

EVALUAREA NEDISTRUCTIVĂ A COEFICIENTULUI DE ATENUARE ACUSTICĂ AL MATERIALELOR COMPOZITE PRIN METODA ULTRASUNETELOR

Dr. ing. Mariana Domnica STANCIU¹, Prof. univ. dr. ing. dr. h. c. Ioan CURTU¹,
Prof. univ. dr. ing. Vasile CIOFOAIA¹, Prof. dr. Raimond GRIMBERG²

¹Universitatea „Transilvania” din Braşov

² Institutul Naţional de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică – Iaşi

REZUMAT. Lucrarea prezintă rezultatele experimentale privind coeficientul de absorbţie acustică a compozitelor din fibră de sticlă și rășină epoxi, determinate prin metoda nedistructivă de absorbție a undelor elastice (ultrasunetele) în mediul solid, respectiv placa testată. S-au testat plăci rectangulare, plane, clasificate în 4 tipuri, în funcție de structura compozită și procesul tehnologic de fabricație. Testele au relevat pe de o parte caracterul eterogen al plăcilor compozite, iar pe de altă parte capacitatea fiecărui tip de placă studiat de a atenua frecvențele înalte.

Cuvinte cheie: compozite cu textile, ultrasunete, coeficient de atenuare acustică, anisotropie.

ABSTRACT. The paper presents the experimental results regarding sound absorption coefficient of fibre glass /epoxi resin composites, using non-destructive method of elastic wave absorption in solid medium, irrespective tested plate. Were tested rectangular plane plates, classified in 4 types in accordance with composite structure and technological process. The tests revealed the anisotropic properties of composites and the capacity of plates to attenuate the high frequencies.

Keywords: woven composite, ultrasound, sound absorption coefficient, anisotropy.

1. INTRODUCERE

Utilizarea metodele ultrasonore de control nedistructiv în examinarea materialelor compozite, permite atât punerea în evidență a discontinuităților de material cât și în determinarea unor mărimi importante cum ar fi modulul de elasticitate, coeficientul Poisson, duritatea, coeficientul de atenuare acustică cât și pentru obținerea de informații calitative asupra structurii și porozității interne a pieselor examinate. În literatura de specialitate, există numeroase studii privind determinarea caracteristicilor mecanice, termice și acustice a compozitelor, prin diferite metode de investigație [1, 2, 8]. Lucrarea prezintă rezultatele experimentale privind determinarea coeficientului de absorbție acustică a compozitelor din fibră de sticlă și rășină epoxi, determinate prin metoda nedistructivă de absorbție a undelor elastice (ultrasunetele) în mediul solid. Investigații continuă cercetările privind comportarea dinamică a acestor plăci au fost prezentate în lucrările anterior publicate [3, 6, 7].

2. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Pentru determinarea proprietăților acustice ale materialelor compozite (țesătură, fibre de sticlă și

rășină epoxi), s-a utilizat metoda nedistructivă de absorbție a undelor elastice în mediul solid, al cărui principiu fizic constă în producerea și transmiterea în mediul solid a undelor longitudinale și a undelor transversale [4, 9]. Absorbția undelor reprezintă fenomenul de conversie directă a energiei undelor ultrasonore care se propagă, în căldura.

Mecanismele prin care are loc absorbția sunt multiple și energia absorbită crește în general, cu creșterea frecvenței undelor ultrasonore.

Datorită atenuării, presiunea ultrasunetelor se diminuează o dată cu creșterea distanței față de sursa sonoră. Dacă notăm cu dP modificarea de presiune la parcurgerea unei distanțe dx , atunci:

$$dP = -\alpha P dx, \quad (1)$$

semnul minus arătând că presiunea acustică se micșorează, α este constanta de atenuare, iar P presiunea ultrasunetelor. Integrând relația (1) se obține:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\alpha \int_{x_0}^x dx \text{ sau } \ln \frac{P}{P_0} = -\alpha (x - x_0). \quad (2)$$

Notând $x - x_0 = d$, distanța pe care are loc propagarea unde, se obține:

$$P = P_0 e^{-\alpha d}. \quad (3)$$

Măsurarea presiunii ultrasonoră în două puncte din material separate de distanța d permite obținerea valorilor P_1 și P_2 . Coeficientul de atenuare se va măsura în dB/m determinându-se cu relația:

$$\frac{20 \log \frac{P_1}{P_2}}{d} \text{ [dB/m]} \quad (5)$$

În funcție de valorile coeficientului de atenuare materialele se clasifică în:

a) *materiale cu coeficient de atenuare mic* $\alpha < 10$ [dB/m]. În această categorie intră alumiuniul și magneziul, nichelul, argintul extrapure precum și unele materiale nemetalice precum sticla și porțelanul. Mecanismul responsabil de atenuare este absorbția presiunii acustice.

b) *materiale cu coeficient de atenuare mediu* $10 \text{ [dB/m]} \leq \alpha \leq 100 \text{ [dB/m]}$. Pentru materiale precum plasticele cum ar fi polistirenul, perspex, PVC, cauciuc nevulcanizat, rășini sintetice, mecanismul de atenuare preponderent este absorbția. Pentru materiale precum aliaje de aluminiu și magneziu, oțelul turnat în condiții deosebite, cuprul, zincul, bronzul precum și metale sinterizate mecanismul de atenuare preponderent este împrăștierea energiei sonore.

c) *materiale cu coeficient de atenuare mare* $\alpha > 100$ [dB/m]. În această categorie intră materialele plastice armate, cauciucul vulcanizat și lemnul pentru care absorbția este preponderentă precum și metalele turnate în condiții ordinare, rocile, betonul, ceramicile poroase pentru care atenuarea se datorează în special împrăștierei. Echipamentul de control folosit în determinările experimentale a constat dintr-un aparat de control cu ultrasunete, osciloscop catodic, palpatori pentru unde longitudinale, palpatori pentru unde transversale, cuplant, piese confecționate din diverse materiale, mijloace de măsură a distanței. Schema bloc a echipamentului este prezentată în figura 1, iar în figura 2 sunt prezentate imagini din timpul testelor [9].

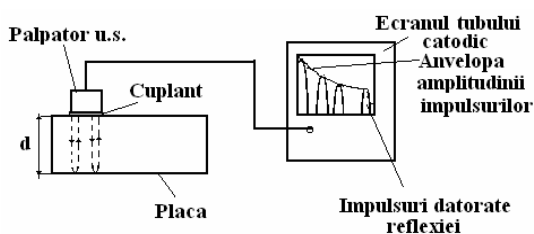


Fig. 1. Schema bloc a echipamentului de testare.

Atât coeficientul de atenuare cât și vitezele ultrasunetelor s-au determinat utilizând procedeul impuls-

ecou. Echipamentul de control (Fig. 1) la care se conectează palpatorul de ultrasunete conține un tub catodic pe al cărui ecran se observă impulsul de tensiune aplicat traductorului precum și reflexiile succesive ale undelor pe fețele opuse ale pieselor testate. Investigațiile experimentale s-au realizat în laboratorul de teste nedistructive ale Institutului Național pentru Fizică Tehnică din Iași, coordonat de prof. Dr. Grimberg Raimond.



Fig. 2. Imagini din timpul determinărilor experimentale.

S-au testat plăci rectangulare, plane, din materiale compozite. În funcție de structura compozită a plăcii, acestea au fost clasificate în 4 tipuri, așa cum se observă în tabelul 1 și figura 3. Pentru fiecare categorie de structură, au fost realizate câte 15 plăci, iar testele nedistructive privind proprietățile de atenuare acustică au fost realizate pe plăcile evidențiate în tabelul 2, fiind selectate după examinarea vizuală din punct de vedere al calității suprafețelor (plăci fără fisuri sau bule de aer rezultate în urma pregătirii sau manipulării lor ș.a.). La aparatul de control cu ultrasunete s-a cuplat palpatorul cu undă longitudinală de 4 MHz și s-a așezat pe fața pe care s-a aplicat cuplantul. S-a reglat amplificarea și scara de distanțe astfel încât să se poată vedea distincte impulsurile provenite de la reflexia pe fața opusă a piesei [5]. Înainte de efectuarea testelor, s-a măsurat masa și grosimea plăcilor, valorile acestor caracteristici fiind redată în tabelul 2 și figura 3.

3. REZULTATE ȘI DISCUȚII

Pentru fiecare placă studiată, s-au măsurat amplitudinile a două impulsuri succesive și apoi, aplicând relația (5), a fost determinat coeficientul de atenuare α . Pentru fiecare tip de material și pentru fiecare palpator s-au efectuat câte 5 măsurători, făcându-se apoi prelucrarea statistică. Rezultatele măsurătorilor și valorile finale obținute pe baza relației de calcul (5) sunt prezentate în tabelul 3.

Structura plăcilor din material compozite

Tip placa	Rășina	Structura	Dimensiuni $L \times l \times h$	Tipul realizării
Compozit tip 1 (15 epruvete)	Rășină poliesterică nesaturată pe bază de dicitopentadienă și acid ortoftalic dizolvată în stiren. Aceasta rasiină este tixotropică, preaccelerată și conține indicator de peroxid.	4 straturi tip stratimat de 300 g/m ² 3 straturi din țesătură de fibră de sticlă	400×200×4	Presiune normală
Compozit tip 2 (15 Samples)		5 straturi tip stratimat de 300 g/m ² 4 straturi din țesătură de fibră de sticlă	400×200×6	Presiune normală
Compozit tip 3 (15 epruvete)		6 straturi tip stratimat de 300 g/m ² 4 straturi din țesătură de fibră de sticlă	400×200×6	Presiune joasă
Compozit tip 4 (15 epruvete)		6 straturi tip stratimat de 300 g/m ² 4 straturi din țesătură de fibră de sticlă	400×200×5	Presiune ridicată

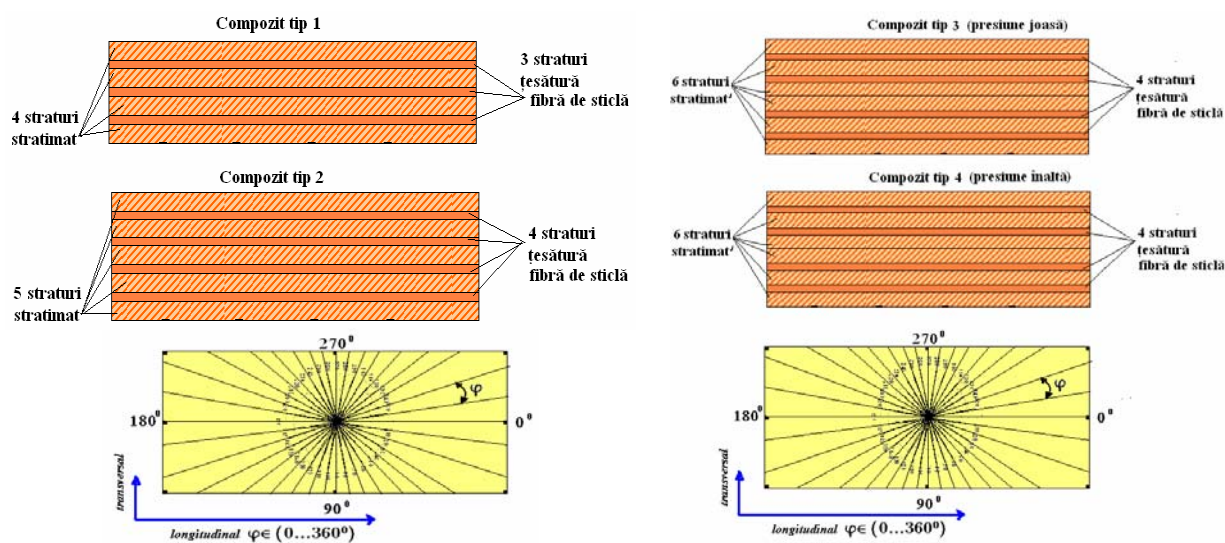


Fig.3. Structura compozitelor testate.

Tabelul 2

Valorile caracteristicilor fizice ale plăcilor testate

Cod	Compozit tip 1		Cod	Compozit tip 2		Cod	Compozit tip 3		Cod	Compozit tip 4	
	Masa, m [kg]	Grosimea, h [mm]		Masa, m [kg]	Grosimea, h [mm]		Masa, m [kg]	Grosimea, h [mm]		Masa, m [kg]	Grosimea, h [mm]
16	0,520	4	106	0,683	6	151	0,768	6,7	181	0,456	4,2
17	0,512	4	107	0,672	6	152	0,786	6,4	182	0,542	5
18	0,535	4	108	0,679	6	153	0,747	6	183	0,552	4,8
19	0,524	4	109	0,708	6	154	0,785	7	184	0,560	5
20	0,534	4	110	0,709	6	155	0,849	7	185	0,532	4,8
21	0,498	4	111	0,705	6	156	0,757	7	186	0,546	5
22	0,523	4	112	0,676	6	157	0,812	7,66	187	0,543	4,7
23	0,521	4	113	0,710	6	158	0,845	7	188	0,575	5
24	0,519	4	114	0,677	6	159	0,799	6,8	189	0,529	4,5
25	0,519	4	115	0,679	6	160	0,678	6	190	0,518	4,5
26	0,537	4	116	0,713	6	161	0,735	6,5	191	0,540	4,8
27	0,541	4	117	0,649	6	162	0,763	6,5	192	0,517	4,5
28	0,557	4	118	0,696	6	163	0,720	6	193	0,534	4,7
29	0,519	4	119	0,705	6	164	0,727	6,5	194	0,580	5
30	0,502	4	120	0,680	6	165	0,772	7	195	0,509	4

Rezultatele experimentale pentru placile testate

Cod placa	Grosimea d [mm]	A0	A1	A2	A3	$\alpha 1$ [dB/mm]	$\alpha 2$ [dB/mm]	$\alpha 3$ [dB/mm]	α mediu [dB/mm]
110	6,037	682	594	552	512	0,198767	0,105507	0,10823	0,137501
114	5,81	488	362	180	100	0,44651	1,04453	0,878735	0,789925
120	5,77	678	398	300	120	0,801895	0,425518	1,379341	0,868918
117	5,55	470	380	206	142	0,332664	0,958257	0,582266	0,624396
157	6,71	1174	910	660	464	0,329737	0,41579	0,456113	0,400547
158	7,05	842	806	352	270	0,053836	1,020688	0,326749	0,467091
159	6,56	1266	666	446	342	0,850486	0,530913	0,351551	0,57765
164	6,01	934	858	638	368	0,122661	0,428175	0,795251	0,448696
28	4,77	702	342	290	282	1,30948	0,300327	0,050939	0,553582
27	4,7	544	438	350	242	0,400531	0,414494	0,681926	0,498984
21	4,1	626	402	372	296	0,938284	0,164308	0,484152	0,528915
18	4,51	1070	360	282	210	2,097921	0,470303	0,56776	1,045328
185	4,42	1010	812	410	342	0,428802	1,342861	0,35637	0,709344
187	4,6	1292	724	620	338	1,093582	0,292813	1,145543	0,843979
190	4,17	962	640	468	376	0,848897	0,651962	0,455914	0,652258
191	3,95	820	724	444	418	0,273799	1,075218	0,132692	0,493903

În figura 4 sunt prezentate comparativ valorile medii ale coeficientului de atenuare pentru placile testat. În cadrul aceleiași categorii de material s-au obținut diferite rezultate – cu variații destul de mari ale coeficientului de atenuare, ceea ce denotă caracterul anisotrop al plăcilor, chiar și în aceleași condiții tehnologice de fabricație. Cele mai omogene plăci din punct de vedere al valorilor coeficientului de atenuare s-au înregistrat pentru compozitele tip 3 și 4 (cu 6 straturi tip stratimat de 300 g/m² și 4 straturi din țesătură de fibră de sticlă, obținute prin presiune joasă, respectiv presiune ridicată). Compozitele tip 4 (obținute prin presiune ridicată) prezintă o comportare acustică bună la ultrasunete, fiind caracterizate valoarea cea mai ridicată a coeficientului de atenuare determinat. În cazul celorlalte tipuri de compozite 1 și 2, valorile coeficientului de atenuare indică valori mai reduse ale coeficientului de atenuare, așa cum se poate observa în graficul comparativ al acestor valori, însă diferențele între cele trei patru tipuri de compozite nu sunt esențiale. Se știe că structura anisotropă a compozitelor influențează atât caracteristicile mecanice cât și cele nemecanice, fapt pentru care s-a realizat și un test de anisotropie tot prin metoda de investigare cu ultrasunete, având ca obiectiv determinarea gradului de omogenitate/ anisotropie a compozitelor. Astfel, a fost măsurat timpul de propagare a ultrasunetelor în diferite puncte din material fixate după coordonate polare (conform figurii 3). Au fost înregistrate 5 măsuratori succesive în punctele stabilite pe placă, după care au fost prelucrate statistic și redată în graficul din figura 5. Timpul de propagare a undelor este exprimat în microsecunde.

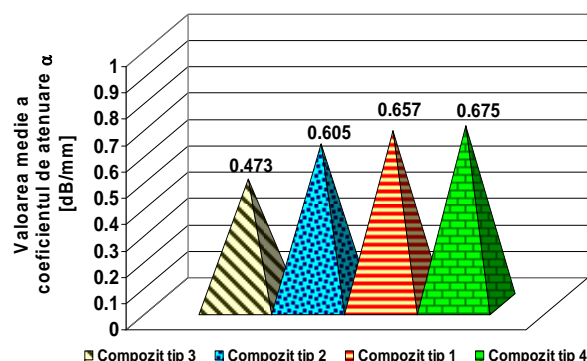


Fig. 4. Variația coeficientului de atenuare acustică pentru tipurile de compozite studiate.

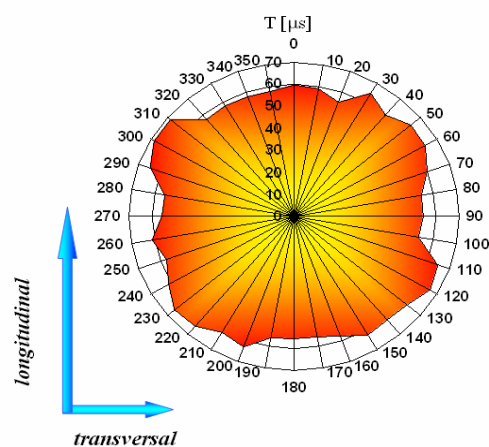


Fig. 5. Variația timpului de propagare a ultrasunetelor în compozite în raport cu direcția de orientare.

5. CONCLUZII

În studiul prezentat, au fost determinate prin metode nedistructive, pe de o parte coeficientul de atenuare acustică a materialelor compozite cu structura diferită, iar pe de altă parte, gradul de anizotropie al acestora.

Astfel, s-a constatat că:

- Structura compozitului (numărul de straturi – fibra de sticlă/stratimat) influențează direct valorile coeficientului de atenuare acustică α .

- Valorile coeficientului α sunt influențate și de grosimea plăcilor compozite, precum și de procesul de fabricație folosit. Astfel, presiunea joasă sau ridicată, conduce la realizarea unor compozite superioare din punct de vedere al atenuării undelor ultrasonore, comparativ cu tehnologia care utilizează presiunea normală.

- În general, plăcile studiate au un grad relativ scăzut de anizotropie, stratimatul contribuind la distribuția relativ uniformă a caracteristicilor compozitului. Totuși, nefiind un material izotrop sau ortotrop, se poate constata că, față de direcțiile longitudinală și transversală, care coincide cu direcția țesăturii din fibră de sticlă, la 40 – 60 grade față de aceste direcții, timpul de propagare a undelor este mai mare. Acest aspect a fost transpus grafic în figura 5 unde se pot observa abaterile de la forma circulară și care constituie zonele caracterizate prin aglomerări de fibre, stratimat sau o distribuție neuniformă a rășinii.

Acknowledgements

Cercetările prezentate în această lucrare au fost realizate în cadrul Programului Operational Sectorial pentru Dezvoltarea Reurselor Umane (POS DRU) finanțat din fonduri europene și de guvernul României în cadrul contractului POSDRU POSTDOC-DD, ID59323.

REFERENCE

- [1] Cerbu, C., Curtu, I., Ciofoaia, V., Rosca I. C., Hanganu, L. C., *Effects of the Wood Species on the Mechanical Characteristics in Case of Some E-Glass Fibres/Wood Flour/Polyester Composite Materials*, in Rev. Materiale Plastice, MPLAAM 47 (1) 2010, Vol. 47, nr. 1 –martie 2010, Bucuresti Romania, pp.109-114, 2010.
- [2] Cosereanu, C., Curtu, I., Lunguleasa, A., Lica D., Porojan M., Brenci, L., Cismaru, I., Iacob, I., *Influence of Synthetic and Natural Fibers on the Characteristics of Wood-Textile Composites*, Revista Materiale Plastice vol. 46, nr. 3 Sept. 2009, Bucuresti, p. 305-309, 2009.
- [3] Curtu Ioan, Stanciu Mariana Domnica, Ciofoaia Vasile: *The modal analysis of plates made of woven composite materials*, în Buletinul AGIR, ISSN 1224-7928, An XVI, nr. 1/2011,
- [4] Grimberg, R., Curtu, I., Savin, A., Stanciu, M. D., Andreescu A., Leitoiu S., Bruma A., Barsanescu P, *Elastic Waves Propagation in Multilayered Anisotropic Composite – Application to Multilayered Lignocellulose Composite*, in Proc. of The 7th Edition of International Conference „Wood Science and Engineering in the Third Millennium”, ICWSE 2009, Brasov, pp. 688-695, 2009.
- [5] Grimberg R, Savin A., Curtu I., Stanciu M. D., Lica D., Cosereanu C, *Assesment of wood using air-coupled US transducer*, in Proceedings of 17th WOOD NDT International Nondestructive testing and Evaluation of Wood Symposium – Vol II, 14-16 September 2011, Sopron Ungaria, ISBN 978-963-9883-83-3, p. 427 – 434
- [6] Stanciu M. D., Curtu I., *Using Advanced Method To Determine The Acoustical Parameter Of Lignocellulose Composite Materials*, in Proceedings of the 12th International Conference AFASES 2010, organizata de Academia Fortelor Aeriene Henri Coanda din Brasov, 27-29 mai 2010.
- [7] Terciu O. M., Curtu I, Cerbu C., Stanciu M.D., *Structures of composite materials reinforced with natural fibres subjected to mechanical stresses* , in Proceedings of The 4th International Conference on Structural Analisis of Advanced Materials – ICSAAM 2011, ISSN 2247-8337, Sinaia 7-11 septembrie 2011, pe CD, pp.339 – 346.
- [8] Tran Ich Thinh, Tran Huu Quoc, *Finite element modeling and experimental study on bending and vibration of laminated stiffened glass fiber/polyester composite plates*, Computational Materials Science, 2010.
- [9] *** Lucrari de laborator INCDFT –NDT Iasi, Grimberg R

Despre autori

Dr. ing. Mariana Domnica STANCIU

Universitatea „Transilvania” din Brașov

Este absolventă a Facultății de Ingineria Lemnului, Universitatea Transilvania din Brașov, în 2008 a obținut titlul de master inginer în Dinamica Structurilor Mecanice și titlul de doctor în inginerie mecanică în anul 2009. În timpul facultății a participat la concursul profesional de rezistența materialelor ”C. C. Teodorescu” obținând premiul I pe țară cu punctaj maxim. A participat la numeroase simpozioane și conferințe naționale și internaționale, a publicat încă din timpul facultății și apoi și pe durata doctoratului o serie de lucrări și articole (peste 100). Este membră în echipele de cercetare ale unor contracte științifice și a coordonat ca director de proiect un contract științific de tip TD. În prezent este cercetător în cadrul programului postdoctoral al Universității Transilvania din Brașov.

E-mail: mariana.stanciu@unitbv.ro

Prof. univ. dr. ing. dr. h. c. Ioan CURTU

Universitatea „Transilvania” din Braşov

Este profesor universitar la Universitatea Transilvania din Braşov, conducător științific de doctorat din 1988 în domeniul Rezistenței materialelor, elasticitate și plasticitate, peste 23 teze de doctorat finalizate, Doctor Honoris Causa al Academiei Tehnice Militare Bucuresti (2008), al Universității „Dunărea de Jos” din Galați (2011) și al Universității Tehnice Gh. Asachi din Iași (2011), obținând premiul *Traian Săvulescu* al Academiei Romane (1990). A efectuat studii și cercetări în domeniul rezistenței, elasticității, reologiei și testării lemnului și compozitelor lignocelulozice, materializate în peste 550 articole și lucrări științifice publicate la conferințe internaționale, în baze de date și simpozioane naționale. A publicat la edituri centrale peste 24 de cărți, iar pe plan local, 17 manuale universitare. A coordonat programe TEMPUS, cu Banca Mondiala, fiind director la peste 20 proiecte de cercetare științifică. A efectuat stagii de informare și specializare în străinătate, bursier DAAD. Este Presedintele Agentiei Romane de Asigurare a Calitatii in Invatamantul Superior (ARACIS) din 2006 și *Membriu Titular al Academiei de Științe Tehnice din România*, sectia: *mecanica tehnica, precum și membru al Academiei de Științele Naturii din Federația Rusă*.

E-mail: curtui@unitbv.ro

Prof. univ. dr. ing. Vasile CIOFOAIA

Universitatea „Transilvania” din Braşov

Este absolvent al Facultății de Mecanică secția TCM -Institutul Politehnic IASI și al Facultății de Matematică a Universității București, în prezent profesor universitar, conducător de doctorat la Universitatea Transilvania din Barsov. Dintre domeniile de interes pot fi menționate: mecanica aplicata, elasticitate și plasticitate, analiza numerică în mecanica solidului deformabil, analiza experimentală a stării de deformație și tensiune. Studiile și cercetările științifice s-au concretizat în peste 200 articole publicate în țară și străinătate, 9 cărți publicate și contracte științifice ca membru cercetător și director de proiect. Este membru al societăților profesionale și științifice: A.R.T.E.N.S, S.R.M.T.A, A.G.I.R.

E-mail: ciofoaiav@unitbv.ro

Prof. dr. Grimberg Raimond

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică, Iași

Este șef al departamentului de teste nedistructive al Institutului Național de Cercetare-Dezvoltare pentru Fizică Tehnică Iași, profesor asociat al Ecole Normale Supérieure de Cachan, Franța, Laboratorul de electronică; profesor la Universitatea „Al. I. Cuza” din Iași, Facultatea de Fizică și al Universității Tehnice Gh. Asachi din Iași, Facultatea de Inginerie Mecanică.

E-mail: grimberg@phys-iasi.ro