



## Composite Materials Obtained from Foamed Silicate Products

Lyuben LAKOV<sup>1</sup>, Bojidar JIVOV<sup>1</sup>, Yonka IVANOVA<sup>2,3</sup>, Stancho YORDANOV<sup>1</sup>,  
Marin MARINOV<sup>1</sup>, Stefan RAFAILOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science, Equipment and Technologies  
with Hydro- and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski”,  
67, “Shipchenski Prohod” Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria, e-mail: b\_jiv@abv.bg

<sup>2</sup> Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Mechanics, “G. Bonchev” str., Bl. 4,  
Sofia 1113, Bulgaria, e-mail: [yonivanova566@gmail.com](mailto:yonivanova566@gmail.com)

<sup>3</sup> Sofia University “St. Kl. Ohridski”, Faculty of Physics, “James Boucher” Blvd. 5, Sofia, Bulgaria.

### Abstract

From waste silicate materials and technological additives at thermal treatment up to 900°C, foam products with specific characteristics are produced. With the participation of various fractions of the foamed silicate materials (with diameter up to 20 mm) experimental samples with composite structure and prototype of insulating panel were obtained. A technological method has been developed for the production of finished products or of various composites, liable to additional technological processing, according to their functional purpose.

**Keywords:** foamed silicate materials, composites

## Композитни материали получени от разпенени силикатни продукти

Любен ЛАКОВ, Божидар ЖИВОВ, Йонка ИВАНОВА, Станчо ЙОРДАНОВ,  
Марин МАРИНОВ, Стефан РАФАИЛОВ

### 1. Увод

Композитните материали представляват специфични технологични продукти, които съчетават характеристиките на изграждащите ги два или повече различни компоненти и същевременно притежават по-благоприятни експлоатационни показатели от тях [1-13]. Композитите са формирани от т. н. матрица (в аморфно или кристално състояние), изградена от фаза непрекъсната в обема на образците, армираща фаза, равномерно разпределена в материала и обособена междуфазова граница.

Физикохимичните характеристики на отделните компоненти и съществуващата междуфазова граница определят протичането на различни дифузионни реакции, процеси на фазообразуване, структурни изменения и други [1, 7]. Якосите показатели на композитните материали и механизма на тяхното разрушаване се обуславя от спецификата на компонентите, структурата на композита, вида на приложеното армиране, адхезията между фазите (матрица-армираща фаза), присъствието на различни дефекти, наличието на пори, възникването и разпространението на пукнатини, типа и скоростта на натоварване при експлоатация [1, 7]. Механичното разрушаване на композитите е последица от разрушаване на компонентите, изграждащи образците или от настъпило разслояване на съществуващата междуфазова граница между армиращата фаза и матрицата. При композитните материали, поради наличието на армираща фаза

съществува изразена вътрешна разделна повърхност, което ограничава разпространението на пукнатините.

Въз основа на съществуващите данни за свойствата на изходните компоненти е възможно създаването на нови композитни материали с подходящи целеви характеристики, съобразени с предвидените условия на експлоатация. Строителният бранш представлява една от основните сфери на приложение на разнообразни композитните продукти [1, 7]. Повишените нива на шум в големите градове, индустриалните райони и зоните около транспортната инфраструктура изискват разработването и приложението на ефективни звукоизолационни материали и системи [14]. Прилагането на адекватна звукоизолационна система при изграждането на нови сгради и реконструкцията на стари архитектурни обекти осигурява съществено намаляване на акустичните въздействия от околната среда [14]. Същевременно при проектирането на сгради и експлоатацията на вече съществуващия сграден фонд, основен проблем представлява осигуряването на подходяща енергийна ефективност. Монтажът на ефективна топлоизолация на жилищните и производствени постройки намалява необходимия разхода от енергия за поддържане на подходящи температурни стойности през отоплителния сезон. В настоящия момент в строителството намират приложение разнообразни материали с изолационни свойства: експандиран пенополистирол (EPS), екструдирани пенополистирол (XPS), депрон, минерални вати (стъклена, каменна, шлакова), полистиролбетон, газобетон, пенобетон, полиуретан, дървесно-влакнести плочи, коркови плочи, каучукови листа, пеностъкло и др. Същевременно интерес представлява създаването на нови алтернативни изолационни материали, приложими в строителството.

След проучване на преобладаващите в строителството звуко- и топлоизолационни изделия е разработен композитен материал с участие на силикатни пенопродукти, (получени от рециклируеми суровини) и хидравлично свързващо вещество. Цел на настоящата работа е изследване в лабораторни условия на акустичните и механични характеристики на експериментални образци, изготвени от получения композитен материал.

## 2. Експериментална част

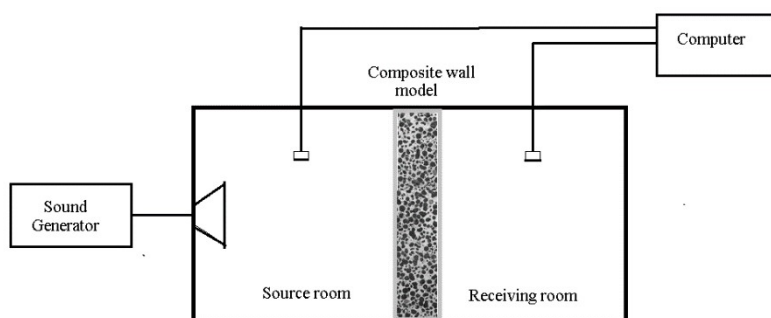
За целите на изследването са получени пеностъклени гранули чрез прилагане на следните последователни технологични етапи: смилане на отпадъчно силикатно стъкло (с произход битови отпадъци), подготвяне на шихти с участие на полученото прахообразно стъкло и разпенващ агент (глицерин или  $\text{CaCO}_3$ ), гранулиране на съставите до суров гранулат и разпенване (при температури до  $900^\circ\text{C}$ ) до получаване на пеностъклени гранули.

При изготвяне на експерименталните композитни образци е използвано хидравлично неорганично свързващо вещество (портланд цимент СЕМ I 52.5 R, производител Холсим България). Към първоначално изготвен циментов разтвор при непрекъснато разбъркване е добавена фракция пеностъклените гранули (с диаметър от 5 до 20 мм) до пълно омокряне на тяхната контактна повърхност. След изследване на серия рецептурни състави експериментално е установено подходящо (оптимално) количествено съотношение на използваните компоненти. Получената смес е положена в предварително подготвени кофражни форми с перфорирано дъно, което позволява отделяне на излишната течна фаза. С цел по-ефективно и ускорено отделяне от системата на течната фаза и оптимално разпределение на различните фракции пеногранули в обема на образците е приложена вибрационна обработка чрез поставяне на кофражните форми на вибростенд (до 50 мин). След престой от 24 h в кофражните матрици заготовките са

декофрирани и след допълнителен технологичен престой от 6 денонощия образците са подложени на окончателна обработка до необходимите крайни размери. Изготвени са стандартни експериментални образци (кубчета и призми) и композитен панел 60x55x8 см.

За определяне на изолационната способност на композитните материали е използван коефициента на звукоизолация  $R$ , който представлява отношение на звуковото налягане на падащата звукова вълна към звуковото налягане на вълната, преминала през преграда [15-18].

Използва се метода на двете камери, между които се поставя изпитвания образец (фиг.1).



**Фигура 1. Блок схема на апаратура за измерване на коефициент на звукоизолация.**

На стената на първата камера е монтиран високоговорител, който създава звуково поле, а в центъра е поставен микрофон, който измерва интензитета на създаденото поле. Прието е да се нарича „Source room”. В другата камера се разполага микрофон, който приема преминалия през изпитвания образец звук. Нарича се „receiving room”. Обемът на камерите е  $0.125 \text{ m}^3$ . Камерите имат дебели стени и са облицовани със звукопоглъщащи материали. Предаването на звук извън изследвания панел е намалено до минимум. Режимът на работа е стационарен.

Високоговорителят VK 0829/38 (честотна лента 80- 16000 Hz) излъчва звукови вълни, които се възбуждат с генератор тип MS-9160. Микрофоните в камерата с източника и приемащата камера са от клас измерител, тип ЕСМ-999 (честотна област 20 Hz-20kHz). Като измерително устройство се използва 16 битова компютризирана измерителна система в реално време „Sound Level Meter System“ VT RTA и двуканална звукова карта тип ASIO (тип Focusrite Scarlett 2i2. Софтуерът за измерване е Multi-Instrument Software 3.8 [www.virtins.com]. С апаратурата се измерва звуковото налягане на падащата звуковата вълна в първата камера и на преминалата през образца. С осцилоскоп се наблюдават сигналите и техните честотни характеристики. Анализът е направен в терцоктавни честоти.

Измерванията на звуковото налягане в двете камери се провеждат по два начина:

1. При използване на синусоидален сигнал, подаван към високоговорителя на отделни честоти и измервания при всяка фиксирана честота.

2. С използване на бял шум в честотния диапазон от 20 до 20000 Hz и измервания на звуковото налягане на падащата и преминалата през образца-преграда звукова вълна.

Коефициентът на звукоизолация се определя като разлика на измерените звукови налягания [15-18] съответно в камерата с източник на звук и приемащата камера.

$$R = L_S - L_R, \text{ dB}$$

Където  $L_S$  и  $L_R$  са звуковите нива, съответно на падащата и преминалата през образеца звукова вълна.

При извършените механични изследвания е използвана машина за изпитване чрез натоварване на опън, натиск и огъване "Amsler".

### 3. Резултати и дискусия

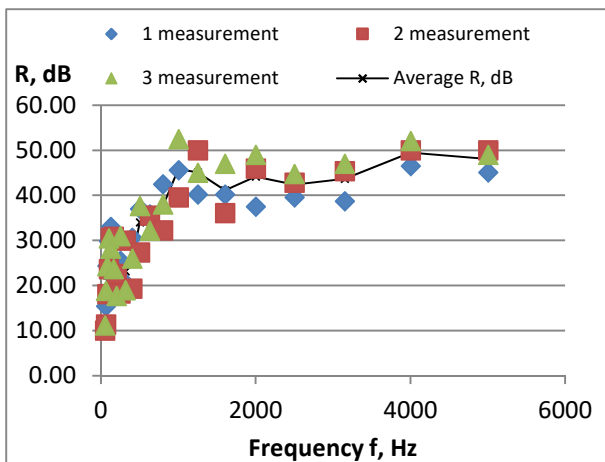
При проведените лабораторни изследвания са извършени измервания на звуковите налягания при фиксирани честоти. В таблица 1 са представени средните стойности и стандартните отклонения.

Таблица 1. Средните стойности и стандартните отклонения.

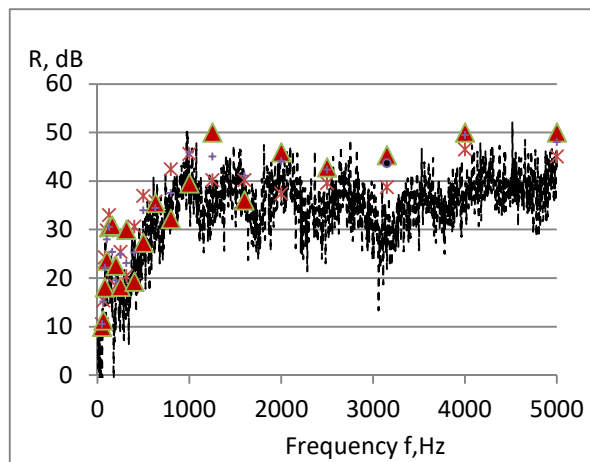
Frequency f,Hz	Коефициент на звукоизолация R, dB	
50	Average	St Dev
63	10.53	0.42
80	15.17	3.75
100	22.21	3.57
125	27.97	3.75
160	30.57	2.43
200	25.41	4.75
250	19.52	2.64
315	24.86	6.39
400	23.11	5.97
500	25.28	5.68
630	33.97	5.77
800	34.46	2.03
1000	37.52	5.12
1250	45.85	6.46
1600	45.07	8.07
2000	41.09	5.54
2500	44.13	6.02
3150	42.36	2.60
4000	43.67	4.39
5000	49.50	2.79

На фигури 2 и 3 са представени резултатите от извършените акустични измервания за изготвения експериментален панел, измерени на отделни терцоктавни честоти (фиг. 2) и при използване на бял шум и измервания на звуковите нива в целия честотен диапазон (фиг. 3).

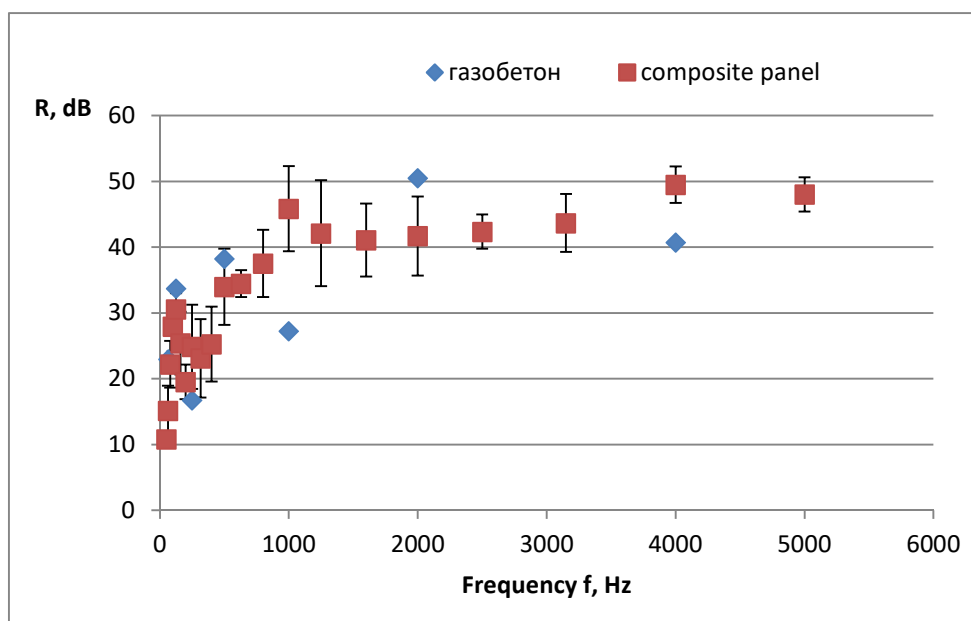
На фиг. 4 са представени усреднените стойности на коефициентите на звукоизолация получени при лабораторни измервания на разработения композитен материал и на газобетон. Регистрирани са средна стойност на звукоизолация за изготвения експериментален композитен панел  $R \approx 33$  dB (в целия честотен диапазон) и  $R = 33$  dB за итонг.



Фиг 2. Коэффициенти на звукоизолация от честотата за композитен панел с пеностъклени гранули



Фиг 3. Коэффициент на звукоизолация от честотата за композитен панел при използване на бял шум и измервания на звуковите нива в целия честотен диапазон



Фигура 4. Коэффициенти на звукоизолация от честотата за газобетон и за композитен панел с пеностъклени гранули, измерени с показаната на фигура 1 експериментална установка.

Съобразно приложеното време на вибриране, използваните фракции гранули и тяхното разпределение в образците, обемната плътност на продукта варира в различни граници. При употреба на няколко фракции гранули с различни размери по-малките попадат в образуваните празнините между гранули с по-големи размери, което понижава кухинността на образците. С нарастване на въведеното количество гранули с по-малък диаметър нараства обемната плътност и специфичната повърхност на продукта. Прилагането на непрекъснат зърнометричен състав се разглежда като по-оптимален вариант при изготвяне на композитни материали.

При извършените предварителни лабораторни изпитвания на стандартни пробни тела са констатирани средна стойност за якост на натиск 1,08 МПа, средна стойност за якост на опън при огъване 0,56 МПа и средна стойност на плътност 0,36 g/cm<sup>3</sup>.

Констатират се неизбежни отклонения при стойностите на якостните показатели при изпитване на отделните експериментални образци от изследваната серия композитни пробни тела, поради наличие на микронеоднородности, разнообразни микропукнатини и различни структурни дефекти, образувани в процеса на първоначалното технологично изготвяне на заготовките и окончателната дообработка на пробните тела до стандартни размери.

Приложеният технологичен подход е подходящ за изготвяне на различни крайни изделия или заготовки подлежащи на допълнителна технологична обработка. Нанасянето на покрития с подходящи характеристики, съобразени с конкретните условия на приложение повишават ефективността на продукта. Композитният материал е потенциално приложим за получаване на изделия с различно функционално предназначение: звуко- и топлоизолационни неносещи панели, плочи, разнообразни профили и др. Алтернативна възможност представлява съчетаването на разработения композит с други негорими материал с изолационни характеристики (минерални вати и други) под формата на краен продукт изграден от няколко слоя.

#### 4. Изводи

Изследвани са акустичните и механични характеристики на композитен силикатен материал, получен на база портландцимент (СЕМ I 52.5 R) и пеностъклени материали. При проведените предварителни лабораторни изпитвания на експериментален композитен панел е констатирана средна стойност на звукоизолация  $R \approx 33$  dB. Регистрирана е средна стойност за якост на натиск 1,08 МПа и средна стойност за якост на опън при огъване 0,56 МПа при изпитваните пробни тела. Установена е средна стойност на плътност 0,36 g/cm<sup>3</sup>.

Използваният технологичен метод за изготвяне на образците се характеризира с редица предимства: оползотворяване на отпадъчни суровини (неразградими в естествена среда), употреба на широко достъпни материали с относително ниска цена (портландцимент и др.), използване на прости технологични процеси при изготвяне на заготовките и тяхната окончателна дообработка, получаване на незапалими, негорими, водоустойчиви, екологични, дълготрайни крайни продукти. Разработеният композитен материал е потенциално приложим за получаване на звуко- и топлоизолационни неносещи панели, разнообразни профили, плочи и др.

#### References

1. Boydjieva Hr., "Composite silicate materials", Sofia, MNP, 1989, (in Bulgarian).
2. Markgraaff J., "Overview of new developments in composite materials for industrial and mining applications", The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, March/April 1996, pp. 55-65.
3. Harris B., "Engineering composite materials", The Institute of Materials, London, 1999.
4. Jones R. M., "Mechanics of composite materials", Second edition, Taylor & Francis, 1999.
5. Boydjieva Hr., "Composite materials", Sofia, Nasko, 2000, (in Bulgarian).
6. Daniel I. M., I. M. Daniel, "Engineering mechanics of composite materials", Second edition, New York, Oxford, Oxford University Press, 2006.
7. Yoleva A., G. Chernev, "Guides for exercise in composite materials based on inorganic binders", UCTM, Sofia, 2009, (in Bulgarian).

8. Nijssen R. P. L., "Composite materials an introduction", 1st English edition, based on 3rd Dutch edition, A VKCN publication, Inholland University of Applied Sciences, 2015.
9. Gupta G., A. Kumar, R. Tyagi, S. Kumar, "Application and Future of Composite Materials: A Review", International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 5, Issue 5, 2016, pp. 6907-6911.
10. Sai M. K. S., "Review of Composite Materials and Applications", International Journal Latest Trends in Engineering and Technology, vol. 6, Issue 3, 2016. pp. 129-135.
11. Nagavally R. R., "Composite materials – history, types, fabrication techniques, advantages, and applications". International Journal of Mechanical and Production Engineering, Vol. 5, Issue 9, 2017, pp. 82-87.
12. De Luca A., F. Caputo, "A review on analytical failure criteria for composite materials", Review, AIMS Materials Science, 4 (5), 2017, pp. 1165-1185.
13. Subramani N., J. Ganesh Murali, P. Suresh, V. V. Arun Sankar, "Review on Hybrid Composite Materials and its Applications", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol. 04, Issue 02, 2017, pp. 1921-1925.
14. D. Nazarski, Building Insulations, Publishing House "St. Naum ", Sofia, 2004, (in Bulgarian).
15. Fahy F., Foundation of Engineering Acoustics, Elsevier Academic Press, San Diego, 2005.
16. Samoylenko N., V. Didkovskiy, The Evaluation of the Sound Insulation of Partition in Expanded Frequency Range, Journal of Physical Science and Application 3 (4), 2013, pp. 249-255
17. Farina A., P. Fausti, R. Pompoli, F. Scamoni, Intercomparison of laboratory measurements of airborne sound insulation of partitions, InterNoise 96, Liverpool England, pp. 537-1003.
18. Höller C., Review and Comparison of ASTM and ISO Standards on Sound Transmission in Buildings, Conference Paper August 2018, <https://www.researchgate.net/publication/327920232>.