

SUPERIOR RECOVERY OF NON-METALLIC WASTE BY MAKING SOUND ABSORBING MATERIALS

VALORIFICAREA SUPERIOARĂ A DEȘEURILOR NEMETALICE PRIN REALIZAREA DE MATERIALE FONOAHSORBANTE

Ancuța-Elena TIUC*, Horațiu VERMEȘAN, Timea GABOR

Technical University of Cluj-Napoca, Faculty of Materials and Environmental Engineering, Department Environmental Engineering and Sustainable Development Entrepreneurship, 103-105 Muncii Ave, Cluj-Napoca, Romania

Abstract: *In worldwide context of alternative raw materials seeking, researches for the use of selective waste materials are of major importance. In context of nowadays environmental issues, sound absorbing materials are made from such waste materials: particles of recycled rubber, wheat and barley straw, coconut fibers, tea leaves, bamboo fibers, jute fibers, fabric waste, wood waste.*

Keywords: *sound absorbing materials, non-metallic wastes, recovery.*

1. Introduction

A trend of great interest and maximum actuality is research orientation towards using alternative raw materials and finding solutions for noise reduction in the context of problems related to the environment.

By developing new sound absorbing materials it is tried the elimination of classic methods of waste recovery, which can be an advantage in the reduction of waste quantity and at the same time of noise pollution.

Nowadays, a growing importance is given by the acoustic environment. Noise control and its principles play an important role in creating a pleasant acoustic environment. This can be achieved when sound loudness is brought to a level that is not harmful to the human ear. Creating a pleasant environment can be obtained by using

Rezumat: *Pe plan mondial se urmărește identificarea de materii prime alternative, cercetările privind utilizarea de materiale selective din deșeurii sunt de o importanță majoră. În contextul problemelor de mediu din zilele noastre materialele fonoabsorbante pot fi realizate din diferite tipuri de deșeuri: particule de cauciuc reciclat, grâu și orz paie, fibre de cocos, frunze de ceai, fibre de bambus, fibre de iută, deșeuri textile, deșeuri de lemn.*

Cuvinte cheie: *materiale fonoabsorbante, deșeuri nemetalice, valorificare.*

1. Introducere

O tendință de mare interes și de maximă actualitate este orientarea cercetării spre utilizarea unor materii prime alternative și găsirea unor soluții pentru reducerea zgomotului în contextul problemelor legate de mediul înconjurător.

Prin dezvoltarea de noi materiale fonoabsorbante se încearcă eliminarea metodelor clasice de valorificare a deșeurilor, care poate constitui un avantaj în reducerea cantității de deșeuri și în același timp a poluării sonore.

Astăzi o importanță tot mai mare este dată mediului acustic. Controlul zgomotului și principiile sale joacă un rol important în crearea unui mediu acustic plăcut. Acest lucru poate fi atins atunci când intensitatea sunetului este adusă la un nivel care nu este nociv pentru urechea umană. Realizarea unui mediu plăcut pot fi obținute prin

different techniques, which use different materials. One of these techniques is sound absorption and it is using sound absorbing materials.

Knowing sound absorbing materials and their structure is essential for noise control. Without this knowledge, efficient noise control becomes more a matter of chance than of an intelligent design [1].

2. Sound absorbing materials

Sound absorbing materials are materials with the property of absorbing noise and the characteristic of transforming acoustic energy into thermal energy (heat). Since the energy contained in the sound wave is normally very small, the amount of heat generated is also small.

There is a wide range of sound absorbing materials whose properties depend on frequency, absorbing composition, thickness, surface finish and method of assembly. However, materials having a high absorption coefficient are usually porous materials [2].

The main characteristic of sound absorbing materials is that they have a porous structure. Pores communicate with one another via channels or openings of the material. Due to viscosity, both between air particles and between them and pores walls appear friction forces which irreversibly transform a part of the wave acoustic energy into heat. Also, the thermal conductivity of air contributes to acoustic energy dissipation of waves crossing the sound absorbing material. With air, material fibers are set into motion suffering bending movements. Internal frictions of material fibers that appear due to their deformations have the effect of increasing sound absorption of the material [3].

utilizarea unor tehnici diferite, care folosesc diverse materiale. Una dintre tehnici este absorbția sunetului și utilizează materialele fonoabsorbante.

Cunoșterea materialelor fonoabsorbante și a structuri lor este esențială pentru controlul zgomotului. Fără aceste cunoștințe, controlul eficient al zgomotului devine mai mult o chestiune de șansă decât de un design inteligent [1].

2. Materialele fonoabsorbante

Materialele fonoabsorbante sunt materiale cu proprietatea de a absorbi zgomotul și caracteristica de a transforma energia acustică în energie termică (căldură). Deoarece energia conținută în unda sonoră este în mod normal foarte mică, cantitatea de căldură generată este de asemenea mică.

Există o gamă largă de materiale fonoabsorbante a căror proprietăți depind de frecvență, compoziția de absorbție, grosime, finisajul de suprafață și metoda de montare. Cu toate acestea, materialele care au coeficientul de absorbție ridicat sunt de obicei materialele poroase [2].

Caracteristica principală a materialelor fonoabsorbante constă în aceea că ele au o structură poroasă. Porii comunică între ei prin canale sau deschizături ale materialului. Datorită vâscozității, atât între particulele de aer, cât și între acestea și pereții porilor apar forțe de frecare care transformă ireversibil în căldură o parte din energia acustică a undelor. De asemenea, conductibilitatea termică a aerului contribuie și ea la disiparea energiei acustice a undelor care traversează materialul fonoabsorbant. Odată cu aerul, se pun în mișcare și fibrele materialului care suferă mișcări de încovoiere. Frecările interne din fibrele materialului care apar datorită deformațiilor acestora, au ca efect sporirea absorbției acustice a materialului [3].

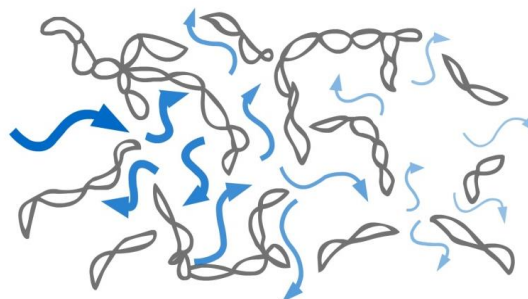


Figure 1. Changing the direction of movement of a mechanical wave in a porous environment [4].

Acoustic performance of sound absorbing materials is defined by a set of constants determined experimentally or analytically, namely: sound absorption coefficient, reflection coefficient,

Performanța acustică a materialelor fonoabsorbante este definită de un set de constante determinate experimental sau analitic și anume: coeficientul de absorbție, coeficientul de

acoustic impedance, propagation constant and transmission losses. There are different methods to determine these acoustic parameters, but all mainly involve exposure of materials to known sound fields and measuring the effect of their presence.

In particular, the acoustic performance of a sound absorbing material is valued by the sound absorption coefficient.

Assuming that sound absorbing materials find use in almost all domains of activity, we analyzed the factors that influence the sound absorbing properties of materials: density, porosity, resistance to air flow, tortuosity, thickness, compression and placement of material.

3. Superior recovery of non-metallic wastes

Currently, waste is one of the issues related to environmental protection. By recovery, waste can be treated, recycled or routed to a treatment facility (to reduce their hazard). Non-recoverable waste is disposed by land filling, incinerated in cement factories or in authorized facilities [5].

Internationally, there are research on the use of different types of waste in the development of composite materials with high level sound absorbing properties.

The possibility of using agricultural waste and particles of recycled rubber from used tires to develop composite materials with different properties was studied by Yang et. al. [6]. Lignocellulosic fibers used in this study were rice straws. Rice straws were prepared by cutting at lengths of 2 ÷ 4 cm and width depending on the native size of the straw, which was larger at the bottom than at the top. Rubber granules had a diameter of 3 ÷ 4 mm and a polyurethane adhesive was used as binder.

Composite sheets made from rice straws and granules of recycled rubber have better bending properties than chipboard, fiberboard and plywood. This means they can be used for specific purposes, for example as sound absorbing materials for curved walls. Absorption coefficients of composite sheets made from rice straws and granules of recycled rubber were higher in mid and high frequency ranges, than absorption coefficients of commercial wood based materials, such as chipboard, fiberboard and plywood. In addition, composite panels have the sound absorption coefficient much larger than ceramic boards, wood flooring or concrete, over the entire frequency range.

reflexie, impedanța acustică, constanta de propagare și pierderile prin transmisie. Există diferite metode pentru determinarea acestor parametri acustici, dar toate aceste metode implică, în principal expunerea materialelor la câmpuri de sunet cunoscute și măsurarea efectului prezenței lor.

Performanța acustică a unui material fonoabsorbant, în mod special, este evaluată de coeficientul de absorbție acustică.

Pornind de la premiza că materialele fonoabsorbante își găsesc întrebuințare în aproape toate domeniile de activitate, s-a realizat o analiză a factorilor care influențează proprietățile fonoabsorbante a materialelor: densitatea, porozitatea, rezistența la curenții de aer, tortuozitatea, grosimea, comprimarea și modul de amplasare al materialului.

3. Valorificarea superioară a deșeurilor nemetalice

În prezent, deșeurile reprezintă una dintre problemele legate de protecția mediului. Prin valorificare, deșeurile pot fi tratate, reciclate sau pot fi dirijate către o instalație de tratare (pentru diminuarea gradului de pericolozitate). Deșeurile nevalorificabile sunt eliminate prin depozitare finală, coincinerate în fabricile de ciment sau incinerate în instalații autorizate [5].

Pe plan internațional există cercetări privind utilizarea diferitelor tipuri de deșuri la realizarea unor materiale compozite cu proprietăți fonoabsorbante, de nivel ridicat.

Posibilitatea utilizării deșeurilor agricole și a granulelor de cauciuc reciclat din anvelope uzate la realizarea de materiale compozite cu diferite proprietăți a fost studiată de Yang și colaboratorii [6]. Fibrele lignocelulozice utilizate în acest studiu au fost paie de orez. Paiele de orez au fost pregătite prin tăierea la lungimi de 2 ÷ 4 cm, iar lățimea depinde de dimensiunea nativă a paiului, care a fost mai mare în partea de jos decât în partea de sus. Granulele de cauciuc aveau diametru de 3 ÷ 4 mm, ca liant a fost utilizat un adeziv poliuretanic.

Plăcile compozite din paie de orez și granule de cauciuc reciclat au proprietăți mai bune la încovoiere decât PAL, PFL și placaj. Aceasta înseamnă că ele pot fi folosite pentru scopuri specifice, de exemplu, ca materiale fonoabsorbante pentru pereți curbați. Coeficienții de absorbție a plăcilor compozite din paie de orez și granule de cauciuc reciclat au fost mai mari, în gama de frecvențe medii și înalte, decât cele din materiale comerciale pe baza de lemn, cum ar fi PAL, PFL și placaj. În plus, panourile compozite au coeficientul de absorbție a sunetului mult mai mare decât plăcile ceramice, podeaua de lemn și betonul pe toată gama de frecvență.

Development of composite boards with sound absorbing properties from agricultural waste (wheat and barley straws) was studied by Saadatnia et al [7], but mixed with aspen particles, used as a binder. Different percentages of straws were used - 0, 10, 20, 30%, and a formaldehyde resin was used as binder. From the results it is observed that at a frequency of 2000 Hz the sound absorption coefficient increases with the increase of frequency, and at 4000 Hz it can be observed a decrease of the absorption coefficient.

Zhao et al [8] studied the possibility of finding a composite material with mechanical properties close to chipboard and wood flooring, but with superior acoustic properties. Thus, they analyzed the acoustic performance for three types of materials, namely a composite material made of wood, rubber and binder (6% PMDI and 10% UF), chipboard and wood flooring. Panels made of wood and rubber waste have the absorption coefficient superior to the other two types of materials (chipboard and wood flooring).

Given the microstructure (figure 2) the continuous interface between wood and rubber, with the adequate amount of binder, it led to a material with good mechanical and acoustic properties.

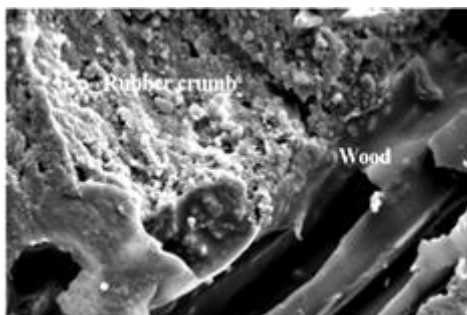


Figure 2. Sound absorbing materials made from wood waste and granules of rubber [8].

It was also analyzed [9] the possibility to use hemp waste in combination with various binders (two lime-based binders and one cement-based binder) to obtain composite materials with sound absorbing properties. Hemp waste used in this study had three sizes (figure 3a). In figure 3b and 3c are presented images with two of the materials obtained from hemp waste with the smallest size and the two lime-based binders. Upon measurements, the authors concluded that materials made with lime-based binder have sound absorbing properties superior to those of materials made with cement-based binder.

In another article, Koizumi et al [10] made panels from bamboo fibers which have the sound

Realizarea unor plăci compozite cu proprietăți fonoabsorbante din deșeuri agricole (paie de grâu și de orz) a fost studiată și de Saadatnia și colaboratorii [7], însă în amestecate cu particule de aspen, utilizate ca și liant. Au fost utilizate diferite procente de paie 0, 10, 20, 30% iar ca liant s-a utilizat o rășină formaldehidică. Din rezultatele obținute se observă că până la frecvența de 2000 Hz coeficientul de absorbție crește odată cu creșterea frecvenței, iar la 4000 Hz se poate observa o scădere a coeficientului de absorbție.

Zhao și colaboratorii [8] au studiat posibilitatea găsirii unui material compozit cu proprietăți mecanice apropiate de PAL și parchet de lemn dar cu proprietăți acustice superioare. Astfel au analizat performanța acustică pentru trei tipuri de materiale și anume un material compozit din lemn, cauciuc și liant (6% PMDI și 10% UF), PAL și parchet de lemn. Panourile realizate din lemn și deșeuri de cauciuc au coeficientul de absorbție superior celorlalte două tipuri de materiale (PAL și parchet de lemn).

Având în vedere microstructura (figura 2) interfața continuă dintre lemn și cauciuc, în prezența procentului potrivit de liant a dus la obținerea unui material cu proprietăți mecanice și acustice bune.

A fost analizată [9] și posibilitatea utilizării deșeurilor de cânepă în combinație cu diferiți lianți (doi lianți pe bază de var și unul pe bază de ciment) la obținerea de materiale compozite cu proprietățile fonoabsorbante. Deșeurile de cânepă utilizate în acest studiu au fost de trei dimensiuni (figura 3 a). În figura 3b și 3c sunt prezentate fotografii cu două dintre materialele realizate din deșeuri de cânepă cu dimensiunea cea mai mică și cei doi lianți pe bază de var. În urma măsurătorilor autori au concluzionat că, materialele realizate cu liant pe bază de var au proprietăți fonoabsorbante superioare materialelor realizate cu liant pe bază de ciment.

Într-un alt articol Koizumi și colaboratorii [10] au realizat panouri din fibre de bambus care au

absorbing coefficient superior to materials with similar densities. Measurements were carried out using impedance tubes with two microphones and was studied the influence of thickness, air layer and diameter of bamboo fiber on the absorption coefficient. Results have shown that material made of bamboo fiber has acoustic properties equivalent to those of mineral wool.

Also, there was developed a fiberboard using bamboo fibers and it was compared to plywood of the same density. Absorption coefficient of the bamboo fiber panel has proved to be superior, especially in the high frequency range.

Besides bamboo fibers, other authors used other natural fibers in their studies on properties of some sound absorbing materials. For example, Fatima and Mohantz conducted a study on the use of jute fibers in a natural state and in preparations (figure 4) for the reduction of noise pollution, because in both states jute has very good sound absorbing properties [11].

coeficientul de absorbție acustică superior materialelor cu densități similare. Măsurătorile au fost realizate cu ajutorul unor tuburi de impedanță cu două microfoane și s-a studiat influența grosimi, stratului de aer și a diametrului fibrei de bambus asupra coeficientului de absorbție. Rezultatele au arătat că materialul din fibră de bambus are proprietăți acustice echivalente cu cele ale vatei minerală.

De asemenea, a fost făcut un PFL folosind fibre de bambus și a fost comparat cu un placaj de aceeași densitate. Coeficientul de absorbție a panoului de fibre de bambus s-a dovedit a fi superior în special în gama de frecvențe înalte.

Pe lângă fibrele de bambus alți autori au utilizat și alte fibre naturale în studiile lor privind proprietățile fonoabsorbante a unor materiale. De exemplu Fatima și Mohantz au realizat un studiu privind utilizarea fibrelor de iută în stare naturală și preparate (figura 4) la reducerea poluării sonore, deoarece în ambele stări iuta are proprietăți fonoabsorbante foarte bune [11].

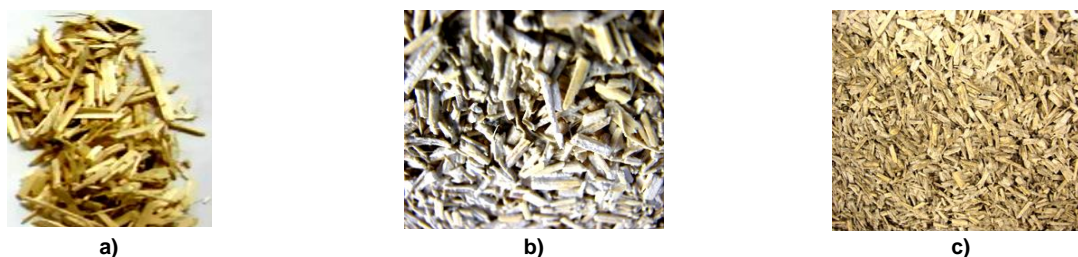


Figure 3. Materials made of hemp waste [9].



Figure 4. Jute fibers: a) in natural state, b) in preparation [11].

In another study, Thilagavathi et al [12] have studied the physical, mechanical and acoustical properties of three materials made from natural fibers (bananas, bamboo and jute) and short nonwoven polypropylene fibers, at a 50:50 ratio.

The best physical and mechanical properties were registered for the material made of bamboo fibers and polypropylene.

The sound absorption coefficient has better values for materials made from bamboo–polypropylene and jute–polypropylene, than the material made from banana–polypropylene fibers.

Într-un alt studiu Thilagavathi și colaboratorii [12] au studiat proprietățile fizice, mecanice și acustice a trei materiale realizate din fibre naturale (banane, bambus și iută) și fibre scurte de polipropilenă neșesute, în raport 50:50.

Cele mai bune proprietăți fizice și mecanice le-a avut materialul realizat din fibre de bambus și polipropilenă.

Coeficientul de absorbție acustică are valori mai bune pentru materialele realizate din bambus - polipropilenă și iută - polipropilenă, față de materialul din fibre de banane – polipropilenă.

In figure 5 are presented SEM images of the three studied materials.

În figura 5 sunt prezentate imagini SEM cu cele trei materiale studiate

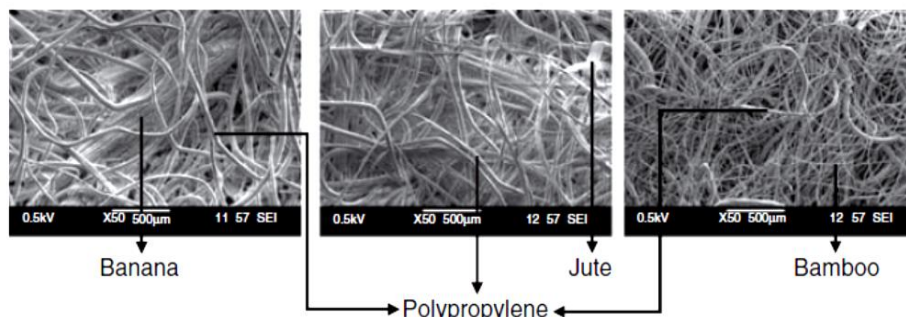


Figure 5. Sound absorbing materials made from natural fibers and polypropylene [12].

Experimental, it was shown that a composite material made from tea leaf waste with support made from woven textile fibers, with a thickness of 10 mm has sound absorbing properties almost equivalent to a material made from six layers of woven textile fiber with a thickness of 20 mm [13].

Zulkifli [14] studied the sound absorbing potential of some porous materials made from coconut fibers. Samples were tested in accordance with international standard for determining the sound absorption coefficient ASTM E 1050-98.

In another article, Fouladi et al [15] have studied the sound absorption coefficient for two types of coconut fibers: in fresh state and industrially prepared, mixed with a binder (figure 6).

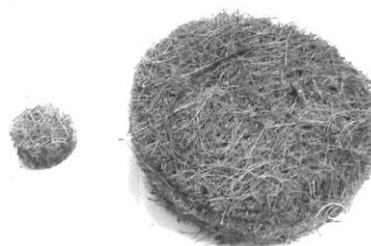
Experimental s-a arată că un materialul compozit din deșeuri de frunze de ceai cu suport din pânză țesută din fibre textile, cu grosimea de 10 mm are proprietăți fonoabsorbante aproape echivalentă cu a unui material realizat din șase straturi de pânză textilă țesută cu grosimea de 20 mm [13].

Zulkifli [14] a studiat potențialul fonoabsorbant a unor materiale poroase realizate din fibre de nucă de cocos. Probele au fost testate, conform standardului internațional pentru determinarea coeficientul de absorbție a zgomotului ASTM E 1050-98.

Într-un alt articol Fouladi și colaboratorii [15] au studiat coeficientul de absorbție acustică a două tipuri de fibre de nucă de cocos: în stare proaspătă și preparată industrială, amestecată cu liant (figura 6).



a)



b)

Figure 6. Coconut samples: a) Fresh coconut fiber; b) Coconut fiber prepared with binder [15].

Results show that fresh coconut fiber has an average of the sound absorption coefficient of 0.8 at frequencies above 1360 Hz and 20 mm thick. Increase in thickness leads to improved acoustic absorption for low frequencies, having the same average for frequencies above 578 Hz and 45 mm thick. Inevitable, fibers must be mixed with additives for commercial purposes to improve their characteristics, such as rigidity, antibacterial and flammability.

Rezultatele arată că, fibra de nucă de cocos proaspătă are o medie a coeficientului de absorbție de 0,8 la frecvențe mai mari de 1360 Hz și 20 mm grosime. Creșterea grosimii duce la îmbunătățirea absorbției acustică la frecvențele joase, având aceeași medie la frecvențe mai mari de 578 Hz și 45 mm grosime. Inevitabil, fibrele trebuie să fie amestecate cu aditivi în scopuri comerciale pentru a îmbunătăți caracteristicile sale cum ar fi rigiditatea, antibacterian și inflamabilitatea.

In literature it was identified the possibility to use wood and textile waste in combination with organic binders: acrylic copolymer (A1), clay (L1, L2, L3) or gypsum (G5, G12) for making composite materials with sound absorbing properties (figure 7) [16].

În literatura de specialitate au fost identificată și posibilitatea utilizării deșeurilor de lemn și a celor textile în combinație cu lianți ecologici: copolimer acrilic (A1), lut (L1, L2, L3) sau ghips (G5, G12); la realizarea de materiale compozite cu proprietăți fonoabsorbante (figura 7) [16].

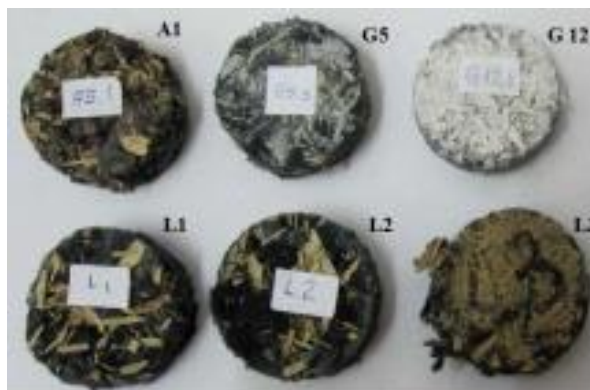


Figure 7. Biodegradable composite materials [16].

4. Conclusions

For an efficient use of sound absorbing materials we have to consider both the characteristics of each type of material and also the noise characteristics where we want to use that material.

Lately, internationally and nationally there are numerous studies and research on the production of sound absorbing materials from various waste (granules and crumbs of recycled rubber, wheat and barley straws, coconut fibers, tea leaves, bamboo fibers, jute fibers, textile waste, wood waste).

4. Concluzii

Pentru o utilizare eficientă a materialelor fonoabsorbante trebuie să avem în vedere atât caracteristicile fiecărui tip de material cât și caracteristicile zgomotului unde dorim să folosim acel material.

În ultima perioadă, pe plan internațional și național există numeroase studii și cercetări privind producerea materialelor fonoabsorbante din diferite deșeuri (granule și pudră de cauciuc reciclat, paie de grâu și orz, fibre de nucă de cocos, frunze de ceai, fibre de bambus, fibre de iută, deșeuri textile, deșeuri lemnoase).

References

- [1] Borlea (Tiuc) A., Rusu T., Ionescu S., Crețu M., Ionescu A., Acoustical materials – Phonoabsorbant materials made of pine sawdust, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 2011, 8:95 - 98.
- [2] Crocker M.J., Arenas J.P., Use of Sound-Absorbing Materials Chapter 57 in Handbook of Noise and Vibration Control, New York, 2007.
- [3] Mohamed N., The Study of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (Sound Absorption) of Wood Circular Perfora Panel (CPP) Using Numerical Modelling Technique, Universiti Teknologi, Malaysia, 2006.
- [4] Rémi G., Elastic and acoustic characterisation of anisotropic porous materials, Teză de doctorat, Stockholm 2008.
- [5] Tiuc A. E., Vasile O., Gabor T., Determination of Antivibrational and Acoustical Properties of Some Materials Made From Recycled Rubber Particles and Sawdust, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, 9: 47-52.
- [6] Yang HS., Kim DJ., Lee YK., Kim HJ., Jeon JY., Kang CW., Possibility of using waster tire composites reinforced with rice straw as construction materials, *Bioresource Technology*, 2004, 95:61 – 65.
- [7] Saadatnia M., Ebrahimi G., Tajvidi M., Comparing sound absorption characteristic of acoustic boards made of Aspen particles and different percentage of Wheat and Barely straws, 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 2008.
- [8] Zhao J., Wang X.- M., Chang J.M., Yao Y., Cui Q., Sound Insulation Property of Wood-Waste Tire Rubber Composite, *Composites Science and Technology*, 2010, 70:2033 - 2038.

- [9] Glé P., Gourdon E., Arnaud L., Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity, *Applied Acoustics*, 2011, 72:249 - 259.
- [10] Koizumi T., Tsujiuchi N., Adachi A., *The Development of Sound Absorbing Materials Using Natural Bamboo Fibers, High Performance*, WIT Press, 2002.
- [11] Fatima S., Mohanty A.R., Acoustical and fire-retardant properties of jute composite materials, *Applied Acoustics*, 2011, 72:108 - 114.
- [12] Thilagavathi G., Pradeep E., Kannaian T., Sasikala L., Development of Natural Fiber Nonwovens for Application as Car Interiors for Noise Control, *Journal of Industrial Textiles*, 2010, 39:267 – 278.
- [13] Ersoy S., Kucuk H., Investigation of industrial tea-leaf-fiber waste material for its sound absorption properties, *Applied Acoustics*, 2009, 70:215 – 220.
- [14] Zulkifli R., Noise Control Using Coconut Coir Fiber Sound Absorber with Porous Layer Backing and Perforated Panel, *American Journal of Applied Sciences*, 2010, 72.
- [15] Fouladi M., et al. Analysis of coir fiber acoustical characteristics, *Applied Acoustics*, 2011, 72:35 - 42.
- [16] Curtu I., Stanciu M.D., Cosereanu C., Vasile O., Assessment of Acoustic Properties of Biodegradable Composite Materials with Textile Inserts, *Revista de materiale plastice*, 2012, 49, nr1,.