

STUDIES AND RESEARCH ON OBTAINING SOUND ABSORBING MATERIALS FROM WASTES

Ph.D. THESIS - Summary

STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND OBTINEREA UNOR MATERIALE FONOABSORBANTE DIN DEȘEURI

TEZĂ DE DOCTORAT – Rezumat

Ancuța Elena BORLEA (TIUC)

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: Environmental problems awareness led to an increased interest in the development of sustainable materials to replace materials derived from exhaustible resources. This of Ph.D. thesis presents research on developing new types of composite materials, from pine sawdust, beech sawdust and particles or recycled rubber from used tires as raw materials, with of physico-mechanical, sound absorbing, thermal insulating properties and anti-vibrational characteristics.

Keywords: noise, sound absorbing materials, sawdust, particles of recycled rubber, polyurethane foam, sound absorption coefficient.

1. Introduction

Given the primary objective of reducing noise levels and structural vibration impact on humans, for an effective protection in any human state of existence and activity, scientific, technical, medical, normative, legislative, administrative efforts are concentrated worldwide to find innovative, efficient and sustainable solutions so that the required performance may be achieved.

From the multitude of technical solutions of achievement of passive protection systems stands out the ongoing concern of researchers to establish, verify, promote and disseminate advanced technical solutions on isolation and absorption of noise with sound absorbing materials made from wastes resulting from the wood industry and from the industry for manufacturing and

Rezumat: Conștientizarea problemelor de mediu a dus la creșterea interesului pentru dezvoltarea de materiale durabile, care să înlocuiască materialele realizate din resurse epuizabile. În cadrul tezei de doctorat sunt prezentate cercetări privind realizarea de noi tipuri de materiale compozite, din rumeguș de brad, rumeguș de fag și granule de cauciuc reciclat din anvelope uzate, cu proprietăți fizico-mecanice, fonoabsorbante termoizolante și caracteristici antivibratile.

Cuvinte cheie: zgomotul, materiale fonoabsorbante, rumeguș, granule de cauciuc reciclat, spumă poliuretanică, coeficientul de absorbție acustică.

1. Introducere

Având în vedere obiectivul fundamental de reducere a nivelului de zgomot și vibrații structurale cu impact asupra omului, pentru protecția eficientă în oricare stare de existență și activitate a acestuia, eforturi științifice, tehnice, medicale, normative, legislative, administrative sunt concentrate în întreaga lume pentru găsirea unor soluții inovative, eficiente și durabile astfel încât să poată fi atinsă performanța impusă.

Din multitudinea de soluții tehnice de realizare a sistemelor de protecție pasivă, se evidențiază preocuparea continuă a cercetătorilor pentru stabilirea, verificarea, promovarea și diseminarea unor soluții tehnice avansate privind izolarea și amortizarea zgomotului cu ajutorul materialelor fonoabsorbante, realizate din deșeuri

recycling used and chemically degraded rubber due to the effect of aging under the influence of the environmental factors.

Therefore, the present paper includes the results of research on establishing categories of materials, systems and structures integrated in a variety of combinations so that feasible technical solutions can be defined, tested and established for the sound absorption and anti-vibration protection, by a large dissemination of results and also by providing the requirements for achieving the manufacturing technological transfer.

In this context were analyzed defining elements concerning the establishing of variants of sound absorbing structures, evaluation, testing and optimization methods, and also for elaborating a unitary and integrating concept between the three fundamental elements: acoustic-action, passive noise reduction system and human response in real time (with and without provided protection).

The main objective of this Ph.D. thesis is the production and characterization of some sound absorbing materials, using pine sawdust, beech sawdust and particles or recycled rubber from used tires as raw materials.

A tendency of high concern and maximum actuality is the orientation of research towards using some alternative raw materials (especially wastes) and finding solutions to reduce noise in the context of environmental related issues.

An important decidable factor in choosing the Ph.D. thesis topic was the actual situation concerning the high level of noise and large quantities of wastes, problems of great interest both nationally and internationally. By producing new sound absorbing materials, there is an attempt to eliminate the classical methods of waste recovery, which can be an advantage in reducing the quantity of wastes and at the same time the noise pollution.

The present paper *"STUDIES AND RESEARCH ON OBTAINING SOUND ABSORBING MATERIALS FROM WASTES"* is structured in two main parts, comprising eight chapters.

Part I: Actual stage of knowledge in the field

Chapter 1 entitled *„Noise as polluting factor"* presents the issue of the noise polluting factor action on humans. This chapter presents the main sources of noise (industry, transportation, constructions and even urban agglomerations),

care provin din industria de prelucrare a lemnului și din industria de prelucrare și reciclare a cauciucului uzat și degradat chimic ca urmare a efectului de îmbătrânire sub acțiunea factorilor de mediu.

În consecință, prezenta lucrare înglobează rezultatele cercetărilor privind stabilirea unor categorii de materiale, sisteme și structuri alcătuite într-o mare varietate de combinații astfel încât să poată fi definite, încercate și stabilite soluții tehnice fezabile pentru protecția fonoabsorbantă și antivibratilă, printr-o diseminare largă a rezultatelor cât și prin asigurarea cerințelor de realizare a transferului tehnologic de fabricație.

În acest context, au fost analizate elemente definitorii privind stabilirea variantelor de structuri fonoabsorbante, a metodelor de evaluare, încercare și optimizare cât și a elaborării unui concept unitar și integrator între cele trei elemente fundamentale: acțiune-acustică, sistem pasiv de reducere a zgomotului și răspunsul omului în timp real (cu și fără protecție asigurată).

Obiectivul principal al acestei teze de doctorat este realizarea și caracterizarea unor materiale fonoabsorbante, utilizând ca materie primă rumeguș de brad, rumeguș de fag și granule de cauciuc reciclat din anvelope uzate.

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

Un factor decizional important în alegerea temei tezei de doctorat a fost situația actuală privind nivelul ridicat al zgomotului și cantitățile mari de deșeuri, probleme de maxim interes atât pe plan național cât și pe plan internațional. Prin dezvoltarea de noi materiale fonoabsorbante se încearcă eliminarea metodelor clasice de valorificare a deșeurilor, care pot constitui un avantaj în reducerea cantității de deșeuri și în același timp a poluării sonore.

Prezenta lucrare *„STUDII ȘI CERCETĂRI PRIVIND OBȚINEREA UNOR MATERIALE FONOABSORBANTE DIN DEȘEURI"* este structurată pe două părți principale, cuprinzând opt capitole.

Partea I: Stadiul actual al cunoașterii în domeniu

Capitolul 1 intitulat *„Zgomotul ca factor poluant"* prezintă problematica acțiunii factorilor poluanți prin zgomot asupra omului. În cadrul acestui capitol au fost prezentate principalele surse de zgomot (industria, transporturile, domeniul construcțiilor,

effects of noise on humans (auditory organ disease, reduced work productivity and reduced speech intelligibility) and the main methods of controlling the noise at source, on the propagation path and at the receptor.

In **Chapter 2** of the thesis entitled **„Considerations on sound absorbing materials”** presents the description of sound absorbing materials. Thus, the first part of the chapter presents the definition of sound absorbing materials and a brief description of the main factors influencing the sound absorbing properties of materials. Among the studied factors, it was found that structure, thickness and material placement mode are the most commonly used in characterizing sound absorbing materials, thus establishing a timely monitoring also for the materials produced in this thesis. The second part of the chapter presents the performance of sound absorbing materials, characterized by the sound absorption coefficient, thus presenting the main methods of determining the sound absorption coefficient experimentally and analytically.

Chapter 3 entitled **„Study about research on obtaining sound absorbing materials by waste recovery”** outlines the current state of development of sound absorbing materials by waste recovery and motivates the choice of raw material and binder (bi-component polyurethane foam). To this end, a study was carried out concerning the state of national and international research on the use of wastes (particles of recycled rubber, wheat and barley straw, coconut fibers, tea leaves, bamboo fibers, jute fibers, fabric waste, wood waste) for producing sound absorbing materials.

Part II: Personal contributions

In **Chapter 4** entitled **„Characterization of raw materials used for obtaining sound absorbing materials”** was carried out a thorough characterization of pine and beech sawdust and of particles of rubber recycled from used tires, on a dimensional, physical and morphological point of view, as primary qualities of raw materials have a significant influence on the final quality of the obtained product.

Chapter 5 entitled **„Production of some sound absorbing materials”** shows the method used to produce the sound absorbing materials and the types of materials that were produced.

și chiar aglomerațiile urbane), efectele zgomotului asupra omului (afecțiuni ale organului auditiv, reducerea productivității muncii și reducerea inteligibilității vorbirii) și au fost trecute în revistă principalele metode de combatere ale zgomotului la sursă, pe calea de propagare și la receptor.

În **Capitolul 2** al tezei **„Considerații asupra materialelor fonoabsorbante”** s-a realizat descrierea materialelor fonoabsorbante. În prima parte a capitolului s-a realizat definirea materialelor fonoabsorbante și descrierea succintă a principalilor factori care influențează proprietăților fonoabsorbante a materialelor. Dintre factorii studiații s-a constatat că structura, grosimea și modul de amplasare a materialului sunt cel mai des utilizați în caracterizarea materialelor fonoabsorbante, astfel stabilind oportunitatea urmării acestora și în cazul materialelor realizate în această teză. A doua parte a capitolului prezintă performanța materialelor fonoabsorbante, caracterizată prin coeficientul de absorbție acustică, astfel au fost prezentate principalele metode de determinare a coeficientului de absorbție acustică pe cale experimentală și analitică.

Capitolul 3 cu titlul **„Studiu asupra cercetărilor privind obținerea materialelor fonoabsorbante prin valorificarea deșeurilor”** cuprinde stadiul actual al obținerii materialelor fonoabsorbante prin valorificarea deșeurilor și motivarea alegerii materiei prime și a liantului (spumă poliuretanică bicomponentă). În acest scop s-a realizat un studiu privind situația cercetărilor pe plan internațional și național referitor la utilizarea deșeurilor (granule 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) la realizarea materialelor fonoabsorbante.

Partea II: Contribuții proprii

În **Capitolul 4** **„Caracterizarea materiilor prime utilizate la obținerea de materiale fonoabsorbante”** s-a realizat o caracterizare amănunțită a rumegușului de brad și de fag și a particulelor de cauciuc reciclat din anvelope uzate, din punct de vedere dimensional, fizic și morfologic, deoarece calitățile primare ale materiilor prime au o influență semnificativă asupra calității finale a produsului obținut.

Capitolul 5 intitulat **„Realizarea unor materiale fonoabsorbante”** prezintă modul de realizare a materialelor fonoabsorbante și tipurile de materiale realizate.

The sound absorbing materials were made by the manual forming method, in molds made from melamine faced chipboard, covered with a no adhesive layer made from polypropylene foil. The percentage of binder selected upon testing for producing the materials varies depending on nature, form and size of the raw material. Thus, for materials made from particles of recycled rubber, 10 ÷ 20% binder was used, for materials made from particles of recycled rubber and sawdust, the percentage of binder was 15 ÷ 25% and for materials made from sawdust, binder percentage was more than 20 ÷ 30%.

Given the factors influencing the sound absorption properties of materials, several recipes were produced, with variable content of sawdust, particles of recycled rubber and binder (23 materials; see figure 1 for examples). Sixteen multilayer materials were produced from recipes determined in this paper and from two materials already existing on the market (cork and felt). Some examples are presented in figure 2.

Materialele fonoabsorbante au fost realizate prin procedeul de formare manuală, în matrițe confecționate din PAL melaminat, tapetate cu un strat antiaderent confecționat din folie de polipropilenă. Procentul de liant ales în urma încercărilor pentru realizarea materialelor variază în funcție de natura, forma și dimensiunea materiei prime. Astfel pentru materialele realizate din granule de cauciuc reciclat s-a utilizat 10 ÷ 20% liant, pentru materialele realizate din granule de cauciuc reciclat și rumeguș procentul de liant utilizat este de 15 ÷ 25% iar pentru materialele realizate din rumeguș procentul de liant utilizat este ceva mai mare 20 ÷ 30%.

Având în vedere factorii care influențează proprietățile fonoabsorbante ale unui material s-au întocmit mai multe rețete cu conținut variabil de rumeguș, granule de cauciuc reciclat și liant (23 de materiale, vezi figura 1). Materialele multistrat au fost realizate din rețete stabilite în cadrul acestei lucrări și două materiale deja existente pe piață (plută și pâslă), au fost realizate 16 materiale multistrat (figura 2).

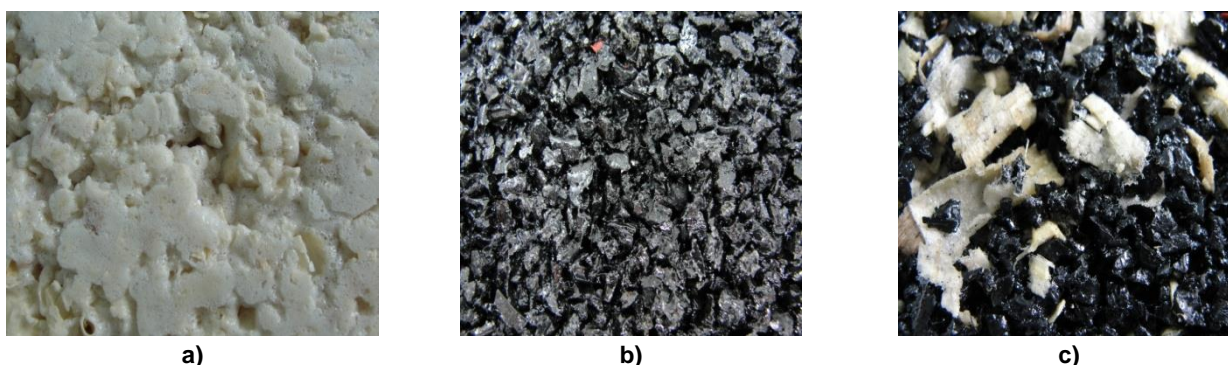


Figure 1. Examples of produced materials: a) Pine sawdust and 30% binder, b) Particles of recycled rubber and 15% binder, c) Pine sawdust, particles of recycled rubber and 25% binder.

A total of 39 materials were produced in order to study the possibility of using sawdust and particles of recycled rubber as reinforcing materials for making sound absorbing materials.

În total au fost realizate 39 de materiale cu scopul de a studia posibilitatea de a utiliza ca material de armare rumegușul și granulele de cauciuc reciclat la realizarea unor materiale fonoabsorbante.



Figure 2. Examples of produced multilayer materials.

In Chapter 6 entitled „*Characterization of the produced sound absorbing materials*” are presented the morphological analysis, physical,

În Capitolul 6 „*Caracterizarea materialelor fonoabsorbante realizate*” sunt prezentate analiza morfologică, proprietățile fizice, mecanice

mechanical and thermal properties and anti-vibrational characteristics, determined directly or indirectly, for materials obtained in this paper. By determining these properties was established the influence of the type and size of raw material and binder percentage, used for making the materials, on their final properties. The influence of binder percentage on the material structure is illustrated by the SEM images in figure 4.

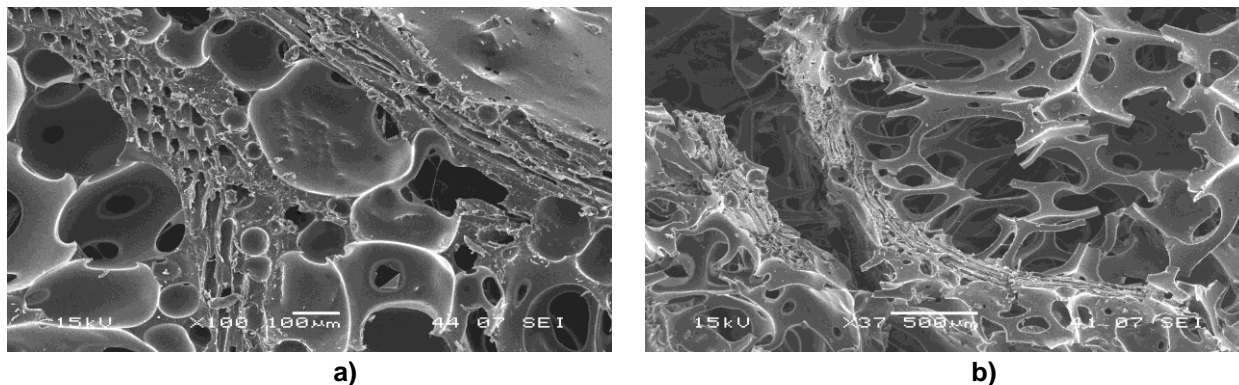


Figure 4. SEM images: a) Sawdust and 25% binder, b) Sawdust and 30% binder

Chapter 7 „Sound absorbing properties determination for the produced materials” is the outcome of this paper, because it presents the sound absorption coefficient depending on frequency for each of the produced materials. In this chapter is also presented the influence of the three important parameters of materials – thickness, structure (nature, type and size of raw matter and binder percentage) and placement mode – on the sound absorption efficiency. In figure 3 is presented the sound absorption coefficient for three of the obtained materials, with a thickness of 40 mm, 20% binder and reinforcing material: sawdust (M7), particles of rubber (M14) and sawdust mixed with particles of rubber (M18).

și termice și caracteristicile antivibratile, determinate direct sau indirect, pentru materialele realizate în această lucrare. Prin determinarea acestor proprietăți s-a stabilit influența tipului și dimensiunilor materiei prime și a procentului de liant, utilizate la realizarea materialelor, asupra proprietăților finale ale acestora. Influența procentului de liant asupra structurii materialelor este ilustrată prin imaginile SEM din figura 4.

Capitolul 7 „Determinarea proprietăților fonoabsorbante ale materialelor realizate” reprezintă deznodământul lucrării, deoarece prezintă coeficientul de absorbție acustică în funcție de frecvență pentru fiecare material realizat. Tot în acest capitol este prezentată și influența celor trei parametri importanți ai materialelor – grosimea, structura (natura, tipul și dimensiunea materiei prime și procentul de liant) și modul de amplasare - asupra eficienței absorbției sunetului. În figura 3 este prezentat coeficientul de absorbție acustică pentru trei dintre materialele realizate, cu grosimea de 40 mm, 20% liant și material de armare: rumeguș (M7), granule de cauciuc (M14) și rumeguș în amestec cu granule de cauciuc (M18).

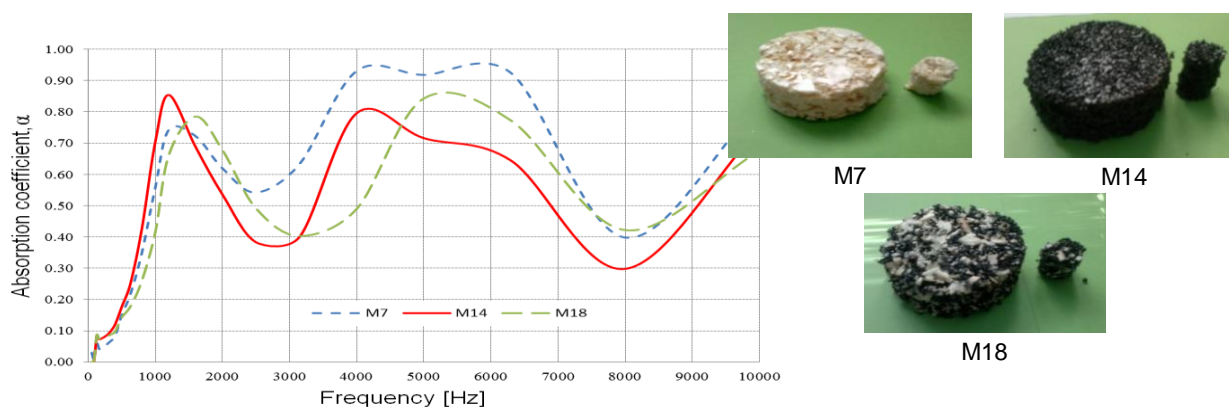


Figure 3. Sound absorption coefficient variation depending on frequency for materials that differ by the nature of the raw material.

In Chapter 8 entitled „*General conclusions, contributions and research directions*” were highlighted the main conclusions resulted from the studies and researches, personal contributions and research directions.

General conclusions

— Using pine and beech sawdust and particles of recycled rubber from used tires to produce sound absorbing materials represents an important step in reducing the waste quantity by a superior recovery.

— Knowledge of basic properties of the raw material in the conception phase of sound absorbing materials is an important step in achieving the desired properties.

— Material thickness is a parameter influencing the sound absorption coefficient of a material. The obtained materials had the following thicknesses: 20, 30 and 40 mm for one-layered materials and 15 ÷ 36 mm for multilayer materials.

— After the morphological analysis of the obtained materials it was noticed that the binder adhered very well both to the wood fibers and also to the rubber particles, and the degree of cellular structure forming of the binder varies depending on the percentage used when producing the material.

— The physico-mechanical properties determined experimentally are influence by more parameters, such as: size, shape, nature and proportion of the reinforcement material, binder percentage and the quality of binder-material reinforcing interface.

— Tensile, flexural and compression strengths of materials obtained in this study increase with the increase of binder percentage. The elasticity module of materials which contain sawdust decreases with the increase of binder percentage and for materials made only from rubber the elasticity module increases with the increase of binder percentage.

— Materials made from beech sawdust in fiber form have tensile, flexural and compression strengths higher than materials made from pine sawdust in granular form.

— The best vibration absorption properties were obtained for materials made from particles of rubber and binder. Sawdust presence lowers the absorption properties.

În Capitolul 8 „*Concluzii generale, contribuții și direcții de cercetare*” au fost evidențiate principalele concluzii rezultate în urma studiilor și a cercetărilor efectuate, contribuțiile proprii și direcțiile de cercetare.

Concluzii generale

— Utilizarea rumegușului de brad și de fag și a particulelor de cauciuc reciclat din anvelope uzate la realizarea materialelor fonoabsorbante reprezintă un pas important în reducerea cantității de deșeuri printr-o valorificare superioară.

— Cunoașterea proprietăților primare ale materiei prime în faza de concepție a materialelor fonoabsorbante este o etapă importantă pentru obținerea proprietăților scontate.

— Grosimea materialelor este un parametru care influențează coeficientul de absorbție acustică a unui material. Materialele realizate au avut următoarele grosimi: 20, 30 și 40 mm materialele realizate într-un singur strat și 15 ÷ 36 mm în cazul materialelor multistrat.

— În urma analizei morfologice a materialelor realizate s-a observat că liantul a aderat foarte bine atât la fibrele de lemn cât și la granulele de cauciuc și că gradul de formarea a structurii celulare a liantului variază în funcție de procentul utilizat la realizarea materialului.

— Proprietățile fizico-mecanice determinate experimental sunt influențate de mai mulți parametri, cum ar fi: dimensiunea, forma, natura și proporția de material de armare, procentul de liant utilizat și calitatea interfeței liant-material de armare.

— Rezistența la tracțiune, încovoiere și compresiune a materialelor realizate în acest studiu crește odată cu creșterea procentului de liant. Iar modulul de elasticitate al materialelor scade odată cu creșterea procentului de liant, în cazul materialelor care conțin rumeguș și crește în cazul celor realizate doar din cauciuc.

— Materialele realizate din rumeguș de fag sub formă de fibre au rezistența la tracțiune, încovoiere și compresiune mai ridicată decât cele realizate din rumeguș de brad sub formă granulară.

— Cele mai bune proprietăți de amortizare a vibrațiilor s-au obținut pentru materialele din granule de cauciuc și liant, prezența rumegușului duce la scăderea proprietăților de amortizare.

— Binder percentage strongly influences the thermal conductivity of materials, therefore the thermal conductivity decreases with the increase of binder percentage.

— A low thermal conductivity of materials made from sawdust and 30% binder ensures energy savings, and the sound absorption coefficient characterizing these materials guarantees a peaceful environment, away from unwanted noise.

— For materials made from pine or beech sawdust and binder, the sound absorption coefficient is influenced by material thickness, binder percentage, sawdust type and size. We can observe an improvement of the sound absorption coefficient with the increase of material thickness and binder percentage.

— For materials made from particles of rubber and binder, the sound absorption coefficient varies depending on material thickness and binder percentage. We can observe an improvement of the sound absorption coefficient with the increase of material thickness, while the binder percentage has very little influence.

— For materials made from particles of rubber, pine sawdust and binder, the sound absorption coefficient varies depending on material thickness, percentage of reinforcement material and binder percentage. We can observe an improvement of the sound absorption coefficient with the increase of binder percentage, while the thickness of the material has very little influence.

— Materials obtained from sawdust with a particle size larger than 4 mm have much better sound absorption properties than materials obtained from sawdust with a smaller particle size, excepting the frequency range between 2200 ÷ 5000 Hz, where the sound absorption is at a maximum value for materials with the smallest particles size.

— Materials made from pine and beech sawdust have the best sound absorption properties, excepting the frequency range between 1600 ÷ 2200 Hz where materials made from rubber have the best results. For ranges between 2200 ÷ 2500 Hz and 7300 ÷ 10000 Hz the best values for the sound absorption coefficient are given by materials made from pine sawdust and particles of rubber.

— Material placement with an air space improves the sound absorption properties, especially at low

Procentul de liant influențează foarte mult conductivitatea termică a materialelor și anume conductivitatea termică scade odată cu creșterea procentului de liant.

— Conductivitatea termică scăzută a materialelor realizate din rumeguș și liant 30% este cea care ne asigură economia de energie, iar coeficientul de absorbție a sunetului care caracterizează aceste materiale este garanția unui mediu liniștit, departe de zgomotul nedorit.

— În cazul materialelor realizate din rumeguș de brad sau fag și liant, coeficientul de absorbție acustică este influențat de grosimea materialului, procentul de liant, tipul de rumeguș și de dimensiunea acestuia. Se poate observa o îmbunătățire a coeficientului de absorbție acustică odată cu creșterea grosimii materialului și a procentului de liant utilizat.

— La materialele realizate din granule de cauciuc și liant, coeficientul de absorbție acustică variază în funcție de grosimea materialului și procentul de liant. Se poate observa o îmbunătățire a coeficientului de absorbție acustică odată cu creșterea grosimii materialului, în timp ce procentul de liant are o influență foarte mică.

— Pentru materialele realizate din granule de cauciuc, rumeguș de brad și liant, coeficientul de absorbție acustică variază în funcție de grosimea materialului, procentul de material de armare utilizat și procentul de liant. Se poate observa o îmbunătățire a coeficientului de absorbție acustică odată cu creșterea procentului de liant, în timp ce la grosimile studiate variază foarte puțin.

— Materialele realizate din rumeguș cu granulație mai mare de 4 mm au proprietăți fonoabsorbante mult mai bune decât materialele realizate din rumeguș cu dimensiune mai mică, exceptând gama de frecvențe 2200 ÷ 5000 Hz unde valoarea maximă este la materialele cu granulația cea mai mică.

— Materialele realizate din rumeguș de brad și fag au cele mai bune proprietăți fonabsorbante, exceptând gama de frecvențe 1600 ÷ 2200 Hz, aici materialele realizate din cauciuc au cele mai bune rezultate și gamele 2200 ÷ 2500 Hz și 7300 ÷ 10000 Hz unde materialele realizate din rumeguș de brad și granule de cauciuc au coeficientul de absorbție acustică cu valorile cele mai bune.

— Amplasarea materialelor cu un spațiu de aer duce la îmbunătățirea proprietăților fonoabsorbante, în special la frecvențe joase. În

frequencies. For materials made from sawdust, which are thinner, the air space has a much greater effect on the sound absorption coefficient at low frequencies than in the case of thicker materials.

— Sound absorption is more efficient for materials with only one layer if they are made from sawdust and more efficient for multilayer materials if they are made from particles of rubber.

— For multilayer materials obtained from one layer of pine sawdust and 30% binder, adding a layer of cork/felt in order to improve the materials' design decreases the sound absorption properties. However, using a layer of cork improves the absorption coefficient especially at low frequencies.

— The sound absorption coefficient increases for materials made from one layer of sawdust and one layer of particles of rubber if an additional layer of cork is added (at frequencies lower than 1900 Hz) or felt (at frequencies larger than 2500 Hz).

— Materials obtained from pine sawdust, particles of rubber and binder have a superior efficiency in sound absorption if they are made in layers (one layer of sawdust and one of particles of rubber) and not in a mixture.

— Using a layer of perforated cork increases the sound absorption coefficient especially at medium and large frequencies.

— The freezing-defrost process leads to a pronounced decrease of the sound absorption properties of materials obtained only from sawdust and binder towards materials which also contain particles of recycled rubber.

— Sound absorbing materials can have many uses, both outdoors and indoors. They can be used to reduce noise and to obtain an adequate acoustic for enclosed spaces: in industry, commercial areas, relaxation and leisure areas, in areas used for education, in constructions, on building sites, highways, roads and streets, airports, ports, railways, etc.

— The obtained materials may be used for manufacturing sound absorbing panels with utilization in industry, road, rail or air transportations.

cazul materialelor realizate din rumeguș, mai subțiri, spațiul de aer are un efect mult mai mare asupra coeficientului de absorbție acustică la frecvențe joase, decât în cazul materialelor mai groase.

— Absorbția sunetului este mai eficientă la materialele într-un singur strat dacă acestea sunt din rumeguș și mai eficientă la materialele din mai multe straturi dacă acestea sunt realizate din granule de cauciuc.

— În cazul materialelor multistrat realizate dintr-un strat de rumeguș de brad și liant 30%, adăugarea unui strat de plută/pâslă cu scopul de a îmbunătății design-ul materialelor, duce la scăderea proprietăților fonoabsorbante. Însă utilizarea stratului de plută duce la îmbunătățirea coeficientului de absorbție în special la frecvențele joase.

— Coeficientul de absorbție acustică crește, în cazul materialelor realizate dintr-un strat de rumeguș și unul de granule de cauciuc, dacă se adaugă un strat suplimentar de plută (la frecvențe mai mici de 1900 Hz) sau pâslă (la frecvențe mai mari de 2500 Hz).

— Materialele realizate din rumeguș de brad, granule de cauciuc și liant au o eficiență superioară pentru absorbția sunetului dacă sunt realizate în straturi (unul de rumeguș și unul de granule de cauciuc) și nu în amestec.

— Utilizarea unui strat de plută perforat duce la creșterea coeficientului de absorbție în special la frecvențe medii și înalte.

— Procesul de îngheț-dezghet duce la scăderea mai pronunțată a proprietăților fonoabsorbante ale materialelor realizate doar din rumeguș și liant față de materialele care au în compoziția lor și granule de cauciuc reciclat.

— Materialele fonoabsorbante pot avea mai multe utilizări, atât în mediul exterior cât și în cel interior. Ele pot fi utilizate pentru reducerea zgomotului și pentru obținerea unei acustici adecvate a spațiilor închise: în industrie, în spațiile comerciale, în spațiile de relaxare și agrement, în spațiile destinate educației, în construcții, pe șantiere, pe autostrăzi, șosele și străzi, aeroporturi, porturi, căi ferate, etc.

— Materialele realizate ar putea fi utilizate la confecționarea panourilor fonoabsorbante cu utilizare în industrie, transporturi rutiere, feroviare sau aeriene.

Personal contributions

- Elaboration of a study to provide complete theoretical support concerning characterization and performance of sound absorbing materials.
- Elaboration of a detailed bibliographic study concerning the actual state of research in the field of production of sound absorbing materials from wastes.
- The choice of raw material (pine and beech sawdust and particles of recycled rubber) and of binder (bi-component polyurethane foam) represents the most important step of this paper.
- Characterization of raw material by experimental determination of density, humidity, compacting degree, size and shape of the raw material, made it possible to trace factors that influence the properties of the obtained material.
- Design and execution of molds used to obtain the materials.
- Effectuation of tests to determine the necessary binder percentage for obtaining handleable materials.
- Determination of recipes and production of the sound absorbing materials.
- Morphological analysis of the obtained materials in order to study the behavior of binder towards raw matter.
- Determination of physico-mechanical properties and anti-vibrational characteristics of the resulted materials and comparison of materials between them depending on the results.
- Preparation of samples and determination of thermal conductivity of materials, followed by graphical representation and interpretation of results.
- Measurements to determine the sound absorption coefficient of all the 39 obtained materials.
- Processing and interpretation of results obtained from experimental determinations.
- Results obtained during the preparation of the thesis were put forward by publishing a number of thirteen articles in professional journals, two of which are now being published, participation at seven conferences and symposiums including a national symposium, five conferences held in Romania with international participation and an international conference abroad.

Contribuții proprii

- Întocmirea unui studiu astfel încât să fie asigurat suportul teoretic complet, privind caracterizarea și performanța materialelor fonoabsorbante.
- Realizarea unui studiu bibliografic amănunțit referitor la stadiul actual al cercetărilor în ceea ce privește realizarea materialelor fonoabsorbante din deșeuri.
- Alegerea materiei prime (rumeguș de brad și de fag și granule de cauciuc reciclat) și a liantului (spuma poliuretanică bicomponentă) reprezintă pasul cel mai important al acestei lucrări.
- Caracterizarea materiei prime prin determinarea experimentală a densității, a umidității, a gradului de compactare, a dimensiunii și a formei materiei prime, a făcut posibilă urmărirea factorilor care influențează proprietățile materialelor realizate.
- Proiectarea și realizarea matrițelor utilizate la obținerea materialelor.
- Efectuarea unor încercări pentru a stabili procentul de liant necesar pentru obținerea unor materiale care să poată fi manipulate.
- Stabilirea rețetelor și realizarea materialelor fonoabsorbante.
- Analiza morfologică a materialelor realizate pentru a studia comportamentul liantului față de materia primă.
- Determinarea proprietăților fizico-mecanice și a caracteristicilor antivibrabile a materialelor obținute și compararea materialelor între ele în funcție de rezultatele obținute.
- Pregătirea probelor și determinarea conductivității termice a materialelor. Urmată de reprezentarea grafică și interpretarea rezultatelor.
- Măsurători pentru a determina coeficientul de absorbție acustică a celor 39 de materiale realizate.
- Prelucrarea și interpretarea rezultatelor obținute în urma determinărilor experimentale.
- Rezultatele obținute în perioada de pregătire a tezei de doctorat au fost valorificate prin publicarea unui număr de treisprezece articole în reviste de specialitate, dintre care două sunt în curs de publicare, participarea la șapte conferințe și simpozioane dintre care un simpozion național, cinci conferințe desfășurate în România cu participare internațională și o conferință internațională în străinătate

Research directions

- Results of this PhD thesis offers many opportunities to expand databases for professional software development in predicting noise in accordance with Directive 49/2002.
- Research can continue by making and testing larger samples for both in situ evaluation of acoustic properties and also for determination of other non-acoustic properties.
- Obtain results may help simulating the use of materials in enclosed spaces with finite elements.
- Establishing an evaluation and calculation model concerning the process of interaction between sound radiation and sound absorbing structure so that on analytical definition, numerical simulation and drawing of specific correlation forms it can be determined a domain of interest on noise level reduction.
- Integration of the structural model in the form of sound absorbing panel in a passive system, specific to the protection domain designed for residential buildings, public buildings, indoors or outdoors.
- Establishing criteria, the steps and the product conformity attesting process to ensure technological transfer to the market and putting into practice.

Acknowledgments

Paper prepared for the Project "Doctoral studies in engineering science to develop knowledge-based society -SIDOC" Contract POSDRU/88/1.5/S/60078.

Direcții de cercetare

- Rezultatele acestei teze de doctorat oferă numeroase posibilități de extindere a bazelor de date pentru dezvoltarea de software profesional în domeniul predicției zgomotului conform Directivei 49/2002.
- Cercetările pot continua prin realizarea și testarea unor eșantioane mai mari, atât pentru evaluarea proprietăților acustice în situ cât și pentru determinarea altor proprietăți non-acustice.
- Rezultatele obținute pot ajuta la simularea utilizării materialelor în incinte închise, cu ajutorul elementelor finite.
- Stabilirea unui model de evaluare și calcul privind procesul de interacțiune dintre radiația sonoră și structura fonoabsorbantă astfel încât pe baza definirii analitice, a simulării numerice și a trasării unor curbe specifice de corelație să poată fi stabilit un domeniu de interes, privind reducerea nivelului de zgomot.
- Integrarea modelului structural sub formă de panou fonoabsorbant într-un sistem pasiv, specific domeniului de protecție stabilit pentru clădiri de locuit, clădiri publice, în interior sau exterior.
- Stabilirea criteriilor, a etapelor și a procesului de atestare a conformității produselor pentru asigurarea transferului tehnologic pentru comercializarea și punerea în operă.

Mulțumiri

Această lucrare a beneficiat de suport financiar prin proiectul "Studii doctorale în științe inginerești în scopul dezvoltării societății bazate pe cunoaștere – SIDOC", contract: POSDRU/88/1.5/S/60078.