

mgr inż. Patrycja Świrk<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-6990-9031

prof. dr hab. inż. Lucyna Leniowska<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-7994-7867

# Study of sound-absorbing and insulating properties of regenerable materials to reduce noise

## *Badanie właściwości dźwiękochłonnych i izolacyjnych materiałów regenerowalnych w celu redukcji hałasu*

DOI: 10.15199/33.2025.08.19

**Abstract:** Many available sound-absorbing materials are made from reticulated foam, fibrous, granular, or loose materials compressed together, for example, under the influence of temperature, while maintaining a porous structure. However, most of them quickly degrade under the influence of environmental conditions, temperature, humidity, etc. In this work, an acoustic metamaterial is proposed that can be used as an absorber to obtain broadband sound absorption for acoustic silencers that reduce noise emitted during the discharge of gases or the process of air. The absorbers are installed inside the acoustic silencers, where they are exposed to the turbulent flow of a potentially contaminated or viscous fluid with suspended dust particles and carried along with the flow. The aim of the research is to develop materials that are characterised by good absorption properties and that also exhibit high resistance to moisture. Several samples of granulated materials, with regular shapes and different sizes of granules were selected for the study. It was found that high humidity does not affect the acoustic properties of the considered samples and it does not cause negative changes in the material structure. The proposed material consisting of plastic granules of different diameters is resistant to moisture and can be easily regenerated in the case of severe contamination

**Keywords:** granulated materials; porous expanded polypropylene; granulated foam glass; sound absorption coefficient; influence of humidity.

One of the significant environmental problems that directly affects public health is the fight against ubiquitous noise at various levels. However, we can observe an increase in general awareness of the negative impact of noise on health. In the literature is already discussed the problem of designing a material that would have good acoustic properties. One of the areas focusses on testing material in a loose or granulated form, therefore, many authors conduct research on the development of natural products or waste, including beech and redwood sawdust chips [1], fibre-grain composite made of kenaf fibres and rice husk granules in waste [2] and composites made of wood-based materials [3]. Research has shown the potential of natural materials to sound absorption but they are not resistant to moisture. Re-

**Streszczenie:** Wiele dostępnych materiałów dźwiękochłonnych jest wykonanych z pianki o strukturze siatkowanej, włóknistej, granulowanej lub luźnej, sprasowanej razem, np. pod wpływem temperatury. W wyniku tego powstaje struktura porowata. Ulega ona jednak szybko degradacji pod wpływem warunków środowiskowych, temperatury, wilgotności itp. W artykule zaprezentowano metamateriał akustyczny, który może być stosowany jako absorber szerokopasmowego pochłaniania dźwięku w przypadku tłumików akustycznych, które redukują hałas emitowany podczas odprowadzania gazów. Absorbery są instalowane wewnątrz tłumików akustycznych. Są tam narażone na turbulentny przepływ potencjalnie zanieczyszczonego lub lepkiego płynu z zawieszonymi cząstkami pyłu i przenoszone wraz z jego przepływem. Celem przeprowadzonych badań było opracowanie materiałów charakteryzujących się dobrymi właściwościami absorpcyjnymi, a także wykazujących dużą odporność na wilgoć. Do badań wybrano kilka próbek materiałów granulopodobnych o regularnych kształtach i różnej wielkości granulek. Stwierdzono, że duża wilgotność nie wpływa na właściwości akustyczne ocenianych próbek i nie powoduje negatywnych zmian w ich strukturze. Proponowany materiał składający się z granulek tworzywa sztucznego o różnej średnicy jest odporny na wilgoć i może być łatwo regenerowany w przypadku znacznego zanieczyszczenia.

**Słowa kluczowe:** materiały granulowane; porowaty spieniony polipropylen; granulowane szkło piankowe; współczynnik pochłaniania dźwięku; wpływ wilgotności.

Jednym z istotnych problemów środowiskowych, który bezpośrednio wpływa na zdrowie publiczne, jest walka z wszechobecnym hałasem. Możemy jednak zaobserwować zwiększenie ogólnej świadomości negatywnego wpływu hałasu na zdrowie. W literaturze poruszany jest już problem projektowania zrównoważonego materiału, który miałby dobre właściwości akustyczne. Jedną z tendencji jest badanie materiału w formie luźnej lub granulowanej, dlatego wielu autorów prowadzi badania nad rozwojem produktów naturalnych lub odpadów, w tym wiórów z trocin bukowych i sekwoi [1], kompozytu włóknisto-ziarnistego wykonanego z włókien kenafu i granulek łuski ryżowej [2] oraz kompozytów wykonanych z materiałów drewnopochodnych [3]. Badania wykazały potencjał materiałów naturalnych w pochłanianiu dźwięku, ale nie są one odporne na wilgoć. Badania przeprowadzono na płytach wykonanych z ekspandowanego perlitu. Wystąpiła istotna różnica we właściwościach akustycz-

<sup>1)</sup> Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Nauk Ścisłych i Technicznych

<sup>\*)</sup> Correspondence address: pswirk@ur.edu.pl

search was carried out on boards made of expanded perlite. There was a significant difference in acoustic properties at 50–95% humidity. It was observed that adding other particles and fibers increase moisture resistance and sound absorption coefficient [4]. However, perlite crumbles and dusts in operating conditions, which leads to degradation of its structure and acoustic properties.

In the article, an acoustic metamaterial is proposed that can be used as an absorber to obtain broadband sound absorption for acoustic silencers that reduce noise emitted during the discharge of gases or process air. The absorbers are installed inside the acoustic silencers, where they are exposed to the turbulent flow of a potentially contaminated or viscous fluid with suspended dust particles that are carried along with its flow. In such circumstances, there is a risk that deposits on the absorber can greatly reduce its acoustic performance in a short time. The proposed material consisting of plastic granules of different diameters is resistant to moisture and can be easily regenerated in the case of severe contamination.

The aim of the research is to develop materials in the form of plastic granules with good absorption properties. Furthermore, the influence of humidity on the change in the absorption properties of selected granulates is examined. On the basis of the results achieved, a group of granulates that can be successfully used as filling of acoustic silencers or layered acoustic structures in broadband frequency ranges will be selected.

## Materials

Program of research assumed to carry out measurements on several loose and/or consolidated samples of granulated materials. The research included plastic granulates marked as material I, material II, material III, and expanded porous polypropylene and inorganic material in the form of granulated foam glass.

Materials I, II, and III belong to the group of materials made of plastics in the form of regular granules, where a single particle of the material has a through hole. Granulates have different values of bulk density, particle fraction, and shape. Porous expanded polypropylene is an example of a lightweight dual-function panel which have good sound absorption and insulation properties, are abrasion, impact and moisture resistant, and are characterized by class A fire resistance. The structure of the material does not contain glass and nonfibrous fibres. The material in the form of granules is called ARPRO. Granulated foam glass is a porous inorganic material composed of spherical granules ranging in size from fractions of a millimeter to several centimeters. The granule is obtained from crushed and ground glass cullet to obtain a glass powder with the required structure. Then is mixed with a fulfilling agent and heated in an oven at a temperature of approximately 900°C. After being cooled, the granulate is separated into fractions according to the grain size. The grain size class of 2 to 4 mm was selected for testing. Table contains a list of non-acoustic parameters for selected granulated materials for testing.

nych w przypadku wilgotności 50–95%. Zaobserwowano, że dodanie innych cząstek i włókien zwiększa odporność na wilgoć i współczynnik pochłaniania dźwięku [4]. Perlit kruszy się jednak i pyli w warunkach eksploatacji, co prowadzi do degradacji jego struktury i właściwości akustycznych.

W artykule zaprezentowano metamateriał akustyczny, który może być stosowany jako absorber w celu uzyskania szerokopasmowego pochłaniania dźwięku w przypadku tłumików akustycznych redukujących hałas emitowany podczas odprowadzania gazów lub powietrza procesowego. Absorbery są instalowane wewnątrz tłumików akustycznych, gdzie są narażone na turbulentny przepływ potencjalnie zanieczyszczonego lub lepkiego płynu z zawieszonymi cząstkami pyłu, które są przenoszone wraz z jego przepływem. W takich okolicznościach istnieje ryzyko, że osady na absorberze mogą znacznie obniżyć jego parametry akustyczne w krótkim czasie. Proponowany materiał składający się z granulatu tworzywa sztucznego o różnej średnicy jest odporny na wilgoć i może być łatwo regenerowany w przypadku silnego zanieczyszczenia.

Celem badań było opracowanie materiałów w postaci granulatu z tworzywa sztucznego o dobrych właściwościach absorpcyjnych. Ponadto zbadano wpływ wilgoci na zmianę właściwości absorpcyjnych wybranych granulatów. Na podstawie uzyskanych wyników została wybrana grupa granulatów, które z powodzeniem mogą być stosowane jako wypełnienia tłumików akustycznych lub warstwowych struktur akustycznych w zakresie szerokopasmowym.

## Materiały

Program badań zakładał przeprowadzenie pomiarów na kilku luźnych i/lub skonsolidowanych próbkach materiałów granulowanych. Badaniami objęto granulaty tworzyw sztucznych oznaczone jako materiał I, materiał II, materiał III oraz spieniony polipropylen porowaty, a także materiał nieorganiczny w postaci granulowanego szkła spienionego.

Materiały I, II i III należą do grupy materiałów wykonanych z tworzyw sztucznych w postaci regularnych granulek, gdzie pojedyncza cząstka materiału ma otwór przelotowy. Granulaty mają różną wartość gęstości nasypowej, frakcji cząstek i kształtu. Z porowatego spienionego polipropylenu produkowane są lekkie panele dwufunkcyjne mające dobre właściwości pochłaniania dźwięku i izolacyjne, a także odporne na ścieranie, na uderzenia i wilgoć oraz charakteryzują się ognioodpornością klasy A. Struktura materiału nie zawiera włókien szklanych ani cząstek niewłóknistych. Materiał w postaci granulek nazywany jest ARPRO.

Granulowane szkło piankowe jest porowatym materiałem nieorganicznym składającym się z granulek o kulistym kształcie, których wielkość waha się od ułamków milimetrów do kilku centymetrów. Granulat uzyskuje się z rozdrobnionej i zmielonej stłuczki szklanej, aby powstał proszek o wymaganej strukturze. Następnie jest mieszany z wypełniaczem i ogrzewany w piecu do temperatury ok. 900°C. Po schłodzeniu granulat rozdziela się na frakcje wg wielkości ziarna. Do badań wybrano klasę wielkości ziarna 2–4 mm. Tabela zawiera listę parametrów wybranych materiałów granulowanych.

**Table Parameters of granulated materials**  
*Tabela Parametry materiałów granulowanych*

| Material name/<br>Nazwa materiału                                                                            | Structure view/<br>Widok struktury                                                | Bulk density/<br>Gęstość objętościowa<br>[kg/m <sup>3</sup> ] | Grain fraction/<br>Frakcja ziarna [mm]                                     | Grain shape/ Kształt ziarna                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Material I /Materiał I                                                                                       |  | 465                                                           | 1 – 2 with 0.5 mm through the hole /<br>1 – 2 z 0,5 mm otworem przelotowym | oval, regular with a hole/<br>owalny, regularny z otworem                       |
| Material II/ Materiał II                                                                                     |  | 580                                                           | 2 – 3 with 1.5 mm through hole /<br>2 – 3 z 1,5 mm otworem przelotowym     | oval, regular with through hole/<br>owalny, regularny z otworem przelotowym     |
| Material III/Materiał III                                                                                    |  | 175                                                           | 4 – 5 with 2.5 mm through hole /<br>4 – 5 z 2,5 mm otworem przelotowym     | cut tube of regular shape with a hole/<br>rura o regularnym kształcie z otworem |
| Granulated foam glass/<br>Szkło piankowe granulowane                                                         |  | 115                                                           | 2 – 4                                                                      | oval, regular/<br>owalny, regularny                                             |
| Expanded Polypropylene Panel<br>Sound Silencer™/ Porowaty<br>spieniony polipropylen Panel<br>Sound Silencer™ |  | -                                                             | 2 – 3 with through hole /<br>2 – 3 z otworem przelotowym                   | oval, regular with a through hole/<br>owalny, regularny z otworem przelotowym   |

## Measurements of acoustic parameters of materials

Selected material samples were tested to determine the values of the sound attenuation coefficient. The program assumed testing five materials in the form of loose and/or consolidated granules with different bulk densities, grain fractions, and shapes and made of different materials. Detailed characteristics are presented in Table. The measurements were performed on granulate samples in two and three thickness. Material thicknesses were dictated by practical use in the form of sound-absorbing core. The granule was prepared properly in the form of test samples. Each type of material was poured into a special container and the front surface was protected with a nylon mesh that provided a flat surface for the sound wave. The granulate samples were thickened in such a way as to ensure free friction between subsequent particles and to examine their influence on the measured properties.

**Methodology.** Tests were performed using an impedance tube from Siemens, type Mecanum Inc. S/N: 2444-408 and Simcenter software in accordance with standard: PN-EN ISO 10534-2:2003 and ASTM E-1050, ASTM E-2611 (TL) [5÷7]. Before starting the actual measurements, the 378A14 ¼" PCB microphones were calibrated. The sound calibration was performed using a G.R.A.S Sound Calibrator type 42AB with pressure level 114 dB for frequency 1000 Hz. The sound absorption coefficient was measured in several series for each sample in the frequency range 50 – 5700 Hz. After the first series of tests, a study was carried out on the impact of atmospheric conditions on the change in the sound absorption coefficient value. Appropriate atmospheric conditions were ensured using the ANYVIBE 600 C5 climatic chamber. The samples were conditioned under the specified conditions for the time necessary to achieve temperature and humidity stabilization.

## Pomiary parametrów akustycznych materiałów

Wybrane próbki poddano badaniom w celu określenia wartości współczynnika tłumienia dźwięku. Program zakładał badanie pięciu materiałów w postaci luźnych i/lub skonsolidowanych granulek o różnej gęstości nasypowej, frakcji ziarnowej i kształcie oraz wykonanych z różnych materiałów. Szczegółowe charakterystyki przedstawiono w tabeli. Pomiary przeprowadzono na próbkach granulatu w wersji dwóch i trzech grubości. Grubość materiału podyktowana była praktycznym zastosowaniem w postaci rdzeni dźwiękochłonnych. Granulat odpowiednio przygotowano w postaci próbek testowych. Każdy rodzaj materiału wsypało do specjalnego pojemnika, a powierzchnię czołową zabezpieczono siatką nylonową, która stanowiła płaską powierzchnię dla fali dźwiękowej. Próbkę granulatu zagęszczono w taki sposób, aby zapewnić swobodne tarcie pomiędzy kolejnymi cząstkami i zbadać ich wpływ na mierzone właściwości.

**Metoda badań.** Badania przeprowadzono z użyciem rury impedancyjnej firmy Siemens, typ Mecanum Inc. S/N: 2444-408 i oprogramowania Simcenter zgodnie z normami: PN-EN ISO 10534-2:2003, ASTM E-1050 oraz ASTM E-2611 (TL) [5÷7]. Przed rozpoczęciem właściwych pomiarów dokonano kalibracji mikrofonów 378A14 ¼" PCB. Kalibrację wykonano przy użyciu kalibratora dźwięku typu 42AB o poziomie ciśnienia 114 dB i częstotliwości 1000 Hz. Współczynnik pochłaniania dźwięku każdej próbki mierzono w kilku seriach w zakresie częstotliwości 50–5700 Hz. Po pierwszej serii badań przeprowadzono badanie wpływu warunków atmosferycznych na zmianę wartości współczynnika pochłaniania dźwięku. Odpowiednie warunki atmosferyczne zapewniono, stosując komorę klimatyczną. Próbkę kondycjonowano w za-

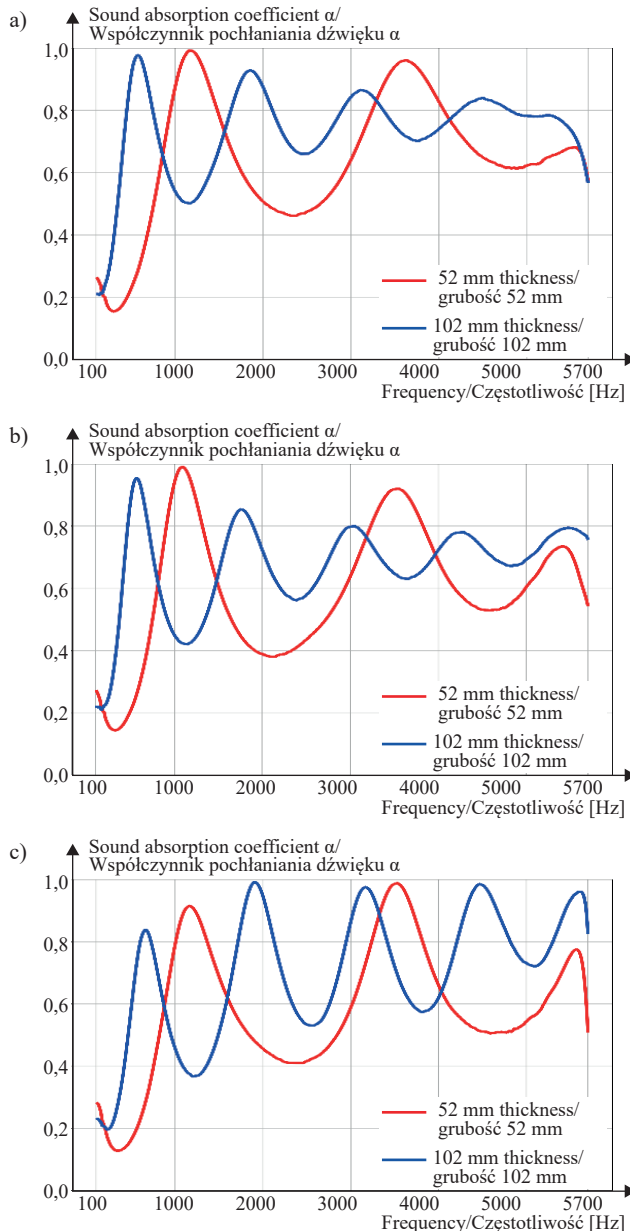
**Sound absorption coefficient results.** Absorption coefficients were determined by transfer functions between the two microphones using Simcenter software. Figures 1 and 2 present the results of sound absorption measurements as a function of frequency for five granulates of two and/or three thicknesses.

**The influence of humidity on acoustic parameters.** The tests were conducted at two levels of relative humidity: 60% and 90%. Initially, the test samples were conditioned in a clima-

danych warunkach przez czas niezbędny do osiągnięcia stabilizacji temperatury i wilgotności.

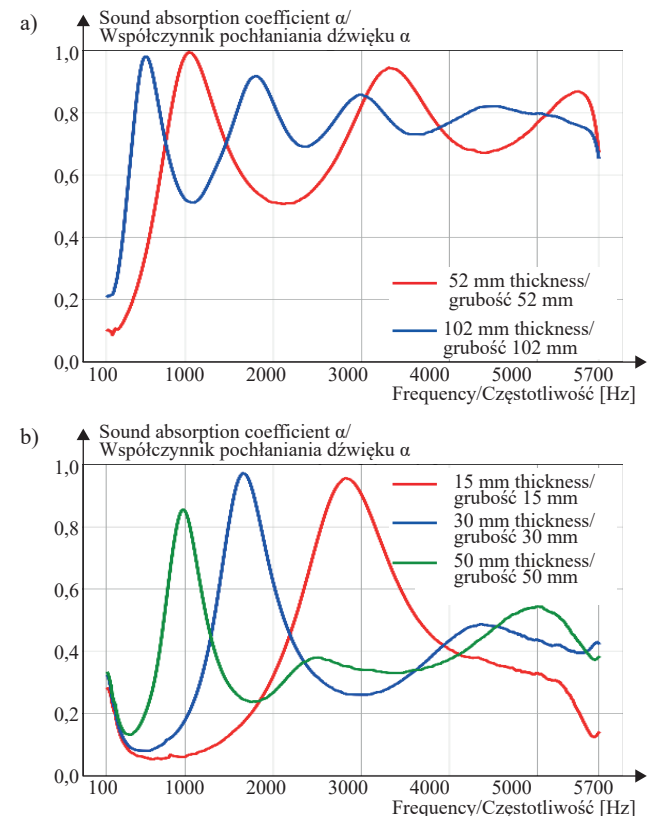
**Współczynnik pochłaniania dźwięku.** Współczynniki absorpcji określono za pomocą funkcji przejścia między dwoma mikrofonami przy użyciu oprogramowania Simcenter. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono wyniki pomiarów absorpcji dźwięku w funkcji częstotliwości w przypadku pięciu granulatów o dwóch i/lub trzech grubościach.

**Wpływ wilgotności na parametry akustyczne.** Badania przeprowadzono przy dwóch poziomach wilgotności względnej: 60% oraz 90%. Na początku próbki do testów kondycjonowano w komorze klimatycznej, w temperaturze 30°C i wilgotności względnej 90%, w czasie niezbędnym do osiągnięcia stabilnych warunków. Po wyjęciu z komory klimatycznej, mokre próbki pozostawiono w temperaturze pokojowej w celu uwolnienia wilgoci, a następnie zmierzono. Analogicznie postępowano w drugim przypadku. Zbadano współczynnik absorpcji (SAC) pierwszej grupy materiałów granulowanych wykonanych z tworzyw sztucznych. Wyniki badań w formie wykresów porównawczych przedstawiono na rysunku 3.



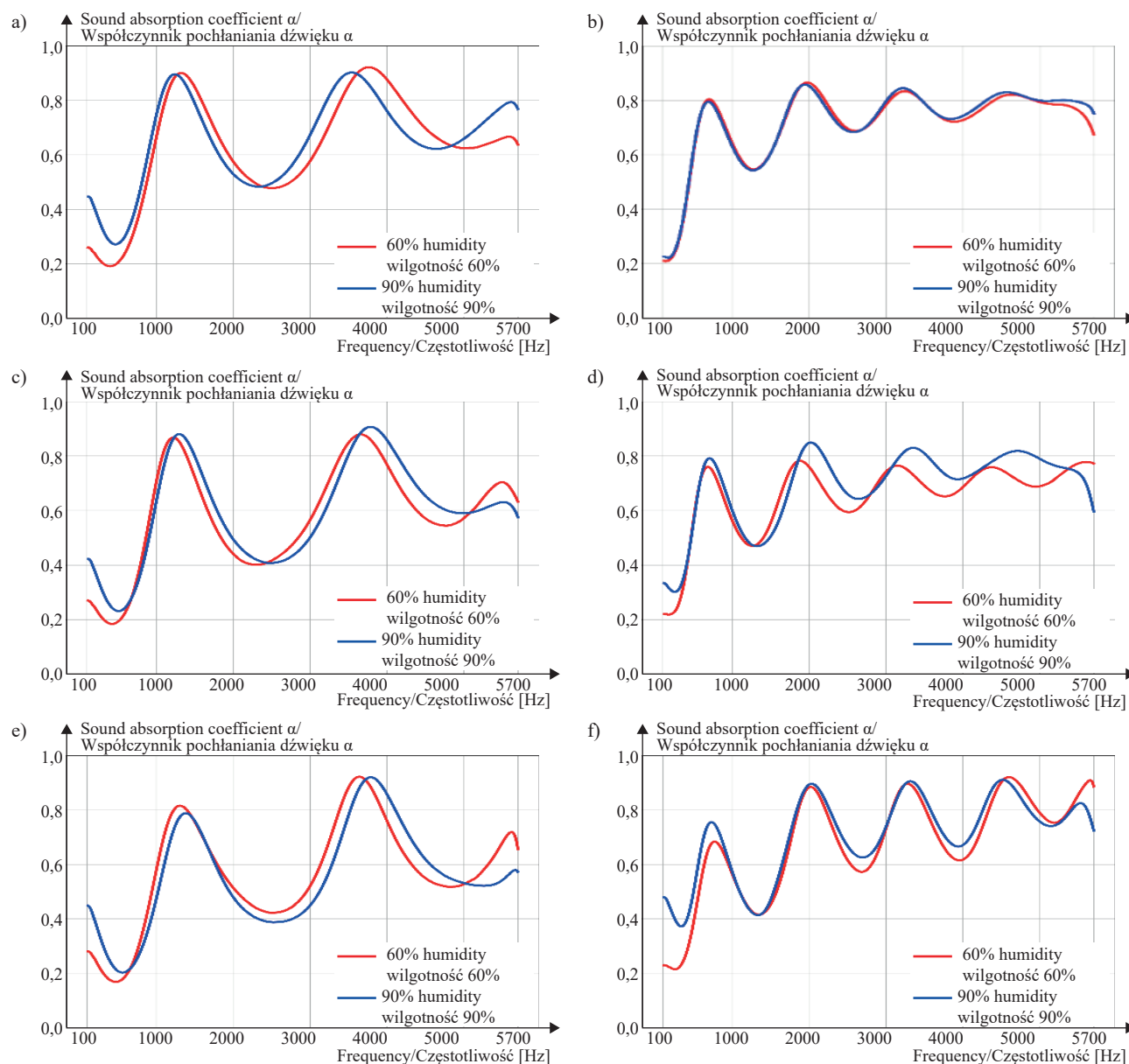
**Fig. 1. Comparison of the sound absorption characteristics of granulates with a different grain fraction made of plastics for two types of sample thickness: a) fraction of 1 mm; b) fraction of 2 mm; c) fraction of 5 mm. The colours of the lines indicate the sample thicknesses, respectively: 52 mm (red) and 102 mm (blue)**

Rys. 1. Porównanie charakterystyki pochłaniania dźwięku granulatów o różnej frakcji ziaren wykonanych z tworzyw sztucznych w przypadku dwóch grubości próbek: a) frakcja 1 mm; b) frakcja 2 mm; c) frakcja 5 mm. Kolory linii oznaczają grubość próbek: 52 mm (czerwony), 102 mm (niebieski)



**Figure 2. Comparison of the sound absorption characteristics of granulates: a) granulated foam glass; the colours of the lines indicate the sample thicknesses, respectively: 52 mm (red) and 102 mm (blue); b) porous expanded polypropylene; the colours of the lines indicate the sample thicknesses, respectively: 15 mm (red), 30 mm (blue); 50 mm (green)**

Rys. 2. Porównanie charakterystyki pochłaniania dźwięku granulatów: a) granulowane szkło piankowe; kolory linii oznaczają grubość próbek: 52 mm (czerwony), 102 mm (niebieski); b) porowaty spieniony polipropylen; kolory linii oznaczają grubość próbek: 15 mm (czerwony), 30 mm (niebieski), 50 mm (zielony)



**Fig. 3.** The effect of humidity on the sound absorption coefficient at a temperature of 30°C for granulates of (grain size, thickness): a) 1 mm, 52 mm; b) 1 mm, 102 mm; c) 2 mm, 52 mm; d) 2 mm, 102 mm; e) 5 mm, 52 mm; f) 5 mm, 102 mm. The colours of the lines indicate humidity: 60% (red) and 90% (blue)

*Rys. 3. Wpływ wilgotności na współczynnik pochłaniania dźwięku w temperaturze 30°C w przypadku granulatów (o wielkości ziaren, grubości): a) 1 mm, 52 mm; b) 1 mm, 102 mm; c) 2 mm, 52 mm; d) 2 mm, 102 mm; e) 5 mm, 52 mm; f) 5 mm, 102 mm. Kolory linii oznaczają wilgotność: 60% (czerwony) i 90% (niebieski)*

tic chamber at a temperature of 30°C and a relative humidity of 90%, for the time necessary to achieve stable conditions. After removal from the climatic chamber, the wet samples were left at room conditions to release moisture and then measured. A similar procedure was followed in the second case. The sound absorption coefficient (SAC) was measured for the first group of granular materials made of plastics. The test results in the form of comparative graphs are represented in Figure 3.

## Analysis and comparison of results

**Correlation between grain size and sample thickness on sound absorption coefficient.** Figure 1 shows a comparison of sound absorption characteristics of granulates with different grain

## Analiza i porównanie wyników

**Korelacja pomiędzy wielkością ziarna i grubością próbki a współczynnikiem pochłaniania dźwięku.** Rysunek 1 przedstawia porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku próbek granulatów o różnej frakcji ziarna oraz dwóch grubościach próbki. Podobne wyniki uzyskano w przypadku materiałów nr 1 i nr 2 o frakcjach wielkości ziarna odpowiednio 1 i 2 mm. W przypadku próbki nr 1 o grubości 52 mm krzywa SAC (ang. Sound Absorption Coefficient) ma dwie dominujące częstotliwości pochłaniania. Pierwsza wynosi 1150 Hz, a druga 3600 Hz. W przypadku próbki o grubości 102 mm pierwsza główna częstotliwość występuje przy 550 Hz. Na podstawie wyników można wnioskować, że wtórna absorpcja występuje przy wartości czę-

fractions and two thickness of sample. Similar results were obtained for materials no 1 and no 2 with grain size fractions of 1 and 2 mm, respectively. In the case of sample no 1 with a thickness of 52 mm, the SAC curve (ang. Sound Absorption Coefficient) has two dominant absorption frequencies. The first is 1150 Hz and the second frequency is 3600 Hz. In the case of sample with a thickness of 102 mm, the first main frequency occurs at 550 Hz. Based on the results, it can be concluded that the secondary absorption occurs at a frequency value three times greater than the main frequency. For material no 2, the sound absorption characteristic is similar to the previously discussed sample. This is most likely due to the fact that material no 1 and no 2 have approximately the same grain size (1 mm and 2 mm). In the case of material no 3, a similar trend in sound absorption was observed – each subsequent frequency had a higher value than the previous one. The same effect can be observed for the 52 mm and 102 mm thick sample.

Figure 2a shows the SAC results for granulated foam glass. Similarly to the previous one, the 52 mm thick sample has two dominant absorption frequencies (1000 Hz and 3300 Hz), in contrast, the 102 mm thick sample has a first resonant frequency at 500 Hz, and the secondary absorption occurs at 1800 Hz and 3000 Hz. Figure 2b shows the results of absorption of a porous polypropylene foam panel. Polypropylene, as the only type of material, was tested as a consolidated material in the form of a plate. In the case of a 15 mm thick sample, the SAC parameter shows an increasing tendency towards the first frequency of 2800 Hz, while for a 30 mm thick sample, the first resonance frequency is 1630 Hz and the second is 4350 Hz. In case for a 50 mm thick sample, the frequency was measured at 950 Hz, and the secondary occurs at 2400 Hz and 5000 Hz.

It was found that the thickness of the material has a significant effect on the number of dominant frequencies and the SAC value itself. With the increase of the sample thickness, the first and second dominant sound absorption frequencies shift towards low frequencies. Based on the results, it can be seen that the average SAC changes depending on the grain size. Samples prepared from granulate with smaller grain size show better sound absorption properties. The material with a smaller fraction has a greater number of pores on the surface and inside the sample. In the process of sound wave propagation, there is a greater energy consumption and, consequently, its sound absorption properties improve.

**The effect of humidity on the sound absorption coefficient.** The effect of sample moisture on SAC of samples for different frequencies at 30°C is shown in Figure 3. The SAC parameter for dry and saturated granules differ slightly over the full frequency range. The first sound absorption frequency seems to be repeatable for all samples, regardless of grain size. On the other hand, the second sound absorption frequency for saturated samples changes within 200 Hz relative to dry samples. It is worth noting that the first and second sound absorption frequencies for saturated samples shift towards low frequencies with increasing sample thickness. The air humidity inside the sample and the air density increased due to conditioning. In this way, the medium of sound transmission between individual granulate grains changed. As the grain size increases, the space between individual elements increases, which in turn affects the increase in humidity in the pores inside the sample. The saturated surface of the

stotliwości trzykrotnie większej od częstotliwości głównej. W przypadku materiału nr 2 charakterystyka pochłaniania dźwięku jest podobna do wcześniej omawianej próbki. Wynika to najprawdopodobniej z faktu, że materiały nr 1 i nr 2 mają w przybliżeniu taką samą wielkość ziarna (1 mm i 2 mm). W przypadku materiału nr 3 stwierdzono podobny trend pochłaniania dźwięku – każda kolejna częstotliwość ma wyższą wartość niż poprzednia. Ten sam efekt można zaobserwować w przypadku próbki o grubości 52 mm i 102 mm.

Rysunek 2a przedstawia wyniki SAC granulowanego szkła piankowego. Podobnie jak poprzednio, próbka o grubości 52 mm ma dwie dominujące częstotliwości absorpcji (1000 Hz i 3300 Hz), natomiast próbka o grubości 102 mm ma pierwszą częstotliwość rezonansową przy 500 Hz, a absorpcja wtórna występuje przy 1800 i 3000 Hz. Rysunek 2b przedstawia wyniki absorpcji porowatego panelu z piankowego polipropylenu. Polipropylen, jako jedyny rodzaj materiału, został przetestowany jako materiał skonsolidowany w formie płyty. W przypadku próbki o grubości 15 mm parametr SAC pokazuje rosnącą tendencję do pierwszej częstotliwości 2800 Hz, natomiast w przypadku próbki o grubości 30 mm pierwsza częstotliwość rezonansowa wynosi 1630 Hz, a druga 4350 Hz. W przypadku próbki o grubości 50 mm, częstotliwość została zmierzona na poziomie 950 Hz, a częstotliwość wtórna przy 2400 i 5000 Hz.

Stwierdzono, że grubość materiału ma istotny wpływ na liczbę dominujących częstotliwości i wartość SAC. Wraz ze wzrostem grubości próbki, pierwsza i druga częstotliwość dominująca pochłaniania dźwięku przesuwają się w kierunku niskich częstotliwości. Na podstawie wyników stwierdzono, że średnia wartość SAC zmienia się w zależności od wielkości ziarna. Próbki przygotowane z granulatu o mniejszej wielkości ziarna wykazują lepsze właściwości pochłaniania dźwięku. Materiał o mniejszej frakcji ma większą liczbę porów na powierzchni i wewnątrz próbki. W procesie propagacji fali dźwiękowej następuje większe zużycie energii, a w konsekwencji poprawia się jego absorpcja.

**Wpływ wilgotności powietrza na współczynnik pochłaniania dźwięku.** Wpływ wilgotności na SAC próbek przy różnej częstotliwości, w temperaturze 30°C, pokazano na rysunku 3. Parametr SAC suchych i nasyconych granulek różni się nieznacznie w całym zakresie częstotliwości. Pierwsza częstotliwość absorpcji dźwięku wydaje się powtarzalna w przypadku wszystkich próbek, niezależnie od wielkości ziarna. Z drugiej strony, druga częstotliwość absorpcji dźwięku przez próbki nasycone zmienia się w zakresie 200 Hz w stosunku do próbek suchych. Warto zauważyć, że pierwsza i druga częstotliwość absorpcji dźwięku w przypadku próbek nasyconych przesuwają się w kierunku niskich częstotliwości wraz ze wzrostem grubości próbki. Wilgotność powietrza wewnątrz próbki oraz gęstość powietrza zwiększyły się z powodu kondycjonowania. W ten sposób medium transmisji dźwięku między poszczególnymi ziarnami granulatu uległo zmianie. Wraz ze wzrostem wielkości ziarna przestrzeń między poszczególnymi elementami ulega zwiększeniu, co z kolei wpływa na wzrost wilgotności w porach wewnątrz próbki. Nasycona powierzchnia próbki odbija więcej fal dźwiękowych, a absorpcja materiału jest mniejsza, co bezpośrednio wpływa na właściwości pochłaniania dźwięku.

sample reflects more sound waves, the absorption of the material is lower, which directly affects the sound absorption properties.

## Conclusions

From the acoustic adaptation of rooms point of view, loose materials and/or granulated can be an alternative to classic solutions. However, these types of materials degrade under the influence of environmental conditions, temperature, humidity and the like. High humidity adversely affects the structure of the materials and, therefore their acoustic properties deteriorate and ultimately require replacement or regeneration.

In article presents research results on selected acoustic properties of materials in the form of loose and/or consolidated granules. The aim of the research was to develop materials with good absorption properties, characterised at the same time by high resistance to moisture. On the basis of the research conducted, it was concluded that such materials can be composed with the use of various-size granules. Several groups of materials were selected for testing in the form of granules with regular shapes and various grain sizes. Research was carried out acoustic parameters, such as the absorption coefficients (SAC). For loose granulated materials, the best properties were obtained for material no I, with a grain fraction of 1 mm. The SAC value was 0.99 at 550 Hz for a sample thickness of 102 mm. For consolidated material very good results were obtained, namely a SAC value of 0.875 for 50 mm and thick frequency 950 Hz material. Consolidated materials have a greater ability to absorb sound than bulk materials. After conducting a series of measurements, it was also found that high humidity does not significantly affect the acoustic properties and does not cause negative changes in the structure of the tested material. On the basis of the results obtained, it can be said that the group of materials in the form of plastic granulates has good absorption properties and can be successfully used as filling layered acoustic structures in narrowband frequency ranges.

*We would like to thank Saint Gobain, Svantek sound and vibration, Alfa Bond Kohlauer for their support*

Received: 03.04.2025  
Revised: 30.05.2025  
Published: 21.08.2025

## Wnioski

Z punktu widzenia adaptacji akustycznej pomieszczeń, materiały sypkie i/lub granulowane mogą być alternatywą rozwiązań klasycznych. Tego typu materiały ulegają jednak degradacji pod wpływem warunków środowiskowych, temperatury, wilgotności itp. Duża wilgotność niekorzystnie wpływa na strukturę materiałów, a tym samym ich właściwości akustyczne pogarszają się i ostatecznie wymagają wymiany lub regeneracji.

W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości akustycznych materiałów w postaci sypkich i/lub skonsolidowanych granulek. Celem badań było opracowanie materiałów o dobrych właściwościach absorpcyjnych, charakteryzujących się jednocześnie dużą odpornością na wilgoć. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że takie materiały można komponować z wykorzystaniem granulek o różnej wielkości. Do badań wybrano kilka grup materiałów w postaci granulek o regularnych kształtach i różnej wielkości ziarna. Przeprowadzono badania parametrów akustycznych, takich jak współczynniki absorpcji (SAC).

W przypadku sypkich materiałów granulowanych najlepsze właściwości uzyskał materiał nr I o uziarnieniu 1 mm. Wartość SAC wynosiła 0,99 przy 550 Hz i grubości próbki 102 mm. W przypadku materiału skonsolidowanego uzyskano bardzo dobre wyniki, a mianowicie wartość SAC równą 0,875 przy grubości 50 mm i częstotliwości 950 Hz. Materiały skonsolidowane mają większą zdolność do pochłaniania dźwięku niż materiały sypkie. Po serii pomiarów stwierdzono również, że duża wilgotność nie wpływa w istotny sposób na właściwości akustyczne i nie powoduje negatywnych zmian w strukturze badanego materiału. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że materiały w postaci granulatów tworzyw sztucznych mają dobre właściwości absorpcyjne i mogą być z powodzeniem stosowane jako wypełnienie warstwowych struktur akustycznych w wąskopasmowych zakresach częstotliwości.

*Dziękujemy za wsparcie grupie Saint Gobain, Svantek sound and vibration, Alfa Bond Kohlauer*

Artykuł wpłynął do redakcji: 03.04.2025 r.  
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 30.05.2025 r.  
Opublikowano: 21.08.2025 r.

## Literature

[1] Boubel A, Garouma M, Bousshine S, Bybi A. Investigation of loose wood chips and sawdust as alternative sustainable sound absorber materials. *Applied Acoustics*. Volume 172, 2021, 107639. ISSN 0003-682X; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107639>.

[2] Samaci SE, Berardi U, Taban E, Soltani P, Mousavi SM. Natural fibro-granular composite as a novel sustainable sound-absorbing material. *Applied Acoustics*. Volume 181, 2021, 108157. ISSN 0003-682X; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108157>.

[3] Świrk P, Leniowska L, Korzyńska K. Acoustic properties of biodegradable materials in the low and medium frequency range. *Vibrations in Physical Systems*. 2024. 35 (2). 2024208. pages: 7; <https://doi.org/10.21008/j.0860-6897.2024.2.08>

[4] Özdeniz, Mesut B. The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates. *Building and Environment*. 2005; <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.07.004>

[5] ASTM E1050 – Standard Test Method for Impedance and Absorption of Acoustical Materials Using a Tube, Two Microphones and a Digital Frequency Analysis System

[6] ASTM E-2611 (TL) – Standard Test Method for Measurement of Normal Incidence Sound Transmission of Acoustical Materials Based on the Transfer Matrix Method

[7] PN-EN ISO 10534-2:2003 Acoustics Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes Part 2: Transfer-function method