Fig. 2) during the temperature stabilization of milk with different relative fat content 0.5%, 1.5% a 3.5%. For thermophysical parameters measurement was used temperature range (5 - 25)°C. In the 2nd series was measured relation between thermal conductivity and relative fat content (Fig. 3).

Table 1 Results of thermal conductivity measurement during milk temperature stabilisation

Temperature [°C]	Relative Fat Content		
	0.5 %	1.5 %	3.5 %
	Thermal Conductivity [W/m.K]		
5	0.533	0.516	0.506
10	0.546	0.529	0.516
15	0.568	0.542	0.528
20	0.593	0.557	0.54
25	0.612	0.573	0.553

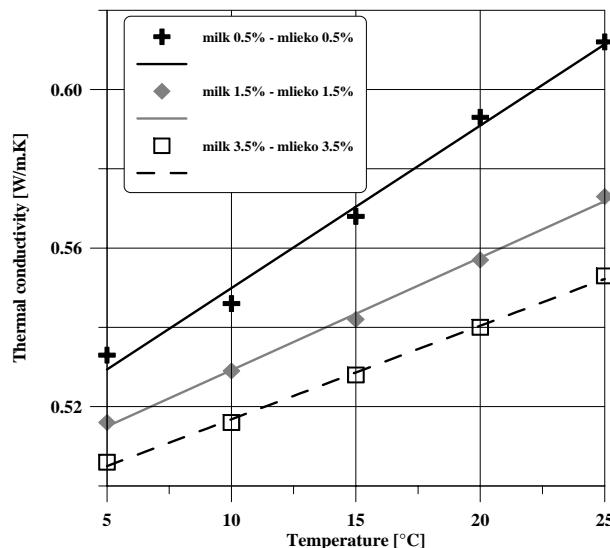


Figure 1 Relations of thermal conductivity to temperature for milk with different fat content

Table 2 Results of thermal diffusivity measurement during milk temperature stabilisation

Temperature [°C]	Relative Fat Content		
	0.5 %	1.5 %	3.5 %
	Thermal Diffusivity x E-8 [m <sup>2</sup> /s]		
5	12.22	12.41	12.72
10	12.44	12.72	13.01
15	12.63	13.11	13.42
20	12.88	13.43	13.86
25	13.15	13.64	14.22

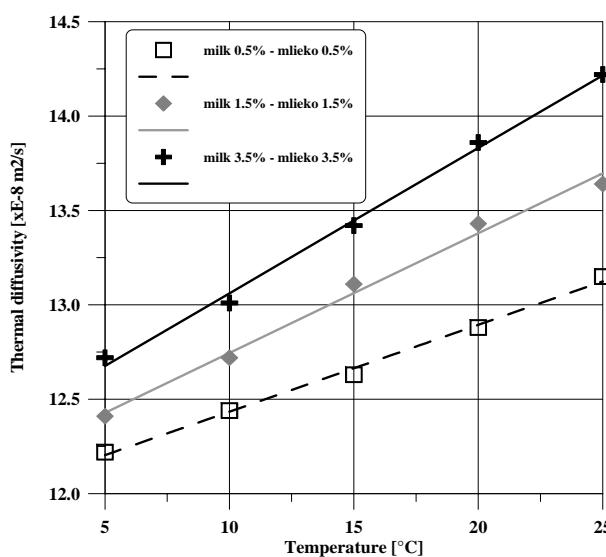


Figure 2 Relations of thermal diffusivity to temperature for milk with different relative fat content

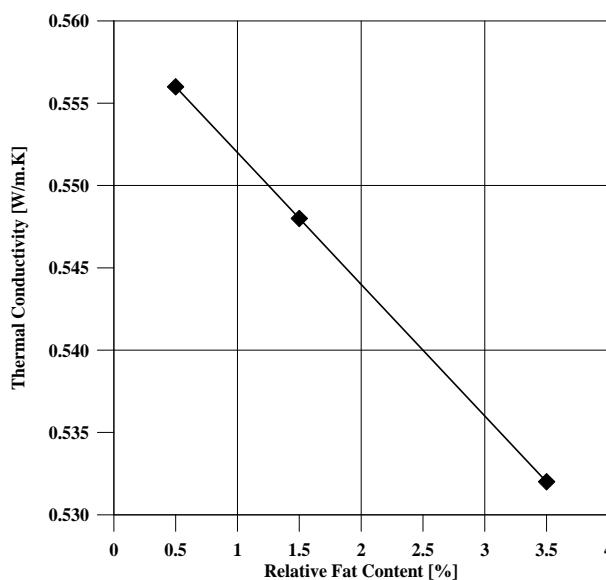


Figure 3 Relations of milk thermal conductivity to relative fat content

## CONCLUSION

Study of relationships between thermal conductivity, thermal diffusivity and temperature which results are showed on figures 1 – 2 and tables 1, 2 demonstrate linear increasing relations between thermophysical parameters and temperature during temperature stabilization of milk samples with relative fat content 0.5%, 1.5% and 3.5 %. Figure 3 – show, that increasing relative fat content has decreasing influence on milk thermal conductivity. It shows, that the thermal conductivity of low viscosity liquids can be measured with Hot wire method and the three last concentrations indicate a perfectly linear dependence of the thermal conductivity on the fat concentration. For data reliability protection there were realized series of measurements for every point in graphics characteristics with number of hundred measurements and results were obtained as valued averages. Based on presented results, it is necessary to have knowledge of the dependence of thermophysical parameters on temperature and relative fat content of milk if we need to protect quality of milk during the manipulation, processing and storage.

## REFERENCES

- [1] Carslaw, H.S. – Jager, J.C. 1989. Conduction of heat in solids, 2nd em. Oxford University Press, Oxford, 482 – 484
- [2] Jiřičková, M. – Pavlík, Z. – Černý, R. 2006. Thermal properties of biological agricultural materials. In: Proceedings of the seminary Thermophysics 2006, FPV UKF Nitra, 2006, p. 68-71.
- [3] Karawacki, E. – Suleiman, B. M. – UI-Hang, I. – Nhi, B. T. 1992. An Extension to the dynamic plane source technique for measuring thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat of Solids. Review of scientific instruments, 63, p. 4390-4397
- [4] Kubičár, L. – Boháč, V. 1999. Dynamic Methods of measuring thermophysical parameters. Pittsburgh Conference Oct. 1997, Pittsburgh Press., p 2-16
- [5] The UK's National Measurement Laboratory. 2007.  
[www.npl.co.uk/thermal/ctm/1a.doc](http://www.npl.co.uk/thermal/ctm/1a.doc)

## ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by grant project VEGA 1/4400/7 and VEGA 1/3471/06, VEGA 1/3454/06.

## INOVÁCIA NÁVODOV NA LABORATÓRNE CVIČENIA NA KATEDRE FYZIKY FEI STU V BRATISLAVE

Ján Budinský, Ivan Červeň, Peter Ballo

Katedra fyziky FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava  
[janbudinsky@seznam.sk](mailto:janbudinsky@seznam.sk) [ivan.cerven@stuba.sk](mailto:ivan.cerven@stuba.sk) [peter.ballo@stuba.sk](mailto:peter.ballo@stuba.sk)

### Abstrakt:

Príspevok sa zaoberá inováciou textov návodov na laboratórne úlohy, ich umiestnením na internete, s možnosťou stiahnuť formulár protokolu s predtlačnými tabuľkami na vpisovanie nameraných hodnôt. Významnou súčasťou informácií umiestnených na internete budú simulácie merania, ktoré študenta vopred uvedú do prostredia laboratória s fotografiami a popisom laboratórnych zariadení, ako aj s postupom merania.

Návody na laboratórne cvičenia si doteraz mohli študenti zakúpiť vo fakultnej knižnici, a to na každú úlohu samostatne. Prípravu na cvičenie museli robiť do vlastných zošitov, do ktorých si vopred pripravili aj tabuľky na zapisovanie nameraných údajov. Texty návodov boli už pomerne staré, bolo ich treba prispôsobiť najnovším normám týkajúcich sa označovania a názvov fyzikálnych veličín. V neposlednom rade bolo potrebné návody upraviť na základe skúseností z laboratórnych cvičení. Navyše v laboratóriu bolo medzičasom inštalovaných niekoľko nových úloh, takže bolo naozaj potrebné vydať nové návody.

V snahe prispôsobiť sa súčasným tendenciám elektronizácie a výjst' v ústrety aj externým študentom, boli návody umiestnené na internet na katedrovú stránku v PDF formáte, s možnosťou návody si skopírovať (súčasná adresa <http://kf.elf.stuba.sk/~cerven>). Návod každej úlohy bol doplnený o formulár protokolu, do ktorého si pred cvičením ručne vpíšu princíp úlohy, vzťahy ktoré sa pri výpočtoch používajú, prípadne schému zapojenia, či zariadenia používaného pri meraní. Na cvičení vpisujú namerané hodnoty do tabuľiek a do vopred pripravených riadkov, či tabuľiek zapisujú aj výpočty. V protokole sú vyhradené aj riadky či tabuľky na výpočet smerodajnej odchýlky a na uvedenie výsledku s neistotou merania. Na konci protokolu je vyhradené miesto, na ktorom študent vlastnými slovami zhodnotí meranie.

Významnou súčasťou návodov umiestnených na internete budú onedlho aj simulácie meraní jednotlivých úloh. Po otvorení stránky týkajúcej sa laboratórnych cvičení, študent si bude môcť najprv prezrieť laboratórium ako celok a potom si vyberať návody na jednotlivé laboratórne úlohy. Na úvodnej stránke úlohy sú umiestnené tlačidlá na vol'bu úplného textu návodu príslušnej úlohy, d'alej na zobrazenie príslušného pracovného miesta, aj s označením (názvom) jednotlivých prístrojov. Pri niektorých úlohách je fotografia zariadení skombinovaná so schémou zapojenia úlohy. Tlačidlom s tvarom šípky sa otvorí simulácia laboratórnej úlohy, v ktorej si študent môže voliť niektoré parametre jednoduchým posúvaním kurzora. Súčasne sa zobrazujú namerané údaje (simulované!), ktoré sa menia pri zmene parametrov ovládaných študentom.

Očakávame, že možnosť vopred sa takýmto spôsobom zoznámiť s laboratórnymi úlohami, prispeje k lepšiemu a rýchlejšiemu pochopeniu podstaty laboratórnych úloh, trvalejšiemu osvojeniu si princípov ich merania, ako aj k urýchleniu merania úloh.

Predpokladáme, že simulácie všetkých laboratórnych úloh budú umiestnené na sieti už v zimnom semestri nasledujúceho školského roka, lebo väčšina z nich je už teraz zostavená.

# SAMOUSPORIADANÉ MONOVRSTVY V MOLEKULOVÝCH NANOTECHNOLOGIÁCH: TECHNOLOGICKÉ PODMIENKY, FYZIKÁLNE VLASTNOSTI, APLIKÁCIE

Július Cirák

*Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Slovenská technická univerzita,  
Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava, Slovenská republika – julius.cirak@stuba.sk*

## **Abstrakt:**

Technológia Langmuira-Blodgettovej (LB) patrí k metódam pre prípravu extrémne tenkých organických vrstiev s vysokým stupňom kontroly ich hrúbky a molekulovej architektúry. Táto technológia umožňuje vytvárať nerozpustné molekulárne vrstvy na hladine vody obvykle s hrúbkou rozmeru jednej molekuly a následne depozíciu týchto monovrstiev na tuhý substrát pri zachovaní molekulového usporiadania vo vrstve. Pri budovaní molekulárneho systému je možné postupne na seba nakladať rôzne monovrstvy v definovanej sekvencii. Vytvorená monomolekulárna vrstva na hladine vody (Langmuirov film) umožňuje študovať javy v ideálnom dvojdimenzionálnom systéme, sledovať vplyv medzimolekulových interakcií na makroskopické vlastnosti molekulárneho systému (spontánna polarizácia, dielektrické relaxačné javy, magnetizácia a pod.). LB techniku možno teda chápať ako ideálny technologický prostriedok pre sledovanie základných fyzikálnych procesov v systémoch s molekulovou organizáciou. Prezentované aplikačné možnosti LB vrstiev sú smerované do vývoja biosenzorov s elektrochemickou detekciou využitím povrchovo modifikovaných iónovo-selektívnych ultramikroelektród.

## **ÚVOD**

Veľkou skupinou materiálov, ktoré v poslednom čase sa stávajú objektom fyzikálneho výskumu, ale i zaujímavým objektom pre potenciálne aplikácie v rôznych oblastiach vedy a techniky, sú systémy pozostávajúce z organických molekúl. Tento záujem je vyvolaný predovšetkým osobitnými vlastnosťami organických a biologických molekúl. Ide predovšetkým o ich vysokú štruktúrnu a funkčnú variabilitu, extrémnu selektivitu pri tvorbe intermolekulových väzieb, efekt samoorganizácie (spontánne vytváranie priestorových a časových štruktúr).

V predchádzajúcim období záujem o molekulárne materiály sa obmedzoval na vybrané vlastnosti objemových organických zlúčenín. Išlo o určité polymery a kompozity a ich kombináciu výhodných mechanických a izolačných vlastností, resp. fotoaktívne molekuly skúmané v rôznych matriciach. Ako ukazujú posledné štúdie, molekulárne organické materiály vykazujú niektoré zreteľné prednosti v porovnaní s konvenčnými tuhými látkami so spojitosou mriežkou:

- ich fyzikálne vlastnosti možno ľahšie cieľavedome modifikovať malými zmenami v molekulovej štruktúre,
- rôzne výhodné vlastnosti možno spájať na molekulovej úrovni s možnosťou prípravy supramolekulových usporiadaných systémov,
- funkčnosť systému je zachovaná na rôznej dĺžkovej škále, od molekulových rozmerov až po objemové vzorky, cez tenké filmy či klastre,
- tieto materiály sú biologicky a environmentálne kompatibilné, umožňujú recykláciu výrobkov,
- využitie týchto materiálov nie je priamo závislé na strategických surovinách.

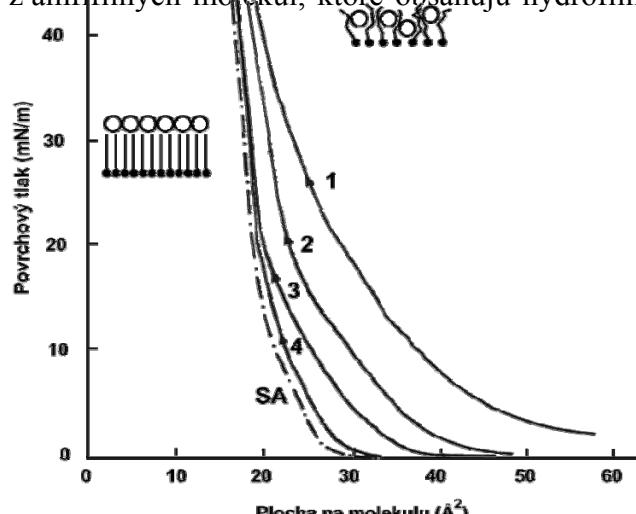
Táto materiálová alternatíva vyžaduje zvládnutie dvoch krokov: prípravu - syntézu organických molekúl s požadovanými vlastnosťami a následne zostavenie funkčných molekúl do molekulových systémov s definovaným usporiadáním.

Ako jedna z perspektívnych metód pre prípravu usporiadaných molekulových systémov sa ukázala metóda Langmuira – Blodgettovej (LB metóda) [1]. V priebehu ostatných 25 rokov sa potvrdila táto perspektíva a LB technológia dokázala možnosť kontroly usporiadania na molekulovej úrovni, a tak sa stala perspektívou pre konštrukciu nanoštrukturovaných materiálov, ako aj pre vytvorenie systémov pre štúdium vybraných javov molekulárnej elektroniky.

Tento príspevok si nekladie za cieľ široko postihnúť rôzne stránky molekulových nanotechnológií, ale ide o výber niektorých výskumných aktivít týkajúcich sa organických ultratenkých vrstiev a usporiadaných molekulových systémov vytvorených postupnou depozíciou monovrstiev využitím LB metódy.

## NANOELEKTRICKÉ JAVY V LANGMUIROVEJ MONOVRSTVE

Materiály, ktoré spontánne vytvárajú monomolekulárne vrstvy na hladine vody sú zložené z amfifilných molekúl, ktoré obsahujú hydrofilné aj hydrofóbne chemické skupiny. Hladina vody poskytuje výnimcočné podmienky pre štúdium molekulových procesov samoorganizácie. V tomto prípade „substrát“ (povrch vody) je dobre definovaný, homogénny a hladký a efektívna dimenzionalita molekulového systému je redukovaná z 3 rozmerov na 2, molekuly sa pohybujú po fázovom rozhraní kvapalina – plyn len v laterálnom smere. Dvojicu termodynamických veličín: teplotu a povrchový tlak možno priamo kontrolovať<sup>2</sup>; povrchový tlak jednoducho pohybom bariéry po povrchu. Taká mechanická kompresia, ktorá je analogická hydrostatickej komprezii v trojdimenzionálnych sústavách, je nedosažiteľná pri iných dvojdimenzionálnych systémoch a usporiadaniach. Okrem toho interakcie molekúl v monovrstve alebo medzi molekulami monovrstvy a vode možno systematicky meniť zámenou polárnych a nepolárnych častí molekúl



Obr. 1 Závislosť povrchového tlaku od plochy pripadajúcej na jednu molekulu v Langmurovej monovrstve.

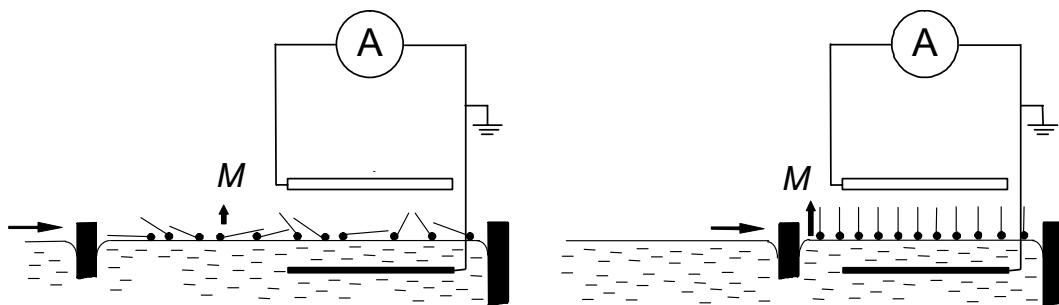
surfaktantu využívajúc široké syntetizačné možnosti organickej chémie (napr. dĺžku reťazca možno meniť po nanometrových krokoch) alebo aj zmenou pH alebo iónového zloženia subfázy.

Štúdium javov v Langmuirových tuhých monomolekulových vrstvách je stimulované jednak vedeckým ako aj technologickým záujmom, pretože cielený nábojový transfer ako aj konformačné a orientačné zmeny molekúl v monovrstve účinkom vonkajších faktorov (povrchový tlak, svetlo, chemické látky) sú javmi, ktorých pochopenie je nevyhnutné pre realizáciu molekulárnych prvkov v elektronike, či senzoriike.

Realizovali sme modifikovanú verziu merania posuvných prúdov [2] používajúc štruktúru: kovová elektróda, vzduchová medzera, Langmuрова vrstva, kovová elektróda ponorená v subfáze (obr. 2). Horná elektróda je oddelená od povrchu vzorky a tým je eliminovaný vplyv prípadnej

oxidovej vrstvy na elektróde ako aj tvorba kovových filamentov v organickej vrstve pri depozícii elektródy.

Posuvný prúd v tomto experimente pri mechanickej kompresii tečie počas zmeny priemetu dipólového momentu do smeru normálneho k rozhraniu. Časovú závislosť posuvného prúdu možno využiť pre výpočet zmeny indukovaného náboja na hornej elektróde, a tým aj pre výpočet dipólového momentu jednej molekuly v monovrstve. Napr. pre jednoretazcovú nasýtenú mastnú kyselinu C – 18 (kyselinu stearovú) hodnota molekulového dipólového momentu bola  $2,5 \cdot 10^{-30}$  Cm alebo 0,75 D.

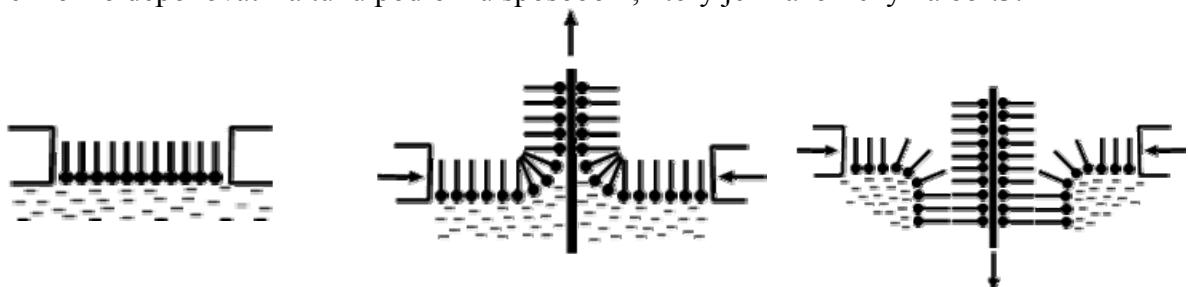


Obr. 2 Schéma experimentálneho zariadenia na meranie Maxwellových posuvných prúdov cez monovrstvu. Citlivosť merania pri meraní prúdu bola 1 fA. Celý merací systém bol pripojený na Langmuirovej vani, riadený počítačom a umiestnený v laminárnom boxe na antivibračnom základe.

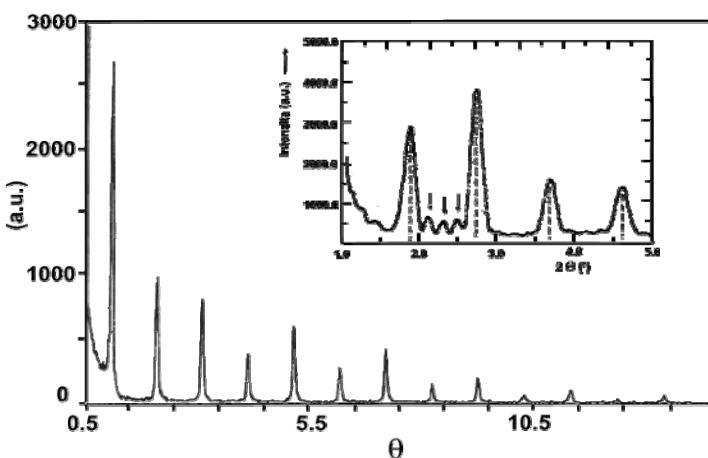
Externú kompresiu monovrstvy na hladine vody pomocou pohyblivej bariéry možno použiť aj pre štúdium nerovnovážnych javov. V tomto prípade pohyb bariéry neboli spojité, ale prerušovaný. V každej pozícii monovrstvy bola ponechaná dostatočnú dobu na dosiahnutie rovnovážneho stavu a tento relaxačný proces bol monitorovaný na základe meraného posuvného prúdu. Pri týchto experimentoch bolo možno využiť okrem mechanickej aj stimuláciu elektrickú alebo optickú. V každom prípade sledujeme odozvu molekúl v monovrstve či už na externé elektrické pole alebo na svetlo a meraný posuvný prúd umožňuje registrovať procesy súvisiace so zmenou orientácie molekúl [3] v monovrstve, so zmenou priestorovej štruktúry molekuly (konformácie) alebo uskutočneným nábojovým transferom v molekule.

## TECHNOLÓGIA LANGMUIR-BLODGETTOVEJ, MONOVRSŤVY DEPONOVANÉ NA TUHÝ SUBASTRÁT A ICH ŠTRUKTÚRNA CHARAKTERIZÁCIA

Monovrstvu v kondenzovanej 2D fáze vytvorenú v procese samousporiadania na vodnej hladine možno deponovať na tuhú podložku spôsobom, ktorý je znázornený na obr.3.



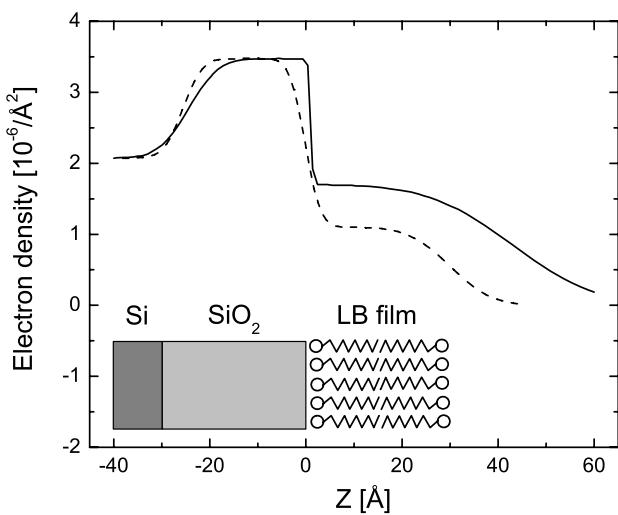
Obr. 3 Postupnosť technologických krokov, ktorá ukazuje následnú depozíciu monomolekulárnych vrstiev amfifilných a im podobných molekúl na tuhú podložku.



Obr. 4  $\theta/2\theta$  rtg. skan 35 vrstiev kyseliny stearovej na sklenej podložke. Detail postranných maxim objavujúcich sa v dôsledku redukovanéj periodicity od malého počtu (5) monovrstiev.

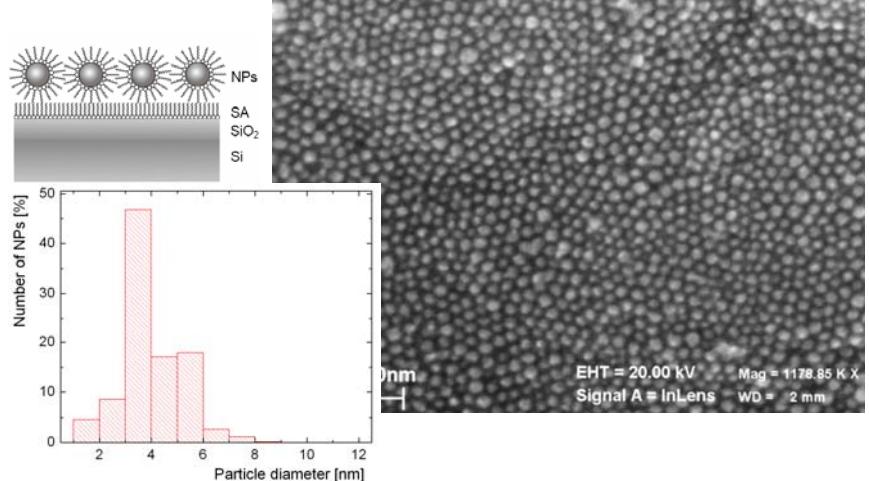
Vrstvy LB vykazujú výraznú periodicitu v smere normály k povrchu substrátu v mierke niekoľkých nanometrov, čo poskytuje pri röntgenovej difrakcii výrazné Bragove maximá  $00l$ . Ako je dokumentované na obr. 4, v prípade malého počtu monovrstiev objavujú sa satelitné maximá, pričom je splnená podmienka  $n=2p-1$ , kde  $n$  je počet monovrstiev a  $p$  počet vedľaších maxim.

V nasledujúcej časti sú dokumentované výsledky röntgenovej difrakcie a reflektivity z LB vrstiev vytvorených molekulami lipidov, ktoré sú modelmi biologickch membrán, a LB vrstiev nanočasticí oxidov železa. Výsledky sú konfrontované so snímkami SEM.



Obr. 5 Profil elektrónovej hustoty dvojvrstvy DPPC deponovanej na Si substráte s  $\text{SiO}_2$  povrchovou vrstvou. Viditeľný je vplyv  $\text{Ca}^{2+}$  iónov zabudovaných v DPPC (súvislá čiara) v porovnaní s priebehom pre čistý DPPC. Ióny boli pridané do subfázy pred formovaním monovrstvy na hladine vody v koncentrácií 15 mmol/l. Náčrt prepočítanej štruktúry je ukázaný pod grafom.

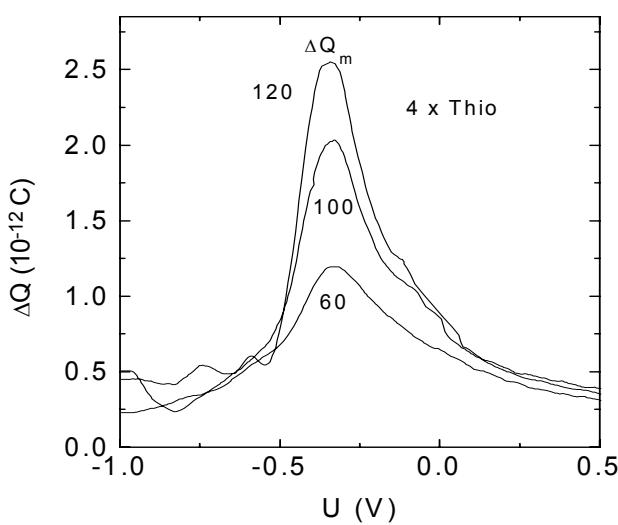
Obr. 6 Obraz feritových nanočasticí na substráte  $\text{Si}-\text{SiO}_2$  z elektrónovej rastrovacej mikroskopie (SEM). Náčrt štruktúry ukazuje monovrstvu nanočasticí oxidov Fe v obale kyseliny olejovej a oleylamínu. Priložený je histogram distribúcie veľkosti nanočastí, ktorý potvrdzuje monodisperzitu systému.



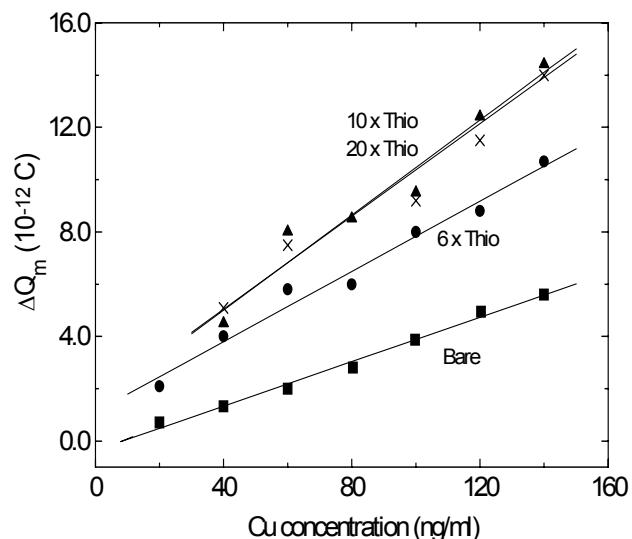
## ELEKTROCHEMICKÉ EXPERIMENTY S LB POVRCHOVO MODIFIKOVANÝMI ELEKTRÓDAMI

Modifikáciou elektródového povrchu možno dosiahnuť výrazné zvýšenie detekčnej citlivosti a selektívnosti elektrochemických senzorov. Ide o pokrytie aktívneho povrchu elektródy pre imobilizáciu špecifickej redoxnej látky. Využíva sa tu možnosť LB techniky deponovať definovaný počet monomolekulárnych vrstiev modifikátora pri vhodnej teplote pre organické alebo biologické látky a tým optimalizovať priebeh oxidačno-redukčných reakcií na rozhraní tuhá/kvapalná fáza. Mechanizmus nábojového transferu vo vrstve modifikátora je rozhodujúci pre kinetiku transferu medzi elektródou a skúmaným roztokom. Elektrochemické vlastnosti pôvodných a modifikovaných elektród sme testovali pomocou štandardnej voltamperometrickej ako aj dvojkrokovej voltcoulometrie [4]. Elektrochemické experimenty sa uskutočnili v dvojelektródovej cele. Jadrom meracej elektródy bolo uhlíkové vlákno (s priemerom asi  $7\text{ }\mu\text{m}$ ). Zámerom výskumu v tejto oblasti bola príprava modifikovaných ultramikroelektród pre efektívne kvalitatívne a kvantitatívne určenie toxickej kovových iónov ( $\text{Pb}$ ,  $\text{Cd}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Fe}$ ,...) vo vodných nádržiach, priemyselných odpadoch, nápojoch, medicínskych roztokoch.

Ako príklad detekčnej schopnosti uhlíkovej mikroelektródy sú vybrané výsledky pri testovaní roztokov s iónmi  $\text{Cu}$  [5].

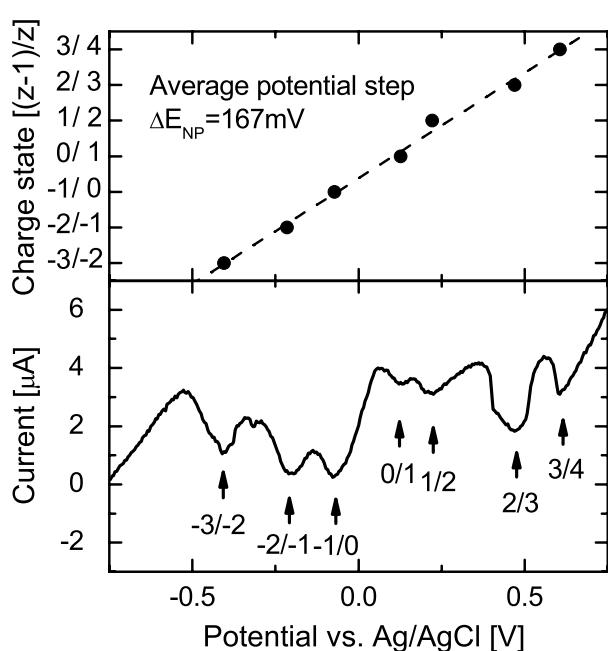


Obr. 7 Voltcoulometrický záznam nábojovej odozvy ako funkcie napäcia na povrchovo modifikovaných elektródach s polytiofénom. Čísla udávajú koncentráciu monitorovaného  $\text{Cu}^{2+}$  v  $\text{ng}/\text{ml}$ .



Obr. 8 Sústava kalibračných kriviek pri detekcii  $\text{Cu}$  iónov pomocou DSVCM s povrchovo modifikovanými elektródami (čísla udávajú počet monovrstiev polytiofénu na elektróde).

V prípade pokrycia elektród monodisperzným systémom koloidných nanočastíc sme pozorovali kvantované nabíjanie dvojvrstvy. Ide o tzv. Gouy-Chapmannovu dvojvrstvu, ktorá sa vytvára v bezprostrednom kontakte s povrhom elektródy. Feritové nanočasticie v organickej obálke vzájomne od seba oddelené a elektricky izolované možno chápať ako kvantové body s multivalentnými redoxnými vlastnosťami. V tomto prípade sme deponovali pomocou LB techniky usporiadany systém nanočastíc na povrchu nedopovaného hydrogenizovaného amorfného kremíka (a-Si:H) a merania sa uskutočnili v režime cyklickej voltamperometrie. Jednoelektrónové nabíjanie nanočastíc sme pozorovali vo forme pravidelných prúdových maxím vo voltametrickom zázname



Obr. 8 Charakteristické prúdové priebehy odrážajúce zmeny nábojového stavu nanočasticí na povrchu elektródy pri cyklickej voltamperometrii.

snímaného pri izbovej teplote [6]. Napäťové intervale pozorovaných maxím  $\Delta E_{NP} \sim 167 \text{ mV}$  v rámci vypracovaného jednoduchého modelu sústavy guľových kondenzátorov s tunelovaním elektrónov cez izolujúce organické obálky sú vo veľmi dobrej zhode s rozmermi nanočasticí určenými inými technikami (TEM, elipsometria).

Výskumné aktivity prezentované v tejto publikácii boli podporované v ostatnom období slovenskými grantovými agentúrami v projektoch APVV-0173-06 a VEGA 1/3038/06.

## LITERATÚRA

- [1] J. Cirák, D. Barančok, acta phys. slov. 45, 479 (1995)
- [2] J. Cirák, D. Barančok, P. Tomčík, J. Vajda, Mater. Sci. and Engineering C 8-9, 13 (1999)
- [3] M. Iwamoto, Thin Solid Films 244, 1031 (1994)
- [4] I. Thurzo, K. Gmucová, J. Orlický, J. Pavlásek, J. Rev. Sci. Instrum. 70, 3723 (1999)
- [5] D. Barančok, J. Cirák, P. Tomčík, K. Gmucová, Bioelectrochemistry 55, 153 – 155 (2002)
- [6] M. Weis, K. Gmucová, V. Nádaždy, I. Čapek, A. Šatka, M. Kopáni, J. Cirák, E. Majková, Electroanalysis 19, 1323 – 1326 (2007)

## VYUŽITIE FUNDAMENTÁLNYCH FYZIKÁLNYCH KONŠTÁNT V DEFINÍCIÁCH JEDNOTIEK SI

Ivan Červeň

Katedra fyziky FEI STU, Ilkovičova 3, 812 19 Bratislava  
[ivan.cerven@stuba.sk](mailto:ivan.cerven@stuba.sk)

### **Abstrakt:**

Príspevok sa zaoberá potrebou definovať jednotky fyzikálnych veličín na základe prírodných invariantov a nahradíť staré definície založené na etalónoch ktoré nemožno spoľahlivo reprodukovať. Uvádza sa, že sústava siedmich základných jednotiek SI je v súčasnosti vybudovaná na piatich konštantách, medzi ktoré patrí aj medzinárodný prototyp kilogramu. Jeho časové zmeny sú nekontrolovatelné, čo ovplyvňuje aj ostatné jednotky odvodené od kilogramu. Spomenuté sú aj historické aspekty vývoja definícií jednotiek a úsilie nahradíť starú definíciu ampéra, závislú od kilogramu, definíciou využívajúcou Josephsonov jav a kvantový Hallov jav. To vyžaduje náhradu jednej z piatich konštant súčasnej SI inou konštantou, čo však v princípe naruší súčasnú koherenciu jednotiek.

Historicky prvou jednotkou, definícia ktorej sa operala o meranie prírodného objektu, bol meter. Bol prijatý vo Francúzsku v roku 1799 ako jedna desaťmilónina dĺžky polovice zemského poludníka. Na základe metra bol v tom istom období zavedený aj kilogram, ako hmotnosť jedného kubického decimetra vody. Meter i kilogram sa v súčasnosti využívajú pri definíciiach radu iných fyzikálnych jednotiek, vrátane základných jednotiek ampér, mól a kandela, pričom definícia metra do dnešných dní prešla niekoľkými významnými zmenami, zatiaľ čo definícia kilogramu sa stále opiera o hmotnosť medzinárodného prototypu.

Základom medzinárodného uznania metra a kilogramu bolo podpísanie Metrickej konvencie sedemnásťimi štátmi v roku 1875 ako aj prvá Generálna konferencia o váhach a mierach (CGPM) uskutočnená v roku 1889. Na tejto konferencii bola prijatá sústava MKS, schválené Pt-Ir prototypy kilogramu a metra, ako aj sekunda zavedená na základe dĺžky stredného slnečného dňa.

Už v 30-tych rokoch 19. storočia C. F. Gauss zaviedol sústavy jednotiek CGSM a CGSE, ktoré budoval na princípe koherentnosti odvodených jednotiek sústavy. To znamená, že vo vzťahoch medzi veličinami nevystupovali prevodové faktory. Tento dôležitý princíp je vlastný aj sústave SI. Popri jednotkách centimeter (pôvodne milimeter), gram a sekunda zaviedol štvrtú základnú jednotku – v sústave CGSM permeabilitu.

Prax však vyžadovala zavedenie inej - praktickej štvrtej základnej jednotky, ktorá by pokrývala oblasť elektromagnetických javov. V roku 1901 taliansky fyzik Giorgi navrhol ako štvrtú základnú jednotku ampér (alternatívne aj ohm), ale akceptovaná bola až v roku 1948. Tak vznikla sústava MKSA, nazývaná aj Giorgiho. Ampér bol definovaný na základe sily pôsobiacej medzi dvomi vodičmi, čo znamenalo, že jeho veľkosť závisela od veľkostí jednotiek meter, kilogram, sekunda, pričom do jeho definície vstupovala aj permeabilita vakuu  $\mu_0$ . Pri reprodukovaní takto definovaného ampéra sa však nedosahuje dostatočne malá relatívna neistota. Súviselo to aj s definíciou metra.

Definícia metra vychádzajúca z rozmerov Zeme dnes už nie je dostatočne presná, lebo relatívna neistota merania rozmerov Zeme dosahuje hodnotu  $10^{-8}$ , čo je pre dnešnú metrológiu nepostačujúce. Rozmery Zeme preto nepredstavujú vhodný prírodný invariant. Na XI. CGPM v roku 1960 bola prijatá sústava SI a v jej rámci nová definícia metra – ako násobok vlnovej dĺžky žiarenia vysielaného atómami  $^{84}\text{Kr}$ . Tým bol meter definovaný na základe skutočného prírodného invariantu, ale súčasne sa zlepšila relatívna neistota jeho reprodukovanosti z hodnoty  $10^{-6}$  na  $10^{-9}$ .

*Treba poznamenať, že prvou jednotkou definovanou na základe prírodného invariantu – trojného bodu vody - bol kelvin (1954 na X. CGPM).*

V roku 1960 bola spresnená definícia sekundy tým, že sa už neodvodzovala od stredného slnečného dňa, ktorý sa spomaľovaním rotácie Zeme postupne predlžuje, ale od tropického roka (časový interval medzi prechodom Slnka cez jarný bod). Zásadná zmena v definícii sekundy nastala v roku 1967, keď bola definovaná ako násobok periódy žiarenia vysielaného atómami  $^{133}\text{Cs}$ , teda ako násobok prírodného invariantu. Pritom sa podstatne zmenšila relatívna neistota určenia sekundy z  $10^{-7}$  (typická hodnota pre kryštálové oscilátory) na  $3 \cdot 10^{-15}$ .

Nová definícia sekundy s extrémne nízkou relatívnu neistotou viedla k zmene definície metra, ako vzdialenosť, ktorú svetlo vo vákuu prejde za definovaný zlomok sekundy. Pred tuto definíciou však bola urobená dohoda o rýchlosťi svetla, v podstate jej definíciou, pričom sa udáva bez neistoty merania:  $c = 299\ 792\ 458\ \text{m/s}$  presne. Tým do definície metra vstupuje jednak rýchlosť svetla, ako fundamentálna fyzikálna konštantu, jednak sekunda, čiže doba kmitu atómov cézia, ako prírodný invariant. Relatívna neistota pri určení metra tak poklesla z  $10^{-9}$  na  $10^{-12}$ .

Po novej definícii metra sú už tri základné jednotky SI - meter, sekunda a kelvin definované na základe prírodných invariantov, resp. fundamentálnej konštanty. Jednotky ampér, mól a kandela nie sú nezávislé, závisia aj od kilogramu. Pritom kilogram je definovaný hmotnosťou medzinárodného prototypu, ktorá sa môže nekontrolovatne meniť. Pokusy definovať kilogram na základe prírodných invariantov alebo fundamentálnych konštant doposiaľ neboli úspešné, lebo sa nedosiahla požadovaná neistota merania. Úspešne sa však podarilo novým spôsobom určiť ampér.

Pri novej definícii ampéra, ktorá by bola nezávislá od kilogramu, sa dajú využiť dva významné kvantové javy – *Josephsonov jav*, ktorým sa dá s vysokou presnosťou merať elektrické napätie (charakterizovaný tzv. Josephsonovou konštantou  $K_J$ ) a *kvantový Hallov jav* (charakterizovaný von Klitzingovou konštantou  $R_K$ ), ktorým sa dá s vysokou presnosťou merať elektrický odpor. Ampér by tak bol definovaný prostredníctvom jednotiek volt a ohm. Z teórií kvantového Hallovho javu a Josephsonovho javu vyplýva, že príslušné konštanty sú funkiami náboja elektrónu  $e$  a Planckovej konštanty  $h$  :  $K_J = 2e/h$  ,  $R_K = h/e^2$  . To znamená, že ampér ako základná jednotka SI by bola definovaná prostredníctvom dvoch fundamentálnych konštant. Takoto cestou sa relatívna neistota určenia ampéra dá zmenšiť viac ako o dva rády, čo by bol ďalší úspech novej definície.

Definícia ampéra, nezávislá od kilogramu, však znamená narušenie koherentnosti sústavy jednotiek SI. Znamenalo by to napríklad, že jednotka výkonu definovaná vzťahom  $\text{N} \cdot \text{m/s}$  by nebola presne rovnaká ako „elektrická jednotka“  $\text{V}^2/\Omega$ . Hodnoty Josephsonovej konštanty a von Klitzingovej konštanty sa dajú nastaviť tak, aby rozdiel jednotiek výkonu bol z praktického hľadiska zanedbateľný, ale koherentnosť sústavy by principiálne bola narušená. Preto CGPM v roku 1990 rozhodla, že definícia ampéra na základe sily medzi vodičmi sa nezmení, ale pri praktickej realizácii jednotiek volt a ohm sa budú používať Josephsonov jav a kvantový Hallov jav.

Literatúra :

- [1] J. Skákala : 125 rokov metrickej konvencie - spomienkové podujatie v Paríži, Metrológia a skúšobníctvo, ročník **VI** (2001), číslo 1, str. 25 - 31
- [2] B. W. Petley : Metrology, the Key to Progress : in the Past and in the Future, *Physica Scripta* **41** (1990) 701 - 711
- [3] Symbols, Units, Nomenclature and Fundamental Constants in Physics, Document IUPAP - 25 (SUNAMCO 87-1), 1987  
Reprinted from *PHYSICA* 146A (1987) 1 - 68
- [4] P. J. Mohr, B. N. Taylor : Recommended Values of the Fundamental Physical Constants 1998, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* **28** (1999), No. 6., 1713 - 1852  
P. J. Mohr, B. N. Taylor : Reviews of Modern Physics, **72** (2000) No.2., 351 - 495  
J. Skákala : Nové CODATA tabuľky hodnôt základných fyzikálnych konštánt, Metrológia a skúšobníctvo, **VI** (2001), No.2., 27 - 29
- [5] V. S. Tuninsky : Unit system based on the fundamental constants *Metrologia* **36** (1999) , 9 - 14
- [6] D. Reymann, T. J. Witt, P. Vrabček, Yi - hua Tang, C. A. Hamilton, A. S. Katkov, B. Jeanneret, O. Power : Recent Developments in BIPM Voltage Standard Comparisons *IEEE Trans. Instr. Meas.* **50** (2001) 206 - 209
- [7] P. Vrabček, J. Novák : Primárny kvantový etalon elektrického odporu v SMÚ, Metrológia a skúšobníctvo, ročník **VI** (2001), číslo 1, str. 10 - 14
- [8] T. J. Quinn : The Kilogram : Present State of Our Knowledge *IEEE Trans. Instr. Meas.* **40** (1991) 81 - 85
- [9] B. N. Taylor : The Possible Role of the Fundamental Constants in Replacing the Kilogram *IEEE Trans. Instr. Meas.* **40** (1991) 86 - 91
- [10] M. Kochsieck, M. Gläser : Comprehensive Mass Metrology , Willey - W.Ch., Berlin 2000

# AKUSTICKÁ KVALITA ZVUKU V ŠPECIFICKÝCH PODMIENKACH OTVORENÝCH PRIESTOROV

Anna Danihelová

*Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky  
Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene  
[www.acoustics.sk](http://www.acoustics.sk), [danihelova@acoustics.sk](mailto:danihelova@acoustics.sk)*

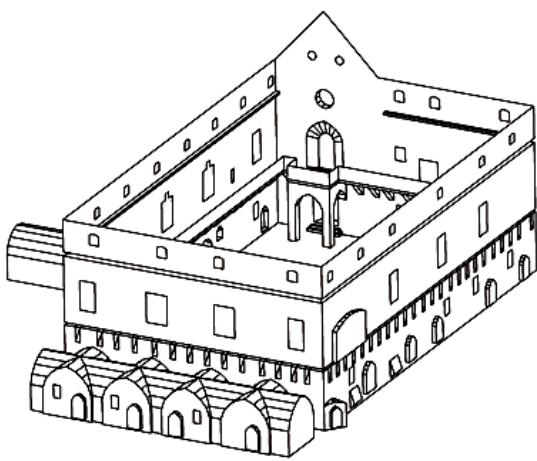
## Abstrakt:

V posledných rokoch organizátori kultúrnych podujatí ich v letných mesiacoch organizujú v historických [2] priestoroch zámkov, kaštieľov alebo v amfiteátoch a na námestiah. Aj nádvorie Zvolenského zámku (Obrázok 1) sa stáva v lete dejiskom konania Zámockých hier Zvolenských, ktoré sú najstarším divadelným festivalom na Slovensku. Moderné meracie i simulačné metódy umožňujú sledovať fyzikálne procesy vplývajúce na akustickú kvalitu priestoru a nájsť riešenia ako ju zlepšiť vhodne zvolenými úpravami. Preto boli skúmané vybrané akustické charakteristiky (sila zvuku G, index zrozumiteľnosti STI, počiatocný čas dozvuku a čas dozvuku) prostredníctvom akustických simulácií v programe CATT-Acoustic. Výsledky simulácií boli porovnávané s meraniami v programe DIRAC [3].

## NÁDVORIE ZVOLENSKÉHO ZÁMKU

Pre uskutočnenie akustických simulácií, ktorých výsledky budú mať reálnu výpovednú hodnotu je potrebné zaznamenať reálne rozmery nádvoria, druhy materiálov nachádzajúcich sa v danom priestore, ich plochy ako aj koeficienty pohltivosti pre vybraný interval frekvencií.

Vytvorenie modelu nádvoria pre akustické simulácie v programe CATT-Acoustic je možné priamo v programe, čo je zložitejšie, resp. v programe AutoCAD. 3D model z AutoCADu je exportovaný do CATT-Acoustic. Pri transformácii sa na pripravený model „natiahli“ 3D plochy, pre ktoré sa vytvorili nové farebne rozlíšiteľné hladiny. Ich počet bol daný počtom druhov materiálov použitých v priestore. Program CATT-Acoustic využíva zákony geometrickej akustiky,

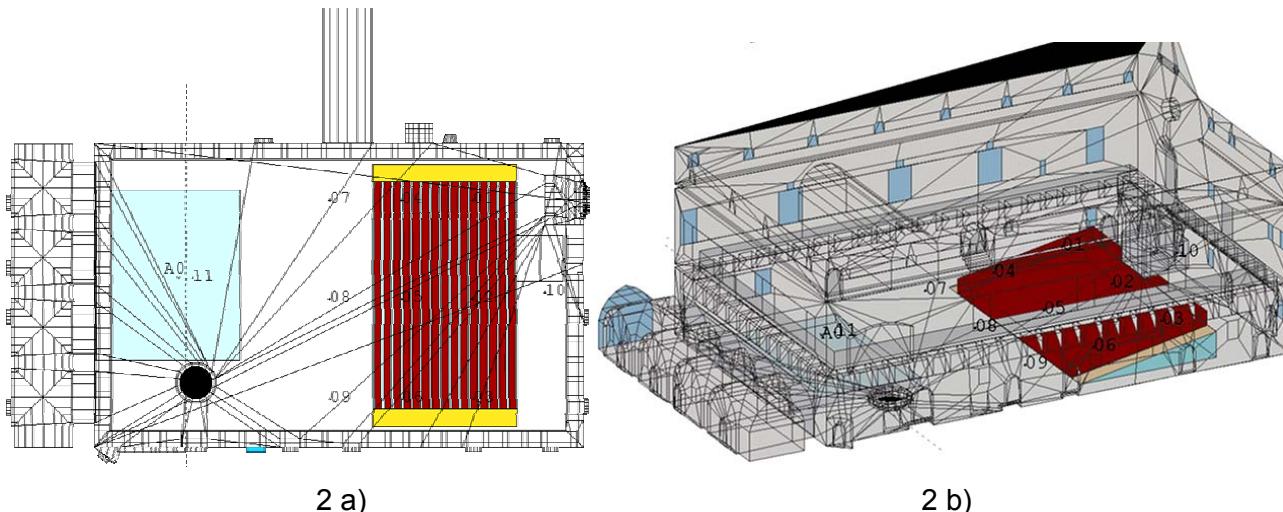


OBRÁZOK 1 Nádvorie Zvolenského zámku

a to metódu zrkadlového zdroja a lúčovú metódu (ray-tracing). Nakol'ko CATT-Acoustic (zapožičaný z Katedry konštrukcií a pozemných stavieb STU v Bratislave od prof. Tomašoviča) pozná len uzavorený priestor bolo nutné nádvorie uzatvoriť plochou, s pohltivosťou 99 %, čo je takmer pohltivosť otvoreného okna a zadať rozptyl. Táto hodnota udáva difúznosť použitého materiálu v percentách a určuje štatistickú odchýlku uhla odrazu k uhlu dopadu. Čím je rozptyl väčší, tým chaotickejšie sa dopadajúce lúče odrážajú. Zadaním väčšieho rozptylu je možné simulovať členitosť povrchu, napríklad stupňovitosť nahradíť súvislou rovinou, ktorá bude mať vyšší rozptyl ako stupne, hoci pohltivosť aj typ materiálu sú zhodné. Všetky výpočty sa uskutočnili pre šesť oktávových pásiem (125 Hz až 4 kHz).

### SIMULÁCIE V CATT-ACOUSTIC

Akustické simulácie [1, 4] sa uskutočnili pre 4 modely priestoru nádvoria, a to: prázdne nádvorie, nádvorie s javiskom a prázdnym hľadiskom, nádvorie s javiskom a na 50 % obsadeným hľadiskom, nádvorie s javiskom a na 100 % obsadeným hľadiskom. Pre konštrukčné prvky a materiály na nádvorí bola zadefinovaná pohltivosť a rozptyl, bola zadaná informácia o umiestnení zdroja a prijímačov (Obrázok 2). Mikrofóny boli umiestnené od seba vo vzdialosti 8 m a vo výške 2,5 m. Pre merané modely bol nastavený šum pozadia na 10 % pre všetky použité frekvencie, teplota vzduchu 20 °C a relatívna vlhkosť vzduchu 50 %.



OBRÁZOK 2

2 a) Pôdorys nádvoria s javiskom  
a prázdnym hľadiskom

2 b) 3D model nádvoria s javiskom a úplne  
obsadeným hľadiskom

### PROGRAM DIRAC

Programom DIRAC (*Dual Input Room Acoustics Calculator*) bola počítaná impulzná odozva pri použití budiacich signálov z reproduktorového zdroja zvuku snímaného všesmerovým mikrofónom. Po prvom vybudení zvukového signálu vo voľnom poli bol program DIRAC skalibrovaný s externou zvukovou kartou počítača. Kalibráciou boli nastavené počiatočné hodnoty programu, ktoré program považoval za referenčné a porovnával ich hodnotami nameranými na nádvorí zámku. Pre meranie bol použity interne generovaný MLS (Maximum Langht Sequence) a SWEEP signál. Signály boli vybudene 12 krát. Umiestnenie mikrofónov bolo rovnaké ako pri modeli s prázdnym nádvorím. Zdrojom zvuku bol reproduktor (lepšia smerovosť, frekvenčné

spektrum, možná opakovateľnosť). Softwarom DIRAC bola nameraná a uložená do pamäti akustická impulzná odozva. Z nej boli vypočítané skúmané akustické charakteristiky – sila zvuku G, index zrozumiteľnosti STI, počiatočný čas dozvuku a čas dozvuku [3]. Reálne merania sa uskutočnili len na prázdnom nádvorí.

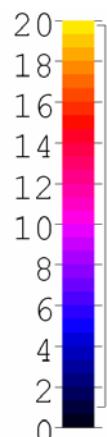
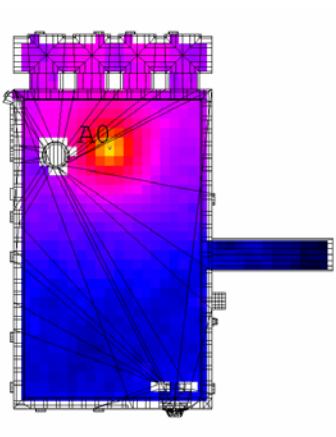
## VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty akustických charakteristik pre frekvenciu 1 kHz v rôznych vzdialenosťach od zdroja získaných v simulácii v CATT-Acoustic sú v Tabuľke 1. Pre akustické merania bol použitý MLS signál s dĺžkou trvania 10 s a 10 s dlhý logaritmický SWEEP.

TABUĽKA 1 Výsledky pri frekvencii 1 kHz pre prázdne nádvorie s hľadiskom

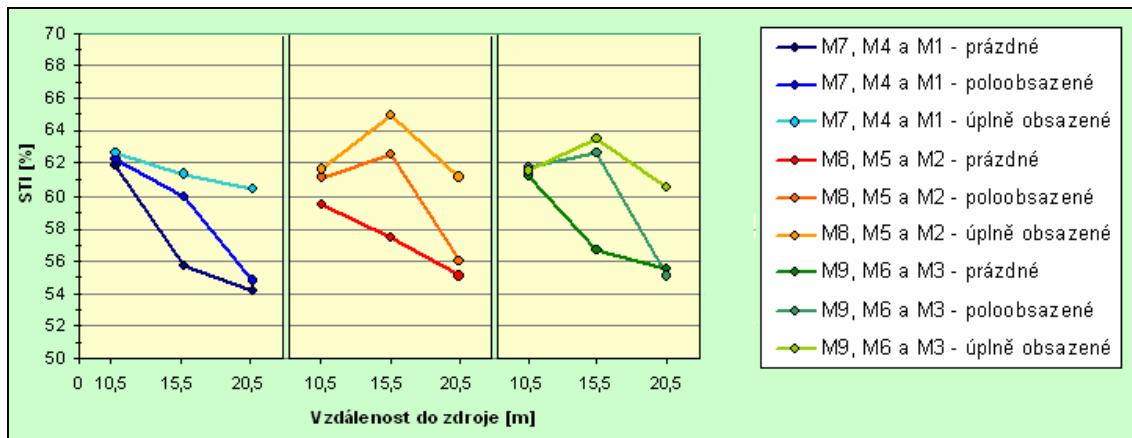
Mikr.	Vzdial. od zdroja [m]	G [dB]	STI [%]	T30 [s]	EDT [s]	Vzdial. od zdroja [m]	G [dB]	STI [%]	T30 [s]	EDT [s]
01	1	20,8	93,2	1,5	0,1	20,5	3,3	54,2	1,8	1,2
02	5	10,2	68,5	1,8	1,5	20,5	3,4	55,1	1,7	1,4
03	10	7,2	55,4	1,8	1,4	20,5	3,8	55,5	1,7	1,3
04	15	5,3	50,5	1,8	1,6	15,5	4,4	55,7	2	1,1
05	20	4,8	46,4	2,3	1,6	15,5	3,4	57,5	1,8	1,2
06	25	4,7	51	2,2	1,7	15,5	4,8	56,7	1,9	1
07	tunel	4,6	52,5	1,9	1,5	10,5	5,9	61,8	1,8	1,2
08	klenba	9,2	49,2	2	1,9	10,5	6,2	59,5	1,7	1,2
09						10,5	5,8	61,2	1,9	1,2
10						25,5	3,2	55,2	1,6	1,4
11						1	94,2	1,2	0,1	

Na OBRÁZKU 3 je grafické zobrazenie sily zvuku a na OBRÁZKU 4 je zobrazenie rozloženia akustického tlaku pre model nádvoria s javiskom a prázdnym hľadiskom. Programom DIRAC sa počítala impulzná odozva za použitia budiacich signálov z reproduktorového zdroja zvuku snímaného všesmerovým mikrofónom. Zdroj zvuku aj mikrofóny boli umiestnené tak ako pri simulácii. Doba dozvuku sa pohybovala od 1,3 s po 1,7 s. Na OBRÁZKU 5 je zrozumiteľnosť STI (Speech Transmission Index) v závislosti od vzdialenosť mikrofónov od zdroja zvuku pri zaplnenom hľadisku divákmi.



OBRÁZOK 3 Rozloženie sily zvuku G

OBRÁZOK 4 Rozloženie akustického tlaku pri 1 kHz



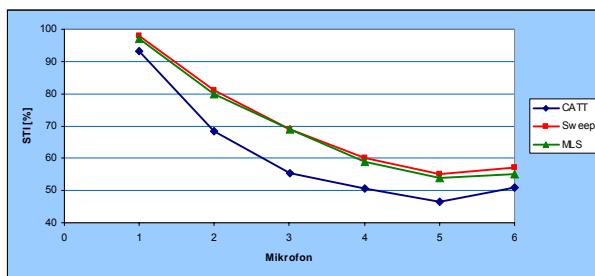
OBRÁZOK 5 Hodnoty STI pre mikrofóny M1-M9 v závislosti od zaplnenia hľadiska divákmami

Ako je zrejmé z OBRÁZKU 5 zrozumiteľnosť STI so narastajúcou obsadenosťou hľadiska divákmami narastá. Diváci totiž predstavujú dľašie pohľadné plochy, čím sa znižuje dozvuk v priestore a rastie zrozumiteľnosť STI. Zrozumiteľnosť STI je však veľmi citlivá na šum pozadia, ktorý značne zvyšujú diváci, a tým sa znižuje odstup signálu od šumu, čo je nutné mať pri simulácii na zreteľ. Na OBRÁZKU 5 je možno vidieť, že STI na najvzdialenejších miestach od zdroja výrazne poklesne (až 10 %). Tento pokles je možné pripisovať odrazom tretieho rádu od zadnej steny nádvoria, ktoré v posledných radách spôsobuje zvýšenie doby dozvuku, a tým sa znižuje celková zrozumiteľnosť reči. Na druhej strane sila zvuku G klesá v závislosti od zaplnenosťi hľadiska. Pri prázdnom bol pokles o 3 dB a plne obsadenom o 6 dB, čo sa prejaví výraznejšie v miestach viac vzdialených od zdroja zvuku (javiska). Zmeny sily zvuku G po šírke hľadiska sú nevýznamné.

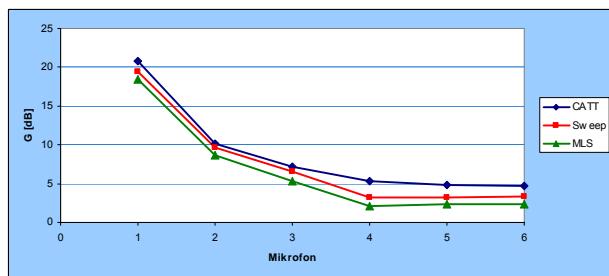
V Tabuľke 2 sú hodnoty akustických charakteristík získané pri budení MLS a SWEEP signálom, na OBRÁZKU 6 je grafické znázornenie zrozumiteľnosti STI, na OBRÁZKU 7

TABUĽKA 2 Výsledky merania pri budení signálom SWEEP a MLS

Mikr.	Vzdial. od zdroja [m]	SWEEP				MLS			
		G [dB]	STI [%]	T30 [s]	EDT [S]	G [dB]	STI [%]	T30 [s]	EDT [S]
01	1	19,4	98	2	0,01	18,5	97	2	0,01
02	5	9,6	81	2	1,4	8,7	80	1,9	1,5
03	10	6,5	69	2	1,9	5,3	69	1,9	1,9
04	15	3,2	60	2,2	1,8	2,1	59	1,9	1,9
05	20	3,2	55	2,2	1,6	2,3	54	1,8	1,7
06	25	3,3	57	2,2	1,7	2,3	55	1,8	1,7
07	tunel	2,8	59	2,1	1,7	1,7	59	1,8	1,7



OBRÁZOK 6 Zrozumiteľnosť zvuku STI



OBRÁZOK 7 Síla zvuku G

je graf závislosti sily zvuku G od vzdialenosťí získaný zo simulácie a meraním v reálnych podmienkach.

Z OBRÁZKU 7 je zrejmé, že závislosti získané pre silu zvuku G rôznymi metódami sú takmer identické. Hodnoty namerané pri použití SWEEP signálu sa najviac približujú simulácii (rozdiel len približne 1 dB). Výsledky získané budením MLS signálom sa odchylujú od výsledku simulácie maximálne o 3 dB. Rozdiely mohli byť spôsobené menej presne zadanými hodnotami pohľivosti ako aj nie zhodnými vlastnosťami reproduktora zadaneho v simuláciách a použitého pri reálnych meraniach a v neposlednom rade aj presnosťou kalibrácie meracieho softvéru.

## ZÁVER

Presnosť výsledkov v rozhodujúcej miere závisí na presnosti vstupných parametrov (napr. geometrické rozmery, pohľivosť materiálu, rozptyl povrchov, zadanie správnych vlastností zdrojov zvuku, vhodné rozmiestnenie prijímačov atď).

Výsledky simulácií a meraní preukázalo dobrú úroveň akustických a posluchových parametrov, čo sa prejavuje v kvalite posluchového zážitku hlavne pre hovorené slovo. Zrozumiteľnosť STI dosiahla celkom dobrú až dobrú úroveň. Ukazuje sa však, že smerovosť zdroja v otvorenom priestore je pri určovaní sily zvuku dôležitejšia ako v uzavorenom priestore. Čo sa týka hladiny akustického tlaku a sily zvuku G, nie je otvorený priestor ideálny. Vďaka sklonu hľadiska sú diváci bližšie ku zdroju zvuku, môžu zachytávať priamy zvuk, no väčšina zvukovej energie sa vyžiari do priestoru. V tomto prípade by možno pomohlo čiastočne prekryť priestor nad javiskom vhodnou plochou z pohľivejšieho materiálu, čo pre zlepšenie akustických parametrov má veľký význam.

Výsledky našich meraní naznačujú, že použitie akustickej predikcie, zvlášť v štádiu návrhu diela, resp. návrhu jeho rekonštrukcie umožní mať objektívny obraz o akustických parametroch priestoru pred realizáciou diela.

## POĎAKOVANIE

Táto štúdia je publikovaná s podporou Grantovej agentúry MŠ SR, VEGA č. 1/0841/08 – „Charakteristiky dreva určujúce jeho kvalitu pri využití na výrobu špeciálnych výrobkov“.

## LITERATÚRA

- [1] Danihelová, A.: Moderné spôsoby hodnotenia akustických charakteristík uzavorených a otvorených priestorov. In 72. AKUSTICKÝ SEMINÁŘ, Sezimovo Ústí. ČVUT v Praze, ČsAS 2006, s. 47 – 52.
- [2] Flimel, M., Švorc, P.: Areál historického Solivaru. In Technické pamiatky krajín Vyšehradskej štvorky. Miskolc : Novoprint Rt., 2004. p. 126-135.
- [3] JEDOVNICKÝ, M.: Akustické charakteristiky otevřených prostorů – nádvoří Zvolenského zámku. Diplomová práce. Zvolen: TU ve Zvolene, 2008, 73 s.
- [4] Tomašovič P., Jelínek M.: Simulation of a propagation of sound in an open space Theaters. In 33rd International Acoustical Conference - EAA Symposium, Štrbské Pleso. Slovak Acoustical Society, 2006. s. 85 – 87.

## MICRODISCHARGES

### T. Ficker

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology,  
 Žižkova 17, 602 00 Brno. E-mail: ficker.t@fce.vutbr.cz*

#### **Abstract:**

Anomalous height statistics of channel microdischarges were discussed and their physical description was presented.

### FURRY AND PARETO DISTRIBUTIONS

Both theoretical and experimental results showed that electron populations  $n$  of poor Townsend avalanches  $\bar{n} < 10^5$  developed inside the discharge gap of length  $d$  are governed by the Furry probability density  $w(n, d)$

$$w(n, d) = \frac{1}{\bar{n}} \left[ 1 - \frac{1}{\bar{n}} \right]^{n-1} \xrightarrow{\bar{n} \gg 1} \frac{1}{\bar{n}} \exp\left(-\frac{n}{\bar{n}}\right), \quad \bar{n} = \exp\left[\int_0^x \alpha(x') dx'\right] \quad (1)$$

whereas populations of pre-streamer ( $\bar{n} \in (10^5, 10^8)$ ) and streamer ( $\bar{n} > 10^8$ ) avalanches are governed by another statistical law, which is different from that of Furry. Experimental data of those high populated avalanches are best fitted by the Pareto distribution function

$$w(n, d) = \text{const} \cdot n^{-(1+D)} \quad (2)$$

where  $D$  is the so-called fractal dimension. The different statistical behaviour of low and high populated avalanches is illustrated within the semilogarithmic co-ordinates in Fig. 1 - the first two graphs of low populated avalanches ( $\bar{n} \leq 10^5$ ) follow almost perfectly Furry's distribution while the third graph ( $\bar{n} > 10^5$ ) shows bending, i.e. a deviation from Furry's distribution. Analogous phenomena have been verified many times in our laboratory [1] when measured the height statistics of partial discharges.

### ILLUSTRATIONS

Depending on the actual experimental conditions partial discharges are in fact electron avalanches often mixed with streamers and sometimes developed even into microscopic sparks. The height statistics of DC partial discharges are nothing else than the statistical distributions of electron avalanches via their populations, i.e. via the number of their charge carriers. Fig. 2 shows a typical avalanche statistical distribution. Avalanches were detected across a resistance as short voltage pulses with random heights  $u$ . Since we did not calibrate the voltage pulses  $u$  against the number of electrons  $n$ , our resultant distribution curves  $w$  are dependent on  $u$  instead of  $n$ . From Fig. 2 it can be seen that the power function  $w(u) = c_o \cdot u^{-(1+D)}$  represents an excellent fit of the

measured data. Assuming linear proportionality  $u \approx c \cdot n$ , our curve  $w(u)$  will preserve the same shape  $w(n) = \text{const} \cdot n^{-(1+D)}$ , i.e. they both will possess the same slope  $-(1+D)$ .

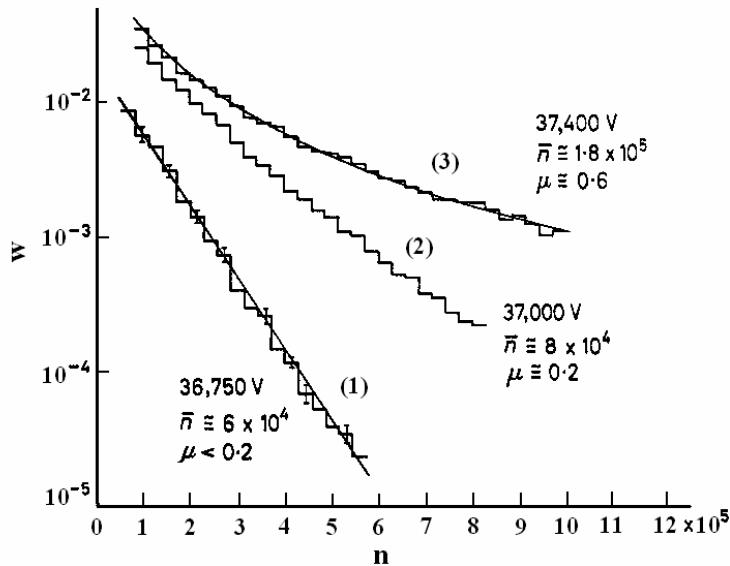


Fig. 1 Population statistics in air after Frommhold [2].

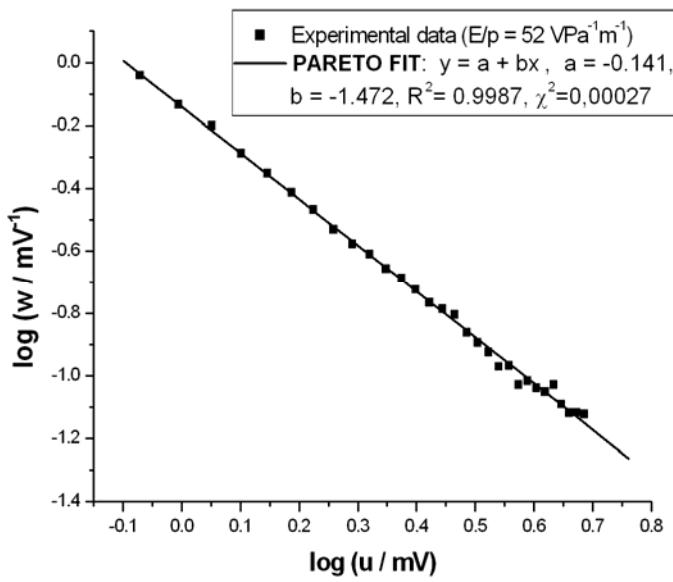


Fig. 2 Pareto distribution of electron avalanches.

## DISCUSSION AND CONCLUSION

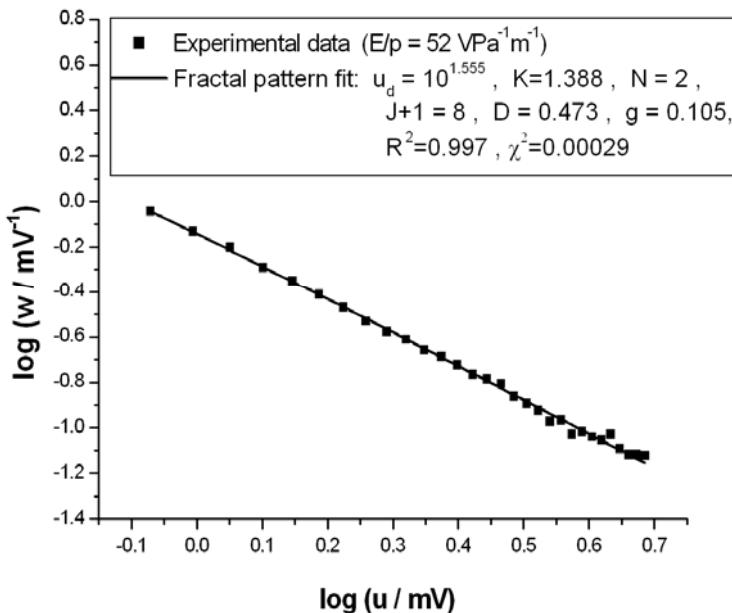
On the basis of the experimental observations and deductions mentioned elsewhere [3] it is clear that the multiplication mechanism of high populated avalanches, whose populations follow

Pareto's distribution, may be governed by a fractal scenario with the following mathematical description

$$w(n) = \frac{G}{\bar{n}_d} \sum_{j=0}^J (\bar{K} \cdot \bar{N})^j \cdot \left[ 1 - \frac{\bar{N}^j}{\bar{n}_d} \right]^{n-1} \approx \frac{G}{\bar{n}_d} \sum_{j=0}^J (\bar{K} \cdot \bar{N})^j \cdot \exp\left(-\frac{n \cdot \bar{N}^j}{\bar{n}_d}\right) \quad (3)$$

where  $G$ ,  $\bar{K}$ ,  $\bar{N}$ ,  $\bar{n}$  are fitting constants with fractal interpretations [3]. Fig. 3 illustrates an application of function (3). It can be seen that agreement with experimental data is excellent.

From this scheme it follows that the Pareto distribution (2) can be viewed as a superposition of exponential distribution functions that corresponds to a fractal set of electron avalanches accompanying the main parent avalanche ( $j=0$ ).



## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been facilitated by Grant No. 202/07/1207 of the Grant Agency of the Czech Republic .

## REFERENCES

- [1] Ficker T 2003 *IEEE Trans. Diel. El. Insul.* **10** 689
- [2] Frommhold L 1958 *Zeitschrift für Physik* **150** 172
- [3] Ficker T 2007 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **40** 7720

## NANOSTRUCTURE OF CEMENT GELS

### T. Ficker

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology,  
Žižkova 17, 602 00 Brno. E-mail: ficker.t@fce.vutbr.cz*

#### **Abstract:**

Some recent findings in the field of nanostructure of cement solid gels are presented and discussed.

#### **INTRODUCTION**

Investigation of the structure of hydrated cement materials, especially pastes, using the SAS (Small-Angle Scattering) technique, i.e. SAXS (Small-Angle X-ray Scattering) and SANS (Small-Angle Neutron Scattering), has a long tradition and has lead to interesting findings in the field of nanostructure of hydrated cement materials.

Nowadays, thanks to extensive experimental evidence, there are no doubts about the fractal arrangement of nanostructure of hydrated cement gels that are the main binding components of cement materials. Some of these properties are shortly mentioned in the following paragraphs.

#### **FRACTAL CEMENT NANOSTRUCTURE**

Experiments showed that there are two different fractal structures located in the nanometric region of hydrated cement gel. The first one, the so-called volume fractal (V-fractal), spans over the length scale ranging from about ~4 nm to ~40 nm and the second one, the so-called true surface fractal (tS-fractal), continues the structure towards larger length scales (> 40 nm). Experimental results of this kind have been published more times by several independent laboratories among others also by our laboratory [1].

The true S-fractals are supposed to be surfaces of anhydrated remains of clinker grains covered by a compact form of C-S-H gel (inner products or phenograins). These gel shells are considered as densely packed assemblies of nanoparticles (nanoglobules) that represent basic building blocks of all modifications of the gel structure. The great compactness of the shells means that interparticle distances are very small (negligibly small). Only under such conditions may the SAS technique interpret the shells as surface fractals, i.e. as objects with almost "monolithic" interiors and fractally corrugated surfaces. A striking feature of true S-fractals is their essential inertness to moisture content. Practically no structural changes can be detected when moisture content varies and, therefore, their fractal dimensions, too, do not change their values regardless of moisture, i.e. they are independent of humidity at which the structure is equilibrated - see Fig.1. It is obvious that structural stability of the nanoparticles themselves is a necessary prerequisite for the mentioned inertness of the overall shell structure of tS-fractals.

The V-fractal is also supposed to consist of nanoparticles the diameters of which approach ~5 nm. The particles create space clusters (aggregates) whose arrangements are well characterized by fractal dimensions  $D$ . The value of  $D$  is strongly dependent on the moisture content. The V-structure equilibrated at a lower relative humidity (desorption process) shows higher  $D$  values. This effect is only partly reversible (hysteresis occurs) as can be seen in Fig. 2 where the  $D$ -values for

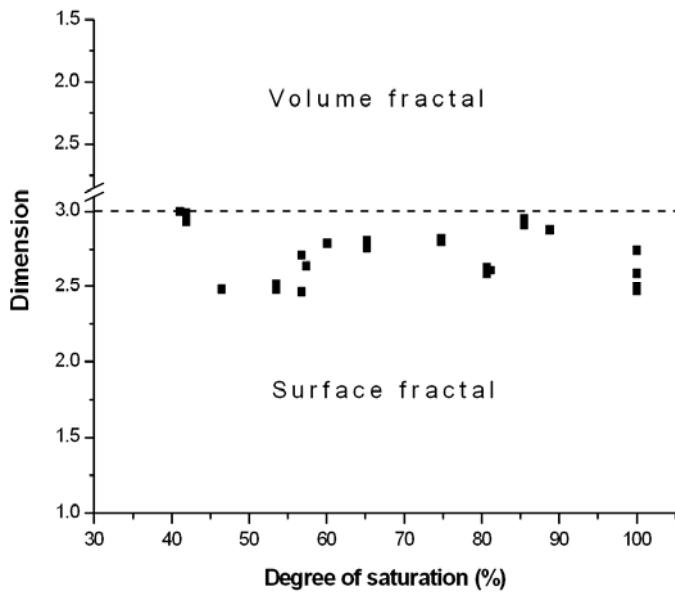


Fig. 1 Fractal dimension of the inner gel product in dependence on humidity.  
Reproduce from [2] – slightly adapted.

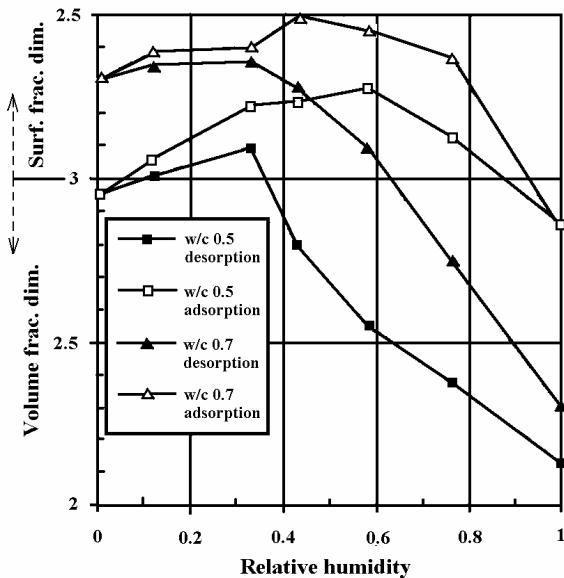
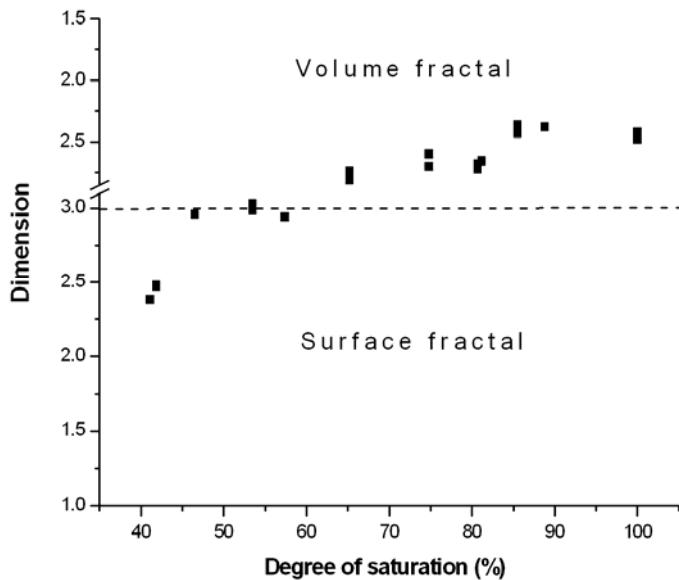


Fig. 2 Fractal dimension of outer gel product of blast furnace cement HOZ 35L in dependence on desorption and adsorption. Reproduced from [3] – slightly adapted.

desorption and adsorption processes do not follow the same traces. The particle clusters of V-fractals behave like a “versatile sponge”. When absorbing moisture, interparticle distances increase (probably non-uniformly) and the fractal sponge becomes less compact, i.e. the corresponding filling of the Euclidean space by the fractal sponge decreases and so does the dimension  $D$ . But when desorbing takes place, an opposite process occurs, i.e. a more compact structure is formed. At sufficiently low humidities (less than about 45 % RH) compactness might be high enough to disable the SAS technique to interpret the structure as a volume fractal and, instead, SAS measurements

indicate a surface fractal as if the nanoparticles were completely shrunk together and created a surface which is corrugated and folded in space. The transition from volume to surface (pseudo-surface) pS-fractal due to low moisture content has been observed independently by several research laboratories by using the SAS technique (see Figs. 2 and 3). Nevertheless, it is not excluded that the transition observed is an experimental artifact of the SAS technique caused by essentially reduced interparticle distances that become smaller than the wavelength used in the experiments.



*Fig. 3 Fractal dimension of the outer gel product in dependence on humidity.  
(Reproduced from [2] – slightly adapted.)*

## CONCLUSION

Regardless of the problems with appropriate interpretation of the transition (structural transformation) described above, one fact is evident: the V-fractal structure of the cement gel is not a rigid matter but, on the contrary, it shows a “great” versatility. On the macroscopic level the versatility of the V-fractal structure is observable with concrete objects as the so-called swelling and shrinkage.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work has been facilitated by Grant No. 202/07/1207 of the Grant Agency of the Czech Republic .

## REFERENCES

- [1] Ficker T 2007 J. Phys. D: Appl. Phys. **40** 4055
- [2] Winslow D N, Bukowski J M and Young J F 1995 Cement and Concrete Res. **25** 147
- [3] Beddoe R E and Lang K 1993 Cement and Concrete Res. **24** 605

## INTERAKTÍVNE APLETY VO VÝUČBE FYZIKY

Oľga Fričová, Mária Hutníková, Zuzana Gibová

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita v Košiciach,  
Park Komenského 2, 042 00 Košice, (olga.fricova@tuke.sk)

### Abstrakt:

Príspevok informuje o skúsenostiach z využitia interaktívnych apletov vo výučbe fyziky externých študentov bakalárskeho štúdia na Hutníckej fakulte Technickej univerzity v Košiciach.

### SÚČASNÁ SITUÁCIA

Napriek narastajúcim požiadavkám praxe na vzdelenie v oblasti prírodných vied časová dotácia na výučbu fyziky na vysokých školách technického zamerania klesá. Do popredia sa kladú informačné technológie, ktoré stoja na prírodovedných poznatkoch, avšak vedomostná úroveň študentov v tomto smere je veľmi nízka. Vzhľadom na typy stredných škôl, z ktorých naši študenti prichádzajú, je pre mnohých z nich absolvovanie predmetu fyzika v prvom roku vysokoškolského štúdia jedinou príležitosťou ako získať elementárne vedomosti nevyhnutné pre zvládnutie odborných predmetov vo vyšších ročníkoch.

S predmetom fyzika sa študenti Hutníckej fakulty TU v Košiciach stretávajú v druhom semestri štúdia. Oboznámia sa v ňom so zákonitostami mechaniky, hydromechaniky, mechanických kmitov a vln, kinetickej teórie plynov, termodynamiky, prenosu a vedenia tepla, ako aj s gravitačným, elektrostatickým a magnetickým polom, elektrickým prúdom a základmi jadrovej fyziky. Na tento široký obsah je v externej forme štúdia vyčlenených 30 hodín priamej výučby (2 až 4 hodiny týždenne), v ktorých sú zahrnuté prednášky aj cvičenia. Keďže mnohí naši študenti sa s predmetom fyzika stretli naposledy na základnej škole, je potrebné v úvode venovať čas aj vysvetleniu základných fyzikálnych pojmov, s ktorými sa v kurze budú stretávať. Približne pätna učiva a precvičovanie riešenia väčšiny fyzikálnych úloh ostáva študentom na samostatné štúdium.

Pri externej forme štúdia vo výučbe fyziky úplne absentuje dôležitá súčasť poznávania - experimentálna činnosť, ktorá podporuje samostatnosť a aktivitu študentov. Pri danej časovej dotácii je možné názorne predvíť len nepatrú časť fyzikálnych javov z mechaniky, pričom aktivita študentov tu spočíva len v zrakovom a sluchovom vnímaní. Pri vysvetľovaní fyzikálnych princípov sa musíme vo veľkej miere spoľahnúť na ich predstavivosť a skúsenosti zo života. Študenti tak získajú len letmý prehľad o fyzikálnych zákonitostach, bez hlbšieho porozumenia súvislostí medzi nimi a bez schopnosti aplikovať nadobudnuté vedomosti v praxi.

V tejto situácii považujeme využitie interaktívnych simulácií (apletov) fyzikálnych javov za vhodný a jednoduchý prostriedok, ako pomôcť študentom k nadobudnutiu poznatkov z fyziky na všetkých úrovniach osvojenia si učiva<sup>1</sup>. Fyzikálne aplety sú programy vytvorené v programovacom jazyku JAVA, bežiace v rámci otvorenej html stránky, ktoré simulujú vybraný fyzikálny jav<sup>2</sup>. Študent má možnosť sledovať priebeh fyzikálneho javu a voľbou niektorých vstupných parametrov jeho priebeh ovplyvniť. Práca s apletmi vedie študentov k aktivite, k experimentovaniu, k samostatnosti pri získavaní a upevňovaní vedomostí. Uvedomením si súvislostí medzi teóriou a dejmi, s ktorými sa bežne stretávajú, sa celý predmet stáva pre nich pútavejším, získané vedomosti sú trvalejšie. Použitie apletov vo výučbe zároveň podporuje rozvoj počítačových zručností študentov a vedie k využitiu IKT.

## ÚLOHY K APLETOM

Podľa našich skúseností samotné oboznámenie študentov o možnosti štúdia niektorých fyzikálnych javov pomocou interaktívnych simulácií neviedlo k zefektívneniu procesu ich učenia. Rôznym nastavením vstupných parametrov sice môžu ovplyvniť priebeh javu zobrazovaného v aplete, ale väčšina študentov nepostrehne príčiny sledovaných zmien a neodhalí podstatné súvislosti. Preto boli k vybraným apletom zostavené série úloh, ktoré študentov sprevádzajú pri pozorovaní zmien vyvolaných rôznym nastavením vstupných parametrov a motivujú ich k skúmaniu príčin týchto zmien.

Úlohy boli pripravené k apletom z časti mechanika, pohyby hydrodynamika a netlmené kmity. Použili sa pritom aplety so sprievodným textom v českom jazyku<sup>3</sup>, a dva aplety v slovenskom jazyku vytvorené v EJS<sup>4</sup>, ku ktorým sa doplnilo niekoľko úloh.

Úlohy k apletom boli koncipované tak, aby zahŕňali teoretické poznatky aj ich praktickú aplikáciu. V prvej časti každej série bolo zadaných niekoľko otázok týkajúcich sa teórie, základných zákonov, vzťahov a charakteristík pozorovaných veličín. Cieľom bolo upozorniť študentov na fundamentálne zákonitosti a súvislosti. V druhej časti série sa študentom predložili fyzikálne úlohy so zámerom poukázať na praktickú aplikáciu študovaného javu. Túto časť mohli študenti riešiť priamo pomocou apletu, alebo si správnosť svojho riešenia pomocou apletu overiť. Požadovalo sa pritom od študentov aj klasické riešenie týchto úloh pomocou známych fyzikálnych vzťahov a zákonitostí.

## ZARADENIE APLETOV DO VÝUČBY

V úvode semestra boli študenti informovaní o možnosti využitia interaktívnych simulácií pri štúdiu a dostali linky k apletom z jednotlivých tematických celkov. Pri každom aplete je uvedený sprievodný text, ktorý vysvetľuje, čo daný aplet zobrazuje, aké sú možnosti nastavenia vstupných parametrov. V niektorých apletoch sú uvedené aj základné vzťahy medzi veličinami.

Série úloh k apletom im boli poskytnuté po 6 hodinách výučby. Každý zo študentov dostal vo forme semestrálneho zadania úlohy z troch oblastí – prvú z mechaniky hmotného bodu, druhú z oblasti pohybov hmotného bodu v homogénnom gravitačnom poli a tretiu z hydrodynamiky, resp. z problematiky netlmených kmitov. S týmito kapitolami boli študenti oboznámení na prednáškach, pričom si poznatky z nich v rámci časových možností aj čiastočne precvičili. Čas na vypracovanie zadania bol 4 týždne, t.j. odovzdávali ho po 17 hodinách priamej výučby.

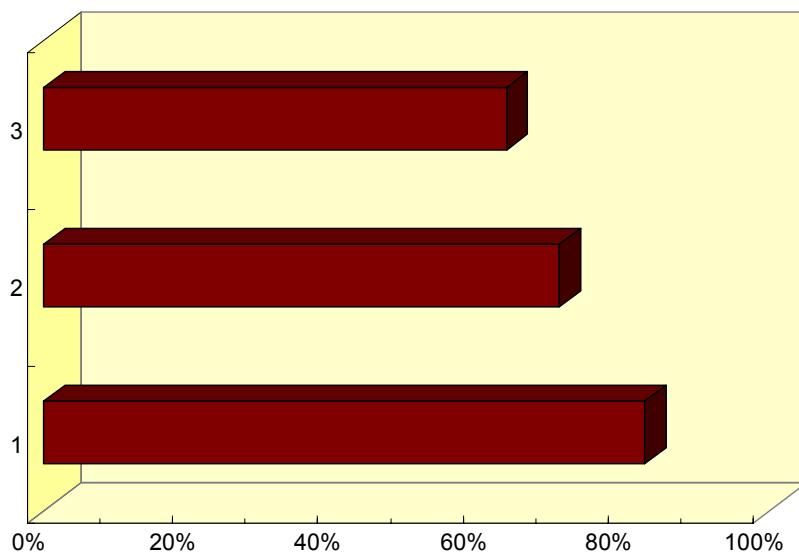
Z dôvodov časového obmedzenia, ako aj kvôli nedostatočnému technickému vybaveniu pridelenej miestnosti, predvedenie apletov nebolo zaradené do priameho vyučovacieho procesu. Aj preto bolo cieľom nasmerovať pozornosť študentov v úvode každej série na preskúmanie možností daného apletu.

## VÝSLEDKY

Semestrálne zadanie odovzdalo 70,4 % študentov. Z toho 76,3 % sa pravidelne zúčastňovalo priamej výučby a 10,5 % tvorili študenti, ktorí predmet opakovali. Pri riešení zadania získalo 7,9 % plný počet bodov, 81,6 % študentov dosiahlo nadpolovičný počet bodov. Z celkového možného počtu pritom študenti získali 72,6 % bodov.

Úspešnosť riešenia jednotlivých úloh je znázornená na obr. 1. Z grafu vidieť, že študenti si najlepšie poradili s úlohami z oblasti mechaniky hmotného bodu, ktorej bolo venované v

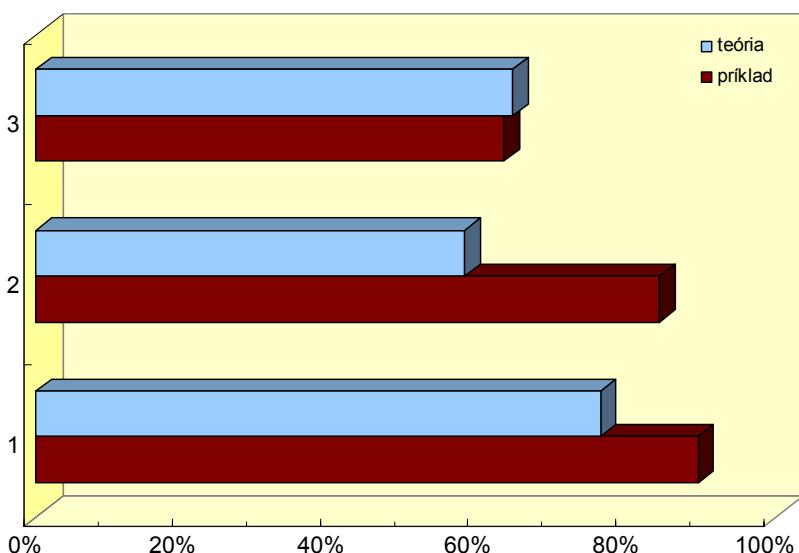
prednáškach najviac času. K tejto tematike bolo predvedených niekoľko jednoduchých pokusov a precvičených najviac úloh. Najväčšie problémy mali študenti pri riešení úloh z oblasti hydrodynamiky, resp. netlmených kmitov. Možnou príčinou je to, že sa jednalo o pomerne nové učivo, a preto mali menej času na pochopenie vzájomných súvislostí, na upevnenie a precvičenie poznatkov.



Obr. 1: Úspešnosť riešenia úloh z jednotlivých oblastí

Porovnanie úspešnosti riešenia v teoretickej a praktickej časti zobrazuje obr. 2. Zatiaľ čo v úlohách z mechaniky a pohybov hmotného bodu v homogénnom gravitačnom poli boli študenti úspešnejší v praktickej časti, pri tretej úlohe týkajúcej sa hydrodynamiky, resp. netlmených kmitov, úspešnosť riešenia teoretickej časti bola nepatrne vyššia ako praktickej časti. Príčina tohto výsledku bola spomenutá vyššie.

Z celkového pohľadu v teoretickej časti študenti získali 66,2 % a v časti praktickej aplikácie 78,9 % z celkového počtu bodov.



Obr. 2: Porovnanie úspešnosti riešenia teoretickej a praktickej časti v jednotlivých oblastiach

## ZÁVER

Z dotazníka, ktorý študenti dostali na konci semestra, vyplýva, že 90,6 % z nich sa s apletmi stretlo po prvýkrát. 78,2 % študentov sa vyjadrilo, že im aplety pomohli k lepšiemu porozumeniu zobrazovaných javov a až 81,3 % študentov vidí zmysel v zaradení apletov do výučby fyziky. 18,8 % študentov by zaradilo aplety priamo do prednášok a 34,4 % by privítalo použitie apletov aj v iných predmetoch.

Ukázalo sa, že používanie interaktívnych simulácií fyzikálnych javov vo výučbe má veľký význam pre objasnenie a priblíženie danej problematiky študentom. Následne im to umožňuje lepšie pochopenie a nájdenie priamych súvislostí medzi teóriou a praxou. Možnosť prakticky si vyskúšať ako zobrazované javy fungujú robí kurz fyziky pre študentov zaujímavejším a lákavejším.

## LITERATÚRA

- [1] Turek, I. Kapitoly z didaktiky vysokej školy, Košice 1998. ISBN 80-7099-322-7
- [2] Hanč, J. Detailnejší pohľad na fyziky a ich pripravovanú slovenskú verziu. MIF 29, XV. ročník, Prešov 2006. ISSN 1335-7794, s. 172
- [3] <http://www.walter-fendt.de/ph14cz/>
- [4] <http://physedu.science.upjs.sk/ejs/index.htm>

## VZDIALENÝ REÁLNY EXPERIMENT CEZ INTERNET

Soňa Halusková

Ústav prírodných, humanitných a spoločenských vied, Strojnícka fakulta, STU  
Námestie slobody 17, 812 31 Bratislava  
e-mail: sona.haluskova@stuba.sk

### Abstrakt:

V príspevku sú uvedené skúsenosti s využitím reálneho experimentu cez internet. Študenti externej formy študujúci na SjF STU v Bratislave v predmete Technická fyzika absolvujú na konci ZS blok laboratórnych cvičení. V školskom roku 2006/2007 jednu laboratórnu prácu previedli pomocou reálneho experimentu.

### ÚVOD

Oddelenie technickej fyziky Ústavu prírodných, humanitných a spoločenských vied (ÚPHSV) SjF STU má dlhodobú tradíciu overovať vedomosti z fyziky pomocou experimentov. Študenti externej formy absolvujú blok laboratórnych cvičení na konci semestra. Namerat' a spracovať predpísané laboratórne cvičenia je pre študentov náročné, preto sme sa rozhodli pre možnosť, aby jednu laboratórnu úlohu zmerali a spracovali doma na svojom počítači v čase, ktorý je pre nich optimálny.

### VZDIALENÝ EXPERIMENT, E – TECHNOLOGICKÝ PARK

Pod pojmom vzdialený reálny experiment sa rozumie experiment, ktorý je možné reálne riadiť z počítača užívateľa. Užívateľ(experimentátor) riadi pokus zo svojho počítača. Sleduje priebeh, nastavuje parametre pokusu, má možnosť stiahnuť si namerané údaje. Namerané údaje spracováva na svojom počítači.

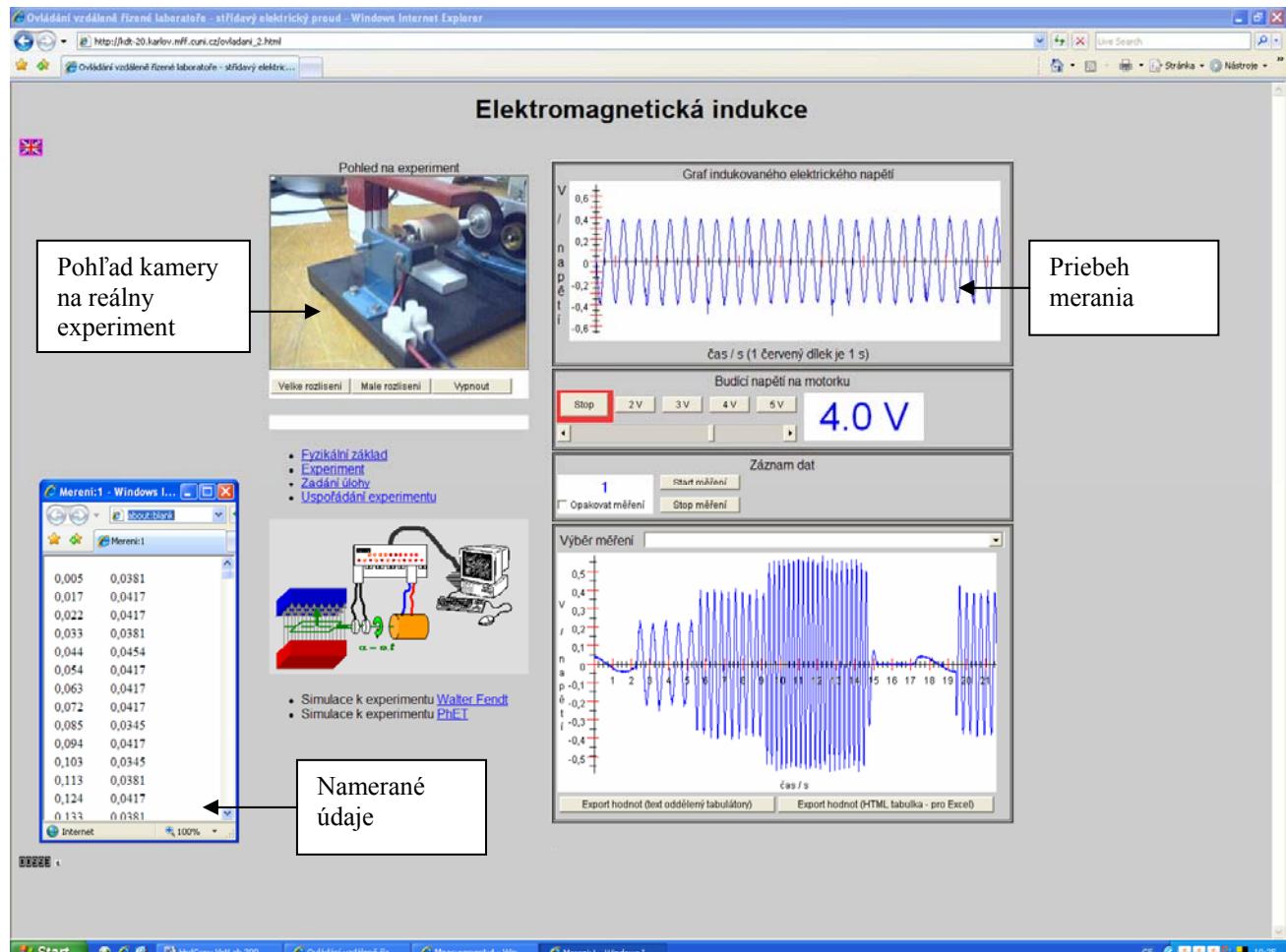
Myšlienka tvorby experimentov cez internet sa ujala hlavne v oblasti vzdelenávia. Pretavila sa do tzv. E – technologického parku so vzdialenými laboratórnymi úlohami. E – technologický park je na internete voľne prístupný kompletný hardware a software niekoľkých klasických laboratórnych úloh. Užívateľ si k tomuto základnému zapojeniu a WWW riadeniu vytvorí vlastný text laboratórnej úlohy a potom ju používa ako svoju vlastnú úlohu. Len „pomôcky“ sú akosi „zapožičané“ cez internet.

Vo svete je veľa internetových stránok so vzdialenými reálnymi experimentmi, ako príklad uvádzame [1 - 4]. My sme sa orientovali na vzdialé reálne experimenty so systémom ISES a www prehliadačom [5].

### SYSTÉM ISES

Systém ISES (Intelligent School Experiment System) je software a hardware, ktorý umožňuje merat', riadiť meranie a spracovať údaje. ISES bol vyvinutý v Českej republike. Na obr.1 je ukážka experimentu „Elektromagnetická indukcia“. Tento vzdialený experiment sledovali študenti na svojich počítačoch. S láskavým dovolením autorov[5,7] sme využili ponuku E - technologického parku. Návod na meranie a spracovanie laboratórnej úlohy je na internetovej stránke oddelenia

technickej fyziky ÚPHSV [6]. Obr.1 predstavuje stránku laboratórnej úlohy. Interaktívna stránka poskytuje užívateľovi pohľad na reálny experiment. Priebeh experimentu je prenášaný webovou kamerou, namerané údaje sú reálne zobrazované na monitore. Pokyny na meranie sú jednoduché a zrozumiteľné.



Obrázok 1  
Laboratórna úloha „Elektromagnetická indukcia“

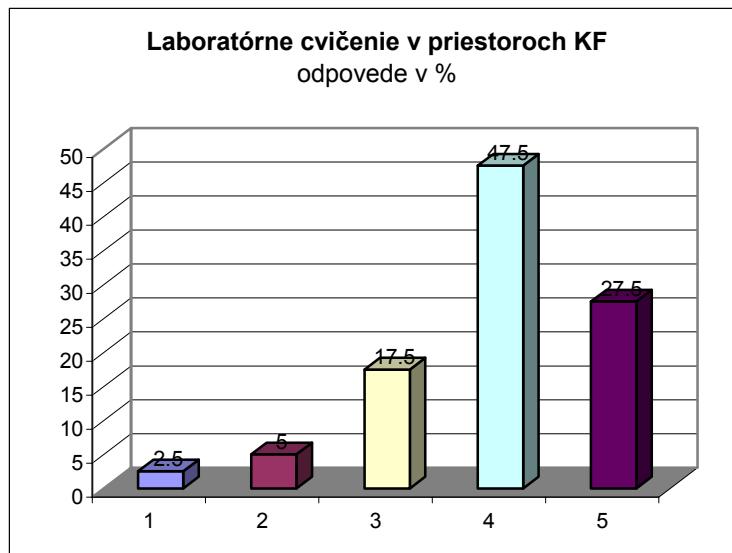
## SPÄTNÁ VÄZBA

V školskom roku 2006/2007 sme po prvý krát využili možnosť merať pomocou vzdialeného reálneho experimentu. Názory študentov externej formy sme zisťovali anonymným dotazníkom. V tabuľke 1 je uvedená časť dotazníka, v ktorej sú uvedené postoje študentov a ich skúsenosti pri reálnom vzdialenom meraní cez internet. Porovnáme klasický a vzdialený experiment. Na dotazník odpovedalo 40 respondentov. Odpovede v tabuľke sú uvedené v percentoch. Odpovede na prvé dve otázky sú rozdelené do päťstupňovej škály. Tretia až piata otázka je typu áno – nie.

<b>Laboratórne cvičenie</b> Odpovede sú uvedené v %					
	nezaujímavé	málo zaujímavé	stredne zaujímavé	zaujímavé	veľmi zaujímavé
<b>1. Laboratórne cvičenie v priestoroch ÚPHSV bolo</b>	<b>2,5</b>	<b>5</b>	<b>17,5</b>	<b>47,5</b>	<b>27,5</b>
<b>2. Meranie cez internet bolo</b>	<b>2,5</b>	<b>12,5</b>	<b>15</b>	<b>40</b>	<b>30</b>
<b>Reálny experiment cez internet</b>				<b>áno</b>	<b>nie</b>
3. Mali ste problém dostat' sa na reálny experiment?				<b>25</b>	<b>75</b>
4. Mali ste problém spracovať namerané hodnoty?				<b>10</b>	<b>90</b>
5. Je vhodné skúmať javy pomocou reálneho experimentu?				<b>92,5</b>	<b>7,5</b>

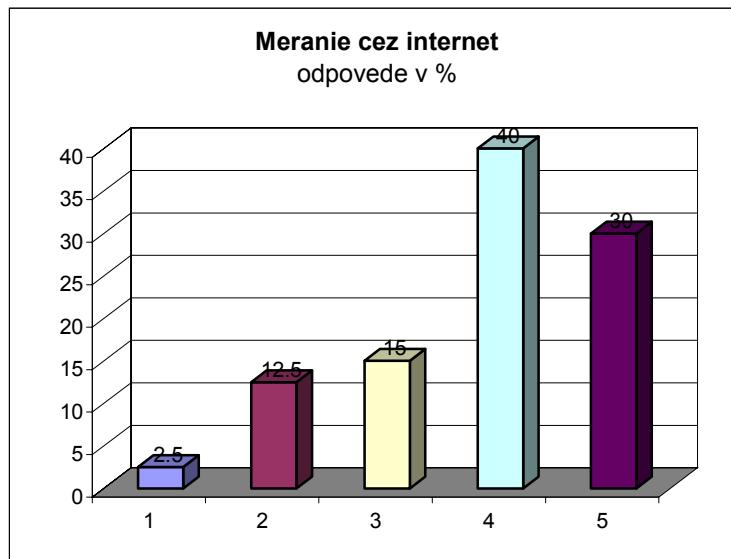
*Tabuľka 1 –časť dotazníka*

Odpovede respondentov na otázky 1 – 5 sú znázornené na grafoch 1-5.

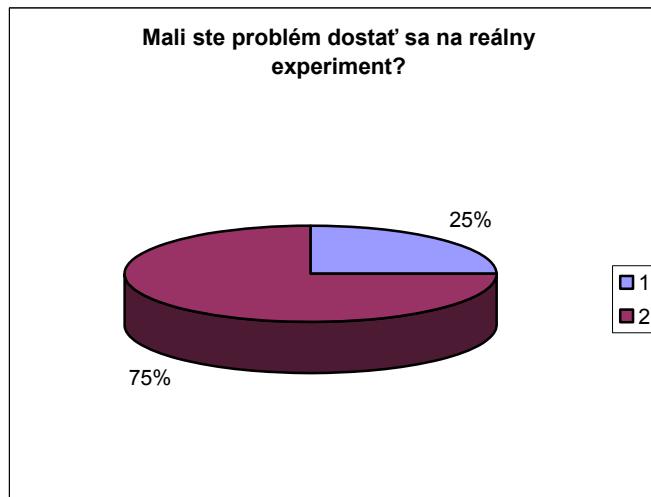


*Graf 1, odpovede na otázku č. 1*

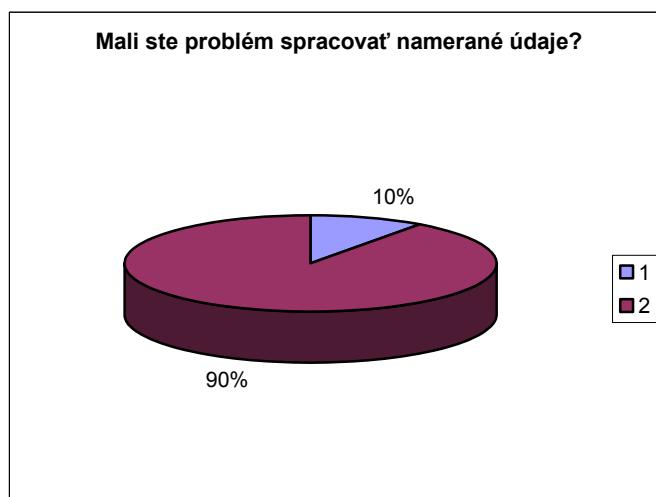
*Legenda grafov 1, 2: 1 – nezaujímavé, 2 – málo zaujímavé, 3 – stredne zaujímavé, 4 – zaujímavé, 5 – veľmi zaujímavé*



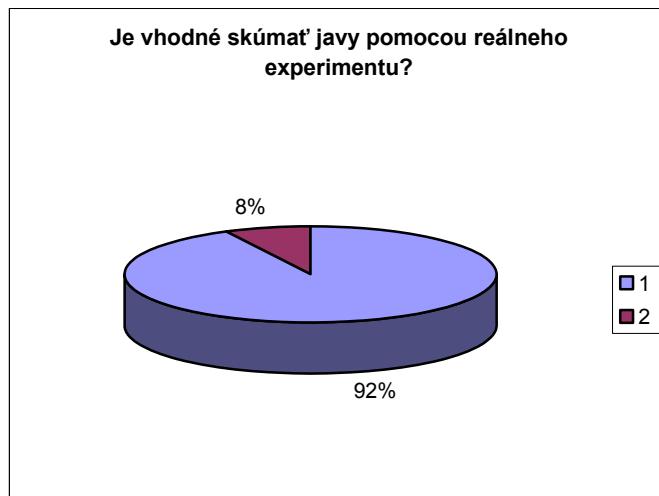
Graf 2, odpovede na otázku č.2



Graf 3, odpovede na otázku č.3  
Legenda grafu: 1 – áno, 2 – nie



Graf 4, odpovede na otázku č.4  
Legenda grafu: 1 – áno, 2 – nie



Graf 5, odpovede na otázku č.5  
Legenda grafu: 1 – áno, 2 – nie

## SPRACOVANIE DOTAZNÍKA

Z grafov 1,2 vidieť, že študenti oba typy laboratórnych cvičení berú ako zaujímavé až veľmi zaujímavé. Na 3. odpoveď 25% študentov odpovedalo záporne. Dôvod stáženého prístupu na vzdialený experiment vysvetľujú štatistiky počítadla na vzdialené experimenty. Počet narastá, preto sa čaká na prístup k meraniu. Autori [5,7] uvažujú o vytvorení poradovníka, prípadne o možnosti rezervácie času pre meranie. Z odpovede na otázku 4 možno konštatovať, že zber a spracovanie údajov na vzdialenom experimente študentom nerobilo problém, dôkazom čoho boli pekne spracované referáty laboratórnej práce. Respondenti dotazníka považujú za vhodné skúmať experimenty aj pomocou reálneho vzdialeného experimentu, na piatu otázku odpovedalo 92% študentov kladne.

## ZÁVER

Vzdialený reálny experiment je nový fenomén v technickom vzdelávaní. Má významný prínos nie len pre diaľkové štúdium. Vďaka e-technologickému parku sa mnohé laboratórne úlohy stávajú prístupné širokému okruhu záujemcov. Projekt KEGA[8], do ktorého je zapojený aj ÚPHSV, má rozpracované viaceré vzdialené reálne experimenty. Konkrétnie naše pracovisko pripravuje laboratórnu úlohu „Meranie rýchlosťi zvuku vo vzduchu“.

## LITERATÚRA

- [1] <http://www.inf.ufsc.br/~jbosco/labvir.htm>
- [2] <http://rr.informatik.tu/freiberg.de>
- [3] [http://www.ofwell.free-online.co.uk/remote\\_sensing/index.htm](http://www.ofwell.free-online.co.uk/remote_sensing/index.htm)
- [4] <http://www.ni.com/webappdemos/temcontroldemo.htm>
- [5] Lustig, <http://www.ises.info>
- [6] <http://www.kf.sjf.stuba.sk>
- [7] Schauer, F., Lustig, F., Ozvoldova, M.: Remote scientific experiments across Internet in Proc. of ICL2006 ( Interactive Computer Aided Learning) Villach, September 27.-29. 8. 2006.
- [8] KEGA 3/4128/07 E-laboratórium interaktívnych experimentov ako pokračovanie projektu multimedálnej formy výučby fyziky na univerzitách SR

## DYNAMIC VISCOSITY OF PLUM JAM

Peter Hlaváč

*Department of Physics, Slovak University of Agriculture in Nitra , Tr. A. Hlinku 2, SK - 949 76  
Nitra, Slovak Republic, [Peter.Hlavac.MF@uniag.sk](mailto:Peter.Hlavac.MF@uniag.sk)*

### Abstract:

In this paper are shown results from measuring of rheologic properties of plum jam. Measuring was performed by viscosimeter Anton Paar (DV-3P). Measurements were done on different samples of plum jam, which were removed after different time of cooking. Measured values of samples cooked in different cauldrons (copper and enamelled) were compared. Dependencies of dynamic viscosity on time of cooking, time of storing and rotational frequency of probe are shown. Values of dry matter content were determined according to standard. The dependencies of dry matter content on time of cooking are described. It is evident that dynamic viscosity had increased with storing time. The dependency of dynamic viscosity on rotational frequency of probe had decreasing power shape. Dry matter content had also influence on dynamic viscosity of used samples. Plum jam sample with longer time of cooking had higher values of dry matter content. Higher values of dry matter content for samples cooked in copper cauldron were found out.

## CHOSEN DEPENDENCIES OF PLUM JAM DYNAMIC VISCOSITY

### INTRODUCTION

Internal friction in materials is characterized by viscosity. Dynamic viscosity is defined as a constant between tangential tension  $\tau$  that is rising during the shift of layer in material, and gradient of layer velocity  $\text{grad } v$

$$\tau = \eta \text{ grad } v$$

Physical unit of dynamic viscosity is Pa.s.

Materials, in which linear function between tangential tension and gradient of velocity is valid, are called Newton's liquids (for example: water, water solutions, oils, poorly concentrated suspensions, emulsions ...). Other materials are non – Newton's and for them is usually used apparent viscosity  $\eta_z$ .

For determination of non – Newton's materials is often used Ostwald's and de Waele's equation which has power shape

$$\tau = K (\text{grad } v)^n$$

where  $K$  is coefficient of consistence and  $n$  is flow index. Flow index is 1 for Newton's materials; its value is more than 1 for dilatant materials and less than 1 for pseudoplastic materials.

For apparent viscosity can be used equation

$$\eta_z = \tau (\text{grad } v)^{n-1}$$

Changes in dynamic viscosity during the motion are characteristic for thixotropic materials. Value of dynamic viscosity will return to initial value after some time when the motion had finished.

From fluidity view these materials are time dependent. The dynamic viscosity decreases with increasing of deformation velocity, or with increasing of tangential tension in case of structural changes in material, and therefore examined materials could be classified as pseudoplastic materials.

Rheologic properties were measured by many authors. Buchar (2005, 2003) investigated these properties of eggs yolk, milk products and ketchups. Severa et al. investigated influence of storing on reologic properties of egg yolks Marudova and Zsivánovits (2005) described rheologic properties of pectin films. Biczó et al. (2005) examined methods for determination of rheologic properties of chocolate mass. At quality valuation of food material is important to know their physical properties particularly mechanical, rheologic and thermophysical (Božíková, 2005). Automatically controlled processes at manufacturing, at handling and holding require exact knowledge about physical quantities of materials. Still are detected new methods that are utilizing new modern apparatuses and microscopic components. Very fast development is possible to observe at utilization of microwave at measuring properties of soil and food (Hlaváčová, 2002).

## MATERIALS AND METHODS

Used samples of plum jam were obtained from Institute of Biodiversity Protection and Biological Safety of Slovak University of Agriculture in Nitra. Samples of plum jam were cooked in different cauldrons (cooper and enamelled) and were measured after different time of cooking (from 1 to 8 hours of cooking).

Dynamic viscosity of samples was measured by viscosimeter Anton Paar DV-3P. Principle of measuring by this viscosimeter is based on dependency of sample resistance against the probe rotation. Probe with signification R7 was used in our measurements. We were able to choose the frequency of probe rotation from  $0.3 \text{ min}^{-1}$  to  $200 \text{ min}^{-1}$ . We had used these frequencies:  $1 \text{ min}^{-1}$ ,  $5 \text{ min}^{-1}$ ,  $10 \text{ min}^{-1}$ ,  $20 \text{ min}^{-1}$ ,  $50 \text{ min}^{-1}$ ,  $100 \text{ min}^{-1}$ ,  $150 \text{ min}^{-1}$  and  $200 \text{ min}^{-1}$ . Samples of plum jam were stored in refrigerator and were also measured after two weeks of storing.

Dry matter content was determined according to standard. Values of dry matter content  $X$  can be calculated from this equation

$$X = \frac{m_2 - m}{m_1 - m} \cdot 100 \% \quad (1)$$

where  $m$  is the mass of drying dish with silicate sand,  $m_1$  is mass of drying dish with silicate sand and with sample before drying, and  $m_2$  is mass of drying dish with silicate sand and with sample after drying.

## OBTAINED RESULTS AND DISCUSSION

Dependencies of dynamic viscosity on time of cooking, time of storing and rotational frequency of probe are drawn. The dependencies of dry matter content on time of cooking are described.

For illustration on Fig. 1 the dependencies of dynamic viscosity on frequency of probe rotation for plum jam cooked in copper cauldron and enamelled cauldron are shown.

Progress of graphic dependencies can be described by decreasing power function

$$\eta = A \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-B}$$

where  $f$  is frequency of probe rotation;  $f_0 = 1 \text{ min}^{-1}$ ;  $A$ ,  $B$  are constants dependent on kind of material, and on ways of processing and storing.

The equation for sample of plum jam cooked in cooper cauldron has shape

$$\eta = 343\,701 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.622\,007} \quad \text{and the coefficient of determination is high } R^2 = 0.980\,610.$$

The equation for sample of plum jam cooked in enamelled cauldron has shape

$$\eta = 268\,419 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.639\,423} \quad \text{and the coefficient of determination is also high } R^2 = 0.989\,798.$$

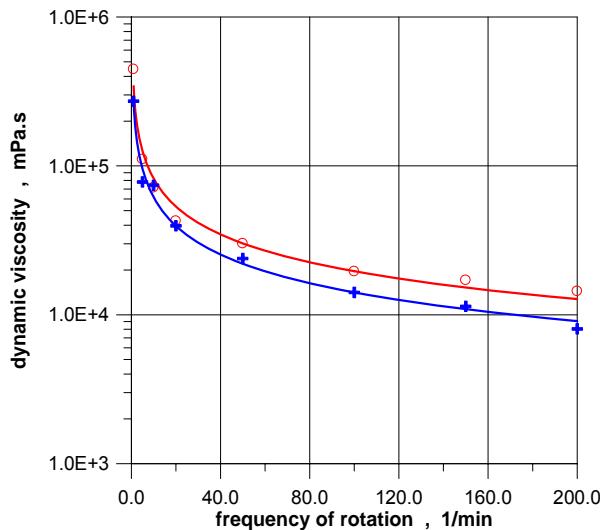


Fig.1: The dependencies of dynamic viscosity on frequency of probe rotation for plum jam cooked in copper cauldron (○) and enamelled cauldron (+)

It is evident that type of cauldron had influence on rheologic properties of final product. Plum jam sample cooked in cooper cauldron had higher values of dynamic viscosity.

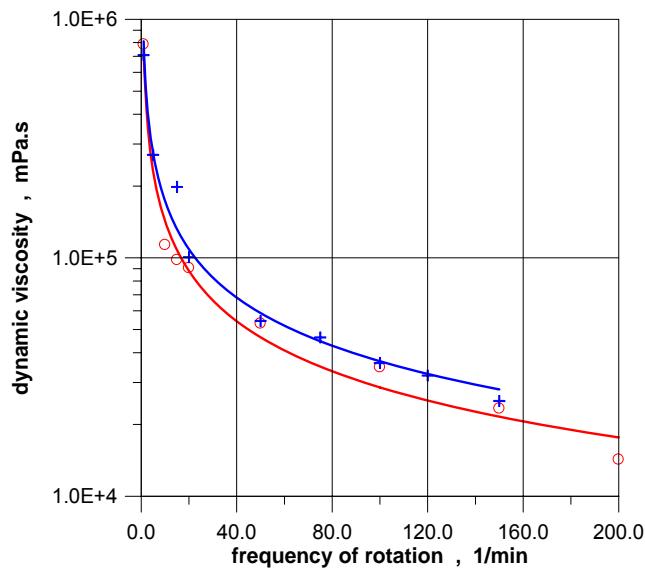


Fig. 2: The dependencies of dynamic viscosity on frequency of probe rotation for plum jam (time of cooking was 2.5 h) measured in different days: (○) is for first measurement, (+) is for second measurement (after two weeks of storing in refrigerator)

The dependencies of dynamic viscosity on frequency of probe rotation for plum jam (time of cooking was 2.5 h respectively 3.5 h) measured in different days (first measurement after getting samples, second measurement after two weeks of storing in refrigerator) are in Fig. 2 and Fig. 3. The equation for sample of plum jam in first measurement has shape

$$\eta = 809\,163 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.670\,915} \quad \text{and the coefficient of determination is } R^2 = 0.979\,389.$$

The equation for sample of plum jam in second measurement has shape

$$\eta = 712\,366 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.698\,066} \quad \text{and the coefficient of determination is } R^2 = 0.982\,943.$$

It is evident that rheologic properties of final product are influenced by storing time. Plum jam sample measured in second measurement had higher values of dynamic viscosity.

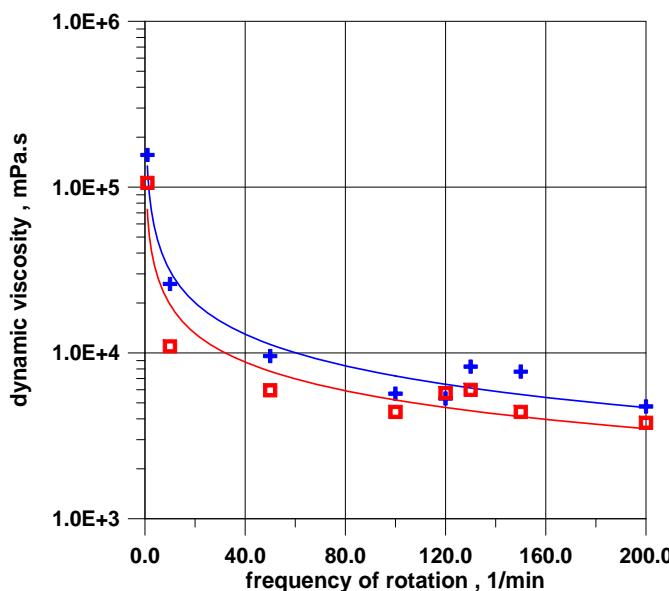


Fig. 3: The dependencies of dynamic viscosity on frequency of probe rotation for plum jam (time of cooking was 3.5 h) measured in different days: (□) is for first measurement, (+) is for second measurement (after two weeks of storing in refrigerator)

The equation for sample of plum jam in first measurement has shape

$$\eta = 133\,964 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.633\,265} \quad \text{and the coefficient of determination is } R^2 = 0.961\,693.$$

The equation for sample of plum jam in second measurement has shape

$$\eta = 73218.4 \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-0.574\,343} \quad \text{and the coefficient of determination is } R^2 = 0.915\,481.$$

It could be seen also in this case that rheologic properties of final product are influenced by the storing time. Plum jam sample measured in second measurement had smaller values of dynamic viscosity.

Values of dry matter content  $X$  were calculated using equation (1). Final result was calculated as arithmetic average of two separately measured dry matter contents for specific sample.

Tab.1: Values of dry matter content for samples of plum jam cooked in cooper and enamelled cauldron after different time of cooking

Dry matter content [%]					
Sample cooked in cooper cauldron			Sample cooked in enamelled cauldron		
After 1 hour	After 2 hours	After 3 hours	After 1 hour	After 2 hours	After 3 hours
29,390	32,780	39,355	25,175	30,945	35,080

From Tab.1 is evident that values of dry matter content increase with time of cooking. Dry matter content for sample cooked in cooper cauldron has in all cases higher values as sample cooked in enamelled cauldron.

## CONCLUSION

Measurements were done on different samples of plum jam, which were removed after different time of cooking. Samples of plum jam were cooked in different cauldrons (cooper and enamelled) and time of cooking was in range from 1 hour to 4 hours. From the rheologic behaviour of used samples is evident that plum jam is non – Newton's material. Dynamic viscosity of plum jam is changing during the motion, which is characteristic for thixotropic materials. The dependency of dynamic viscosity on rotational frequency of probe had decreasing power shape. The type of cauldron had influence on rheologic properties of final product. Plum jam sample cooked in cooper cauldron had higher values of dynamic viscosity. Rheologic properties of final product are also influenced by storing time. Plum jam sample measured after two weeks of storing had higher values of dynamic viscosity.

Dry matter content had also influence on dynamic viscosity of used samples. Plum jam sample with longer time of cooking had higher values of dry matter content. Dry matter content for sample cooked in cooper cauldron has in all cases higher values as sample cooked in enamelled cauldron.

## REFERENCES

- [1] BICZÓ, V. – SCHERER, R. – FEKETE, A. 2005. Measurement Methods for the Viscosity of Chocolate Mass. In: *International Conference: Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*. Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, June 8, 2005, p.198-201, ISBN 80-8069-528-8
- [2] BOŽÍKOVÁ, M. 2005. Some chosen thermophysical parameters of apples and applesauce. In.: *Acta technologica agriculturae*. Nitra: SPU Nitra, ročník 8, č. 4, 2005, ISSN 1335-2555, s. 89-92
- [3] BUCHAR, J. – SIMEONOVÁ, J. – KŘIVÁNEK, I. 2003. Squeezing Flow of Soft Semi-Liquid Food. *Acta Univ. Agric. et Silvic. Mendel. Brun.*, Czech Republic 2003, LI(3), p. 75-88
- [4] BUCHAR, J. – KŘIVÁNEK, I. – SEVERA, L. 2005. Thixotropic Properties of the Egg Yolks. In: *International Conference: Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*. Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, June 8, 2005, p. 10-13, ISBN 80-8069-528-8
- [5] HLAVÁČOVÁ, Z. 2002. Electrical Properties Utilization in Food Treatment. *PTEP Journal on processing and energy in agriculture*, Serbia, vol. 6, 2002(1-2), p.5-8

- [6] MARUDOVA-ZSIVÁNOVITS, M. – ZSIVÁNOVITS, G. 2005. Swelling Behaviour and Tensile Properties of Concentrated Cross-linked Pectin Networks. In: *International Conference: Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*. Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, June 8, 2005, p. 206-210, ISBN 80-8069-528-8
- [7] SEVERA, L. – BUCHAR , J. – KŘIVÁNEK, I. – NEDOMOVÁ, Š. 2007. On the influence of storing on viscosity of egg yolks. In: *Multiauthor book of International Conference: Research and Teaching of Physics in the Context of University Education*. Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, June 6, 2007, p.57 – 62, ISBN 978-80-8069-898-0

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by research projects VEGA 1/3471/06, VEGA 1/3454/06, VEGA 1/4400/07 of Slovak Grant Agency for Science

# ELECTRICAL AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES UTILIZATION IN FOOD TREATMENT

Zuzana Hlaváčová, Vlasta Vozárová

*Department of Physics, Faculty of Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, [Zuzana.Hlavacova@uniag.sk](mailto:Zuzana.Hlavacova@uniag.sk),  
[Vlasta.Vozarova@uniag.sk](mailto:Vlasta.Vozarova@uniag.sk)*

## **Abstract:**

The electrical and thermal measurements are utilized in many works to determination of food properties. The precision of the most electrical apparatus is high at electrical properties measurement, measured food materials bring into the measurement the biggest errors. Surrounding environs and errors of measurement devices have smaller effect on accuracy of the measurement. Electrical and thermal properties of the food materials have been of interest for many years. The moisture content and the temperature are the most important physical properties that considerably influence not only material's properties but physical and physiological processes running in the biological food materials as well.

Electrical and thermal properties of food materials are influenced by various factors. The most important of these factors are the moisture content and its asymmetrical distribution in materials, presence of free or bound water, different binding energy in each water bond (chemical, physical-chemical and physical) on the material and sorptive properties of the materials, temperature, density, volume density or bulk density. Food materials are very complicated biological materials – they have complex chemical composition (proteins, lipids, saccharides, additive components), structure, phase (food or their components are dispersed systems), conformation, etc. Food materials are in the macroscopic as well as in the microscopic scale a considerably inhomogeneous, capillary-porous, wet dispersed medium.

## **TERMOPHYSICAL PROPERTIES UTILIZATION**

Physical processes running in materials during processing are reviewed. Some of the thermal processes are described in details. Basic thermophysical properties – the specific heat, the thermal conductivity, the thermal diffusivity, the heat transfer coefficient – are defined and overview of measurement methods is given. Principle of the thermal conductivity measurement method – hot-wire method, which is suitable for food granular materials and experimental apparatus is described in details. Methods of thermal analysis – thermogravimetry and differential scanning calorimetry are presented and principles of the modern measuring equipments – DSC calorimeter and TGA analyser are described. Some results of the specific heat at the constant pressure measurement and results of the thermal conductivity measurement of food granular materials are presented. Thermophysical properties are the important information for the analysis of the food material's behaviour during processing, temperature dependency of the specific heat gives information about endothermic or exothermic processes in the material and temperature dependency

of the thermal conductivity provides information for instance about heat transport running in the material.

Knowledge of thermophysical properties is basic condition for the following detailed analyses of the optimal material storage and the thermal processing regime proposal. Influence of the thermophysical properties on the effectiveness of the thermal processing is discussed.

## ELECTRICAL PROPERTIES UTILIZATION

Electrical properties of granular materials have been a subject of extensive study due to its inherent relationship with moisture content. Quality of agricultural products during harvesting, storage, processing, and trading is controlled by its moisture content. Various techniques have been developed to study the electrical properties of food materials. Determination of electrical properties is utilized in a wide range of disciplines and industries. They have the biggest application at moisture content measurements. The measurement of electrical conductivity or resistivity can be utilized at investigation of cell membrane properties on microscopic level. Moreover the electrical conductivity has utilization at the salinity of soils and irrigation water determination. Biological material properties are determined from their leachates too. The conductivity or resistivity measurement is applied for determination of various characteristics of agricultural materials and food.

Electrical properties are utilized at determination of the moisture content of solid materials, the surface level of liquids or grainy materials, non-destructive testing of fruit ripeness, for obtaining the sugar content in fruits, for controlling the presence of pests in grain storage, for the quantitative determination of mechanical damage or seeds germination, for indication of chilling injury in low-temperature sensitive vegetables and in many other cases. The utilization of dielectric properties are also described; for example in agricultural materials and food quality sensing (moisture content, maturity of fruit, freshness of eggs, potential insect control in seeds, at the radio frequency heating, at pasteurization ...). For the application of microwave heating processes, the dielectric properties of materials that are involved must be known. The dielectric properties of agricultural and food materials are important in understanding the behavior of these materials when they are exposed to electromagnetic fields in the process of microwave cooking or in other processes involving radio-frequency (RF) or microwave dielectric heating. Understanding these properties is also important in quality sensing by RF and microwave instruments.

The dependencies of the resistivity, conductivity, impedance, relative permittivity and some influencing factors are inscribed.

## CREATION OF MULTIMEDIA OBJECTS AND THEIR USE IN TEACHING-LEARNING PROCESS

Oľga Holá

*Institute of Physical Chemistry and Chemical Physics, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, 812 37 Bratislava, Radlinského 9, Slovak Republic, e-mail: olga.hola@stuba.sk*

### **Abstract:**

The contribution deals with a short history of the creation of our multimedia objects that are appropriate as study materials for all forms of education. We discuss pros and cons of their creation. The options of their application in teaching-learning process are described.

### **INTRODUCTION**

In the last decades the great changes have arisen in science and technology and therefore also in the teaching-learning methods. Personal computers found their way and usage from elementary schools to universities. In addition to presence attendance (face to face) and distance form, new forms of education are developed recently, for example – e-learning, blended learning or combine learning. If we want to move with the time, we must develop also new teaching-learning methods with an implementation of the information communication technologies. The first step is the creation of new study materials and multimedia objects and their use in teaching-learning process. The young generation inclines to the work with new technologies, therefore the computer-based education with multimedia tools usually result in a positive response of students.

### **MULTIMEDIA STUDY MATERIALS**

For electronic learning there is necessary to prepare special study materials that can substitute an absence of teachers as well as absence of contacts between students. Such study from the student's point of view demands a big self-discipline, great motivation and will to study. To the most motivation study materials belongs a multimedia textbook.

Multimedia study materials contain not only text, hypertexts, but also graphics, audio, video sequences and animations. Besides these parts, multimedia textbook is able to offer possibilities of self-control by various control questions, tests, problems. In such e-book there we must find also solved tasks and problems, many examples of study situations. Such materials have to be interactive and at their word processing there has not to omit humour, wits and evaluation of student activity. The usage of audio and video effects can increase an attraction of difficult and monotonous text.

The creation of multimedia materials is a high professional task and it needs a co-operation of many people. In an ideal case the working team consists of professionals of given study field, for teaching of which the study material is prepared, then didactics and teachers of this subject and last but not least information scientists. The last mentioned software engineers ought to be co-partners at the creation of multimedia objects of textbook and ought to prepare the final face of multimedia textbook.

What are our experiences with creation of such materials? Let us look at our beginnings.

## MULTIMEDIA TEXTBOOKS IN PHYSICS

Teachers of Department of Chemical Physics of Faculty of Chemical and Food Technology SUT participated on the creation of multimedia study materials for teaching of physics on technical university schools since 2000 – 2001 within the solution of grant IDEP (Internet Distance Education Program). Working group – university teachers - was put together from 7 departments of physics of Slovakia. The output of realization was the first form of e-script [1] containing the first part of basic course of physics for university bachelors study. The difficulty appeared already in the very beginning in common cooperation of such big team. Since 2002-2003 our working group was reduced and the output of realization of new developing grant of Ministry of Education – was two parts of e-textbook Physics online 1 and 2 [2]. The cooperation of this working group consisting of university teachers of 4 faculties of SUT continued on the solution of KEGA grant in 2003-2006: “Interactive multimedia project of physics teaching for technical universities of Slovakia”. In the scope of this project, there were created new chapters, many hypertexts, and explanatory dictionary of physical terminology. Every chapter has many solved problems and tasks and two types of self-test. In these e-books there were included also applets [3] and animations, later video-films too. The main problem was to involve into creation of e-book the software engineers.

## CREATION OF VIDEO-CLIPS AND VIDEO-FILMS

During the creation of above mentioned e-textbook one part of our team began to prepare our own video-clips. These video-clips record various real situations of our life as well as the laboratory experiments. We created also some instructive video-clips that were dedicated to measurements methods, and video-clips recording the unique workplaces. Afterwards we began to record the clips of the experimentally prepared situations in our laboratory. Finally we combined video-clips of these activities of everyday life with analogical ones prepared experimentally in our laboratory. It was the first step to realise an idea of our video films – the higher form of video clips. So last two years we began with the creation of our own video films in physics [4]. Their common leitmotif is „Video films from the world of Physics or Physics in the world around us“. Video filmmaking is the integration of single video-clips, photographs, scanned pictures or text pages with transitions between these video sequences, with titles and subtitles into a compact unit. Such video film is attended by a commentary explaining the recorded effect and background music. Until now we have created [5] about eight short video films with the voiceover providing physics comment.

## MULTIMEDIA TEXTBOOK IN RADIATION PROTECTION

Since 2005 we participated also in the creation of multimedia textbook „Ionizing radiation and radiation protection“ in the scope of KEGA grant together with Department of Nuclear Physics and Biophysics of Faculty of Mathematics, Physics and Informatics of UK [6]. Contents of this internet textbook is supposed to be wide-ranging including physical, chemical, biological and health aspects of radiation problems. In health service the application of radioisotopes, particle beams, accelerators and ionizing radiation as well as that of the nuclear knowledge has enormously been growing in the last decades, e.g. in radio-diagnostics and radiotherapy, in the new technological processes, at the customs control of product motion, in pharmacology, analytic physics and chemistry etc. Simultaneously the nuclear power-plant engineering, industrial defectoscopy and other traditional applications of nuclear physics continue to develop. So demands for new modern multimedia textbook of applications of ionizing radiation and simultaneously of protections against radiation are very imperative.

As our working team is created not only of university teachers, but also employees of health institutions and workers of industry, where they had no experiences with production of textbooks generally and e- books specially, is this co-operation very time demanding. Problems are also in an integration and harmonization of the individual contributions and in software treatment of e-book.

In terms of the fulfilment of multimedia trait of this textbook we created the set of video-clips recording the events that take place outside the school, e.g in laboratories or in practice - in medical institutions, accelerators, research institutions and at other workplaces with ionizing radiation. Then it is possible to explain the physical and chemical heart of the investigated effects on the basis of the video-clip analyses. By such approach students will gain a broad view and they can apply the theoretical knowledge in practice. Being familiar with the effect's core, it will be possible to build the knowledge system of radiation protection on the scientific basis.

## CONCLUSION

Our working compartment is trying for an implementation of new didactic methods into teaching-learning process during the long term. It is proved by our participation in production of various multimedia objects. Our objective is to create modern internet textbooks in physics as well as in radiation protection. The output of our projects - the multimedia textbooks - will be available to all students at our university's servers and other users will have CDs at their disposal. We propose the use of this multimedia didactic means not only in traditional form of education, but also in various new forms, e.g. distance form, blended form, e-learning.

As far as multimedia textbook of radiation protection - the main motivation for the implementation of distance courses is the necessity to update knowledge, skills and qualification in our contemporary rapidly developing world. The distance or e-learning form of education can solve also the problem with the acquisition of the professional qualifications for the work with ionizing radiation. This is the reason for usage of the mentioned textbook not only as the fundamental and unified textbook for the students of universities, but also as the study material for the civil servants responsible for radiation protection, for in-service workers and providers of the professional training.

## REFERENCES

- [1] OŽVOLDOVÁ, M., et. al. e-skriptá. Dostupné z URL: < <http://kflin.elf.stuba.sk/kf.html>>
- [2] OŽVOLDOVÁ, M., et.al. Fyzika-online: Multimedálna elektronická učebnica z fyziky na STU v Bratislave a jej využitie.. In: *E-learning v České a Slovenské republice: Stav a perspektivy. Sborník příspěvků z konference Belcom'04*, 2.2-3.2.2004 Praha, CZ. Editor K. Květoň. ČVUT Praha, 2004, [+ CD ROM] s. 70-75. ISBN 80-01-02923-9
- [3] Dostupné z URL: <[http://www.kf.sif.stuba.sk/data/stu\\_online/index.html](http://www.kf.sif.stuba.sk/data/stu_online/index.html)>
- [4] HOLÁ, Oľga, HOLÁ, Karla: Video filmmaking - as a multimedia didactic tool of education. In *Proceedings of II. International Conference Research in Didactics of Science*, 26 – 28 June 2006, Krakow: Academia Pedagogiczna. Editors: R.J.Paško, M.Nodzyńska, 2006. pp. 148-150, ISBN83-85886-12-5
- [5] HOLÁ, Oľga: Video zo sveta fyziky, fyzika okolo nás. In *Sborník příspěvku eLearning 2007*, 6.-8.11.2007 Hradec Králové. Gaudeamus Univerzita Hradec Králové, J. Sedláček (Ed.) 2007, [CD ROM], pp.81-84, ISBN 978-80-7041-573-3

- [6] HOLÁ, Oľga, HOLÝ, Karol: Production of multimedia textbook: Ionizing radiation and radiation protection. In *XXVII. Days of Radiation Protection: conference Proceedings*, 28.11.-2.12.2005 , Liptovský Ján. IRPA Associated Society, D. Nikodémová (Ed.) 2005, pp.71-73, ISBN 80-88806-53-4

# ESTIMATION OF THE POWER OF AIR CONDITIONING IN THE CANTEEN

## Matúš Holúbek

*Faculty of Civil Engineering , Slovak University of Technology  
Radlinského 11, 81368, Bratislava, Slovakia  
email: holubek@svf.stuba.sk*

### **Abstract:**

This paper concerns the estimation of power of the air conditioning needed in school canteen. For particular calculation the software ANSYS was used. It is based on the finite element method.

## INTRODUCTION

Lot of people and hot lunch menu come to be not negligible heat sources, which markedly influence heat comfort in often stuffy canteen. This situation can be improved by installing the air conditioning in the canteen.

## THEORY

Temperature and its spatial distribution represent the driving potential for heat transport. We consider convection and conduction as a process of heat transport. In one dimension example the heat flux density equivalent to conduction can be expressed in equation:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}, \quad (1)$$

where  $\lambda$  is thermal conductivity ,  $T$  temperature and  $q$  heat flux density.

The heat flux density due to convection can be written as follows:

$$q = \alpha(T_s - T_p), \quad (2)$$

where  $\alpha$  is heat transfer coefficient,  $T_p$  represents environment temperature and  $T_s$  surface temperature of the sample, which is in contact with surrounding environment.

The heat transport equation without source term is

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (3)$$

where  $T$  is time and space dependent temperature field,  $c_p$  is specific heat capacity and  $\rho$  material density.

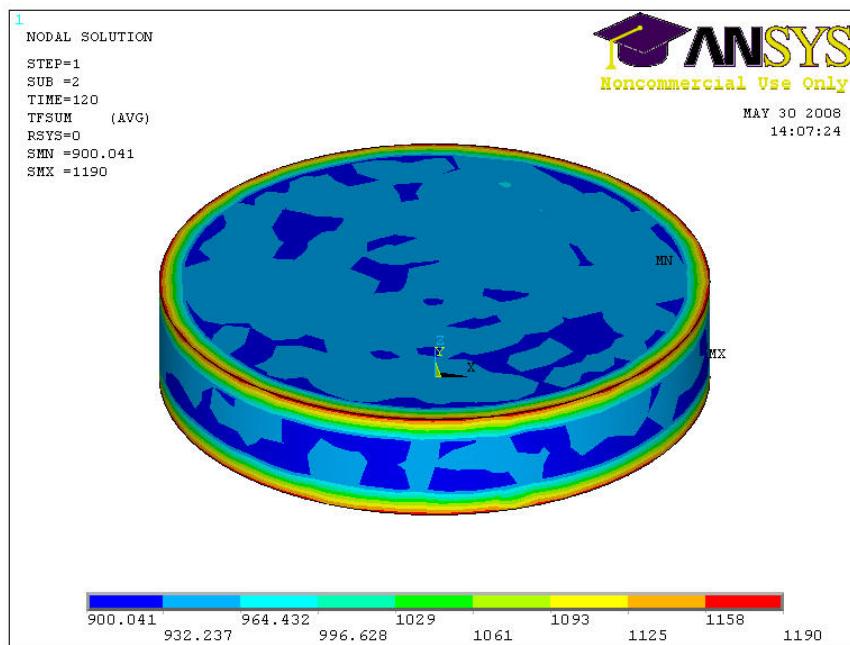
## CALCULATION

In our calculation the canteen will introduce the room of parameters  $20m \times 20m \times 5m$  (of volume  $2000m^3$ ), where the lunch is only served.

The period, during which people can use canteen services, is 150min. Number of boarders we estimated on 1000 and time necessary for eating up the lunch is about 10min. It means that in average 66 people are in the canteen at time. The heat power of one man at rest [3] is approximately  $P_m = 100W$  (due to the heat conduction). For 66 people it is  $P_m = 6600W$ .

Further, for simplification, each man has a hot food (of temperature  $60^\circ C$ ) in the soup-plate represented by cylinder of diameter 20cm and high 3cm. Thermal conductivity of liquid (food) is  $\lambda_l = 0,65 Wm^{-1} K^{-1}$ , density is  $\rho_l = 900 kg.m^{-3}$ , heat transfer coefficient  $\alpha_l = 20 Wm^{-2} K^{-1}$  (air-liquid interface) and specific heat capacity is  $c_l = 3000 J.kg^{-1} K^{-1}$ . Temperature of environment is  $T_o = 20^\circ C$  and initial temperature of the cylinder is  $T_l = 60^\circ C$ . The food temperature drops during the lunch. Therefore the heat flux density on the surface of cylinder is changing in time and location. We simulated the calculation of the average value of heat flux density across cylinder surface during 10min by using software ANSYS (Fig .1). The average value is  $q = 800 Wm^{-2}$ . Approximate power of all lunches is  $P_L = 4646W$  (calculated from  $q$ ,  $S$ -surface of cylinder and number of people in the canteen).

Description of the finite element method, which is used in software ANSYS, you can find in [1] and [2]



*Fig. 1  
Heat flux density across the cylinder surface (sup-plate) in time 120s .*

The heating in the empty canteen is default constant, on  $T_o = 20^\circ C$ , and its walls are perfect thermal insulated, so the flux through them is negligible. Therefore, in our calculation, we do not consider the heat loss due to short-time sources (people, food,...) across walls.

So we have insulated large room with initial temperature of air  $T_o = 20^\circ C$ , which will be increasing because the effect of short-time sources. Overall power from short-time sources is expressed by  $P = P_m + P_L = 11246W$  and the heat produced in time  $t$  is equal to

$$Q = P \cdot t . \quad (4)$$

Now we can estimate the time dependence of the air temperature in the canteen. The whole heat power converts to increase of the inner energy of the gas –air:

$$Q = mc\Delta T = mc(T - T_o), \quad (5)$$

where  $m$  is the mass of the air inside the canteen with air density  $\rho = 1,188 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $c = 1010 \text{ J.kg}^{-1}\text{K}^{-1}$  is specific heat capacity of air,  $T$  is temperature of air in time  $t$ . Then:

$$P_c \cdot t = mc(T - T_o), \quad (6)$$

For the time development of the air temperature in canteen we can write:

$$T = T_o + \frac{P_c}{mc}t. \quad (7)$$

By means of this relationship we computed, that already after 35 minutes, the temperature of air in the canteen increased by  $10^\circ\text{C}$ . It is unimaginable from point of view heat comfort.

## CONTRIBUTION

From the simulation and calculations we find, that in this specific example application of the air conditioning ( $11\text{kW}$ ) or provide for sufficient venting is necessary. The rate of warming of air in the canteen will be slower in reality, because we considered totally isolated canteen. This is in fact not according to real, and the heat loss across the walls always appears.

## LITERATURE

- [1] Holubek, Matúš: Application of Software ANSYS Using the Finite Element Method for Solving Heat Transport Equation, Proceedings of International Workshop "Physical and Material Engineering 2007", Pages 14-20,CERM, Brno 2007
- [2] J. N. Reddy: *An introduction to the finite element method*, Singapore, 2<sup>nd</sup> Edition, 1993
- [3] <http://www.durek.szm.sk/energiavkazzivote.html>

## ACKNOWLEDGEMENT

The financial assistance of the Grant Agency of Sciences of the Slovak Republic with grant number 1/4204/07 is gratefully acknowledged here with.

# MODERNIZÁCIA A EFEKTÍVNOSŤ VÝUČBY FYZIKY

Mgr. Marcela Chovancová, PhD.

Stavebná fakulta, STU, Radlinského 11, 813 68 Bratislava  
[marcela.chovancova@stuba.sk](mailto:marcela.chovancova@stuba.sk)

## Abstrakt:

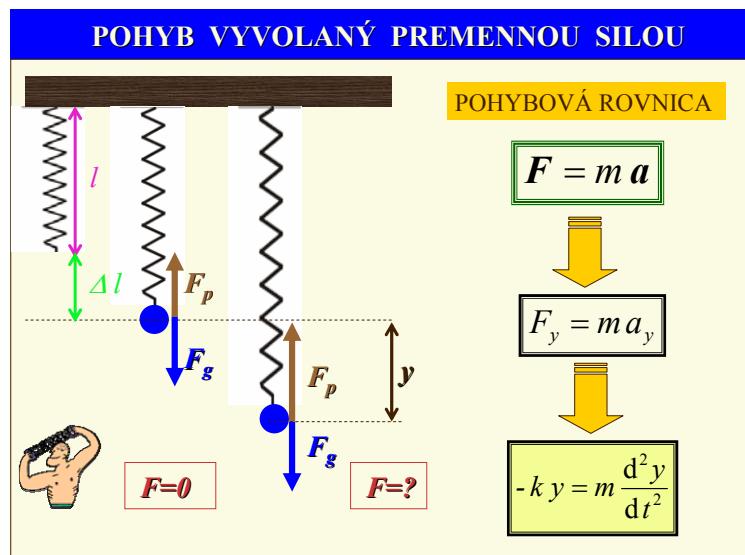
Príspevok sa zaoberá zatraktívnením výučby fyziky s dôrazom na využitie prezencačného programu a v ňom využitých animačných prvkov. Taktiež sú uvedené ďalšie pozitíva tejto formy výučby, ako názornosť, časová efektívnosť, využitie analógie, motivačný faktor.

## MODERNIZÁCIA VÝUČBY S VYUŽITÍM POWERPOITU

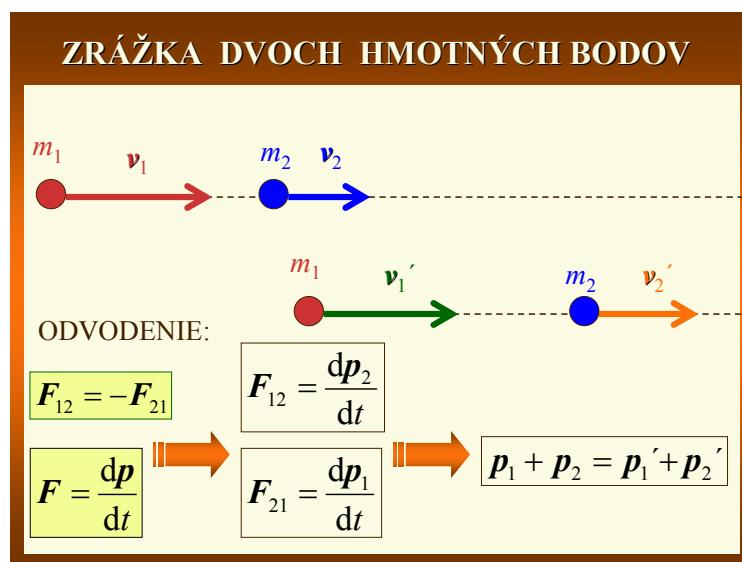
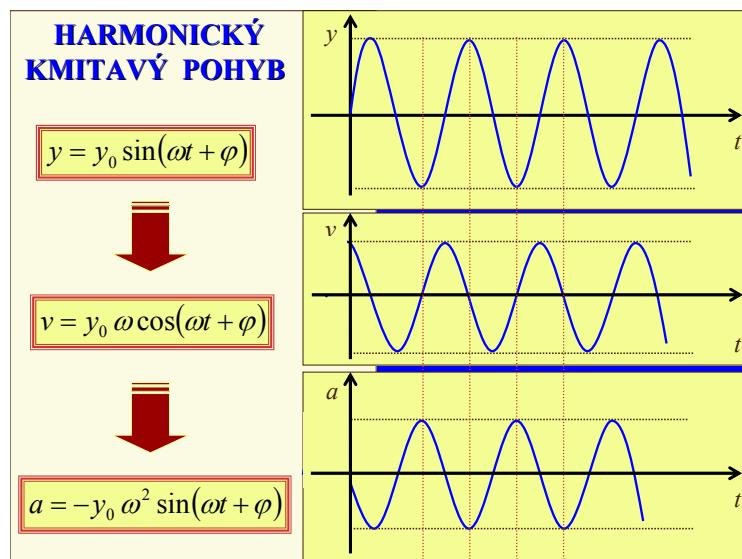
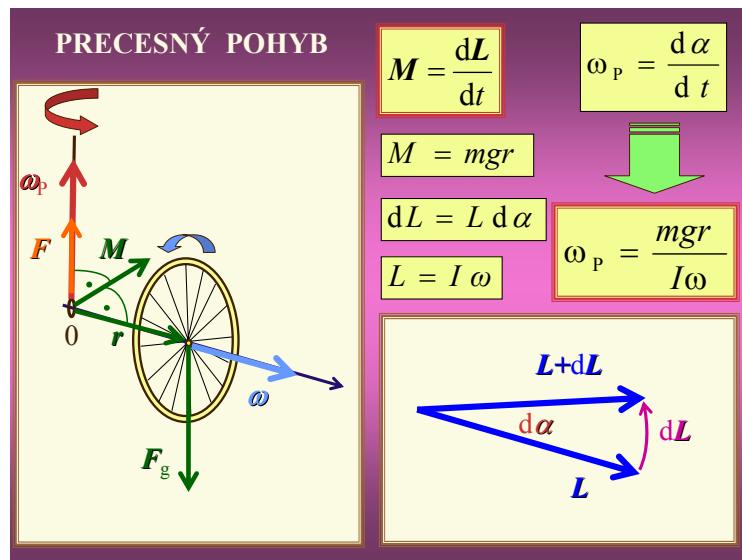
Najnovšie trendy v spoločnosti sú zamerané na informačné a komunikačné technológie, ktoré prenikajú aj do sféry vzdelávania. Rozširujú sa tak možnosti pri výučbe. Zameriame sa na využitie prezencačného programu PowerPoint v rámci výučby fyziky. Tento program má veľmi široké uplatnenie. Obsahuje množstvo možností zdynamizovania predkladaného učebného materiálu, vynikajúce je „krokovanie“ jednotlivých časti preberaného učiva, dá sa využiť celá paleta farieb, do jednotlivých slidov je možné vkladať ilustračné obrázky z reálneho života.

## NÁZORNOSŤ A ČASOVÁ EFEKTÍVNOSŤ

Využitím prezencačného programu vo výučbe sa dosiahne veľmi názorne zobrazenie preberaného učiva. Vopred nakreslené a podľa potreby načasované ilustračné obrázky sú veľmi časovo efektívne. Ďalšou výhodou je skutočnosť, že sa dajú jednotlivé časti obrázku vrátiť späť po vysvetlení učiva a študent si môže dodatočne urobiť relevantné poznámky. Na ilustráciu uvádzame niekoľko slidov z rôznych častí fyziky (obr.1 a obr.2). Napríklad vektorové zobrazenia síl, momentu sily, rýchlosí, uhlových rýchlosí...



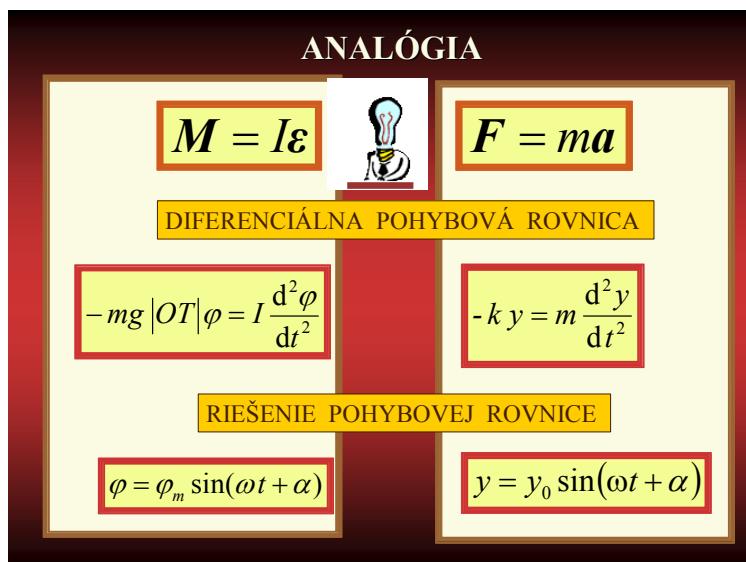
Obr.1 Ilustračný slide v Powerpointe



Obr. 2 Ilustračné slidy v Powerpointe

## ANALÓGIA VO VÝUČBE

Vo výučbe sa niekedy využíva analógia s už preberaným učivom. Pri klasickom vyučovaní je časovo náročnejšie navodiť problematiku, na ktorú chceme využiť analógiu. PowerPoint umožňuje veľmi rýchlo prejsť už preberanou problematikou vsunutím niekoľkých predchádzajúcich slidov a napokon uviesť analógiu s práve preberaným učivom. Príklad je uvedený na obr. 3.



Obr. 3 Ilustračný slide - analógia v Powerpointe

## ZÁVER

V súčasnosti prebieha modernizácia výučby s využitím IKT technológií na všetkých stupňoch škôl. Bezpochyby má nesmierne prednosti oproti klasickému vzdelávaniu. Avšak by sa nemala výučba „zvrhnúť“ len na využívanie počítača. Nezastupiteľné miesto má pedagóg ako osobnosť, jednoduché názorné experimenty a k vzdelávaniu neodmysliteľne patrí krieda a tabuľa.

## POĎAKOVANIE

Príspevok bol podporený z ESF 13120120117.

## LITERATÚRA

- [1] NEVEDELOVÁ, M.: Súčasný stav vyučovacieho predmetu fyzika, Zborník: Didmattech, Olomouc 24.-25. června 2003. Olomouc, VOTOBIA 2003. ISBN 80-7220-150-6.
- [2] PIŠÚT, J.: Ako budú vyzerat' učebnice a vyučovanie fyziky roku 2025? Šoltésove dni 99. Bratislava, MC 2000. ISBN 80-7164-291-6, s. 51 - 60.
- [3] [www.skola.sk/bratislava/zbornik/06konradi.pdf](http://www.skola.sk/bratislava/zbornik/06konradi.pdf)

# BEZDOTYKOVÉ MĚŘENÍ OBJEMOVÝCH ZMĚN KOMPOZITŮ

<sup>1</sup>Juráneková, V., <sup>2</sup>Adámek, J.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky, Veveří 95, 602 00  
Brno, e-mail: jurankova.v@fce.vutbr.cz

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví,  
Veveří 95, 602 00 Brno, e-mail: adamek.j@fce.vutbr.cz

## Abstrakt

Beton je heterogenní kompozit, který tuhne a tvrdne chemickými a mineralogickými reakcemi, kdy voda začne rozpouštět a reagovat se slinkovými minerály z cementu. Měření délkových nebo objemových změn v prvním stadiu hydratace je značně nesnadné, většinou se měří délková přetvoření po odformování zkušebního vzorku nejdříve po 24 hodinách. Jednu z možností nabízí měření objemové změny bezdotykové s využitím laserové technologie. Tato měření jsou náplní následujícího příspěvku.

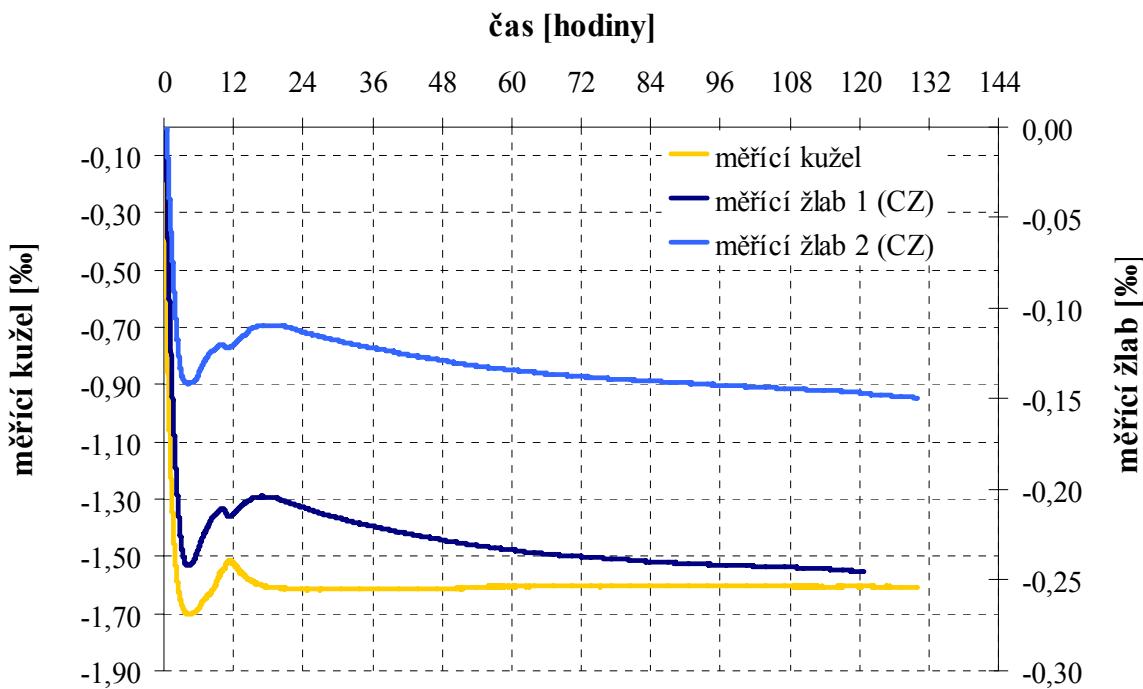
Klíčová slova: kompozit, objemová deformace, hydratace, laser

## ÚVOD

Již od počátku hydratace cementu v betonu začíná exotermní reakce, kdy dochází k poměrně složitým chemickým reakcím za vzniku celé řady nových minerálů, při jejich tvorbě dochází k tuhnutí a posléze k tvrdnutí betonového kompozitu. V první fázi hydratace velmi často dochází k nabývání objemu hmoty a posléze k jejímu smršťování. Při sledování délkových změn, které započalo nejdříve po 24 hodinách se však tyto změny většinou nezachytí. Měří se převážně přetvoření od smršťování, záleží na obsahu vody v betonové směsi a na podmírkách vysychání hmoty tvrdnoucího betonu. Skutečnost, že již prakticky od zhotovení betonového prvku dochází k jeho smršťování, je značně nebezpečná, protože tvrdnoucí beton nemá v této době ještě dostatečnou pevnost v tahu a dochází k vzniku trhlin. Vznik těchto a dalších trhlin je z hlediska trvanlivosti velmi nebezpečný, protože tyto trhliny jsou cestou k průniku degradujících médií do betonu a k výzvuži.

## MĚŘÍCÍ SESTAVA

Principem metody bezdotykového měření objemového nabývání a smršťování spočívá v záznamu změny vzdálenosti odrazové plošky umístěné na povrch kuželeta situovaného špicí směrem dolů. Kužel ze speciální polymerní hmoty tvoří formu, po jeho naplnění maltou nebo betonem, lokalizací odrazové plošky na plochu podstavy kuželeta a změřením paprsku laserového senzoru na střed plošky se měří změny vzdálenosti plošky od zdroje laseru (obr. 1). Přesnost měření odpovídá 0,5 mm. Současně lze měřit teplotu a relativní vlhkost v laboratoři.



Obr. 1 Sestava měřící jednotky

Změny vzdálenosti jsou ukládány do dataloggeru ve zvolené časové posloupnosti. Odtud se v čase potřeby do PC.

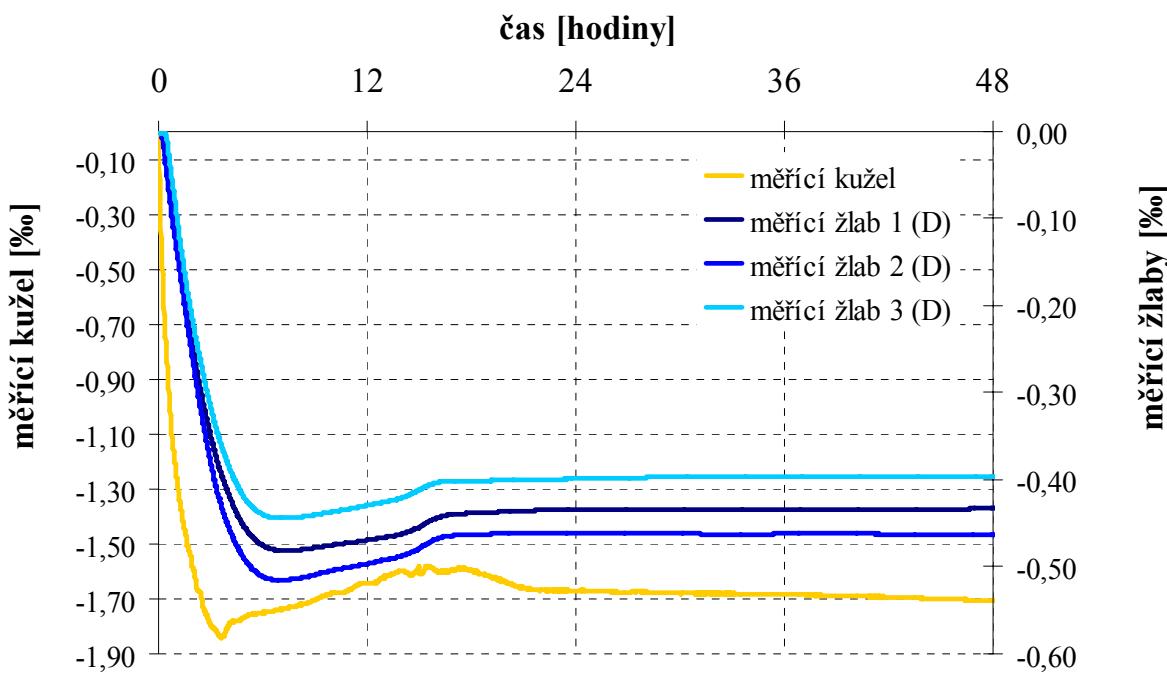
## EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Při testování nového zařízení byl rozšířen program měření a současně sledování stejných betonů ve speciálních žlabech 60/100/1000 mm. Ve žlabech bylo jedno čelo 60/100 mm pevné, zatímco druhé čelo formy mělo možnost volného pohybu ve směru osy žlabu. Čelo bylo opatřeno vodící tyčkou Ø 8 mm, která byla uložena ve dvou vodících elementech navzájem kolmých. Na konci vodící tyčky se opíral induktivní snímač, kterým se zaznamenávaly pohyby v ose žlabu od uložení a zhubnění betonu. Přesnost měření smršťování nebo dotvarování byla  $10^{-3}$  mm.

## DISKUZE VÝSLEDKŮ

Na obr. 2 je porovnán průběh přetváření betonu v kuželu a ve žlabech. Z průběhu křivek je patrné, že měřená přetvoření nejsou shodná. Tento rozdíl lze pravděpodobně vysvětlit tím, že ve žlabu se měří podélné přetvoření ve směru delšího rozměru trámce, ale v kuželu se měří přetvoření v ose kuželev. V tomto případě jde o přetvoření ovlivněné tvarem a objemem sledovaného tělesa nerovnoměrného průřezu. Toto přetvoření bylo pracovně nazváno „objemovým“.

Na křivkách bylo možno zaznamenat dobu počátku intenzivního průběhu hydratace, kdy došlo k ohybům křivek směrem k nárůstu délky nebo objemu zkušebního tělesa. Současně došlo k nárůstu teplot betonů, zvýšení teplot betonu bylo nejvíce do  $2^{\circ}\text{C}$ . Poměrně brzo došlo k návratu k ustáleným teplotám a k dalšímu smršťování betonů.



Obr. 2

## ZÁVĚR

Měření přetvoření (objemového) je bezdotykovou laserovou metodou možné, a navíc umožňuje bez jakýchkoliv problémů měřit přetvoření od počátku tvorby hydratačních produktů. Tato měření nebývají obvyklá ve zkušebnické praxi.

## LITERATURA

- [1] Scheiblinger Shrinkage-Cove, manuál dodavatelské firmy Buchbach, Germany, 2004
- [2] Greim, M., Teubert, O. Messtechnische Erfassung von früheren Schwinden und Erstarren, 1. Workshop „Schwinden von Baustoffen“, FH Augsburg, Germany 2002

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za přispění projektu GAČR č. 103/08/0685 a projektu VVZ MSM 0021630511.

## ODHAD EKOLOGICKEJ KAPACITY POZEMNEJ KOMUNIKÁCIE Z HLADISKA HLUKU

Mária Kovalčáková, Júlia Hlaváčová, Brigita Salaiiová\*

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informatiky,  
Technická univerzita v Košiciach, Park Komenského 2, 042 00 Košice

\*Ústav inžinierskeho staveľstva, Stavebná fakulta, Technická univerzita v Košiciach,  
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

[Maria.Kovalakova@tuka.sk](mailto:Maria.Kovalakova@tuka.sk), [Julia.Hlavacova@tuke.sk](mailto:Julia.Hlavacova@tuke.sk), [Brigita.Salaiiova@tuke.sk](mailto:Brigita.Salaiiova@tuke.sk)

### Abstrakt:

V článku je navrhnutá jednoduchá experimentálna metóda, ktorou možno pre danú pozemnú komunikáciu stanoviť jej ekologickú kapacitu z hľadiska hluku, t.j., maximálnu intenzitu dopravy, pri ktorej ešte nie sú v okolí pozemnej komunikácie prekročené prípustné hladiny hluku.

### ÚVOD

V 60-tych rokoch minulého storočia C.D. Buchanan [1] implicitne stanovil rozdiel medzi kapacitou pozemnej komunikácie a ekologickou kapacitou komunikácie a poukázal na ich dôležitosť pri projektovaní miest. Ekologická kapacita je širší pojem ako kapacita komunikácie, pretože berie do úvahy nielen dopravu, ale aj ekologické ciele v plánovaní miest. Každá mestská oblasť by mala mať stanovenú maximálnu hodnotu intenzity dopravy - maximálnu kapacitu - vzhľadom na ktorú je pozemná komunikácia prijateľná z ekologických hľadísk - z hľadiska hluku, vibrácií, znečistenia, vizuálneho narušenia, chodcov, pričom sa berie do úvahy pohyb vozidiel a ich parkovanie. Túto kapacitu potom nazývame ekologická kapacita pozemnej komunikácie. Jej používanie už zavádzajú aj naše technické normy pre projektovanie pozemných komunikácií [2].

Ekologická kapacita z hľadiska hluku je maximálna intenzita dopravy, pri ktorej ešte nie sú v okolí pozemnej komunikácie prekročené prípustné hladiny hluku [3]. Pre danú pozemnú komunikáciu ju možno určiť pomocou modelového výpočtu [4], v ktorom je zahrnutý veľký počet faktorov ovplyvňujúcich hladinu hluku v okolí pozemnej komunikácie (počet vozidiel, ich rýchlosť, sklon a povrch vozovky, povrch okolia vozovky, vzdialenosť od vozovky, ..). V tomto príspevku je navrhnutá jednoduchá experimentálna metóda, ktorou možno pre danú pozemnú komunikáciu stanoviť jej ekologickú kapacitu z hľadiska hluku. Je založená na určení strednej hodnoty hladiny intenzity hluku jedného vozidla v posudzovanom mieste v okolí pozemnej komunikácie, ktorá zahŕňa všetky vyššie uvedené faktory okrem počtu vozidiel, prípadne pomeru osobných a nákladných vozidiel.

### KVANTIFIKOVANIE HLADÍN INTENZITY HLUKU V OKOLÍ POZEMNEJ KOMUNIKÁCIE

Ekvivalentná hladina intenzity hluku z dopravy sa zvyčajne meria v hodinovom intervale a počíta podľa vzťahu

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (1)$$

kde  $I$  je stredná hodnota fyzikálnej intenzity hluku v danom časovom intervale,  $I_0$  je prahová intenzita zvuku,  $I_0 = 10^{-12} \text{ Wm}^{-2}$ .

Zdrojom hluku z dopravy sú vozidlá pohybujúce sa po pozemnej komunikácii, ktoré z hľadiska produkcie hluku možno rozdeliť na osobné a nákladné. Ekvivalentnú hladinu hluku z dopravy potom možno zapísť v nasledujúcom tvaru

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{N_n I_n + N_{os} I_{os}}{I_0} \quad (2)$$

kde  $N_n$  je počet nákladných vozidiel a  $I_n$  fyzikálna intenzita hluku jedného nákladného vozidla,  $N_{os}$  počet osobných vozidiel a  $I_{os}$  fyzikálna intenzita hluku jedného osobného vozidla, ktoré prešli pozemnou komunikáciou v sledovanom časovom intervale.

Rovnicu (2) možno napísť aj v tvaru

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( N_n 10^{0,1L_n} + N_{os} 10^{0,1L_{os}} \right) \quad (3)$$

kde  $L_n$  je hladina intenzity hluku jedného nákladného vozidla a  $L_{os}$  hladina intenzity hluku jedného osobného vozidla. Ak sú tieto veličiny známe, možno určiť hladinu intenzity hluku pre ľubovoľnú intenzitu dopravy.

Z rovnice (3) možno veľmi jednoducho určiť napr. hladinu intenzity hluku jedného osobného, (nákladného) vozidla, v prípade, že sa na pozemnej komunikácii nevyskytujú nákladné (osobné) vozidlá, pretože potom platí:

$$L_{os} = L_{Aeq} - 10 \log N_{os} \quad (4)$$

$$L_n = L_{Aeq} - 10 \log N_n. \quad (5)$$

Analogický vzťah pre strednú hodnotu hladiny intenzity jedného vozidla  $L_v$  možno napísť v prípade, že intenzita dopravy je určená počtom vozidiel  $N$  bez rozlíšenia osobných a nákladných vozidiel [5]:

$$L_v = L_{Aeq} - 10 \log N. \quad (6)$$

V prípade, že dopravný prúd je zložený z osobných a nákladných vozidiel, rovnica (2) obsahuje dve neznáme  $I_{os}$  a  $I_n$ . Ak zmeriame hladiny intenzity hluku z dopravy pre dve rôzne intenzity dopravy, teda dopravu s rôznym zastúpením osobných ( $N_{os1}, N_{os2}$ ) a nákladných vozidiel ( $N_{n1}, N_{n2}$ ), dostaneme dve rovnice

$$L_{Aeq1} = 10 \log \frac{N_{n1} I_n + N_{os1} I_{os}}{I_0}, \quad (7)$$

$$L_{Aeq2} = 10 \log \frac{N_{n2} I_n + N_{os2} I_{os}}{I_0}, \quad (8)$$

z ktorých získame nasledujúce vzťahy pre ekvivalentné hladiny intenzity hluku osobného vozidla  $L_{os}$  a nákladného vozidla  $L_n$ :

$$L_{os} = 10 \log \frac{N_{n1} 10^{0,1L_{Aeq2}} - N_{n2} 10^{0,1L_{Aeq1}}}{N_{n1} N_{os2} - N_{n2} N_{os1}} \quad (9)$$

$$L_n = 10 \log \frac{N_{os1} 10^{0,1L_{Aeq2}} - N_{os2} 10^{0,1L_{Aeq1}}}{N_{os1} N_{n2} - N_{os2} N_{n1}}. \quad (10)$$

## VÝPOČET EKOLOGICKEJ KAPACITY POZEMNEJ KOMUNIKÁCIE

V zmysle definície ekologickej kapacity z hľadiska hluku je potrebné stanoviť maximálnu intenzitu dopravy, pri ktorej ešte nie sú v okolí pozemnej komunikácie prekročené prípustné hladiny hluku  $L_p$  [3]. Tieto sú rôzne pre rôzne typy územia a denné doby (deň, večer, noc).

Ak neberieme do úvahy skladbu dopravného prúdu, t.j. pomer osobných a nákladných vozidiel, a poznáme strednú hodnotu hladiny intenzity hluku jedného vozidla  $L_v$ , ekologickú kapacitu z hľadiska hluku  $N_{EK}$  potom môžeme použitím rovnice (6) vypočítať zo vzťahu:

$$N_{EK} = 10^{0,1(L_p - L_v)}. \quad (11)$$

Na ilustráciu uvádzame výpočet konkrétnej hodnoty ekologickej kapacity miestnej komunikácie z meraní uskutočnených v obytnej štvrti vo vzdialosti 2 m od fasády obytného domu a vo vzdialosti 26 m od najbližšieho jazdného pruhu štvorpruhovej komunikácie. Merania boli uskutočnené počas dňa (meranie 1), večera (meranie 2) a noci (meranie 3). Výsledky meraní a prípustné hodnoty hladín hluku sú uvedené v Tabuľke 1.

Tabuľka 1 Namerané hodnoty počtu osobných  $N_{os}$ , nákladných vozidiel  $N_n$ , ich celkový počet  $N$ , ekvivalentné hladiny hluku  $L_{Aeq}$  a prípustné hodnoty hladín hluku  $L_p$ .

Meranie	$N_{os}$ (voz./h)	$N_n$ (voz./h)	$N$ (voz./h)	$L_{Aeq}$ (dB)	$L_p$ (dB)
1	1108	64	1172	62,8	60
2	268	36	304	57,5	60
3	132	28	160	56,1	50

Na to, aby sme zistili maximálnu intenzitu dopravy, pri ktorej nie sú prekročené prípustné hladiny hluku, t.j. ekologickú kapacitu, potrebujeme určiť strednú hodnotu hladiny intenzity hluku jednotlivého vozidla  $\bar{L}_v$ . Hodnoty  $L_v$  pre jednotlivé merania sme vypočítali podľa vzťahu (6). Strednú hodnotu hladiny intenzity hluku  $\bar{L}_v$  sme vypočítali pomocou váženého priemeru fyzikálnej intenzity hluku :

$$\bar{L}_v = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1}{I_0} \left( \frac{N_1 I_1 + N_2 I_2 + N_3 I_3}{N_1 + N_2 + N_3} \right) = 10 \log \frac{N_1 10^{0,1L_{v1}} + N_2 10^{0,1L_{v2}} + N_3 10^{0,1L_{v3}}}{N_1 + N_2 + N_3} \quad (12)$$

Výsledky výpočtov sú v Tabuľke 2.

Tabuľka 2 Vypočítané hodnoty hladiny intenzity hluku jedného vozidla pre jednotlivé merania, hodnoty hladiny intenzity hluku osobného a nákladného vozidla pre kombináciu meraní a ich stredné hodnoty.

Meranie	$L_v$ (dB)	$L_{os}$ (dB) - kombinácia	$L_n$ (dB) - kombinácia
1	32,1	31,6 (1-2)	36,9 (1-2)
2	32,7	25,9 (2-3)	41,0 (2-3)
3	34,1	30,8 (1-3)	39,5 (1-3)
$\bar{L}_v = 32,5$ dB		$\bar{L}_{os} = 30,8$ dB	$\bar{L}_n = 39,2$ dB

Ekologickú kapacitu danej komunikácie  $N_{EK}$  sme vypočítali podľa vzťahu (11) berúc do úvahy prípustnú hladinu intenzity hluku danej dennej doby. Ak berieme do úvahy strednú hodnotu hladiny intenzity hluku jednotlivého vozidla  $\bar{L}_v$ , ekologická kapacita danej komunikácie je 562 voz./h počas dňa a večera a 56 voz./h v noci, čo sú podstatne menšie hodnoty ako namerané. Kvôli tomu aj namerané hodnoty  $L_{Aeq}$  počas dňa a noci sú vyššie ako prípustné hodnoty  $L_p$  a treba preto urobiť opatrenia na zníženie hladiny hluku. Najjednoduchším opatrením – dopravno-organizačným je celkové zníženie intenzity dopravy. Aby sme zistili vplyv vylúčenia napr. nákladných vozidiel z dopravného prúdu, potrebujeme určiť strednú hodnotu hladiny intenzity hluku jednotlivého nákladného  $\bar{L}_n$ , prípadne aj osobného vozidla  $\bar{L}_{os}$ . K tomu potrebujeme aspoň dve merania. Pre danú komunikáciu sme mali k dispozícii tri merania. Využitím všetkých ich kombinácií a vzťahov (9) a (10) sme získali tri dvojice hodnôt. Stredné hodnoty  $\bar{L}_{os}$  a  $\bar{L}_n$  sme vypočítali pomocou váženého priemeru fyzikálnej intenzity hluku modifikáciou vzťahu (12). Ak z miestnej komunikácie vylúčime nákladné vozidlá, ekologická kapacita bude 832 voz./h počas dňa a večera a 83 voz./h v noci.

## ZÁVER

Navrhovaná metóda určenia hladiny intenzity hluku osobného a nákladného vozidla umožňuje jednoduchým spôsobom určiť hladinu intenzity hluku pre ľubovoľnú skladbu dopravného prúdu, ako aj stanoviť ekologickú kapacitu z hľadiska hluku pre danú pozemnú komunikáciu. Umožňuje tiež stanoviť pokles hladiny intenzity hluku v prípade, že sa navrhnuté opatrenia na zníženie intenzity dopravy, napr. vylúčením nákladnej dopravy.

**Poznámka.** Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia projektu VEGA 1/4203/07 „Definovanie a kvantifikácia parametrov na výpočet hlukových indikátorov a vibrácií pre stanovenie environmentálnej kapacity pozemných komunikácií a dráh“, riešeného na TU v Košiciach.

## LITERATÚRA

- [1] Buchanan, Colin D. 1963, Traffic in towns, Her Majesty's Stationery Office by Waterlow & Sons (HMSO), London
- [2] STN 73 6110:2004 Projektovanie miestnych komunikácií
- [3] Vyhláška MZ SR, č.549/2007 Z.z.
- [4] Salaiová, B., 4. konferencia Pozemné komunikácie a dráhy, Zborník prednášok, 12.-13.9.2006, Herľany, s.45-50
- [5] Stoilova, K. and Stoilov, T., Transpn. Res.-D, Vol.3, No.6, 1998, pp. 399-417

## FYZIKA V ENVIRONMENTÁLnom INŽINIERSTVE

PaedDr. Ľuboš Krišťák, Mgr. Miroslav Němec

*Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky, Drevárska Fakulta, TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, [kristak@vsl.tuzvo.sk](mailto:kristak@vsl.tuzvo.sk), mnemec@zoznam.sk*

### **Abstrakt:**

Článok sa zaoberá súčasným stavom vyučovania fyziky na TU vo Zvolene, najmä na Fakulte ekológie environmentalistiky a zaoberá sa vytvorením kompletných študijných materiálov pre fyzikálne predmety študijných programov prvého a druhého stupňa vysokoškolského vzdelávania so zameraním na ekológiu a environmentalistiku. Tie by mali poskytnúť najmodernejšie obsahové, aj metodické námyty vo vyučovaní, čím ponúknu riešenie pre pozitívne zmeny vo fyzikálnom vzdelávaní.

V nedávnej minulosti prebehla reforma vysokého školstva, pričom jedným z jej výsledkov bol prechod na trojstupňový systém vysokoškolského vzdelávania. Zo zavedených zmien vyplynuli určité systémové zmeny, ktoré bolo nutné vykonať v rámci jednotlivých študijných programov. V rámci týchto zmien došlo k redukcii časovej dotácie niektorých premetov, pričom to neobišlo ani fyzikálne predmety bakalárskeho štúdia. Na technických univerzitách patria fyzikálne predmety k základným predmetom, na ktoré následne nadväzujú ďalšie technické disciplíny. Práve tieto fyzikálne predmety sú akýmsi základným nástrojom pre pochopenie väčšiny technických predmetov.

Slovensko v týchto dňoch prechádza reformou regionálneho školstva, ktorej základom je prechod na tvorivo-humánne školstvo s orientáciou na žiaka. V novej koncepcii sa do popredia dostávajú humanitné predmety, pričom prírodovedné a technické predmety sú potláčané do úzadia. Najviac sa redukcia hodín dotkla práve fyziky, čo bude mať negatívny dosah najmä na vysokých školách prírodovedných a technických zameraní. Tento stav je výsledkom nedostatočnej komunikácie medzi strednými a vysokými školami a najmä potrebami praxe. Okrem toho v súčasnosti je trendom, aby sa zvyšoval počet vysokoškolsky vzdelaných ľudí. Z toho vyplýva, že sa na vysoké školy hlásia študenti z takmer všetkých stredných škôl, pričom ich úroveň vedomostí po príchode na vysokú školu je na rôznej úrovni. Až na niekoľko výnimiek, väčšinou z gymnázií, sú vedomosti študentov z fyziky a matematiky po príchode na vysokú školu z roka na rok slabšie. Predpokladáme, že na základe novej reformy regionálneho školstva bude tento trend pokračovať, pričom je nutné hľadať riešenia ako tieto problémy riešiť.

Vzhľadom k zhoršujúcej sa úrovni vedomostí žiakov z prírodovedných predmetov po príchode na vysokú školu a vzhľadom k redukcii počtu hodín fyzikálnych predmetov na vysokých školách je potreba hľadať špecifické riešenia.

## FYZIKA NA FAKULTE ENVIRONMENTALISTIKY A EKOLÓGIE NA TU VO ZVOLENE

Výučba fyzikálne zameraných predmetov na TU vo Zvolene má celý rad charakteristík, ktoré vychádzajú z požiadaviek jednotlivých študijných zameraní jej jednotlivých fakúlt. Jedno však majú spoločné všetky fakulty a odbory a to je výrazná redukcia počtu hodín fyzikálnych predmetov po prechode na trojstupňový systém vzdelávania. V bakalárskom stupni štúdia na Fakulte ekológie a environmentalistiky (FEE) je pre základný kurz fyziky vyhradený len jeden semester s rozsahom dve hodiny prednášok a dve hodiny cvičení týždenne, aj to v prvom semestri, keď študenti nemajú absolvovaný kurz vyšej matematiky. V druhom semestri na základný kurz fyziky nadvázuje predmet Tok tekutín a transport tepla.

Súčasné študijné materiály sú v prvom rade príliš všeobecne a zoširoka orientované, pričom sa neorientujú na konkrétny študijný odbor, ktorého je predmet súčasťou, čím nie je splnená základná požiadavka gestorov jednotlivých študijných zameraní a zároveň v nich absentujú výsledky výskumov z posledného obdobia. Vzniká tým potreba vytvorenia nových učebných materiálov, ktorých obsah bude v súlade s novými študijnými programami a budú zároveň modernou a pútavou formou prezentovať najnovšie poznatky v danej oblasti. Našim cieľom je preto v súčasnosti vytvorenie kompletných študijných materiálov, ktoré sú v súlade so študijnými programami Technickej univerzite vo Zvolene, a okrem toho na Univerzite Mateja Bela v Banskej Bystrici, ako aj Slovenskej polnohospodárskej univerzite v Nitre, kde je v rámci bakalárskeho stupňa štúdia možné študovať obsahovo podobné študijné odbory.

Našim cieľom je vytvoriť študijné materiály, ktoré budú rešpektovať požiadavky jednotlivých študijných programov (vo Zvolene, v Nitre a v Banskej Bystrici) i aktuálne požiadavky jednotlivých pracovísk a zároveň budú obsahovať najmodernejšie výsledky v danej oblasti. Pokúšame sa preto vytvoriť:

1. Dve vysokoškolské učebnice: Fyzika pre environmentálne inžinierstvo I. a II. diel:
  - a) učebnica „**Fyzika pre environmentálne inžinierstvo I**“ bude po obsahovej stránke v súlade s požiadavkami garantov kladenými na fyzikálne predmety študijných programov prvého stupňa vysokoškolského vzdelávania: Environmentálne inžinierstvo (FEE TUZVO Zvolen), Riadenie životného prostredia (FEE TUZVO Zvolen), Kvalita produkcie (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Spoľahlivosť a bezpečnosť technických systémov (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Informačná a automatizačná technika (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Systémová ekológia (FPV UMB Banská Bystrica), Environmentálna chémia (FPV UMB Banská Bystrica),
  - b) učebnica „**Fyzika pre environmentálne inžinierstvo II**“ bude po obsahovej stránke v súlade s požiadavkami garantov kladenými na fyzikálne predmety študijných programov prvého a druhého stupňa vysokoškolského vzdelávania: Environmentálne inžinierstvo (FEE TUZVO Zvolen), Kvalita produkcie (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Spoľahlivosť a bezpečnosť technických systémov (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Informačná a automatizačná technika v kvalite produkcie (Mechanizačná fakulta SPU v Nitre), Environmentálna chémia (FPV UMB Banská Bystrica).
2. Ku každej učebnici prislúchajúce DVD, ktoré bude obsahovať:
  - a) Kompletný moderný učebný materiál v multimediálnej forme, doplnený množstvom obrázkov, grafov, simulácií fyzikálnych dejov, množstvom kvantitatívnych a kvalitatívnych fyzikálnych úloh (riešených aj neriešených), kontrolných testov po

- jednotlivých kapitolách, vhodný pre vzdelávanie dištančnou formou, rovnako vhodný na prezentácie počas prednášok.
- b) Súbory experimentov, ktoré budú prezentované vo forme metodických návodov. Súčasťou návodov budú napr. inštrukcie k uskutočneniu experimentov vrátane krátkych inštruktážnych videozáznamov, obrázkov, grafov a tabuľiek. Experimenty budú obsahom aj praktických laboratórnych meraní na hodinách fyziky. Na tento účel plánujeme postaviť šesť rôznych laboratórnych experimentálnych úloh. Dôraz pri výbere úloh bude samozrejme kladený na zameranie, pre ktoré sú tieto publikácie určené.
  - c) Ako alternatíva k predchádzajúcemu bodu (b) pre dištančnú formu vzdelávania budú novovskytorené laboratórne úlohy spracované aj vo forme videoexperimentov. Kvantifikovanie každého experimentu umožní prekrytie exponovaného fyzikálneho dejia s príslušnými veličinami, vztahmi, grafmi a pod., vrátane slovného komentára.
3. Časť materiálov, nachádzajúcich sa na DVD nosiči by mala byť dostupná na internete.

## ZÁVER

Dôvodov, pre ktoré sme sa rozhodli pre vytvorenie týchto publikácií je viacero. Väčšina z nich už bola naznačená. V prvom rade došlo k výraznému zredukovaniu časových dotácií fyzikálnych predmetov v úvodných ročníkoch vysokoškolského štúdia. Aj vzhľadom k vedomostnej úrovni študentov teda nie je možné obsiahnuť tak zoširoka orientované učivo fyziky ako doteraz. Obsah a ciele fyzikálnych predmetov by mal byť v súlade so študijnými programami, pre ktoré sú určené. Cieľom fyzikálneho vzdelávania nie je len naučenie sa a pochopenie základných fyzikálnych pojmov, princípov, zákonov a vztahov, ale aj schopnosť aplikovať nadobudnuté poznatky pri riešení ekologicko-environmentálnych problémov. Tieto publikácie by mali zároveň modernou a pútavou formou prezentovať najnovšie poznatky v danej oblasti.

## LITERATÚRA

- [1] Danihelová, A, Němec, M. Súčasnosť a budúcnosť fyziky z pohľadu výučby a vedy na Technickej univerzite vo Zvolene (CD-rom). In: Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku. Bratislava, 2004, s. 111-114. ISBN 80-227-2112-3
- [2] Němec, M. Kurz stredoškolskej fyziky. In: Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku [elektronický zdroj] zborník z vedeckej konferencie / zost. Peter Kleja. - Bratislava : STU, 2006. - ISBN 80-227-2430-0. - S. 155-158
- [3] Uhdeová, N. Úroveň fyzikálních znalostí studentů na VŠT. In: Zborník príspevkov. 13. konferencia slovenských a českých fyzikov, Zvolen, 1999, s. 413 – 415

## APPLICATION OF ACOUSTIC EMISSION (AE) METHOD TO CEMENTING COMPOUND SPECIMENS

Ivo Kusák

Adresy Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Czech University of Technology, Žižkova 17, 60200 Brno, Czech Republic, [kusak@dp.fce.vutbr.cz](mailto:kusak@dp.fce.vutbr.cz)

### Abstract:

The paper deals with an application of the acoustic emission method to cementing compound specimens featuring different capillary porosity levels. The experiment has been intended to contribute another method of checking the impedance-spectroscopy method results. The different capillary porosity levels of the cementing compound have been confirmed and distinguished successfully.

### INTRODUCTION

In the course of material (micro) structure changes, measurable acoustic waves are emitted frequently. This phenomenon is called acoustic emission. In general, acoustic emission (AE) is defined as elastic waves originating in consequence of local, dynamic and irreversible changes in the material structure. These changes are due to the solid deformation or structural integrity deterioration. AE accompanies a number of phenomena, such as earthquakes, avalanches, earthslides, rock bumps, propagation of cracks in dams, buildings as well as materials.

If the material strength is exceeded, the accumulated potential energy is released in impulses, mostly in the form of thermal and acoustic radiation. In this way, an energy emitting primary source of acoustic emission is formed. Depending on the specimen physical properties (finite dimensions, inhomogeneities, damping, dispersion etc.), this energy is transformed into impulse-nature elastic waves. A secondary acoustic emission source arises, which emits periodic, non-harmonic and strongly damped oscillations of various frequencies, known as Rayleigh waves, to the specimen surface.

### MATERIAL TO BE MEASURED

The cementing compound specimens were manufactured using the following formulation. Starting from the per meter cubed amount, the amount per specimen was calculated and mixed. The specimen dimensions are 70x70x10 mm<sup>3</sup>. Each specimen set consists of 5 specimens. The mass of each specimen is about 0.1 kg.

#### *Concrete specimen formulation*

- 500 kg of CEM I 42,5 R cement
- 1650 kg of standard sand (grain size about 1 mm)
- water coefficient: 0.3; 0.5; 0.6 for various specimen sets ( $W = mw/mc$   $W$  = water coefficient,  $mw$  = added water mass,  $mc$  = cement mass)

Three specimen sets were manufactured for testing. These sets differed in the pressing force ( $p=F/S$  [N.m<sup>-2</sup>]  $p>5$  MPa  $\Rightarrow F$ ) and the water coefficient (in connection with our intention to achieve different capillary porosity levels). The table below lists the specifications and fabrication details for the different specimen sets:

	<b>F [kN]</b>	<b>water coefficient</b>
<b>1st set</b>	1	0,6
<b>2nd set</b>	200	0,5
<b>3rd set</b>	400	0,3

## EXPERIMENT

An acoustic emission measuring system called LOCATION ANalyser LOCAN 320 made by PAC (France) was used for the measurements. Wide-band sensors (3S Sedlak company made) were used. The sensor output was fed into pre-amplifiers (PAC company) with a 2 kHz high-pass filter. Proprietary PAC program package was used to record the acoustic emission parameters. Having been amplified in a pre-amplifier, the acoustic emission sensor output signals were fed into the input of LOCAN 320 acoustic emission localizer. This device has been designed to record and evaluate ultrasonic signals in the frequency domain. It can process signals coming from six measuring points at a time. Each event which has been picked up, can be characterized by following acoustic emission parameters: recording date and time, maximum value, energy, overshoot count, impulse rise time and mean frequency. The quantity relationship we have tracked is the amplitude versus time plot (in the diagram shown together with the force time development curves).

The specimens were loaded in a pressing machine. The acoustic response was picked up by piezoelectric sensors and subsequently fed into a PC via an Electronic Visuals EV 8060 oscilloscope. The sensitivity of the pick-up head was 20 mV/kg. The sensors were fixed to the specimen at specified points by means of bees' wax.

A measuring chain designed to record the various emission events was run in parallel to LOCAN measuring system. The sensor output voltage was amplified by a PA 15 preamplifier (with differential or single-ended input and selectable gain of 20 dB or 40 dB). Subsequently, it was fed into an amplifier equipped with an AM 22 set of filters.

## MEASUREMENT RESULTS

The quantity relationship we are looking for is the amplitude versus time plot (in the diagram shown together with the force time development curves). Fig. 1-3 illustrates the different, easy-to-distinguish event phases in the material under test.

The A set (highest porosity level): The loading force is growing up progressively from the time  $t = 0$  (zero) seconds. The first event is recorded at  $t \sim 15$  s (this is the deformation phase, the material is compact). At  $t = 35$  seconds the material starts losing strength gradually, the force sets to fall – at this time, the maximum event count is recorded. The final phase (irreversible destruction of the specimen) takes place at  $t \sim 40$  seconds. The diagram end region (with an event dwell time) corresponds to the specimen post-destruction fall down after the sensor removal (zero loading force).

The B set (medium porosity level): the various events are distributed evenly over the whole time interval. The first event occurs at  $t \sim 0$  s. The loading force is growing up progressively (this is the deformation phase – the material is compact). The material strength is fading gradually. The force reaches its maximum at  $t = 25$  seconds. The highest event count occurs at  $t = 50$  s, which is

just before the final destruction phase (it occurred at about 52 s). The diagram end region (with an event dwell time) corresponds again to the specimen post-destruction fall down after the sensor removal (zero loading force).

The set C (lowest porosity level): Here, the events show the longest delay to occur. The loading force starts growing up at  $t = 0$  seconds again. The first event is recorded at  $t \sim 30$  s (this is the deformation phase, the material is compact). The material strength is fading gradually. The force reaches its maximum at  $t = 130$  seconds. The highest event count occurs at  $t = 150$  s, which is just before the final destruction phase (it occurred at about 160 s). The diagram end region (with an event dwell time) corresponds again to the specimen fall down after the sensor removal (zero loading force).

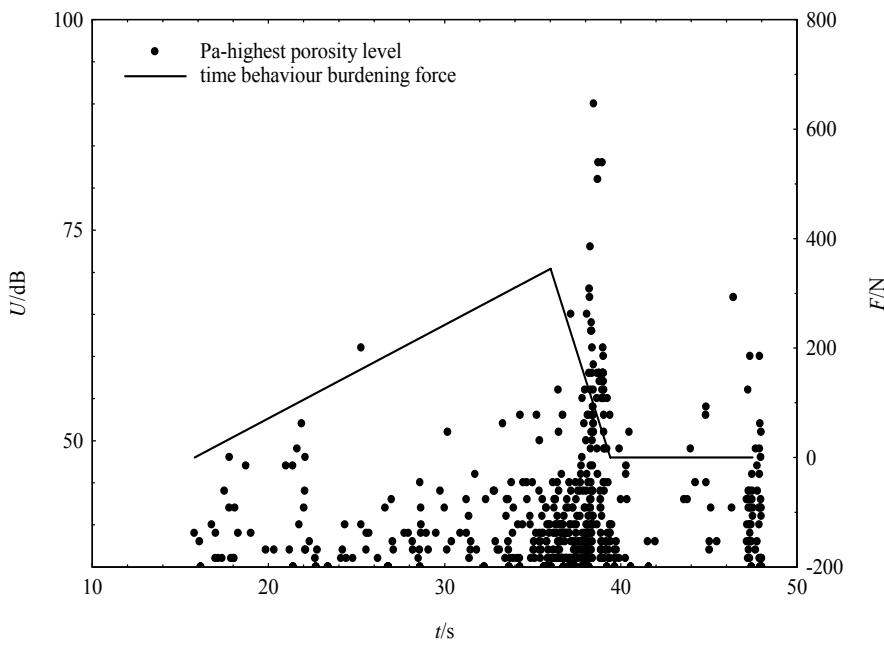


Fig. 1. Amplitude and loading force versus time plots for cementing compound - porosity level Pa

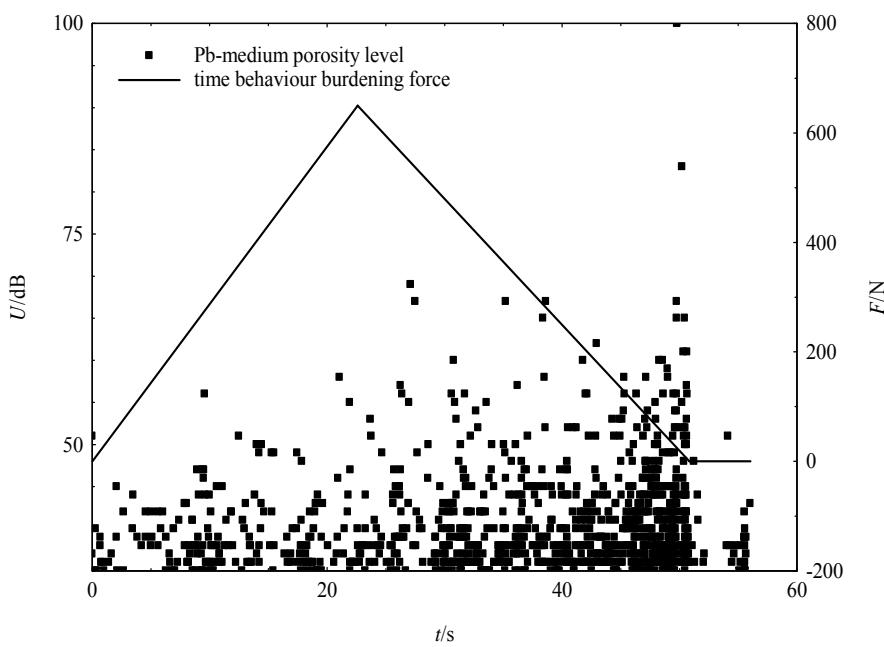
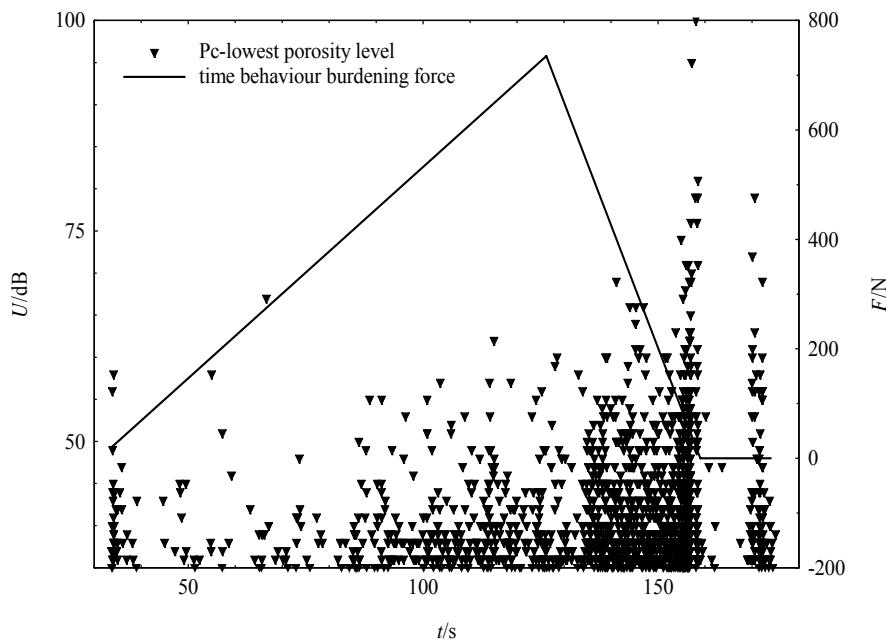
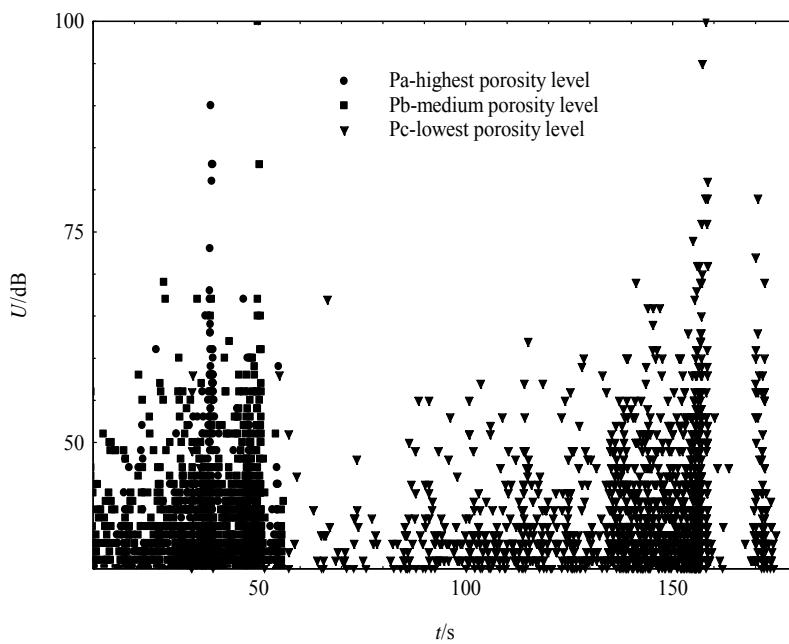


Fig. 2 Amplitude and loading force versus time plots for cementing compound - porosity level Pb



*Fig. 3. Amplitude and loading force versus time plots for cementing compound - porosity level  $P_c$*

Although the various force versus time diagrams differ from each other, the next diagram (Fig. 4) can be taken as indicative for the event times, from the first occurrence up to the destruction. It shows the mean amplitudes  $U$  for the different sets (this diagram is to be considered a rough estimate only).



*Fig. 4 Amplitude versus time plots for cementing compounds of porosity levels  $P_a$ ,  $P_b$ ,  $P_c$*

## CONCLUSION

The acoustic emission method was successfully used to verify the results obtained by the impedance spectroscopy method application. Characterization of the set cement specimens showing

different porosity levels was carried out. The resulting change in the frequency characteristics fits the assumption that the respective physical property changes are reflected in the impedance loss factor. The method reproducibility has proved to be very good.

## ACKNOWLEDGMENT

This research was conducted as part of a GAČR Project No 103/06/1711 a MSM0021630519. The author of this paper express their thanks for this support.

## REFERENCES

- [1] Kusák, I., Luňák, M., Schauer P.: *Aparatura pro testování metodou impedanční spektroskopie*, in: Workshop NDT 2004, Non-Destructive Testing, 1.12.2004, ed. by Brno University of Technology, 2004, 99-101, ISBN 80-7204-371-4
- [2] Luňák, M., Kusák, I., Schauer P.: *Metoda Impedanční spektroskopie*, in: Workshop NDT 2004, Non-Destructive Testing, 1.12.2004, ed. by Brno University of Technology, 2004, 106-108, ISBN 80-7204-371-4
- [3] Kusák, I., Luňák, M., Schauer P.: *Závislost impedančního spektra cementotřískové desky cetris-basic na vlhkosti*, in: Workshop NDT 2005, Non-Destructive Testing, 30.11.2005, ed. by Brno University of Technology, 78-81, ISBN 80-7204-420-6
- [4] Pazdera, L. *Studium zatěžovaných stavebních materiál a konstrukcí metodou akustické emise*. Vědecké spisy VUT v Brně. VUTIUM Brno 1998.
- [5] Kusák, I.: *Impedanční spektroskopie keramiky různého složení*, in: Juniorstav 2006, 8. Odborná konference doktorského studia, 25.1.2006, ed. by Brno University of Technology, 79-84, ISBN 80-214-3112-1

# KVANTOVÁ HADRODYNAMIKA

## Jozef Leja

Strojnícka fakulta STU, Námestie slobody 17, Bratislava 812 31

Stavebná fakulta STU, Radlinského 11, Bratislava 813 68

jozef.leja@stuba.sk

### Abstrakt:

Príspevok sa zaoberá stručným úvodom do kvantovej hadrodynamiky. Základné princípy a vlastnosti kvantovej hadrodynamiky sú vysvetlené na jednoduchom modeli QHD-I.

## ÚVOD

Moderná experimentálna technika umožňuje súmať štruktúru a vlastnosti atómových jadier pri veľmi vysokých energiách kedy relativistické efekty nemôžu byť zanedbané. Preto je úlohou teoretickej jadrovej fyziky vytvoriť relativistický model atómového jadra, ktorý je schopný tieto efekty opísat'. Jednou z možností je kvantová hadrodynamika, ktorá je relativistickou kvantovo-poľovou teóriou v ktorej nukleóny vystupujú ako relativistické častice opísané Diracovou rovnicou a vzájomne interagujúce výmenou mezónov.

## QHD-I

Kvantová hadrodynamika vo svojej najjednoduchšej forme označovanej QHD-I obsahuje nasledujúce polia:

- nukleónové pole ( $\psi$ ) opisujúce protóny a neutróny,
- skalárne mezónové pole ( $\phi$ ) vytvarajúce príťažlivú zložku jadrovej interakcie,
- vektorové mezónové pole ( $V^\mu$ ) vytvarajúce odpudivú zložku jadrovej interakcie.

Dynamika systému je daná hustotou Lagrangiánu, ktorá obsahuje členy pre voľné nukleónové a mezónové polia a interakčné členy medzi nukleónovým poľom a mezónovými poliami

$$\mathcal{L} = \bar{\psi} \left[ \gamma_\mu \left( i\partial^\mu - g_V V^\mu \right) - (M - g_S \phi) \right] \psi + \frac{1}{2} \left( \partial_\mu \phi \partial^\mu \phi - m_S^2 \phi^2 \right) - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \frac{1}{2} m_V^2 V_\mu V^\mu + \delta \mathcal{L}. \quad (1)$$

Tenzor vektorového mezónového poľa je definovaný ako

$$F_{\mu\nu} \equiv \partial_\mu V_\nu - \partial_\nu V_\mu.$$

Pohybové rovnice pre jednotlivé polia vyplývajú z Euler-Lagrangeových rovníc

$$\frac{\partial}{\partial x^\mu} \left[ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial q_i / \partial x^\mu)} \right] - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_i} = 0. \quad (2)$$

Pohybovou rovnicou pre nukleónové pole je Diracova rovnica

$$\left[ \gamma_\mu (i\partial^\mu - g_V V^\mu) - (M - g_S \phi) \right] \psi = 0. \quad (3)$$

Pohybovou rovnicou pre skalárne mezónové pole je Klein-Gordonova rovnica

$$(\partial_\mu \partial^\mu + m_S^2) \phi = g_S \bar{\psi} \psi. \quad (4)$$

Pohybovou rovnicou pre vektorové mezónové pole je Prokova rovnica

$$\partial_\mu F^{\mu\nu} + m_V^2 V^\nu = g_V \bar{\psi} \gamma^\nu \psi. \quad (5)$$

Pre tenzor energie-hybnosti

$$T_{\mu\nu} = -g_{\mu\nu} \mathcal{L} + \frac{\partial q_i}{\partial x^\nu} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial (\partial q_i / \partial x_\mu)}$$

po dosadení hustoty Lagrangiánu dostávame

$$T_{\mu\nu} = \frac{1}{2} \left( -\partial_\lambda \phi \partial^\lambda \phi + m_S^2 \phi^2 + \frac{1}{2} F_{\lambda\sigma} F^{\lambda\sigma} - m_V^2 V_\lambda V^\lambda \right) g_{\mu\nu} + i \bar{\psi} \gamma_\mu \partial_\nu \psi + \partial_\mu \phi \partial_\nu \phi + \partial_\nu V^\lambda F_{\lambda\mu}. \quad (7)$$

Z tenzoru energie-hybnosti môžeme vypočítať tlak

$$p = \frac{1}{3} \langle T_{ii} \rangle \quad (6)$$

a hustotu energie systému

$$\mathcal{E} = \langle T_{00} \rangle.$$

## ZÁVER

Kvantová hadrodynamika sa v posledných dvoch desaťročiach ukázala vhodnou teóriou na opis atómových jadier pri extrémnych podmienkach. Takéto podmienky nastávajú v experimentoch pri relativistických zrážkach těžkých iónov alebo v prírode pri explózií supernovy. Kvantová hadrodynamika je tiež úspešná pri opise atómových jadier pri bežných podmienkach a dnes je často používaná na výpočty vlastností a štruktúry jadier od najľahších jadier až po supertěžké jadra.

## POĎAKOVANIE

Práca bola podporená grantom VEGA 2/7117/07.

## LITERATÚRA

- [1] B. D. Serot and J. D. Walecka: The Relativistic Nuclear Many-Body Problem, *Adv. Nucl. Phys.* 16 (1986) 1
- [2] B. D. Serot: Quantum Hadrodynamics, *Rep. Prog. Phys.* 55 (1992) 1855
- [3] B. D. Serot and J. D. Walecka: Recent Progress in Quantum Hadrodynamics, *Int. J. Mod. Phys. E* 6 (1997) 515
- [4] J. D. Walecka: *Theoretical Nuclear and Subnuclear Physics*, World Scientific 2004
- [5] L. N. Savushkin and H. Toki: *The Atomic Nucleus as a Relativistic System*, Springer 2004

# PŘESNOST MĚŘENÍ METODOU IMPEDANČNÍ SPEKTROSKOPIE

Miroslav Luňák

Ústav fyziky Stavební Fakulty VUT v Brně, Veveří 17, 602 00, Brno, Česká republika,  
[lunak@dp.fce.vutbr.cz](mailto:lunak@dp.fce.vutbr.cz)

## Abstrakt:

Zpracování dílčích dat při diagnostice metodou IS za účelem vyhodnocení absolutní chyby a relativní chyby(odchylky) hodnot ztrátového činitele ukazuje použitelnost částí spekter, pouze do vyšších frekvencí. Pro použití IS s přístroji Agilent 33220A a Agilent 54645A je nejzávažnějším faktorem z hlediska přesnosti určení  $\text{tg}\delta(f)$  přesnost měření fázového posuvu mezi budícím signálem a signálem za měřenou soustavou. Dále přesnost určení elektrické kapacity a odporu ve vstupní části kanálu osciloskopu. Příspěvek se zabývá metodikou, vyčíslením a srovnáním odchylek pro dva druhy keramického střepu.

## ÚVOD

Realizace impedančních měření je možná specializovanými zařízeními(Agilent 4294A, 4284A), která jsou ve většině případů náročná na pořizovací cenu. V některých případech je možné provádět impedanční měření alternativními bloky zařízení, které sestávají z generátoru budícího signálu, záznamového zařízení a zařízení na zpracování dat. Na Stavební Fakultě VUT v Brně jsem realizoval impedanční měření s generátorem elektrického napětí sinusového průběhu, dvoukanálového osciloskopu a PC. Doposud byla získána experimentální data v podobě spekter ztrátového činitele v závislosti na frekvenci a odvozovány další frekvenční a impedanční závislosti.

Na různých materiálech byla ověřena reproducibilnost měření. Ze vzájemných odchylek bodů získaných spekter bylo usuzováno na absolutní chybu hodnoty získané fyzikální veličiny frekvenčního spektra. Podle pozorovaných odchylek byla konstatována reliabilita získaných měření ve frekvenčních intervalech. Absolutní chyba měření nebyla z přesnosti vstupních veličin doposud určována.

Hodnota ztrátového činitele je určována ze vzorce:

$$\text{tg}\delta = \frac{1}{\text{tg}\varphi_1} \quad (1)$$

Kde:

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \arctg \frac{\sin \varphi}{\frac{U_2}{U_1} - \cos \varphi} \quad (2)$$

Kde  $\varphi$  je fázový rozdíl mezi napětím  $U_1$  a  $U_2$  budícího a utlumeného signálu za vzorkem,  $\varphi_1$  – fázový posuv mezi vektory napětí a proudu vyšetřované impedance,  $\varphi_2$  – fázový posuv mezi vektory napětí a proudu impedance, tvořené elektrickým odporem  $R$  a kapacitou  $C$  vstupní části kanálu osciloskopu, při frekvenci budícího signálu  $f$ .

$\varphi_2$  se určí:

$$\varphi_2 = \arctg \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot R \cdot C} \quad (3)$$

Hodnoty  $f$ ,  $\phi$ ,  $U_1$  a  $U_2$  jsou určeny z aritmetického průměru měřené veličiny, kde počet opakování měření lze nastavit v softwaru pro automatizované měření s přístroji generátor Agilent 33220A, osciloskop Agilent 54645A, PC. V souladu se Z.Horák: Praktická fysika se následně určí absolutní chyba  $\text{tg } \delta$  jednotlivých bodů frekvenčního spektra:

$$\delta_A(\text{tg } \delta) = \sqrt{\left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial f} \cdot \delta_A(f) \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial R} \cdot \delta_A(R) \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial C} \cdot \delta_A(C) \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial \varphi} \cdot \delta_A(\varphi) \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial U_2} \cdot \delta_A(U_2) \right)^2 + \left( \frac{\partial \text{tg } \delta}{\partial U_1} \cdot \delta_A(U_1) \right)^2} \quad (4)$$

Kde  $\delta_A(f)$  je absolutní chyba určení frekvence, vstupující do výpočtu. V prováděných měření jsou definovány tyto hodnoty absolutní chyby veličin  $f$ ,  $\phi$ ,  $U_1$  a  $U_2$ ,  $R$ ,  $C$ :

$\delta_A(f) = \text{aritmetický průměr naměřené frekvence}/10000 \dots \text{Hz}$

$\delta_A(R) = R/100$  (odpovídá přesnosti 1%)  $\dots \Omega$

$\delta_A(C) = C/100$  (odpovídá přesnosti 1%)  $\dots \text{F}$

$\delta_A(\varphi) = 1$   $\dots \text{stupeň}$

$\delta_A(U_2) = 0,0035/\sqrt{5}$  (odpovídá přesnosti určení amplitudy a 5 opakováním měření)  $\dots \text{V}$

$\delta_A(U_1) = 0,0035/\sqrt{5}$  (odpovídá přesnosti určení amplitudy a 5 opakováním měření)  $\dots \text{V}$

Označme absolutní chybu ztrátového činitele výrazem CHYBA a druhé mocniny výrazů v závorkách pod odmocninou vztáhneme k daným proměnným a označíme FREQ, CAPAC, REZIST, PHAS, UDVA, UJEDNA. Hodnoty výrazů budou vyčísleny a pro diskusi zobrazeny v grafech jejich odmocniny. Dále srovnáme zastoupení odchylky s hodnotami ztrátového činitele pro dva odlišné vzorky keramického střepu. Výpočty parciálních derivací ve výrazu 4 byly provedeny v systému Mathcad.

## SLOŽENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH VZORKŮ

Vzorky keramiky byly zhotoveny za použití Chvaletického popílku s teplotou výpalu  $1050^{\circ}\text{C}$ . Ztráty způsobené výpalem 11,2 %. Objemová hmotnost  $\sim 2005 \text{ kg.m}^{-3}$ . Nasákovost 7,5 %. Pevnost v ohybu 24,7 MPa. Granulometrie cca 5 % na síť 0,063 mm. Vzorky keramického střepu se liší přídavkem:

**Bentonit** ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) - jíl. Je to bílý až žlutobílý práškový materiál se specifickým chemickým složením. V keramickém průmyslu je užíván jako plastifikátor keramických hmot. Pro práci je použit neaktivovaný bentonit, tj. přirodně obsažené vápenaté a hořečnaté ionty nejsou nahrazeny aktivací ionty sodnými. Sypná hmotnost  $936 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $\text{pH} = 8,7$ . Přídavek 5% bentonitu.

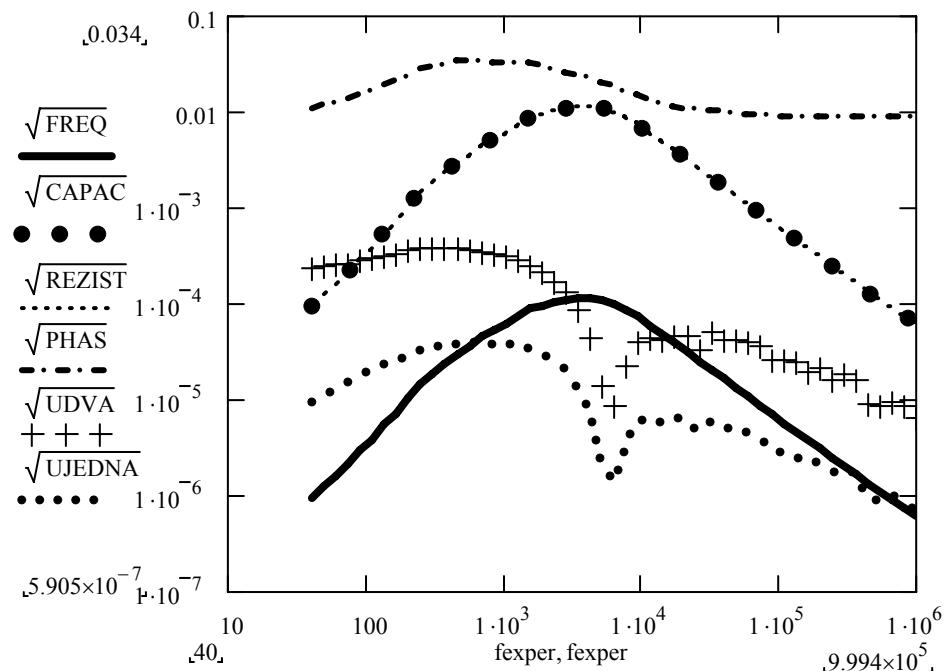
**Vodní sklo** - pro vytváření vzorků bylo použito **sodné vodní sklo**  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  se silikátovým modulem 1,6 a hustotě  $1560 \text{ kg.m}^{-3}$  (KOMA a.s.).

Vzorky byly vkládány mezi mosazné deskové elektrody a testovány metodou IS.

## DISKUSE

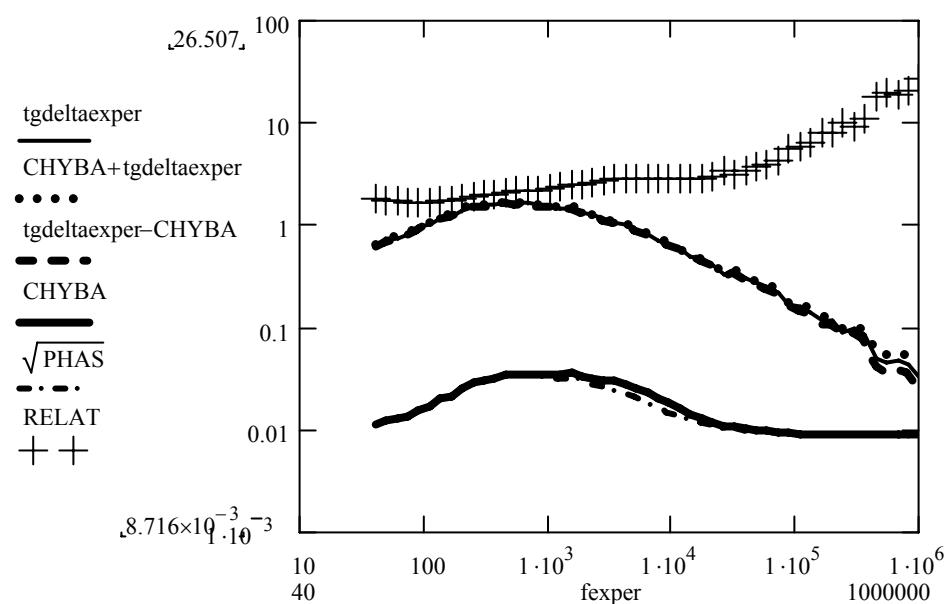
V grafu na obrázku 1 a 3 se nachází hodnoty odmocnin výrazů FREQ, CAPAC, apd. U keramického střepu s 5% bentonitu (obrázek 1) nabývají nejvyšších hodnot výrazy, zastupující vliv přesnosti určení fáze mezi  $U_1$  a  $U_2$  na celkovou absolutní chybu ztrátového činitele. V oblasti frekvencí  $10^3$  až  $10^5 \text{ Hz}$  se zvyšuje podíl přesnosti určení elektrické kapacity a odporu, vstupní části

kanálu osciloskopu, zahrnující kapacitu elektrod a koaxiálního vedení. Zbylé výrazy nabývají zanedbatelných hodnot.



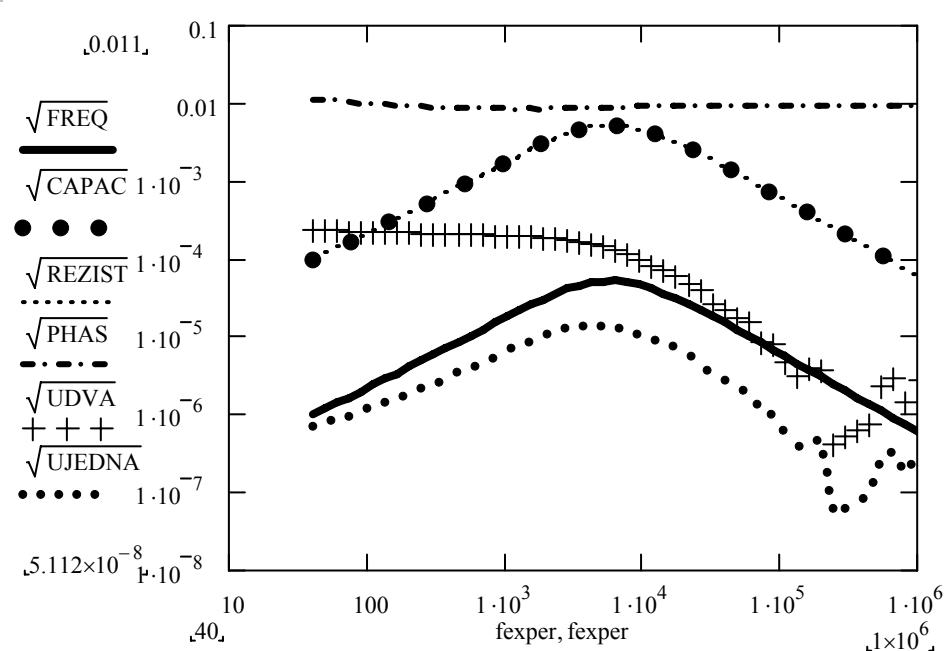
OBRÁZEK 1

Graf hodnot odmocnin výrazů FREQ, CAPAC, REZIST, PHAS, UDVA, UJEDNA pro keramiku s přídavkem 5% bentonitu. Vztaženo k exper. frekvenci, jednotky vyneschány.



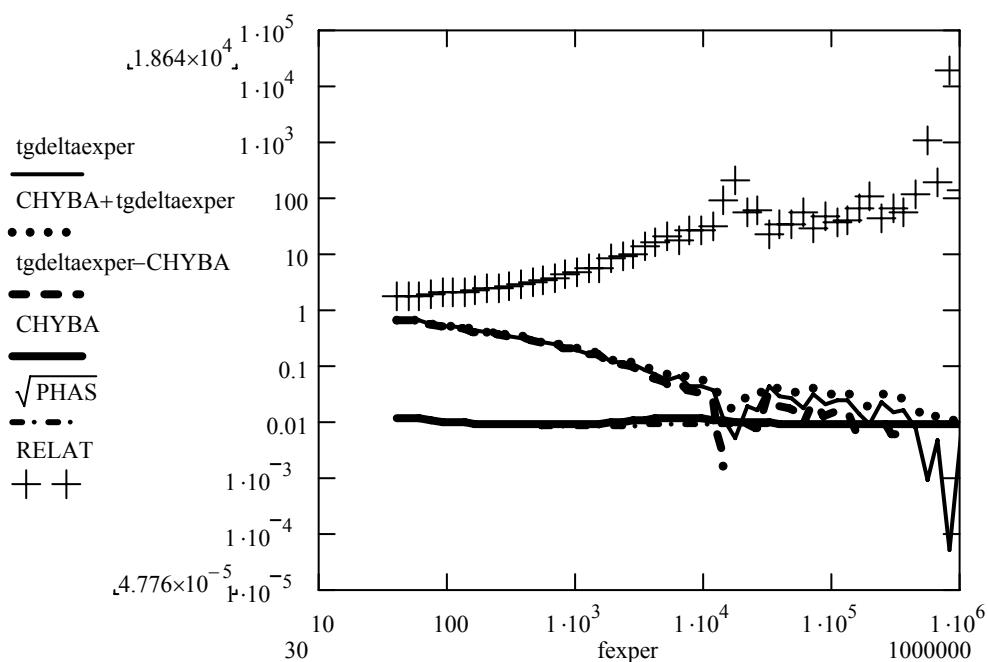
OBRÁZEK 2

Graf hodnot ztrátového činitele v závislosti na frekvenci a jeho absolutní a relativní chyby pro frekvenční spektrum pro keramiku s přídavkem 5% bentonitu. Vztaženo k exper. frekvenci, jednotky vyneschány.



OBRÁZEK 3

Graf hodnot odmocnin výrazů FREQ, CAPAC, REZIST, PHAS, UDVA, UJEDNA pro keramiku s přídatkem sodného vodního skla. Vztaženo k exper. frekvenci, jednotky vynechány.



OBRÁZEK 4

Graf hodnot ztrátového činitele v závislosti na frekvenci a jeho absolutní a relativní chyby pro frekvenční spektrum keramiky s přídatkem sodného vodního skla. Vztaženo k exper. frekvenci, jednotky vynechány.

V případě keramického střepu s přídatkem sodného vodního skla nastává obdobná situace, hodnoty všech výrazů jsou však o několik řádů nižší.

Hodnoty ztrátového činitele a jeho absolutní chyby můžeme srovnat v grafech na obrázcích 2 a 4. U keramického středu s přídavkem bentonitu vidíme hodnoty ztrátového činitele, přesahující 1, absolutní chyba(CHYBA) určení ztrátového činitele je v intervalu 0,01 až 0,05. Hodnoty ztrátového činitel nezasahují v celém frekvenčním spektru do tohoto intervalu. CHYBA pozvolna roste a pro hodnoty  $\text{tg}\delta$  nižší než 0,1 přesahuje 10%. Obálka křivky  $\text{tg}\delta(f)$ , vytvořená přičtením a odečtením absolutní chyby k hodnotám ztrátového činitele, tvoří úzký pás, rozšiřující se až v oblasti nejvyšších frekvencí.

Spektrum  $\text{tg}\delta(f)$  pro keramiku s přídavkem sodného vodního skla má klesající charakter, hodnoty jsou nižší než 0,7. Hodnoty CHYBY pro tento materiál neklesají pod 0,01, jsou však výrazně nižší než u keramiky s bentonitem. Ztrátový činitel na obrázku 4 nabývá velmi nízkých hodnot, blízkých hodnotě absolutní chyby. Důsledkem je rostoucí hodnota relativní chyby. Z hodnot relativní odchylky lze usoudit na reliabilitu hodnot ztrátového činitele a použitelnost experimentálních dat v různých částech frekvenční škály.

## ZÁVĚR

Zpracování dílcích dat při diagnostice metodou IS za účelem vyhodnocení absolutní chyby a relativní chyby(odchylky) hodnot ztrátového činitele ukázalo použitelnost části spekter, pouze do vyšších frekvencí (znázorněno v obrázcích). Pro použití IS s uvedenými přístroji je nejzávažnějším faktorem z hlediska přesnosti určení  $\text{tg}\delta(f)$  přesnost měření fázového posuvu mezi budícím signálem a signálem za měřenou soustavou. Dále přesnost určení elektrické kapacity a odporu ve vstupní části kanálu osciloskopu.

V tomto článku byla srovnána odlišná spektra  $\text{tg}\delta(f)$  a přesnost jeho určení pro dva vzorky keramického středu. Odlišné hodnoty vykazovaly také odlišné hodnoty směrodatné odchylky, v tomto případě úměrné hodnotám ztrátového činitele.

Závěrem lze konstatovat, že měření metodou IS s použitím generátoru Agilent 33220A, osciloskopu Agilent 54645A s deskovým elektrodovým systémem lze považovat za vyhovující, neklesne-li hodnota ztrátového činitele pod 0,1.

## PODĚKOVÁNÍ

This research has been conducted at the Department of Physics as part of the research projects GA103/06/1711, 103/06/0708 and MSM 0021630519.

## LITERATURA

- [1] Luňák, M., Kusák, I., Schauer P.: Metoda Impedanční spektroskopie, in: Workshop NDT 2004, Non-Destructive Testing, 1.12.2004, ed. by Brno University of Technology, 2004, 106-108, ISBN 80-7204-371-4
- [2] Luňák M., Kusák, I., Schauer P.: Impedance measurement instruments, in: Proceedings of International Workshop 2005, 13-15.9.2005, ed. by Prague University of Technology, 93-95, ISBN 80-01-03290-6
- [3] Luňák, M., Kusák, I.: Aplikace pro charakterizaci metodou impedanční spektroskopie, in: Workshop NDT 2006 Non-Destructive Testing in Engineering Practice, 29.11.2006, ed. by Brno University of Technology, 2006, 104-108, ISBN 80-7204-487-7

# MEASURING LONGITUDINAL WAVE SPEED IN ALUMINUM BAR

Jan Martinek, Lydie Špaňhelová

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology,  
Veverí 95, 602 00, Brno, honza@dp.fce.vutbr.cz*

## Abstract

In this article there is described a method for measuring longitudinal wave speed in aluminum bar using ordinary computer with a microphone attached. Axial impact on one end of a bar created standing wave whose sound was detected by microphone. Software recorded signal and calculated spectrum using FFT routine, found position of highest peak and displayed a graph for manual measurement of peak width for error estimation. The bar was balancing on tip of needle supporting the bar at its midpoint. That is why only odd harmonics were found in the spectrum. The velocity of sound together with known density of the material can be used for calculating Young's modulus of tension. Both mechanical properties, speed of sound and Young's modulus have been found very close to correct value.

## 1. Introduction

It is possible to deduce that longitudinal wave speed in elastic medium can be calculated as

$$c = \sqrt{\frac{E}{\varrho}} \quad \Rightarrow \quad E = \varrho c^2$$

where  $E$  is Young's modulus of elasticity in tension and  $\varrho$  is a density of material. Let's consider a long thin bar of length  $l$ . The wave can travel in both directions along the bar and if wave traveling forward interferes with wave traveling backwards, the result is standing wave. As seen on figure (1) there are points which do not oscillate at all and stay motionless (the nodes) and on the other hand there are points with greatest amplitude (anti-nodes).

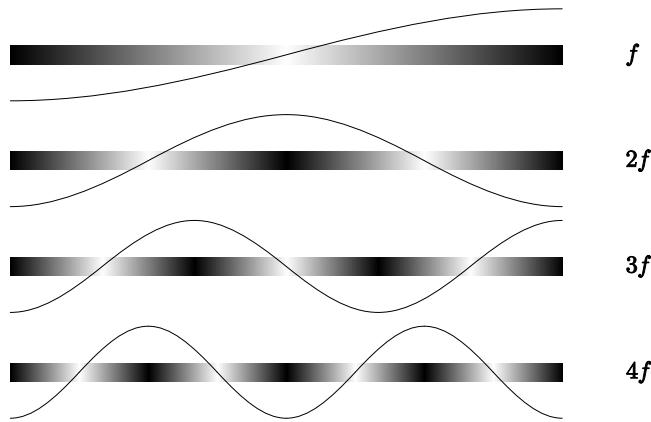
If the bar is free and does not interact with environment, then at the ends must be anti-nodes. Such condition can be fulfilled by many modes of oscillation which differ in frequency and wavelength. The fundamental mode has lowest frequency, one node in the middle and anti-nodes at the ends. The wavelength is  $l/2$  so the frequency is

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l} \quad \Rightarrow \quad c = 2lf$$

All higher harmonic modes will have frequency multiple times the fundamental frequency ( $f, 2f, 3f, 4f, \dots$ ). It can be seen in spectrum as equidistant peaks. If the bar is fixed in the middle, then all even harmonics will be quickly damped and only the odd harmonics ( $f, 3f, 5f, 7f, \dots$ ) will be detected.

From previous two expressions we can conclude the formula for Young's modulus  $E$ :

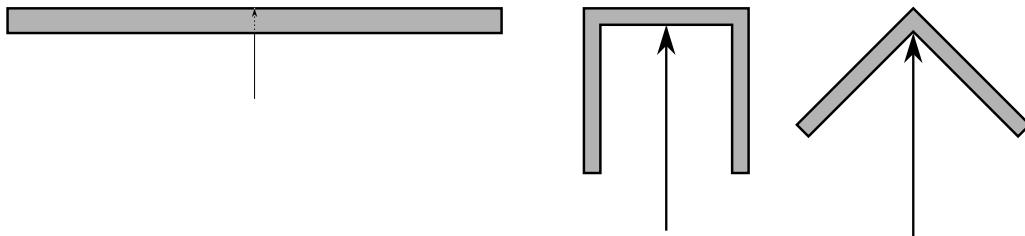
$$E = 4\varrho l^2 f^2$$



*Figure. 1: At the ends of the bar there are anti-nodes. The bar can oscillate in many modes, but it is supported in the middle so the even harmonics are quickly damped. Note that the sinus-like curve does not represent bending of the bar, but axial displacement.*

where  $f$  is the frequency of fundamental mode (the lowest peak). Of course, the higher harmonics can be used too, but the frequency must be divided by order of harmonics.

The bar should be carefully supported so that the oscillations are not influenced. We have used needle tip placed in the midpoint of the bar. Longitudinal wave propagation does not depend on shape of cross section of the bar. The shapes of cross sections have been chosen so that the bar could stand motionless on needle tip which represents a support at midpoint where node of odd harmonics is expected.



The bar stays in stable equilibrium because center of gravity of the bar is exactly below the tip of needle. Any slight disbalance results in rise of force momentum which restores the bar back into horizontal position.

## 2. Material and methods

We have used five aluminum alloy bars of different lengths. Also, two different cross sections were used – "L" shape and "U" shape which we will refer to as  $\wedge$  and  $\square$ , respectively. In one of them (the  $\wedge$  shape), nine holes were drilled. One bar has been measured and cut in two parts thereafter. Those parts were measured too for comparison. It is evident that all three bars are made from the same alloy so the material properties are same.

After balancing the bar on tip of the needle longitudinal standing wave was created by axial impact with tiny metal hammer. The impact must not be too strong because to prevent the bar from motion. At the other end of the bar there was electret microphone at very close vicinity (less than 1 cm). The microphone was attached to sound card of a computer. The software

recorded and analysed the sound. The result was displayed on graph with spectrum and the program also found the frequency of highest peak. Note that the highest peak does not always represent the fundamental mode and further analysis is needed.

The program also has the possibility to zoom the graph so that width of each peak can be estimated by mouse cursor. The peak width was measured in half maximum (*FWHM*) which represents error of frequency. From the frequency we have calculated speed of sound in the bar as well as the Young's modulus of tension.

The density of aluminum alloy has been assigned to ( $\varrho = 2700 \text{ kg m}^{-3}$ ) but we do not know the value exactly. But all the bars were made from the same material so we believe the density is constant. The error of density is neglected.

### 3. Results

The results from measurement are set forth in the table below:

$l$ (m)	$f$ (Hz)	$FWHM$ (Hz)	$c$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$E$ (GPa)	remark
0.600	4168	2	$5000 \pm 20$	$67.5 \pm 0.5$	$\wedge$ , cut in two parts, see below
0.177	14150	2	$5010 \pm 60$	$68 \pm 2$	$\wedge$ first part
0.421	5919	2	$4980 \pm 20$	$67.1 \pm 0.6$	$\wedge$ , second part
0.480	7125	1.5	6840???	126???	$\wedge$ , drilled holes, nonsense
1.998	6225	1.2	$4980 \pm 30$	$66.9 \pm 0.1$	$\square$ , fifth harmonics

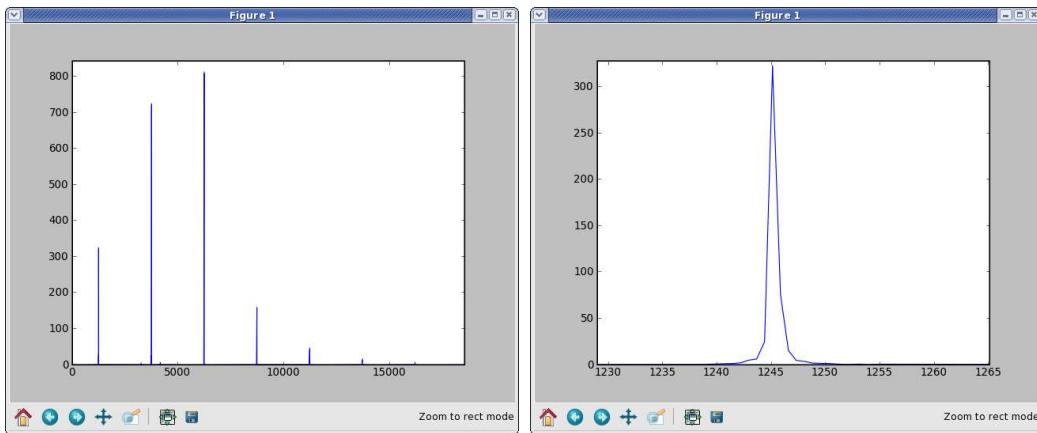


Figure. 2: On the left side there is a screenshot of the program showing the whole spectrum found in oscillating two-meter aluminum bar. On the x axis there is frequency and on the y axis there is energy density in df. The even harmonics are damped. The highest peak is at third harmonics. The highest detected frequency peak corresponds to thirteenth harmonics. On the right side there is zoom of fundamental peak  $f = 1245 \text{ Hz}$ .

Measurement of frequency of oscillating bar has rather low relative error, because the peaks are narrow (*FWHM* is about two Hertz) and frequency is in order of kilohertz. Moreover, the damping is so low that the sound can be recorded for several seconds which in turn allows FFT resolution below one Hertz. As can be seen from the table, the error of frequency does not depend on the frequency itself. It means, the higher frequency, the lower relative error. On the other hand, higher frequency is achieved in shorter samples where the relative error of length increases.

#### 4. Conclusion

Table value of Young's modulus of elasticity in tension of aluminum is 70.7 GPa and the speed of longitudinal waves is  $5110 \text{ m s}^{-1}$ . Unfortunately, the correct material properties of our alloy is not known but our results are close anyway. There is one exceptionally erroneous value. This value comes from measurement of a bar with several drilled holes which rendered the material inhomogeneous. This was measured just for testing purposes. Except this, the method is quite precise and gives reproducible results. The simplicity of experiment makes it suitable for students in laboratory exercises.

#### 5. Acknowledgments

This research has been supported by the Ministry of Education of the Czech Republic, under project GA103/06/1711 and GAČR 103/05/H044.

## References

- [1] Lamb, H.: *The Dynamical Theory of Sound*, 2nd ed. (London: Edward Arnold, 1925), Chapter IV.
- [2] Brdička M., Samek L., Sopko B., *Mechanika kontinua*, Academia Praha 2000, 2<sup>th</sup> edition, ISBN 80-200-07772-5
- [3] Hunter S.C.: *Mechanics of Continuous Media*. Ellis Horwood, Ltd. Chichester, U.K. 1976
- [4] Morse P.M.: *Vibration and Sound*, 2<sup>th</sup> edition, New York–Toronto–London, 1948

# SIMPLE ALGORITHM FOR PEAK RECOGNITION IN FREQUENCY SPECTRUM

Jan Martinek

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology,  
Veverí 95, 602 00, Brno, honza@dp.fce.vutbr.cz*

## Abstract

In this article there is described a simple algorithm for peak recognition. It is primarily intended to be used for sound signal analysis. It is easy to find the highest value in spectrum, but the problem is to find other peaks. Then it is important to define what is considered to be a peak and what is the expected peak width (or FWHM, full width at half maximum). The peak usually has Gaussian "bell" shape but due to errors in measurement it also often contains noise. The noise prevents some naive algorithms to work properly because they may find many false maximums within one peak. The approach described in this article is based on Gaussian convolution smoothing of the whole spectrum which makes possible to find peak and its beginning and end. Then such interval is replaced by zeros and another peak can be found. The cycle goes on until desired number of peaks is found.

## 1. Introduction

In acoustic signal analysis there is often a requirement to find frequencies that are present in the recorded sound. Position of frequency peaks can give useful information about oscillating system. For example, it can be used as musical instruments tuner which finds dominant frequency and recalculates it to tone name. Another example is a measurement of Young's modulus in tension using longitudinal oscillation. Again, frequency peak found in the spectrum is a key parameter from which mechanical properties can be derived. Frequency inspection can also be used for measurement of rotating shaft's angular velocity.

In common situation we have a signal which represent data in time domain. Then if Fourier transformation is calculated, the result is frequency domain data which describe how energy is distributed in dependence on frequency. If in certain, usually narrow, interval is energy density significantly higher than in other areas, then we can see a peak in the spectrum. Global maximum of all the data in spectrum usually correspond to highest peak which is easy to find this way. The problem is if we want to find other peaks. The major peak is composed from many data points, the highest one, the second highest, the third highest and others which still belong to one peak. The other peaks can be found only if the algorithm skips the interval where some peak had already been found before. For this to be done, we must know the beginning and the end of each peak. Then the whole interval can be replaced by zeros so that none of the points can ever be a global maximum.

So the problem is reduced to searching for the beginning and the end of a peak if we know the position (index number) of its highest point. The algorithm presented here starts from top and searches point by point while increasing index number until value lower than half maximum is found. It corresponds to the right side of peak's half maximum. Then it starts again on top

but the direction is changed and values are tested while the index decreases and so left side of the peak is scanned. After that we have found the position of fwhm (full width at half maximum). This could be considered as peak's boundaries but usually it is too narrow.

## 2. Material and methods

Lines 1 through 5 are the very first initialization part. There is path to python interpreter, specification of UTF8 character set used in the source code, setting division to float (instead of default integer) and importing the modules that are used in the program. Lines 7 through 11 create a series of data which, if plotted on graph, look like several peaks of random height. The peaks are placed at 1000, 2000, 3000 and so on. At line 12 there is noise added to the data which should simulate real world measurement. Processing of noisy peaks can be hard and some level of smoothing can often be helpful. At lines 17 through 21 the data is smoothed using convolution. For this to be done, first the kernel function must be created. In our case there Gaussian shape was chosen. Gaussian function is evaluated in interval from  $-3$  to  $3$  in pre-defined number of steps. The more steps, the more smoothing effect. At lines 23 through 33 there is defined a function named `find_foothill()` which takes two parameters. First parameter is index number of top of the peak to be processed. Second parameter should have values  $-1$  or  $+1$  which means direction ( $-1$  is left,  $+1$  is right). The processing has been described in introduction and the return value is index number where the peak's "foothill" has been found. Lines 35 till the end of the source code represent cycle which finds five most major peaks and prints their position as well as width measured as distance between left and right foothill.

```

1  #!/usr/bin/python
2  # -*- coding:utf-8 -*-
3  from __future__ import division
4  from scipy import *
5  import pylab
6
7  N = 10000
8  t = arange(N)
9  data = zeros(N)
10 for p in 1000*arange(1,10):
11     data += random.random()*exp(-((t-p)/100)**2)
12 data += 0.2*random(N)
13
14 pylab.plot(t, data)
15 pylab.show()
16
17 Ng = 201 # How many points make the gaussian curve?
18 conv_shape_x = 3*(2*arange(Ng)/(Ng-1)-1) # range from -3 to 3 in Ng steps
19 conv_shape = exp(-conv_shape_x**2)
20 conv_shape = conv_shape/sum(conv_shape)
21 data = convolve(data, conv_shape, 'same')
22
23 def find_foothill(ipeak, step):
24     i = ipeak

```

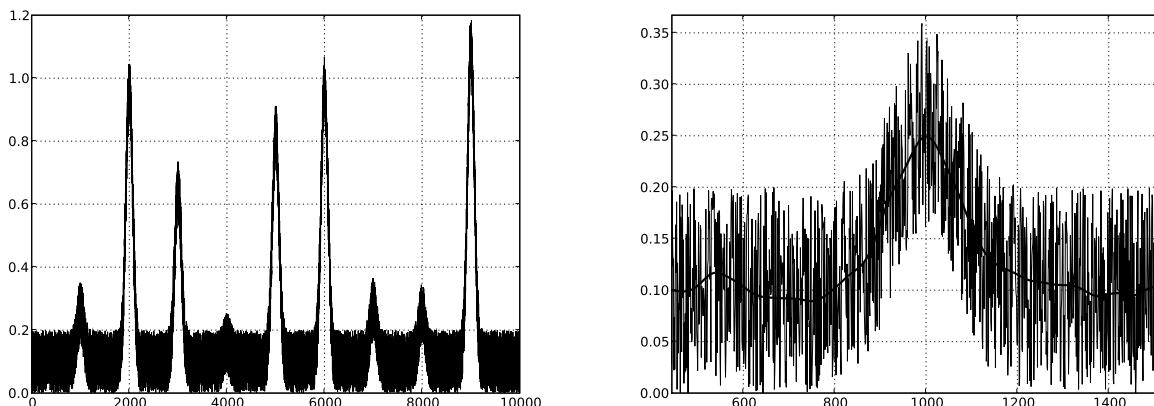
```

25     hm = data[i]/2 # half maximum
26     while True:
27         if i == 1 or i == N:
28             break
29         i += step
30         if data[i] < hm:
31             break
32     foothill = 2*i - ipeak
33     return foothill
34
35 for count in range(5):
36     ipeak = data.argmax()
37     print ipeak,
38     b = find_foothill(ipeak, -1) #peak begin
39     if b < 0: b = 0
40     e = find_foothill(ipeak, 1) #peak end
41     if e > N: e = N - 1
42     data[b:e] = zeros(e-b) #remove the peak
43     print e-b

```

### 3. Results

On the left side of the figure below there is plotted the generated data. You can see several peaks with noise. On the right side there is zoom of one peak and the thick line is the data after Gaussian convolution smoothing.



Unmodified version of the (201 steps in Gaussian kernel smoothing function) should print position of five highest peaks as well as the width. The output may look like this

9000 382  
8000 386

3997 428  
5998 410  
2998 436

In the data there are all peaks placed at multiple of one thousand (1000, 2000, 3000 etc.). As can be seen from the results, the peaks are found nicely with some error caused by the noise added to the data. For testing purposes different values in line 17 can be tried which determine how much the data will be smoothed.

#### 4. Conclusion

The algorithm for peak recognition described in this article has been successfully tested on simulated data containing pseudo random noise but also in real measurement for processing data acquired in acoustic signal measurement. The implementation is easy and straightforward thanks to the Python language and libraries SciPy and MatPlotLib.

#### 5. Acknowledgments

This research has been supported by the Ministry of Education of the Czech Republic, under project GA103/06/1711.

## References

- [1] Scipy homepage  
<http://www.scipy.org>
- [2] Wätzig H.: Peak recognition technique by a computer program copying the human judgment, *Chromatographia*, Vol. 33, 1992
- [3] Pazdera, L.; Smutný, J.; Topolář, L.; Bílková, J.; Kusák, I.; Luňák, M.; Mastinek, J., Using Fourier Transform to 1/f noise analysis of electric components, *Proc. of Physical and Material Engineering 2007*, ISBN 978-80-7204-537-2, CERM, Brno, 2007
- [4] Martinek, J., Fourier transform computing using FFTW library, *Proc. of Physical and Material Engineering 2006*, ISBN 80-227-2467-X, Slovakia, 2006

# VÝZKUM AKUSTICKÝCH METOD PRO NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ

**Michal Matysík & Iveta Plšková**

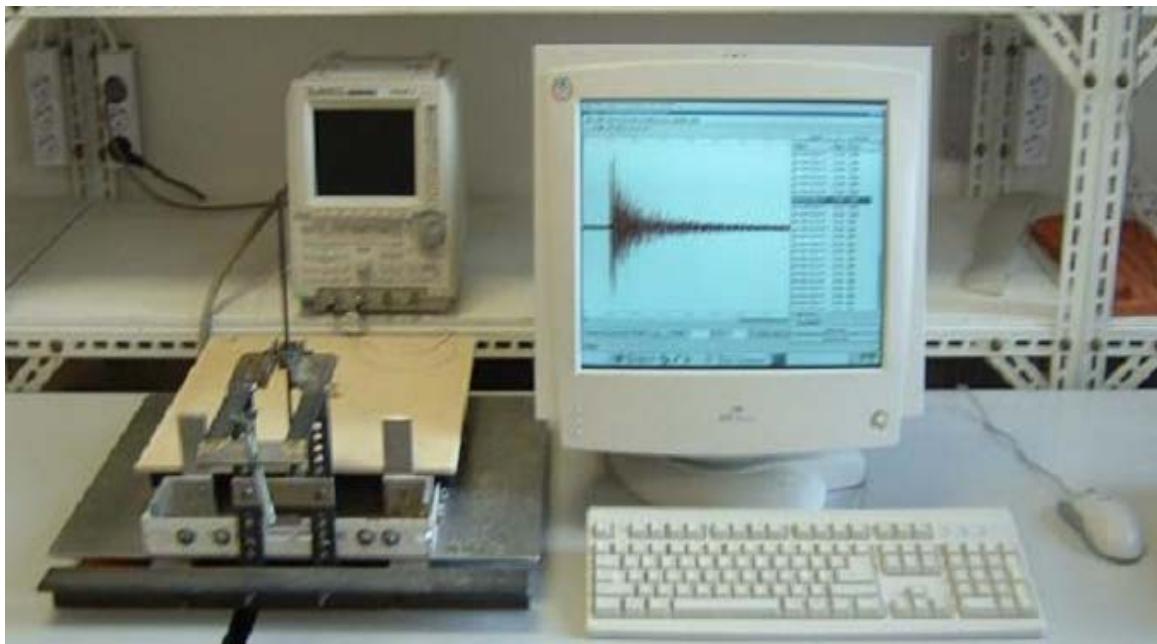
*Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Department of Physics,  
Žižkova 17, 602 00 Brno, Czech Republic, [plskova.i@fce.vutbr.cz](mailto:plskova.i@fce.vutbr.cz),  
matysik.m@fce.vutbr.cz*

## **Abstrakt:**

Nedestruktivní metody se ve stavebnictví používají řadu let. Tvoří nedílnou součást komplexu užívaných zkušebních metod. Při jejich správném uplatnění umožní širší a přesnější informace o materiálech i konstrukcích. Výhoda nedestruktivních metod proti metodám destruktivním je v tom, že výrobek po zkoušce zůstává v nezměněném stavu pro další využívání. Mezi nové perspektivní metody nedestruktivního hodnocení patří také nelineární ultrazvuková spektroskopie a akustická metoda impact-echo. Příspěvek se zabývá použitelností těchto metod pro testování keramických dlaždic degradovaných zmrazovacími cykly. Na dlaždice byla aplikována metoda nelineární akustické spektroskopie s jedním budícím signálem a metoda impact-echo.

## **METODA IMPACT - ECHO**

Metoda impact echo patří mezi metody umožňující detekci trhlin v homogenních i v nehomogenních materiálech. Vnější mechanický impuls (v našich experimentech se jednalo o úder kovového kladívka) vybudí ve vzorku harmonické vlnění, které je superponováno odraženými vlnami od strukturálních vad zkoumaného vzorku – trhlin a mikrotrhlin. Odezva, která je snímaná na povrchu vzorku piezoelektrickými snímači, obsahuje informaci o výskytu strukturálních vad. Je-li zkušební vzorek poškozen, dochází k disipaci energie na hranici poruch. To se projeví zvýšením útlumu signálu a zkreslením tvaru kmitů. Snímače jsou definovaně rozmištěny s respektem na geometrický tvar a akustický útlum měřeného tělesa. K zabezpečení dobrého akustického přenosu nanášíme mezi snímač a zkušební vzorek vrstvu média (např. vazelinu, vosk). Signály přicházející ze snímače jsou zesíleny, filtrovány a uloženy. Poté následuje analýza zaznamenaných signálů prostřednictvím metody matematické analýzy nazývané Fourierova transformace, která rozloží uložený signál do sinusových vln o různých frekvencích a převede signál z časové oblasti do frekvenční. Zaměřujeme se na vyskytující se dominantní frekvence ve Fourierově spektru, u kterých pozorujeme jejich změny - posun k nižším nebo vyšším hodnotám v jednotlivých etapách zatěžovacích zkoušek. Na obr. 1 je fotografie měřící aparatury pro akustickou metodu Impact-echo [3].

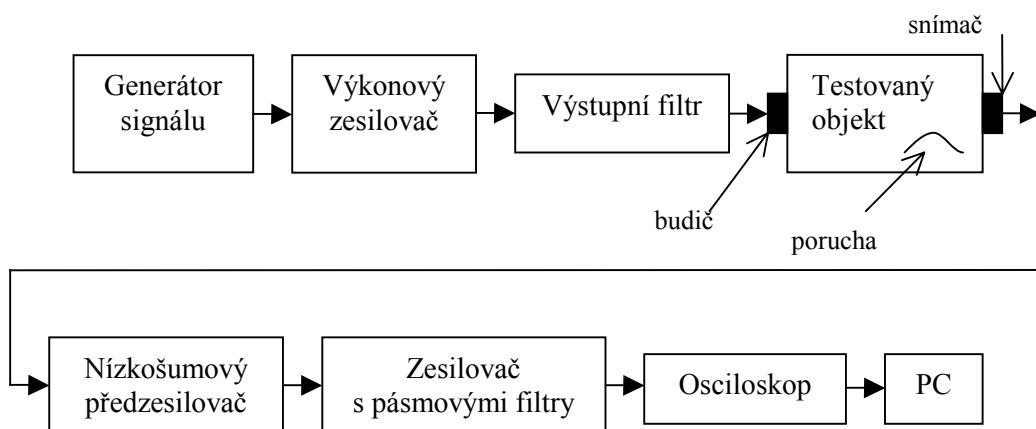


Obr. 1: Měřící aparatura pro metodu Impact-echo

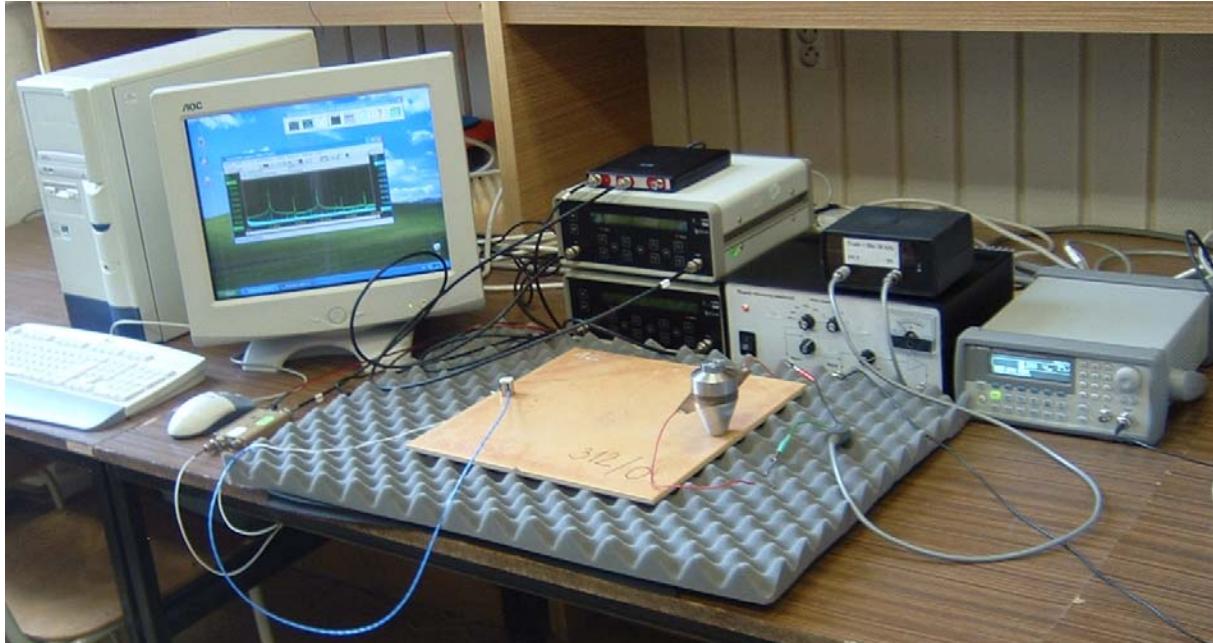
## NELINEÁRNÍ AKUSTICKÁ SPEKTROSKOPIE

Studiem dynamických nelinearit a hysterese v nehomogenním prostředí bylo zjištěno, že výskyt mezoskopických elementů ve struktuře materiálu vyvolává silné nelineární dynamické jevy při šíření elastických vln. Parametry charakterizující jednotlivé nelineární jevy se ukázaly být velmi citlivé na přítomnost jakýchkoliv nehomogenit a na rostoucí poškození struktury materiálu (vznik a rozvoj trhlin či mikrotrhlin, zvětšování pórů, atd.)

Na základě studia metod nelineární akustické spektroskopie byla navržena a sestavena měřící aparatura pro metodu s jedním budícím ultrazvukovým signálem. Blokové schéma měřicího zařízení je uvedeno na obr. 2. Skládá se ze dvou hlavních částí, vysílací a přijímací. Vysokofrekvenční budící měnič musí mít dobře definovanou frekvenční charakteristiku a na jeho vhodném umístění závisí do jisté míry citlivost metody. Senzor, případně více senzorů vhodně rozmístěných po povrchu zkoušeného tělesa, musí být širokopásmový s velmi dobře definovanou přenosovou charakteristikou. Na obr. 3 je fotografie měřicího zařízení s jedním budícím signálem [4].



obr. 2: Blokové schéma měřicího zařízení s jedním budícím signálem



*obr. 3: Fotografie měřícího zařízení s jedním budícím signálem*

### ZKUŠEBNÍ VZORKY

Keramické dlaždice o rozměrech  $33 \times 33 \times 0,9$  cm byly rozděleny do dvou souborů:

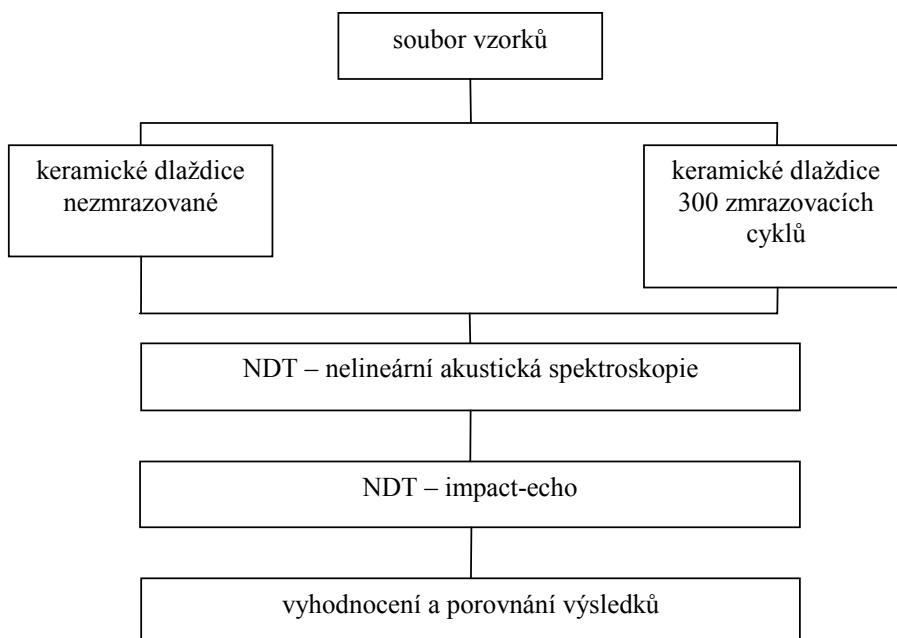
- první soubor – nezmrazované vzorky,
- druhý soubor – vzorky po 300 zmrazovacích cyklech,

Jednalo se o vysoko slinuté dlaždice, což jsou keramické slinuté neglazované nebo glazované mrazuvzdorné obkladové prvky s velmi nízkou nasákovostí (pod 0,5 %), označované podle ČSN EN 14 411 B Ia [1].

Metodika stanovení odolnosti proti mrazu byla realizována dle ČSN EN ISO 10545-12 [2]. Po nasycení vodou byly vzorky vystaveny střídavému působení teploty +5°C a -5°C. Vlivu zmrazování a rozmrazování byly vzorky vystaveny ze všech stran, celkem ve 300 cyklech.

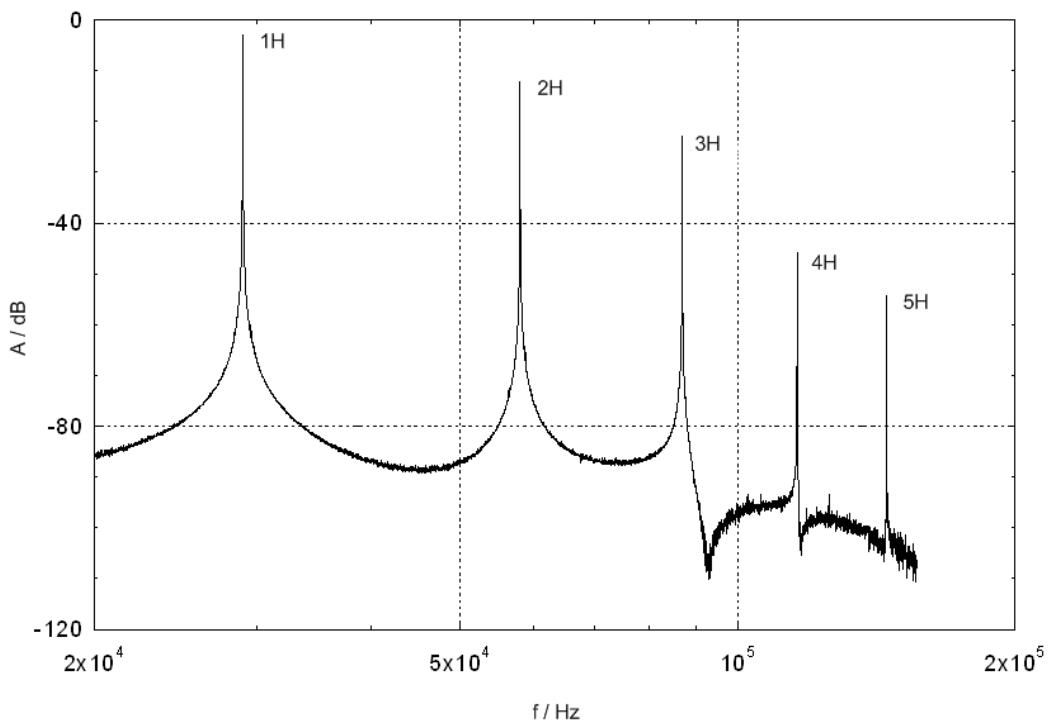
### EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Soubory zkušebních vzorků byly testovány metodou nelineární akustické spektroskopie s jedním budícím signálem a akustickou metodou impact-echo. Postup měření je schematicky uveden na obr. 4.



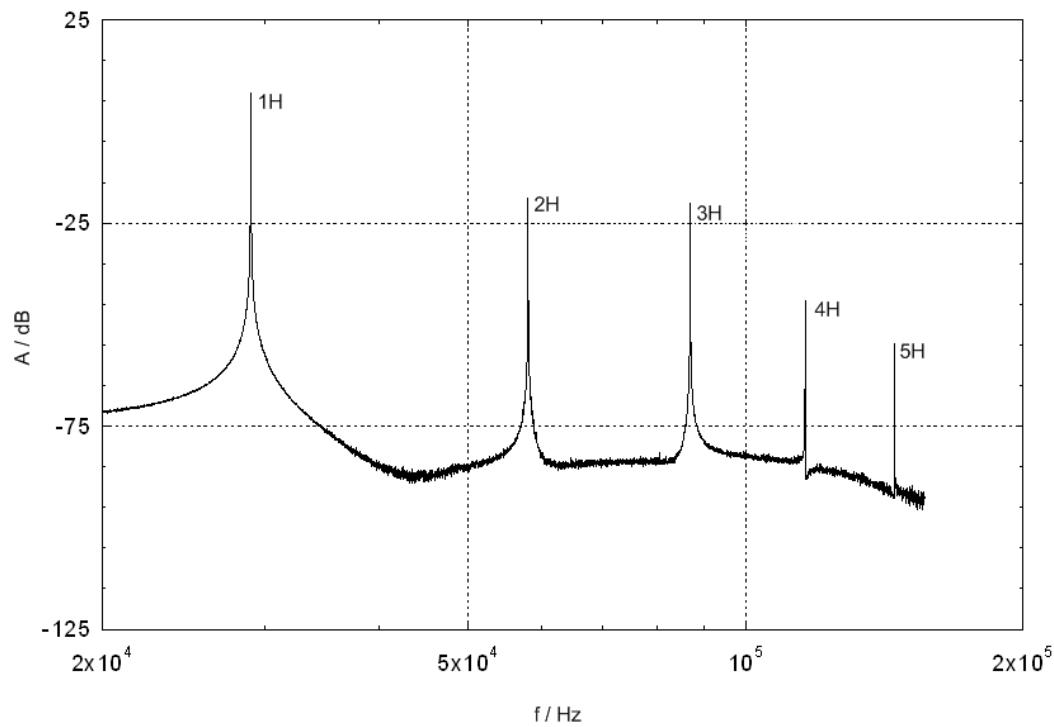
obr. 4: Schematický postup měření (keramické dlaždice)

První měření sestavy budič-vzorek-snímač bylo provedeno pro skupinu nepoškozených vzorků s budící frekvencí 29 kHz. Výsledky těchto měření reprezentuje vzorek dlaždice č. 311. Na obr. 5 je vyhodnoceno frekvenční spektrum zaznamenaného signálu, z něhož je patrný pokles amplitud vyšších harmonických frekvencí s rostoucím číslem n. Vyjádříme-li poměr mezi amplitudami první harmonické a vyšších harmonických, činí amplituda druhé harmonické 90,2 % první harmonické, amplituda třetí harmonické 79,4 % první harmonické, čtvrtá harmonická 55,1 % a pátá harmonická 47,7 % první harmonické.



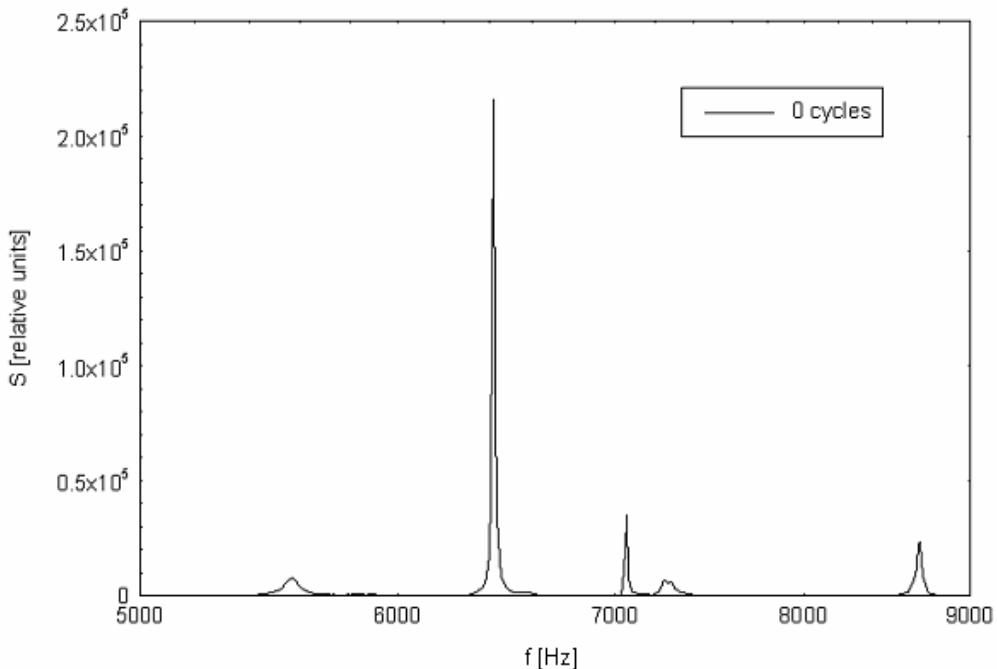
obr. 5: Frekvenční spektrum dlaždice 311 (nedegradované)

Výsledky měření vzorků druhé skupiny (dlaždice byly degradovány třemi sty zmrazovacími cykly) reprezentuje vzorek 412 na obr. 6. Ve frekvenčním spektru tohoto vzorku hodnota amplitudy třetí harmonické dosahuje vyšší hodnoty než amplituda druhé harmonické. Od třetí harmonické výše hodnoty amplitud již vykazují pokles.



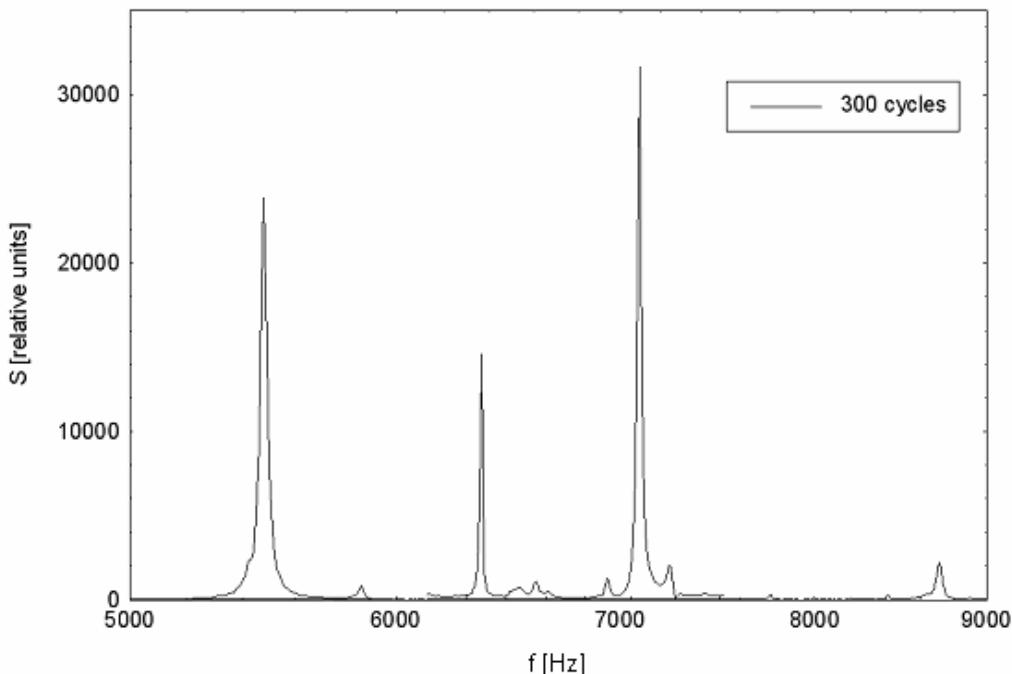
obr. 6: Frekvenční spektrum dlaždice 412 (po 300 zmrazovacích cyklech)

Keramické dlaždice byly testovány akustickou metodou impact-echo před i po provedení zmrazovacích cyklů. Výsledky těchto měření zobrazují grafy na následujících obrázcích. Na obr. 7 je zkušební vzorek 305 bez teplotního namáhání, ve frekvenčním spektru dominuje frekvenční složka 6,4 kHz.



obr. 7: Frekvenční spektrum odezvy dlaždice 305

Na dalším obrázku obr.8 je uvedeno frekvenční spektrum vzorku 305 po 300 zmrazovacích cyklech dle ČSN EN ISO 10545-12 [2]. Z grafu je patrný posun dominantní frekvence na hodnotu 7,1 kHz , ve frekvenčním spektru se objevují další frekvence.



obr. 8: Frekvenční spektrum odezvy dlaždice 305 po sérii 300 zmrazovacích cyklů

Průměrný posun dominantních frekvencí u testovaných vzorků byl 810 Hz.

## ZÁVĚR

Uvedená měření prokázala, že v případě nelineární ultrazvukové spektroskopie je vliv nehomogenity keramického materiálu minimální, protože jeho nelineární projev je podstatně nižší než u běžných defektů. Dále bylo ověřeno, že přenosové charakteristiky degradovaných vzorků korelují s defekty ve struktuře materiálu. Ve frekvenčních spektrech teplotně namáhaných dlaždic jsou patrné projevy nonlinearity, v případě dlaždic namáhaných 300 zmrazovacími cykly byly zvýrazněny třetí harmonické frekvence. Projevy nonlinearity byly zřejmě důsledkem porušení strukturní celistvosti degradovaných dlaždic.

U dlaždic podrobených zmrazovacím cyklům (dle ČSN EN ISO 10545-12) [2] docházelo při měření metodou impact-echo k posunu dominantní frekvence k vyšším frekvencím a ve spektru se vyskytovaly i další výrazné frekvence.

Tato měření prokázala, že uvedené akustické metody jsou použitelné pro nedestruktivní testování keramických dlaždic.

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory MŠMT ČR projekt 1M6840770001 a GA ČR 103/06/1711.

## LITERATURA

- [1] ČSN EN 14411 Keramické obkladové prvky - Definice, klasifikace, charakteristiky a označování. Praha:Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN ISO 10545-12 Keramické obkladové prvky - Část 12: Stanovení odolnosti proti vlivu mrazu. Český normalizační institut, 1998.
- [3] Plšková I.: Využití frekvenční inspekce pro posouzení mrazuvzdornosti keramické dlažby. Disertační práce. VUT FAST Brno, 2006.
- [4] Matysík M., Kořenská M., Plšková I., Kucharczyková B., Keprt J.: Application of the non-linear ultrasonic spectroscopy method to lightweight concrete specimen testing. In Workshop NDT 2007. Brno, Brno University of Technology. 2007. p. 82 - 87. ISBN 978-80-7204-549-5.

# VYUŽITIE NUKLEÁRNEJ MAGNETICKEJ REZONANCIE VO VÝSKUME TUHÝCH LÁTOK

Jozef Murín, Viktor Hronský a Dušan Olčák

Katedra fyziky, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Technická univerzita,  
Park Komenského 4, 041 20 Košice  
E-mail: [jozef.murin@stuba.sk](mailto:jozef.murin@stuba.sk)

## Abstrakt:

V príspevku sú popísané základné metódy merania jednodimenzionálnych (1D) spektier nukleárnej magnetickej rezonancie (NMR) vysokého rozlíšenia (HR – high resolution) v tuhých látkach, umožňujúce identifikovať chemické zloženie látky podobne ako je to u NMR v kvapalinách a roztokoch. Popísané sú princípy troch základných metód HR v tuhých látkach spočívajúce v spriemernení anizotrópnych interakcií v tuhých látkach a to prostredníctvom rotácie vzorky pod. tzv. magickým uhlom (MAS – Magic Angle Spinning), ožarovaním vzorky viac-impulznými sekvenciami (MPS – Multi pulse Sequences) a ožarovaním vzorky rádiovrekvenčnými impulzmi na rezonančných frekvenciách dvoch, alebo troch rôznych jadier. Prezentovaný je aj stručný prehľad o princípoch a o možnostiach využitia dvoj- a viacdimentzionálnych metód NMR vo výskume materiálov rôznych typov (polymérov, bio-materiálov, kompozitov, zeolitov, ...).

Jadrovú magnetickú rezonanciu (v ďalšom NMR – Nuclear Magnetic Resonance) možno pozorovať v makroskopických sústavách najčastejšie v kvapalnom a tuhom stave. Fyzikálna podstata javu NMR je rovnaká, nezávisle na skupenskom stave skúmanej látky (vzorky), avšak prejavy javu ako aj experimentálne podmienky na jeho vyvolanie a registráciu sa u kvapalín a tuhých látok z viacerých hľadišť výrazne líšia. Príčina týchto odlišností je v tom, že základné častice (atómy, molekuly, ióny) v kvapalinách vykonávajú intenzívny a izotropný (tepelný) pohyb, v dôsledku ktorého sú všetky anizotropné (t.j. smerovo, resp. uhlovo-závislé) interakcie „rezonujúcich“ jadier spriemernené a ich spektrum NMR je určené len izotropnými zložkami týchto interakcií.

Tuhé látky (v ďalšom TL) sa od kvapalín zásadne líšia tým, že tepelný pohyb častíc sa podstatne lísi od toho v kvapalinách a vzájomné pôsobenie im umožňuje zaujať relatívne stabilné vzájomné polohy – tzv. „pevnú“ štruktúru, čo sa prejavuje aj v rámci NMR.

Tak ako aj u kvapalín aj u TL môžeme interakcie daného typu jadier rozdeliť na „vonkajšie“ – s magnetickými poliami  $\mathbf{B}_0$  (statickým) a „excitačným“ (budiacim)  $\mathbf{B}_1$  ( $\mathbf{B}_1 \perp \mathbf{B}_0$ ) a „vnútorné“ interakcie v rámci spinového systému samotného a okolím – tzv. „mriežkou“.

Medzi vnútorné interakcie, ktoré sa dominantne uplatňujú v diamagnetických TL patria:

1. Priama dipól-dipolová (resp. spin-spinová) interakcia  $\mathcal{H}_d$ , ktorá môže byť:
  - homonukleárna (medzi jadrami rovnakého druhu)  $\mathcal{H}_d^{II}$ , alebo
  - heteronukleárna (medzi jadrami rôzneho druhu)  $\mathcal{H}_d^{IS}$ .
2. Interakcia magnetického tienenia jadier – tzv. chemický posun  $\mathcal{H}_{\sigma}$  - ktorého izotropná zložka umožňuje identifikovať chemickú štruktúru molekúl látky a anizotropná časť poskytuje informácie o lokálnom okolí danej skupiny atómov v TL.
3. Kvadrupolová interakcia  $\mathcal{H}_Q$  jadier so spinom  $I > 1/2$  a nenulovým kvadrupolovým momentom (napr. jadrá  $^2\text{H}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{27}\text{Al}$ , ...) s elektrickými (nehomogénymi) vnútornými poliami v látke.

Uvedené interakcie, reprezentované odpovedajúcimi hamiltoniánmi,  $\mathcal{H}_\lambda$  ( $\lambda \equiv d, \sigma, Q$ ), sú matematicky vyjadrené cez tenzory druhého rádu, obsahujúce uhlovo-závislé funkcie, reprezentujúce príslušný typ interakcie a cez spinové operátory interagujúcich jadier. Konkrétny tvar príslušných hamiltoniánov možno nájsť v [1 - 8].

Anizotropia vnútorných interakcií sa prejavuje v NMR spektrach tým, že rezonančná frekvencia,  $\Omega$ , je uhlovo závislá:

$$\Omega = \Omega_0 + \frac{1}{2} \Delta (3 \cos^2 \theta - 1 - \eta \sin^2 \theta \cos 2\phi),$$

kde  $\Omega_0 = \gamma B_0(1 - \sigma)$  označuje Larmorovu frekvenciu zahrňujúcu aj izotropnú zložku chemického posunu  $\sigma$ ,  $\Delta$  - je tzv. väzobná konšanta, charakterizujúca šírku spektrálneho pásma a  $\eta$  ( $0 \leq \eta \leq 1$ ) - je parameter asymetrie tenzora interakcie, udávajúci „odchýlku“ od axiálnej symetrie tenzora okolo hlavnej osi Z. Uhly  $\theta$  a  $\phi$  určujú smer  $\mathbf{B}_0$  voči súradnicovej sústave spojenej s hlavnými osami tenzora (XYZ).

Spektrum NMR danej vzorky závisí od chemickej štruktúry ( $\sigma_i$ ), priestorovej štruktúry ( $\Delta_i, \theta_i, \phi_i, \eta_i$ ) ako aj od „makroskopickej“ formy vzorky (kryštál, orientovaná vzorka, polykryštál, heterogénnosť, ...). Experimentálne sa takéto spektrum, t.j. závislosť absorbovaného výkonu z v.f. generátora produkujúceho budiace magnetické pole na frekvencii  $\Omega$ , získava Fourierovou transformáciou signálu odozvy látky na krátkodobý impulz poľa  $B_1$  o trvaní  $t_i$  takom, že  $\gamma B_1 t_i = \pi/2$ . U polykryštalických (resp. „práškových“) vzoriek dostaneme NMR spektrum spriemernením „elementárnych“ spektier „individuálnych“ jadier (resp. skupín jadier) cez všetky možné smery ( $\theta, \phi$ ).

Okrem „štruktúrnych“ faktorov je tvar NMR spektra ovplyvnený aj molekulovým pohybom, ktorým môžu byť anizotropné interakcie čiastočne, alebo úplne spriemernené. To závisí od toho aká je charakteristická (stredná) korelačná doba,  $\tau_c$ , príslušného pohybu. Ak je  $\tau_c < \Delta^{-1}$  - dochádza k zúženiu spektra, čo je zapríčinené čiastočným spriemernením interakcií ( $\bar{\Delta} < \Delta, \eta \rightarrow \bar{\eta}, \theta \rightarrow \bar{\theta}, \phi \rightarrow \bar{\phi}$ ). Ak je  $\tau_c \ll \Delta^{-1}$  - anizotropia vymizne úplne ( $\bar{\Delta} \rightarrow 0$ ) a prípad, keď  $\tau_c \gg \Delta^{-1}$ , zodpovedá „pevnej“ štruktúre, kde sa anizotropia prejaví úplne.

Z uvedeného môžeme tušiť, že NMR spektroskopia dáva možnosť získavať dôležité informácie o priestorovej štruktúre a pohyblivosti (dynamike) častic v TL. K získaniu týchto informácií je spravidla potrebné realizovať experimenty v širokom intervale teplôt, aby sme mohli registrovať príslušné zmeny a ich prejavy v NMR spektrach a relaxačných časoch ( $T_1, T_2, T_{1\rho}, \dots$ ).

Charakteristickým rysom NMR v TL v režime „pevnej“ štruktúry (t.j. pri nízkych teplotách) sú široké spektrálne pásma („čiary“) s nízkym (alebo žiadnym) rozlíšením, neumožňujúce identifikovať chemickú štruktúru. Šírka (pološírka) spektrálnych čiar (napr. u  $^1\text{H}$  – jadier) spôsobená interakciou  $\mathcal{H}_d$  býva rádovo desiatky až stovky kHz, zatiaľ čo u kvapalín: desatiny až tisícky Hz. Výrazné sú aj rozdiely v relaxačných časoch  $T_1$  a  $T_2$ , ktorými sú určené aj podmienky budenia a registrácie NMR spektier. U kvapalín  $T_1 \geq T_2 \sim 10^{-1} \div 10\text{s}$  a u TL je  $T_1 \gg T_2$  ( $T_2 \sim 10^{-5} \div 10^{-2}\text{s}; T_1 \sim 0,1 \div 10^2\text{s}$  i viac). Tieto rozdiely v prejavoch NMR v TL a kvapalinách boli celé desaťročia príčinou „nižzej“ aplikovateľnosti NMR v TL v súvislosti s možnosťami, ktoré od počiatku mala NMR v oblasti kvapalín. V súčasnosti môžeme konštatovať, že vďaka pokroku v oblasti techniky a vedy je možné aj v TL realizovať analogické NMR experimenty ako v kvapalinách, umožňujúce (okrem iných) získavať informácie aj o chemickom zložení skúmaných látok.

Cesta k vyššiemu rozlíšeniu spektier v TL už bola naznačená: treba podstatne zredukovať (teda spriemerniť) anizotropné zložky vnútorných interakcií. Priama spin-spinová interakcia  $\mathcal{H}_d$  a kvadrupólová  $\mathcal{H}_Q$  majú izotropné zložky nulové (neposúvajú rezonančnú frekvenciu) a parameter asymetrie  $\eta_d = 0$  a  $\eta_Q \approx 0$  (pre väčšinu prípadov rezonancie na jadrach  $^2\text{H}$ ).

V ďalšej časti tohto príspevku v stručnej forme rozoberieme 3 základné metódy vysokého rozlíšenia (HR – High Resolution) v tuhých látkach.

### 1) MAS – Magic Angle Spinning

Predstavuje rotáciu vzorky s frekvenciou  $\Omega_R$  ( $\Omega_R > \Delta$ ) okolo osi odklonenej voči  $B_0$  o uhol  $\Phi$ . Tým sa hamiltonián anizotropnej interakcie,  $\mathcal{H}_\lambda$ , transformuje  $\mathcal{H}_\lambda^R \rightarrow \mathcal{H}_\lambda^R(t)$  (časovo-závislý) tak, že sa „škáluje“ faktorom  $(3\cos^2 \Phi - 1) / 2$  :

$$\mathcal{H}_\lambda^R = \frac{1}{2} (3\cos^2 \Phi - 1) [\mathcal{H}_\lambda(t)] .$$

Z tohto vzťahu vidíme, že pre  $\Phi = \Phi_m = \arccos(1/\sqrt{3})$  ( $\approx 54,7^\circ$ ) bude  $\mathcal{H}_\lambda^R = 0$ .

Pri MAS s frekvenciou rotácie  $\Omega_R$  vznikajú rotačné bočné pásma (Spinning Side Bands – SSB) v polohách  $n.\Omega_R$  okolo izotropného chemického posunu – tvoria tzv. SSB spektrum, v rozsahu frekvencií „statického“ spektra (nerotujúcej vzorky). Takto sa informácia o anizotropii chemického posunu nestráca a býva efektívne využívaná aj v 2D-NMR v TL.

Výskyt SSB v spektrách môže byť komplikáciu pri ich spracovaní a interpretácii. K ich potlačeniu (odstráneniu) existuje impulzná metóda TOSS (Total Suppression of Sidebands).

### 2) Mnohoimpulzové sekvencie (metódy) (Multi Pulse Sequences – MPS)

Pomocou „silných“ a krátkych ( $10^{-6} \div 10^{-9}$  s) impulzov r-f. poľa  $B_1$  je možné spriemernenie anizotropných interakcií v „spinovom“ priestore. Ide o teoreticky náročnú problematiku v rámci ktorej je potrebné popísat’ odozvu spinového systému na vybranú sekvenciu r-f. impulzov, ktorej úlohou by bolo modifikovať (transformovať) spinový hamiltonián, aby sme dosiahli požadovaný efekt. Vzhľadom na odlišnú „štruktúru“ jednotlivých interakcií ( $\mathcal{H}_\lambda$ ) z hľadiska ich spinových operátorov je aj účinok MPS rôzny. V interakcii chemického posunu je  $\mathcal{H}_\sigma$  lineárny vzhľadom na spinové operátory ( $I_x, I_y, I_z$ ) ;  $\mathcal{H}_d$  je „bilineárny“ (vystupujú súčiny  $I_\alpha I_\beta$ , resp.  $I_\alpha S_\beta$ ) a  $\mathcal{H}_Q$  je „kvadratický“ vzhľadom na spinové operátory ( $I_z^2, I^2$ ).

Pre spriemernenie dipól-dipólovej interakcie,  $\mathcal{H}_d$ , (aspôň v 1. ráde teórie porúch) bola ako prvá navrhnutá 4-impulzová sekvencia známa pod označením WAHUHA-4 (resp. WHH4 – podľa autorov Waugh-Huber-Haeberlen, 1968), ktorá dáva  $\bar{\mathcal{H}}_d = 0$  ,  $\bar{\mathcal{H}}_Q = 0$  ,  $\bar{\mathcal{H}}_\sigma \neq 0$  . Táto sekvencia „odstraňuje“ dipól-dipólovú (aj kvadrupólovú) interakciu a „škáluje“ (redukuje) interakciu chemického posunu,  $\mathcal{H}_\sigma$ , aj s jej anizotropiou.

Mnohoimpulzové metódy samotné sú vhodné pre určovanie zložiek tenzora chemického posunu ( $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{33}$ ) v práškových vzorkách ako aj orientácii hlavných osí tenzora voči sústave spojenej s danou molekulou v monokryštáloch. Aplikovateľnosť je najmä u jadier s vysokou anizotropiou chemického posunu ( $^{19}\text{F}, ^{27}\text{Al}$ ), ale aj u  $^{13}\text{C}$  a  $^1\text{H}$  . Možno tiež sledovať zmeny zložiek tenzora  $\sigma$  vyvolané molekulovým pohybom (t.j. závislosti spektra na teplote vzorky). Pre účely vysokého rozlíšenia v TL je MPS samotná, bez kombinácie s MAS, resp. ďalšími metodikami pomerne málo efektívna.

V súčasnosti existuje veľké množstvo MPS pozostávajúcich z 8, 12, 16, 24, ... impulzov, realizujúcich spriemernenie interakcií vo vyšších rádoch a odstraňujúcich (aspôň čiastočne) „nedostatky“ v tvarе, fázovaní, časovaní, nehomogenite  $B_1$  a pod. [3]. Multipulzné sekvencie kombinované s rotáciou vzorky sú vysokoefektívne v rámci 2D-NMR – sú známe pod označením CRAMPS (Combined Rotation And Multi Pulse Spectroscopy) [3, 4, 8].

### 3) Dvojná rezonancia, kros-polarizácia, dekapling a MAS

Niekteré jadrá s vysokým izotopovým zastúpením (ako napr.  $^{12}\text{C}, ^{16}\text{O}, ^{28}\text{Si}$  – tzv. párho-párne jadrá) majú jadrový spin nulový a sú z hľadiska NMR „neaktívne“. Avšak existujú izotopy daných prvkov ( $^{13}\text{C}, ^{17}\text{O}, ^{15}\text{N}, ^{29}\text{Si}$  ...) ktoré majú jadrový spin nenulový a možno u nich vybudíť NMR. Prirodzené zastúpenie týchto izotopov býva pomerne nízke (u  $^{13}\text{C}$  cca 1%).

K získaniu spektier takýchto jadier sa využíva dvojná rezonancia, kde popri „zriedkavých“ spinoch (S) sú v látke zastúpené jadrá (spiny I) s vysokým izotopovým zastúpením (napr.  $^1\text{H}$ ). Obidva spinové systémy sú umiestnené v spoločnom vonkajšom poli  $B_0$  a keďže sa líšia  $\gamma$  - faktormi ;  $\gamma_I \neq \gamma_S$  ( a spravidla  $\gamma_I > \gamma_S$  ) budú mať rôzne Larmorové frekvencie  $\omega_{0I} = \gamma_I B_0$  a  $\omega_{0S} = \gamma_S B_0$  .

Pre získanie (zosilnenie) signálov NMR na zriedkavých jadrách (  $N_S \ll N_I$  ,  $\gamma_S < \gamma_I$  ) sa používa jav kros-polarizácie, pri ktorom dochádza k „prenosu“ polarizácie zo systému spinov I do systému spinov S. Takýto proces polarizácie sa realizuje pomocou r-f. impulzov  $B_{1I}$  (s frekvenciou  $\omega_{0I}$  ) a  $B_{1S}$  (s frekvenciou  $\omega_{0S}$ ) pri splnení Hartmann-Hahnovej podmienky  $\gamma_I B_{1I} = \gamma_S B_{1S}$ . Táto podmienka zabezpečuje efektívny kontakt medzi spinovými systémami I a S v „dvojnásobne rotujúcej“ sústave súradníc, umožňujúci prenos polarizácie zo systému I do systému S.

Teoretický popis javu kros-polarizácie je pomerne zložitý vzhl'adom k tomu, že sa tu jedná o 2 spinové systémy, ktoré „komunikujú“ cez viaceré „kanály“ s rôznymi časovými „konštantami“ ( $T_{2I}, T_{2S}, T_{IS}, T_{II}, T_{IS}, T_{1\rho}^I, T_{1\rho}^S, \dots$ ) medzi sebou a „mriežkou“. Podobne ako u mnohoimpulzových metód samotná kros-polarizácia (CP – Cross Polarization) spolu s dipolárnym dekaplingom (DD - Dipolar Decoupling) medzi spinmi I a S neodstraňujú anizotropiu chemického posunu a preto sa metódy CP - DD kombinujú s MAS, aby sa dosiahla vysoká rozlišovacia schopnosť „zriedkavých“ jadier.

Napriek spomenutej zložitosti metódy je táto dopracovaná na vysokú úroveň hlavne v oblasti  $(^1\text{H}) - ^{13}\text{C}$  - CPMAS . Jednodimenziálne spektrá  $(^1\text{H}) - ^{13}\text{C}$  - CPMAS kombinované s meraním relaxačných časov  $T_1^C$  ,  $T_{1\rho}^C$  a  $T_{CH}$  umožňujú „mapovať“ lokálnu „situáciu“ v rámci danej molekuly. Mnohé aplikácie týchto metód sú popísané v odbornej literatúre [4].

Možno konštatovať, že hlavný význam CP / MAS – spektroskopie spočíva v dvoch oblastiach, kde umožňuje

- koreláciu chemických posunov (t.j. chemickú štruktúru) s relaxačným chovaním skúmanej látky (dynamika, vzdialenosť),
- selektivitu – v prípade heterogénnych vzoriek - využitím rozdielov v relaxačnom správaní zložiek (napr. kryštalických a amorfíných).

Zvlášť významnú úlohu zohrávajú metódy vysokého rozlíšenia v TL u vzoriek slabo- alebo vôbec nerozpustných. U vzoriek, ktoré možno skúmať v kvapalnom stave (resp. v roztoku) z hľadiska rozlíšenia je „kvapalinová“ NMR bezkonkurenčná.

Okrem jednodimenzionálnej (1D) NMR sa v ostatných 10 – 15 -tich rokoch využívajú viacdimenzionálne metódy (2D, 3D a 4D), ktoré sú špecializované na detailnejšie skúmanie chemickej a priestorovej štruktúry molekúl, molekulovej dynamiky, orientácie molekúl v TL, na sledovanie procesov v reálnom čase a na skúmanie vzájomných vzťahov (korelácií) jednotlivých interakcií a pod. Okrem zvýšenia rozlišovacej schopnosti oproti 1D NMR poskytujú nové, v 1D NMR, nedostupné priame informácie o štruktúre a dynamike, ktoré nie sú modelovo závislé ako je to u bežných 1D metód. Princípy týchto metód spolu s experimentálnymi výsledkami v mnohých látkach sú popísané v monografiách [3, 4, 8]. Niektoré významné aplikácie týchto metodík budú dokumentované pri prezentácii príspevku.

## LITERATÚRA

- [1] M. Mehring: High Resolution NMR in Solids, Springer Verlag, Berlin, 1983.
- [2] U. Haeberlein: High Resolution NMR in Solids, Acad. Press, N. York, 1976.
- [3] R.R. Ernst, G. Bodenhausen, A. Wokaun: Principles of NMR in One and Two Dimensions, Oxford Univ. Press, Oxford, 1987.

- [4] K. Schmidt-Rohr, H.W. Spiess: Multidimensional Solid State NMR and Polymers, Acad. Press, London, 1994.
- [5] C.P. Slichter: Principles of Magnetic Resonance, Springer Verlag, Berlin, 1980.
- [6] A. Abragam: The Principles of Nuclear Magnetism, Oxford Univ. Press, Oxford, 1987.
- [7] V.J. McBrierty, K.J. Packer: Nuclear Magnetic Resonance of Solid Polymers, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1993.
- [8] Solid-state NMR Spectroscopy. Principles and Applications, Melind J. Duer.Ed., Blackwell Sci., 2002.

## **DOPLŇUJÚCI KURZ FYZIKY**

Mgr. Miroslav Němec, PaedDr. Ľuboš Krišťák.

*Katedra fyziky, elektrotechniky a aplikovanej mechaniky, Drevárska fakulta TU vo Zvolene, Masarykova 24, 960 53 Zvolen  
e-mail: [mnemec@oznam.sk](mailto:mnemec@oznam.sk), [kristak@vsld.tuzvo.sk](mailto:kristak@vsld.tuzvo.sk)*

### **Abstrakt:**

V článku sa zaobráme veľmi aktuálnou reformou regionálneho školstva na SR a jej dopadom na študentov technických a prírodovedných smerov. V kontexte prechodu na trojstupňový systém vysokoškolského vzdelávania charakterizujeme postavenie fyziky na TU a jej vyučovanie na jednotlivých fakultách. Hlavnou časťou príspevku je oboznámenie s Doplňujúcim kurzom fyziky, ktorého cieľom je pomôcť študentom pri štúdiu fyziky na našej alma mater. Ukazujeme aj možnosti jeho rozšírenia. V závere porovnávame výsledky študentov, ktorí absolvovali kurz v tomto semestri s výsledkami všetkých študentov, ktorí absolvovali zápočtové písomky .

### **REFORMA REGIONÁLNEHO I VYSOKÉHO ŠKOLSTVA**

Slovensko v týchto dňoch prešlo reformou regionálneho školstva, ktorá sa postupne implementuje do praxe od nasledujúceho školského roka. Hlavnou myšlienkou tejto reformy, ktorá vychádzala z projektu Milénium, bol prechod na tvorivo-humánne školstvo s orientáciou na žiaka. Pri pohľade na výsledok tejto reformy sa zdá, že pojem humánne školstvo autori reformy nie celkom pochopili, pretože celá reforma akoby uprednostnila humanitné predmety vo vyučovaní na úkor prírodovedno-technických predmetov. Najviac sa táto redukcia hodín dotkla fyziky. Myslíme si, že správny smer je diferenciácia vyučovania týchto predmetov podľa ďalšieho zamerania a profilácie študentov na stredných školách a aj v rámci gymnázia. Bude tu možnosť voľby predmetov podľa ďalšej profilácie študenta, aj keď je veľmi otázne, či sú študenti schopní správne si navoliť predmety - pretože mnohí nemajú do poslednej chvíle predstavu, čo chcú študovať. Tento stav vzniká nedostatočnou komunikáciou medzi strednými a vysokými školami a najmä potrebami praxe. Ako oveľa nešťastnejšia sa nám vidí redukcia hodín matematiky a fyziky na základnej škole, pretože sa veľmi často stretávame, že študenti na cvičeniach majú problém so zlomkami a inými jednoduchými matematickými operáciami. Nevieme si predstaviť, ako to bude vyzeráť po tejto ďalšej redukcii hodín. Ďalším problémom fyziky je konkurencia mnohých finančne i spoločensky lukratívnejších odborov (medicína, ekonómia, právo). Fyzika je pre väčšinu študentov buď náročná, alebo málo lukratívna.

Prednedávnom prebehla aj reforma vysokého školstva. Jedným z jej výsledkov bol prechod na trojstupňový systém vysokoškolského vzdelávania. Z toho vyplynula potreba upraviť študijné programy jednotlivých zameraní, ako aj obsahovú náplň jednotlivých predmetov. Redukcia sa opäť dotkla najmä počtu hodín základného kurzu matematiky a fyziky. Každý človek, ktorý prešiel vysokoškolským vzdelávaním technického zamerania, by mal chápať dôležitosť týchto predmetov a ich nadváznosť na ďalšie technické disciplíny. Práve matematika a fyzika tvoria ich základ a sú nástrojom pre ich lepšie pochopenie. Lež nie je tomu tak. A tak redukcia počtu hodín týchto predmetov nadálej pokračuje.

Jedným z cieľov reforiem v školstve je, aby sa zvyšoval počet vysokoškolsky vzdelaných ľudí. Preto je tendencia, aby sa z populačného ročníka čo najviac študentov dostalo na vysokú

školu, čo má za následok aj pokles úrovne vysokého školstva na Slovensku. Najviac sa to dotýka škôl, o ktoré je najmenší záujem. Medzi tento typ škôl patrí väčšina technických a prírodovedných škôl na Slovensku. Na tieto školy sa hlásia študenti z celého spektra škôl – gymnázií, stredných odborných škôl i učilišť. Ich pripravenosť na štúdium je rôzna. Niet sa čo čudovať, keďže niektorí študenti fyziku na strednej škole vôbec nemali. A ani tí, ktorí ju mali jeden alebo dva roky, z nej už veľa nevedia. Navyše sa zmenou maturitného systému stalo to, že študenti stredných odborných škôl a učilišť môžu maturitu z matematiky (o fyzike už ani nehovoriac) absolvovať len ako nepovinný piaty predmet. Ich vedomosti, zručnosti a kľúčové kompetencie sú preto už pri vstupe na vysokú školu na veľmi nízkej úrovni. Je potom veľmi náročné zvolať primerané tempo a formu vysokoškolskej výučby.

## FYZIKÁLNE VZDELÁVANIE NA TU VO ZVOLENE

Výučba fyziky a fyzikálne zameraných predmetov na TU vo Zvolene má celý rad špecifík, ktoré sú ovplyvňované rôznorodosťou zamerania jej jednotlivých fakúlt. Jedno je však spoločné pre všetky fakulty a odbory a to výrazná redukcia počtu hodín základného kurzu fyziky po prechode na trojstupňový systém vzdelávania. V bakalárskom stupni štúdia všetkých fakúlt je pre fyziku vyhradený len jeden semester s rozsahom 2 hodiny prednášok a 2 hodiny cvičení týždenne a aj to väčšinou v prvom semestri, keď študenti nemajú ešte absolvovaný kurz vyšej matematiky. Iba fyzika na Drevárskej fakulte je zaradená až v letnom, semestri. Odbor „Ochrana osôb a majetku pred požiarom“ na Drevárskej fakulte má 3 hodiny prednášok a 3 hodiny cvičení z fyziky týždenne v 1. semestri a v 3. ročníku, t.j. v 6. semestri 2 hodiny prednášok a 2 hodiny cvičení. Na Drevárskej fakulte je fyzika zaradená aj v inžinierskom stupni štúdia. Fakulta ekológie a environmentalistiky má základný kurz fyziky zaradený len pre environmentalistov. V súčasnosti sa práve venujeme práve príprave učebných materiálov pre tento odbor. Na tejto fakulte je v druhom semestri aj nadvážujúci predmet Tok tekutín a transport tepla.

V rámci základného bakalárskeho kurzu sa majú prebrať potrebné základy fyziky teoreticky, príkladmi i experimentálne s prihliadnutím na špecializáciu odboru. Pokial Študenti nemali na strednej škole fyziku, je pre nich väčšina poznatkov od základu úplne nová. Mali by preto venovať viac času príprave a pochopeniu fundamentálnych princípov fyziky. Počas prednášok sa preberie kvantum nových poznatkov z rôznych častí fyziky. Tieto by mali byť študenti schopní aplikovať pri riešení príkladov i experimentálnych úloh. To je náplň cvičení, ktorých je na väčšine odborov nedostatok (26 hodín počas semestra). Študenti absolvujú 6 experimentálnych úloh, čím sa počet hodín na riešenie príkladov a problémových úloh zníži na 14. Počas tohto času nie je možné naučiť študentov fyzikálne a predovšetkým technicky myslieť, čo by malo byť základným poslaním fyziky. Slabšie pripravení študenti majú problémy zvládnúť základné metódy riešenia úloh, či už výpočtových alebo problémových. Ani ich experimentálne zručnosti nie sú na dostatočnej úrovni.

## DOPLŇUJÚCI KURZ FYZIKY

Ako sme už spomínali, na všetky fakulty našej univerzity sa dostávajú rôzne pripravení študenti. Niektorí majú obrovský problém zvládnuť takéto množstvo učiva počas jedného semestra. Po spomínamej reforme, ktorej výsledkom je znížená časová dotácia hodín matematiky a fyziky, očakávame u študentov ešte väčšie problémy s fyzikou. Preto sme sa pred troma rokmi rozhodli ponúknúť študentom doplňujúci kurz fyziky, ktorý bol doteraz zameraný najmä na získavanie zručností pri riešení fyzikálnych úloh.

V úvode kurzu sa zopakujú najdôležitejšie pojmy, veličiny, zákony a vzťahy z riešenej témy. Následne sa vytvorí priestor na otázky študentov k danej problematike. Je tu priestor, aj keď asi nedostatočný, na vysvetlenie si nejasností (najmä tých, ktoré vychádzajú zo stredoškolského učiva),

ktoré vznikli po prednáške, resp. cvičeniach, kde na to nie je dostať priestoru. Pokračuje sa riešením rôznych úloh od tých najjednoduchších stredoškolských príkladov, na ktorých sa študenti učia metodiku riešenia fyzikálnych úloh a postupuje sa smerom k tým náročnejším. Samozrejme, že aj v priebehu riešenia úloh je väčší priestor na otázky samotných študentov. Uplatňujeme aj iné formy práce, na ktoré v rámci prednášok a cvičení nie je čas. Napr. samostatné alebo skupinové riešenie príkladov a problémov. Je tu priestor na riešenie problémových úloh a úloh grafických.

Tento kurz prebieha súbežne s cvičeniami a prednáškami v každom semestri (nie je to teda rýchlo-kurz, ale priebežný kurz). Svojim obsahom kopíruje ich náplň. Jeho časová dotácia je 2 h týždenne počas 10 týždňov semestra. Tým sa počet hodín fyziky aspoň o trochu zvýši a študenti sú, ako sa sami vyjadrujú, donútení sa na niektoré oblasti fyziky priebežne pozerať. Konzultujú sa na ňom a najmä riešia kvantitatívne úlohy z týchto nosných častí fyziky: premena jednotiek SI sústavy, kinematika hmotného bodu, dynamika hmotného bodu a sústavy hmotných bodov, energia, mechanika tuhého telesa (to je veľmi dôležitá časť takmer pre všetky odbory, lebo na ňu nadvážajú ďalšie technické a technologické disciplíny, a robí študentom aj najväčšie problémy), gravitačné pole, mechanika tekutín, molekulová fyzika a termodynamika, kmity, vlny a akustika, prípadne podľa odboru aj elektrina a magnetizmus, prípadne základy geometrickej a vlnovej optiky, či biofyzika a environmentálna fyzika.

Doterajšie skúsenosti s kurzom ukazujú potrebu tento kurz rozdeliť na kurz zameraný na vybudovanie matematických zručností a riešenie fyzikálnych úloh a na kurz zameraný na podrobnejšie vysvetlenie teórie preberanej na prednáškach, pochopenie základných princípov fyziky a ich aplikácie v rozličných kvalitatívnych úlohách. V nasledujúcim semestri zaradíme do ponuky obidva druhy kurzov.

## VPLYV KURZU NA ŠTÚDIJNÉ VÝSLEDKY ŠTUDENTOV

Kurz fyziky ako sme už spomínali, prebieha tretí rok. Každoročne je rozdelený medzi 3 pedagógov na rôzne dni v týždni, aby sa každý študent mohol zúčastniť kurzu v čase, ktorý mu vyhovuje a vybrať si pedagóga, s ktorým by chcel kurz absolvovať. Tým sme dosiahli aj menší počet študentov v jednej skupine, čo umožňuje pedagógom voliť individuálnejší prístup, ktorý pomáha zvýšiť efektivitu kurzu.

Celkom sa osvedčilo diferencované vyučovanie v rámci skupiny. Keďže sú v skupine študenti rôznej úrovne, bolo nutné voliť k nim individuálny prístup. Na začiatku sa zadá niekoľko príkladov a študenti pri ich riešení postupujú vlastným tempom. Riešenia si navzájom konzultujú a prebieha aj konzultácia s vyučujúcim. Niektoré príklady je potrebné vysvetliť len niektorým členom skupiny, iné sú preriešené pre všetkých.

Po šiestich semestroch, v ktorých kurz prebiehal, môžeme konštatovať, že väčšina študentov, ktorí ho absolvovali, bol prospěšný. Počas semestra bolo vidieť, že ich schopnosti aplikovať teoretické poznatky pri riešení úloh narastajú. Bolo to viditeľné pri všetkých študentoch, ktorí sa kurzu zúčastňovali aktívne a neprijímalu informácie len pasívne. Aj z ich vyjadrení vyplýva, že kurz bol pre nich prospěšný. Odzrkadlilo sa to aj na skúške, kde študenti, ktorí absolvovali kurz, dokázali využiť nadobudnuté kompetencie.

Na ilustráciu uvedieme výsledky zápočtových písomiek študentov na Drevárskej fakulte v letnom semestri tohto akademického roka. Zo 112 študentov, ktorí absolvovali v tomto semestri zápočtové písomky z fyziky, chodilo pravidelne na kurz 27 študentov. Zápočtové písomky boli počas semestra 2 a maximálny počet bodov z nich bol 40. Zo štatistického vyhodnotenia výsledkov zápočtových písomiek vyplýva, že priemerný počet bodov zo zápočtových písomiek z Fyziky u všetkých študentov 1. ročníka Drevárskej fakulty bol 18,56 bodu, kym absolventi kurzu dosiahli priemerný počet 28,07 bodu, čo je o 51 % viac.

## ZÁVER

Na základe spomínaných výsledkov, i keď na malom štatistickom súbore, ako aj trojročných skúseností s kurzom konštatujeme, že sa u jeho absolventov zlepšuje úspešnosť pri riešení úloh a tým aj úspešnosť pri vykonaní skúšky. Rezervy ešte zistujeme u študentov pri pochopení základných pojmov, princípov a zákonov fyziky a ich aplikácií pri riešení kvalitatívnych úloh. Preto sa chceme v rámci tohto kurzu zamerať aj na zdokonalenie týchto kompetencií u študentov.

## LITERATÚRA

- [1] Danihelová, A, Němec, M. Súčasnosť a budúcnosť fyziky z pohľadu výučby a vedy na Technickej univerzite vo Zvolene (CD-rom). In Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku. Bratislava, 2004, s. 111-114. ISBN 80-227-2112-3
- [2] Němec, M. Kurz stredoškolskej fyziky. In: Výskumné a edukačné aktivity na katedrách fyziky technických univerzít na Slovensku [elektronický zdroj] zborník z vedeckej konferencie / zost. Peter Kleja. - Bratislava : STU, 2006. - ISBN 80-227-2430-0. - S. 155-158
- [3] Uhdeová, N. Úroveň fyzikálních znalostí studentů na VŠT. In Zborník príspevkov. 13. konferencia slovenských a českých fyzikov, Zvolen, 1999, s. 413 – 415

# MERANIE DIELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ SÓJOVÝCH BÔBOV

NOVÁK Ján

*Katedra fyziky, Mechanizačná fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita,  
Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra. e-mail: jnovak@uniag.sk*

## Abstrakt:

V článku sú uvedené výsledky meraní elektrickej permitivity súboru sójových bôbov a zistené závislosti tejto veličiny od vlhkosti vzoriek a frekvencie elektrického poľa.

## ÚVOD

Poznatky získané pri štúdiu dielektrických vlastností biologických materiálov majú významnú úlohu pri konštrukcii meracích prístrojov a pri technologických procesoch. V práci sa študuje významná fyzikálna charakteristika sóji, a to elektrická permitivita. Elektrická permitivita biologických materiálov má dôležitú úlohu pri konštrukcii vlhkomerov a pri aplikácii dielektrického ohrevu.

## METÓDY A MATERIÁL

Elektrická permitivita je komplexná veličina definovaná vzťahom

$$\bar{\epsilon} = \epsilon - j\epsilon'$$

kde:  
 $\epsilon$ - reálna zložka komplexnej permilivity, je to vlastná permitivita dielektrika  
 $\epsilon'$  - imaginárna zložka komplexnej permitivity, je mierou strát v dielektriku v striedavom elektrikom poli

Zavádzajú sa aj komplexná relatívna permitivita

$$\bar{\epsilon}_r = \frac{\bar{\epsilon}}{\bar{\epsilon}_0} = \epsilon_r - j\epsilon'_r$$

kde:  $\epsilon_0$  - permitivita vákua

Súbor zín vytvára dielektrikom, preto pri skúmaní dielektrických vlastností možno použiť analogické metódy ako pri elektroizolačných látkach. Treba však rešpektovať niektoré špecifickosti, ktoré vyplývajú z nehomogénej štruktúry takéhoto biologického materiálu. Obsah vody a frekvencia použitého elektrického poľa sú dôležité faktory, ktoré vplývajú na dielektrické vlastnosti semien. Objemová hmotnosť a teplota sú ďalšie parametre, ktoré pôsobia na mieru dielektrických vlastností.

Vzhľadom na to, že dielektrické vlastnosti meraného materiálu závisia od podmienok pri meraní, uvádzame tieto podmienky spolu s nameranými hodnotami, aby výsledky boli jednoznačné. Na meranie relatívnej permitivity sme použili rezonančnú metódu meraním rezonančného napäťa pomocou Q-metra TESLA BM 560. Meranie sme uskutočnili vo frekvenčnom pásme 1 MHz až 16 MHz a pri rôznych podieloch vlhkosti vzoriek. Vzorka bola pri meraní umiestnená v mernom koaxiálnom kondenzátore.

Relatívnu permitivitu (reálnu zložku) sme vypočítali podľa vzťahov

$$\varepsilon_r = \frac{C - C_x}{C_o}$$

$$C = C_1 - C_2$$

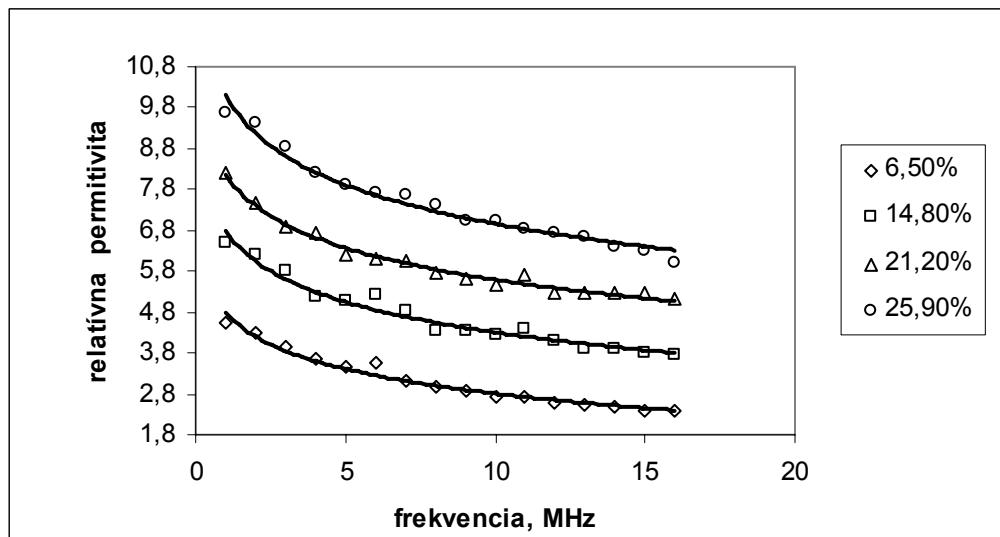
kde:  
 C – kapacita merného kondenzátora so vzorkou  
 C<sub>0</sub> – kapacita merného kondenzátora bez vzorky a bez kapacity spojovacích vodičov  
 C<sub>x</sub> – kapacita spojovacích vodičov  
 C<sub>1</sub> – kapacita ladiaceho kondenzátora pri rezonancii bez pripojenia merného kondenzátora  
 C<sub>2</sub> – kapacita ladiaceho kondenzátora pri rezonancii s pripojeným merným kondenzátorom

## VÝSLEDKY A DISKUSIA

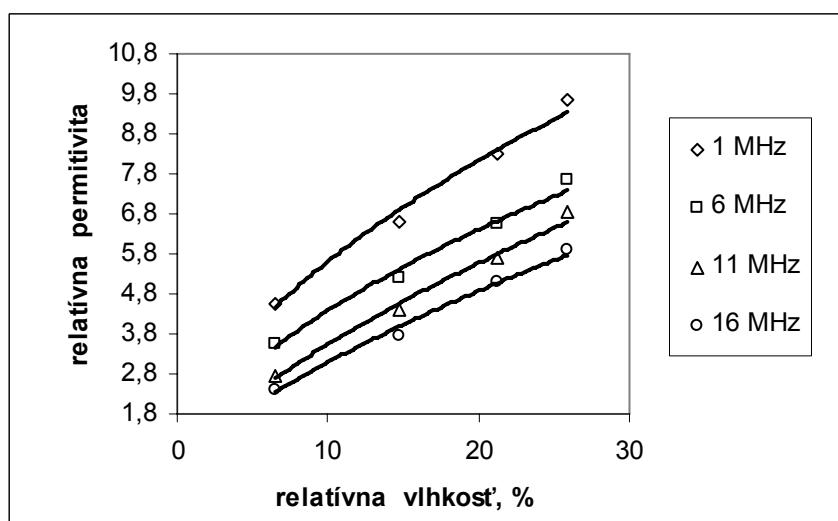
Meranie relatívnej permitivity sójových bôbov sa uskutočnilo pri teplote 22 °C a relatívnej vlhkosti 60 %. Hodnoty vlhkosti vzoriek a objemovej hmotnosti vzoriek sú uvedené v tabuľke. Výsledky meraní sú uvedené na grafoch. Na základe vyhodnotenia nameraných hodnôt môžeme konštatovať, že relatívna permitivita klesá pri narastaní frekvencie použitého elektrického poľa. Klesajúca tendencia je najvýraznejšia pri nižších frekvenciach a pri vzorkách s vyšším podielom vlhkosti. Pri vyšších frekvenciach je už pokles minimálny. Uvedenú závislosť interpretujeme tak, že molekuly vody v bôboch majú konštantný dipólový moment. V elektrickom poli nastane orientačná polarizácia a tento typ polarizácie je značne frekvenčne závislý. Pri vyšších frekvenciach molekulové dipóly už nestačia sledovať zmenu polarity elektrického poľa. Hodnoty relatívnej permitivity narastajú so zvyšujúcou sa vlhkosťou vzoriek. Rastúca tendencia je najvýraznejšia pri meraniach s nižšou frekvenciou elektrického prúdu. Je to dôsledok vysokej hodnoty relatívnej permitivity vody v porovnaní s ostatnými zložkami bôbov. Podobné priebehy závislostí uvádzajú aj iný autori ( Hanzelík, Sembery ) pre merania súboru zín obilnín.

$\omega, \%$	6,5	14,8	21,2	25,9
$\rho, \text{kg.m}^{-3}$	652	637	625	618

OBRÁZOK 1.  
Závislosť relatívnej permitivity od frekvencie pre vzorky s rozdielnym podielom vlhkosti.



OBRÁZOK 2.  
Závislosť relatívnej permitivity od podielu vlhkosti, merané pri rozdielnych frekvenciach elektrického poľa.



## SÚHRN

V práci sú uvedené výsledky meraní elektrickej permitivity súboru sójových bôbov. Elektrická permitivita má významnú úlohu pri štúdiu fyzikálnych vlastností biologických materiálov. Elektrická permitivita sójových bôbov s rastúcou frekvenciou klesá a narastá so zvyšujúcou sa vlhkosťou vzoriek.

**Kľúčové slová :** elektrická permitivita, sója, sójové bôby, elektrické vlastnosti

## LITERATÚRA

- [1] HANZELIK, F. Dielektrické vlastnosti zŕn pšenice. IN SEMBERY, P. ACTATECHNOLOGICAAGRICULTURAE. NITRA XXV 1984.  
Vysoká škola poľnohospodárska, s. 207 – 217. ISBN 301-04-22.
- [2] SEMBERY, P. Szárítóberendezések automatikus szabályozása.  
Kulonblenyomat az agrártudományi egyetem 1973 Évikozleményeiből. Godolló, 1973.

# E-LEARNING IN THE CONTEXT OF UNIVERSITY EDUCATION

## Alena Palacková

*Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava,  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava*

### **Abstract:**

The list of questions was provided as one way of finding what students think about e-learning. The questionnaire consisted of 26 questions and was responded by 184 students of the second term of Civil engineering faculty.

## INTRODUCTION

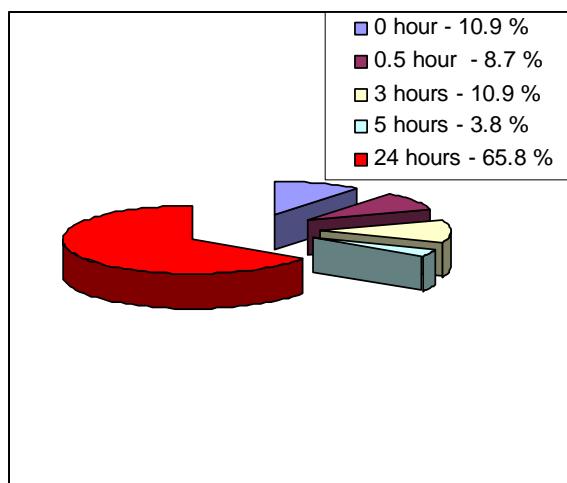
A lot of www.pages offer e-learning all over the word. They describe the main advantages of this type of education as: "Our aim is to make learning as accessible as possible – allowing busy people to get the skills, training and education they want, in a way that offers them complete flexibility. We follow the same principles, but modern technology, including e-mail and the internet, makes learning even more effective and convenient." [1] Even more some authors have idea that physics-e-learning can help to increase the student interest for physics. [2]

E-learning implies a lots of application (e-learning organization, e-learning diffusion, e-learning pedagogical and technological issues, e-content repositories, social software, teachers' training. Introduction of new type of education is always difficult. In Technical High School of Economics in Warsaw as the first step introduced a method of blended learning [2], which combines methods of e-learning through the Internet and traditional methods of physics study in a physical laboratory.

## ATTITUDES OF OUR STUDENTS TO USE PHYSICS –E-LEARNING

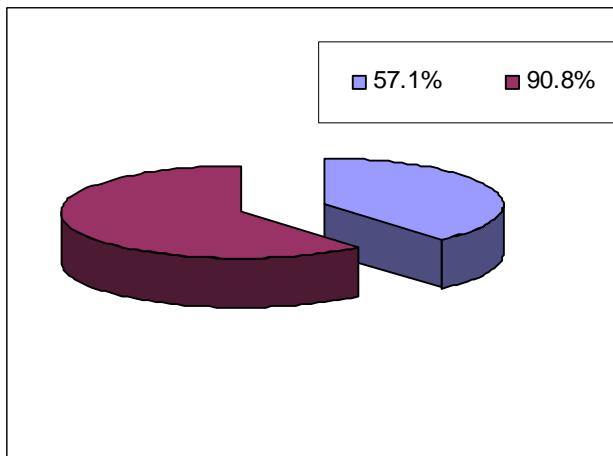
There was provided the list of questions as one way of finding what students think about e-learning. The questionnaire consisted of 26 questions and was responded by 184 students of Civil engineering faculty.

The survey about the internet connection shows figure 1. Only 10.9 % of students can not use internet. There are till 65.8% of students who can use internet all day.



*Fig 1 Possible Internet Connection of Responded Students*

75% of students found that they need some extra lessons from physics. The positive student attitude towards e-teaching shows figure 2. 90.8% of students would like to learn physics through the internet. Only 57.1% of students would take part in extra tutorage lessons from physics. It means that 43.9 % of student strictly refused to take part in traditional extra courses of physics. The main reason was time and paying no fee.



*Fig 2 Comparison of Students Who Want to Improve Their Missing Knowledge from Physics  
In the Classical Courses (57.1 %) and Using E-learning (90.8 %)*

Students presented the main reason to use e-learning was they can learn at home, or at school. The main thing was, learning in the place that suits them. And as well as studying where they want, they preferred to study when they want.

## CONCLUSION

The attitude of our student to physics-e-learning is very positive. They appreciate the flexibility of this type of education, especially to learn when they want, how fast they are able and where they want to learn. They also appreciate accessibility of this type of education for all without any payments.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work has been supported by grant ESF 13120120117.

## REFERENCES

- [1] <http://www.icslearn.co.uk/ICS-distance-learning/>
- [2] <http://www.physik.uni-mainz.de/lehramt/epec/meger.pdf>

# LABORATORNÍ ÚLOHY NEDESTRUKTIVNÍHO TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ NA ÚSTAVU FYZIKY STAVEBNÍ FAKULTY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky*

## Abstrakt:

Inovace fyzikálních laboratoří je spojena zejména s možností nákupu nových moderních zařízení. Z hlediska technické vysoké školy je nutností laboratorní experiment jak ve studiu bakalářském tak i magisterském a zejména doktorském. Získání prostředků Fondu rozvoje vysokých škol České republiky pro inovaci laboratoří fyziky přispěje k vybavení moderními prostředky, které ukazují využití nedestruktivního testování na stavebních prvcích, včetně ukázky vývoje a rozvoje moderní metody.

## NAVRŽENÉ ÚLOHY

Pro inovaci laboratoří fyziky pro výuku jak bakalářského a magisterského tak zejména doktorského studia jsou navrženy nové laboratorní úlohy, které budou úzce spojovat aplikovanou fyziku a stavebnictví. Jednou z důležitých oblastí aplikace fyziky do technických věd jsou měřící postupy a metodiky. Ty využívají základní principy fyziky. Ovšem jejich implementace není pro složitější materiály a struktury jednoduchá. V oblasti stavebnictví je použití jednoduchých materiálů, struktur a konstrukcí spíše výjimkou. Využití uvedených metod je zejména v doktorském studijním programu, kde použití může být nepřímo, pro pochopení chování struktur sledovaného vzorku.

Zavádění nových materiálů a technologií nezbytně vyžaduje také vývoj nových spolehlivých nedestruktivních metod zkoušení a kvantitativního hodnocení materiálů a konstrukcí. Pro stavebnictví se jeví jako vhodné metody akustické, založené na šíření elastického vlnění v sledovaném vzorku. Tyto metody jsou dostatečně rozpracovány především pro defektoskopii homogenních materiálů a těles nekomplikovaných tvarů. Jejich využití je ale obtížnější pro nehomogenní stavební materiály v případech malých trhlin a defektů rozložených v celém objemu vzorku nebo když je rozměr defektu srovnatelný s vlnovou délkou. Obtížná je také analýza těles složitých tvarů. Při výuce v modernizované laboratoři se studenti seznámí s výzkumem těchto metod z hlediska možností jejich využití ve stavebnictví. Získají poznatky nejen o výhodách, ale také o problémech při jejich aplikacích na stavebních vzorcích a prvcích.

## METODA AKUSTICKÉ EMISE

Metoda akustické emise patří mezi zvláštní metody nedestruktivního testování. Vlivem deformace uvnitř struktury vznikají akustické efekty. Tedy vlivem lokálního napětí vznikají mikrodefekty, které jsou provázeny uvolněním naakumulované energie. Část energie se přemění na mechanickou (akustickou) vlnu, která se šíří celou strukturou, ve které se odráží, rozptyluje a utlumuje. Tuto vlnu lze detektovat na povrchu struktury nejčastěji snímačem zrychlení. Zvláštností této metody je, že struktura musí být namáhána. Zachyceny jsou tedy pouze aktivní vady ve struktuře. Nelze určit geometrické vady a pasivní defekty. Metodu lze zařadit na rozhraní mezi destruktivními a nedestruktivními metodami. Obvykle využívá ultrazvukových vln.

Budou vytvořeny laboratorní úlohy na Experimentální sledování strukturních změn

- keramických vzorků při tepelném zatěžování metodou akustické emise,
- betonových vzorků při statickém zatěžování tahem za ohybu metodou akustické emise,
- betonových vzorků při cyklickém zatěžování tahem za ohybu metodou akustické emise.

## METODA IMPACT ECHO

Obdobně jako Metoda akustické emise, také Metoda impact echo využívá po detekci struktury šíření mechanického vlnění strukturou. Mechanická vlna je generována impulsem do struktury. Často je buzení provedeno mechanickým úderem. Vlna šířící se od tohoto místa prochází celou strukturou a překonává překážky uvnitř struktury. Vlivem těchto překážek se určitým způsobem deformeuje. Významné využití může být při určení kvality struktury a jejich vad.

Budou vytvořeny laboratorní úlohy na Testování struktury

- keramických vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo
- betonových vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo
- železobetonových vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo.

## METODA NELINEÁRNÍ SPEKTROSKOPIE

Nelineární (ultrazvuková) spektroskopie je metoda využívající nelineární vlastnosti namáhaného materiálu. Tato metoda se obvykle používá s využitím jednoho či dvou budičů (obecně jejich počet není omezen). Obvykle digitálně zaznamenaný signál je převeden do frekvenční oblasti, kde je vyhodnocen. Při buzení vzorku sinusovým signálem mohou vlivem vad vznikat ve výsledném spektru nonlinearity. Nelineární efekty jsou zachyceny v průběhu degradačního procesu mnohem dříve než jakýkoli lineární parametr (např. rychlosť šíření signálu, útlum, modul pružnosti apod.).

Budou vytvořeny laboratorní úlohy na Testování struktury

- keramických vzorků (intaktních a degradovaných) metodou nelineární ultrazvukové spektroskopie
- železobetonových vzorků (intaktních a degradovaných) metodou nelineární ultrazvukové spektroskopie

## ZÁVĚR

Laboratorní výuka, která má studentům vysokých škol technického směru ukázat moderní metody a postupy měření a hodnocení materiálů, struktur a konstrukcí a také ukázat principy fyziky moderním způsobem, je závislá na možnostech nákupu moderních zařízení. Avšak moderní přístrojové vybavení je cenově velice náročné. Bohužel převážná část experimentů nelze díky finančním možnostem realizovat.

Druhou stranou problému výuky je pedagog. Domníváme se, že jeho příjem by měl být takový, aby se plně mohl věnovat pedagogické činnosti. Bohužel, ani toto nelze z hlediska financí praktikovat.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu **FRVŠ A č. 911 Inovace výukových laboratoří pro nedestruktivní testování struktury stavebních prvků**.

# LABORATORNÍ ÚLOHY TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ METODOU IMPACT ECHO NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ

Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky

## Abstrakt:

Inovace fyzikálních laboratoří je spojena zejména s možností nákupu nových moderních zařízení. Jednou z nově aplikovaných metod určených ke sledování kvality vzorků je Metoda impact echo, známá také pod názvem metoda odezvy. Tato metoda využívá, ke zjištění kvality struktury, odezvy vzorku na mechanický impuls zaznamenaný snímačem. Studenti stavební fakulty budou seznámeni s fyzikální podstatou metody, s možnostmi její aplikace ve stavebnictví, s jejími klady a omezeními.

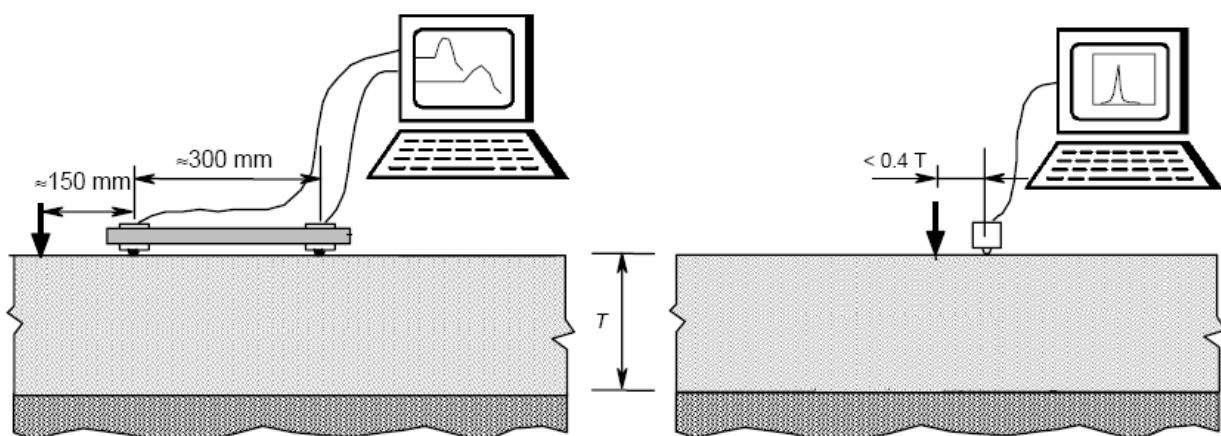
## METODA IMPACT ECHO

Mnohokrát jsme se přesvědčili, že využití poznatků z minulosti přináší docela uspokojivé výsledky. Je již dlouhodobě známo, že zvuk vybuzený úderem do hrnku či sklenice umožňuje určit jejich kvalitu. Na tomto principu, a to jak v oblasti slyšitelné, tak v oblasti neslyšitelné, je založena metoda impact echo (známá též jako metoda odezvy), obr. 1.

Obdobně jako Metoda akustické emise, také Metoda impact echo využívá po detekci struktury šíření mechanického vlnění strukturou. Mechanická vlna je generována impulsem do struktury. Často je buzení provedeno mechanickým úderem. Vlna šířící se od tohoto místa prochází celou strukturou a překážky uvnitř struktury. Vlivem těchto překážek se určitým způsobem deformuje. Významné využití může být při určení kvality struktury a jejich vad.

Budou vytvořeny laboratorní úlohy na Testování struktury

- keramických vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo
- betonových vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo
- železobetonových vzorků (intaktních a degradovaných) metodou impact-echo.

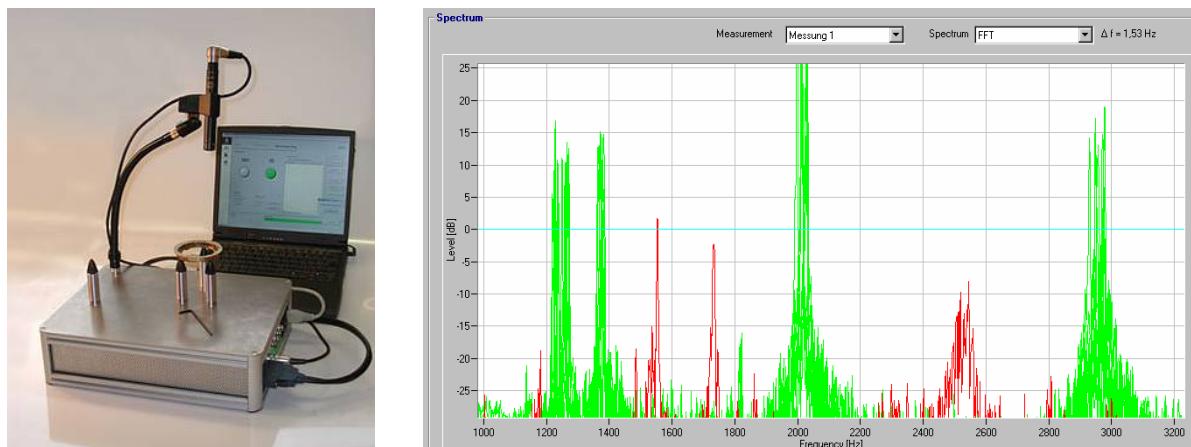


Obr. 1 Příklady aplikací metody impact echo

## TESTOVÁNÍ STRUKTURY KERAMICKÝCH, BETONOVÝCH A ŽELEZOBETONOVÝCH VZORKŮ (INTAKTNÍCH A DEGRADOVANÝCH) METODOU IMPACT-ECHO

Měřicím zařízením pro metodu impact echo (obr. 2 vlevo) budou studenti analyzovat kvalitu některých relativně homogenních stavebních materiálů jako je střešní taška, dlaždice, betonový vzorek, apod.

Vyhodnocení bude prováděno převážně ve frekvenční oblasti (obr. 2 vpravo). Na základě analýzy frekvenčních spekter budou seznámeni s tím, že každý objekt má vlastní frekvence, které budou vykazovat vlivem přítomnosti strukturních vad změny ve frekvenčních spektrech.



Obr. 2 Měřící zařízení (vlevo) a frekvenční spektrum (vpravo) měření střešní tašky (zelená – dobrá, červená – špatná)

Analýza frekvenčních spekter studentům umožní lépe pochopit proces šíření elastických vln ve struktuře vzorku. Je třeba poznamenat, že tato metoda sleduje pasivní poruchy (i geometrické) uvnitř sledované struktury. Její použití bude aplikováno jak na globálním sledování celého vzorku, tak v lokálním místě. Je zřejmé, že ne všechny vady ve struktuře mohou být odhaleny.

## ZÁVĚR

Laboratorní výuka, která má studenty vysokých škol technického směru seznámit s moderními metodami a postupy měření a hodnocení materiálů, struktur a konstrukcí a také ukázat principy fyziky moderním způsobem, je závislá na možnostech nákupu moderních zařízení. Avšak moderní přístrojové vybavení je cenově velice náročné. Bohužel převážnou část experimentů nelze díky finančním možnostem realizovat.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu **FRVŠ A č. 911 Inovace výukových laboratoří pro nedestruktivní testování struktury stavebních prvků**.

## LITERATURA

- [1] M. Korenska, L. Pazdera, Z. Chobola, *Modernization of Instructional Physics Laboratory*, New Trends in Physics – NTF 2007, November 15-16, 2007, Brno, ISBN 978-80-7355-078-3, p. 324-326
- [2] M. Korenska, Z. Chobola, R. Sokolář, P. Mikulková, J. Martinek: *Frequency Inspection as an Assesment Tool for the Frost Resistance of Fired Roof Tiles*. In: Ceramics - Silikáty, Vol. 50, No. 3/2006, ISSN 0862-5468, pp. 185 – 192

# LABORATORNÍ ÚLOHY TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ METODOU NELINEÁRNÍ SPEKTROSKOPIE NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ

Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky

## Abstrakt:

Cílem inovace přístrojového vybavení výukových laboratoří je zpřístupnit studentům praktické poznatky na úrovni dnešních technických možností. Snahou Ústavu fyziky je zavádět laboratorní úlohy, které odpovídají současným pokročilým metodám testování struktury stavebních materiálů. Nové možnosti v akustickém nedestruktivním testování poškození materiálů umožňuje nelineární akustická spektroskopie. Metody využívající akustickou spektroskopii vychází z poznatku, že nelinearity způsobená přítomností trhliny je extrémně citlivý ukazatel poškození materiálu. Nelineární parametry se ukázaly být velmi citlivé na přítomnost jakýchkoliv nehomogenit a na rostoucí poškození struktury materiálu. Tímto nelineární vlnové metody poskytují nové možnosti akustického nedestruktivního testování: nabízejí dříve netušené citlivosti, rychlost aplikace a snadnou interpretaci.

## METODY NELINEÁRNÍ ULTRAZVUKOVÉ SPEKTROSKOPIE

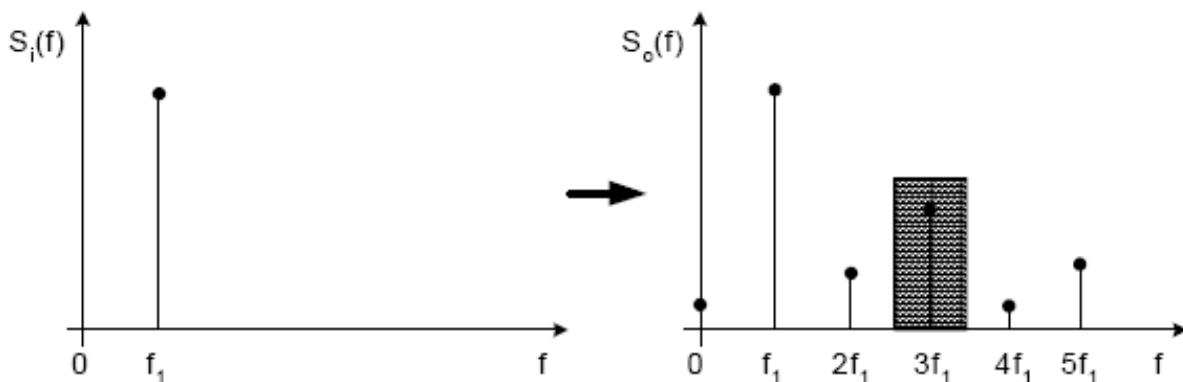
Rozpracovány byly dvě skupiny metod zaměřených na akustickou nelinearitu odezvy materiálu rezonanční a nerezonanční. Pro tělesa s potlačenými rezonančními vlivy, což je většina stavebních materiálů, nejsou rezonanční metody dobře použitelné. Proto se pro taková tělesa využívají nerezonanční metody, vyhodnocující vliv nelinearity na procházející akustický signál. Tyto metody lze rozdělit do dvou skupin:

1) měření s jedním harmonickým ultrazvukovým signálem (jeden kmitočet  $f_1$ )

2) měření s více harmonickými ultrazvukovými signály (obvykle dva kmitočty  $f_1$  a  $f_2$ ).

V prvním případě (obr. 1) způsobuje nelinearity vznik dalších harmonických signálů  $f_v$  s kmitočty dle Fourierova rozvoje

$$f_v = n f_1 \quad | \quad n = 0, 1, 2, \dots \infty . \quad (1)$$



Obr. 1 Frekvenční spektrum odezvy nelineárního prostředí

Amplitudy těchto složek obecně klesají s růstem přirozeného čísla  $n$ . Může se však také projevit menší amplituda druhé a dalších sudých harmonických složek v porovnání s lichými složkami při malé nesymetrii vlivu nonlinearity. Důležitý je tedy výrazný projev třetí harmonické složky mezi nově vzniklými frekvencemi a proto je nejčastěji vyhodnocována její amplituda.

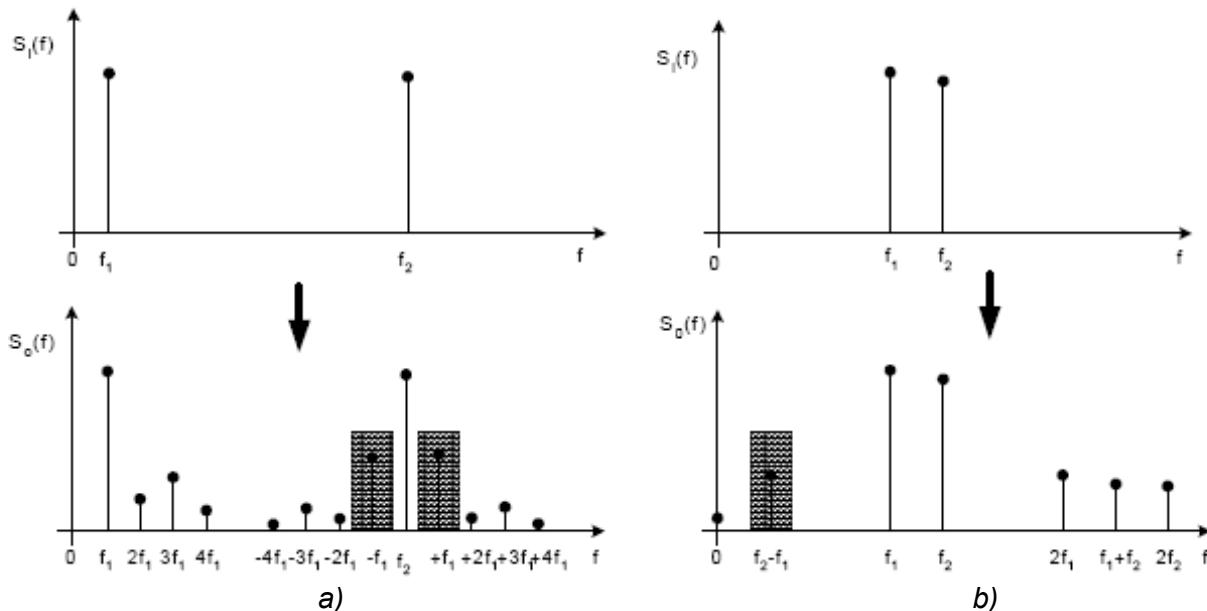
Druhý případ spočívá v současném buzení zkoušeného tělesa dvěma odlišnými frekvencemi  $f_1$ ,  $f_2$  (obr. 2) V důsledku nonlinearity materiálu vzniknou další harmonické signály  $f_v$  podle vztahu

$$f_v = |\pm m f_1 \pm n f_2| \quad |m, n = 0, 1, 2 \dots \infty|. \quad (2)$$

V tomto případě vzniká podstatně vyšší počet harmonických složek a kromě vyšších harmonických složek od obou budících harmonických signálů vznikají součtové a rozdílové složky (postranní pásma). Vzhledem k obecné zákonitosti poklesu amplitud výsledných složek s růstem přirozených čísel  $m$  a  $n$  jsou nejvýraznější první součtové a rozdílové složky s frekvencemi

$$f_v = |\pm f_1 \pm f_2|. \quad (3)$$

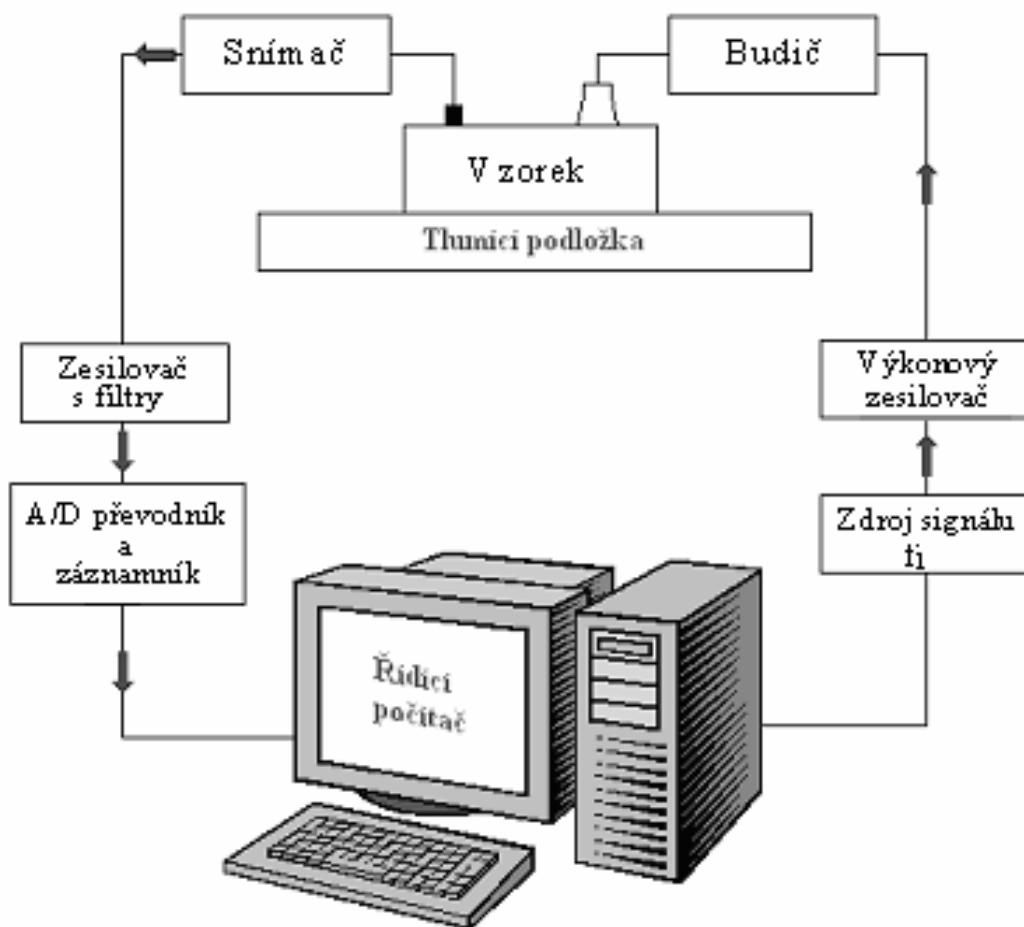
Tyto metody mají také dvě základní varianty, které lze rozlišit podle relativního poměru hodnoty kmitočtů  $f_1$  a  $f_2$ . Lze je přirovnat k radiotechnickým principům AM modulace a směšování. V prvním případě mají dva harmonické kmitočty řádově odlišnou hodnotu, jeden je nízkofrekvenční a druhý vysokofrekvenční. Při interakci těchto signálů s defektem vznikne úzkopásmový AM signál a kromě původního kmitočtu  $f_2$  se objeví postranní složky  $f_2 \pm n f_1$ , viz obr. 2a). Druhý případ využívá směšovacího principu, kdy oba budící signály mají relativně blízké hodnoty kmitočtů a první rozdílová složka má naopak poměrně nízkou hodnotu, viz obr. 2b). V tomto případě je, vzhledem k relativně velkému rozdílu kmitočtů budících signálů a kmitočtu měřené rozdílové složky, evidentní výhoda možnosti přímé detekce této rozdílové složky.



Obr. 3.5 Kmitočtové spektrum při průchodu dvou signálů nonlineárním prostředím:  
a) AM modulace s velkým poměrem  $f_2/f_1$ , b) směšování s malým poměrem  $f_2/f_1$

## TESTOVÁNÍ VZORKŮ METODOU NELINEÁRNÍ ULTRAZVUKOVÉ SPEKTROSKOPIE

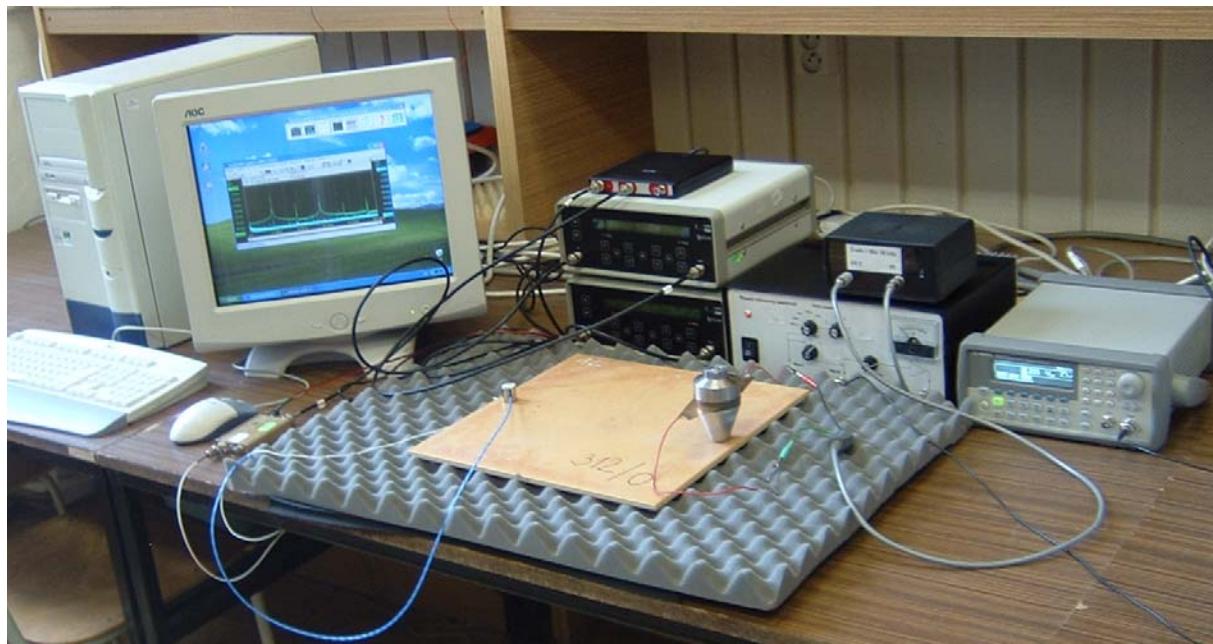
Studenti budou sledovat chování vzorků (keramických, betonových), s neporušenou celistvostí struktury a vzorků po mechanickém případně tepelném namáhání. Jednotlivé sady vzorků (stejné konstrukce) budou testovány metodou nelineární ultrazvukové spektroskopie. Studenti připraví vzorek a umístí jej do měřicího zařízení (obr. 3 a 4). Na vzorek připojí pomocí spojovacího media jeden nebo dva budiče, dle metody dle použité metody a stejným způsobem připojí dva snímače. Na jednom/dvou generátorech nastaví budící kmitočet/kmitočty. Odezva vzorku na buzení je snímána a analyzována pomocí osciloskopu spojeným s počítačem, do kterého jsou uložena vyhodnocená data.



Obr. 3 Schéma zapojení laboratorní úlohy

Výsledkem laboratorního experimentu je protokol s grafy zobrazujícími přenosové charakteristiky jednotlivých vzorků. Na základě jejich analýzy studenti určí kvalitu struktury jednotlivých vzorků.

Vyhodnocena bude korelace přenosové charakteristiky měřeného vzorku, výskyt nelineárních efektů – normalizované hodnoty amplitud vyšších harmonických, druhá mocnina korelačního koeficientu, s celistvostí struktury měřeného vzorku.



Obr. 4 Fotografia měřicí sestavy

## ZÁVĚR

Rozvoj nových metod a přístrojového vybavení v oblasti testování struktury materiálů vyžaduje také od vysokých škol technického směru, aby reagovaly na tento vývoj a poskytly studentům nejen teoretické, ale zejména prakticky poznatky v této oblasti. Vzhledem k omezeným finančním možnostem nelze převážnou část experimentů realizovat. Výše uvedená laboratorní úloha bude realizována v rámci získaného projektu FRVŠ.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu **FRVŠ A č. 911 Inovace výukových laboratoří pro nedestruktivní testování struktury stavebních prvků**.

## LITERATURA

- [1] Nonlinear Acoustic Techniques for Micro-scale Damage Diagnostics (NATEMIS) <http://www.esf.org/publication/125/Natemis.pdf>.
- [2] Hajek K., Korenska M., Sikula J., Nonlinear Ultrasonic Spectroscopy of Fired Roof Tiles, Defektoskopie 2004
- [3] KORENSKA, M., MANYCHOVA, M., PAZDERA, L., MATYSIK, M. Nonlinear Ultrasonic Spectroscopy of Structural Components, In Proceedings (CD) of 9<sup>th</sup> European Conference on NDT, Berlin, September 25-29, 2006, Germany, pp. Th.4.6.1/1 - /7, ISBN 3-931381-86-2, CD.

# LABORATORNÍ ÚLOHY VYUŽÍVAJÍCÍ METODY AKUSTICKÉ EMISE NA ÚFYZ FAST VUT V BRNĚ

Luboš Pazdera, Zdeněk Chobola, Marta Kořenská

*Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky*

## **Abstrakt:**

Inovace fyzikálních laboratoří je spojena zejména s možností nákupu nových moderních zařízení. Jedním ze zařízení, které bude nakoupeno, je zařízení pro měření metodou akustické emise. Vytvářené laboratorní úlohy se budou zabývat Experimentálním sledováním strukturních změn v betonových vzorcích při statickém zatěžování tahem za ohybu a při cyklickém zatěžování tahem za ohybu, dále pak sledováním strukturních změn v keramických vzorcích při tepelném namáhání pomocí metody akustické emise.

## **NAVRŽENÉ ZAŘÍZENÍ**

Původně mělo být měřící zařízení dodáno firmou Preditest, která sice letos ústně a loni písemně slíbila dodávku zařízení, ale letos toto odmítla, že uvedená zakázka již není pro ni zajímavá. Proto bude proveden nákup jiného zařízení od firmy Dakel. Poznamenejme, že teprve v letošním roce tato firma zprovoznila webovou stránku. [1]

Univerzální měřící a diagnostický systém DAKEL-XEDO pro měření metodou akustické emise, byl vyvinut firmou ZD Renty-Dakel, která má v této oblasti více než desetiletou tradici a jejíž produkty jsou již mnoho let úspěšně používány např. v jaderných el. Jaslovské Bohunice a Mochovce. Systém XEDO byl navržen především pro průmyslové použití, ale již během zkušebních testů (např. v ÚTM) se dobře osvědčil i při laboratorních měřeních. Díky standardnímu komunikačnímu rozhraní (ethernet) je možné jednoduše sestavovat plošně i objemově rozsáhlé aplikace s možností centrálního zpracování a archivace měřených dat.

Hlavními stavebními prvky systému jsou (kromě řídících PC) různé typy měřicích a komunikačních jednotek (karet), po skupinách tvořící kompaktní, nezávislé a plně funkční měřící přístroje (boxy). V těchto boxech je možné kombinovat libovolné měřící jednotky s alespoň jednou komunikační, jejíž prostřednictvím probíhá přenos měřených dat do řídícího počítače (popř. počítačů).

V rámci boxu probíhá komunikace mezi jednotkami po univerzální vysokorychlostní sběrnici, která poskytuje všem připojeným jednotkám mimo jiné i informace o přesném čase (přesnost na 1  $\mu$ s). Každá jednotka je schopna v rámci sběrnice rozeznat svou pozici i komunikační adresu, takže po připojení k PC je možné podat uživateli přesné informace o celém systému (plug and play). Veškeré konfigurace parametrů měření se nastavují z PC, navíc je také možné každý box dálkově (prostřednictvím komunikační karty) hardwarově zinicializovat (reset).

Typy jednotek využitých v systému XEDO jsou

- Komunikační jednotka XEDO-FE, umožňující připojení boxů k PC prostřednictvím standardního rozhraní ethernet 100Base-TX. Maximální přenosová rychlosť je 100 Mbit/sec. Prostřednictvím jednotky XEDO-FE je samozřejmě možné připojit systém XEDO k PC i pomocí existující sítě ethernet, která slouží ke komunikaci jiných zařízení. Na softwarové úrovni používá systém Xedo komunikační protokol IPX.
- Jednotka pro vyhodnocování parametrů akustické emise XEDO-AE. Po připojení snímače akustické emise (také v sortimentu firmy Dakel) umožňuje měření standardních parametrů

AE, zpracování emisních událostí s možností jejich lokalizace a přímé digitální vzorkování emisních signálů rychlostí až 8 MHz.

- Jednotka pro měření obecných fyzikálních veličin Xedo-IO. Umožňuje měření až 15 nízkonapěťových (max.  $\pm 10$  V) nízkofrekvenčních (max. 2 kHz) signálů a frekvence 2 analogových signálů až do 32 MHz. Navíc je možné použít 16 analogových výstupních kanálů s výstupem 0-5 V.

Každá jednotka systému XEDO obsahuje výkonný 16 bitový digitální signálový procesor (DSP). Řídící program pro každý takový procesor je pevně uložen v paměti ROM, která je umístěna přímo na desce plošných spojů dané jednotky. Ačkoliv je paměť ROM součástí hardwarové části systému, je program považován za součást softwarového vybavení a vztahují se na něj veškeré update, které budou poskytovány s řídícím programem pro PC.

Řídící program pro PC, umožňující konfiguraci a měření s připojeným systémem. Program je společný pro všechny typy měřících jednotek, které jsou (a budou) k dispozici. V současnosti je podporována platforma OS Windows, s využitím standardních síťových ovládačů s jejich rozšířením Windows Sockets 2. [1]

## SNÍMAČE AKUSTICKÉ EMISE

Nedílnou součástí systému jsou snímače akustické emise.

Přenosová charakteristika snímačů AE DAKEL pasivního typu (bez vestavěného předzesilovače s účinky pásmové propusti) má obecně rezonanční charakter. V širokém frekvenčním spektru se vyskytují lokální maxima a minima s polohou závislou na typu pouzdra snímače a geometrických rozměrech použitého piezoelementu. Dolní hranice přenosových charakteristik je cca 10 kHz - pro nutnost aplikace střídavé (kapacitní) vazby z důvodu eliminace vlivu pyroelektrického jevu. Snímače DAKEL lze použít až pro frekvence 2,8 MHz. Při frekvenčních vyšších jak 1 MHz je přenosová charakteristika ovlivněna vlastnosmi použitého koaxiálního kabelu.

U jednotlivých typů snímačů jsou uváděny "Relativní srovnávací charakteristiky REF05" získané buzením v soustavě pulser-snímač. Jako pulser je při všech měřeních použit měnič REF05. Buzení je prováděno sinusovým signálem 1 VRMS. Snímání je prováděno aparaturou DAKEL-XEDO se vstupním stupněm 80 až 750 kHz.

Při měření akustické emise se pro kovové materiály používají středofrekvenční snímače s frekvenčními rozsahy od 100 kHz do 2 MHz. Jinak je tomu pro stavební aplikace, kde je používán rozsah od 20 kHz do 500 kHz z důvodu velkého útlumu vysokých frekvencí. V současnosti se kromě snímače bez vestavěných elektronických obvodů vyrábějí snímače s vestavěným předzesilovačem 35 dB a „nejvýhodnější“ snímače s vestavěným předzesilovačem 35 dB a přepínačem pro režim UZ buzení. Z hlediska praktického použití je nutné dbát na provozní teplotu, při které snímač může měřit, kdy se jedná zejména o snímače: standardní rozsah teplot od 20°C do +75°C, dále pro rozšířený rozsah provoz. teplot od -40°C do +150°C a vysokoteplotní snímače od +20°C do +300°C. Pro připojení snímače k měřenému objektu jsou s přímým lepením snímače na plochu, které jsou použitelné pro většinu stavebních aplikací, dále s magnetickým držákem, šroubovým spojem (vnější, nebo vnitřní závit na snímači), s navařeným tyčovým vlnovodem, s pásovou sponou (na trubkách) příp. dalším. [1]

## METODA AKUSTICKÉ EMISE

Metoda akustické emise patří mezi zvláštní metody nedestruktivního testování. Vlivem deformace uvnitř struktury vznikají akustické efekty. Tedy vlivem lokálního napětí vznikají mikrodefekty, které jsou provázeny uvolněním naakumulované energie. Část energie se přemění na

mechanickou (akustickou) vlnu, která se šíří celou strukturou, ve které se odráží, rozptyluje a utlumuje. Tuto vlnu lze detektovat na povrchu struktury nejčastěji snímačem zrychlení. Zvláštností této metody je, že struktura musí být namáhána. Zachyceny jsou tedy pouze aktivní poruchy ve struktuře. Nelze určit geometrické vady a pasivní defekty. Metodu lze zařadit na rozhraní mezi destruktivními a nedestruktivními metodami. Obvykle využívá ultrazvukových vln.

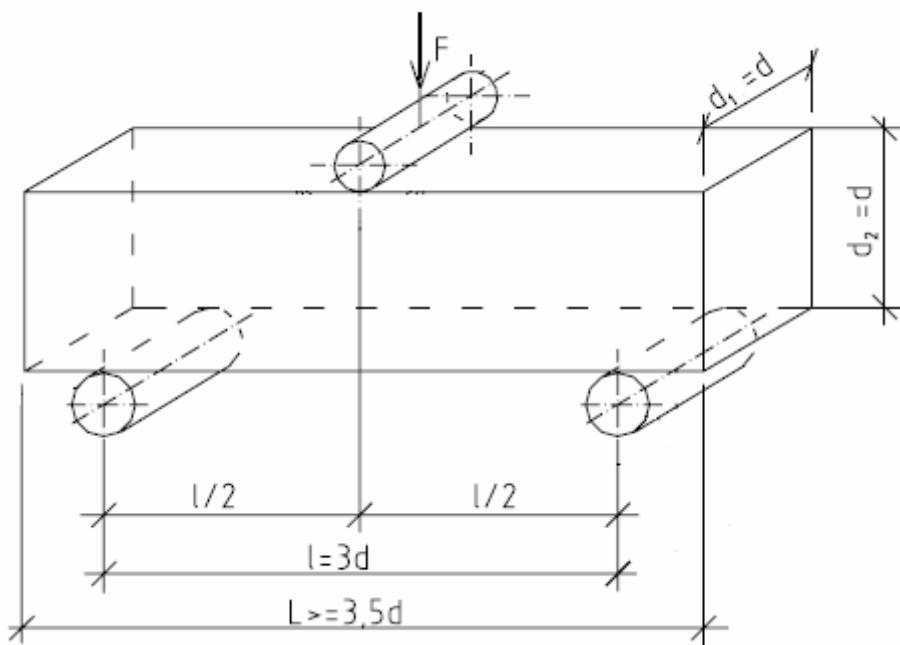
Budou vytvořeny laboratorní úlohy na Experimentální sledování strukturních změn

- betonových vzorků při statickém zatěžování tahem za ohybu metodou akustické emise,
- betonových vzorků při cyklickém zatěžování tahem za ohybu metodou akustické emise,
- keramických vzorků při tepelném zatěžování metodou akustické emise.

### **EXPERIMENTÁLNÍ SLEDOVÁNÍ STRUKTURNÍCH ZMĚN BETONOVÝCH VZORKŮ PŘI STATICKÉM ZATĚŽOVÁNÍ TAHEM ZA OHYBU METODOU AKUSTICKÉ EMISE**

Studenti budou mít připraven vzorek, betonový trámeček standardních rozměrů 10 cm x 10 cm x 400 cm. Tento vzorek umístí do lisu tak, aby byl namáhán tříbodovým ohybem. Na vzorek se pomocí vosku připojí sada snímačů. Snímače se zapojí do měřicího systému akustické emise. Zatěžování vzorku bude prováděno postupně. Během zatěžování bude zaznamenávána aktivita akustické emise. Ve chvíli, kdy bude emisní aktivita vysoká, bude zatěžování zastaveno. Současně s emisní aktivitou bude sledována zatěžovací síla a trhliny vznikající ve vzorku.

Výsledkem experimentu bude sepsání protokolu o měření, který bude obsahovat klasické položky. V protokolu budou uvedeny grafy aktivity akustické emise a vyhodnocení vybraných sledovaných parametrů akustické emise v závislosti na síle a čase. Druhou částí bude sledování vzniku a rozvoje trhlin vizuálně. Závěrem budou porovnány získané výsledky – vizuální a akustické emise – a provedeno zhodnocení.



Obr. 1 Tříbodové zatížení v ohybu [2]

Pro výpočet maximální zatěžovací síly  $F_M$  [N] použijeme vztah [2]

$$F_M = \frac{2 \cdot \sigma_{ct} \cdot d_1 \cdot d_2^2}{3 \cdot l} = \frac{2}{9} \cdot \sigma_{ct} \cdot d^2 \quad \text{resp.} \quad \sigma_{ct} = \frac{3 \cdot F_M \cdot l}{2 \cdot d_1 \cdot d_2^2} = \frac{9 \cdot F_M}{2 \cdot d^2}$$

kde  $\sigma_{ct}$  je pevnost v tahu ohybem [MPa] a  $d$  je rozměr viz obr. 1 [mm]. V našem případě při použití vzorku 100 mm x 100 mm x 400 m dostaneme rovnici

$$F_M = \frac{2 \cdot 10^4}{9} \cdot \sigma_{ct} \quad [\text{N, MPa}].$$

## EXPERIMENTÁLNÍ SLEDOVÁNÍ STRUKTURNÍCH ZMĚN BETONOVÝCH VZORKŮ PŘI CYKLICKÉM ZATĚŽOVÁNÍ TAHEM ZA OHYBU METODOU AKUSTICKÉ EMISE

Tato úloha bude mít analogický postup jako úloha předchozí. Pouze systém zatěžování bude jiný. Vzorek bude zatižen definovanou silou a poté odlehčen. V dalším kroku bude zatižení opakováno, ale výsledná síla bude vyšší než síla předchozí. Tento krok bude opakován několikrát. Rozložení zatěžovací síly bude v procentech vypočteného maximálního možného předpokládaného zatěžení vzorku, tj. např. 25 %  $F_M$ , 50 %  $F_M$ , a 75 %  $F_M$ .

Výsledkem experimentu bude protokol obsahující také určení, zda-li v průběhu testu byl pozorován Kaiser nebo Felicity efekt.

## EXPERIMENTÁLNÍ SLEDOVÁNÍ STRUKTURNÍCH ZMĚN KERAMICKÝCH VZORKŮ PŘI TEPELNÉM ZATĚŽOVÁNÍ METODOU AKUSTICKÉ EMISE

V tomto případě je možné použít několika modifikací měření. Bud' bude vzorek zahříván nebo ochlazován, bude-li to možné v průběhu zahřívání, případně po dosažení stanovené teploty a přesunu vzorku do standardních podmínek, bude připojeno zařízení pro snímání aktivity akustické emise. Současně bude pomocí teplotního čidla sledována změna teploty. Vlivem vzniklého teplotního gradientu bude v keramickém vzorku vznikat emisní aktivita, tedy mikrotrhliny. Porovnáním aktivit na dvou různých vzorcích budou studenti posuzovat kvalitu struktury sledovaných vzorků.

Výsledkem bude protokol obsahující popis sledovaných jevů, resp. grafy závislosti vybraných parametrů akustické emise v závislosti na změně teploty příp. na čase.

## ZÁVĚR

Laboratorní výuka, která má studentům vysokých škol technického směru ukázat moderní metody a postupy měření a hodnocení materiálů, struktur a konstrukcí a také ukázat principy fyziky moderním způsobem, je závislá na možnostech nákupu moderních zařízení. Avšak moderní přístrojové vybavení je cenově velice náročné. Bohužel převážnou část zajímavých experimentů nelze díky finančním možnostem realizovat.

Tento příspěvek vznikl v rámci řešení projektu **FRVŠ A č. 911 Inovace výukových laboratoří pro nedestruktivní testování struktury stavebních prvků**.

## LITERATURA

- [1] [www.dakel.cz](http://www.dakel.cz)
- [2] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu

## Poznámky ku vzťahu medzi bakalárskym a magisterským štúdiom a k vedeckej práci na menších katedrách

Ján Pišút  
FMFI UK Bratislava

Tieto poznámky vychádzajú z mojich skúseností na Fakulte matematiky, fyziky a informatiky a čiastočne aj z mojej práce v ARRA (Akademická Rankingová a Ratingová Agentúra). Je otázne, či sú v niečom použiteľné aj pre prácu Katedier fyziky na vysokých školách technického zamerania. Ak nie, čo je pravdepodobnejšie, je to len prirodzené, pretože podmienky na rôznych fakultách sú rôzne. Ak aspoň do istej miery áno, je to sice menej pravdepodobné, ale tým lepšie.

### Ku vzťahu medzi bakalárskym a magisterským štúdiom

Jedným z problémov našej fakulty je pomerne malý záujem o štúdium matematiky, fyziky a informatiky. Výnimkou je aplikovaná informatika, o ktorú je záujem pomerne vysoký. Ďalšími výnimkami sú finančná a banková matematika a medecínska fyzika, kde ale prijímame len obmedzené počty študentov. Pokles záujmu o štúdium je snáď najzreteľnejší pri štúdii učiteľstva matematiky a fyziky. Pred dvadsiatimi rokmi sme mali v jednom ročníku 60 – 80 študentov, dnes me radi, keď je to desatina z týchto čísel.

Jednou príčinou je všeobecne známa náročnosť štúdia na našej fakulte. Viacero ľudí, vrátane mňa sa domnieva, že sme mohli využiť uzákonené rozdelenie päť ročného štúdia na bakalársku a magisterskú časť a prísť s novou koncepciou štúdia. Bohužiaľ sa to nestalo a nová organizácia štúdia bola koncipovaná tak, aby bola veľmi blízka doterajšej. Pre mňa to má len jednu malú výhodu v tom, že moje skúsenosti so štúdiom z rokov 1956 – 1961 sú stále aspoň trocha relevantné.

Najťažšou časťou nášho štúdia boli prvé dva ročníky. V matematike to bola pomerné náročná matematická analýza a algebra a vo fyzike klasický úvodný kurz. Kto absolvoval prvé dva ročníky s veľkou pravdepodobnosťou úspešne ukončil aj celé päť ročné štúdium.

Takéto usporiadanie štúdia je celkom v rozpore s predstavou anglosaského bakalárskeho a magisterského štúdia. Bakalárské štúdium má byť ľahšou časťou celého vysokoškolského vzdelávania. Študenti, ktorí majú predpoklady len na zvládnutie teoreticky menej náročnej prvej časti, si potom prirodzene a z vlastného rozhodnutia volia len bakalárské štúdium. Zmena nášho systému na takýto anglosaský model, by znamenala dôkladnú prestavbu štúdia, menej náročné a možno viac prakticky orientované prvé dva až tri ročníky a potom podstatne náročnejšie posledné dva roky štúdia. Keby štúdium namiesto piatich rokov bolo šest ročné asi by to nevadilo. Navrhnuté dnes časti študentov, aby ukončili štúdium po troch rokoch bakalárskeho štúdia vyžera z ich hľadiska dosť nelogicky. A majú aj pravdu.

Situáciu na vysokých školách technického zamerania nepoznám ako bývalý študent. Občas som recenzoval skriptá pre úvodné kurzy fyziky a niekedy som sa stretol s dátami o počtoch študentov, ktorí predčasne končia štúdium. Skriptá pre úvodné kurzy sa mi takmer vždy videli priveľmi náročné. Keď beriem do úvahy aj to, že študenti prichádzajú aj zo stredných odborných škôl a z učňovských škôl s maturitou, tak ma vysoké počty študentov, ktorí predčasne končia štúdium ani tak veľmi neprekvapuje. To, že vysoká škola má pomerne mäkké, ak vôbec nejaké, prijímacie pohovory, tiež nie je prekvapujúce. Všetci vieme, že podstatná časť štátnej

dotácie pre vysokú školu sa odvíja od počtu jej študentov. Nie je to jediná časť a na niektorých fakultách je časť dotácie za vedeckú činnosť pomerne vysoká.

Zmeniť organizáciu štúdia z nášho klasického stredoeurópskeho modelu na anglosaský je mimoriadne obťažné. Priznávam sa, že okrem toho mála, čo som povedal vyššie, nemám podrobny recept ani pre našu fakultu ani pre fakulty na vysokých školách technického smeru.

Odporučam len, aby si fakulty vytvorili malé pracovné skupiny, ktoré by sa aspoň teoreticky pokúsili vytvoriť model takejto prestavby štúdia. Zahraničné skúsenosti by boli určite veľmi cenné.

## K vedeckej práci na menších katedrách

Zo svojich skúseností na našej fakulte viem, že pre vedeckú prácu sú veľmi dôležité:

- a) fungujúci seminár (alebo semináre pre jednotlivé zamerania), na ktorom sa pravidelne (najlepšie raz za týždeň) stretávajú účastníci,
- b) spolupráca s inými podobne zameranými pracoviskami na Slovensku,
- c) zahraničná spolupráca.

Fungujúci seminár je veľmi dôležitý. Pred nejakými 30 rokmi sme na bývalom MatFyze presadzovali dve pravidlá. Prvé hovorilo, že ak katedra nie je schopná udržať pravidelný seminár (minimálne raz za týždeň, alebo raz za dva týždne), tak nemá právo na existenciu. Druhé pravidlo sa týkalo náplne seminárov. Seminár mal svojho tajomníka a povinost'ou tajomníka bolo nájsť rečníka na každý seminár. Ak tajomník nemôhol nájsť referujúceho, musel hovoriť sám.

Spolupráca s inými, podobne zameranými pracoviskami často vychádza z práce semináru. Pre tajomníka je jednoduchým riešením pozývať rečníkov z iných domácich podobne zameraných pracovísk. Na takýchto seminároch sa potom niekedy objavia aj témy na spoluprácu a na niekedy tá spolupráca aj „zafunguje“. Ak „nezafunguje“ vždy, je to úplne normálne.

Analýzy ARRA ukazujú, že intenzívna publikačná činnosť je zväčša spojená s intenzívnu zahraničnou spoluprácou. Vidno to hned, ak sa pozriemy na zoznamy publikácií takých pracovísk ako Fyzikálny Ústav SAV, FMFI UK, Ústav experimentálnej fyziky SAV, Virologický ústav SAV, Ústav experinetálnej endokrinológie SAV, Ústav stavebníctva a architektúry SAV (USTARCH) a mnohé ďalšie. Mimochodom o USTARCHu sa traduje, že jeho práce sú zväčša zamerané na zložité matematické modely, ale v poslednom čase sa v tomto ústave objavili aj zaujímavé práce, ktoré sú „fyzikálnejšie“.

Spolupráca so špičkovými domácimi pracoviskami je tiež prirodzenou cestou k dobrej medzinárodnej spoupráci.

Jedným z pomerne smutných zistení analýz ARRA je pomerne nízka korelácia medzi počtom doktorandov a kvantitou a kvalitou vedeckej práce. Aj na tom je mnoho prirodzeného. Vysoká škola a fakulta vie, že vyšší počet doktorandov prináša väčšie prostriedky. Fakulte pomáha aj to ak doktorand úspešne ukončí štúdium. Ale ani v zákone, ani v smerniciach ministerstva sa nedá dostatočne podrobne charakterizovať kvalita a kvantita vedeckej práce doktoranda.

S tým suvisí aj súčasný stav, v ktorom doktorand musí byť študentom istej vysokej školy a fakulty a táto fakulta potom môže uzatvoriť zmluvu s ústavom SAV o tom, že vedecká časť prípravy sa uskutoční na danom ústavе SAV. Analýza ARRA ukázala tiež, že fakulty s relatívne veľmi dobrými výsledkami vo vede a výskume majú takto „zazmluvnené“ vyššie percento doktorandov ako fakulty, ktorých vedecké výsledky sú slabšie. V Českej republike majú finančne dobre dotované projekty,

ktorých podmienkou je spolupráca fakúlt a ústavov ČAV a čo najlepšia spolupráva pre vzdelávaní doktorandov. Aj u nás by bolo dobré tento problém systematicky riešiť. Kým sa niečo také uskutoční pomohla by aj spolupráca vo forme pomocných školiteľov z úspešných ústavov SAV.

Počas svojho dlhého pôsobenia na fakulte som bol asi 10 rokov členom vedeckých rád fakulty aj univerzity a počet stretnutí katedry sa mi ani nechce odhadovať. Vedecké rady trávia väčšinu času schvaľovaním PhD, docentúr, atď., ale analýza koncepcíi a výsledkov vedeckej a výskumnej činnosti sa tam robí veľmi, veľmi zriedkavo. Na zasadaniach katedier je to podobné. Domnievam sa, že by sme o tom na týchto fórách mali hovoriť oveľa viac.

### Záverečné poznámky

Ani na úspešnú organizáciu bakalárskeho a magisterského štúdia, ani na podporu vedeckej a výskumnej činnosti neexistujú jednoduché recepty. Nevýhodou sú aj pomerne vysoké pedagogické úväzky na katedrách fyziky technicky zameraných fakúlt. Ak predchádzajúci text privedie niekoho z čitateľov k tomu, aby sa zamyslel nad problémami štúdia a výskumnej práce z trocha iného hľadiska ako doteraz, tak text splnil svoj účel.

Celkom na záver d'akujem organizátorom za pozvanie.

# EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ KOEFICIENTU ODPORU PROTI DIFÚZI CO<sub>2</sub> A PROPUSTNOSTI OXIDU UHLIČITÉHO

**<sup>1</sup>Iveta Plšková, <sup>1</sup>Vlasta Juránková, <sup>2</sup>Jiří Adámek**

<sup>1</sup>Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav fyziky, Žižkova 17, 602 00 Brno, Česká republika, plskova.i@fce.vutbr.cz, jurankova.v@fce.vutbr.cz,

<sup>2</sup> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Veveří 95, 602 00 Brno, Česká republika, adamek.j@fce.vutbr.cz

## Abstrakt:

Karbonatace je chemický proces, při kterém dochází ke vzniku uhličitanu reakcí hydroxidu vápenatého a oxidu uhličitého. V průběhu reakce dochází k neutralizaci hydroxidových iontů a tím ke snižování hodnoty pH pórového roztoku. Karbonatace v betonu je v důsledku snižování korozní ochrany pro ocelovou výzvuž děj negativní. V článku jsou prezentovány výsledky získané z experimentálního stanovení koeficientu odporu proti difúzi CO<sub>2</sub> a propustnosti oxidu uhličitého povrchovou vrstvou betonu.

## KARBONATACE

Proces karbonatace hydroxidu vápenatého lze zjednodušeně popsat rovnicí:



Rychlosť postupu karbonatace od povrchu betonu k výzvuž závisí na [1] :

- propustnosti betonu krycí vrstvy
- tloušťce krycí vrstvy
- relativní vlhkosti prostředí a jejím časovém průběhu
- obsahu oxidu uhličitého v obklopujícím prostředí
- teplotě prostředí, jelikož teplota ovlivňuje rychlosť chemických reakcí.

## ZKUŠEBNÍ VZORKY

Zkušební vzorky byly připraveny oddělením různých částí z jádrového vývrutu betonových těles vyrobených z uvedených typů betonových směsí (obr.1)



Obr. 1: Zkušební vzorky

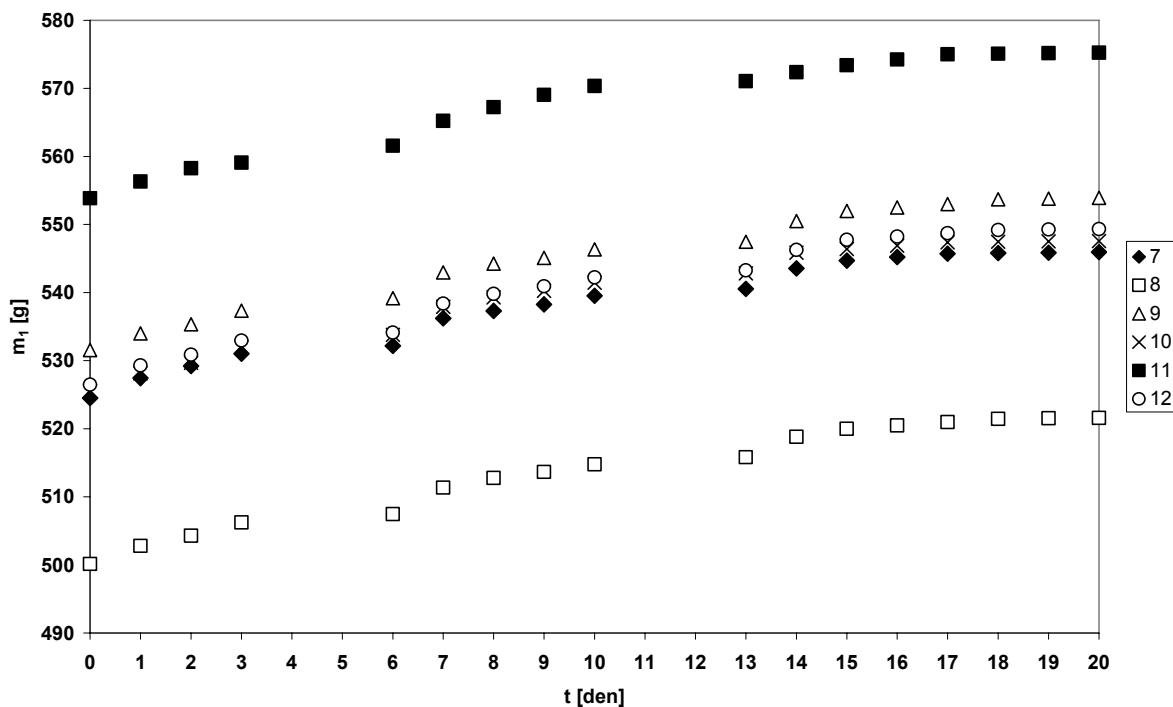
Následně byla zkušební tělesa utěsněna v měřících nádobách (viz. obr 2) a poté vystavena proudění 10% oxidu uhličitého. Oxid uhličitý, který pronikl zkušebním vzorkem se měřil kvantitativně. Měřící nádoby obsahovaly přesné množství látky absorbující oxid uhličitý, v našich experimentech se jednalo o hydroxid draselný. Měřící nádoby byly pečlivě utěsněny, aby nedocházelo k pronikání žádného plynu z okolního prostředí a byly uchovávány v atmosféře suchý oxid uhličitý/vzduch. Jejich vážení probíhalo v pravidelných intervalech po 24 hodinách. Na obr. 2 je fotografie měřící aparatury.



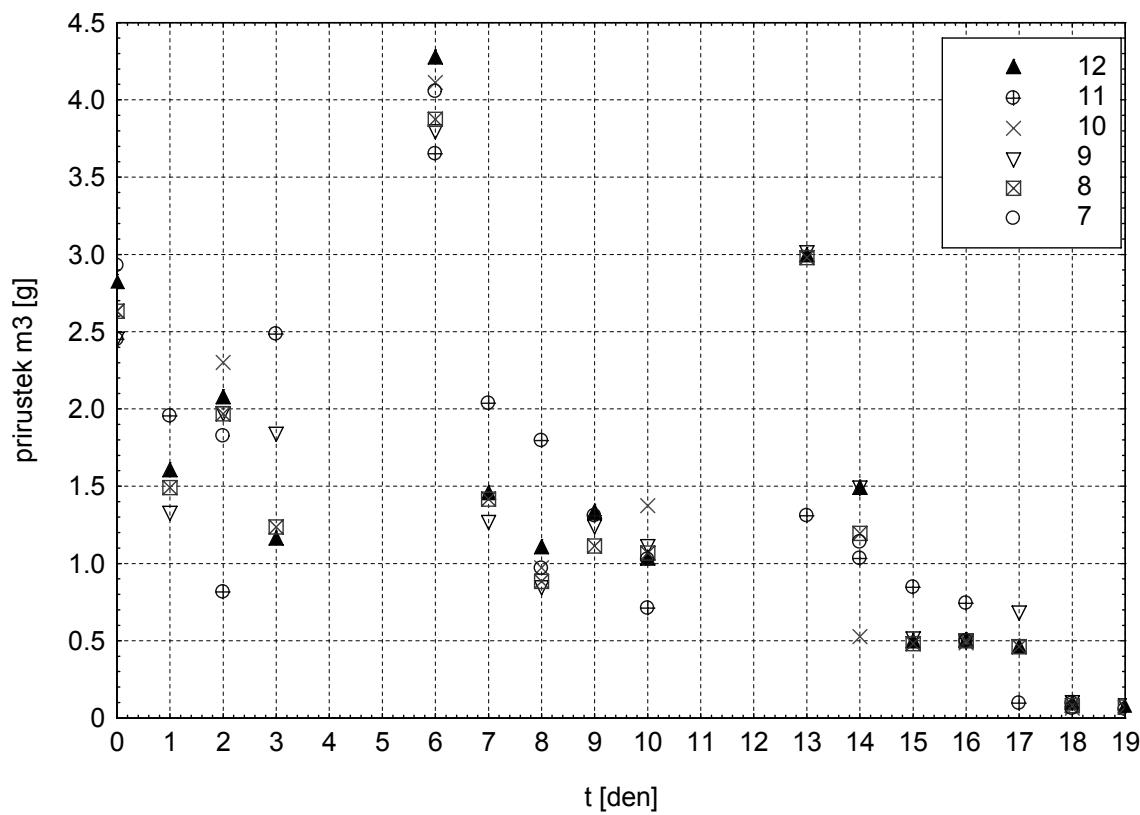
Obr. 2: Měřící nádoba a měřící aparatura

### STANOVENÍ KOEFICIENTU ODPORU PROTI DIFÚZI $\text{CO}_2$ A PROPUSTNOST OXIDU UHLIČITÉHO

Propustnost oxidu uhličitého se stanovila z nárůstu hmotnosti hydroxidu draselného. Stanovení propustnosti oxidu uhličitého bylo ukončeno po dosažení ustáleného stavu, kdy přírůstek hmotnosti zkušební nádoby zůstal během dvou následných časových intervalů konstantní. Na obr. 3 je hmotnost po 24 hodinách u jednotlivých zkušebních vzorků. Na obr. 4 je zaznamenán přírůstek hmotnosti po 24 hodinách. Postup měření propustnosti oxidu uhličitého předepisuje norma ČSN EN 1062-6. [2]



Obr. 3: Hmotnosti vzorků po 24 hodinách



Obr. 4: Přírůstek hmotnosti po 24 hodinách

Propustnost oxidu uhličitého je množství oxidu uhličitého v gramech, které pronikne za jeden den zkušebním vzorkem o ploše jeden metr čtvereční při definovaném parciálním tlaku nebo

definovaném koncentračním rozdílu. Stanovení koeficientu odporu proti difúzi CO<sub>2</sub> a propustnost oxidu uhličitého se stanovilo dle následujících vzorců:

$$i = \frac{d_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot p}{t \cdot A \cdot c \cdot p_{amb}}$$

kde

- $d_m$  je rozdíl hmotností při dvou následných váženích při konstantní změně hmotnosti [g]  
 $K_1$  přepočítávací koeficient z hodin na dny,  $K_1 = 24$   
 $K_2$  přepočítávací koeficient z c na 10%,  $K_2 = 10$   
 $t$  doba trvání stanovení při konstantní permeační rychlosti [hod]  
 $A$  zkušební plocha [ $m^2$ ]  
 $c$  koncentrace oxidu uhličitého v měřícím plynu [ % ]  
 $p_{amb}$  atmosférický tlak ve zkušebním prostředí [kPa]  
 $p$  přepočítávací koeficient z  $p_{amb}$  v kilopascalech na referenční tlak 1bar,  $p = 100$

Difúzně ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy  $s_D$  [m]

$$s_D = \frac{248}{i}$$

Koeficient udávající, kolikanásobně je daný zkušební vzorek za stejných podmínek odolnější proti průniku oxidu uhličitého než statická vzduchová vrstva o stejně tloušťce.

$$\mu = \frac{s_D}{s}$$

kde

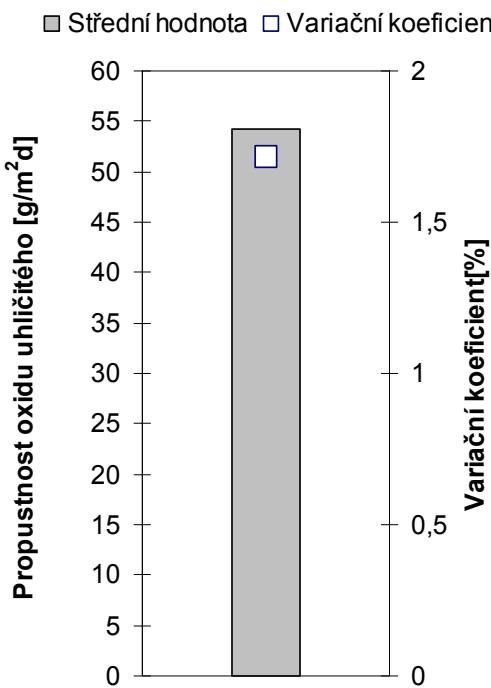
- $s_D$  je difúzně ekvivalentní tloušťka vzduchové vrstvy [m]  
 $s$  tloušťka zkoušeného povlaku získaná měřením tloušťky filmu [m]

## VÝSTUPY A VÝSLEDKY

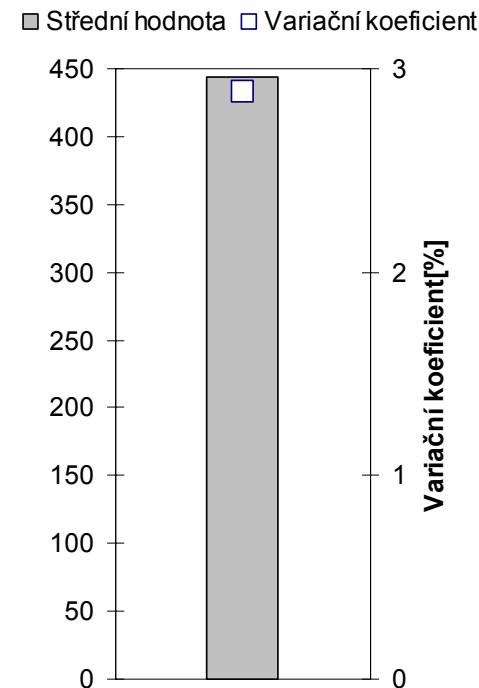
V tab. 1 jsou uvedeny průměrné hodnoty vypočítané z konstantního přírůstku hmotnosti hydroxidu draselného. Na obr. 5 jsou zaznamenány střední hodnota propustnosti oxidu uhličitého a variační koeficient. Na obr. 6 je střední hodnota koeficientu difúzního odporu a variační koeficient pro měřené zkušební vzorky.

PRŮMĚRNÉ HODNOTY (při konstantním přírůstku hmotnosti KOH)				
Označení vzorků	$m_3$ [g]	$i$ [ $g/m^2 d$ ]	$s_D$ [m]	$\mu$ [-]
7	0,510	55,1	4,50	456
8	0,481	53,2	4,67	440
9	0,512	55,5	4,47	420
10	0,509	53,9	4,60	449
12	0,479	53,4	4,64	452

Tab. 1: Průměrné hodnoty při konstantním přírůstku hmotnosti KOH



Obr. 5 Hodnoty propustnosti oxidu uhličitého – střední hodnota, variační koeficient



Obr. 6 Hodnoty koeficientu difúzního odporu – střední hodnota, variační koeficient

## ZÁVĚR

Propustnost betonu je mj. dána vodním součinitelem (čím je vyšší, tím je beton poréznější), způsobem hutnění, dobou ošetřování, přísadami, křivkou zrnitosti kameniva a druhem cementu [1]. Průměrná hodnota propustnosti oxidu uhličitého zkoušených betonových vzorků byla  $54 \text{ g/m}^2\text{d}$ . Průměrná hodnota koeficientu difúzního odporu byla 443.

## PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory MŠMT 1M06005 „Centrum integrovaného výzkumu anorganických kompozitů“.

## LITERATURA

- [1] TEPLÝ, B., KERŠNER, Z., ROVNANÍKOVÁ, P. K navrhování železobetonových konstrukcí s ohledem na životnost. Beton – technologie, konstrukce, sanace, 6/2002. ISSN 1213-Ref...
- [2] ČSN EN 1062-6: Nátěrové hmoty - Povlakové materiály a povlakové systémy pro vnější zdivo a betony - Část 6: Stanovení propustnosti oxidu uhličitého. ČNI, 2002

# VÝUKA APLIKOVANÉ FYZIKY NA STAVEBNÍ FAKULTĚ ČVUT V PRAZE

Doc. Ing. Petr Semerák, Ph.D.

Katedra fyziky, Stavební fakulta ČVUT v Praze, Thákurova 7, 166 29 Praha 6,  
[semerekp@fsv.cvut.cz](mailto:semerekp@fsv.cvut.cz)

## Abstrakt:

Článek popisuje zavedení nového předmětu Aplikovaná fyzika na Stavební fakultě ČVUT v Praze.

## ÚVOD

Na magisterském studijním programu Stavební inženýr, obor Životní prostředí jsme zavedli nový předmět Aplikovaná fyzika.

Studenti stavební fakulty ČVUT mají fyziku pouze ve druhém semestru bakalářského studia, kde absolvují základní kurs. Ten sestává z přednášek a početních cvičení, studenti tedy nemají laboratorní cvičení z fyziky, ani z jiného předmětu. Aby se budoucí inženýři během studia setkali s praktickým měřením, zavádíme nový předmět Aplikovaná fyzika. Tento předmět je zaměřen na měření různých fyzikálních veličin stavebních materiálů a prostředí. Týdenní dotace předmětu je 1 hodina přednášek a 2 hodiny laboratorních cvičení. Na přednáškách se studenti seznámí s teorií měření a obecnými základy metrologie, v laboratorních cvičeních studenti ve skupinách samostatně absolvují základní úlohy sledování fyzikálních veličin ve stavební praxi a životním prostředí.

## PŘEDNÁŠKY

Přednášky jsou sestaveny tak, aby studenti získali teoretické informace nutné pro dobrou orientaci v oblasti metrologie a pro úspěšné absolvování laboratorních cvičení. Studentům je vyložena teorie zaměřená na obecné zásady metrologie, základy teorie chyb a nejistot měření, principy experimentů, sestavování aparatury, sledování měřených veličin. Dále jsou studenti seznamováni s různými metodami měření veličin – přímými i nepřímými. Vzhledem k tomu, že většina nepřímých metod je založena na principu měření elektrických veličin, je část přednášek věnována elektřině a magnetizmu.

## LABORATORNÍ CVIČENÍ

V laboratořích katedry fyziky stavební fakulty ČVUT v Praze jsme postavili úlohy na sledování fyzikálních veličin ve stavební praxi a životním prostředí, konkrétně jde o měření:

- hustoty pevných látek
- modulu pružnosti různými metodami
- viskozity kapalin
- hluku
- vibrací
- měrné tepelné kapacity různými metodami
- součinitele tepelné vodivosti

- teploty různými metodami
- účinnosti různých tepelných spotřebičů
- elektrického odporu
- kapacity kondenzátorů

V uvedených úlohách se studenti seznámí a naučí pracovat nejen se základními měridly pro zjišťování rozměrů, času, hmotnosti, elektrického napětí a proudu, teploty apod., ale pracují i se složitými a moderními přístroji - hlukoměrem, akcelerometrem, měřičem součinitele tepelné vodivosti, ultrazvukovým defektoskopem a jinými. Mimo to se naučí zpracovávat naměřené hodnoty do formy výsledných protokolů včetně určování nejistot měření. Tyto poznatky potom mohou využít nejen v dalším studiu, ale především v praxi.

### **PODPORA FRVŠ**

V letošním roce se nám podařilo získat finanční prostředky z Fondu rozvoje vysokých škol, které umožnily pořídit některé přístroje a vybavení laboratoře nutné pro zavedení tohoto předmětu. Jedná se především o osciloskop pro sestavení aparatury pro rezonanční metodu měření modulu pružnosti, čidla, milivoltmetr a ohmmetr pro měření teploty, stopky a digitální měridla pro měření rozměrů a dalších veličin, PC pro zpracování naměřených dat a jiné.

### **ZÁVĚR**

Studenti se na bakalářském stupni nedostanou do styku s praktickým měřením. Vzhledem k technickému zaměření školy pokládáme za důležité, aby se každý absolvent seznámil s praktickým měřením nejrůznějších fyzikálních veličin a zavedení tohoto předmětu k tomu značnou mírou přispívá.

### **PODĚKOVÁNÍ**

Tento článek vznikl za podpory projektu Fondu rozvoje vysokých škol F1 2062/2008.

### **LITERATURA**

- [1] Toman, J. - Semerák, P.: Fyzika 10 - Praktická cvičení. 2. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. 174 s. ISBN 80-01-02379-6.
- [2] Michalko, O. - Mikš, A. - Semerák, P. - Klečka, T.: Fyzikální a mechanické zkoušení stavebních materiálů. Praha : ČVUT, 1998. 138 s. ISBN 80-01-01736-2.

# INVESTIGATION OF 6MM ARMATURE CORROSION WITH IMPACT-ECHO METHOD BY LONGITUDINAL PLACED SENSOR AND IMPACT

Jiří Skala, Zdeněk Chobola

*Dept. of Physics, Fac. of Civil Engineering, Brno University of Technology  
Žižkova 17, 602 00 Brno, Czech Republic, [chobola.z@fce.vutbr.cz](mailto:chobola.z@fce.vutbr.cz)*

**Abstract:** The paper deals with the study of dominant frequencies of an Impact-Echo method response signal obtained from a steel rod of a diameter of 6 mm. Tension pulse was produced in axis of the rod at one end and detected in axis at opposite end of rod. Dominant frequencies of the response signal as determined by means of Fast Fourier Transform (FFT) will be the main criterion for the reinforced concrete armature corrosion progress.

## 1. INTRODUCTION

Steel armature corrosion makes an important problem of reinforced concrete structures. The armature condition influences profoundly the properties of horizontal structures. Note that the occurrence of corrosion in the bulk cannot be observed from the outside in many cases. This is why studies of non-destructive methods allowing the researchers to detect the degree of corrosion for the built-in armatures are being paid much attention currently.

Armature corrosion which is not accompanied by the covering layer destruction is particularly dangerous. This corrosion type is not due to the concrete being attacked by its environment, but, rather, to the concrete – in a modified chemical form – having attacked the reinforcement steel. Whereas the concrete strength increases with the time, its ability to protect the armature by the concrete passivation process, is going down at the same time. The reduction of the protecting capacity is connected with the natural carbonation of insufficiently dense concrete, in consequence of atmospheric carbon dioxide absorption. Featuring the capacity to increase the concrete strength and corrosion resistance, the carbonation bereaves – at the same time – the concrete of its capacity to protect the steel armature.

An acoustic emission method, known as Impact-Echo method, providing for the internal structure damage evolution and degree detection, appears to be a convenient method to monitor the building structure condition.

## 2. PRINCIPLE OF THE IMPACT-ECHO METHOD

A short-time mechanical impulse (a hammer blow) is applied to the specimen under test to be detected by means of piezoelectric sensors placed on the specimen surface. The impulse is reflected by the surface but also by micro-cracks and defects being present in the specimen under investigation. Thus originating resonance frequency is determined by means of frequency analysis. Dominant frequencies can be determined from the response by means of Fourier transform.

### 3. OBJECTIVE OF THE STUDY

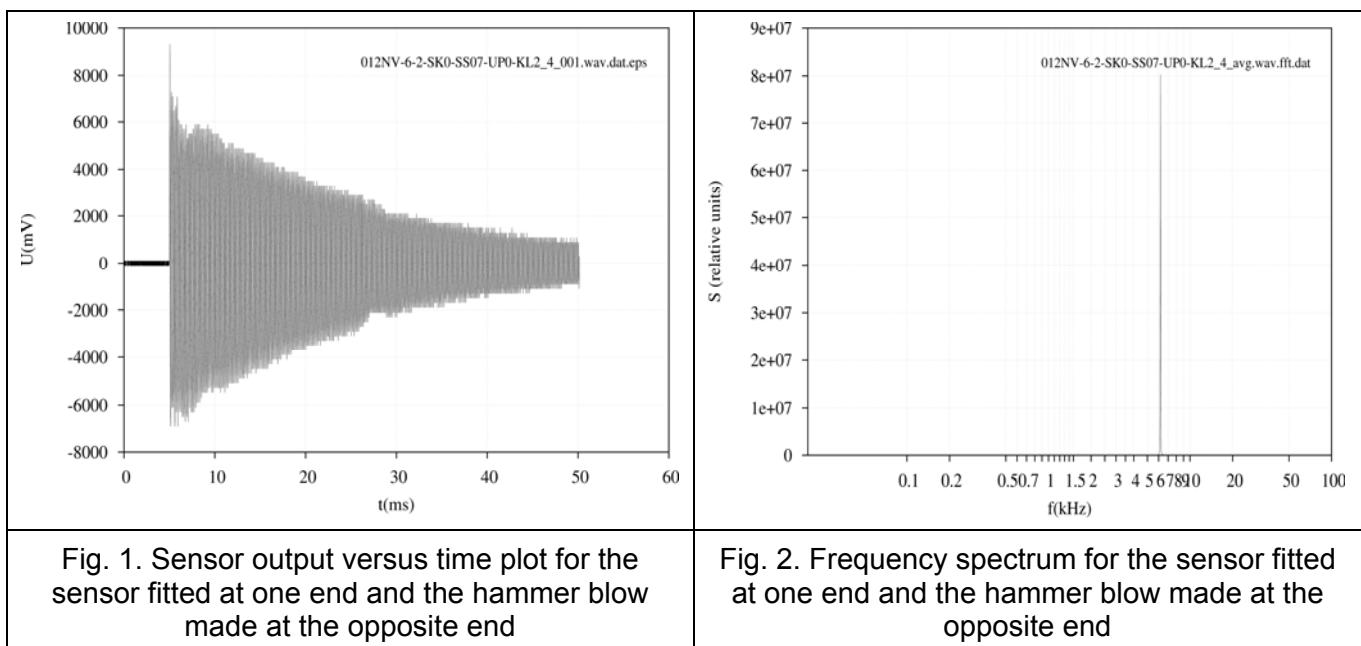
The present research aimed at studying the response signal predominant frequencies in 6mm armature rods, which were subsequently corroded.

To launch the corrosion, accelerated degradation in compliance with RILEM AAC 7.2. standard was used. In all cases, the specimens were immersed into a 5% water solution of NaCl for 16 hours, to be subsequently placed into a drier, whose internal air temperature amounted to 40°C, for 8 hours.

### 4. MEASURING PROCEDURE

The 400mm long and 8mm diameter steel armature have been studied. To generate the exciting impulse, a steel hammer hit the specimen surface. An S3 piezoelectric sensor was used to pick up the response, the respective impulses being fed into the input of a Yokogawa 1540-CL four-channel, eight-bit digital oscilloscope. Having been recorded by the oscilloscope, the response impulses were subsequently analyzed by means of an SW package called AE-proc.

The piezoelectric sensor being placed at one rod end rod in the rod centre line direction and the hammer having hit the opposite end of the rod in the rod centre line direction.



### 5. MEASUREMENT RESULTS

Fig. 1 shows the piezoelectric sensor output voltage versus time plot for the sensor being placed at the rod end in the rod centre line direction. The damping coefficient of recorded signal is  $\lambda = 44 \text{ s}^{-1}$ .

Fig 2 shows the frequency spectrum as recorded for the sensor being placed at the rod end in the rod centre line direction and the rod being hit at the opposite rod end in the rod centre line direction. A list of 15 measurements is broken down Table 1. The mean frequency observed

amounts to 6180Hz. Given the steel rod length of 0.4 m this corresponds to the propagation velocity of  $4944 \text{ ms}^{-1}$ . Longitudinal waves, which propagate within the rod at a speed of about  $5100 \text{ m s}^{-1}$ , can affect the concrete element oscillations. Moreover, transversal waves are present in the armature in most configurations, too. Surface Rayleigh waves are also likely to propagate in the specimen surface. The spectrum we are observing during the experiment is therefore a superposition of all these wave types.

Tab1. Non-corroded armature

sample	$\lambda$ (1/s)	f (Hz)
6	92	6160
7	63	6220
8	78	6240
9	55	6200
10	89	6220
11	64	6200
12	56	6220
13	68	6180
14	87	6220
15	75	6200
16	56	6150
17	92	6160
18	52	6230
19	53	6230
20	89	6220
$\emptyset$	<b>71</b>	<b>6203</b>

Tab 2. Armature after first degradation cycle

sample	$\lambda$ (1/s)	f (Hz)
6	65	6230
7	93	6190
8	81	6220
9	53	6170
10	59	6160
11	66	6200
12	72	6220
13	61	6180
14	59	6160
15	72	6180
16	67	6200
17	53	6150
18	82	6160
19	76	6220
20	61	6190
$\emptyset$	<b>68</b>	<b>6189</b>

Tab 3 Armature after second degradation cycle

sample	$\lambda$ (1/s)	f (Hz)
6	62	6170
7	52	6190
8	49	6200
9	51	6180
10	65	6150
11	60	6150
12	42	6160
13	56	6150
14	65	6180
15	65	6160
16	55	6150
17	76	6130
18	51	6180
19	52	6190
20	72	6160
$\emptyset$	<b>58</b>	<b>6167</b>

Tab 4 Armature after third degradation cycle

sample	$\lambda$ (1/s)	f (Hz)
6	49	6160
7	43	6160
8	56	6140
9	62	6120
10	63	6140
11	60	6140
12	44	6180
13	57	6160
14	54	6160
15	49	6100
16	60	6140
17	55	6100
18	52	6120
19	49	6160
20	51	6100
$\emptyset$	<b>54</b>	<b>6139</b>

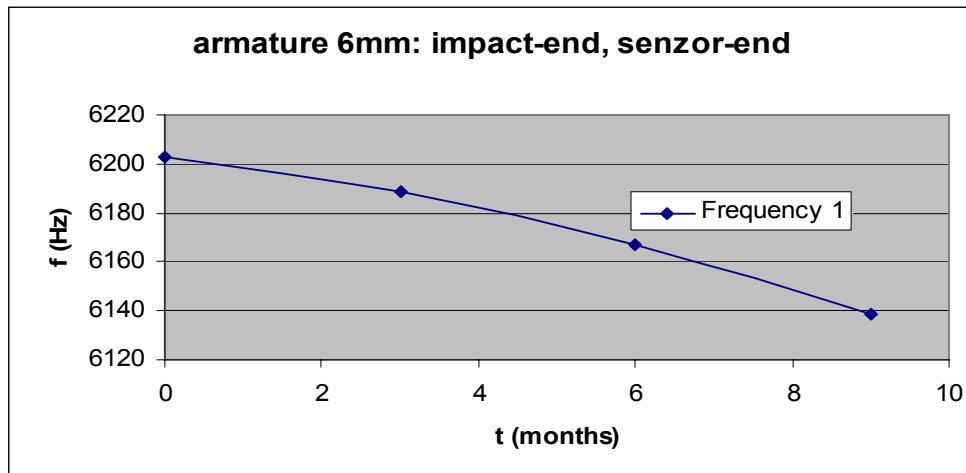


Fig. 3 Dependence of dominant frequency on degradation cycles

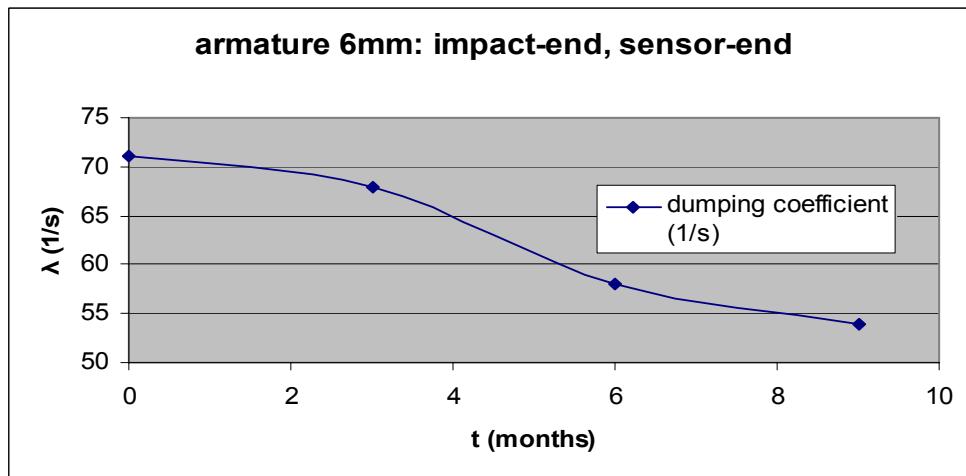


Fig. 4 Dependence of damping coefficient on degradation cycles

## CONCLUSION

Our accelerated degradation measurements of the 6 mm dia. steel armature frequency response showed the dominant frequencies to shift towards the lower frequency region, depending on the corrosion progress. The damping coefficient value showed a significant downward movement during the accelerated degradation process, too.

Based on the above results, the frequency inspection method can be recommended as an efficient tool to evaluate the steel armature corrosion condition.

## ACKNOWLEDGMENT

This paper has been written under the support of the Research Design of **MSMT** **MSM0021630519**.

## REFERENCES

- [1] SKALA J., CHOBOLA Z.: *Frequency inspection as a tool to assess the armature corrosion* Workshop NDT 2005 by Brno University of Technology , 31. 11. 2005, 159 - 161, ISBN 80-7204-420-6
- [2] KOŘENSKÁ, M., CHOBOLA, Z., MIKULKOVÁ, P., MARTINEK, J., On the application of impact-echo method to assess the quality of ceramic roofing tiles. In: *Proceedings of IV. Conference MATBUD`2003*, 2003, Krakow 2003, pp. - 239 – 244

# INVESTIGATION OF REINFORCED CONCRETE CORROSION WITH IMPACT-ECHO METHOD BY IMPACT AND SENSOR PLACED AT CONCRETE BEAM

Jiří Skala, Zdeněk Chobola

*Dept. of Physics, Fac. of Civil Engineering, Brno University of Technology  
Žižkova 17, 602 00 Brno, Czech republic, [chobola.z@fce.vutbr.cz](mailto:chobola.z@fce.vutbr.cz)*

**Abstract:** The paper deals with the study of dominant frequencies of an Impact-Echo method response signal obtained from a reinforced concrete beam with a steel rod diameter of 6mm. Tension pulse was produced in the middle of concrete beam side and detected in the middle of concrete beam side. Dominant frequencies of the response signal as determined by means of Fast Fourier Transform (FFT) will be the main criterion for the reinforced concrete armature corrosion progress.

## 1. INTRODUCTION

Steel armature corrosion makes an important problem of reinforced concrete structures. The armature condition influences profoundly the properties of horizontal structures. Note that the occurrence of corrosion in the bulk cannot be observed from the outside in many cases. This is why studies of non-destructive methods allowing the researchers to detect the degree of corrosion for the built-in armatures are being paid much attention currently.

Armature corrosion which is not accompanied by the covering layer destruction is particularly dangerous. This corrosion type is not due to the concrete being attacked by its environment, but, rather, to the concrete – in a modified chemical form – having attacked the reinforcement steel. Whereas the concrete strength increases with the time, its ability to protect the armature by the concrete passivation process, is going down at the same time. The reduction of the protecting capacity is connected with the natural carbonation of insufficiently dense concrete, in consequence of atmospheric carbon dioxide absorption. Featuring the capacity to increase the concrete strength and corrosion resistance, the carbonation bereaves – at the same time – the concrete of its capacity to protect the steel armature.

An acoustic emission method, known as Impact-Echo method, providing for the internal structure damage evolution and degree detection, appears to be a convenient method to monitor the building structure condition.

## 2. PRINCIPLE OF THE IMPACT-ECHO METHOD

A short-time mechanical impulse (a hammer blow) is applied to the specimen under test to be detected by means of piezoelectric sensors placed on the specimen surface. The impulse is reflected by the surface but also by micro-cracks and defects being present in the specimen under investigation. Thus originating resonance frequency is determined by means of frequency analysis. Dominant frequencies can be determined from the response by means of Fourier transform.

### 3. OBJECTIVE OF THE STUDY

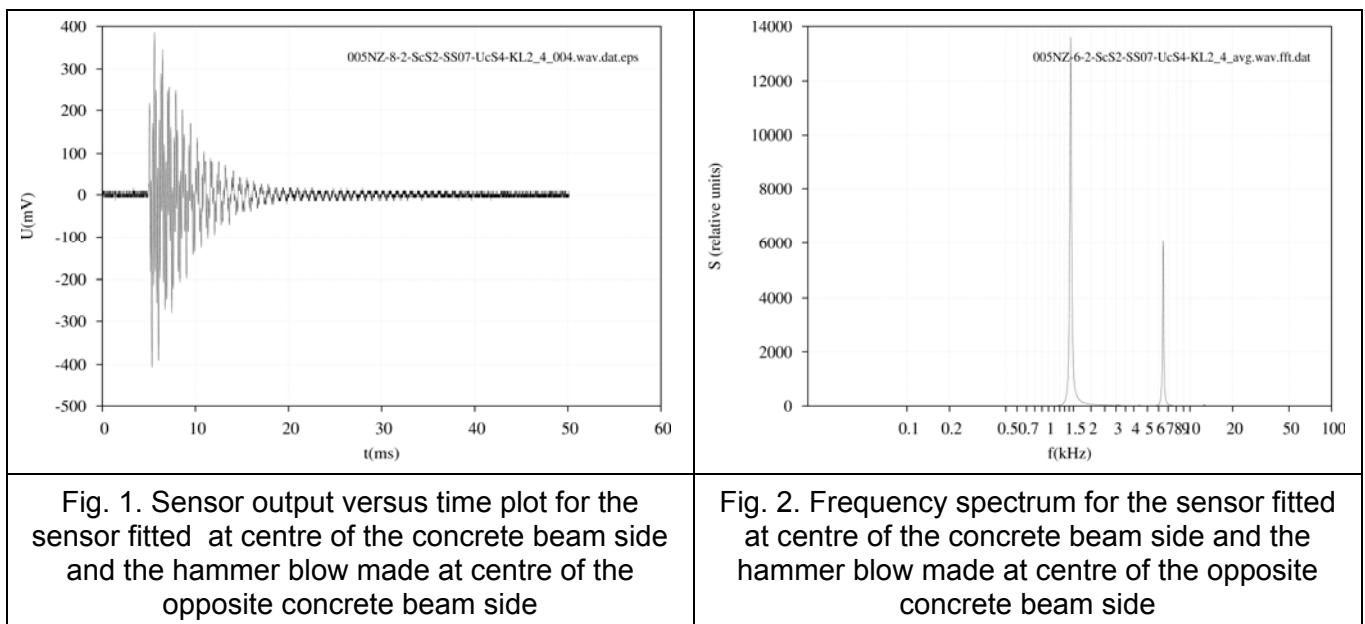
The present research aimed at studying the response signal predominant frequencies in a reinforced concrete beam with a steel rod diameter of 6mm, which were subsequently corroded.

To launch the corrosion, accelerated degradation in compliance with RILEM AAC 7.2. standard was used. In all cases, the specimens were immersed into a 5% water solution of NaCl for 16 hours, to be subsequently placed into a drier, whose internal air temperature amounted to 40°C, for 8 hours.

### 4. MEASURING PROCEDURE

The 360x50x50mm concrete beam with and 6mm diameter steel armature have been studied. To generate the exciting impulse, a steel hammer hit the specimen surface. An S3 piezoelectric sensor was used to pick up the response, the respective impulses being fed into the input of a Yokogawa 1540-CL four-channel, eight-bit digital oscilloscope. Having been recorded by the oscilloscope, the response impulses were subsequently analyzed by means of an SW package called AE-proc.

The piezoelectric sensor being placed in the middle of the beam side and the hammer having hit the centre of concrete beam side.



### 5. MEASUREMENT RESULTS

Fig. 1 shows the piezoelectric sensor output voltage versus time plot for the sensor being placed at the rod end in the rod centre line direction. The recorded signal duration is  $t = 15$  ms and the damping coefficient  $\lambda = 231\text{s}^{-1}$ .

Fig 2 shows the frequency spectrum as recorded for the sensor being placed at the rod end in the rod centre line direction and the rod being hit at the opposite rod end in the rod centre line

direction. A list of 15 measurements is broken down Table 1. The mean frequency observed amounts to 1435Hz and 6512Hz. Longitudinal waves, which propagate within the rod at a speed of about  $5100 \text{ m s}^{-1}$ , can affect the concrete element oscillations. Moreover, transversal waves are present in the armature in most configurations, too. Surface Rayleigh waves are also likely to propagate in the specimen surface. The spectrum we are observing during the experiment is therefore a superposition of all these wave types.

Tab1 Non-corroded armature

Vzorek	$\lambda/\text{s-1}$	F1/Hz	F2/Hz
1	287	1535	6878
2	312	1572	6898
3	299	1564	6877
4	247	1543	6896
5	231	1541	6883
6	298	1522	6879
7	322	1557	6884
9	314	1529	6889
10	289	1502	6894
12	245	1553	6888
13	221	1541	6876
14	352	1536	6655
15	314	1542	6857
16	332	1533	6884
17	297	1498	6896
18	286	1502	6895
19	312	1498	6905
20	321	1536	6888
$\emptyset$	293	1534	6873

Tab 2 Armature after first degradation cycle

Vzorek	$\lambda/\text{s-1}$	F1/Hz	F2/Hz
1	262	1503	6762
2	281	1546	6755
3	266	1533	6877
4	214	1543	6785
5	201	1512	6764
6	264	1499	6792
7	297	1489	6791
9	284	1503	6756
10	253	1478	6754
12	217	1524	6766
13	198	1511	6745
14	321	1487	6602
15	289	1505	6732
16	301	1499	6758
17	264	1465	6745
18	258	1478	6786
19	276	1475	6801
20	278	1506	6751
$\emptyset$	262	1503	6762

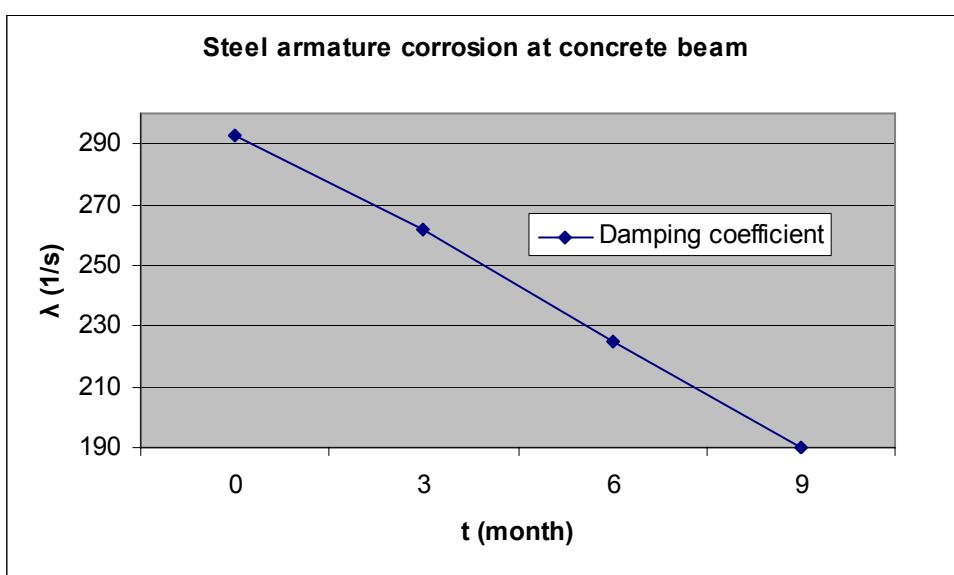


Fig. 3 Dependence of damping coefficient on degradation cycles

Tab 3 Armature after second degradation cycle

Vzorek	$\lambda/\text{s-1}$	F1/Hz	F2/Hz
1	229	1474	6635
2	248	1514	6622
3	222	1506	6726
4	176	1512	6654
5	173	1486	6621
6	267	1465	6688
7	251	1467	6645
9	263	1476	6602
10	214	1445	6689
12	187	1498	6678
13	172	1478	6606
14	254	1453	6512
15	234	1476	6604
16	256	1468	6612
17	224	1436	6602
18	231	1457	6645
19	245	1451	6699
20	212	1473	6632
$\emptyset$	225	1474	6637

Tab 4 Armature after third degradation cycle

Vzorek	$\lambda/\text{s-1}$	F1/Hz	F2/Hz
1	187	1415	6542
2	263	1435	6502
3	145	1399	6487
4	202	1475	6477
5	231	1435	6512
6	158	1475	6504
7	266	1455	6479
9	167	1415	6499
10	166	1495	6502
12	203	1435	6485
13	221	1435	6469
14	190	1455	6508
15	133	1475	6532
16	180	1475	6523
17	156	1396	6541
18	215	1455	6539
19	198	1386	6507
20	144	1376	6522
$\emptyset$	190	1438	6507

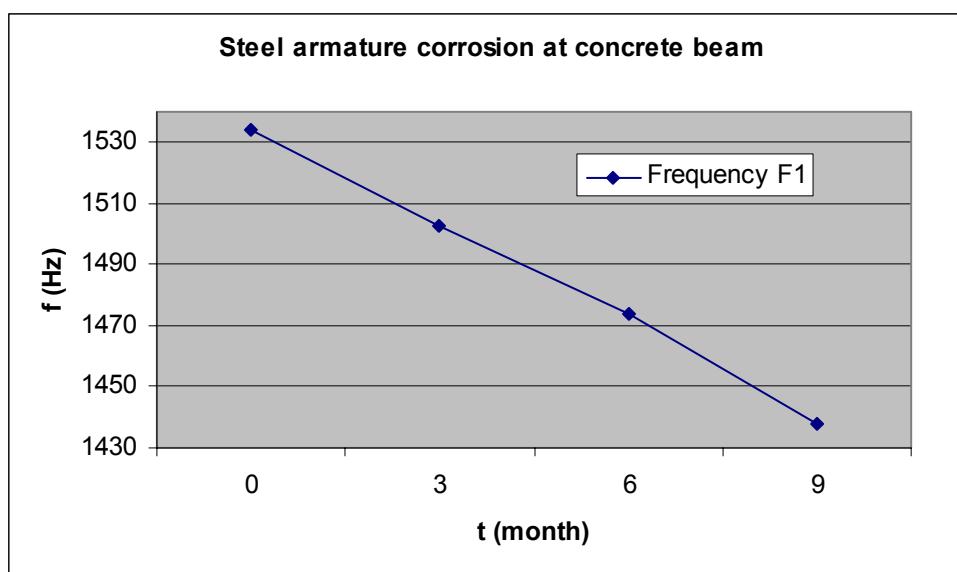


Fig. 4 Dependence of dominant frequency on degradation cycles

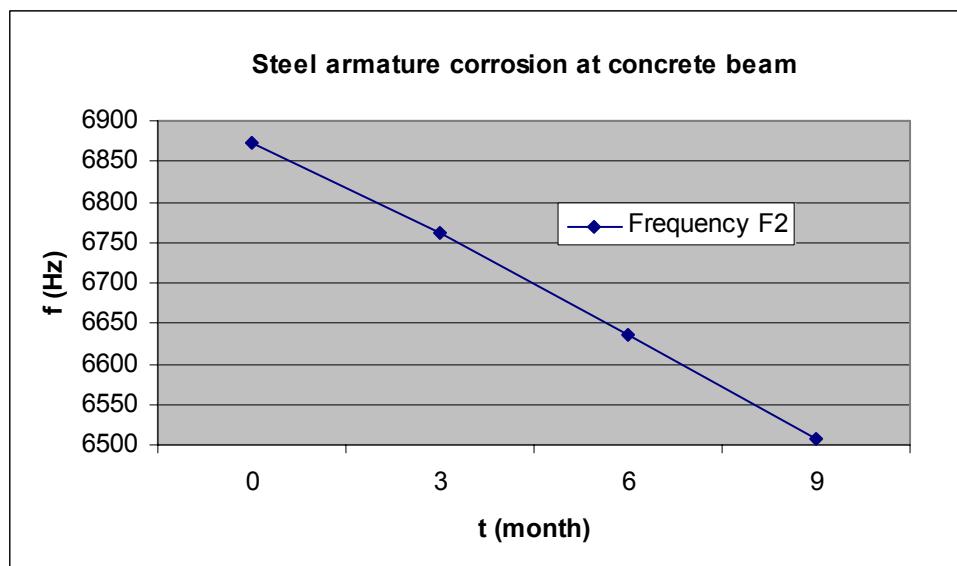


Fig. 5 Dependence of dominant frequency on degradation cycles

## CONCLUSION

Our accelerated degradation measurements of the reinforced concrete beam with a 6mm steel armature frequency response showed the dominant frequencies to shift towards the lower frequency region, depending on the corrosion progress. The damping coefficient value showed a significant downward movement during the accelerated degradation process, too.

Based on the above results, the frequency inspection method can be recommended as an efficient tool to evaluate the steel armature corrosion condition.

## ACKNOWLEDGMENT

This paper has been written under the support of the Research Design of MŠMT  
**MSM0021630519**.

## REFERENCES

- [1] Skala J., Chobola Z.: *Frekvenčný inspekcia ako nástroj na hodnotenie korózneho stavu železnej armatúry*. Workshop NDT 2005 by Brno University of Technology 31. 11. 2005, 159-161, ISBN 80-7204-420-6
- [2] KOŘENSKÁ, M., CHOBOLA, Z., MIKULKOVÁ, P., MARTINEK, J., On the application of impact-echo method to assess the quality of ceramic roofing tiles. In: *Proceedings of IV. Conference MATBUD'2003*, 2003, Krakow 2003, pp. - 239 – 244

# ŠTÚDIUM VPLYVU FÁZOVEJ MRIEŽKY NA KINETIKU NANOČASTÍC V MAGNETICKEJ KVAPALINE

Július Štelina, Ctibor Musil

Katedra fyziky, Elektrotechnická fakulta,  
Žilinská univerzita, Univerzitná 1, 010 26 Žilina

e-mail: [stelin@fel.uniza.sk](mailto:stelin@fel.uniza.sk), musil.ctibor@gmail.com

## Abstrakt:

V článku je ukázaný príspevok fázovej a časticovej mriežky na intenzitu prvého difrakčného maxima diagnostického He-Ne laserového lúča, ktorým je mriežka testovaná.

## 1. Úvod

V minulosti sme prezentovali štúdium kinetiky nanočastíc v magnetických kvapalinách prostredníctvom sledovania časovej závislosti rozpadu fázovej a časticovej mriežky, vytvorenej vo vzorke. V tejto práci ukazujeme, aký je príspevok každej z nich na difrakčnú účinnosť. V súvislosti s vyšetrovaním znamienka Soretovho koeficientu sme sa špeciálne zaujímali ako prispieva fázová mriežka na difrakčnú účinnosť počas vzniku a rozpadu časticovej mriežky, čo je možné sledovať prostredníctvom diagnostického laserového lúča He-Ne lasera. Príspevok od fázovej mriežky by mohol viest' ku skresleniu výsledkov merania.

Je známe, že ak v kvapalnom médiu je index lomu závislý od teploty, potom v takomto médiu je možné vytvoriť periodickú priestorovú zmenu teploty, ktorá reprezentuje teplotnú fázovú mriežku. Na takejto mriežke je možné pozorovať difrakciu svetla [1].

Ak sú v kvapaline súčasne prítomné nanočastice, potom okrem fázovej mriežky v dôsledku uplatňovania sa termodifúzie je možné vytvoriť aj časticovú mriežku. Na takejto mriežke je možné pozorovať difrakciu svetla. Sledovaná difrakcia je potom superpozíciou obidvoch difrakcií t.j. od fázovej aj časticovej mriežky.

## 2. Experimentálne usporiadanie

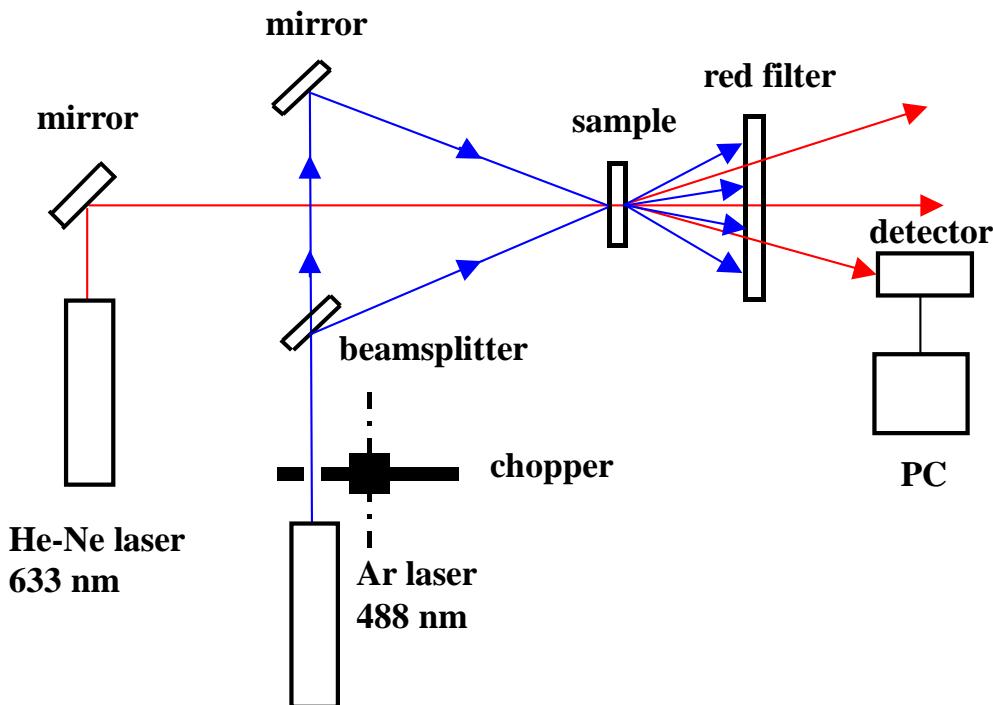
Pre nás experiment sme zvolili metódu periodického prerušovania laserových zväzkov, ktoré v mieste prekríženia vzájomne interferujú a tak vytvárajú periodické interferenčné pole [2], [3].

Ak do tohto miesta vložíme vzorku koloidnej kvapaliny napr. v tvare tenkej vrstvy, dôjde k periodickému prerozdeleniu nanočastíc, čo sa prejaví pozorovanou samodifrakciou, alebo difrakciou diagnostického laserového lúča (Obr. 1).

Laserový lúč Ar-lasera o vlnovej dĺžke  $\lambda = 488$  nm bol periodicky prerušovaný chopperom. Doba osvetlenia vzorky bola 10 s a doba prerušenia zväzku bola 2 s. Zväzok ďalej prechádzal deličom optického zväzku a pomocou ďalšieho zrkadla sme získali požadované dva skrížené interferujúce laserové zväzky.

Použitá vzorka v tvare tenkej vrstvy mala hrúbku 60  $\mu\text{m}$  a bola realizovaná magnetickou kvapalinou na báze petroleja, v ktorom boli dispergované nanočastice

kysličníka železa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , ktorých priemer bol cca 10 nm. Vo vzorke sa v dôsledku difúzneho a termodifúzneho mechanizmu vytvorila optická mriežka [1], [4], [5]. Diagnostický laserový zväzok He-Ne laseru o  $\lambda = 633$  nm difraguje na tejto mriežke. Difragovaný lúč prvého difrakčného maxima dopadá na detektor, z ktorého signál je zavedený do počítača. Takéto experimentálne usporiadanie umožňuje získať signál, ktorého časová závislosť zodpovedá vytvoreniu a po zrušení interferenčného poľa zániku optickej mriežky.



Obr. 1 Usporiadanie aparátury

Tento postup umožňuje tiež sledovať časovú závislosť rozpadu mriežky, keď po zrušení interferenčného poľa rozpadajúcu sa mriežku prisvetľujeme jedným z pôvodných dvoch laserových lúčov.

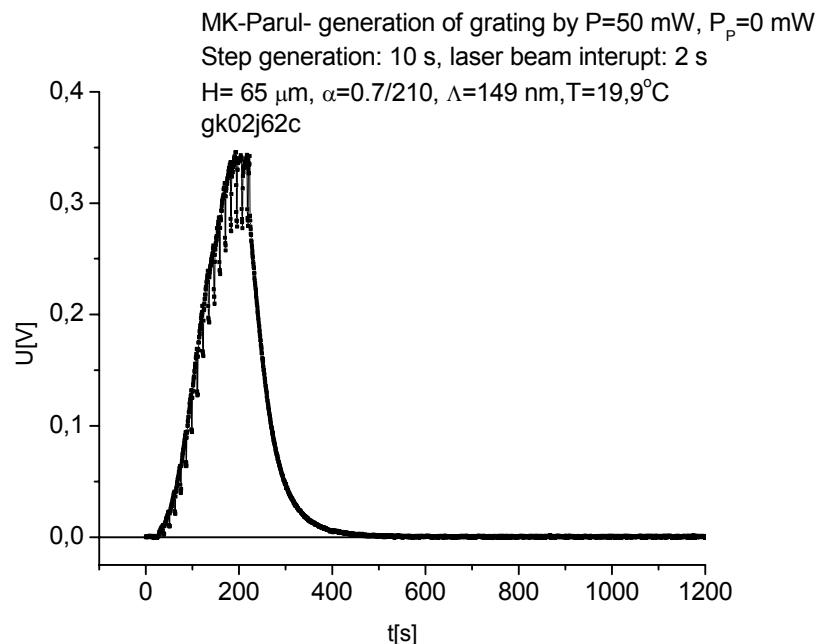
### 3. Experimentálne výsledky

Na Obr. 2a prezentujeme časovú závislosť tvorenia a rozpadu mriežky generovanej prerušovaným interferenčným poľom. Nameraná závislosť ukazuje aká časť z celkového signálu pripadá na príspevok od fázovej mriežky. Po zrušení interferenčného poľa fázová mriežka nemá vplyv. Túto skutočnosť vidíme na Obr. 2b. Mriežka zaniká s časovou konštantou  $\tau = 45$  s. Krivka C na Obr. 2b reprezentuje časovú závislosť signálu, ktorý zodpovedá fázovej mriežke. Po zrušení interferenčného poľa fázová mriežka zaniká približne po 2 ms. Dôvodom je rýchle vyrovnanie rozdielu teplôt.

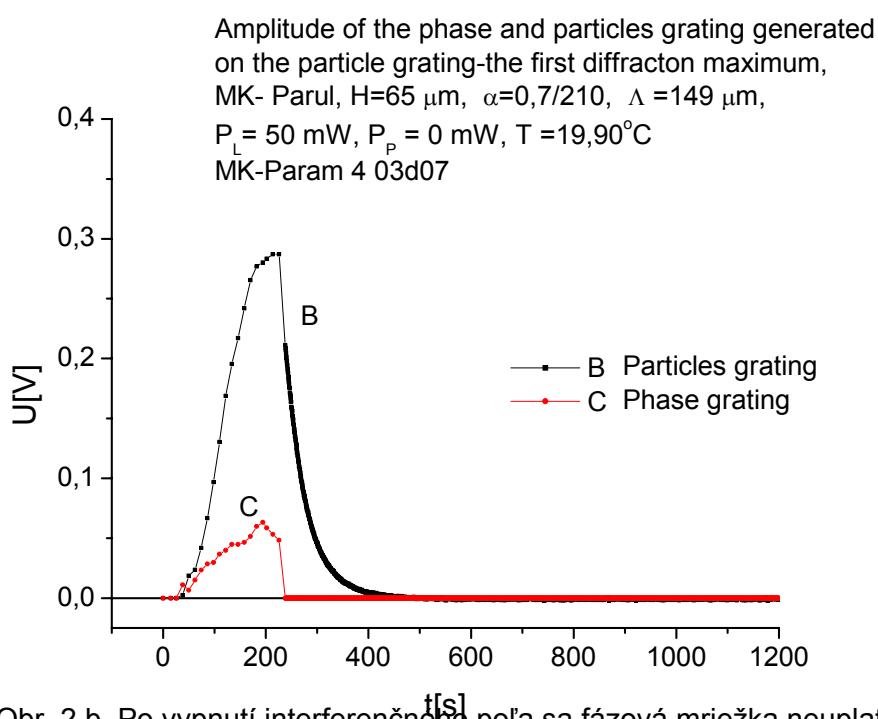
Vplyv dodatočného osvetlenia na tvar a rozpad je prezentovaný na Obr. 3a, Obr. 3b a na Obr. 4a, Obr. 4b.

Obr.3 a, znázorňuje časové závislosti signálu, keď je po vypnutí interferenčného poľa rozpadajúca sa mriežka prisvetlovaná laserovým zväzkom, ktorého výkon bol 23,4 mW. Mriežka zaniká s časovou konštantou  $\tau = 41$  s. Ako je vidieť dodatočné prisvetlenie má vplyv len na časticovú mriežku, ktorá od okamihu rádovo 400s zaniká podstatne

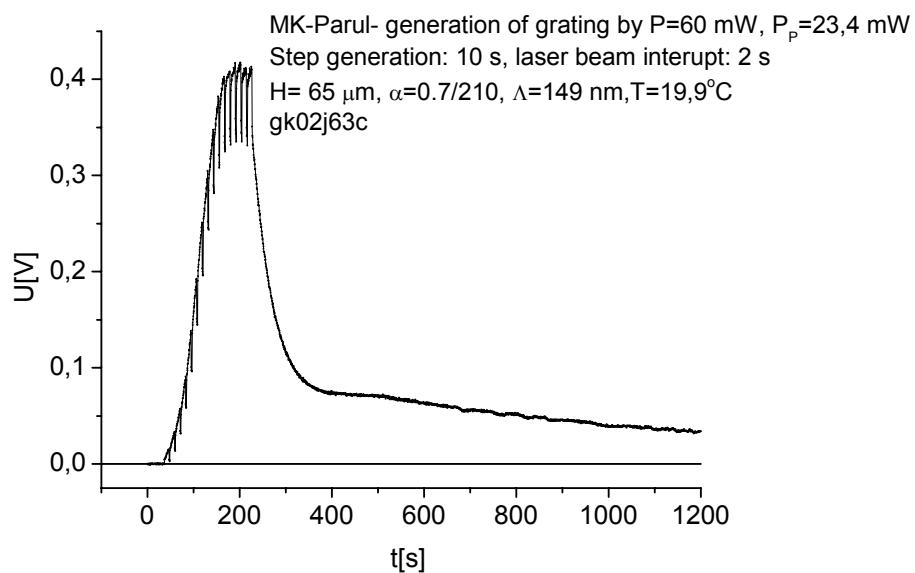
pomalšie. Závislosť D na Obr. 3 b, ukazuje, že fázová mriežka nemá vplyv. Difrákčný signál od nej je zanedbateľne malý.



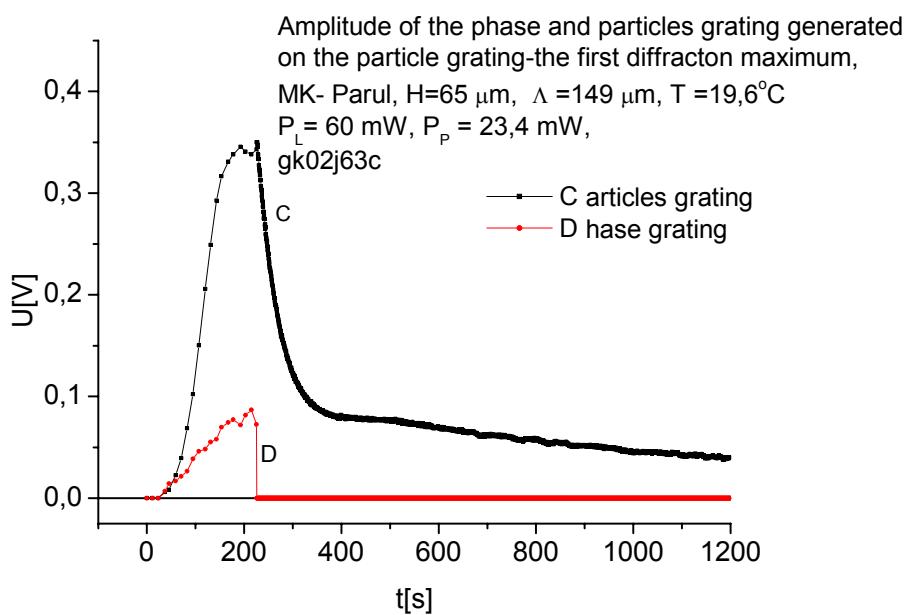
Obr. 2 a. Časová závislosť vytvorenia a rozpadu mriežky.



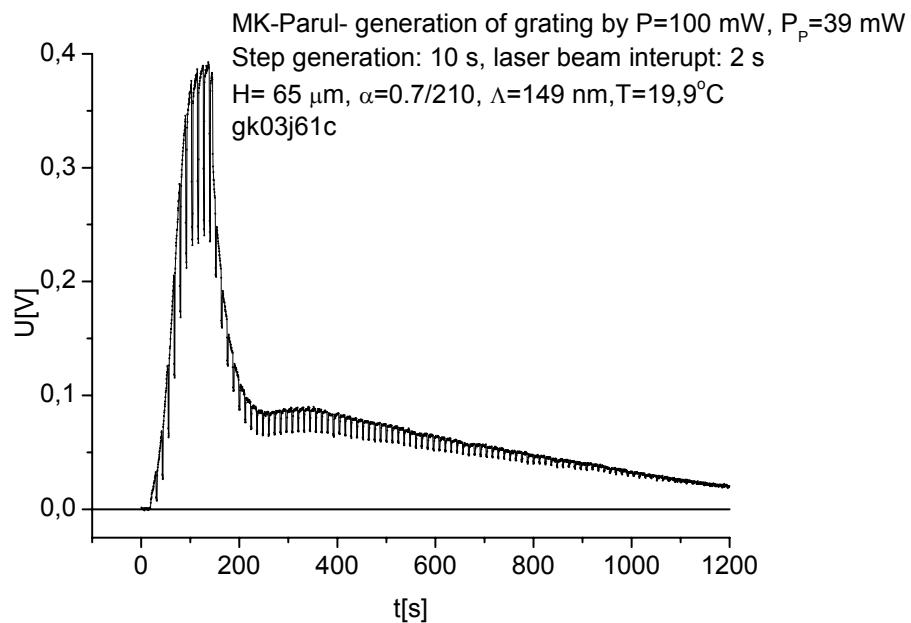
Obr. 2 b. Po vypnutí interferenčného poľa sa fázová mriežka neuplatňuje.



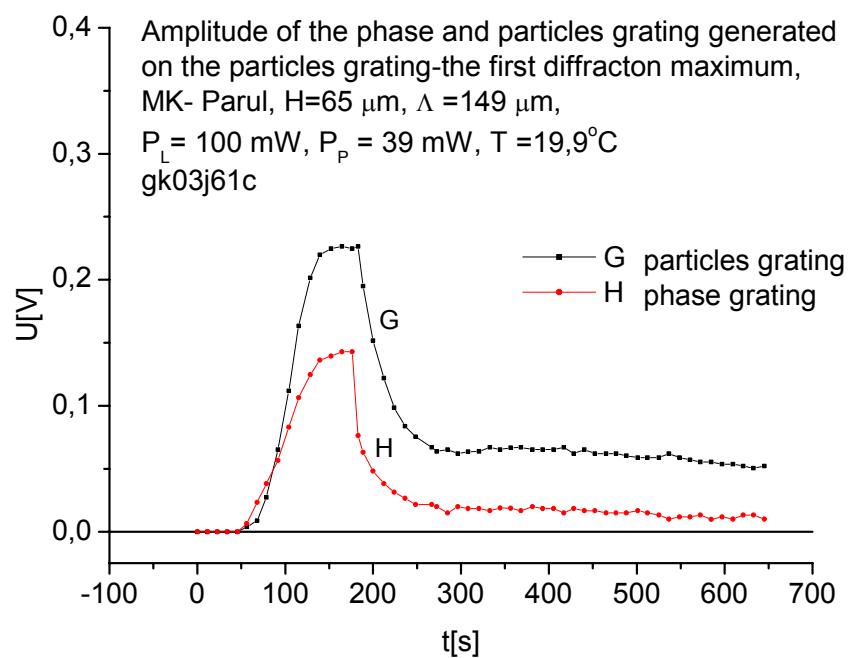
Obr. 3 a. Vplyv externého prisvetlovacieho laserového zväzku 23,4 mW



Obr. 3 b. Po vypnutí interferenčného poľa sa fázová mriežka neuplatní



Obr. 4 a. Vplyv externého prisvetlovacieho laserového zväzku 39 mW



Obr. 4 b. Časová závislosť vzniku a zániku pri dodatočnom prisvetlovaní laserovým lúcom

Na Obr. 4a je znázornená časová závislosť zániku mriežky pri externom prisvetlení laserovým zväzkom s výkonom 39 mW. Vidíme, že fázová mriežka sa objavuje aj pri jej rozpade. Časová konštantu v prvej fáze zániku mriežky je  $\tau = 29$  s. Dodatočné prisvetlenie laserovým lúčom po vypnutí interferenčného poľa je už tak intenzívne, že jeho absorpcia v miestach vyšej koncentrácie častic vedie k výraznému zvýšeniu teploty a teda k pozorovateľnému vzniku fázovej mriežky. Na difragovanom lúči sa to prejaví zväčšením intenzity signálu zodpovedajúcemu fázovej mriežke. Príspevky od časticovej a fázovej mriežky sú znázornené krivkami G a H na Obr. 4 b.

#### 4. Záver

1. Dodávanie energie do rozpadajúcej sa časticovej mriežky vplýva na jej rozpad.
2. V miestach, kde koncentrácia nanočastíc je väčšia sa svetelná energia absorbuje viac. To je dôvod prečo sa vytvorí fázová mriežka. Ak je výkon laserového lúča, ktorým mriežku prisvetľujeme, relatívne menší, príspevok k pozorovanej difrakcii je zanedbateľný.
3. Pri relatívne vyšších svetelných intenzitách prisvetlovacieho laserového lúča, je príspevok od fázovej mriežky k celkovému signálu pozorovateľný. Avšak zmena tvaru časovej závislosti difrakčného signálu prislúchajúceho časticovej mriežke je zanedbateľná.

#### Literatúra

- [1]. And. Mezulis, E. Blums, and. Bourdon, G. Demouchy : Proceeding of the Fourth International PAMIR conf. he MHDDTM, Presquile de Giens, France, 781 (2000).
- [2] Danworaphong by your leave, Craig W, Gusev in, et al: Thermal diffusion shock waves . PHYSICAL REVIEW LETTERS 94 (9): Art. Well. 095901 OBSTRUCTION 11 2005
- [3] T.Völker, E. Blums, S. Odenbach : Thermodiffusion in magnetic fluids, JMMM, 252(2002) 218 –220
- [4] J. Štelina, C.Musil, J. Braciník, P. Kopčanský\*, M. Timko\*, L.Tomčo: THE INFLUENCE OF EXTERNAL ILUMINATION ON THE TIME DECAY OF THE NANOPARTICLES GRATING IN MAGNETIC FLUID , the 12<sup>th</sup> International Workshop on APCOM, Malá Lučivná, 2006,p.(256-260)
- [5] C.Musil, J. Štelina , P. Kopčanský, M. Timko : THE GENERATION OF DEFINED NANOPARTICLES STRUCTURE IN THE DISPERSION FLUID , , 15. konf. slov. fyzikov, Stará Lesná,11. –14. 9. 2006 (111 -112)

# MODELY PRE EFEKTÍVNU TEPELNÚ VODIVOSŤ KOMPOZITNÝCH MATERIÁLOV

Juraj Veselský

*Department of Physics, Faculty of Civil Engineering SUT, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, e-mail: juraj.veselsky@stuba.sk*

## Abstrakt:

Znalosť tepelných parametrov kompozitných materiálov, medzi ktoré patrí väčšina stavebných látok je pre prax veľmi dôležitá. V práci sa poukazuje na to, že okrem ich experimentálneho zisťovania je nutné aj ich teoretické pochopenie. Na tento účel sa vytvárajú rôzne modely kompozitných materiálov, na ktorých sa potom tepelné vlastnosti študujú. V predkladanej práci sú opísané niektoré z týchto modelov.

## ÚVOD

Termofyzikálne veličiny kompozitných materiálov, medzi ktoré možno zaradiť aj póravite a granulárne materiály, sa zvyknú označovať prívlastkom „efektívny“. Hovorí sa potom o efektívnom koeficiente tepelnej vodivosti, o efektívnej hmotnostnej tepelnej kapacite, o efektívnej tepelnej difuzivite. V literatúre sa stretнемe s dvoma odôvodneniami tohto prívlastku.

V prvom prípade sa prívlastok vzťahuje na tepelnú vodivosť kompaktných tuhých kompozitných materiálov, napr. chemicky nereagujúcej zmesi kaolínu a polypropylénu. V týchto materiáloch koeficient tepelnej vodivosti závisí od koncentrácie jednotlivých zložiek, ale aj, pri danej koncentrácií, od ich vzájomného usporiadania.

V druhom prípade, súvisiacom s transportom tepla v póravitych a granulárnych materiáloch, sa okrem vyššie spomínaného dôvodu prívlastku „efektívny“ pridružuje ďalší dôvod, ktorý vyplýva z nasledujúcich troch mechanizmov transportu tepla v týchto materiáloch:

1. Vedením cez tuhú, kvapalnú a plynnú zložku,
2. prúdením saturačnej tekutiny v póroch,
3. žiareniom medzi stenami pórov.

Prenos tepla sa v takýchto materiáloch zvykne opisovať len vedením tepla, a to práve zavedením efektívneho koeficiente tepelnej vodivosti. Samozrejme, v niektorých prípadoch sa príspevky žiarenia a prúdenia k prenosu tepla musia uvažovať osve: V prípade žiarenia, keď rozmery pórov sú väčšie ako 0,25 mm a v prípade prúdenia, keď rozmery pórov sú väčšie ako 5 mm [1], [2].

Póravite materiály sú kompozity, ktoré vo všeobecnosti pozostávajú z tuhej, kvapalnej a plynnej zložky. Tieto základné zložky môžu mať rôzne chemické zloženie a usporiadanie. Predmetom skúmania tepelných vlastností daného materiálu sa stáva nielen ich určenie v nejakom základnom stave, ale i určenie ich funkčnej závislosti od rôznych parametrov. Na tepelné vlastnosti póravitého materiálu daného chemického zloženia a mikroskopického usporiadania tuhej zložky majú vplyv najmä: vzájomné zastúpenie tuhej zložky a dutín (pórov), ktoré môžu, ale nemusia byť vyplnené saturačnou tekutinou, ďalej vzájomné zastúpenie rôznych saturačných tekutín, submakroskopické usporiadanie tuhej zložky a jej charakteristické rozmery, rozdelenie pórov a ich charakteristické rozmery a samozrejme teplota.

Pri skúmaní tepelných vlastností pôrovitých látok sa používajú v podstate dva prístupy. V prvom sa tepelné vlastnosti reálnych pôrovitých materiálov zistujú experimentálne pomocou rôznych meracích metód. Dobre postavený experiment dáva možnosť sledovať závislosť tepelných vlastností materiálov od vzájomného zastúpenia jednotlivých zložiek, od ich geometrických rozmerov, tlaku, teploty a iných parametrov. Potom sa na základe experimentálnych údajov zostavujú rôzne empirické formuly, snažiaci sa vystihnúť vplyv rôznych parametrov na sledované tepelné vlastnosti. Takýto prístup uspokojuje väčšinu potrieb technickej praxe. Avšak tento čisto empirický prístup je zjavne nedostačujúci pre hlbšie poznanie správania sa materiálov, hlavne z hľadiska dlhšieho časového horizontu a tiež pri príprave nových materiálov s vopred určenými vlastnosťami. Preto v druhom prístupe, mohli by sme ho nazvať teoretickým, sa vytvárajú na vysvetlenie všeobecných zákonitostí určujúcich transport tepla v pôrovitých materiáloch rôzne modely. Tieto modely sa snažia vystihnúť rozloženie jednotlivých zložiek, ich geometriu a spôsob ich kontaktu a na základe známych tepelných vlastností jednotlivých zložiek riešiť vedenie tepla v kompozitnej látke. Reálne pôrovité telesá sa nahradzajú idealizovanými štruktúrnymi modelmi. Častice tuhej zložky sa volia v tvare doštičiek, gúľ, valcov a elipsoidov rôzne usporiadaných a orientovaných vzhľadom na smer hustoty tepelného toku. Iné modely majú tuhý skelet, v ktorom sú dutiny rovnakých tvarov ako majú tuhé časticie v predchádzajúcom prípade. Kontakty medzi časticami (resp. dutinami) sa uvažujú alebo bodové, alebo plošné, alebo sa časticie vôbec nestýkajú.

Na riešenie vedenia tepla v takýchto modeloch sa široko používa princíp tzv. zovšeobecnenej vodivosti, pod ktorým sa rozumie súbor fyzikálnych veličín (elektrická vodivosť, tepelná vodivosť, permitivita, permeabilita a iné), ktoré zjednocuje formálna analógia diferenciálnych rovníc opisujúcich tepelnú vodivosť, elektrickú vodivosť, elektrickú indukciu, magnetickú indukciu a pod.

### „ODPOROVÉ“ MODELY

Základnými modelmi, z ktorých vychádzajú mnohé modely vedenia tepla (o vedení tepla sa bude hovoriť v zmysle predchádzajúcich poznámok) v kompozitných materiáloch, sú modely dvojzložkového kompozitného materiálu. Takéto modely aplikované na pôrovité materiály pozostávajú z jednoduchej tuhej zložky (veličiny vzťahujúce sa na ňu budú mať v ďalšom index „s“) a jednoduchej saturačnej tekutiny v pôroch (index „f“). (obr. 1). Výsledný (efektívny) koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  takého materiálu závisí od nasledujúcich parametrov:

- od koeficientov tepelnej vodivosti obidvoch zložiek  $\lambda_s$  a  $\lambda_f$ ,
- od objemovej koncentrácie obidvoch zložiek  $(1-n)$  a  $n$ , kde  $n = V_p/V$  je pôrovitosť a  $V_p$  je objem pôrov v objeme  $V$  uvažovanej vzorky materiálu,
- od rozdelenia obidvoch zložiek v materiáli.

Pri nasledujúcich úvahách závislosť tepelnej vodivosti od teploty nebude braná do úvahy – úvahy budú robené pri predpoklade konštantnej teploty.

Vzťah pre efektívny koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  je ekvivalentný problému nájsť nasledujúcu funkciu

$$\lambda = F(\lambda_s, \lambda_f, n, \text{rozdelenie zložiek}) \quad (1)$$

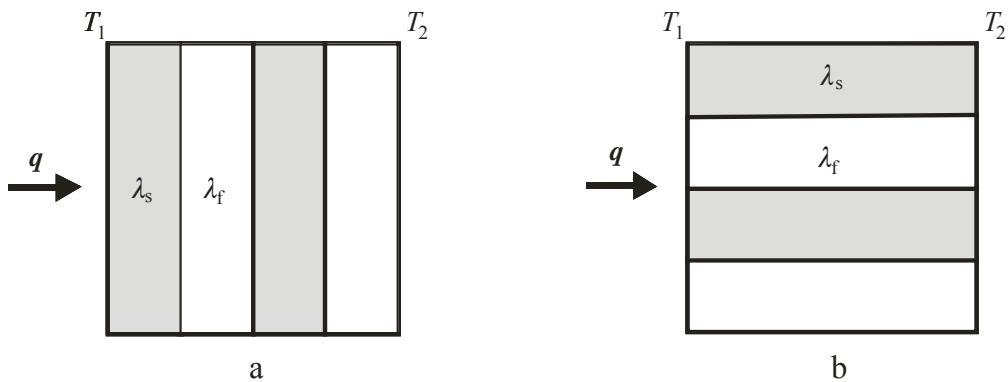
Častokrát býva zvykom zaviesť tiež nasledujúce bezrozumné pomery koeficientov tepelnej vodivosti

$$x = \frac{\lambda_s}{\lambda_f}; \quad y = \frac{\lambda}{\lambda_f} \quad (2)$$

V tomto prípade sa hľadá funkčný vzťah

$$y = F(x, n, \text{rozdelenie zložiek}) \quad (3)$$

Problém nájst' funkciu  $F$  je ten istý, či symbol  $\lambda$  reprezentuje koeficient tepelnej vodivosti, elektrickú konduktivitu, permitivitu alebo permeabilitu. Teda zavedením takýchto bezrozmerých veličín možno riešiť celú triedu analogických problémov, čo je základom už skôr spomínaného princípu zovšeobecnenej vodivosti.



Obr. 1. Jednoduché dvojzložkové modely vedenia tepla so sériovým (a) a paralelným (b) usporiadaním zložiek

Vedenie tepla v dvojzložkovom materiáli možno všeobecne opísť rovnicami

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = a_s \nabla^2 T_s; \quad \frac{\partial T_f}{\partial t} = a_f \nabla^2 T_f \quad (4)$$

Kde  $T_s$ ,  $T_f$  sú teploty v jednotlivých zložkách,  $t$  je čas a  $a_s$ ,  $a_f$  sú tepelné difuzivity príslušných zložiek.

Na rozhraní zložiek musia byť splnené hraničné podmienky a okrem toho hraničné a začiatočné podmienky pre vzorku ako celok. Riešenie takto formulovaného problému je doteraz neznáme. Preto boli, ako bolo už spomenuté, vytvorené modely, v ktorých sa jednotlivé zložky uvažujú v tvare rôznych geometrických útvarov. Najjednoduchšími sú modely uvažujúce sériové a paralelné usporiadanie zložiek vzhľadom na smer hustoty tepelného toku (obr. 1). Tieto modely odpovedajú minimálnej a maximálnej hodnote  $y$ , resp.  $\lambda$  pre dané hodnoty  $x$  a  $n$ , resp.  $\lambda_s$ ,  $\lambda_f$  a  $n$ .

Riešením modelu sériového usporiadania zložiek dostaneme pre efektívny koeficient tepelnej vodivosti vzťah, ktorý zodpovedá pre dané  $\lambda_s$ ,  $\lambda_f$  a  $n$  minimálnej hodnote

$$\lambda_{\min} = \frac{\lambda_s \lambda_f}{n \lambda_s + (1-n) \lambda_f} \quad (5)$$

resp. v bezrozmernom tvare

$$y_{\min} = \frac{x}{n(x-1)+1} \quad (6)$$

Pri paralelnom usporiadaní zložiek má efektívny koeficient tepelnej vodivosti pre dané  $\lambda_s$ ,  $\lambda_f$  a  $n$  maximálnu hodnotu a je vyjadrený vzťahom

$$\lambda_{\max} = n \lambda_f + (1-n) \lambda_s \quad (7)$$

resp.

$$y_{\max} = n + (1-n) x \quad (8)$$

Paralelné usporiadanie zložiek odpovedá váženému aritmetickému a sériové usporiadanie váženému harmonickému priemeru vodivostí tuhej a tekutej zložky. Toto viedlo k tomu, že pre výpočet efektívneho koeficienta tepelnej vodivosti bol navrhnutý tiež vzťah odpovedajúci váženému geometrickému priemeru vodivostí zložiek

$$\lambda = \lambda_f^n \lambda_s^{1-n} \quad (9)$$

resp.

$$y = x^{1-n} \quad (10)$$

Najrozšírenejšia rigorózna teória používaná pri riešení elektrickej i tepelnej vodivosti v kompozitných materiáloch je teória efektívneho prostredia. Prvýkrát ju použil ešte Maxwell [3]. Vypočítal permitivitu systému pozostávajúceho zo základného dielektrického prostredia, v ktorom sa nachádzali vodivé čästice guľového tvaru. Pritom predpokladal, že vzdialenosť týchto čästíc je dostatočne veľká vzhľadom na ich rozmery, takže mohol zanedbať ich vzájomné pôsobenie. Vzťah, ktorý dostal, prepísaný na základe analógie, má pre efektívny koeficient tepelnej vodivosti tvar

$$\lambda = \lambda_f \frac{2n \lambda_f + (3-2n) \lambda_s}{(3-n) \lambda_f + n \lambda_s} \quad (11)$$

a je použiteľný len vtedy, ak je pórovitosť materiálu veľmi veľká.

V reálnych pórovitých látkach sa v dutinách môže súčasne nachádzať kvapalná aj plynná zložka. Táto skutočnosť viedla k návrhu trojzložkového modelu. V prípade, že všetky tri zložky sú usporiadane sériovo vzhľadom na smer hustoty tepelného toku je efektívny koeficient tepelnej vodivosti vyjadrený vzťahom

$$\lambda = \left[ \frac{1-n}{\lambda_s} + \frac{S n}{\lambda_\ell} + \frac{n(1-S)}{\lambda_g} \right]^{-1} \quad (12)$$

V prípade paralelného usporiadania zložiek vzťahom

$$\lambda = (1-n) \lambda_s + S n \lambda_\ell + n(1-S) \lambda_g \quad (13)$$

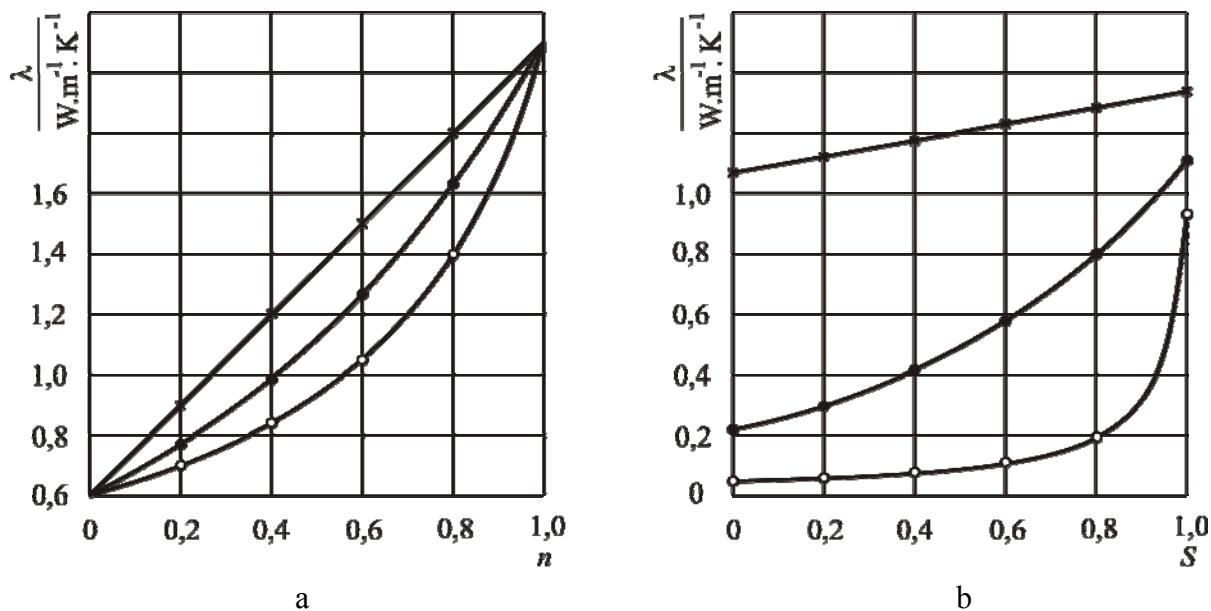
a ak použijeme model váženého geometrického stredu vzťahom

$$\lambda = \lambda_s^{1-n} \lambda_\ell^{nS} \lambda_g^{n(1-S)} \quad (14)$$

Vo všetkých troch vzťahoch  $\lambda_s$ ,  $\lambda_\ell$  a  $\lambda_g$  sú koeficienty tepelnej vodivosti tuhej, kvapalnej a plynnnej zložky,  $n$  – pórovitosť a  $S$  – stupeň saturácie definovaný ako podiel objemu  $V_{p\ell}$  pórov vyplnených kvapalnou zložkou a objemu  $V_p$  pórov:  $S = V_{p\ell}/V_p$ .

Ľahko sa možno presvedčiť, že ak  $S = 1$ , t. j. pory sú úplne vyplnené kvapalinou alebo  $S = 0$ , t.j. pory sú úplne vyplnené plynom, vzťahy (12) až (14) sú zhodné so vzťahmi (5), (7) a (9).

Uvedené modely boli mnohými autormi modifikované, či už zavedením rôzneho usporiadania tuhej a tekutých zložiek, či zavedením rôzneho tvaru tuhej zložky a dutín, či dokonca uvažovaním pórovitosti samotných tuhých častíc a k týmto modelom boli odvodené príslušné vzťahy pre



Obr. 2. a) Závislosť koeficienta vedenia tepla od pórovitosti pre dvojzložkový materiál ( $\lambda_s = 2,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $\lambda_f = 0,598 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ). b) Závislosť koeficienta vedenia tepla pórovitého materiálu s pórovitosťou  $n = 0,507$  od stupňa saturácie (vodou) pre trojzložkový materiál ( $\lambda_s = 2,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ,  $\lambda_\ell = 0,598 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  a  $\lambda_g = 0,024 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ).  $\times$  – paralelné usporiadanie zložiek, ● – geometricko stredné usporiadanie zložiek, ○ – sériové usporiadanie zložiek

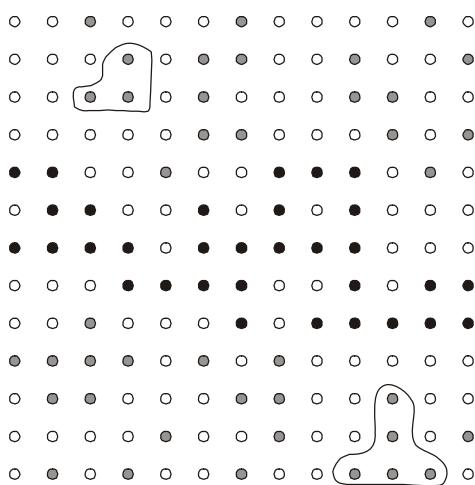
výpočet efektívneho koeficienta tepelnej vodivosti. Pri použití týchto vzťahov sa navyše vyskytuje problém správneho určenia koeficientov tepelnej vodivosti jednotlivých zložiek. Napríklad tuhá zložka pri reálnych materiáloch zvyčajne pozostáva z častíc rôzneho mineralogického zloženia a i v prípade prevládajúceho zloženia (výskyt prevažne jedného minerálu) rôzne stmelujúce materiály môžu spôsobiť, že koeficient tepelnej vodivosti tuhej zložky sa bude podstatne lísiť od koeficienta tepelnej vodivosti základného minerálu. Podobne aj voda a plyn (vzduch a vodná para) obsiahnuté vo vlhkom materiáli môžu vykazovať iné hodnoty koeficienta tepelnej vodivosti ako sú stanovené pre voľnú vodu, resp. plyn. Podobne aj Maxwellova formula (11) bola rôzne modifikovaná (napr. zavedením častíc majúcich tvar elipsoidu). Ukazuje sa však, že hodnoty efektívneho koeficienta tepelnej vodivosti, počítané pomocou týchto modelov, málokedy korešpondujú v širšom rozsahu s hodnotami získanými experimentálne. S rozvojom výpočtovej techniky sa preto upriamila pozornosť na vytváranie perkolačných a fraktálových modelov, o ktorých sa stručne zmienime v nasledujúcej časti.

## PERKOLAČNÉ MODELY

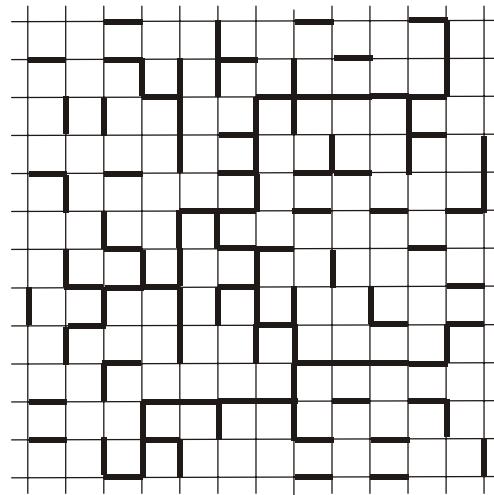
Záujem o perkolačné modely spočíva v tom, že pomocou týchto modelov je možné opisovať zložité objekty a procesy. Z množstva aplikácií uvedieme napr. problém fázových prechodov rôzneho typu, šírenie korózie, šírenie trhlín v materiáloch, štruktúry a elektrickej vodivosti kompozitných materiálov, transportu tekutín v pórovitých látkach atď.

Názov „perkolačná“ teória vznikol z problému riešenia presakovania tekutín cez pórovité látky. V teórii perkolácie sa stretнем s takýmto základným problémom: Majme periodickú mriežku v D – dimenzionálnom priestore. Označme písmenom  $p$  pravdepodobnosť, že uzol mriežky bude obsadený časticou. Potom pravdepodobnosť, že uzol bude neobsadený – „prázdný“ je  $(1-p)$ . Ďalej, pod pojmom zhluk (klaster) budeme rozumieť súbor s obsadených uzlov spojených vzájomne cez najbližších susedov (obr. 3). Najväčšia pozornosť je venovaná štúdiu zhlukov, ale aj iných vlastností v okolí perkolačného prahu, pri ktorom pravdepodobnosť  $p$  obsadenia uzlov mriežky dosiahne kritickú hodnotu:  $p = p_c$ . Pri tejto pravdepodobnosti vznikne v mriežke tzv. nekonečný zhluk – zhluk siahajúci z jednej strany (steny) mriežky po druhú stranu mriežky.

Popri perkolácii uzlov existuje aj perkolácia väzieb, pri ktorej zhluky sú tvorené spojmi vodivých väzieb. Prítomnosť vodivej väzby medzi dvoma uzlami má pravdepodobnosť  $p$  a nevodivej väzby pravdepodobnosť  $(1-p)$ . Perkolácia väzieb hrá vážnu úlohu v teórii transportných javov v topologicky neusporiadaných kontinuálnych prostrediach. Problémy



Obr. 3. Perkolácia uzlov na plošnej mriežke. Čierne a sivé krúžky značia obsadené uzly. Je vyznačený trojzhluk a päťzhluk. Čiernymi krúžkami je vyznačený nekonečný zhluk



Obr. 4. Perkolácia väzieb na plošnej mriežke. Hrubými čiarami sú vyznačené vodivé spoje. Nekonečný zhluk spája spodný a horný kraj mriežky

perkolácie uzlov a väzieb sú veľmi podobné, a preto sa študujú rovnakými metódami. Na obr. 3 a obr. 4 sú uvedené príklady uzlových a väzbových perkolačných zhlukov na dvojdimenzionálnej mriežke.

V teórii perkolácie sa stretнем s tzv. statickými kritickými exponentmi a dynamickými kritickými exponentmi. Statické exponenty charakterizujú len geometriu a distribúciu zhlukov. Perkolačné zhluky sa zvyčajne používajú na modelovanie amorfínnych tuhých látok, kompozitných materiálov, pórovitých materiálov, polymérov atď. Rôzne fyzikálne vlastnosti neusporiadaných

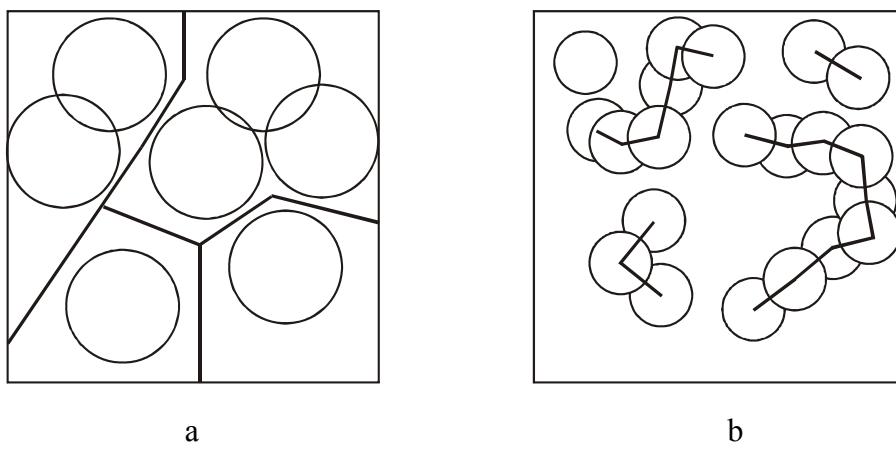
látok, študované na perkolačných sietiach, sú opisované pomocou dynamických kritických exponentov. Jednou z týchto vlastností je aj elektrická vodivosť perkolačnej siete. Perfolačná sieť vytvorená z náhodne rozložených vodivých a nevodivých spojení (podobne možno modelovať i úlohu uzlov – vodivé a nevodivé guľôčky) má ostrý prechod z izolantu na vodič. Pod kritickou koncentráciou  $p_c$  vodivých spojení sa sieť správa ako izolant a nad touto koncentráciou elektrická vodivosť prudko narastá (z izolantu sa stáva vodič). V okolí kritickej koncentrácie (perfolačného prahu) môžeme elektrickú konduktivitu vyjadriť vzťahom [4]

$$\sigma \approx (p - p_c)^\mu \quad (15)$$

kde  $\mu$  je jeden z dynamických kritických exponentov. Jeho hodnota pre dvojdimenzionálnu sieť je relatívne dobre určená a  $\mu = 1,3$ . V trojdimenzionálnej sieti sú výpočty náročnejšie a publikované výsledky majú väčší rozptyl:  $\mu = 1,7$  až  $1,9$ .

Predpokladá sa, že podobne ako elektrická vodivosť by sa mala správať aj tepelná vodivosť. V tomto prípade je však situácia komplikovanejšia: V porovnaní s elektrickou vodivosťou nemáme „dokonale“ tepelne nevodivý materiál, a teda aj základná sieť vykazuje istú tepelnú vodivosť. Postupným nahrádzaním „spojení“ slabšie tepelne vodivého materiálu materiálom vodivejším bude tepelná vodivosť siete narastať, so zreteľným nárastom v okamihu, keď sa vytvorí nekonečný zhľuk vytvorený vodivejším materiálom. Perfolačný prechod (prechod zo stavu nevodivý do stavu vodivý) nebude ostrý, ale pozvoľný. Tento predpoklad potvrdzujú aj nami získané experimentálne výsledky merania koeficienta tepelnej vodivosti jemného prachovitého piesku v závislosti od obsahu vody vyjadreného stupňom saturácie [5]. Podobné experimentálne výsledky boli dosiahnuté okrem iných aj v práci [6], v ktorej autori vyšetrovali tepelnú vodivosť kompozitného materiálu polyetylén – uhličitan vápenatý a tiež v práci [7].

Mriežková formulácia perfolačného problému je veľmi vhodná na analytické aj numerické štúdium. Prirodzene neusporiadane štruktúry však nemajú dokonalú mriežku a vyžadujú preto rôzne approximácie. Z univerzality perfolačných kritických exponentov vzišla myšlienka, že existencia



Obr. 5. a) Model „ementálu“ – kruhové dutiny na vodivom 2D pozadí. b) Model „inverzného ementálu“ – vodivé disky na nevodivom pozadí

mriežky nie je nutná. Tak vznikla kontinuálna perkolačia, ktorá je založená na viacerých predstavách. Jednou z nich je model „ementálu“, kde sférické dutiny rovnakých alebo aj rôznych rozmerov sú náhodne rozložené v homogénnom vodivom médiu (obr. 5a). Pri istej kritickej hodnote

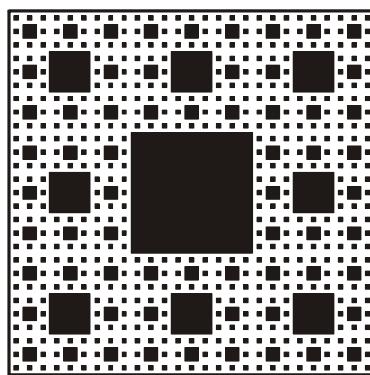
objemového zlomku dutín, nekonečný zhluk vodivého prostredia prestane existovať a prerusí sa akýkoľvek transport a systém sa mechanicky rozruší. Tento model je vhodný na opis transportných a elastických vlastností pôrovitých látok.

Iný model je model diskov alebo „inverzný ementál“. Úlohy látok z predchádzajúceho modelu sú vymenené: disky sú vodivé, matrica nie (obr. 5b). Pri istej kritickej koncentráции prekrývajúce sa gule vytvoria nekonečný zhluk a systém sa stáva vodivým.

## FRAKTÁLOVÉ MODELY

S geometrickou povahou perkolačných modelov je úzko spojený pojem fraktálu. Fraktály sú geometrické útvary s neceločíselnou dimensiou – fraktálovou dimensiou, ktorá je iná než topologická. Ich najvýznamnejšou črtou je ich sebepodobnosť (self-similarity), čo značí, že po zväčšení, novo objaviace sa útvary vyzerajú podobne ako útvary pôvodné.

Fraktálová geometria umožňuje vytvárať modely, ktoré dobre simulujú pôrovité štruktúry. Na takto vytvorených modeloch sa dajú potom študovať rôzne fyzikálne vlastnosti, medzi nimi



Obr. 6. Sierpinskeho koberec

i elektrická a tepelná vodivosť. Toto je najčastejšie použitie fraktálovej teórie v materiálovom výskume. Ako príklad fraktálového modelu pôrovitej štruktúry v dvojdimenziom priestore je Sierpinskeho koberec (obr. 6). Výpočtom efektívneho koeficienta tepelnej vodivosti pôrovitého materiálu, simulovanom pomocou Sierpinskeho koberca, sa zaoberá napr. práca [8].

## ZÁVER

Ukazuje sa, že „odporové“ modely dokážu vysvetliť závislosť koeficienta tepelnej vodivosti v závislosti od obsahu vody len v obmedzených intervaloch. Istú naděj na zovšeobecnenie pri štúdiu vodivosti, či už elektrickej alebo tepelnej, na kompozitných materiáloch dávajú perkolačné modely, ktoré sa vyznačujú väčšou univerzálnosťou. Hoci sú už vytvorené rôzne perkolačné modely, alebo študuje sa perkolácia na fraktálových útvoroch, dodnes ešte neexistuje žiadna univerzálna formula, ktorá by dokázala plne vystihnúť efektívnu tepelnú vodivosť kompozitného materiálu.

Predkladaná práca vznikla vďaka podpore grantovej agentúry VEGA v rámci riešenia grantovej úlohy č. 1/4204/07.

## LITERATÚRA

- [1] Lykov A. V.: Javlenija perenosa v kapilarno-poristych telach. Gos. izd. techn.-teor. lit., Moskva 1954
- [2] Čudnovskij A. F.: Teplofizičeskije charakteristiki dispersnych materialov. Gos. izd. fyz.-mat. lit., Moskva 1962
- [3] Maxwell J.C.: A Treatise on Electricity and Magnetism, Vol.1. Dover, New York 1954
- [4] Stauffer D.: Introduction to Percolation Theory. Taylor and Francis, London 1985
- [5] Veselský, J.: *Investigation of Thermal Properties of Soil by Impulse method.* In: Thermophysics 2006. Proceedings of the Conference. 12.-13. October 2006, Kočovce Chateau. Vydavateľstvo STU, Bratislava 2006. p. 115-123. ISBN 80-227-2536-6
- [6] Matsumoto, J., Okubo, T.: Technology Reports Tohoku University 43, 1978, p. 151
- [7] Bielek J., Barta Š., Veselý K.: acta phys. slov. 32 (1982), 151
- [8] Zongting Ma et. al.: J. Phys. D: Appl. Phys. 36 (2003) 2157-2164

## CAPACITANCE OF A CAPACITOR MEASURED WITH THE COACHLAB INTERFACE

I. Yanetka

Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology,  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovakia

**Abstract:**

Experimental methods for measuring time constant of a resistance-capacitance circuit are described. Measured data that were collected by using the CoachLab II interface are also presented. The described experimental procedures can easily be performed by undergraduate students during their physics laboratory activities.

**Keywords:**

Capacitor, resistor, relaxation time, computerized measurement

### INTRODUCTION

In the simple act of charging and discharging a capacitor one finds situations in which currents and voltages in circuits change with time  $t$ .

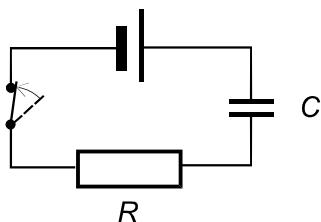


Fig. 1a. A capacitor is being charged.

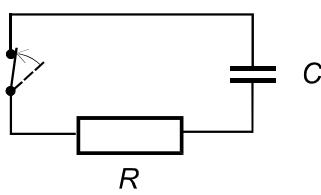


Fig. 1b. A capacitor is being discharged.

Figure 1.a shows a simple circuit for charging a capacitor through a resistor by a battery. Initially, the capacitor is uncharged and the switch is open so that no current exists in the circuit. At some time  $t_0$ , one closes the switch completing the circuit and permitting the current around the loop to begin charging the capacitor. When the switch is closed, the battery transfers charge from one capacitor plate to the other; and the current exists in the circuit until the voltage on the capacitor approaches its terminal value that is given by the electromotive force of the battery. Figure 1.b shows a circuit for discharging a capacitor through a resistor. Initially, the capacitor has some charge and the switch is open so that no current exists in the circuit. At some time  $t_0$ , the switch is closed; and charge carriers begin to flow through the circuit to neutralize the charge on the plates of the capacitor. The current in the circuit exists until the capacitor charge eventually decreases to zero.

In general, the potential difference between the capacitor plates,  $V = V(t)$ , changes in time  $t$  following the equation

$$V(t) = V_0 + \left(1 - e^{-(t-t_0)/RC}\right)(V_f - V_0)\Theta(t-t_0)$$
. Here  $R$  is the resistance of the resistor,  $C$  is the capacitance of the capacitor,  $V_f$  is the terminal potential difference between the capacitor plates, i.e. the potential difference at the time  $t \rightarrow \infty$ ;  $V_0$  is the initial potential difference between the capacitor plates, i.e. the potential difference at the time less than  $t_0$ ;  $\Theta(t-t_0)$  is the Heaviside step function ( $\Theta(t-t_0)=0$  if  $t < t_0$  and  $\Theta(t-t_0)=1$  if  $t_0 < t$ ). The product  $RC$  is a measure of how quickly the capacitor charge changes. It is called the time constant or the relaxation time of an  $RC$  circuit.

The equation describing the potential difference across the capacitor can be arranged as  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V)\} = (t - t_o) \Theta(t - t_o)/RC$ . A graph of  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V)\}$  versus time  $t$  is, therefore, linear for  $t > t_o$ . The inverse value of its slope is the time constant of the corresponding  $RC$  circuit. The previous equation can also be integrated and then one obtains the next formula for the time constant

$$RC = \frac{(t - t_o)^2}{2 \int_{t_o}^t \ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V(t'))\} dt'} .$$

There is also another simple way for the evaluation of the time constant. One can integrate the function  $V(t)$ . Thus,  $\int_{t_o}^t V(t') dt' = (t - t_o)V_f - (1 - e^{-(t-t_o)/RC})(V_f - V_o)RC$ . When  $t_o + RC \ll t$  then  $\int_{t_o}^t V(t') dt' \approx (t - t_o)V_f - (V_f - V_o)RC$ . Finally, one gets an asymptotic formula for the time constant,

$$RC \approx \frac{(t - t_o)V_f}{V_f - V_o} - \frac{\int_{t_o}^t V(t') dt'}{V_f - V_o} .$$

In the next section, both the formulas are used for the evaluation of the time constant of an  $RC$  circuit from measured data.

## COMPUTER MEASUREMENT

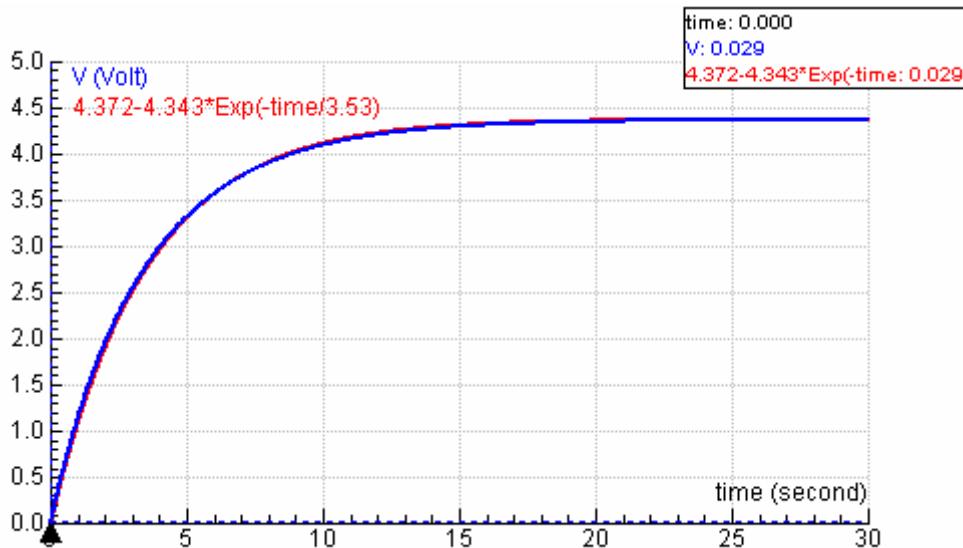


Fig. 2. Potential difference across a capacitor versus time in the circuit of charging a capacitor.

Measurements were performed by using the capacitor of the known capacitance,  $C = (220 \pm 22)\mu F$ , and the resistor of the known resistance,  $R = (15,0 \pm 1,5)k\Omega$ . The voltage on the capacitor,  $V = V(t)$ , was being measured by using the CoachLab II interface connected to a PC computer with the Coach program [1]. The capacitor was being charged by using the 5 V output of the CoachLab II interface. A generic voltmeter was employed to obtain the time dependence of the voltage on the capacitor.

Figure 2 shows  $V$  versus  $t$  in the circuit of charging a capacitor. The initial voltage was  $V_0 = 0,029\text{V}$ . The Sensor icon as well as the Table window displayed the final voltage on the capacitor,  $V_f = 4,372\text{V}$ . It is smaller than the voltage output of the CoachLab interface because the resistance of its generic voltmeter is only  $100\text{k}\Omega$ . The graph was displayed in the Diagram window and the measured data were analyzed in the Diagram menu. The area under the graph (vide Fig. 3) was determined in the Analyze>Area dialog of the Diagram window,  $\int_{t_0}^t V(t') dt' = 115,831\text{Vs}$ ,  $t_0 = 0,000\text{s}$  and  $t = 30,000\text{s}$ . From the measured data one easily obtains that  $RC = 3,529587843\text{s} \approx 3,53\text{s}$ .

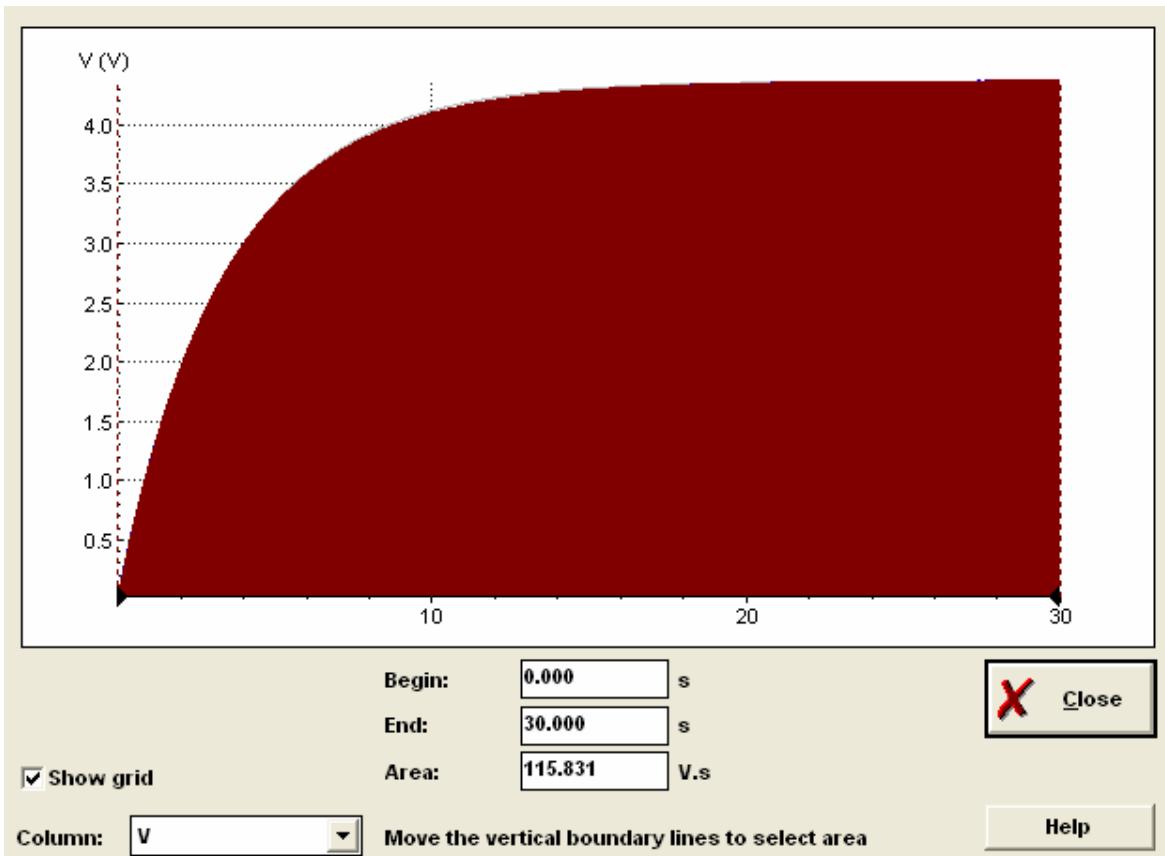


Fig. 3. Determining the area under the graph for the circuit of charging a capacitor.

The measured data,  $V_0 = 0,029\text{V}$ ,  $V_f = 4,372\text{V}$ ,  $t_0 = 0,000\text{s}$  and  $RC = 3,53\text{s}$ , were also used for drawing the curve that represents the function  $V(t) = V_f - (V_f - V_0)e^{-(t-t_0)/RC}$  for  $t > t_0$ . The formula was edited in the Create/Edit dialog of the Diagram window. It is seen from Fig. 2 that the formula excellently traces the measured time dependence of the voltage on the capacitor.

Figure 4 shows  $V$  versus  $t$  in the circuit of discharging a capacitor. Again, the Table window displayed the initial voltage and the final voltage on the capacitor,  $V_0 = 3,998\text{V}$  and  $V_f = 0,011\text{V}$ . The area under the graph (vide Fig. 5) was determined in the Analyze>Area dialog of the Diagram window,  $\int_{t_0}^t V(t') dt' = 14,458\text{Vs}$ ,  $t_0 = 0,000\text{s}$  and  $t = 30,000\text{s}$ . From the measured data one easily obtains that  $RC = 3,543516428\text{s} \approx 3,54\text{s}$ .

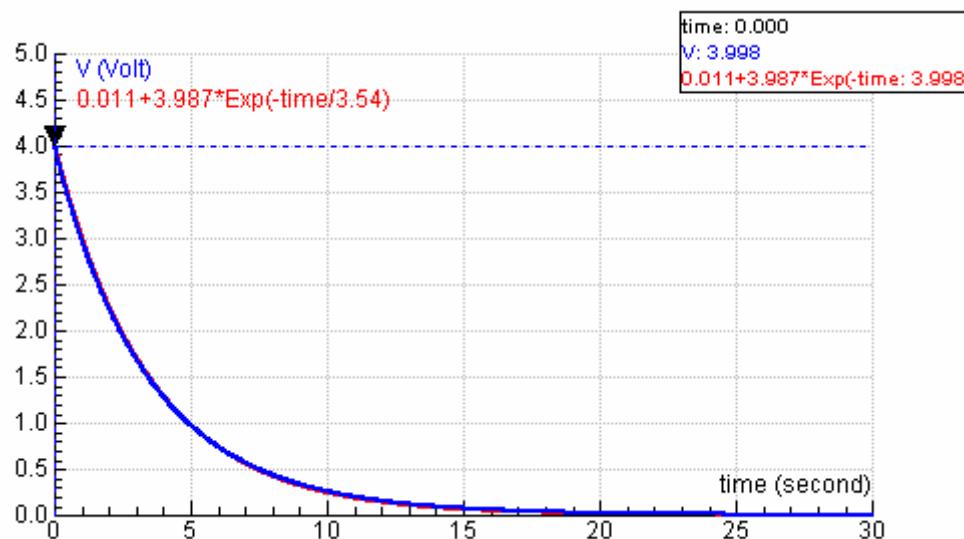


Fig. 4. Potential difference across a capacitor versus time in the circuit of discharging a capacitor.

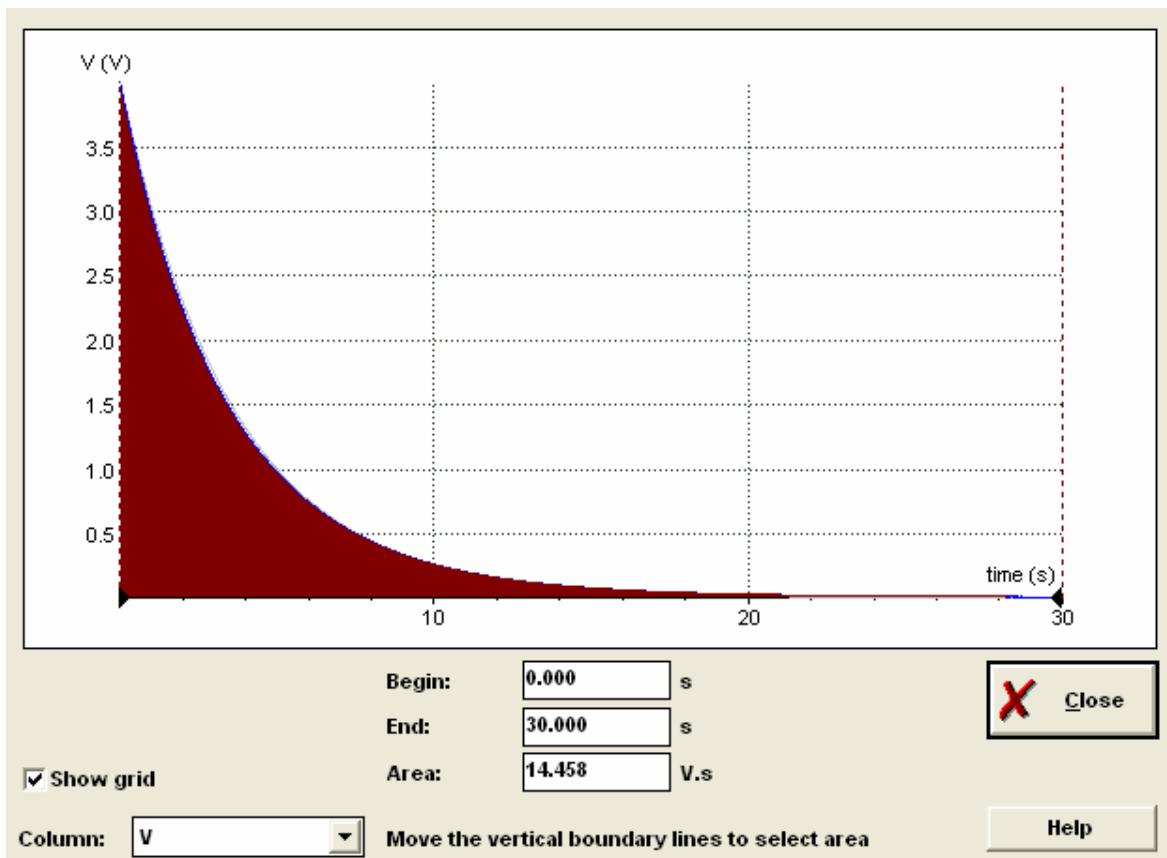
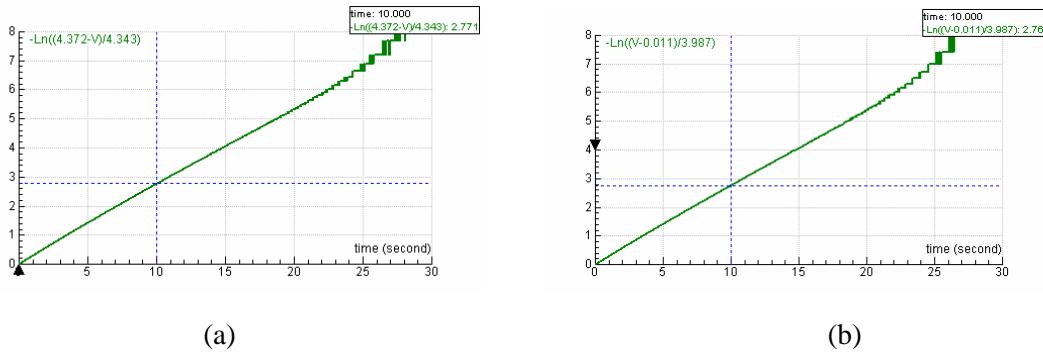


Fig. 5. Determining the area under the graph for the circuit of discharging a capacitor.

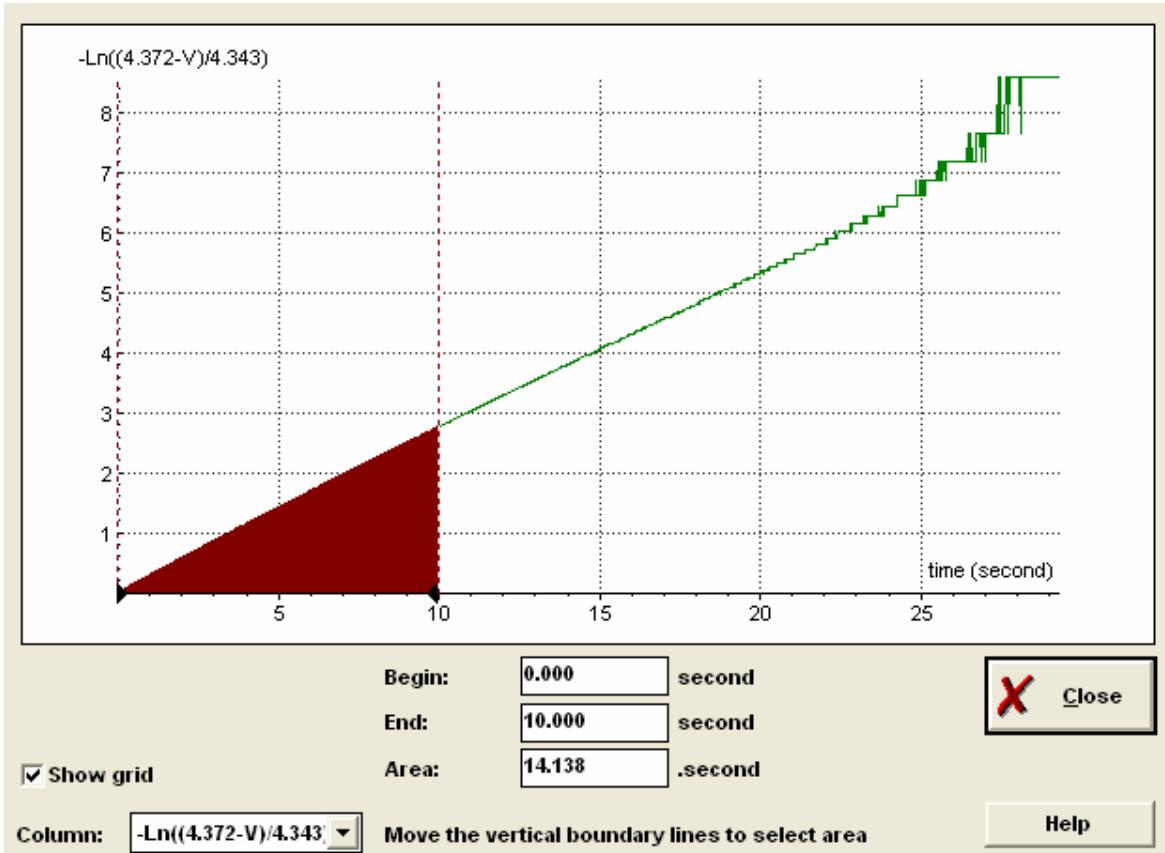
The measured data,  $V_o = 3,998\text{V}$  ,  $V_f = 0,011\text{V}$  ,  $t_o = 0,000\text{s}$  and  $RC = 3,54\text{s}$  , were anew used for drawing the curve that represents the function  $V(t) = V_f - (V_f - V_o)e^{-(t-t_o)/RC}$  for  $t > t_o$  . The formula was edited in the Create/Edit dialog of the Diagram window. It is seen from Fig. 4 that the formula excellently traces the measured time dependence of the voltage on the capacitor.



*Fig. 6. Graphs of the function  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V)\}$  versus  $t$*

(a) for the circuit of charging a capacitor and (b) for the circuit of discharging a capacitor.

The time constant of an  $RC$  circuit also equals the inverse value of the slope of the graph of the function  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V(t))\}$ . Figure 6 shows such graphs for the circuit of charging and discharging a capacitor. Both the curves are evidently linear. In the first graph, the abscissa of 10,000 s gives the ordinate of 2,771, thus  $RC \approx 3,61$ s. In the second graph, it gives the ordinate of 2,763, thus  $RC \approx 3,62$ s. Other abscissas provide a bit different values of the time constant.



*Fig. 7. Determining the area under the graph of the function  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V(t))\}$  for the circuit of charging a capacitor.*

It is also possible to gain average values of the time constant from those graphs. The area,  $\int_{t_0}^t \ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V(t'))\} dt'$ , under the first graph (vide Fig. 7) is 14,138s. It gives

$RC = 3,536568114\text{s} \approx 3,54\text{s}$ . The area under the second graph (vide Fig. 8) is  $14,077\text{s}$ . It gives  $RC = 3,551893159\text{s} \approx 3,55\text{s}$ .

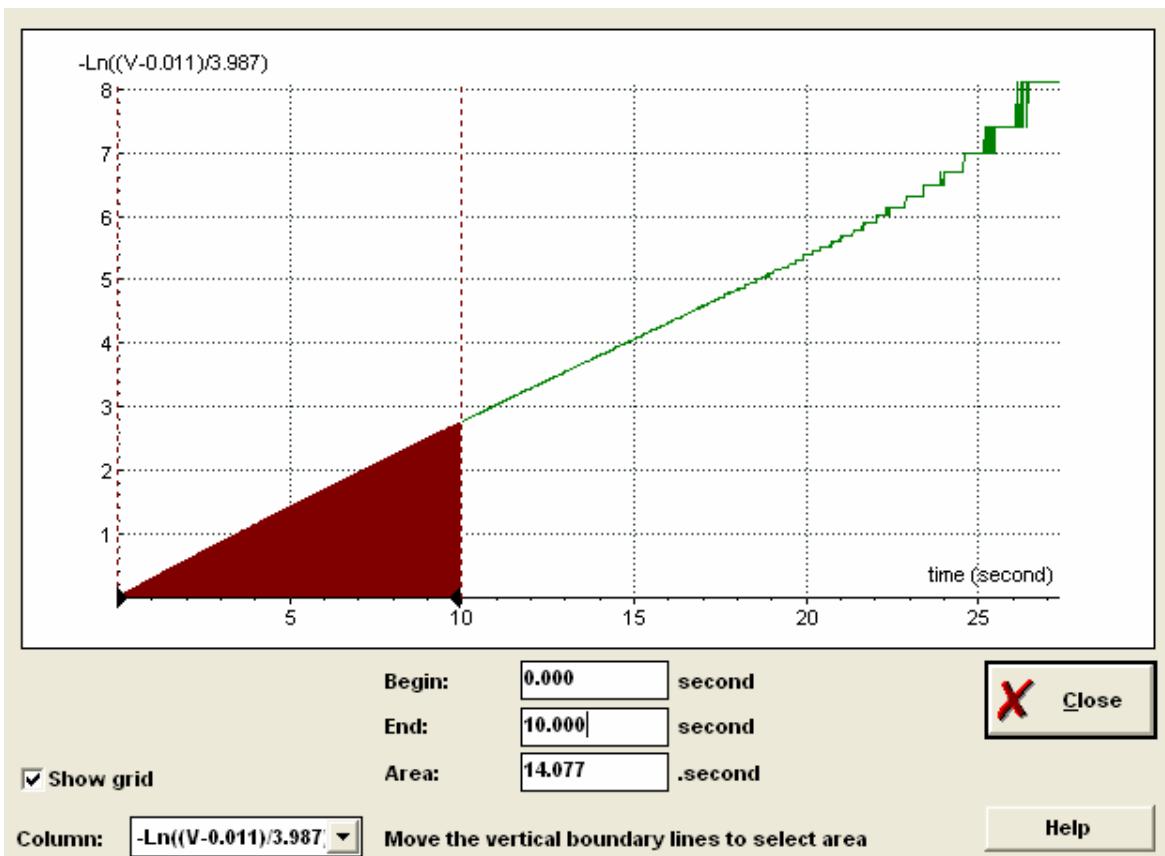


Fig. 8. Determining the area under the graph of the function  $\ln\{(V_f - V_o)/(V_f - V(t))\}$  for the circuit of discharging a capacitor.

## CONCLUSION

Simple physical experiments controlled by the CoachLab interface were utilized so as the time constant of the  $RC$  circuit could be evaluated. The obtained values of the time constant correspond to the product of the capacitance of the used capacitor and the resistance of the used resistor. Evidently the differences among the obtained values are due to the inaccuracy of the measuring device.

Clearly, the methods can be adopted for measuring capacitances of unknown capacitors if a gauged resistor is available. Such a measurement would be a very nice topic of practical exercises of undergraduate students during their physics laboratory activities.

## REFERENCES

- [1] <http://www.cma.science.uva.nl/>

## INDUCTANCE OF A INDUCTOR MEASURED WITH THE COACHLAB INTERFACE

I. Yanetka

Department of Physics, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology,  
Radlinského 11, 813 68 Bratislava, Slovakia

**Abstract:**

Experimental methods for evaluating time constant of an inductance-resistance series circuit are described. Measured data that were collected by using the CoachLab II interface are also presented. The described experimental procedures can easily be performed by undergraduate students during their physics laboratory activities.

**Keywords:**

Inductor, resistance, time constant, computerized measurement

### INTRODUCTION

By closing and opening a switch of an electrical circuit one finds situations in which currents and voltages in the circuit change with time  $t$ .

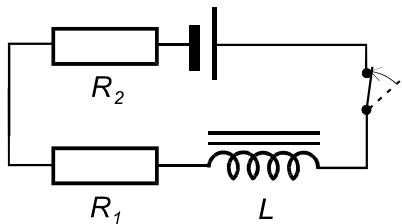


Fig. 1a. A switch activates a battery in the circuit which then contains also  $L$ ,  $R_1$  and  $R_2$ .

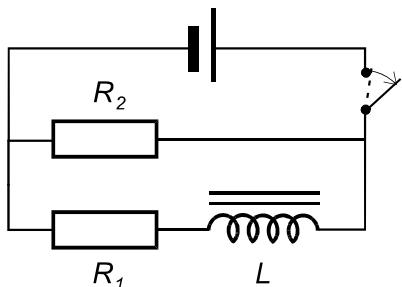


Fig. 1b. A switch removes a battery from the old circuit and forms a new circuit containing  $L$ ,  $R_1$  and  $R_2$ .

Figure 1.a shows a simple circuit in which an inductor is connected to a battery through a switch. Beginning at some time  $t_o$ , when the switch is closed the battery causes charge to move in the circuit. The current in the circuit cannot change suddenly from zero to some final value because there is a self-induced electromotive force in the inductor which sense is opposite the sense of the increasing current. This opposition to the increase in current prevents the current from rising abruptly.

Figure 1.b shows a circuit with a switching arrangement that removes the battery from the original circuit at some time  $t_o$ ; and forms a new circuit. The current in the circuit cannot decrease suddenly to zero because the self-induced electromotive force in the inductor has the same sense as the decreasing current and prevents the current from dropping abruptly.

In processes of closing and opening the switches of the electrical circuits in Fig. 1, the current,  $i = i(t)$ , changes in time  $t$  following the equation

$$i(t) = i_o + \left(1 - e^{-(t-t_o)R/L}\right)(i_f - i_o) \Theta(t - t_o).$$

Here  $R = R_1 + R_2$  is all of the resistance in the circuit,  $L$  is all of the self-inductance of the circuit,  $i_f$  is the terminal current in the circuit, i.e. the current at the time  $t \rightarrow \infty$ ;  $i_o$  is the initial current in the circuit, i.e. the current at the time less than  $t_o$ ;  $\Theta(t - t_o)$  is the Heaviside step

function ( $\Theta(t - t_0) = 0$  if  $t < t_0$  and  $\Theta(t - t_0) = 1$  if  $t_0 < t$ ). The quotient  $L/R$  is a measure of how quickly the current changes. It is called the inductive time constant or the relaxation time of the inductance-resistance circuit.

The previous equation that expresses the time dependence of the current can be arranged as  $\ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i)\} = (t - t_0)\Theta(t - t_0)R/L$ . A graph of  $\ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i)\}$  versus time  $t$  is, therefore, a straight line for  $t > t_0$ . The inverse value of its slope is the time constant of the corresponding inductance-resistance circuit. The previous equation can also be integrated and then one obtains the next formula for the inductive time constant

$$\frac{L}{R} = \frac{(t - t_0)^2}{2 \int_{t_0}^t \ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i(t'))\} dt'} .$$

There is also another simple way for the evaluation of the inductive time constant. One can integrate the function  $i(t)$ . Thus,  $\int_{t_0}^t i(t') dt' = (t - t_0)i_f - (1 - e^{-(t-t_0)R/L})(i_f - i_o)L/R$ . When  $t_0 + L/R \ll t$  then  $\int_{t_0}^t i(t') dt' \approx (t - t_0)i_f - (i_f - i_o)L/R$ . Finally, one gets an asymptotic formula for the inductive time constant,

$$\frac{L}{R} \approx \frac{(t - t_0)i_f}{i_f - i_o} - \frac{\int_{t_0}^t i(t') dt'}{i_f - i_o} .$$

In the next section, both the formulas are used for the evaluation of the time constant of an inductance-resistance series circuit from measured data.

## COMPUTER MEASUREMENT

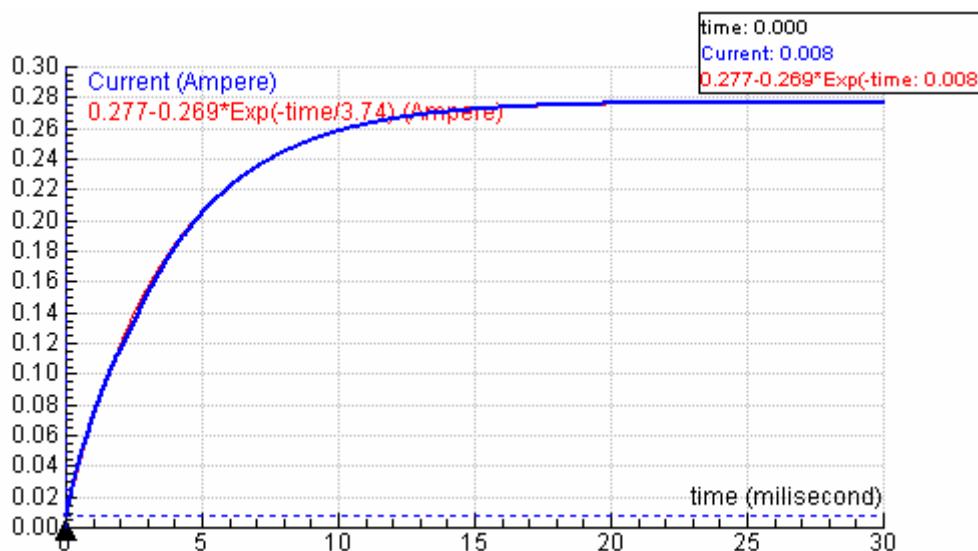


Fig. 2. Current versus time in the circuit for growing the current.

The measurement was performed by using the inductor of an unknown inductance (a coil that had 600 windings and was made from cooper wire of the diameter of 0,6mm ; a laminated iron core of the shape of the letter U was inserted in the cavity of the coil). All of the resistance in both

the circuits was  $R = R_1 + R_2 = 16,8\Omega$  (the resistance of the connecting wires was also included). The resistance was measured by an ohmmeter. The current in the circuit,  $i = i(t)$ , was being measured with the CoachLab II interface connected to a PC computer with the Coach program [1].

Figure 2 shows  $i$  versus  $t$  in the circuit for the growth of the current in an inductance-resistance series circuit. The initial current was  $i_o = 0,008\text{ A}$ . The Sensor icon as well as the Table window displayed the final current in the circuit,  $i_f = 0,277\text{ A}$ . The graph was displayed in the Diagram window and the measured data were analyzed in the Diagram menu. The area under the graph (vide Fig. 3) was determined in the Analyze>Area dialog of the Diagram window,  $\int_{t_o}^t i(t') dt' = 7,292 \text{ A ms}$ ,  $t_o = 0,000 \text{ ms}$  and  $t = 30,000 \text{ ms}$ . From the measured data one easily obtains that  $L/R = 3,784386617 \text{ ms} \approx 3,78 \text{ ms}$ .

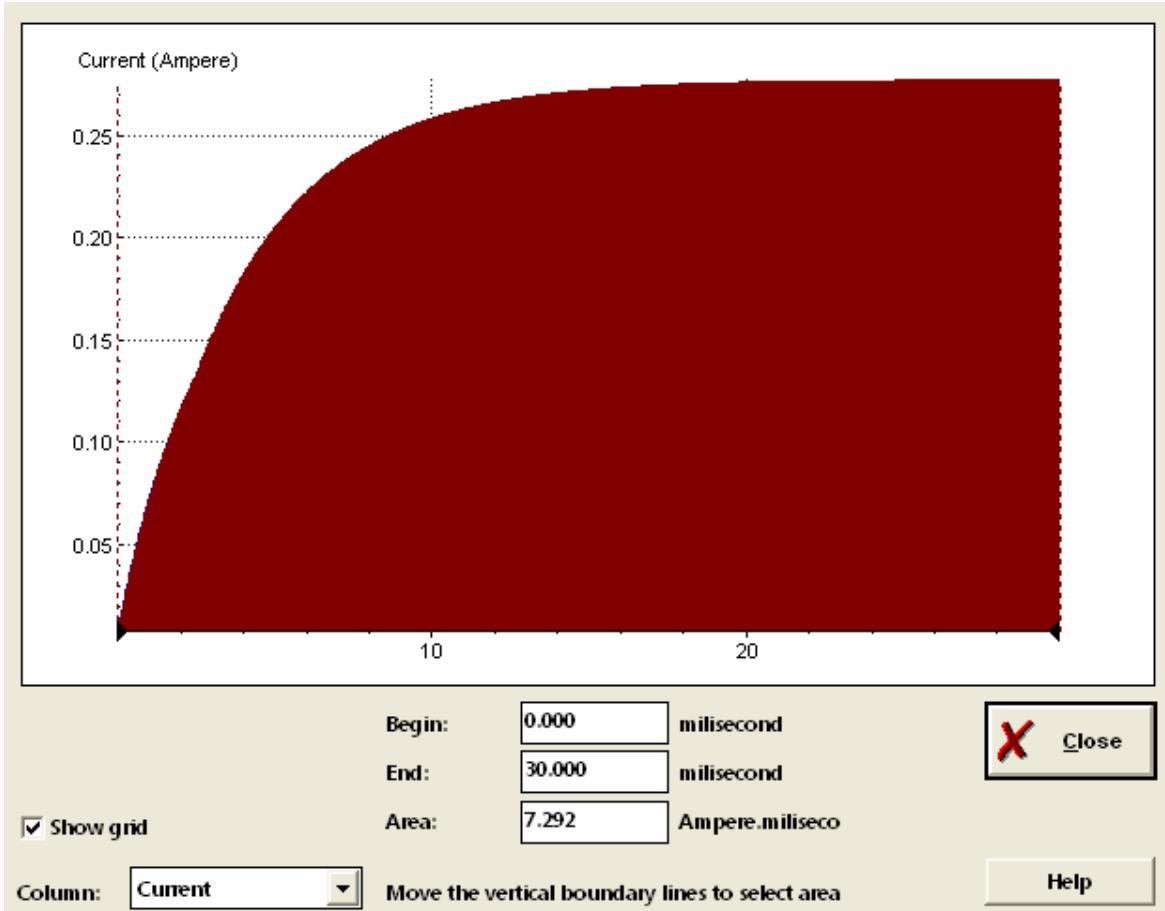


Fig. 3. Determining the area under the graph for the circuit of growing the current.

The measured data,  $i_o = 0,008\text{ A}$ ,  $i_f = 0,277\text{ A}$ ,  $t_o = 0,000 \text{ ms}$  and  $L/R = 3,78 \text{ ms}$ , were also used for drawing the curve that represents the function  $i(t) = i_f - (i_f - i_o) e^{-(t-t_o)R/L}$  for  $t > t_o$ . The formula was edited in the Create/Edit dialog of the Diagram window. It is seen from Fig. 2 that the formula excellently traces the measured time dependence of the current in the circuit. Figure 4 shows  $i$  versus  $t$  in the circuit for the decay of the current in an inductance-resistance series circuit. Again, the Table window displayed the initial current and the final current in the circuit,  $i_o = 0,298\text{ A}$  and  $i_f = 0,001\text{ A}$ . The area under the graph (vide Fig. 5) was determined in the Analyze>Area dialog of the Diagram window,  $\int_{t_o}^t i(t') dt' = 1,132 \text{ A ms}$ ,  $t_o = 0,000 \text{ ms}$  and

$t = 25,000 \text{ ms}$ . From the measured data one easily obtains that  $L/R = 3,727272727 \text{ ms} \approx 3,73 \text{ ms}$ .

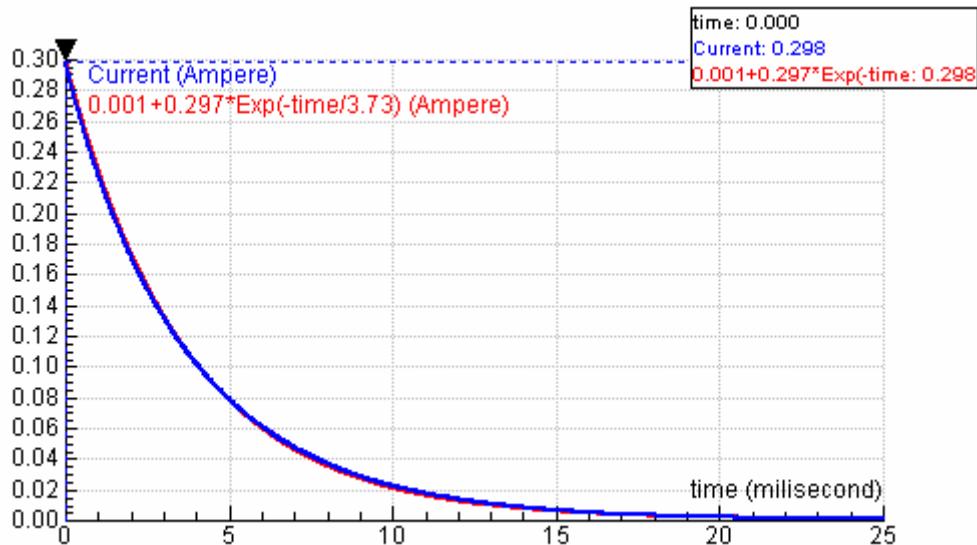


Fig. 4. Current versus time in the circuit for decaying the current.

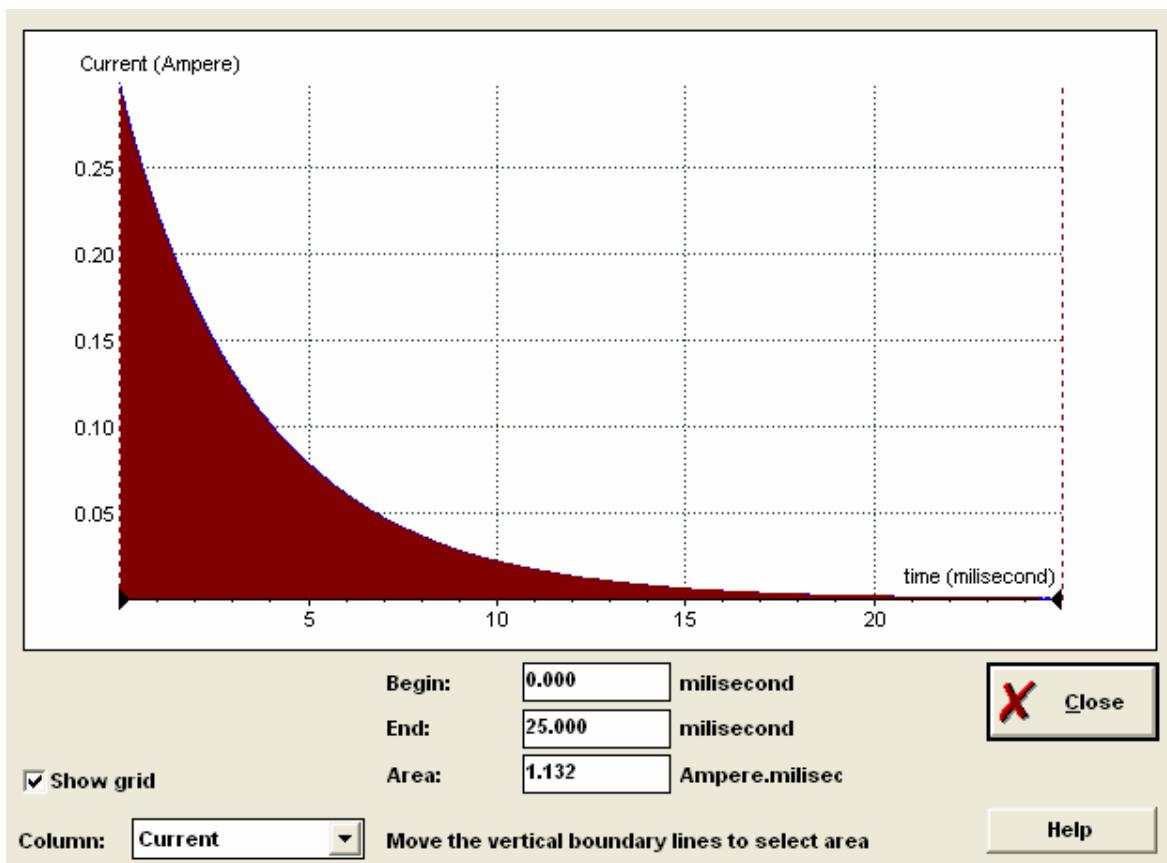
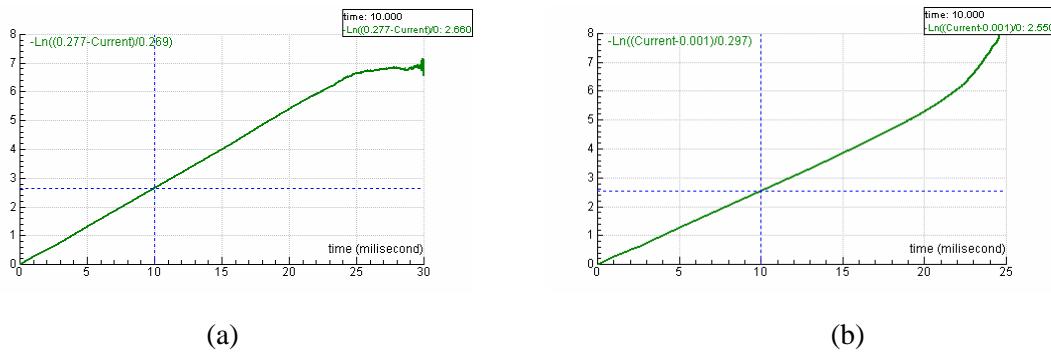


Fig. 5. Determining the area under the graph for the circuit of decaying the current.

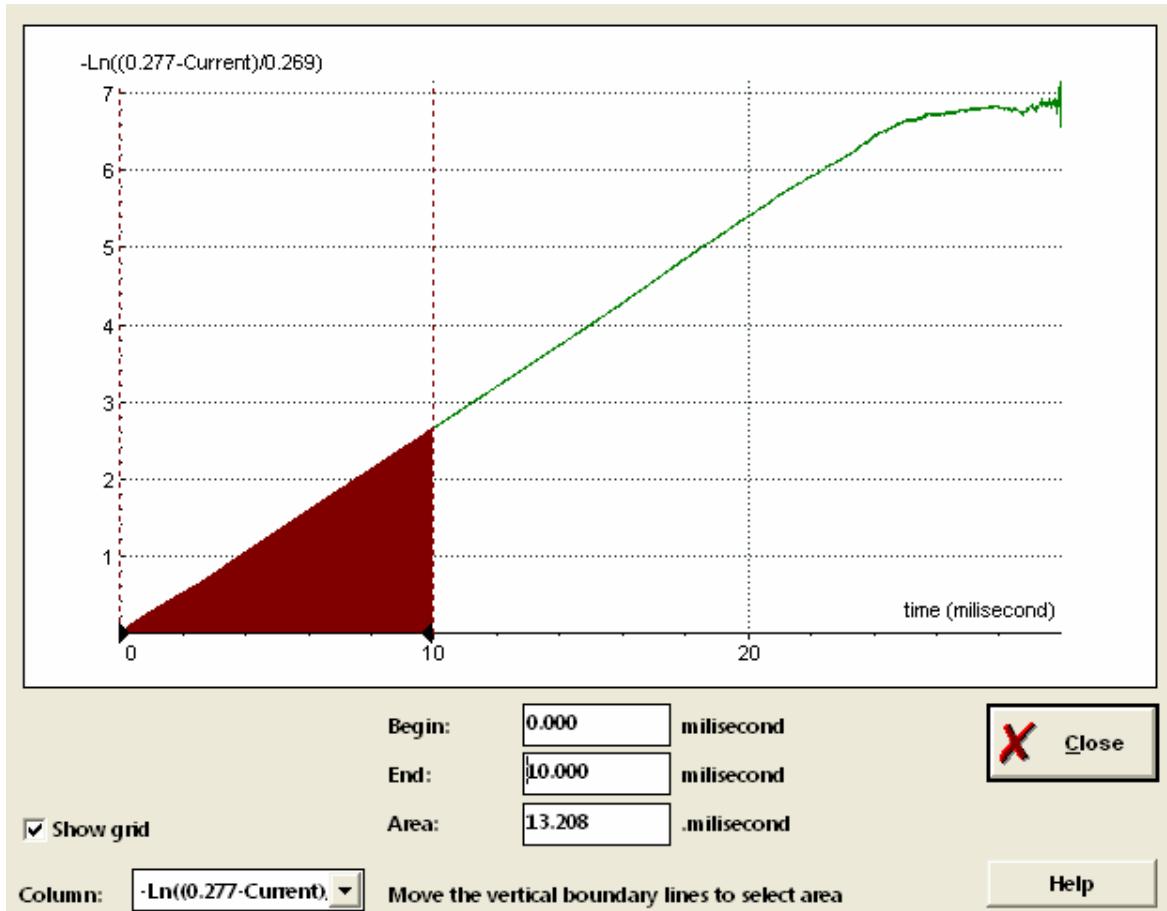
The measured data,  $i_o = 0,298 \text{ A}$ ,  $i_f = 0,001 \text{ A}$ ,  $t_o = 0,000 \text{ ms}$  and  $L/R = 3,73 \text{ ms}$ , were anew used for drawing the curve that represents the function  $i(t) = i_f - (i_f - i_o) e^{-(t-t_o)R/L}$  for  $t > t_o$ . The formula was edited in the Create/Edit dialog of the Diagram window. It is seen from Fig. 4 that the formula excellently traces the measured time dependence of the current in the circuit.



*Fig. 6. Graphs of the function  $\ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i)\}$  versus  $t$*

*(a) for the circuit of growing the current and (b) for the circuit of decaying the current.*

The time constant of an inductance-resistance circuit also equals the inverse value of the slope of the graph of the function  $\ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i(t))\}$ . Figure 6 shows such graphs for the circuit of growing and decaying the current. Both the curves are evidently linear. In the first graph, the abscissa of 10,000 ms gives the ordinate of 2,660, thus  $L/R \approx 3.76$  ms. In the second graph, it gives the ordinate of 2,550, thus  $L/R \approx 3.92$  ms. Other abscissas give a bit different values of the time constant.



*Fig. 7. Determining the area under the graph of the function  $\ln\{(i_f - i_o)/(i_f - i(t))\}$  for the circuit of growing the current.*

It is also possible to gain average values of the time constant from those graphs. The area,

$\int_{t_0}^t \ln\left\{\left(\frac{i_f - i_o}{i_f - i(t')}\right)\right\} dt'$ ,  $t_0 = 0,000$  ms and  $t = 10,000$  ms, under the first graph (vide Fig. 7) is  $13,208$  ms. It gives  $L/R = 3,785\,584\,494$  ms  $\approx 3.79$  ms. The area under the second graph (vide Fig. 8) is  $12,702$  ms. It gives  $L/R = 3,936\,387\,97$  ms  $\approx 3.94$  ms.

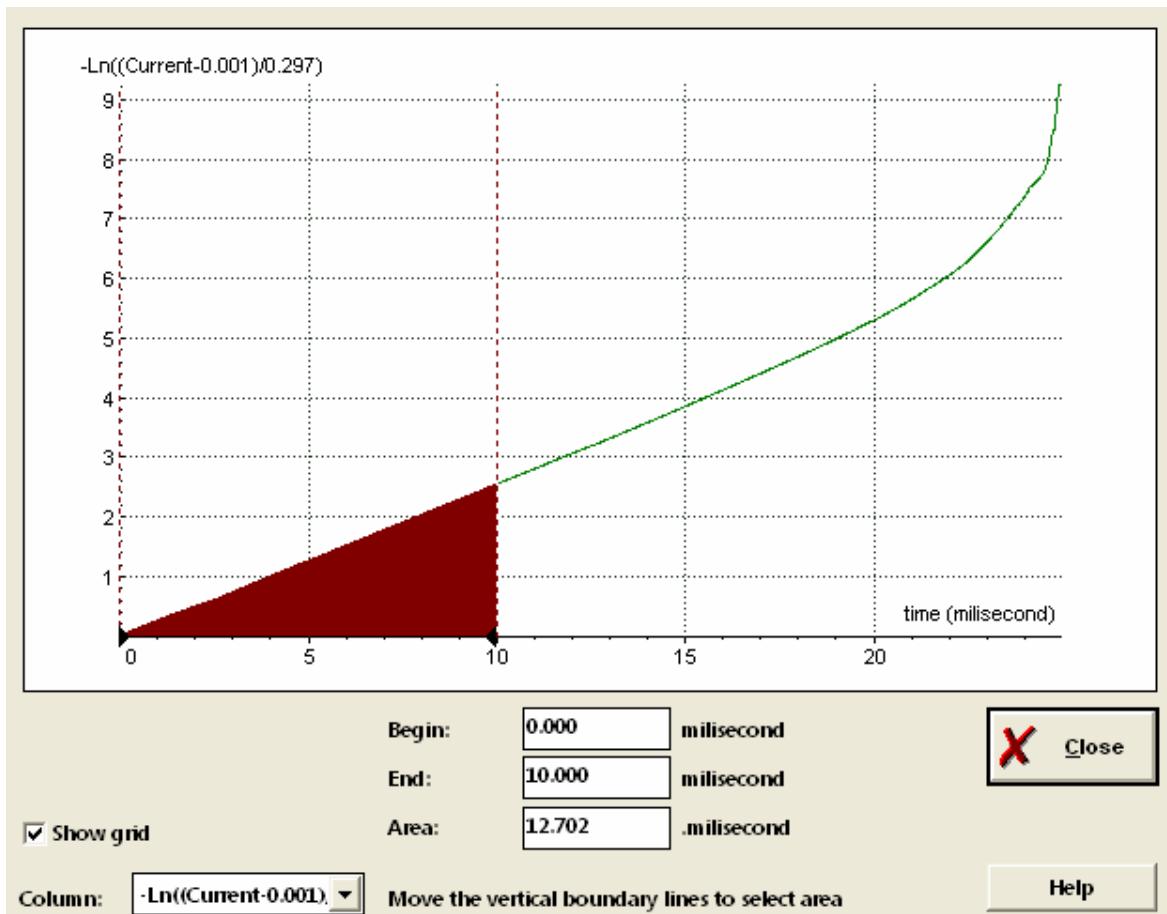


Fig. 8. Determining the area under the graph of the function  $\ln\left\{\left(\frac{V_f - V_o}{V_f - V(t)}\right)\right\}$  for the circuit of discharging a capacitor.

## CONCLUSION

Simple physical experiments controlled by the CoachLab interface were utilized so as the time constant of the inductance-resistance series circuit could be evaluated. The obtained values of the inductive time constant are approximately equal to each other. Evidently the differences among the obtained values are due to the inaccuracy of the measuring device.

Clearly, the methods can be adopted for measuring inductances of inductors if all the resistance of the circuit is known. Such a measurement would be a very nice topic of practical exercises of undergraduate students during their physics laboratory activities.

## REFERENCES

- [1] <http://www.cma.science.uva.nl/>