

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 22.12.2017 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СТРОИТЕЛНИ МАТЕРИАЛИ С ПРИРОДЕН ПРОИЗХОД ПРИ ШУМОВОТО ОСИГУРЯВАНЕ НА СГРАДИ

Е. Иванова¹, Д. Бояджиева²

Ключови думи: шумово замърсяване, шумозащита, строителни материали с природен произход

РЕЗЮМЕ

Осигуряването на комфортна жизнена среда с устойчива акустика и ниски нива на шумово натоварване е задължително изискване на съвременните градоустройствени решения. Звукоизолирането на сградите може да се търси чрез прилагането на строителни материали с природен произход, които са се наложили при гарантирането на други видове експлоатационни параметри – топлоизолиране, облицоване срещу спортен травматизъм, интериорни решения и други). Прилагането на такива материали, дава възможност за разработване на иновативни идейни предложения, чието приложение повишава степента на екологичност на сградите.

1. Въведение

Развитието на обществените сгради в архитектурен и конструктивен аспект изисква концептуалност на решенията в посока на покриване на изискванията за „устойчиво развитие“ при социалните системи, включително и чрез защита от отрицателни влияния. В „Синтезиращ доклад“ на ЕАОС от 2015 година шумовото замърсяване е определено като активен екологичен риск, увреждащ здравния статус на обитавашите. Постигането на реални резултати в посока подобряване на средата на живот, трябва да се търси в посока на иновации. Тези нововъведения трябва да отговорят на визията на

¹ Евелина Иванова Иванова, доц. д-р инж., кат. „Транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: djivvs@abv.bg

² Деляна Делянова Бояджиева, доц. д-р инж., кат. „Метални, дървени и пластмасови конструкции“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: delianab@yahoo.com

Европейската комисия за съвременната сграда и желаният ѝ функционален капацитет, който обуславя енергийно икономична и екологосъобразна среда на живеене. Оптимизирането на акустичните показатели в градоустройствените системи трябва да се постига чрез минимизиране на нивата на външния шум от околната среда (основно от транспорта) и съответно на вътрешния (въздушен, ударен и/или структурен шум) в рамките на сградния фонд. За да са ефективни, решенията трябва да са съобразени с явленията при разпространението на звука – поглъщане, отражение, дифракция и други.

Акустичният комфорт в сградите се постига чрез специализирани покрития от шумоизолиращи/шумопоглъщащи материали върху конструктивните елементи и ограждащите конструкции, същевременно акустичната среда в помещенията зависи от конфигурацията им, преградите, отворите и материала на настилките и интериорните покрития по стените и таваните.

Акустичните материали, независимо дали са естествени или направени от рециклирани материали, са добра алтернатива на традиционните синтетични материали. Производството им се оценява в по-малка степен на въздействие върху околната среда в сравнение с конвенционалните. Изолационната способност срещу въздушен шум на естествени материали като лен или рециклирани целулозни влакна е подобна на тази от каменната или стъклената вата. Много природни материали (бамбукови, конопени и кокосови влакна) имат добри звуко-абсорбиращи свойства. Коркът е шумов изолатор с висока ефективност при въздушен и структурен шум.

2. Основни шумоизолационни решения на сгради

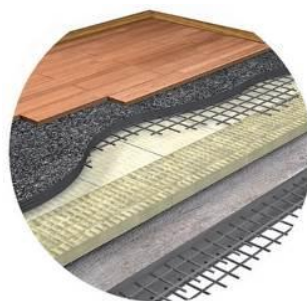
Системите, които се прилагат за постигане на акустичен комфорт при неблагоприятни социално-битови условия, се разработват във варианти в зависимост от търсения ефект при въздушен или ударен шум. Материалите, с които се изпълняват, може да се класифицират като традиционни и алтернативни, насочени към по-„зелено бъдеще“.

Методиките за акустично обезпечаване на сгради от въздушен и структурен или ударен шум в България, с традиционни изкуствени продукти, се проектират съобразно сградно зонироване по сила на звука. Окончателният избор, какво строително решение да се изпълни, се прави на база конвенционални приоритети като съотношение между цена, постигната ефективност и възможности за монтаж в рамките на строителната основа.

2.1. Изолирание на подови конструкции от структурен (ударен) шум

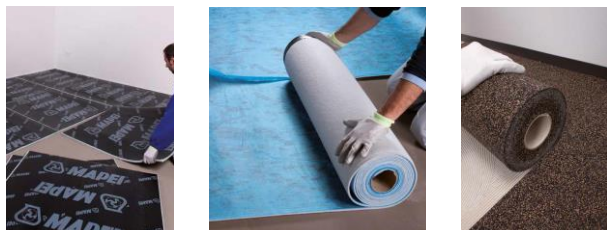


Фиг. 1. „Плаващ под“ със стъклена вата „ISOVER EKOSOL N“ на „ISOVER“ [8]



Фиг. 2. „Плаващ под“ с каменна вата „KNAUF“ [9]

Популярна структура, разработена в редица модули, за изолиране на подови конструкции от структурен шум (ударен шум) е конструктивната строителна система тип „Плаващ под“. При нея за демпфиращ звукопоглещач слой най-често се използват плочи от стъклена вата с висока плътност, фиг. 1, [8] или каменна вата, фиг. 2, [9]. Друга модификация на конструкцията е с „плаващи“ меки битумни звукоизолационни мембрани, които имат висока структурна абсорбция и такива, които съдържат поднастилковы шумоизолиращи ролкови материали – фиг. 3, [10].



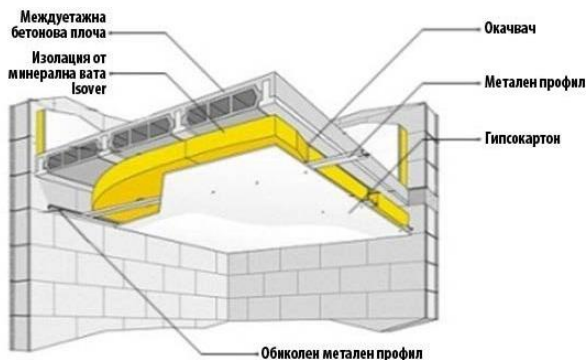
Фиг. 3. Битумни звукоизолационни мембрани, поднастилковы шумоизолиращи ролкови материали, „MAPEI INTERNATIONAL“ [10]

2.2. Изолиране на конструкции от въздушен шум

Изолирането на ограждащи конструкции срещу въздушен шум е базирано на закона на Бергер, според който звукопоглещането е в пряка връзка с масата на елемента. Чрез увеличаване на масата на единица площ на елементите се повишават звукопоглещачите способности на стените и плочите.

Вариант за изолиране на подови конструкции е чрез прилагане на звукопоглещачи тавани, фиг. 4, [11].

Изолирането на стенни конструкции от въздушен шум зависи от вида на стената. При вътрешни преградни стени със системи тип „сандвич“ изолирането може да се постигне чрез прилагане на панели с пълнеж от звукопоглещачи материали с оптимална плътност или чрез увеличаване на масата на единица площ на стените (закона на Бергер) фиг. 5, [12]), или двойни стени с въздушен джоб. При външни фасадни стени звукоизолацията може да се подобри чрез високоефективни стъклопакети, тъй като прозорците заемат от 35% до 80% от площта на фасадата, външна топлоизолация с шумоизолационни качества, фиг. 6, [13].



Фиг. 4. Звукопоглещач таван с „Isover AP“ на „ISOVER“ [11]



Фиг. 5. Керамичен блок Wienerberger Porotherm 12 N+F с високо относително собствено тегло на „ВИНЕРБЕРГЕР“ [12]



Фиг. 6. Фасадна шумоизолационна плоча „Austrotherm EPS® FS“ на „AUSTROTHERM“ [13]

3. Естествени материали, използвани за шумоизолиране

Приложимостта на дадени продукти и изделия за гарантиране на социално-битов здравословен микроклимат (топлинен, акустичен, друг), се определя от предназначението на помещенията и вътрешния дизайн на сградата. Същевременно архитектурно-строителните изисквания се развиват в посока на повишена екологичност на сградите, при всички вложени материали в конструкцията, изолационните системи и завършващите интериорни решения. При последните две може да се заложи на иновационни „устойчиви“ компоненти от естествени и/или рециклируеми материали, от които се изготвят иновативни интериорни решения, които са с висока степен на екологичност при гарантиран нормативно определен акустичен комфорт. В [4] е представено изследване на изолационни показатели за някои естествени материали, което потвърждава фирмените данни на производителите за акустичната им ефективност при защита на сградите от здравен риск (табл. 1, [4]).

Таблица 1. Акустични и топлинни свойства на някои естествени (1 – 8) и традиционни (9 – 11) изолационни материали (табл. 1 е превод на табл. 2 от [4])

№	Материал	Топлопроводимост (W/mK)	Коефициент на абсорбация a_S при 500 Hz (-)	Индекс за намаляване на удърния шум DLW (dB)
1	Коноп	0,040	0,6 (30 cm)	-
2	Кенаф	0,044	0,74 (5 cm)	-
3	Кокосови вълкна	0,043	0,42	23
4	Овча вълна	0,044	0,38 (6 cm)	18
5	Дървесна вата	0,065	0,32	21
6	Корк	0,039	0,39	17
7	Целулоза	0,037	1,0 (6 cm)	22
8	Лен	0,040	-	-
9	Стъклена вата	0,040	1,0 (5 cm)	-
10	Каменна вата	0,045	0,9 (5 cm)	-
11	Експандиран полистирен	0,031	0,5	30

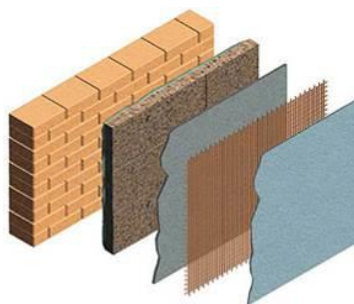
- *Корк:*

Кората на корковия дъб е възобновяема „устойчива“ суровина, която се използва от много векове.

Материали на основата на корк могат да се прилагат като подосновни (под твърди и еластични настилки – паркет, дюшеме, теракот, мрамор, винил, мокет и други) и за подфасадни шумоизолации от естествен корк. Тези „устойчиви“ решения в рамките на довършителните работи са познати на строителната практика, но статистически са с ограничено приложение, поради недостатъчни „зелени“ политики в строителството. За изолиране на сградите се използва така нареченият „Технически корк“, който на пазара включва продукти от бял и черен технически корк и гумиран корк. Изредените модификации са основна продуктова гама от подосновни изолационни изделия с много добри шумоизолационни характеристики. Срещу структурен шум и вибрации се изпълняват ролкови настилки от гранулиран композитен корк или такива от експандирани коркови плочи, които се използват и за стенна шумоизолация от въздушен шум (фиг. 7). Специална модификация са плоскости, комбинация от плочи от експандиран черен корк и кокосови влакна (фиг. 8). Гумираният корк е с добра еластичност и е подходящ за демпфиращи системи при машинни транспортни преминавания, като релсови пътища в промишлени предприятия и други.



[14]



[16]

Фиг. 7. Покрития от технически корк: поднастилкова шумоизолация с „AcoustiCORK“ – [14] и стенна шумоизолация от черен корк – [16]



[15]



[16]

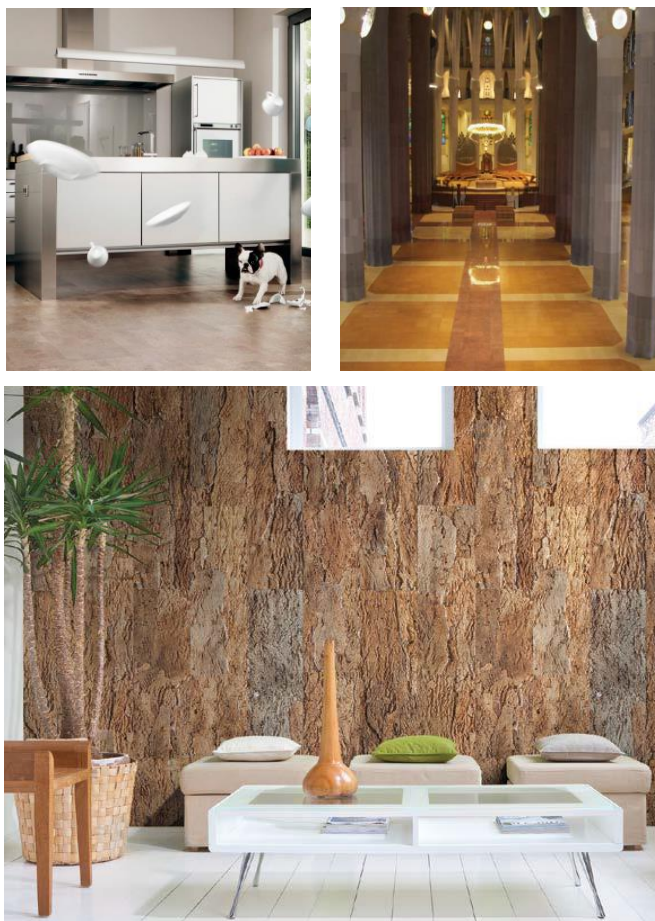
Фиг. 8. Шумоизолация от експандирани коркови плочи от черен корк и плоскости от естествени кокосови влакна – [14], [16]

Коркът се прилага и като допълнителен слой, за подобряване на топлоизолационните и звукоизолиращи характеристики на гипсокартонените плоскости. Чрез добавяне на слой корк към познатите и широко прилагани при довършителни работи с гипсокартонени плоскости се постига значително подобряване на характеристиките.



Фиг. 9. Изолационен панел от корк и гипсокартонена плоскост „GYPCORK“ – [20], [21]

Коркът може да се прилага и като завършващ слой на ограждащите елементи и е отлична „зелена“ тенденция в съвременното строителство и архитектура. Изделията от него се произвеждат в декорираща гама, с която се реализират впечатляващи дизайнерски решения за подове и стени, които притежават отлични акустични изолационни възможности – абсорбиране на вибрациите при ударен шум и редуциране на нивата на въздушен шум (фиг. 9 – [17]).



Фиг. 10. Интериорни решения от корк – „Corktech“ [17]

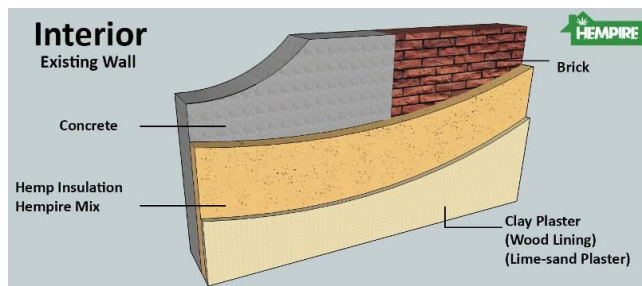
- **Естествен коноп**

Конопът е естествено влакно, което се добива от най-старата култивирана култура в света. Индустриалният коноп, който е изходна суровина за изделията, е изключително бързо възстановима суровина.

Строителните продукти на база коноп са със сравнително малка плътност и могат да се прилагат при тези конструктивни решения, при които не се търси повишаване на масата на стените и подовете. Конопените влакна намират приложение като съставна част на строителни изолационни разтвори, фиг. 12, [22]. Материалите на основата на коноп могат да се прилагат като подосновни и подфасадни шумоизолации за тавани, преградни и външни стени срещу въздушен шум. Решенията може да са комбинирани системи с пълнеж от конопена вата или чрез монтиране на покриващи гъвкави или твърди панели от коноп върху хоризонталните и вертикални елементи на сградите.



Фиг. 11. Конопена вата и панели Vicarius Canna Flex и Vicarius Canna Panel (гъвкави/твърди) [18], [19]



Фиг. 12. Структура на фасадна стена, изолирана с разтвор на основата на коноп [22]

- **Кокосови влакна**

Кокосовите влакна се добиват от обвивките на кокосовите орехи. Този ресурс е широко достъпен, тъй като е отпадъчен продукт от обработката на кокосовите орехи в хранителната индустрия. Като пример за продукт на основата на кокосови влакна може да дадем плочите „Enkevс Cocolok“ [23], които са изцяло от естествени кокосови влакна и латекс.



Enkevs Cocolok [23]



[24]

Фиг. 13. Изолационни материали на основа на кокосови влакна

- *Дървесина*

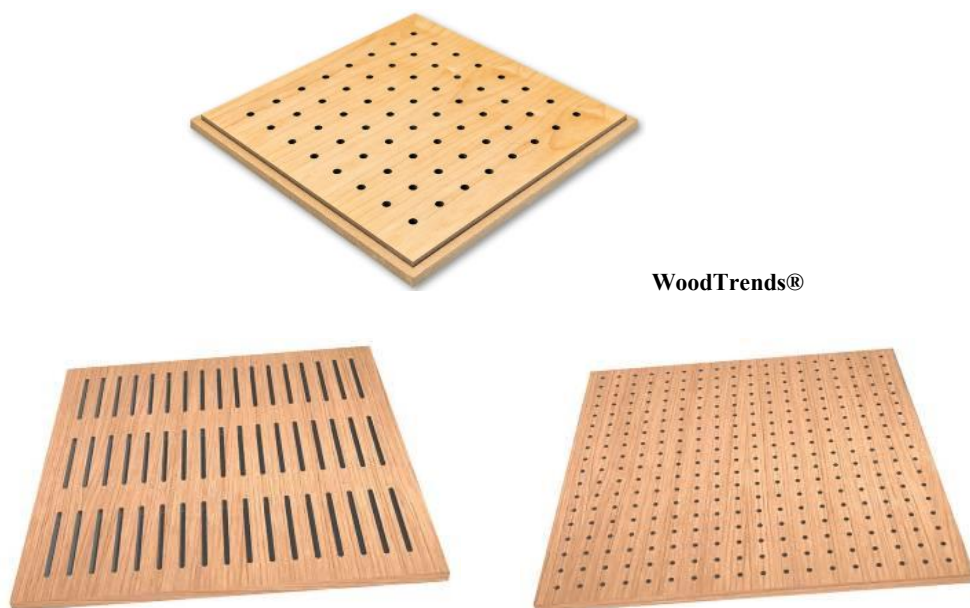
Дървесината е основен конструктивен материал, когато говорим за „устойчиво“ строителство и развитие. При завършващите строителни дейности, материали на база дървесина се използват както за завършващ слой, така и за междинни пластове при по-довите и стенни покрития. Материалите, които се прилагат, са разнообразни варианти, от масивна дървесина до плочи от дървесни частици или влакна. Разнообразието на плоскостите на база дървесина е голямо, като се различават и по начина на производство и наличието или не на допълнителни свързващи вещества.

Плътната дървесина отразява звуковите вълни. Тези свойства се използват при производството на музикални инструменти и интериора на концертни и други видове зали с цел подобряване на акустичните параметри на помещението. Това свойство трябва да бъде взето предвид, когато се търси звукоизолация с дървесина, като се използват различни материали на основата на дървесина и се прилагат многослойни системи. Материалите на база дървесни влакна и частици имат добри топлоизолиращи и звукоизолиращи характеристики.

Звукоизолиращите стени със завършващ слой от масивна дървесина са многослойни, при тях от вътрешната страна, зад дъските, се поставя допълнителен слой от порьозен абсорбиращ материал (пр-р топлоизолация), в добавка на въздушния слой. Този слой образува т.нар. бордов резонатор, който, когато вибрира ефективно, поема и намалява звуковете с ниски честоти, които са основен проблем при леките конструкции. Освен това, чрез дупки в дървените повърхности, може да се създаде перфориран резонатор, който също ефективно да намалява звуците със средно-високите честоти.



Фиг. 14. Изолационни плочи на основа на дървесина [25]

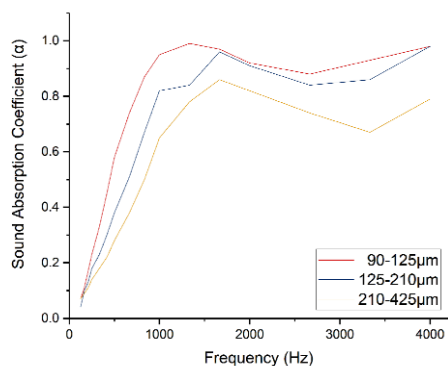


Фиг. 15. Акустични панели на основа на дървесина [26], [27]

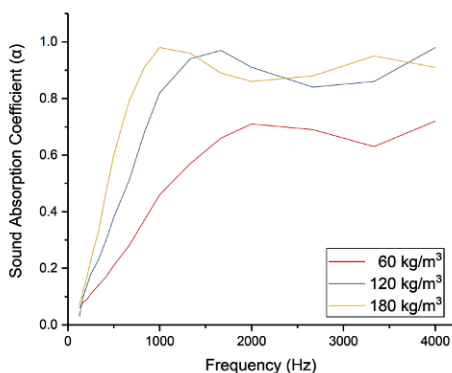
- **Бамбук**

Бамбукът е естествен материал с широко приложение. В строителния сектор изделия и продукти на база бамбук се използват както за носещи елементи, така и за ограждане, изолация или завършващи покрития.

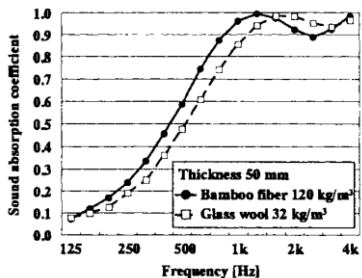
Звукоизолационните свойства на плоскости с основа бамбукови влакна са в пряка зависимост от размера на частиците. В [1] е представено изследване за влиянието на различни характеристики върху коефициента на абсорбция. Коефициентът на абсорбция на звука се увеличава във всички честотни диапазони при намаляване на размера на влакната, фиг. 16, или при нарастване на плътността на материала, фиг. 17.



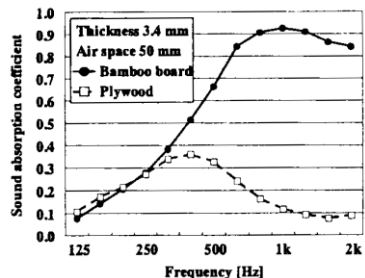
Фиг. 16. Коефициент на абсорбция на звука за различни диаметри на бамбуковите влакна [3]



Фиг. 17. Коефициент на абсорбция на звука за различни плътности на бамбуковата вата [3]



Фиг. 18. Сравнение на коефициента на абсорбция на звука на бамбукова вата и стъклена вата [1]



Фиг. 19. Сравнение на коефициента на абсорбция на звука на плоскости от бамбукови влакна и шперплат [1]

Фиг. 18 представя сравнение на коефициентите на абсорбция на звука на бамбукова и стъклена вата при дебелина 50 mm на изолационния слой. Коефициентът на абсорбция на звука на бамбуковите влакна за честота е по-висок при честоти до около 1500 Hz.

4. Композитни строителни материали на основата на природни продукти с възможности за акустично приложение

Композитните материали са продукти, съставени от два или повече изходни материала, което определя многокомпонентните им свойства и широкото приложение в строителната практика. Изискванията за „устойчиви“ политики в икономиката определят „зелената“ ориентация на пазарните продуктови гама, което се постига, когато основната и армиращата матрица (или фаза) са комбинация от естествени с изкуствени или рециклируеми материали. Композитните материали на основата на коноп и полимер са широко използвани в автомобилната индустрия.

В строителството, много добри резултати се отчитат при композитните плочи от дървесни влакна и лепилен комплекс на база цименти или полимери:

- **SuperSound**

Такива дървесинни композитни плоскости са познати на българския пазар чрез марката „SuperSound“ с моделите „Хераклит“ и „Organic Wood“ – фиг. 20. Те се отличават с много добри звукоабсорбиращи свойства, поради отворената им структура, която позволява висока степен на поглъщане на звука. Същевременно са лесни за обработка, антибактериални и с ниски стойности на топлопроводимост. „Organic Wood“ е водоустойчив.



„Organic Wood“



„Хераклит“

Фиг. 20. Шумоизолационни акустични продукти с портланд цимент и дървесина, [35]

Италия е една от водещите Европейски страни в производството на „зелени“ композити на основата на дърво:

- **„CELENIT“**

„CELENIT“ – системи естествени продукти, които включват плоскости на база дървени влакна, портланд цемент и мраморен прах с търговското наименование CELENIT, фиг. 21. Предлагат се с различен размер на дървесните влакна (1, 2 и 3 mm), както и варианти на тези плоскости в комбинация с гипсофазерни плоскости или минерална вата – фиг. 22. Плочите с гипсофазер са с малка стойност на коефициента на абсорбция ($a_s = 0,2$ за честоти до 500 Hz, достига до $a_s = 0,8$ при честота 2000 Hz), докато вариантите с минерална вата имат високи стойности ($a_s = 1,0$ – честоти над 250 Hz) [27].



Фиг. 21. Панели на основа на дървесина, CELENIT, с различен размер на влакната [28]



Фиг. 22. Панели на основа на плоскостите CELENIT, в комбинация с гипсофазер и стъклена вата [29]

- **„BetonWood ® Srl“**

„BetonWood ® Srl“ – специализирани в производството на сухи системи с дървени влакна и/или други естествени материали. Техен патент е композитен продукт, състоящ се от лепилен състав на основата на портланд цемент (XCB) и минерализирана дървесна вата.

Разработили са серии от изделия за строителството на основата на корк, дървесни влакна от бор и др., кенаф, каменни облицовки от пясъчник, каменна вата, стъклена вата и други – фиг. 23 и 24. Предлагат специални гама на акустични изолационни панели от пресована дървесна вата и цементно лепило – фиг. 24.



Фиг. 23. Композитни панели на основа на коркова дървесина – продуктова серия „BetonCork“ [33]



Фиг. 24. Композитни панели на основа на дървесина – част от продуктова гама „BetonWood“ – „BetonEco“, „BetonWood-Sanded“, „BetonWool“ [34]

5. Някои предложения за рециклируеми суровини и материали, които могат да са основа на добри акустични интериорни решения

- Рециклирана хартия – стенни и подови панели от твърди блокови структури от хартия, покрита с нетоксична смола. Счита се за водоустойчиви, топлоустойчиви и устойчиви на замърсяване [30].
- Рециклиран каучук – продукти на основата на рециклирани каучукови слоеве могат да бъдат много ефективни за изолация от ударен шум.
- Рециклирана пластмаса – пример за шумопогълщащи интериорни панели са „EchoPanels“ [31] с висок процент на рециклиран материал .
- Кафе-компанията „Re-worked“ предлага продукт „Surface“, което представлява композитни плоскости, произведени от кафени остатъци и рециклирана пластмаса [32].

6. Заключение

Естествените материали са алтернатива, която да замени качествено традиционните синтетични звукоизолиращи материали. Направеният преглед показва, че природните суровини притежават огромен потенциал за производството на звукоизолиращи продуктови гами за „устойчиви“ решения. Много от проучените „зелени“ продукти регистрират добра звукоабсорбираща ефективност, което ги прави конкурентни на използваните в момента конвенционални с изкуствен произход и имат вредни влияния за околната среда и човешкото здраве.

Материалите с природен произход, които са с доказани по експериментален начин шумопонижаващи свойства, са и възобновяеми, биоразградими и/или рециклируеми.

Голяма част от предлаганите пазарни системи предлагат едновременното решаване на повече от един функционален проблем, много от тях са сертифицирани и като топлоизолации, всички се монтират лесно и това в комбинация с естетична визия за отлични интериорни решения.

Изредените предимства на естествени материали за акустичен комфорт ги прави архитектурно и конструктивно приложими за всички сгради с разнообразно предназначение. Прилаганото им контролиране на акустичната среда в помещенията трябва да е

цялостна политика в строителството, която ще подпомага опазването на околната среда в духа на принципите на „устойчивото развитие“.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Koizumi, T., Tsujiuchi, N., Adachi, A.* The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *High Performance Structures and Composites*, vol. 59, 2002.
2. *Xiaoning Tang, Xiong Yan.* Acoustic energy absorption properties of fibrous materials: A review, *Composites Part A, Applied Science and Manufacturing*, July 2017.
3. *Musli Nizam Yahya, Desmond Daniel Vui Sheng Chin.* A Review on the Potential of Natural Fibre for Sound Absorption Application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 226, Conference 1, 2017.
4. *Asdrubali, F., Schiavoni, S., Horoshenkov, K.* A Review of Sustainable Materials for Acoustic Applications. Reprinted from *Journal of building acoustics* Volume 19, MULTI-SCIENCE PUBLISHING CO. LTD., 11.2012.
5. *Asdrubali, F.* Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control. *Euronoise 2006*, Tampere, Finland, 2006.
6. НАРЕДБА № 4 от 27 декември 2006 г. за ограничаване на вредния шум чрез шумоизолиране на сградите при тяхното проектиране и за правилата и нормите при изпълнението на строежите по отношение на шума, излъчван по време на строителството.
7. *Европейска агенция по околна среда.* Европейска околна среда – Състояние и перспективи 2015: Синтезиращ доклад, Копенхаген, 2015.
8. *ИзOVER – Сен Гобен Констракшън Продъктс България,* Брошура ISOVER звукоизолация на подове. 01.2017, www.isover.bg.
9. <http://www.moiatamansarda.bg/%D1%81%D1%8A%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B8/kak-da-napravim-plavasht-pod-s-kamnenna-vata/>.
10. <http://www.mapei.com/BG-BG/>.
11. *ИзOVER – Сен Гобен Констракшън Продъктс България.* Решенията на ИзOVER осигуряват звуков комфорт в сградите. www.izolacii.eu, 10.2013.
12. <http://wienerberger.bg/resheniya/noviyat-porotherm-8-nf-oshte-po-dostupen>.
13. <http://www.austrotherm.bg/upload/folder/wanddaemmung.pdf>.
14. Коркова къща „Еко Строй’94 ООД“. Технически корк (Гранулиран и композитен корк) AcoustiCORK, 2017.
15. Коркова къща „Еко Строй’94 ООД“. Експандирани коркови плоскости, кокос и корков гранулат, 2017.
16. <http://cork-bg.com/cheren-izolacionen-kork>.
17. WINCANDERS. warm.silent.sustainable, Corktech. Брошура „Ultimate comfort by nature“, 11.2013.
18. <http://www.konopne-izolace.cz/ru/glavnaya-stranitsa/>.
19. <https://market.homenest.eu/bg>.

20. http://www.gyptec.eu/en/gypcork_solution.php.
21. http://www.gyptec.eu/en/documents/Gypcork_Board.pdf.
22. <http://hempire.com.ua/>.
23. <http://www.archiexpo.com/prod/enkev/product-102756-1392113.html>.
24. <http://www.preethamgranites.com/coir-needle-felt/>.
25. <http://gutex.de/en/product-range/products/product/gutex-thermowall/>.
26. <https://acousticalsolutions.com/product/woodtrends-basic-ceiling-tile/>.
27. <http://www.woodfitacoustics.com/products/>.
28. <https://www.celenit.com/en-UK/celenit-n.php>.
29. Брошури и техническа документация за „CELENIT“, www.celenit.com/.
30. <http://www.builder.bg/articlebg/111>.
31. <http://www.builder.bg/articlebg/201>.
32. <http://inhabitat.com/re-worked-breeds-up-furniture-from-recycled-coffee-grounds/>.
33. www.betoncork.com.
34. www.betonwood.com.
35. www.supersound-bg.com.

APPLICATION OF BUILDING MATERIALS OF NATURAL ORIGIN IN THE NOISE PROTECTION OF BUILDINGS

E. Ivanova¹, D. Boyadzhieva²

***Keywords:** noise pollution, noise protection, building materials of natural origin*

ABSTRACTS

A mandatory requirement for modern city planning solutions is to ensure a comfortable living environment with sustainable acoustics and low noise levels. The sound insulation of the buildings can be sought through the application of building materials of natural origin which have been required to guarantee other types of performance parameters – thermal insulation, facing against sports traumatism, interior solutions, etc. The application of such materials enables the development of innovative concept proposals whose application increases the degree of ecology of buildings.

¹ Evelina Ivanova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Road Construction”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: djiivs@abv.bg

² Delyana Boyadzhieva, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Steel, Timber and Plastic Structures”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: delianab@yahoo.com