

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Црняя Анджелко

УДК 691.175

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ЕФЕКТИВНІ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ  
РЕКОНСТРУКЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ**

Спеціальність 192 - Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань - 19 Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Црняя Анджелко

*Науковий керівник:*

Попов Олег Олександрович, кандидат технічних наук, доцент

## АНОТАЦІЯ

*Црноря Анджелко.* Ефективні звукоізоляційні матеріали для реконструкції огорожувальних конструкцій будівель. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Одеська державна академія будівництва та архітектури. – Одеса, 2021.

**Метою роботи** є підвищення ізоляційних властивостей конструкції за рахунок використання панелей з гумової крихти, отриманої з переробленої сировини.

**У вступі** обґрунтовано вибір теми дослідження, її актуальність, показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета та задачі досліджень, наведені положення наукової новизни та практичного значення отриманих результатів.

**У першому розділі** проаналізовано стан проблеми звукоізоляції огорожувальних конструкцій. Наведено принципи зниження рівня шуму та звукових хвиль. Проведено огляд основних типів звукоізоляційних матеріалів. Встановлено, що всі звукоізолюючі матеріали можна розділити відповідно до основи, на якій вони виробляються, – на матеріали, вироблені на органічній основі та матеріали, виготовлені на неорганічній основі.

Встановлено, що звукоізоляційні конструкції більш ефективні порівняно зі звукоізоляційними матеріалами, оскільки розраховані на широкий частотний діапазон звукової хвилі, яка має високі проникаючі властивості. За рахунок застосування в звукоізоляційних конструкціях матеріалів різної густини і структури, а також через дотримання правил герметичності та відсутність жорстких зв'язків з іншими огорожувальними конструкціями їх ефективність значно збільшується.

Проведено огляд патентів та сучасних методів звукоізоляційних робіт. Проаналізувавши знайдені патенти на корисні моделі, наукові статті та праці,

встановлено, що тема звукоізоляції є досить актуальною. Але більшість цих патентів показують, що звукоізоляцію виконують за допомогою гіпсокартону, скла та нашаровуванням волокнистих матеріалів.

Сформульовано *робочу гіпотезу* роботи, згідно з якою найбільшу звукоізоляцію будуть мати панелі з меншою середньою густиною і виготовлені з гранул різного фракційного складу. Обґрунтування базується на тому, що при поширенні звукова хвиля зустрічає перешкоду, то в разі, коли її довжина значно менше перепони, буде спостерігатися явище відбивання хвиль. Якщо розміри перешкоди набагато менше довжини хвилі, буде спостерігатися явище дифракції: хвилі огинають перешкоду, заходячи в область геометричної тіні. У тих випадках, коли розміри перешкоди можна порівняти з довжиною хвилі, закони поширення звукової хвилі стають більш складними, тому, що одночасно має місце і певне відбивання, і дифракція. Перешкодою, від якої відбиваються хвилі, є будь-яка границя, на якій змінюється акустичний опір середовища. При падінні звукової хвилі на границю розділу двох середовищ, частина її енергії переходить в енергію відбитої хвилі, а частина проникає в інше середовище. Звукова хвиля, що розповсюджується в середовищі, досягає границі розділу цього середовища з іншим середовищем. При цьому виникають відбивна і заломлена хвилі. У нашому випадку такими середовищами є гранули гуми, в'язуче середовище та поровий простір.

У *другому розділі* описано методику проведення досліджень і наведено характеристики використаних матеріалів. В якості основної сировини для виробництва панелей в роботі застосовували використанні автомобільні шини. Встановлено, що зазначені панелі можуть використовуватися в звукоізоляційних конструкціях, а також в якості самостійного матеріалу для звукоізоляції. Для виготовлення зразків, які використовувались під час експерименту, був обраний метод при якому, під час переробки шин проводилось нагрівання гуми, після відбувалось розділення на металеві, текстильні та гумові складові, а потім гума подрібнювалась до фракції, яка

потрібна для досліджень. Для проведення експерименту були використані три фракційні комбінації гранул: 0,5-2,0 мм; 2,0-3,5 мм; 35% (0,5-2,0 мм) та 65% (2,0-3,5 мм).

Наведена загальна послідовність проведення досліджень. На всіх етапах досліджено вплив змінних першого параметра була прийнята товщина панелі: 10, 15 та 20 мм. Другим змінним параметром виступив показник середньої густини матеріалу панелі, в залежності від показників якої досліджували зразки були розділені наступним чином: близько  $\rho=600$  кг/м<sup>3</sup>, близько  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>, близько  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>. Третім змінним параметром прийнято гранулометричний склад суміші гранул, який змінювався таким чином: 0,5-2 мм; 2-3,5 мм; 0,5-2 мм (35%) + 2-3,5 мм (65%).

Разом з цим, також, були проведені вимірювання звукоізоляції для різних частотних діапазонів: для низьких (до 500 Гц), середніх (500-2000 Гц) та високих (2000-5000 Гц). Вимірювання проводилося таким чином, щоб потужність звуку була приблизно 105 дБ та випромінювалася протягом 60 секунд в два етапи.

*У третьому розділі* проаналізовано вплив змінних параметрів на показник звукоізоляції в огорожувальних конструкціях. Всього було виготовлено 27 зразків різної товщини, ваги і гранулометричного складу.

В ході проведення досліджень проаналізовано вплив частоти і гранулометричного складу суміші гранул на значення індексу звукоізоляції виробу. Також було показано варіювання величини звукоізоляції в залежності від товщини стінової панелі, яка була виготовлена з використанням гумової крихти. Розглянуто способи отримання і спектр застосування в сучасній промисловості гумової крихти, як матеріалу подрібнення зношених шин, що є одним з найбільш багатотоннажних полімерних відходів. Проілюстровано спосіб установки звукоізоляційних панелей під час проведення експерименту. Результати експериментів були порівняні між собою та представлені на діаграмах для кожної групи окремо.

Результати випробувань дозволили провести аналіз зміни показників звукоізоляції відносно зміни певних параметрів, а саме, як змінювався показник звукоізоляції при різній товщині зразка з постійним гранулометричним складом гумових гранул і середньою густиною матеріалу панелі, яка варіювалася для різних груп зразків. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що середня густина істотно впливає на показник звукоізоляції. Проаналізовано вплив факторів на теплоізоляційні властивості огорожувальної конструкцій. Результати експерименту показують, що перероблений каучук може поліпшити теплові властивості конструкції будівлі. Вибір матеріалу залежить від потреб і способу застосування виробів. Визначено, що для всіх зразків наявність в матеріалі виробу дрібних частинок гумової крихти дає найкращі результати. Також встановлено, що значення коефіцієнта теплопровідності зменшується зі зменшенням середньої густини матеріалу панелі.

*У четвертому розділі* проаналізовано вплив змінних параметрів на фізико-механічні та фізико-хімічні властивості панелей з переробленої гуми.

Проаналізовано вплив факторів на міцність при розтягу. Зразки були протестовані для перевірки загального ефекту і оцінки статистичної моделі, щоб отримати параметри, за допомогою яких можна оцінити очікувану подію залежно від прояву деформації і руйнування матеріалу. Також зразки випробувались для отримання даних модуля пружності для кожної групи зразків. Отримані результати використовувалися для визначення ступеня деформації по відношенню до даного навантаження. Також визначалось, як матеріал реагує та як він поводить ся в цих умовах. Отримані результати дозволяють визначити, як одинична зміна, наприклад, гранулометричного складу (або середньої густини, або кількості клею) впливає на зміну залежності від сили деформації. Встановлено, що при більш низькій густині матеріалу (менше  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ ), найкращі результати досягаються при раціональному розподілу гумових гранул за розмірами. Слід підкреслити, що панелі з більш високим показником середньої густини включають більшу

кількість клею. Тому можливо припустити, що цей параметр, також впливає на кінцеві результати.

Аналізувався вплив основних факторів на модуль пружності. Випробування проводилися на зразках, виготовлених відповідно до DIN 53504-S1. Згідно даного нормативного документу важливо, щоб дотримувався принцип обмеження площі максимум до 80% від пружної площі, який не має входити в зону пластичної деформації. Результати інтерпретувалися для визначення ступеня деформації по відношенню до даного навантаження і того, як матеріал реагує і як він поводить себе в цих умовах. Експериментальні дані були згруповані в три групи відповідно до щільності  $\rho=700 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  і  $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$ . Кожен із зразків також відрізнявся гранулометричним складом гумових гранул та кількістю в'язучого матеріалу. Аналіз результатів показав невеликий відсотковий розрив між ранжируемими зразками за модулем пружності. Спостерігається чітка тенденція, за якою найбільший вплив на формування властивостей надає середня густина матеріалу виробу.

Був проведений аналіз впливу основних факторів на пористість матеріалу панелей з переробленої гуми. Експеримент проводився за нормами EN 993-1: 2018. Аналіз результатів досліджень дозволив встановити, що зразки з гранулометричним складом із дрібних частинок гуми мають найвищу пористість практично у всіх зразків, незалежно від середньої густини матеріалу. Також встановлено, що зразки з гранулометричним складом з великих зерен гуми мають знижену пористість, незалежно від середньої густини матеріалу. Також підтверджено, що пористість матеріалу безпосередньо залежить від величини середньої густини твердої складової виробу: чим вище середня густина, тим нижче пористість матеріалу.

Проведено контроль внутрішніх напружень, що виникають в матеріалі панелі. Встановлено, що зміни розміру зерна гуми в матеріалі можуть бути виміряні у відсотках до та після прикладання навантаження. Було забезпечено порівняння фотографій, зроблених до і після вилучення зерна з

матеріалу (або вивільнення зерна, хоча б по обидва боки), тобто зроблених в однакових умовах. Вимірювання виконували в різних (переважно вертикальних) напрямках. Результати експерименту показали, що в матеріалі панелей з переробленої гуми виникають внутрішні напруження.

Проведене визначення куту внутрішнього тертя гранул та гранульованої ваги переробленої гуми. Тест проводився за допомогою цифрового вимірювання масштабу і обчислення з використанням тангенса кута. Оскільки матеріалу панелей не є в'язким матеріалом, обґрунтуванням був той факт, що при заливці матеріалу в одну точку створюється кіничне тіло, похідна якого розташована відносно основи, утворюючи певний кут. Цей кут представляє собою кут внутрішнього тертя частинок.

Результати досліджень впроваджені компанією Stas d.o.o (м. Дуго-Село, Хорватія) при монтажі звукоізоляційних панелей в зовнішніх стінах слюсарного заводу для зниження шуму від будівлі в оточуючому середовищі, а також у навчальному процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури та University Nord (Університет Север, Хорватія).

**Ключові слова:** гумова крихта, панель, звукоізоляція, теплоізоляція, міцність, пружність, деформації.

## ABSTRACT

Crnoja Andjelko. Efficient soundproofing materials for reconstruction of building enclosures. *Qualification scientific work* on the manuscript.

The thesis for candidate degree of engineering science (PhD) in the specialty 192 – Construction and civil engineering. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Odessa, 2021.

***The purpose of the work*** is to increase the insulating properties of the structure through the use of panels of rubber crumb obtained from recycled materials.

***The introduction*** substantiates the choice of research topic, its relevance, shows the relationship of work with scientific programs, plans, topics, formulates the purpose and objectives of research, and provides the provisions of scientific novelty and practical significance of the results.

In ***first section*** is analyzed the state of the problem of sound insulation of enclosing structures. The principles of noise reduction and sound waves are given. A review of the main types of soundproofing materials performed. It is established that all soundproofing materials can be divided according to the basis on which they are made - into materials made on an organic basis and materials made on an inorganic basis.

It is established that sound insulation structures are more effective along with sound insulation materials, as they are designed for a wide frequency range of the sound wave, which has high penetrating properties. Due to the use in sound insulation constructions of materials of different densities and structures, as well as compliance with the rules of tightness and the absence of rigid connections with other enclosing structures, the efficiency increases significantly.

A review of patents and modern methods of sound insulation works was performed. After analyzing the found patents for utility models, scientific articles and works, it was found that the topic of sound insulation is quite relevant. But most of these patents show that sound insulation is performed using drywall, glass and



layering of fibrous materials.

The working hypothesis of researching according to which the panels with smaller density and are made of granules of various fractional structure will possess the greatest sound insulation is formulated. The statement is based on the fact, when sound wave is spreading and encounters an obstacle, then in the case when its length is much less than the obstacle, the phenomenon of reflection of waves will be observed. If the size of the obstacle is much smaller than the wavelength, the phenomenon of diffraction will be observed: the waves envelop the obstacle, entering the area of geometric shadow. In cases when the size of the obstacle can be compared with the wavelength, the laws of spreading of the sound wave become more complex, because there is both a certain reflection and diffraction. The obstacle from which the waves are reflected is any boundary at which the acoustic resistance is changes. When a sound wave falls on the boundary between two media, part of its energy passes into the energy of the reflected wave, and part penetrates into another medium. A sound wave spreading in a medium reaches the boundary between this medium and another medium. At the same time there are arise reflected and refracted waves. In our case, such media are both granules with a binder and a pore space.

The method of research is described and the characteristics of the used materials are given. The main raw material for the production of panels in the researching it is reused car tires. It is established that the material can be used in sound insulation structures, and as an independent material for sound insulation. To make the samples used during the experiment, a method was chosen in which, during the processing of tires, it was heated, then divided into metal, textile and rubber components, and then the rubber was crushed to the required fraction. Three fractional combinations of granules were used for the experiment: 0,5-2,0 mm; 2,0-3,5 mm; 35% (0,5-2,0 mm) and 65% (2,0-3,5 mm).

*Second section* provides a general sequence of studies. At all stages the influence of variable parameters on the values of the studied properties is investigated.

First variable parameter is the thickness of the panel, for this work it was in three sizes: 10, 15 and 20 mm. The second variable parameter was the density of the panel, depending on the indicators of which, the test samples were classified as follows: about 600 kg/m<sup>3</sup>, about 700 kg/m<sup>3</sup>, about 900 kg/m<sup>3</sup>. The third variable parameter is the particle size distribution of the mixture, which varied as follows: 0.5-2 mm; 2-3.5 mm; 0.5-2 mm (35%) + 2-3.5 mm (65%).

At the same time, sound insulation measurements were performed for different frequency ranges: for low (up to 500 Hz), medium (500-2000 Hz) and high (2000-5000 Hz). The measurement was performed so that the sound power was approximately 105 dB and radiated for 60 seconds in two stages.

In *third section* was analyzed the influence of variable parameters during experiments on the sound insulation in enclosing structures. A total of 27 samples of different thickness, weight and particle size distribution were made.

While researching, the influence of the frequency and particle size distribution of the mixture on the value of the sound insulation index was analyzed. It was also shown the variation of the amount of sound insulation depending on the thickness of the wall panel, which was made using rubber crumb. The methods of obtaining and the range of applications in the modern industry of rubber crumb as a material for grinding worn tires, which is one of the most tonnage polymer wastes. The structure of installation of sound insulation panels during the experiment is illustrated. The results were compared and presented in the diagrams for each group separately.

The test results allowed analyzing the change in sound insulation performance relative to the change of certain parameters. Namely, how did the sound insulation index change at different sample thicknesses with constant particle size distribution and density, which varied in different groups and samples.

Based on the results obtained, we can conclude that the specific gravity significantly affects to the sound insulation. We mean that at a lower density there is a condition under which the thickness of the panel does not have a significant impact on the amount of sound insulation.

The third section also analyzes the influence of factors on the thermal insulation properties of enclosing structures. The results of the experiment show that recycled rubber can improve the thermal properties of the building structure. The choice of material depends on the needs and method of application. For all samples, the presence of fine particles gives the best results. It is also found that the value of the thermal conductivity decreases with decreasing average density.

In *fourth section* was analyzed the influence of variable parameters on the physico-mechanical and physico-chemical properties of recycled rubber panels. In the first stage of the fourth section, the influence of factors on tensile strength is analyzed.

The samples were tested to verify the overall effect and evaluate the statistical model to obtain parameters that can estimate the expected event in terms of deformation and fracture of the material. The samples were also tested to obtain modulus of elasticity for each group of samples. In the test, the tensile strength was checked so that the resistance was determined by applying force. The results are considered to determine the degree of deformation in relation to this load. It was also determined how the material reacts and how it behaves in these conditions.

The obtained results allow determining how a single change, for example, the particle size distribution (or density, or amount of glue) affects the change depending on the force of deformation.

The influence of the main factors on the modulus of elasticity was analyzed. The tests were performed on samples manufactured in accordance with DIN 53504-S1. According to this normative document, it is important to adhere to the principle of limiting the area to a maximum of 80% of the elastic area. It should not enter the zone of plastic deformation.

The results are interpreted to determine the degree of deformation in relation to a given load and how the material reacts and how it behaves under these conditions.

Analysis of the results shows a small percentage gap between the ranked samples by modulus of elasticity. There is a clear trend in which the specific gravity predominates.

The influence of the main factors on the porosity was analyzed. The experiment was carried out according to the norms EN 993-1: 2018.

Analysis of the research results allowed us to establish that the samples with particle size distribution of fine particles have the highest porosity in almost all samples, regardless of the density of the material. It was also found that samples with a particle size distribution of large grains have a reduced porosity regardless of the density of the material.

It is also confirmed that the porosity of the material directly depends on the mass of the solid component of the panel.

The control of the internal voltage of the panel was performed. It is established that changes in the grain size of the material can be measured as a percentage before and after application of the load. A comparison of photographs taken before and after the extraction of grain from the material (or the release of grain, at least on both sides), taken under the same conditions, was provided. Measurements were performed in different (mostly vertical) directions. The results of the experiment show that there are internal stresses in the material.

The stage is the analytical determination of the angle of internal friction of the granules and the granular weight of the processed rubber. The test was performed using digital scale measurement and calculation using the angle tangent. Because it is a non-viscous material, the fact was used that when pouring the material at one point, a conical body is created, the derivative of which is located relative to the base, forming a certain angle. This angle represents the angle of internal friction of the particles.

The research results were implemented by the company Stas d.o.o (Dugo Selo, Croatia) during the installation of soundproof panels in the outer walls of the locksmith's to reduce noise from the building in the environment, as well as in the educational process at the Odessa State Academy of Construction and Architecture and University Nord (University North, Croatia).

**Keywords:** rubber crumb, panel, sound insulation, thermal insulation, strength, elasticity, deformations.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

#### *Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Аналіз теплоізоляційних властивостей монолітного перекриття із застосуванням гумової крихти, як конструктивного шару. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. Вип. 73. С. 98–104.

2. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив діапазону частоти і товщини панелі із застосуванням гумової крихти на значення індексу звукоізоляції. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. Т. 26. № 1. С. 6–12.

3. Meneulyuk A., Popov O., Hostryk A., Crnoja A. Analysis of the change of sound insulation index from the range of frequency, density and thickness of the panel with the use of rubber crumb. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 96. № 2 (2). С. 353–358.

4. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив щільності панелі з застосуванням гумової крихти на показник звукоізоляції. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. С. 57–63.

#### *Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:*

5. Crnoja A., Kos Z., Popov O. Application of a Logarithmic Model on a Stress – Deformation Interdependence of the Recycled Tires. *Tehnički Glasnik*. 2019. Vol. 13. № 3. P. 180–183.

6. Crnoja A., Kersh V., Popov O., Dovichia A. Laboratory Studies of The Heat-Insulating Properties of the Panels that Made of Recycled Rubber. *Key Engineering Materials*. Vol. 864. P. 66–72.

7. Crnoja A. Panels made from recycled tire-application of linear model to test the tensile force. *Croatian Regional Development Journal*. 2020. Vol. 1. № 1. P. 1–15.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

8. Попов О.О., Гострик А.Н., Црноя А. Аналіз теплотехнічного розрахунку самоущільнюючої бетонної суміші з гумовою крихтою. *Актуальні проблеми інженерної механіки* : мат-ли V-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 22-25 травня 2018 р. Одеса, 2018. С. 191–193.

9. Попов О.О., Гострик А.Н., Црноя А. Вплив щільності панелі з застосуванням гумової крихти на показник звукоізоляції. *Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструк* : зб. тез наук. конф., м. Одеса, 23-24 квітня 2019 р. Одеса, 2019. С. 79–80.

10. Попов О. О., Гострик А.Н., Црноя А. Вплив діапазону частоти і товщини панелі із застосуванням гумової крихти на значення індексу звукоізоляції. *Експлуатація і реконструкція будівель і споруд* : мат-ли III-ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 26-28 вересня 2019 р. Одеса, 2019. С. 130.

11. Єрмакова С., Срноја А. Теплоізоляційні можливості гумової крихти на засадах бережливого будівництва: *75-ї наук.-техн. конф. проф.-викл. складу академії* : зб. тез наук. конф., м. Одеса, 16-17 травня 2019 р. Одеса, 2019. С. 282.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	15
ВСТУП.....	18
РАЗДЕЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ	3
ПИТАНЬ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	
ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	23
1.1. Стан проблеми звукоізоляції огороджувальних	
конструкцій.....	23
1.2. Основні положення про поняття «Звук».....	25
1.3. Джерела та різновиди шуму.....	30
1.4. Принцип зниження рівня шуму та звукових хвиль.....	32
1.5. Види та характеристики звукоізоляційних матеріалів.....	35
1.6. Огляд патентів та сучасних методів звукоізоляційних	
робіт.....	42
РАЗДЕЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	51
2.1. Матеріали для виготовлення зразків.....	51
2.2. Токсична дія подрібнених шин на здоров'я людей та	
навколишнє середовище.....	52
2.3. Виготовлення зразків для експерименту.....	53
2.4. Опис експерименту на визначення звукоізоляції	
панелей з гумовою крихтою.....	56
2.5. Опис експерименту на визначення теплоізоляції	
панелей з гумової крихти.....	61
2.6. Визначення властивостей зразків.....	67
2.6.1. Випробування зразків на міцність при	
розтягу.....	67
2.6.2. Визначення модуля пружності зразків.....	69

2.6.3.	Процедура випробування на вміст пор.....	71
2.7.	Визначення маси сухих гранул гумової крихти.....	74
2.8.	Контроль внутрішніх напружень зразків.....	75
2.9.	Визначення кута внутрішнього тертя сухих гранул гумової крихти.....	77
	Висновки по розділу 2.....	78
РАЗДЕЛ 3.	ВИЗНАЧЕННЯ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМОВИХ ПАНЕЛЕЙ.....	79
3.1.	Вплив рецептурно-технологічних факторів на звукоізоляційні властивості гумових панелей.....	79
3.2.	Вплив рецептурно-технологічних факторів на теплоізоляційні властивості гумових панелей.....	88
	Висновки по розділу 3.....	94
РАЗДЕЛ 4.	ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАНЕЛЕЙ З ПЕРЕРОБЛЕННОЇ ГУМИ.....	95
4.1.	Вплив основних факторів на міцність при розтягу гумових панелей.....	95
4.2.	Вплив основних факторів на коефіцієнт теплопередачі матеріалу гумових панелей.....	106
4.3.	Вплив основних факторів на модуль пружності гумових панелей.....	110
4.4.	Вплив основних факторів на пористість панелей з гумової крихти.....	124
4.5.	Контроль внутрішніх напружень в панелях, виготовлених переробленої гуми.....	128
4.6.	Визначення кута внутрішнього тертя гранул з	



переробленої гуми.....	131
4.7. Визначення гранульованої ваги зерен з переробленої гуми.....	135
4.8. Випробування механічних властивостей панелей на деформації розтягу.....	137
4.9 Визначення модуля пружності зразків при різних значеннях деформацій.....	144
4.10 Впровадження результатів роботи.....	147
Висновки по розділу 4.....	151
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	153
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	156
ДОДАТКИ.....	173
ДОДАТОК А.....	174
ДОДАТОК Б.....	177

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Захист від шуму і вібрацій є однією з основних вимог до будівель, які використовуються для промислового виробництва та в інших технічних галузях.

На сьогоднішній день вплив різних джерел шуму і вібрацій на організм людини дуже великий. Різна інтенсивність, частота, потужність і рівень шуму негативно впливають на виникнення і розвиток різних захворювань, деякі з яких проявляються через 20-30 років. Тому зниження шуму і забезпечення акустичного комфорту в будівлях та спорудах є актуальною проблемою, вирішення якої має велике соціально-економічне значення.

Звукоізоляція вважається одним з найбільш раціональних способів зниження шуму, що проникає в приміщення як з суміжних приміщень, так і ззовні будівлі. В той же час, використання традиційних методів забезпечення звукоізоляції веде до значного збільшення вартості будівництва. У зв'язку з цим, актуальною є розробка нових конструкцій, які мають одночасно необхідну звукоізоляцію та невелику масу. В даний час, все більшої популярності набуває напрям використання в якості сировини відходів у вигляді дисперсних матеріалів. Одним з таких матеріалів є гума крихта, отримана з перероблених шин.

Однак, на сьогоднішній час немає даних про умови використання гумової крихти в якості звукоізоляційного матеріалу. Крім того, необхідно визначити інші властивості матеріалу з гумового грануляту. Висновки щодо застосування цього матеріалу можна зробити тільки після проведення відповідних досліджень. Враховуючи вищесказане, дану роботу можна вважати актуальною та своєчасною.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Закону України від №2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» (напрямки «Енергетика та енергоефективність» та «Раціональне природокористування»)

та роботи кафедри «Технологія будівельного виробництва» Одеської державної академії будівництва та архітектури в рамках науково-дослідницької тематиці кафедри «Наукові основи вибору ефективних рішень у технології будівництва».

**Метою роботи** є підвищення ізоляційних властивостей конструкції за рахунок використання панелей з гумової крихти, отриманої з переробленої сировини.

Для досягнення мети поставлені **завдання:**

1. Розробити модель розповсюдження та затухання звукової хвилі в панелях з гумової крихти.
2. Вивчити вплив товщини та густини панелі з гумової крихти на її звуко- та теплоізоляційні властивості.
3. Визначити вплив гранулометричного складу гумової крихти на звуко- та теплоізоляційні властивості панелі.
4. Дослідити вплив гранулометричного складу гумової крихти, товщини та густини панелі на її фізико-механічні властивості.
5. Визначити вплив гранулометричного складу гумової крихти, товщини і густини панелі на властивості структури панелі.
6. Провести промислове впровадження отриманих результатів досліджень.

**Об'єкт досліджень** – структура і властивості панелей з гумової крихти, що призначені для підвищення ізоляційних властивостей огорожувальних конструкцій громадських будівель та споруд.

**Предмет досліджень** – закономірності впливу гранулометричного складу гумових гранул, товщини виробу і густини матеріалу на фізико-механічні та експлуатаційні властивості панелей, виготовлених з гумової крихти.

**Методи дослідження.** Випробування здійснювались за європейськими стандартами, стандартами Хорватії та України, а також за спеціально розробленими методиками із застосуванням атестованої вимірювальної

техніки та випробувального обладнання. Досліди проводили на фізичних моделях матеріалів та дослідних зразках.

Проведення досліджень на звукоізоляцію проводилось відповідно до стандарту ISO 717-1:2013. Дослідження на теплоізоляційні властивості проводилися за класичними методами стаціонарного одновимірного теплового потоку. Аналіз впливу основних факторів на модуль пружності проводився відповідно до DIN 53504-S1. Густина визначалась за нормами EN 993-1: 2018. Фізико-механічні властивості визначалися відповідно до діючих нормативів на повіреному обладнанні. Внутрішні напруження в структурі переробленого гумового матеріалу та аналітичне визначення куту внутрішнього тертя гранул визначалися за допомогою цифрового вимірювання та методу обчислення Піфагора з використанням кута тангенса. Виконано мікроскопічний аналіз структури матеріалу.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- доведена можливість використання панелей з гумової крихти в якості звуко- та теплоізоляції конструкції будівель та споруд при забезпеченні потрібного рівня їх фізико-механічних властивостей;
- визначені закономірності розповсюдження і затухання звукової хвилі в панелях з гумової крихти;
- встановлено вплив товщини та густини панелей на звуко- та теплоізоляційні властивості конструкцій будівель і споруд;
- виявлено вплив гранулометричного складу гумової крихти на звуко- та теплоізоляційні властивості конструкцій будівель і споруд;
- встановлено вплив гранулометричного складу гумової крихти, товщини і густини панелі на фізико-механічні та властивості структури панелі з гумової крихти.

**Практичне значення отриманих результатів.** Розроблені склади матеріалу для панелей з гумової крихти з підвищеними рівнями звуко- та теплоізоляційних властивостей, що дозволило, при відповідності звуко- та теплоізоляційних параметрів, отримати панелі з гумової крихти при

достатньому рівні фізико-механічних властивостей для проведення будівельних робіт. Можливість використання панелей з гумової крихти підтверджена у реальних умовах будівництва.

Дослідно-промислова партія панелей з гумової крихти виготовлена в компанії Gumi Impex (м. Вараждин, Хорватія), яка впроваджена компанією Stas d.o.o (м. Дуго-Село, Хорватія) при монтажі звукоізоляційних панелей в зовнішніх стінах слюсарного заводу для зниження шуму від будівлі в оточуючому середовищі. Результати досліджень використовуються в навчальному процесі в Університеті «Север» (Хорватія) та Одеській державній академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні робочої гіпотези і мети, в постановці завдань досліджень, в проведенні експериментальних досліджень структури і властивостей панелей з гумової крихти, обробці та узагальненні отриманих результатів, впровадженні результатів досліджень у виробництво та навчальний процес. Всі основні результати досліджень були одержані автором самостійно.

Особистий внесок автора в роботах, що надруковані в співавторстві, полягає в наступному:

- дослідження структури і нелінійних деформацій панелей з гумової крихти, призначених для підвищення звукоізоляційних властивостей конструкцій, узагальнення результатів [4, 9, 10];

- проведення досліджень впливу факторів на індекс звукоізоляції конструкцій з панелями з гумової крихти, узагальнення результатів [2, 3, 10];

- проведення досліджень впливу різних факторів на теплоізоляційні властивості монолітного перекриття із застосуванням гумової крихти як конструктивного шару [1, 8, 11];

- проведення досліджень впливу факторів на фізико-механічні та експлуатаційні властивості панелей з гумової крихти [5, 6, 7].

**Апробація дисертаційної роботи.** Основні положення і результати досліджень, виконаних в дисертаційній роботі, були представлені на таких міжнародних, всеукраїнських і регіональних конференціях та семінарах: міжнародна наукова конференція «Структурування, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (м. Одеса, 2019 р.), міжнародних науково-практичних конференціях «Актуальні проблеми інженерної механіки», (м. Одеса, 2018 р., 2020 р.), науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу (м. Одеса, 2019 р.), міжнародній науково-технічній конференції «Експлуатація і реконструкція будівель і споруд (м. Одеса, 2019 р.), науково-технічній конференції «Енергоефективне місто. ХХІ століття» (м. Одеса, 2020 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертації опубліковані у 11 наукових працях, з яких 4 статті у фахових виданнях України, 1 стаття у науковому періодичному виданні іншої держави, що входить до Європейського Союзу, 2 статті у наукових періодичних виданнях що індексуються наукометричним базами Web of Science та Scopus, 4 тези доповідей у збірниках наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 180 сторінок, з них 125 сторінок основної частини, 62 рисунки, 43 таблиці, список використаної літератури з 152 найменувань на 17 сторінках, а також додатки на 8 сторінках.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ТА МАТЕРІАЛІВ З ПИТАНЬ ІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТВИОСТЕЙ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

### 1.1 Стан проблеми звукоізоляції огорожувальних конструкцій

Проблема недостатньої звукоізоляції в цивільному будівництві виникла одночасно з появою самого поняття «масове будівництво». Як відомо, величина ізоляції повітряного шуму одношаровими конструкціями (стінами або міжповерховими перекриттями) визначається, перш за все, їх товщиною і масивністю. Для внутрішніх перегородок і перекриттів будівлі застосування подібних конструкцій не вирішує питання звукоізоляції. Збільшення товщини конструкцій з метою забезпечення належної звукоізоляції викликає багато інших негативних моментів. Перш за все, це істотно підвищує загальну вартість проекту та збільшує навантаження на фундамент. Тому товщина внутрішніх стін і перекриттів при проектуванні приймається мінімально достатньою для дотримання діючих будівельних норм у сфері захисту від шуму. Необхідний «запас акустичної міцності» у конструкціях практично завжди відсутній, внаслідок чого в реальному будівництві досить складно виявити міжквартирні стіни або перекриття, звукоізоляція яких відповідає нормативним значенням. З урахуванням неминучих втрат звукоізоляції через неякісно влаштовані шви і технологічні отвори, реальна величина ізоляції повітряного шуму виявляється нижчою від заявленої на величину від 2 до 10 дБ. Такі твердження можуть бути підтвержені математично в розрахунках, які використовуються при проектуванні конструкцій, а інструкції і спосіб показані авторами в [119].

Незважаючи на введення нових будівельних норм [1, 2, 3, 4, 17, 18, 19, 32, 35, 36, 61, 62] та інших стандартів, різних тестів, технічних паспортів виробників матеріалів [11, 29, 30, 31, 33, 34], а також на відповідні

дослідження [8, 9, 10] щодо підвищення звукоізоляції міжквартирних стін і перекриттів (в залежності від ступеня комфортності будівлі), загальна ситуація з недостатньою звукоізоляцією в масовому будівництві практично не змінилася за останні 30 років, навпаки, місцями відбулося її погіршення. Це обумовлено тим, що виконання необхідних звукоізоляційних заходів завжди викликає збільшення загальної вартості будівництва. У разі, коли кошти в будівництво вкладає приватний інвестор, у останнього присутній інтерес заощадити на «прихованих» роботах, не видимих для покупця при продажу житла. Звукоізоляційні заходи відносяться саме до числа таких заходів. Вдаючись до спеціалізованих акустичних вимірів, оцінити якість звукоізоляції між квартирами неможливо до повного заселення будинку, що в реальних умовах відбувається протягом декількох років після здачі об'єкта. Зважаючи на вищесказане, можна зробити висновок, що дослідження, пов'язані з забезпеченнями звукопроникності конструкцій будівель і споруд, є актуальними та своєчасними [80, 81, 94, 96, 110, 111].

На сьогоднішній день в будівництві житлового фонду слід враховувати ряд факторів, спрямованих на забезпечення умов комфортності перебування людей в будівлях і спорудах. Відповідно до сучасних вимог умов, забезпечення інсоляції, повітро- та паропроникності, теплоефективності огорожувальних конструкцій є основними факторами, що розглядаються в першу чергу. Однак, не слід забувати і про звукоізоляцію, що особливо важливо для будинків підвищеної комфортності.

Захист від шуму в будівлі має велике значення, особливо слід відзначити роль звукоізоляції житлових приміщень. Існує багато досліджень, присвячених проблемі та важливості утеплення житлових та інших просторів [20, 136, 137, 138]. Як свідчать роботи [5, 6, 7, 16, 60], крім ізоляції від повітряного шуму, не менш важлива ізоляція від ударного шуму. Нормованим параметром внутрішніх огорожувальних конструкцій (стін, міжкімнатних перегородок) житлових і громадських будівель є індекс ізоляції від повітряного шуму  $R_w$ , дБ. Нормативні значення індексів ізоляції



повітряного шуму внутрішніми огорожувальними конструкціями  $R_w$  наведені в табл. 1.1 згідно ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму». Тому, при проведенні досліджень властивостей матеріалів, з метою отримання нових знань про них, необхідно вивчати та застосовувати різні методи з метою одержання нових і кращих продуктів з точки зору ізоляції та акустичних властивостей матеріалу [85, 89, 90, 98, 101, 102, 108, 109, 129, 130, 131, 139].

Таблиця 1.1

## Допустимий рівень шуму

Призначення приміщень	Час доби	Еквівалентний рівень звуку, дБ	Максимально можливий рівень звуку, дБ
Житлові кімнати квартир	7.00 – 23.00	40	55
	23.00 – 7.00	30	45
Житлові кімнати гуртожитків	7.00 – 23.00	45	60
	23.00 – 7.00	35	50
Номери готелів, що мають за міжнародною класифікацією п'ять і чотири зірки	7.00 – 23.00	35	50
	23.00 – 7.00	25	40
Номери готелів, що мають за міжнародною класифікацією три зірки	7.00 – 23.00	40	55
	23.00 – 7.00	30	45

**1.2 Основні положення про поняття «Звук»**

Звук з'являється при порушенні частинок в гнучкому середовищі, дія яких призводять до зміни їх постійного положення. Зміна положення

частинок відбувається таким чином, що середовище, в якому відбувається рух або коливання є пружним [84]. При середньому значенні пружності, рух частинок в середовищі проявляється у вигляді звукової хвилі [63, 64]. Таким чином, звук – це коливання, які поширюються через повітря або інше середовище та можуть бути почуті.

Пружне середовище є таким середовищем, яке після впливу сили, повертається у вихідне положення рівноваги (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Звукові хвилі в повітрі: області стиснення і розрідження, що чергуються

Рух звукової хвилі залежить від різних факторів, що впливають на середовище, змінюючи його основні параметри: температуру, вологість, густину тощо. Середовище поширення звуку може бути у всіх трьох агрегатних станах:

- газоподібному (повітря, різні гази);
- рідкому (вода, ртуть, та ін.);
- твердому (бетон, сталь, ґрунт і т.п.).

У середовищі рідкого і газоподібного агрегатного стану (немає значної різниці в щільності матеріалу) звукова хвиля має поздовжнє поширення (рис. 1.2, а), в той час як жорсткі пружні середовища, крім поздовжнього напрямку поширення хвилі, викликають поширення поперечних хвиль через пружні деформації зсуву (рис. 1.2, б). У цій ситуації частинки коливаються перпендикулярно напрямку поширення хвилі.

Хвилі в твердих тілах, як правило, виникають в формі розтягуючих та згинальних хвиль (рис. 1.2, в, г). Швидкість поширення поздовжніх хвиль набагато вище, ніж швидкість поширення поперечних хвиль.

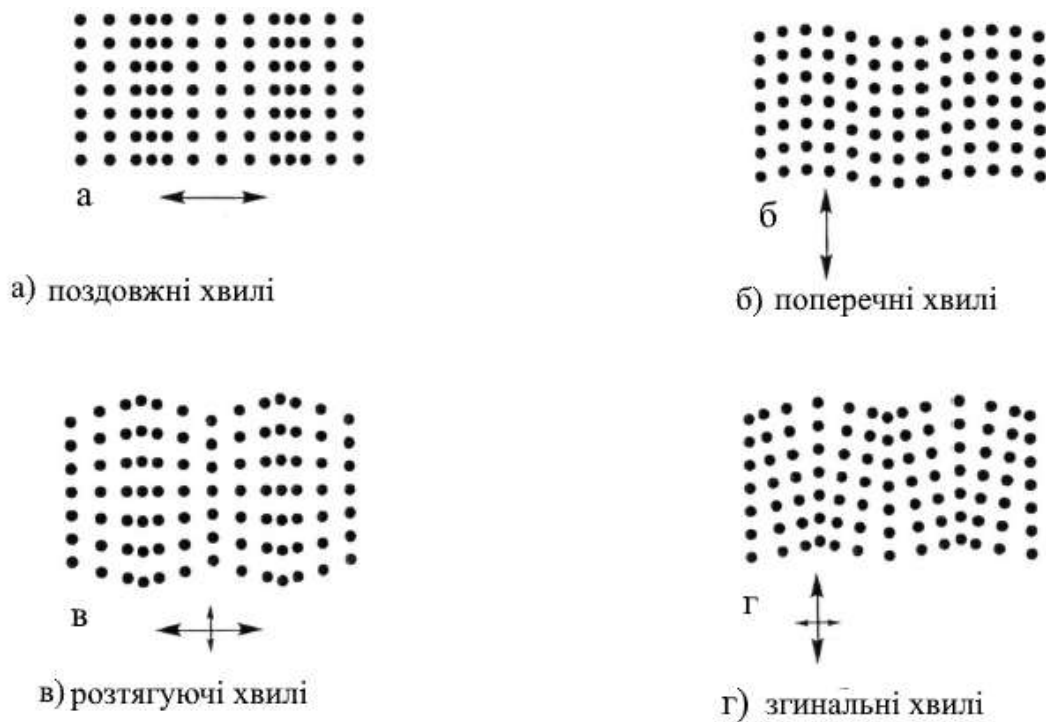


Рис. 1.2. Різновиди звукових хвиль в середовищі

Звукова хвиля не може з'явитися в наступних випадках:

- у вакуумі;
- у середовищі, яке не є пружним.

Звукові хвилі можуть бути: постійні; змінні; коливальні.

Змінні хвилі використовують частки середовища для передачі енергії та, таким чином, поширюються через середовище.

Постійні хвилі утворюються, коли дві хвилі з однаковими характеристиками рухаються в напрямку один до одного.

Рівні звукових хвиль, в залежності від частоти, розподілені таким чином:

- інфразвук – до 16 Гц (приклад: діагностика захворювань серця);

- акустичний звук – 16 Гц – 20 кГц (приклад: для зв'язку, а також вимірювання відстаней (звукометрія));

- ультразвукове дослідження (УЗД) – 20 кГц – 1 ГГц (приклад: гідролокація, очищення деталей, дефектоскопія деталей і будівельних конструкцій, прискорення хімічних реакцій, медичні та біологічні дослідження, молекулярна фізика);

- гіпер-звуки – вище 1 ГГц (приклад: при проведенні наукових досліджень).

Людське вухо (у людей с неушкодженим слуховим апаратом) чує звукові хвилі в діапазоні 16 Гц – 20 кГц. Механізм слуху полягає в тому, що б відчувати зміну тиску, яка відбувається в атмосфері (рис. 1.3). Суперпозиція полягає в тому, що звукова хвиля в одній половині свого коливання піднімається вище атмосферного тиску, а в інші – нижче рівня атмосферного тиску. Стандартний атмосферний тиск становить 101325 Па або 760 мм рт.

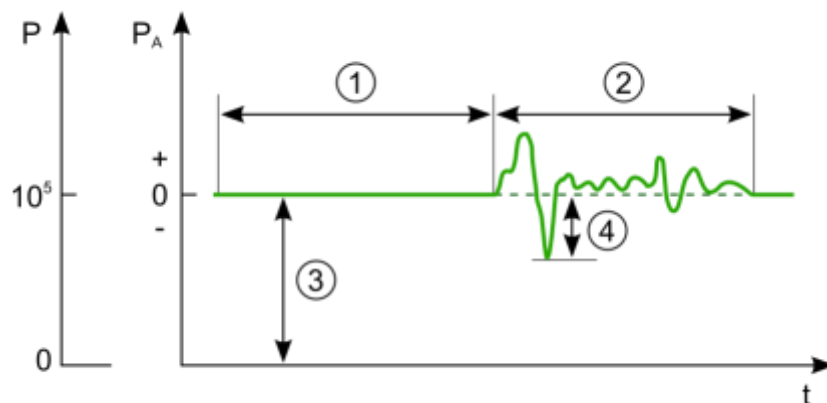


Рис. 1.3. Схема звукового тиску: 1 – тиша; 2 – звук, який чути;  
3 – атмосферний тиск; 4 – звуковий тиск

Важливо відзначити, що крім об'єктивних фізичних подразників, є й суб'єктивні.

Ці характеристики включають в себе:

- висоту та глибину тону (низька частота);
- об'єм – звуковий тиск (інтенсивність), частота;
- колірний тон – залежить від спектра складного тону.

Відносини між об'єктивними та суб'єктивними подразниками не є лінійними.

Механічний рух або коливання частинок в гнучкому середовищі описуються за допомогою основних елементів, що визначають звукову хвилю та її поширення, а саме:

- швидкість поширення звуку;
- частота;
- довжина хвилі;
- швидкість коливання і рух частинок;
- акустичний опір.

**Швидкість** поширення звукових хвиль залежить від характеристик середовища, через яке вони розповсюджуються.

**Частота** – фізична величина, яка характеризує періодичність процесу та дорівнює кількості повторень або виникнення подій (процесів) в одиницю часу.

**Довжина** хвилі є відстанню між двома сусідніми точками максимальної концентрації або між двома точками максимального розведення середовища, в якій звукова хвиля поширюється.

**Акустичний опір** – це відношення звукового тиску до швидкості частинок в середовищі, в якій поширюється звукова хвиля. Утворення швидкості звукової хвилі в залежності від щільності середовища (повітря) називається питомим акустичним опором.

Фізичні характеристики звуку є такими:

- звуковий тиск;
- інтенсивність звуку;
- щільність звукової енергії;
- потужність звуку;
- децибел;
- звуковий спектр.

**Звуковий тиск** – це змінний надлишковий тиск, що виникає в пружному середовищі при проходженні через нього звукової хвилі. Одиниця виміру – Паскаль (Па). Значення звукового тиску в точці середовища змінюється з часом, тому практичний інтерес представляє середньоквадратичне значення цієї величини, яке й береться до уваги як «звуковий тиск».

**Інтенсивність звуку** – це скалярна фізична величина, яка характеризує потужність, що переноситься звуковою хвилею в напрямку поширення.

**Децибел (dB)** – дольна одиниця бела, яка дорівнює однієї десятої цієї одиниці. Бел виражає відношення двох значень енергетичної величини десятковим логарифмом цього відношення.

Основні явища, що супроводжують поширення звуку – це відбитий звук та реверберація.

**Відбитий звук** – це звукове відлуння, яке помічають, коли в одній точці простору можна кілька разів почути звук з одного джерела, що пройшов по прямій колії та відбитий (можливо кілька разів) від навколишніх предметів.

**Реверберація** – це процес поступового зменшення інтенсивності звуку при його багатократних відображеннях. Іноді під реверберацією розуміється імітація даного ефекту за допомогою ревербераторів [ 44, 71, 72, 76, 77, 78, 79].

### 1.3 Джерела та різновиди шуму

Проблема звукоізоляції житлових будинків викликана збільшенням числа різних джерел шуму і його шляхів впливу на використовуваний простір та людей, які його використовують.

Існує дві групи:

- Зовнішні джерела звуку;
- Внутрішні джерела звуку.

Зовнішні звуки в значній мірі відносяться до звуків і вібрацій від доріг (близько 80%), а інша частина звуків – це різні природні явища, а саме: річки, збори великої кількості людей (на стадіонах, концерти) та промислові підприємства. Дороги, які є джерелом шуму, заслуговують на особливу увагу через вплив, який вони чинять на будівлі і навколишнє середовище [120].

Внутрішній шум і вібрації з'являються від роботи побутової техніки та приладів, різних установок зв'язку, людської мови, ходьби тощо [97, 112, 113, 117].

Шуми умовно можна розділити на чотири категорії: ударний шум, повітряний шум, структурний шум та акустичний шум. Дані категорії отримали свою назву в залежності від способу акустичного впливу на конструкцію.

Ударний шум виникає, коли конструкція приміщення приймає удар та, при цьому, коливання, які народжуються, передаються на стіни або перекриття. Даний шум викликається простою ходьбою людей по підлозі або переміщенням по квартирі домашніх тварин, пересуванням предметів (стілці, розсувні дивани і т.п.). Цей вид шуму є загалом цілком природним і викликається діями, прояв яких неможливо регламентувати за часом доби або за рівнем створюваного шуму. По конструкціях звукові коливання можуть поширюватися досить далеко, так як вони передаються на всі суміжні стіни, стелі та підлоги.

Голосно включений телевізор або гра на музичному інструменті – це вже джерело повітряного шуму. Звук з динаміка або з поверхні інструменту через повітря потрапляє на конструкцію, примушуючи матеріал в свою чергу коливатися та переносити шум в квартиру. Кожна перешкода, що стоїть перед повітряним шумом, в меншому або більшому ступені зменшує його дію. Якщо при передачі через повітря деяка кількість звукової енергії розсіюється, то у випадку з ударним шумом, збуджена ударом конструкція безпосередньо випромінює шум в суміжне приміщення, а також передає його сусіднім будівельним конструкціям будівлі. Саме через високу інтенсивність

шуму ударного типу відсоток скарг на нього значно більше, ніж на шуми від телевізора або дитячих криків. Разом з тим, сумарний вплив повітряного та ударного шумів з боку однієї поверхні призводить до того, що скарги на «шуми від сусідів» становлять понад 70% від загального числа скарг на підвищені рівні шумів в житлових будинках.

Структурний шум виникає при передачі вібрацій трубами, шахтами вентиляції та іншими елементами комунікацій. Деякі елементи комунікацій можуть передавати звуки на великі відстані.

Акустичний шум найчастіше виникає в невпорядкованих приміщеннях та проявляється у вигляді відлуння. Тому необхідно докласти усіх зусиль, щоб не допустити його впливу на внутрішній простір. Вирішення цієї проблеми вирішується за допомогою використання різних матеріалів та технологій [128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 139, 142].

За характером шуми розрізняють:

- низькочастотні спектри, у яких максимальний звуковий тиск знаходиться в області частот нижче 300 Гц;
- середньо частотні спектри, у яких максимальний звуковий тиск знаходиться в області частот 300-800 Гц;
- високочастотні спектри, у яких максимальний звуковий тиск знаходиться в області частот вище 800 Гц [100].

#### **1.4 Принцип зниження рівня шуму та звукових хвиль**

У житлових будинках звукоізоляція внутрішніх приміщень розраховується відповідно до акустичного комфорту.

Акустичний комфорт – це поняття, яке необхідно забезпечити в приміщенні для комфортної атмосфери в просторі [74, 76, 78, 79].

Рішення проблеми захисту акустичного комфорту є досить важливим навіть на етапі проектування. Розв'язати цю проблему можна, групуючи безшумні та галасливі простори, розділяючи їх та відокремлюючи звук. Після



такого розділу простору, через застосування дизайнерських і будівельних рішень, можна отримати необхідний рівень захисту від шуму та вібрації. Слід підкреслити, що звукоізоляція також залежить від звукопроникності (провідності структури) або однорідності структури матеріалу конструкцій.

Кількість захисних матеріалів від вібрації звуку є обмеженою, до них можливо віднести:

- вібраційно-утримуючі матеріали;
- матеріали з вираженими відмінностями в товщині, об'ємній масі та еластичних з'єднаннях в точках з'єднання;
- звукоізолюючі ущільнення на стиках конструкції;
- використання різних матеріалів, таких як настінне і підлогове покриття, а також використання їх в системі плаваючої підлоги.

Звукоізоляція використовується для зниження рівня шуму, вібрацій та звуку, що надходить ззовні всередину або навпаки [103, 105, 115, 118, 121, 122]. Якість звукоізоляції визначається здатністю зменшити шум та вимірюється в децибелах (дБ). Нормованим параметром ізоляції повітряного шуму внутрішніми огорожувальними конструкціями (стіни, перегородки, перекриття) житлових і громадських будинків, а також господарських будинків управлінь промислових підприємств є індекс ізоляції повітряного шуму огорожувальної конструкції,  $R'W$ , дБ. Нормованим параметром ізоляції ударного шуму міжповерховими перекриттями є індекс ізоляції ударного шуму міжповерхового перекриття  $L'nW$ , дБ.

Індекс ізоляції повітряного шуму  $R'W$  огорожувальної конструкції визначають згідно з ДСТУ Б В.2.6-85 шляхом зіставлення частотної характеристики ізоляції повітряного шуму даною огорожувальною конструкцією  $R'W$  зі стандартною оціночною частотною характеристикою ізоляції повітряного шуму [2].

Індекс ізоляції ударного шуму  $L'nW$  міжповерхового перекриття визначають згідно з ДСТУ Б В.2.6-85 шляхом зіставлення частотної характеристики приведенного рівня ударного шуму в приміщенні під

перекриттям  $L'_n$  зі стандартною оціночною частотною характеристикою ізоляції ударного шуму.

Внутрішні огорожувальні конструкції задовольняють нормативним вимогам, якщо їх фактичні величини індексів ізоляції повітряного шуму  $R'W$  є не меншими від наведених у табл. 1.1 нормативних величин  $R'W_{\text{норм}}$  ( $R'W_{\text{факт}} \geq R'W_{\text{норм}}$ ), фактичні величини індексів ізоляції ударного шуму міжповерхових перекриттів  $L'_n W_{\text{факт}}$  є не більшими від нормативних величин  $L'_n W_{\text{норм}}$  ( $L'_n W_{\text{факт}} \leq L'_n W_{\text{норм}}$ ).

Для зменшення рівня шуму здебільш використовують декілька методів:

- звукоізоляція;
- звукопоглинання.

Задачею звукоізоляції є відбивання звуку, не дозволити йому пройти крізь стіну приміщення. Характерна будова звукоізолюючих матеріалів створює перешкоду просування звуку та відображає його. До звукоізолюючих відносяться щільні матеріали, такі як бетон, цегла, гіпсокартон та інші матеріали, здатні відбивати звук.

Задачею звукопоглинання є поглинання шуму, не дати йому відбитися від перешкоди назад у кімнату.

Звукопоглинальні матеріали мають волокнисту, зернисту або пористу будову [86, 88, 114, 123, 125, 135, 142].

Характеристика поглинання звуку оцінюється коефіцієнтом звукопоглинання. Коефіцієнт звукопоглинання змінюється в межах від 0 до 1. При нульовому значенні коефіцієнта звукопоглинання звук повністю відбивається, при повному звукопоглинанні коефіцієнт дорівнює одиниці. До звукопоглинальних матеріалів відносять ті, які мають коефіцієнт звукопоглинання не менше 0,4.

За ступенем жорсткості звукопоглинальні матеріали бувають:

- тверді;
- м'які;
- напівжорсткі.

Тверді матеріали виробляються на основі гранульованої або суспендованої мінеральної вати, тобто матеріали, до складу яких входять пористі заповнювачі такі як пемза, спучений перліт, вермикуліт. Коефіцієнт звукопоглинання цих матеріалів 0,5, середня густина – 300-400 кг/м<sup>3</sup>.

М'які звукопоглинальні матеріали виготовляються на основі мінеральної вати або скловолокна, а також зі звичайної бавовняної вати. Коефіцієнт звукопоглинання таких матеріалів від 0,7 до 0,95, середня густина – до 70 кг/м<sup>3</sup>.

До напівжорстких матеріалів відносяться мінераловатні або скловолокнисті плити, матеріали з комірчастим будовою, наприклад, пінополіуретан й т.п. Коефіцієнт звукопоглинання цих матеріалів від 0,5 до 0,75, середня густина – від 80 до 130 кг/м<sup>3</sup>.

### **1.5 Види та характеристики звукоізоляційних матеріалів**

Звукоізоляційні матеріали відображають шуми, перешкоджаючи подальшому поширенню звуку [82, 83, 99, 116, 124, 126, 127, 140]. Ці матеріали є ефективними при боротьбі з повітряним шумом. До таких матеріалів відносяться важкий бетон, силікатна цегла, шари гуми високої маси і демпфуючого шару м'якої гуми пористої структури, перероблені шматочки різних типів акустичної піни (спресованих в плити дуже високої щільності) та інші високо щільні матеріали при їх достатньої ваги і товщини.

Інша можливість підвищити звукоізоляцію матеріалу конструкцій базується на використанні будівельних композитів на основі певних матеріалів або матеріалів, що містять добавки полімерів [12, 141, 143, 144, 145, 146].

Звукоізоляційні конструкції є більш ефективними поряд зі звукоізоляційними матеріалами, оскільки розраховані на широкий частотний діапазон звукової хвилі, що має високі проникаючі властивості. За рахунок

застосування в звукоізоляційних конструкціях матеріалів різної щільності та структури, а також дотримання правил герметичності і відсутність жорстких зв'язків з іншими огорожувальними конструкціями можна значно збільшити звукоізоляцію об'єктів.

Шум від доріг є основним джерелом постачання шумів в приміщення будівель. Основний захист від цього виду шуму досягається за допомогою використання конструкцій, які називаються шумозахисними або звуковими бар'єрами. Розрахунки та проектування шумозахисних екранів виконуються по-різному, але всі направлені на зниження шумового впливу на будівлі та навколишнє середовище [87, 91, 92, 93, 95, 104, 106, 107].

Технологічно звукова ізоляція забезпечується за рахунок всіх шарів конструкції (рис. 1.4).

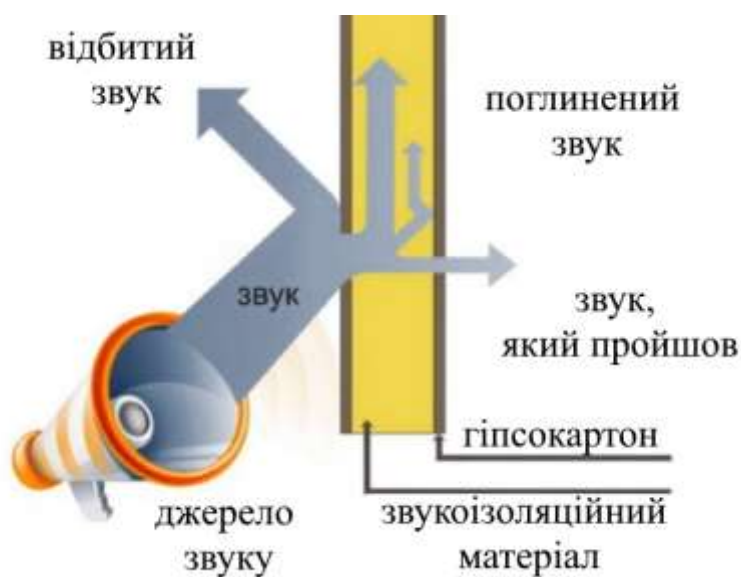


Рис. 1.4. Схема захисту звукоізоляційної конструкції від звукових хвиль

Звукоізоляційні конструкції працюють на:

- загасання – зменшення звукової енергії в отворах звукоізоляційних матеріалів шляхом перетворення звукової енергії в теплову;
- блокування – захист від звукових хвиль шляхом створення акустичних перешкод або герметичних перегородок;

- переломлення – зменшення енергії звуку при проходженні через багат шарову структуру стінок;
- ізоляцію – обмеження звуку в просторі, в якому хвиля розсіюється.

В офісних приміщеннях основною проблемою є повітряний звук. Сучасні будівлі побудовані таким чином, що один великий простір розділено на кілька малих за допомогою перегородок з гіпсових дощок або аналогічних матеріалів.

Найбільш поширеними є наступні види звукоізоляційних матеріалів, які можна розділити відповідно до основи, на якій їх виробляють:

- матеріали, вироблені на органічній основі;
- матеріали, виготовлені на неорганічній основі.

Звукоізолюючі вироби з неорганічних матеріалів виробляють із певної сировини. Найбільш широко використовуваним мінеральним продуктом є мінеральна вата, яка може бути в декількох варіантах, а саме:

- кам'яна вата – виробництво кам'яних мінералів, доломіту, базальту і діабазу з додаванням коксу;
- вата, вироблена зі скловолокна – кварцового піску з додаванням переробленого скла;
- мінеральна вата з керамічних волокон, а також з іншої сировини та з використанням різних технологій виробництва:
  - синтетичні каучукові матеріали та перероблена гума;
  - скловолокно;
  - матеріали на основі кремнієвих волокон;
  - піна;
  - аерозоль;
  - перліт;
  - різні синтетичні матеріали для звукоізоляції у вигляді тканин, пластин, сипучих матеріалів та інші.

Основною сировиною для виготовлення кам'яної вати (рис. 1.5) є натуральні матеріали: діабаз і доломіт, в меншій мірі, базальт. Продукт являє

собою волокна з вовняного каменю. Кам'яна вата є хорошим теплоізолятором та, завдяки відкритій структурі, стає винятковим звуковим ізолятором. Кам'яна вата стійка до високих температур (більше 1000°C) та має відмінні вогнестійкі властивості.



Рис. 1.5. Кам'яна вата

Для виготовлення скловати (рис. 1.6), одного з видів мінеральної вати, необхідною сировиною є скляні відходи і матеріали, з яких виробляється скло (кварцовий пісок, вапняк, сода). Скляна вата має необхідний коефіцієнт теплопровідності та звукоізоляційні властивості, але більш низьку вогнестійкість. Процес виробництва дуже схожий на процес отримання кам'яної вати.



Рис.1.6. Скловата

Мінеральна вата з керамічних волокон також належить до групи мінеральної вати та виготовляється з керамічної вовни. Цей вид вати є

надзвичайно стійким до високих температур. Керамічна шерсть складається з аморфних волокон різної довжини і діаметрів. Діаметр волокна зазвичай становить від 0,2 до 0,4 мкм. Волокна отримують таким шляхом: розплавлені  $Al_2O_3$  і  $SiO_2$  змішують в пропорції 1:1, а потім піддають видувному формуванню, після чого досягається кінцева аморфна структура матеріалу.

Матеріали, отримані на органічній основі:

Полістирольна піна являє собою різні полімери. В усіх випадках це полістирольна піна, які є основою для виробництва полістиролу. Існує кілька різних процедур для виробництва різних типів полістиролу, а саме: пінополістирол (EPS); екструдований полістирол (XPS); пресований полістирол.

Пінополістирол (рис. 1.7) застосовується в фасадних системах, системах плаваючої підлоги, в різних сандвіч-системах, в якості покриття. Основною ізоляційною метою є тепловий захист і захист від ударного звуку.



Рис. 1.7. Пінополістирол

Екструдований полістирол (рис. 1.8) застосовується для теплоізоляції в ґрунті, в зоні під впливом вологи і підвищеного механічного навантаження.



Рис. 1.8. Екструдований полістирол

Пресований полістирол (рис. 1.9) використовується для виготовлення попередньо визначених елементів, наприклад блоків, які мають бути ізольовані від тепла та звуку.

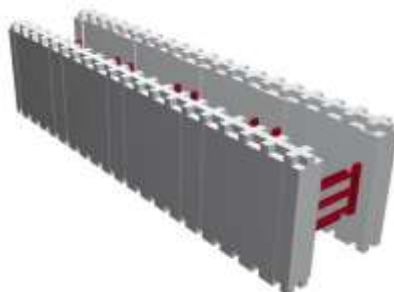


Рис. 1.9. Пресований полістирол

Метою різноманітних методів обробки пінополістиролу є виготовлення матеріалів з різного розміру порами та частинками. Співвідношення розмірів пор і розмірів частинок істотно впливає на фізичні властивості ізоляційного матеріалу в усіх сегментах його застосування.

Поліуретанова піна є іншим важливим матеріалом на основі полімерів. Цей вид піни створюється шляхом об'єднання двох компонентів, що взаємодіють шляхом утворення піни зі створенням замкнутого та стабільного зростання структури, наповненої газом. Поліуретанова піна являє собою термореактивний матеріал, кінцевий продукт якого є монолітний матеріал з різними прошарками.

Розрізняють:

- жорсткий поліуретан (рис. 1.10) має замкнуту структуру з низьким коефіцієнтом теплопередачі та низькою паропроникністю;

- м'який поліуретан (поролон) має відкриту структуру та хороші зондувальні властивості (рис. 1.11), а також високий коефіцієнт звукопоглинання.





Рис. 1.10. Жорсткий поліуретан



Рис. 1.11. М'яка поліуретанова піна

Матеріали з біомаси в основному виходять з перероблених біоматеріалів та відходів обробки деревної сировини. Також вони можуть застосовуватися як в покритті стін, так і в підлоговому покритті.

До матеріалів, виготовлених на основі біомаси відносяться:

- деревостружчасті плити;
- деревоволокнисті плити;
- OSB плити та ін.

Переваги, недоліки та стійкість звукоізоляційних матеріалів на органічній основі є такими. До переваг полімерних ізоляційних матеріалів відноситься те, що вони легкі, стійкі до впливу вологи (поглинання при низькій вологості до 5%), іржі та плісняви, надзвичайно зручні та доступні з точки зору будівництва. Недоліки цих матеріалів виникають при виробництві, застосуванні та експлуатації.

Недоліки, що виникають при виробництві, пов'язані з вогнестійкістю (max 90°C), відповідно виникає необхідність захисту від горючих матеріалів.

Основними речовинами, які використовуються при переробці та виробництві, є стирол, бензол і етилен. Короткочасний вплив цих речовин викликає роздратування травного тракту, а довгострокове використання призводить до серйозного пошкодження нервової системи. Бензол може викликати лейкемію та канцерогенні дії на організм людини.

Проте, такий матеріал не руйнується впродовж довгого терміну використання, але його переробка надзвичайно дорога.

## **1.6 Огляд патентів та сучасних методів звукоізоляційних робіт**

Дослідження та вивчення звукоізоляції детально розглядається у роботах багатьох авторів.

Вченими Косьміним Г. Т., Чернишевою Т. О., Чупраковською О. В. була запропонована корисна модель [5], яка може бути використана для будівництва стін і перегородок, до яких пред'являються вимоги щодо звукоізоляції при створенні полегшених огорожень з підвищеною звукоізоляцією в області низьких, середніх і високих частот. Задачею запропонованої корисної моделі є розширення діапазону частот звукоізоляції та зниження матеріальних затрат. Ця задача досягається тим, що якщо у подвійній перегородці, зовнішній і внутрішній шар якої складається із двох листів однакової товщини, забрати один лист і, тим самим, змінити співвідношення циліндричних жорсткостей зовнішнього і внутрішнього шару у 8 раз, то звукоізоляція такої конструкції збільшиться за рахунок взаємного перекриття провалів на границях хвильового збігу.

Недоліком таких конструкцій є складність конструктивного рішення та монтажу, які приводять до погіршення якості виконання та зниження звукоізоляції.

Серед корисних винаходів вчених України доволі актуальним є використання запропонованої Федоровим В. В. конструкції – звукопоглинаюча плита. Ця плита відрізняється тим, що звукопоглинаючим матеріалом в ній виступає скло [6]. Скло може бути застосоване у вигляді моноліту, наприклад, у вигляді плоского листа, або із поверхнею змінної форми, наприклад, хвилястою. Звукопоглинаюча плита складається з основи і звукопоглинаючого матеріалу – скла, яке кріпиться, наприклад, приклеюється, до основи. З протилежних сторін основи, а ще краще – по периметру, залишають непокриті смужки для можливості скріплення з іншими основами або конструкціями. Скло може мати зовнішню поверхню плоскою, змінної форми, наприклад, у вигляді прямих хвиль, концентричних, дугоподібних з єдиним центром дуг або з різними центрами. Скло може бути встановлене у вигляді скріплених гранул. Якщо звукопоглинаюче покриття виконане із скляних гранул, то воно легко, а головне – без шкоди для себе, продувається повітрям або промивається м'яким розчином і водою.

Досвід Абракітова В. Е. відноситься до розробки та дослідження технічних засобів боротьби з шумом на шляху його поширення шляхом звукоізоляції, тобто до звукоізолюючих елементів, з яких набирають звукоізолююче облицювання та ін. [7]. В основу праці Абракітова В. Е. поставлено завдання удосконалення звукоізолюючого елемента, в якому шляхом введення нових конструктивних елементів забезпечується зменшення коефіцієнту пропущення звуку, за рахунок чого підвищується звукоізолююча здатність до максимально можливої величини. Поставлене завдання досягається тим, що звукоізолюючий елемент, що містить корпус із звуковбирною прокладкою з можливістю забезпечення вакууму у внутрішній порожнині. Згідно з корисною моделлю, корпус елемента виконано цільним і герметичним, звуковбирна прокладка розміщена як на лицьовому, так і на тильному боках елемента, причому в корпусі й на несучих конструкціях спорудження, до яких закріплено звукоізолюючий елемент, розміщено магніти, що утворюють безконтактні вузли кріплення – магнітну підвіску.

Полярність і напруженість магнітного поля зазначених магнітів підібрано таким чином, що між корпусом звукоізолюючого елемента і несучими конструкціями спорудження, до яких закріплено звукоізолюючий елемент, утворений проміжок, заповнений атмосферним повітрям, а у внутрішній порожнині звукоізолюючого елемента забезпечено середній вакуум. Також завдання досягається тим, що в конструкції безконтактних вузлів кріплення використано електромагніти. Технічним результатом корисної моделі є зменшення коефіцієнта пропускання звуку, котрий являє собою відношення потоку звукової енергії, що пройшов через звукоізоляцію до загального (вхідного) потоку звукової енергії.

У роботі Боганика А. Г. [8] детально досліджено стан проблеми додаткової звукоізоляції огорожувальних конструкцій та на основі фізичної моделі розроблений метод розрахунку звукоізоляції одношарових і багатошарових звукоізолюючих конструкцій, в основу якого покладено принцип можливої заміни значень хвильового імпедансу при згинальних коливаннях жорстких і тонких в хвильовому відношенні верств конструкції на резонансних та анти-резонансних частотах його середнє геометричної величини. Введено поняття середнього коефіцієнта збудження для мод коливань жорстких шарів обмежених розмірів в смузі частот і запропонована формула для його обчислення. Розрахунок звукоізоляції конструкції проводиться шляхом перемноження хвильових матриць її шарів, що дозволяє розрахувати частотну характеристику для будь-якої заданої кількості шарів. Формули представлені у вигляді, зручному для програмної реалізації на електронно-обчислювальній техніці. Наукова новизна даної роботи полягає в дослідженні механізмів додаткової звукоізоляції багатошаровими конструкціями, оцінці впливу «звукових містків» різного роду на зниження акустичної ефективності даних конструкцій і розробці більш ефективних практичних рішень з урахуванням віброакустичних характеристик кожного з застосовуваних в багатошарових конструкціях шарів або вузлів кріплення.

Богаником А. Г. запропоновано принципово новий, запатентований тип звукоізоляційних конструкцій для додаткової звукоізоляції масивних одношарових будівельних конструкцій. Це повністю готові до застосування багатошарові сандвіч-панелі, що мають додаткову звукоізоляцію з конструктивно виконаними в них вузлами кріплення до конструкцій, які треба захистити (стіни або перекриття). Розроблені рішення в істотній мірі позбавлені недоліків відомих конструкцій подібного типу та дозволяють отримати високі значення акустичної ефективності при аналогічних показниках товщини, вартості та переліку застосовуваних в конструкції панелі матеріалів. В даній роботі розроблена розрахунково-фізична модель і запропоновано метод інженерного розрахунку додаткової звукоізоляції багатошарових конструкцій (в тому числі при використанні сандвіч-панелей), який з високим ступенем точності дозволяє аналізувати і прогнозувати акустичну ефективність проєктованих конструкцій.

У роботі Ретлінга Е. В. [9] вирішуються питання дослідження звукоізоляції огорожувальних конструкцій будівель та підвищення її рівня, приводяться результати дослідження власної та фактичної ізоляції повітряного шуму внутрішніми огорожувальними конструкціями будівель, розробка методів розрахунку та оцінки звукоізоляції, дослідження коливань міжповерхових перекриттів під дією періодичних ударів стандартного молотка, дослідження ізоляції ударного шуму міжповерховими перекриттями будівель, розробка методів її розрахунку та оцінки та розробка ефективних способів підвищення фактичної звукоізоляції внутрішніх огорожувальних конструкцій будівель. В роботі Ретлінга Е. В. використовувалися як теоретичні, так і експериментальні методи дослідження. Теоретичний аналіз ізоляції ударного шуму прямокутної пластиною, заснований на розкладанні її коливань за власними формами, з фільтрацією кожної з них через смугопрускаючий фільтр. Розрахунок фактичної ізоляції повітряного шуму базувався на існуючій методиці визначення непрямої передачі шуму в будівлях. Експериментальні дослідження проводилися в великих акустичних

камерах, моделях кімнат і будівлях за стандартною методикою за допомогою апаратури, що використовує аналоговий спосіб вимірювання. Результати оброблялися за допомогою статистичних методів. Отримано аналітичні вирази для визначення рівня ударного шуму під прямокутною пластиною та системою з двох пластин з пружним шаром між ними під дією періодичних ударів стандартного молотка з фільтрацією через стандартні смугові фільтри, спектри амплітуд і фаз. Оцінено вплив хвильових процесів в пружному шарі перекриття на величину зниження рівня ударного шуму. Наведено залежності для розрахунку частотної характеристики власної ізоляції повітряного та ударного шумів одношаровим огороженням, індексів фактичної звукоізоляції та їх зміни при влаштуванні додаткових конструктивних елементів. Представлено розрахунок підвищення фактичної звукоізоляції. Ретлінгом Е. В. було розроблено ефективний спосіб підвищення фактичної звукоізоляції огорожувальних конструкцій. Запропоновано розрахунок приведеного рівня ударного шуму під міжповерховими перекриттями з підлогами на пружній основі з урахуванням хвильових процесів в ньому. Розроблено спосіб оцінки фактичної ізоляції повітряного і ударного шумів внутрішніми огорожувальними конструкціями будівель зі звичайною конструктивно-планувальною схемою. Запропоновано розрахунок частотної характеристики власної ізоляції повітряного шуму одношаровими перегородками та приведеного рівня ударного шуму несучими частинами міжповерхових перекриттів.

Вченим Гребневим П. О. розроблено метод розрахунку звукоізоляції сендвіч-панелей кінцевих розмірів, що дозволяє проводити детальний теоретичний аналіз проходження звуку з урахуванням геометричних і фізико-механічних параметрів облицювань та середнього шару і товщини шарів акустичного роз'єднання. Це дає можливість проектувати звукоізолюючі огорожувальні конструкції будівель шляхом ефективного використання резервів підвищення звукоізоляції, без значного збільшення їх маси і товщини. Були розроблені нові раціональні по звукоізоляції

конструктивні рішення огороджувальних конструкцій з сандвіч-панелей, які дозволяють розширити можливість їх застосування в цивільному та промисловому будівництві за рахунок підвищення їх звукоізоляції в нормованому діапазоні частот [10].

Проаналізувавши знайдені патенти на корисні моделі, наукові статті та праці, можна зробити висновок, що тема звукоізоляції є досить актуальною. Але більшість цих патентів показують, що звукоізоляцію виконують за допомогою гіпсокартону, скла та нашаровуванням волокнистих матеріалів.

Довжини хвиль звукового діапазону лежать в межах від декількох сантиметрів до десятків метрів. Хвиля частотою 20 кГц має в повітрі довжину приблизно 16 мм, а частотою 20Гц – 16 м. Тому при поширенні звукових хвиль виникає досить складна картина. Якщо при поширенні звукова хвиля зустрічає перешкоду, то в разі, коли її довжина значно менше перепони, буде спостерігатися явище відбивання хвиль. Якщо ж розміри перешкоди набагато менше довжини хвилі, буде спостерігатися явище дифракції: хвилі огинають перешкоду, заходячи в область геометричної тіні. В тих випадках, коли розміри перешкоди можна порівняти з довжиною хвилі, закони поширення звукової хвилі стають більш складними, тому, що одночасно має місце і певне відбивання, і дифракція. Перешкодою, від якої відображаються хвилі, є будь-яка границя, на якій змінюється акустичний опір середовища. В нашому випадку звук відбивається як від гранул гумової крихти (різного розміру) і в'язучого матеріалу, так і від поверхонь розділу «пора – тверда» фаза.

При падінні звукової хвилі на границю розділу двох середовищ частина її енергії переходить в енергію відбитої хвилі, а частина проникає в інше середовище. Звукова хвиля, що розповсюджується в середовищі 1, досягає межі розділу цього середовища з іншим середовищем 2. При цьому виникають відбита та заломлена хвилі. В нашому випадку такими середовищами є гранули гумової крихти, в'язуче середовище і поровий простір.

Відбита хвиля поширюється від границі розділу в середовищі 1, що і первинна (падаюча) хвиля. Згідно із законом відбивання, відбита хвиля знаходиться в одній площині з падаючою хвилею і нормаллю до поверхні розділу середовищ, проведеної в точці падіння. При цьому кут відбиття дорівнює куту падіння. Енергія відбитої хвилі залежить від того, як відрізняються акустичний опір розглянутих середовищ, на границю між якими падають звукові хвилі.

Заломлена хвиля поширюється в середовищі 2. Згідно із законом заломлення, переломлений промінь знаходиться в одній площині з падаючим променем і нормаллю до поверхні розділу середовищ, проведеної в точці падіння. Заломлена хвиля буде поширюватися з відмінною від початкової інтенсивністю. Проникаючи в інше середовище, де швидкість звуку не така, як в першому середовищі, хвиля відхиляється від свого первісного напрямку. Зміна напрямку поширення звукових хвиль при переході з одного середовища в інше називається коефіцієнтом проникнення, який залежить від характеристик акустичних опорів середовищ.

Інтенсивність хвилі, відбитої від кордону розділу двох середовищ, визначається різницею між значеннями інтенсивності падаючої та відбитої хвилі. Різницею називають коефіцієнтом відбивання.

В результаті постійного поділу звукових хвиль на відбиті та заломлені в ході її поширення в дисперсному середовищі відбувається її загасання. Цей ефект називають поглинанням звукових хвиль. Існування ефекту поглинання обумовлено процесами теплообміну та міжмолекулярної взаємодії в середовищі, точніше – внутрішнім тертям і теплопровідністю. Під енергією звукової хвилі розуміється кінетична та потенційна енергії частинок (атомів і молекул), що стискає елемент об'єму пружного середовища в напрямку поширення звукової хвилі. Кінетична енергія частинок залежить від величини середньої швидкості молекул в цьому об'ємі, густини речовини (тобто від кількості і маси молекул в стиснутому об'ємі), а також від температури всередині. По мірі передачі кінетичної енергії від одного



елемента об'єму до іншого по ходу поширення звукової хвилі частина тепла поступово передається в навколишнє середовище. В результаті кінетична енергія хвилі зменшується, і хвиля загасає (поглинається). Зрозуміло, що кінетична енергія елемента об'єму залежить також від ступеня стиснення початкового об'єму елемента повітряного середовища, тобто від початкового тиску.

На рис. 1.12 представлена модель розповсюдження і затухання звукової хвилі матеріалі, що розглядається в даній роботі.

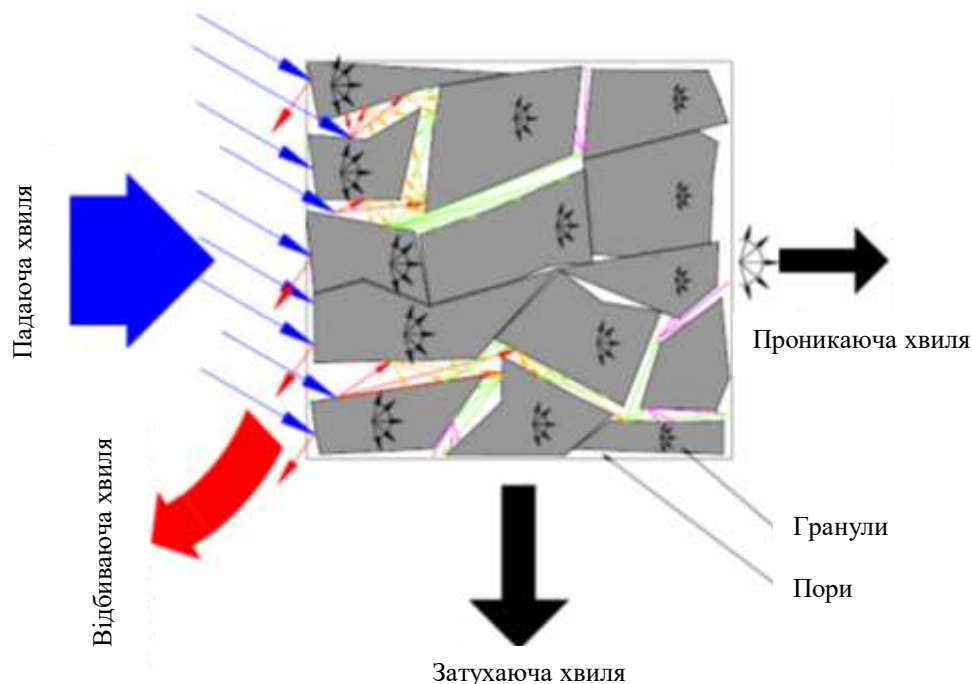


Рис. 1.12. Модель поширення і затухання звукової хвилі

В цьому випадку, як і в будь-якому з іншому матеріалі, на границю розділу двох середовищ падає звукова хвиля певної інтенсивності (позначена синім кольором). При зустрічі з перешкодою звукова хвиля частково віддзеркалюється, частково поглинається, частково проходить через перешкоду.

В даному випадку панелі є жорстким твердим тілом, що складається з дискретних частинок. Тому швидкість поширення звукової хвилі в панелі, багато в чому, буде залежати від фізичних властивостей її складових. Крім

того, можна припустити, що чим більше границь розділу в матеріалі, тим більша кількість енергії звукової хвилі буде абсорбована. При цьому, однак, частина звукової енергії проникає в перешкоду. Там звукова енергія частково перетворюється в теплову (дисипація), що характерно для матеріалів з відкритою пористістю. Найбільшу поверхню розділу будуть мати панелі, в яких спостерігається найменше зіткнення гумових гранул, що досягається присутністю між ними в'язучого. Такими панелями є ті, що виготовлені з використанням гранул різного фракційного складу.

Виходячи з вищевикладеного, можна висунути робочу гіпотезу, що найбільшою звукоізоляцією будуть мати панелі з меншою густиною і виготовлені з гранул різного фракційного складу.

Виходячи з робочої гіпотези і спираючись на проведений огляд технічної літератури, була сформульована *мета роботи*: підвищення ізоляційних властивостей конструкції за рахунок використання панелей з гумової крихти, отриманої з переробленої сировини.

Для досягнення мети були поставлені завдання дослідження, які наведені у вступі дисертації.

## ГЛАВА 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТУ

#### 2.1 Матеріали для виготовлення зразків

Основною сировиною для виробництва панелей в цій дослідній роботі виступали використанні автомобільні шини. Щороку з'являються мільярди тон твердих відходів, що є важливим фактором негативного впливу на навколишнє середовище. Відходи можна і потрібно використовувати в якості дешевих, довговічних та екологічно чистих будівельних матеріалів. Це може бути корисно, через прогноз, що до 2025 року кількість відходів буде постійно збільшуватися [14]. Нові продукти, отримані з використаних шин, є найбільш економічно вигідними, у порівнянні з відходами, отриманими при спалюванні або іншому виробництві. При цьому зменшується потік відходів без утворення надмірного забруднення та викидів в атмосферу від утилізації [15]. Гумова крихта часто є добавкою до деяких матеріалів [56, 57, 58, 59].

Зразки для дослідження були виготовлені в компанії Gumi Imrex в м. Вараждін (Хорватія) [13].

Матеріал може використовуватися в конструкціях для звукоізоляції, а також в якості самостійного матеріалу для звукоізоляції. Також властивості матеріалу сприяють поліпшенню загальних властивостей конструкції [21, 23-28, 46, 54, 55].

Найбільш поширеними сумішами, які застосовуються для створення гумового покриття, є однокомпонентні клейові склади. В роботі використовувався клей поліуретановий однокомпонентний, який має такі переваги:

- Стійкість до механічного впливу. Незалежно від сфери застосування, отримане покриття відрізняється довговічністю і практично не стирається в процесі експлуатації.

- Водонепроникність. Така властивість особливо необхідна при використанні гумових покриттів на вулиці.

- Екологічність. Клей не містить шкідливих компонентів, які можуть випаровуватися і шкодити людині та навколишньому середовищу.

- Пружність. Отримане покриття не стає абсолютно твердим, а зберігає властивості гуми та має достатні демпфуючі властивості.

Термін служби поліуретанового клею збільшується ще за рахунок того, що в його складі немає розчинників, які можуть з часом руйнуватися під впливом зовнішнього середовища, наприклад, прямих сонячних променів, перепадів температур та опадів.

## **2.2 Токсична дія подрібнених шин на здоров'я людей та навколишнє середовище**

Автори [37-39, 40-43, 47, 49, 65-69, 71] досліджували вплив поліциклічних ароматичних вуглеводнів і важких металів з перероблених гумових гранул на забруднення води та навколишнього середовища. Експерименти проводилися в хімічних лабораторіях на спеціальних приладах. У цих роботах вивчали вплив закритих і відкритих гумових гранул на викиди забруднюючих речовин в навколишнє середовище на основі стандартів EN, DIN і ISO. Дані стандарти відносяться до випробувань харчових продуктів, випробувань на просочування води, випаровування вуглеводнів при певних температурах і т.д.

При дослідженні впливу на здоров'я людини дослідники зосередили увагу на впливі поліциклічних ароматичних вуглеводнів, важких металів та інших речовин, які можуть бути канцерогенними, мутагенними, репротоксичними, нейротоксичними, біоаккумулятивними та впливати на дихальну і ендокринну систему [70]. Деякі дослідження також говорять про

можливість сильних алергічних реакцій на дрібний пил, що утворюється при стиранні панелі з переробленої шини [48].

Разом з цим, було встановлено, що вплив небезпечних речовин з часом зменшується і тому необхідно працювати над поліпшенням якості каучуку, щоб зменшити такий вплив.

Слід зазначити, що вищевказані результати відносяться до зразків-панелей з використаних автомобільних шин, що експлуатувалися на спортивних майданчиках. Такі панелі умовно можна назвати «відкритими». Результати досліджень показали, що в разі використання панелей, як звукоізоляційних і покритих оздоблювальним шаром, жоден тест не був явно генотоксичним. Що стосується екотоксичності, то тільки один зразок показав значення незначно вище допустимого коефіцієнта.

Величезна кількість відходів забруднює навколишнє середовище. Дуже важливим компонентом цих відходів є зношені автомобільні шини, яких з кожним роком стає все більше. Прискорений розвиток технологій вимагає технологічного розвитку та збільшення виробництва і, отже, збільшення споживання. Групою авторів був досліджений вплив використаних автомобільних шин на навколишнє середовище [22, 45, 52, 53].

Європейська асоціація з переробки шин і Європейська комісія регулярно публікують дослідження про вплив перероблених гумових виробів на здоров'я і навколишнє середовище [37, 45, 50, 51, 69].

### **2.3 Виготовлення зразків для експерименту**

Для виготовлення зразків, які використовувались під час експерименту, був обраний метод при якому, під час переробки шини проводилось її нагрівання, після відбувалось розділення на металеві, текстильні та гумові складові, а потім гума подрібнювалась до потрібної фракції. Спочатку гранули подрібнювали, просіювали та піддавали парі та різним хімічним

речовинам для видалення сірки (процес девулканізації). Процес подрібнення та сепарації рециркульованої гуми відбувався при температурі повітря близько 80°C. До отриманої гумової крихти додавали 4-6% поліуретанового клею, нагрівали до 110°C та укладали в заздалегідь підготовлену прес-форму. Пресування гумової панелі проходило під заданим навантаженням та протягом регламентованого періоду часу. Панелі можуть бути виготовлені для різних цілей: як для звукоізоляції і віброзахисту, так і для іншого.

На рис. 2.1 приведені світлини зразків, виготовлених для експерименту.



Рис. 2.1. Виготовленні зразки для експерименту

Гранулометричний склад гумових крихт в панелях залежить від потреб та вимог до продукту. Для проведення експерименту були використані три комбінації наступних компонентів гранул: 0,5-2,0 мм; 2,0-3,5 мм; 0,5-2,0 мм (35%) та 2,0-3,5 мм (65%).

При змішуванні гранул відбувається вплив на кількість пор і компактність самої панелі. Компактність необхідна для звукоізоляції, в той час як для акустичної обробки потрібно збільшити кількість пор для досягнення необхідних параметрів поглинання.

Всього було виготовлено 27 зразків різної товщини, ваги, густини та гранулометричного складу. У табл. 2.1 приведена матриця зразків, в якій наведено склад зразків та характеристика кожного із зразків.

Таблиця 2.1

## Матриця зразків

Зразок №	Товщина (мм)	Розмір зерна гранул мм	Вага на квадратний метр кг/м <sup>2</sup>	Густина кг/м <sup>3</sup>	ПУ клей, гр.	ПУ клей, %
1	10	0,5-2	7	700	296	4
2	10	2-3,5	7	700	296	4
3	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	7	700	296	4
4	10	0,5-2	9	900	380	5
5	10	2-3,5	9	900	380	5
6	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	9	900	380	5
7	10	0,5-2	11	1100	465	6
8	10	2-3,5	11	1100	465	6
9	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11	1100	465	6
10	15	0,5-2	9	600	380	5
11	15	2-3,5	9	600	380	5
12	15	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	9	600	380	5
13	15	0,5-2	11,25	750	475	6
14	15	2-3,5	11,25	750	475	6
15	15	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11,25	750	475	6
16	15	0,5-2	13,75	916	580	7
17	15	2-3,5	13,75	916	580	7
18	15	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	13,75	916	580	7
19	20	0,5-2	11,7	585	858	5
20	20	2-3,5	11,7	585	858	5
21	20	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11,7	585	858	5
22	20	0,5-2	15	750	1100	6
23	20	2-3,5	15	750	1100	6
24	20	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	15	750	1100	6
25	20	0,5-2	18,3	915	1340	7
26	20	2-3,5	18,3	915	1340	7
27	20	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	18,3	915	1340	7

## 2.4 Опис експерименту на визначення звукоізоляції панелей з гумовою крихтою

Сформульована мета наукової роботи передбачає проведення досліджень на звукоізоляцію та теплоізоляцію панелей, виготовлених з переробленої гумової крихти, які відповідають стандарту ISO 717-1:2013 [18]. Головним чином даний нормативний документ регламентує оцінку ізоляції конструктивних елементів будівлі, а саме стін, підлоги, вікон та дверей, разом з тим враховує різноманітні зовнішні та внутрішні джерела шуму. Крім того, документ містить методи, що визначають результати вимірювань та їх перетворення в значення звукоізоляції та теплоізоляції будівельного виробу, виражене одним числом.

Під час досліджень, був зафіксований вплив товщини та густини матеріалу панелі, гранулометричного складу зерен, а також частотного діапазону на звукоізоляцію панелі. В дослідженнях були використанні три змінних параметри.

Перший змінний параметр є товщина панелі, прийнятий у трьох розмірах: 10 мм, 15 мм та 20 мм.

Другим змінним параметром виступила густина панелі, в залежності від показників якої, досліджувані зразки були класифіковані наступним чином: близько  $\rho=600 \text{ кг/м}^3$ , близько  $\rho=700 \text{ кг/м}^3$ , близько  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ .

Третім змінним параметром був гранулометричний склад суміші, який змінювався таким чином: 0,5-2 мм; 2-3,5 мм; 0,5-2 мм (35%) + 2-3,5 мм (65%).

Разом з цим, також, проведені вимірювання звукоізоляції для різних частотних діапазонів: для низьких (до 500 Гц), середніх (500-2000 Гц) та високих (2000-5000 Гц). Вимірювання проводилося таким чином, щоб потужність звуку була приблизно 105 дБ та випромінювалася протягом 60 секунд в два етапи.

Вимірювання повторювалося двічі для кожного зразка. Комп'ютерна обробка даних фіксує значення звукоізоляції на заданих частотах та, як



результат, видає остаточне значення звукоізоляції панелі відносно звуку антени.

Порівняння таких властивостей як зміна щільності відносно фактора стабільного гранулометричного складу та змінної товщини панелі може дати відомості про вплив густини на показник звукоізоляції панелі та рекомендації щодо подальших випробувань.

Експеримент проводився в кімнаті, повністю відокремленої від приміщення, де знаходилося джерело звуку. Існуючий проріз в стіні, що розділяв приміщення, призначений для перевірки звукоізоляційних властивостей вікон і дверей. Площа експериментальних зразків складала  $0,75 \text{ м}^2$ , що відповідає розміру віконного отвору. У тому числі густина зразків при високому поглинанні звуку становила від 180 до  $250 \text{ кг/м}^3$  [21]. Під час експерименту зразки вбудовувалися в коробку подібну віконному блоку (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Експериментальна установка звукоізоляційних панелей

Значення звукоізоляції перегородки між кімнатою приймача та кімнатою передавача становила приблизно 75 дБ. Згідно з нормативним

документом [17] необхідно, щоб значення звукоізоляції за рахунок експериментального зразка відрізнялося не менше ніж на 10 дБ. Для забезпечення повного розділення передавача і приймальної кімнати та запобігання будь-якої можливої передачі звуку чи звукових коливань, виникнення звукових містків, конструкції в лабораторії були зведені без взаємопов'язаних елементів. Всі стики мали повітропроникність, яка не перевищує нормативних вимог.

Джерело звуку мав декілька положень, в які воно поміщалося під час вимірювання, в той час як мікрофон – приймач звуку розташовували на спеціальній підставці, яка мала змогу обертатися в декількох площинах і повністю акумулювати звук, що надходить від передавача (рис. 2.3).

Вимірювання відбувалося таким чином, щоб звукова потужність близько 105 дБ випромінювалася протягом 60 секунд у два етапи. Стаціонарний шум близько 105 дБ випромінював незбалансоване джерело звуку протягом 1 хв.



Рис. 2.3. Приймач та передавач звуку під час експерименту

Всього було випробувано 27 зразків різної товщини, густини та гранулометричного складу. Для проведення експерименту, де зразки були згруповані за показником середньої густини, було відібрано 8 зразків, які поділялися на 3 групи: - перша група складалася зі зразків з густиною  $\rho=585-600$  кг/м<sup>3</sup> з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі становив 15 мм і 20 мм; - друга група складалася зі зразків з густиною  $\rho=700-750$  кг/м<sup>3</sup> з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі був прийнятий – 10 мм, 15 мм і 20 мм; - до третьої групи належали зразки з густиною  $\rho=900-915$  кг/м<sup>3</sup> і тим же гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі був – 10 мм, 15 мм і 20 мм.

У табл. 2.2-2.4 показана комбінація шаблонів з фіксованими і змінними факторами.

Таблиця 2.2

## Група зразків № 1

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
10	15	600	0,5-2,0
19	20	585	0,5-2,0

Таблиця 2.3

## Група зразків № 2

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
1	10	700	0,5-2,0
13	15	750	0,5-2,0
22	20	750	0,5-2,0

Таблиця 2.4

## Група зразків № 3

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
4	10	900	0,5-2,0
16	15	915	0,5-2,0
25	20	915	0,5-2,0

Для проведення другого експерименту, де зразки були згруповані за товщиною панелі, було відібрано 9 зразків, які поділялися на 3 групи:

- перша група складалася зі зразків з густиною  $\rho=700-1100$  кг/м<sup>3</sup> з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі становив 10 мм;

- друга група складалася зі зразків з густиною  $\rho=600-916$  кг/м<sup>3</sup> з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі був прийнятий 15 мм;

- до третьої групи належали зразки з густиною  $\rho=585-915$  кг/м<sup>3</sup> і тим же гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 мм до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі був 20 мм.

У табл. 2.5-2.7 показана комбінація шаблонів з фіксованими і змінними факторами.

Таблиця 2.5

## Група зразків № 4

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
1	10	700	0,5-2,0
4	10	900	0,5-2,0
7	10	1100	0,5-2,0

Таблиця 2.6

## Група зразків № 5

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
10	15	600	0,5-2,0
13.	15	750	0,5-2,0
16	15	916	0,5-2,0

Таблиця 2.7

## Група зразків № 6

№ п/п	Товщина, мм	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Гранулометричний склад
19	20	585	0,5-2,0
22	20	750	0,5-2,0
25	20	915	0,5-2,0

## 2.5 Опис експерименту на визначення теплоізоляції панелей з гумової крихти

Визначення коефіцієнта теплопередачі через панель перш за все необхідно для того, щоб визначити, чи можна розглядати будівельний матеріал як утеплювач, тобто чи покращує він або зменшує теплові властивості конструкції, для якої він призначений. Як і будь-який інший матеріал, призначений для ізоляції певного простору, особливу увагу слід приділяти складу та властивостям даного матеріалу, які мають бути розроблені відповідно до відмінним теплоізоляційним характеристикам.

Кожен будівельний виріб, включаючи панелі з переробленої гуми, має властивості, крім теплопровідності, які не мають бути змінені іншими сторонніми впливами на матеріал. Це стосується в першу чергу механічних властивостей, звукоізоляційних властивостей, вологостійкості, вогнестійкості

та іншими властивостями, таким як адгезія, світлове випромінювання і т.д., які можуть впливати на структуру матеріалу та його довговічність.

В'яжуча речовина в середині панелі має бути стійкою до різних впливів тому, що її адгезійні властивості роблять панель цільним об'єктом зі стабільною структурою.

Основні методи, за допомогою яких визначають теплопровідність – це класичні методи стаціонарного одновимірного теплового потоку через пластину або циліндр з охоронними кільцями. Ідея цих методів впливає з закону Фур'є, який встановлює прямо пропорційно залежність теплового потоку від температурного градієнта.

Найбільш простим для визначення теплопровідності є метод Поваляєва М.І., теоретично заснований на закономірностях нестационарного температурного поля, які розроблені в працях Ликова О. В. і Чудновського А. Ф.

Особливістю методу є врахування тепловмісту датчика за допомогою емпіричного коефіцієнта. Відсутність обліку бічних втрат тепла усувають, вводячи поправочний коефіцієнт  $\psi\tau = f(\psi_0)$ .

Перевагою методу є також невелика тривалість експерименту 2-4 хв. та невеликий перепад температур 1-2°C. Цей метод прийнятий до використання в даній роботі. Схема установки, що реалізує метод, наведена на рис. 2.4.

Всі методи визначення теплопровідності засновані на закономірностях нестационарного теплового потоку та не забезпечують точної відтворюваності результатів. Отримувані результати залежать від багатьох чинників: обраної потужності датчика тепла, товщини зразка, тривалості імпульсу, причому залежність ця при аналізі літературних джерел не виявлена. Дані, отримані цими методами, слід узгоджувати з результатами, отриманими методами стаціонарного теплового потоку. В порівняльних експериментах, виконаних на одному і тому ж обладнанні та в однакових умовах, використання цих методів доцільно і виправдано.

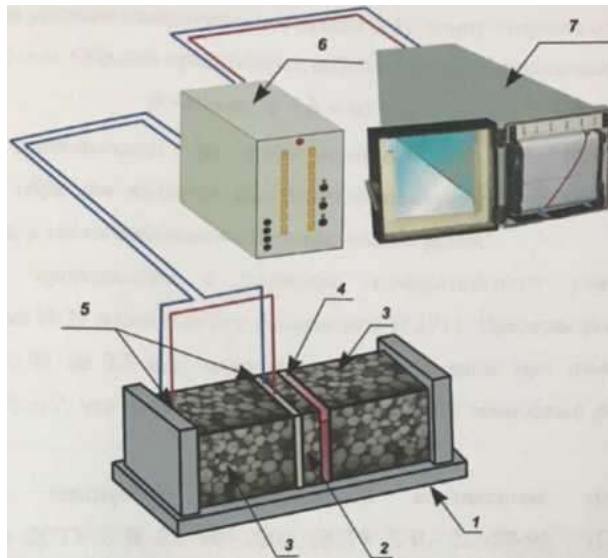


Рис. 2.4. Схема установки для визначення коефіцієнта теплопровідності:

- 1 – вимірювальна касета з притискним механізмом; 2 – випробуваний зразок;  
 3 – необмежені стрижні з випробуваного матеріалу; 4 – плоский нагрівач;  
 5 – диференціальна термопара; 6 – підсилювач І-37; 7 – самописець

Більшість будівельних матеріалів є неоднорідними пористими тілами. Причому, найчастіше, пористість неоднорідна за об'ємом зразка. Ці властивості доводиться брати до уваги при вирішенні питання про розміри зразка для випробування на теплопровідність і при виборі методу випробування.

Ступенем однорідності матеріалу та найбільшим розміром пір визначається основний розмір зразка.

Зразки виготовляли шляхом випилюванням з відформованих балочок (рис. 2.5, а). Основною вимогою до зразків є максимально можлива паралельність великих граней, а також дотримання площинності граней.

Відповідно до літературних даних для отримання об'єктивних результатів товщина зразка була прийнята 10 мм. Для дотримання умови необмеженості ( $L/a \geq 5$ ) довжину сторони зразка, а, приймаємо 50 мм. Зразок являє собою пластину в формі квадрата (рис. 2.5, б):

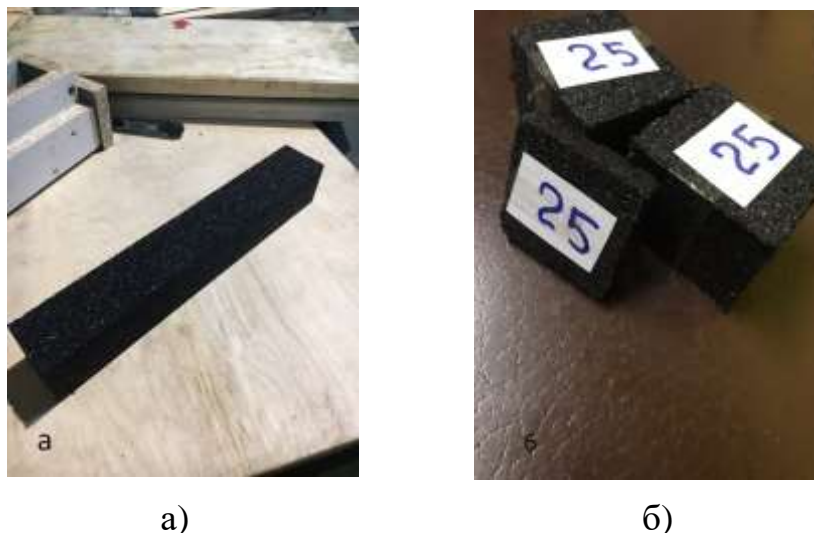


Рис. 2.5. Зразки з гумової крихти: а) – сформована балка ( $\delta = 10$  мм);  
б) – зразок для випробування ( $a = b = 50$  мм)

Виміри проводилися за допомогою вимірювального підсилювача постійного струму І-37 в комплекті з самописцем Н 3711.

Межі посилення коливалися від 0,05 до 0,5 mV, мінімальна ціна ділення при вимірі становила 0,002 mV, що дозволяло знімати показання з точністю до 0,001 mV.

Вимірювання температур проводилося контактним методом, згідно за ДСТУ Б В.-2.7-105-2000, ДСТУ Б В.-2.7-38-95, за яким чутливий елемент вимірювального приладу – хромель – копелева термопара знаходиться в безпосередньому контакті з досліджуваним середовищем. Причому, для забезпечення щільного контакту з усією поверхнею зразка датчики затискаються в приладі за допомогою спеціального пристосування.

Для більшої точності вимірювання, термопари були ретельно проградуйовані. Всі ці заходи дозволяють виконувати вимірювання з точністю близько  $0,005^{\circ}\text{C}$ . Плоский нагрівач являє собою склесений каркас з манганінового дроту 0,01 мм, намотаною з кроком 1мм. Налаштування нагрівача та встановлення зразка для проведення експерименту показано на рис. 2.6. Опір нагрівача становить 420 Ом.



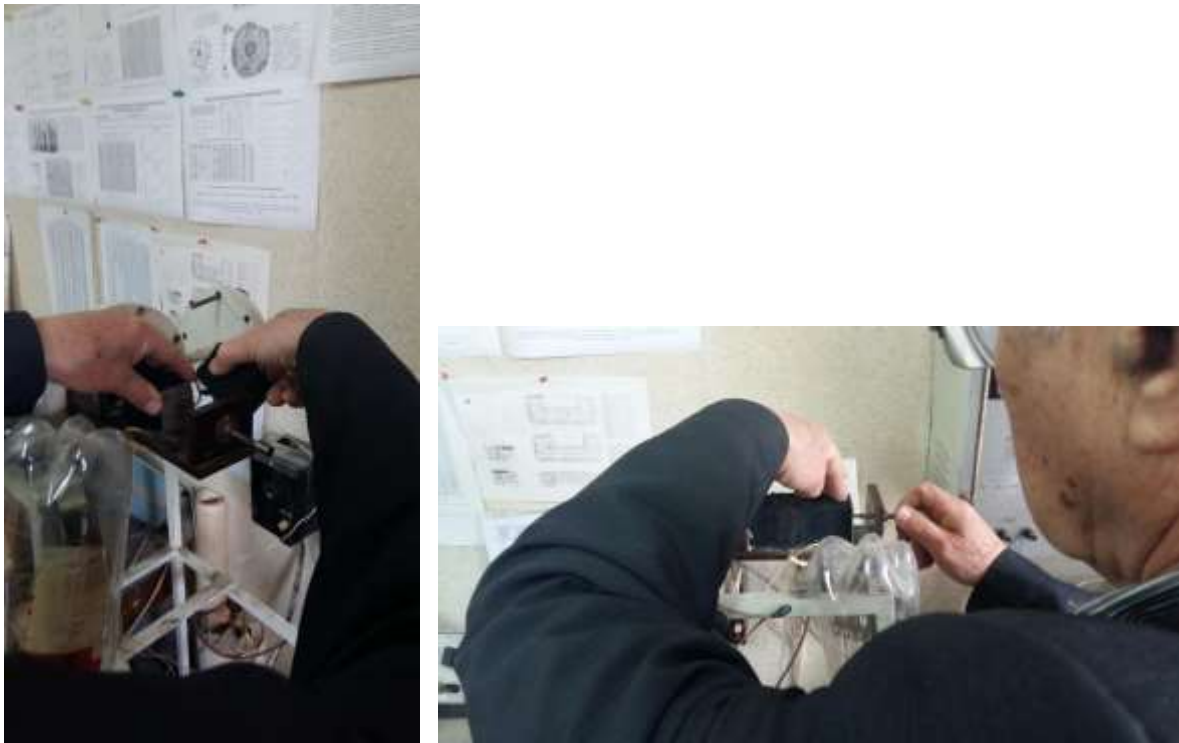


Рис. 2.6. Налаштування нагрівача

Експеримент проводився в такий спосіб: на нагрівач подавався струм через стабілізоване джерело живлення, причому величина потужності електричного імпульсу регулювалася попередньо за допомогою реостата. Струм подавався протягом 60 сек.

Тривалість нагрівання задавали за допомогою електронного реле часу та контролювали за записом на діаграмній стрічці самописця.

Час настання максимального перепаду температур визначався за записом на діаграмній стрічці та контролювався за секундоміром. Величина перепаду визначалася за показниками приладу та по запису на діаграмній стрічці. При цьому можливі похибки при вимірюванні температур складали  $\pm 1\%$ , при вимірюванні часу  $\pm 1$  сек, що становило близько 0,5-1%, в залежності від часу експерименту.

Для визначення часу між експериментами, тобто часу, протягом якого зразок термостатується, з тим, щоб попередній експеримент не впливав на наступний, була проведена серія експериментів, з проміжком в п'ять хвилин, інша – з проміжком 10 хв., третя - з проміжком 30 хв.

З отриманих результатів було отримано висновок, що 30-хвилинне очікування є достатнім строком часу між експериментами є. В цьому випадку результати можна вважати достовірними.

Наукові дослідження проводилися по циклічній схемі, причому кожний новий її цикл в силу накопичення нової науково-технічної інформації та появи нових ідей проходить на більш високому якісному рівні.

Для вирішення поставлених завдань виконували експерименти із застосуванням математичних методів планування.

Для опису складних за складом сумішевих композицій ефективно використовувати експериментально-статистичні моделі класу «Суміш-технологія-властивість», що застосовуються для вирішення завдань по визначенню залежностей між рецептурно-технологічними факторами та властивостями багатокomпонентних систем.

Дані моделі описують:

- а) вплив на показники якості даної композиції сумішевих компонентів;
- б) залежність критерію оптимізації від технологічних факторів;
- в) вплив на вихідні параметри досліджуваної системи рецептурних факторів на різних рівнях технологічних характеристик.

Обчислення результатів експерименту та їх обробка проводили за допомогою комп'ютерної техніки. Зокрема, для накопичення, аналізу та сортування отриманих експериментальних даних застосовувалася програма обробки електронних таблиць Microsoft Excel, що входить в комплект програм Microsoft Office. Ця ж програма застосовувалася для побудови діаграм і графіків.

## 2.6 Визначення властивостей зразків

### 2.6.1 Випробування зразків міцність при розтягу.

Проведені досліди зразків на розтяг відносяться до випробувань механічних властивостей матеріалу для визначення опору матеріалу напруженням. Визначення цієї властивості надзвичайно важливо для всіх матеріалів, що використовуються при будівництві будівель, як з легких металоконструкцій, так і з інших матеріалів.

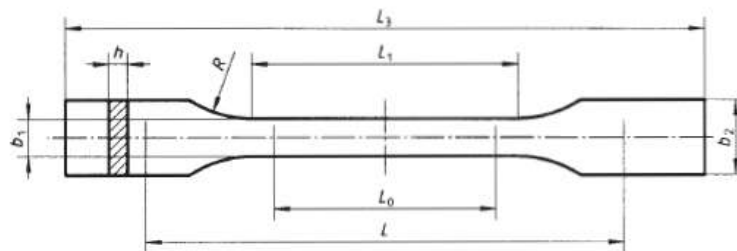
Випробування проводилось на осьовому приладі, котрий складається з металевої конструкції, на якій встановлені датчики та вимірювальні прилади, та елементи, які вимірюють прискорення сили (діапазон сил до 15 кН). Прилад також вимірює компенсовані або повторно сформовані заходи деформації (рис. 2.7).



Рис. 2.7. Дослідження зразків на осьовому випробувальному пристрої

Зразки для випробувань вирізалися за допомогою тонкого струменя води, що подається під підвищеним тиском. Випробування на міцність та розрив проводились відповідно до стандарту HRN EN ISO 527-4:2008. Тестовий зразок показаний на рис. 2.8.

Для проведення цього дослідження були виготовлені спеціальні алюмінієві губи для кріплення зразків. Губи були зазубрені за допомогою прикладної насадки, яка кріпилась до корпусу, в той час як осьовий пристрій має свої приймальні отвори. Сила прикладається вручну через тонку частину пристрою з різьбою, яка допомагає точно визначити та відрегулювати необхідне навантаження. Пристрій, який керує навантаженням, являє собою гідравлічний насос.



Dimensions in millimetres		
$L_3$	Overall length	$\geq 150$ <sup>1)</sup>
$L_1$	Length of narrow parallel-sided portion	$60 \pm 0,5$
$R$	Radius	$\geq 60$ <sup>2)</sup>
$b_2$	Width at ends	$20 \pm 0,2$
$b_1$	Width of narrow portion	$10 \pm 0,2$
$h$	Thickness	2 to 10
$L_0$	Gauge length (recommended for extensometers)	$50 \pm 0,5$
$L$	Initial distance between grips	$115 \pm 1$

Рис. 2.8. Тестовий зразок (розміри в міліметрах)

Напруження можуть бути обчислені заздалегідь або може бути досліджена і визначена під час експерименту, так що обробка результатів перетворення здійснюється за допомогою методу поверхневих напружень.

## 2.6.2 Визначення модуля пружності зразків

Модуль пружності Юнга являє собою постійну пружність матеріалу, яка визначає його властивості в умовах лінійної залежності між напруженням і деформацією пружного ізотропного та однорідного матеріалу.

Результати, отримані при проведенні експерименту, використані при комп'ютерному моделюванні елементів в конструкціях і для розрахунку їх змін у зовнішніх розмірах або деформаціях. Ті ж самі результати також використовуються для розрахунку напруженого і деформованого стану для окремих елементів, виготовлених з переробленої гуми.

Експеримент проводився в лабораторії Gumimpex GPR в м. Вараждин (Хорватія), яка також є виробником випробуваних зразків. Використовувалося наступне обладнання:

- GIBITRE INSTRUMENTS Tensor Check Profile;
- програмне забезпечення «GIBITRE INSTRUMENTS»;
- механічний різальний пристрій «GIBITRE INSTRUMENTS».

Пристрій для випробування міцності зразків на розтяг підключається безпосередньо до комп'ютера, а оригінальне програмне забезпечення контролює хід випробування. Результат тестування продукту є графічним уявленням кривої «напруження-деформації».

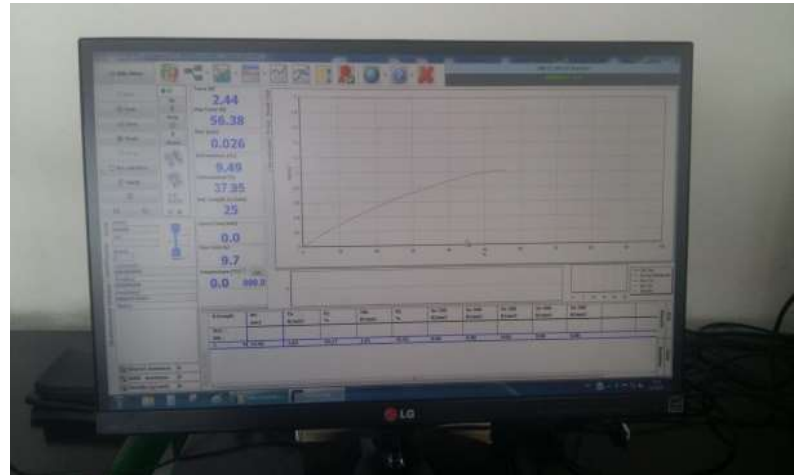
Хід тесту зображений на рис. 2.9.

Першим кроком у випробуваннях є підготовка тестового зразка. Форма і розмір зразка для випробувань показані на рис. 2.10, відповідно до DIN 53504-S1. Зразок готується на пристрої, де він ріжеться вручну за допомогою спеціально інструменту.

При проведенні експерименту використовувався обчислювально-експериментальний метод для отримання даних модуля пружності. Метод передбачає випробування мінімум 2 зразків. Оскільки існують різні недоліки у виробництві матеріалів, їх вплив на результати необхідно мінімізувати.



а)



б)

Рисунок 2.9. Хід тесту зображення:

- а) прикладення розтягуючого зусилля на пристрій,  
 б) графічне уявлення результатів

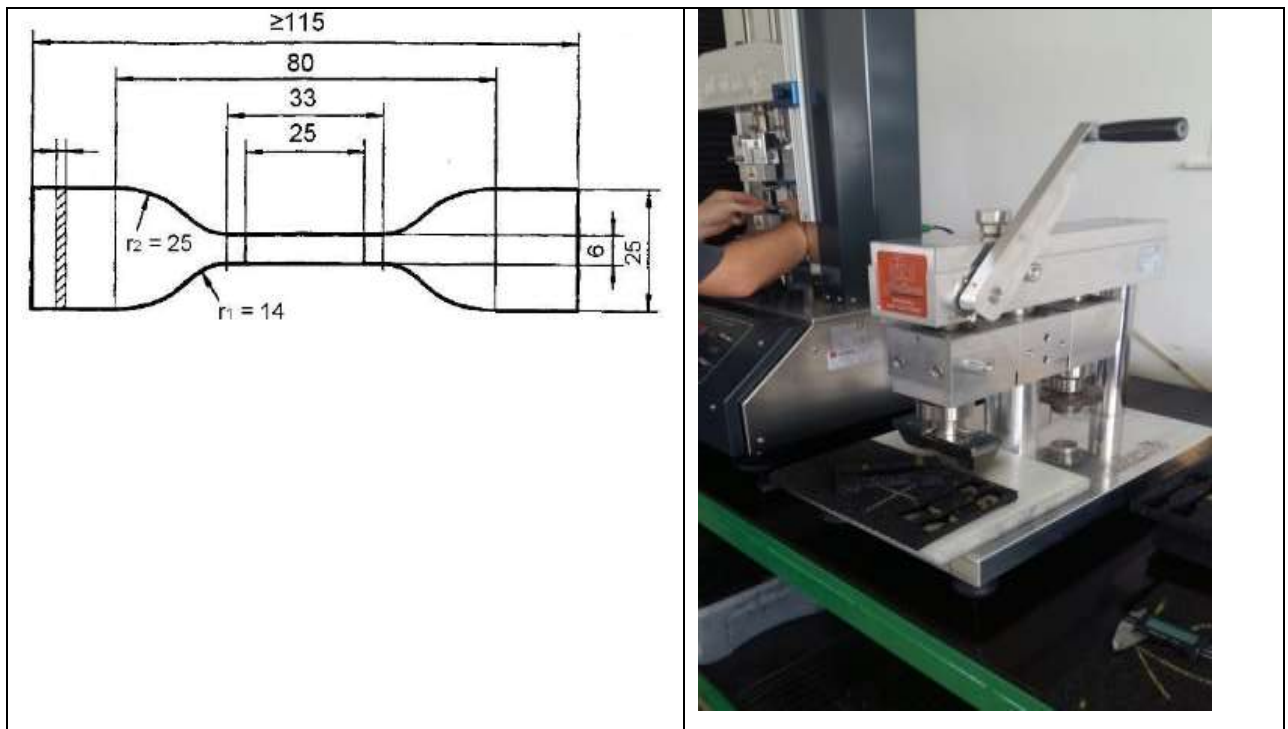


Рис. 2.10. Схема тестового зразка та обладнання для різання зразка

При аналізі пружних властивостей матеріалу слід брати на 20% менше значення, ніж межа плинності (межа між пружною та пластичної областями). Результати, отримані для кожної випробувальної панелі, обробляли за допомогою математичної формули (2) та отримували модуль пружності цього зразка:

$$E = \frac{2 * E1 * E2}{E1 + E2}$$

де:

E - модуль пружності Юнга матеріалу (Н/мм<sup>2</sup>);

E1 - модуль пружності Юнга першого зразка (Н/мм<sup>2</sup>);

E2 - модуль пружності Юнга другого зразка (Н/мм<sup>2</sup>).

Використовуючи графічний метод, визначали ступінь деформації, відповідно окремим деформаціям. При цьому враховували умову, що максимальне пружне навантаження, яке було прийнято при розрахунку, не має перевищувати 80% від загального пружного навантаження (до обмеження потоку).

### **2.6.3 Процедура випробування на вміст пор.**

Експеримент на вміст пір проводився згідно EN 993-1:2018 «Методи випробувань щільних фасонних вогнетривких виробів». Частина 1. Визначення середньої густини, відносній пористості і істинної пористості, яка пов'язана з випробуваннями пористості вогнетривких матеріалів».

Визначення вмісту пір кожного зразка необхідно для визначення характеристик проникності. Ці властивості в основному пов'язані з визначенням проходження звуку і проходження тепла, а в деяких випадках – з визначенням проходження води через матеріал. При використанні будь-якого матеріалу, призначений для ізоляції певного простору, особлива увага приділяється його пористості. Необхідно визначити які компоненти

матеріалу впливають на кількість пір та як саме вони впливають, визначити як матеріал поводиться при певних умовах та знайти оптимальне рішення для складу матеріалу.

Тестування проводиться на підставі закону Архімеда і закону про збереження мас. Закон Архімеда можливо інтерпретувати так, що маса витісненої рідини пропорційна об'єму витісненої рідини. Ця інтерпретація є основою для визначення об'єму зразка. Якщо зразок складається з основного матеріалу та частки пор, при занурюванні його в воду та насиченні вологою, отримуємо загальний об'єм зразка. Інтерпретація відповідає закону збереження маси. Різниця між масою вологого зразка і масою сухого зразка дорівнює масі води, що заповнює зразок. Перетворюючи масу води в об'єм води, отримуємо об'єм пор. Також за допомогою математичних дій розраховували пропорцію матеріалів і частки пір в даному зразку. Інші методи можуть визначати тільки розподіл об'єму пір по поверхні матеріалу.

Зразки були виготовлені у вигляді панелей площиною  $1\text{ м}^2$ , з яких були вирізані зразки для випробувань. Об'єм зразка складав від  $50\text{ см}^3$  до  $200\text{ см}^3$  згідно EN 993-1:2018 (рис. 2.11).

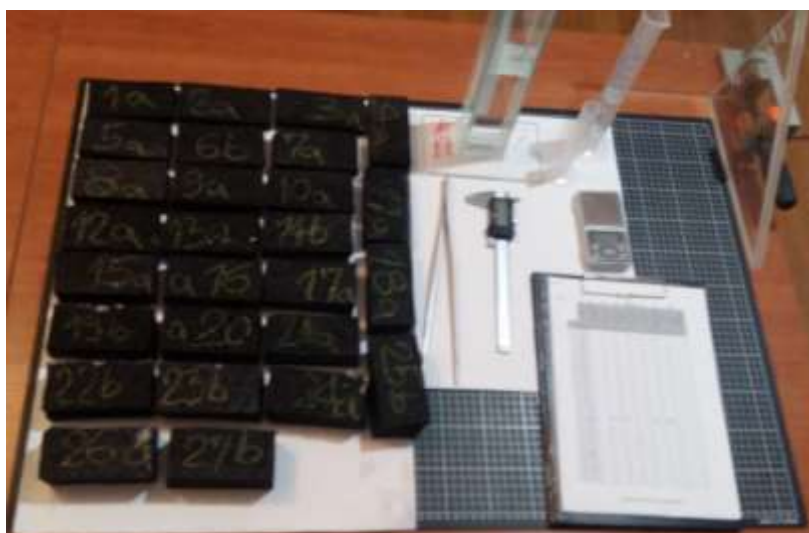


Рис. 2.11. Підготовлені зразки та використане обладнання (сортувальник, точні ваги, електронні ваги, лабораторний захоплювач)



Експеримент проводився певними етапами.

Зважувався сухий зразок, який не повинен піддаватися впливу вологи, і висушувався в умовах штучно створеного мікроклімату в сушильній печі. Потім проводилось занурення зразків в воду до тих пір, поки вони не опустяться на дно ємкості. Це означає, що вода заповнила всі пори в матеріалі, та можуть бути застосовані основні закономірності насичення матеріалу.

Зважування вологих зразків, яке проводили з точністю до 0,1 гр., відбувалось відразу після вилучення зразків з посудини, в якій вони були занурені. Відразу після зважування вологого зразка проводилося занурення в воду для вимірювання об'єму мокрої проби, тобто об'єму зразка, насиченого водою (рис. 2.12).

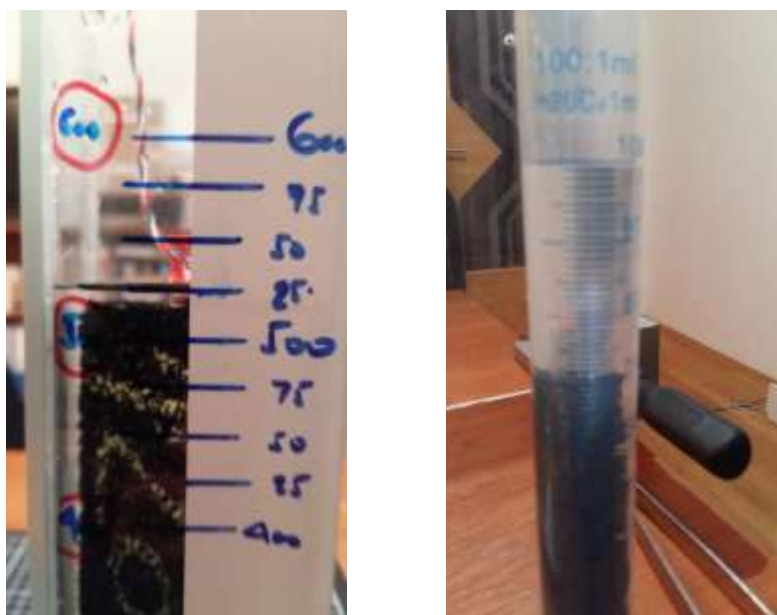


Рис. 2.12. Вимірювання об'єму зразка, насиченого водою

Останнім кроком було здійснення випробування зразків під тиском 16 бар. Вимірювання маси зразків проводилося кожні 24 години, поки маса повторного вимірювання не досягала значення в межах 1% від попереднього вимірювання. Середня тривалість експерименту становила 5 днів. Основна вимога полягала в тому, щоб тиск в ємкості був постійним і не мав

змінюватися під час випробування. Потім відбувалося зважування вологих зразків та повторне стиснення зразків в тих же умовах. Необхідно було визначити, чи є які-небудь зміни маси після кожного наступного тесту. Відношення об'єму зразка до маси води відбивало об'єм пор в зразку. Хід випробування приведено на рис. 2.13.



Рис. 2.13. Конструкція посудини під тиском та пристрій для проведення випробувань

Контроль та обробка отриманих результатів здійснювалася шляхом взаємного розрахунку, контролю та порівняння вимірювань і визначення різниці.

## **2.7 Визначення маси сухих гранул гумової крихти**

Маса сухих гранул без в'язучого визначалась аналітично, а її об'ємна маса була визначена декількома вимірами. Гранули були отримані шляхом механічної переробки шин різних транспортних засобів з використанням різних магнітних і обертових пристроїв. З цього випробування можливо визначити, яка частка пор і повітря є присутніми в сухих гранулах. Ця

інформація необхідна для підтвердження експериментальних досліджень, при яких визначався об'єм пор.

Метод випробування складався з тесту, який проводиться шляхом зважування сухих гранул на вагах з точністю до 0,1 гр. Зважували 10 зразків об'ємом 100 мл, які встановлювали в мірну чашу. Зразки відбирали випадковим чином. В експериментах використовували два типи гранул фракціями 0,5-2,0 мм і 2-3,5 мм, а також їх суміш у співвідношенні 35% (0,5-2,0 мм) та 65% (2,0-3,5 мм).

Використовувані пристрої показані на рис. 2.14.

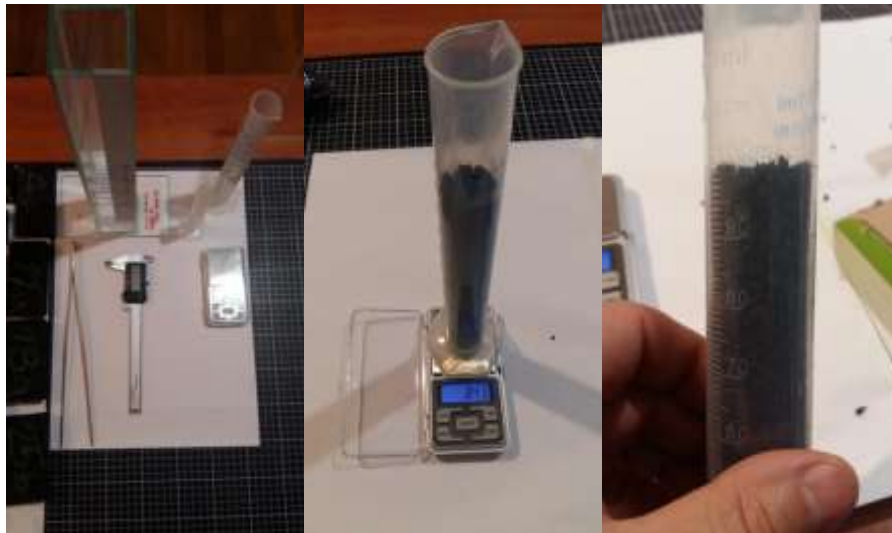


Рис. 2.14. Обладнання для визначення ваги сухих гранул гумової крихти

## 2.8 Контроль внутрішніх напружень зразків

Перевірку внутрішніх напружень в матеріалі панелей з переробленого гумового матеріалу здійснювали графоаналітичним методом.

Для виконання цього дослідження використовували мікроскоп з можливістю фотографування та програмою, що працює на платформі DWG. Виміряні та порівнювані розміри не є реалістичними, але деформації розміру

зерна матеріалу були виміряні у відсотках щодо первинного стану зразка. В ході експерименту забезпечувалось порівняння фотографій, зроблених до та після вилучення зерна з матеріалу, тобто зроблених в однакових умовах. Вимірювання виконувалось в двох вимірах в різних напрямках.

На рис. 2.15 представлені основні етапи проведення досліджень.

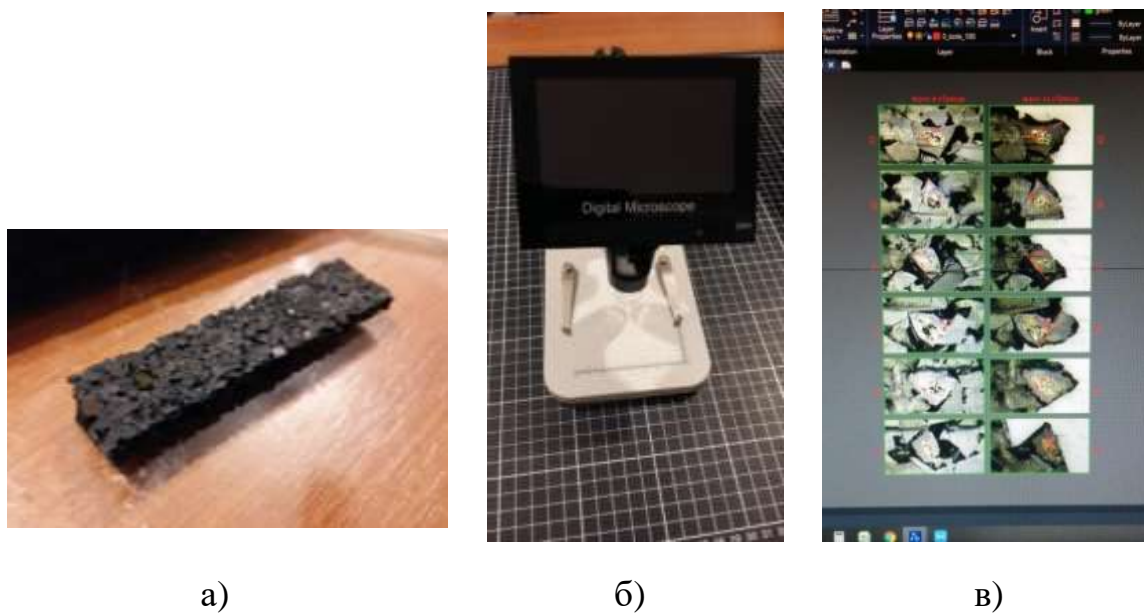


Рис. 2.15. Контроль внутрішніх напружень в зразках з переробленої гуми:

а) – зразки для випробування; б) – цифровий мікроскоп DM4;

в) – програма ZW cad 2018

При проведенні експерименту зерно не повністю видаляється зі зразка. Зерно звільнено з двох або трьох сторін, щоб бути вільним від в'язучого та прояву явищ тертя. Для вимірювання з одного зразка необхідно витягти мінімум 5 зерен.

## 2.9 Визначення кута внутрішнього тертя сухих гранул гумової крихти

Кут внутрішнього тертя сухих гранул гумової крихти визначали аналітично.

Дослідження проводили за допомогою цифрового вимірювання масштабу та обчислення Піфагора з використанням кута тангенса. Оскільки досліджувався нев'язкий матеріал, було обґрунтування того факту, що при заливці матеріалу в одну точку створюється конічне тіло, похідна якого розташована відносно основи та закриває певний кут. Цей кут і є кут внутрішнього тертя частинок. В цьому дослідженні використовуються ті ж зразки, які використовувались при визначенні питомої маси матеріалу без в'язучого. Зразки висипали на чистий білий папір, вимірюючи діаметр і висоту (рис. 2.16). З отриманих даних одержували кут внутрішнього тертя сухих гранул гумової крихти.



Рис. 2.16. Визначення кута внутрішнього тертя сухих гранул гумової крихти

## **ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 2:**

1. Прийняті в дослідженнях матеріали та методи визначення основних характеристик спрямовані на вирішення поставлених конкретних завдань, сформульованих відповідно до мети досліджень.

2. Методи аналізу впливу щільності та фракційного складу панелей на початкову організацію структури досліджуваних матеріалів дають можливість запропонувати рецептурні і технологічні способи підвищення їх властивостей.

3. Організація проведення експериментально-теоретичних робіт, вибір контрольованих параметрів якості, інтерпретація отриманих результатів дозволяє обґрунтовано запропонувати методи отримання матеріалу з метою вирішення завдання підвищення показників якості конструкцій, котрі зводяться або ремонтуються.

## РОЗДІЛ 3

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗВУКОІЗОЛЯЦІЙНИХ І ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГУМОВИХ ПАНЕЛЕЙ

#### 3.1 Вплив рецептурно-технологічних факторів на звукоізоляційні властивості гумових панелей

Для вирішення проблеми підвищення показника звукоізоляції в огорожувальних конструкціях було проведено аналіз впливу частоти і гранулометричного складу суміші на значення індексу звукоізоляції. Також було показано варіювання величини звукоізоляції в залежності від товщини стінової панелі, яка була виготовлена з використанням гумової крихти. Розглянуто способи отримання і спектр застосування в сучасній промисловості гумової крихти як матеріалу подрібнення зношених шин, що є одним з найбільш багатотоннажних полімерних відходів. Проілюстровано спосіб установки звукоізоляційних панелей під час проведення експерименту. Матеріали здійсненого обстеження визначення рівня звукоізоляції гумових панелей дозволяють узагальнити отримані результати за допомогою аналітичного методу та програмного забезпечення Microsoft Office. Результати були порівняні та представлені на діаграмах для кожної групи окремо.

Було виготовлено 27 зразків різної товщини, ваги, густини і гранулометричного складу для проведення експерименту по визначенню звукоізоляційних властивостей панелей, виготовлених з переробленої гумової крихти. Матриця зразків, в якій наведено склад зразків та характеристика кожного із зразків, приведена в табл. 2.1 (розділ 2).

В ході досліджень були отримані результати першої частини експерименту по визначенню рівня звукоізоляції, де усі зразки були сформовані за принципом зміни середньої густини (див. табл. 2.2-2.4, розділ 2). Був кількісно визначений вплив густини, гранулометричного складу

зерен, а також частотного діапазону на звукоізоляцію панелі. Результати досліджень представлені для кожної групи окремо на діаграмах (рис. 3.1-3.3).

Діаграми, що наведені нижче, показують залежність між індексом значень звукової ізоляції для кожної з досліджуваних панелей. Графічно та візуально можна відстежувати зміни, пов'язані зі значенням індексу звукоізоляції конкретного зразка, та порівнювати його з контрольною кривою. На підставі спостережень можна зробити висновки або подальші керівні принципи дослідження.

На рис. 3.1 представлено порівняння 2 зразків з групи № 1 (панелі №10 і №19, табл. 2.2, розділ 2) товщиною 15 мм ( $600 \text{ кг/м}^3$ ) та 20 мм ( $585 \text{ кг/м}^3$ ). З діаграми видно, що в цьому випадку показники звукоізоляції панелей мають приблизно однакові значення. Найбільший вплив на звукоізоляцію панелі надає зміна частотного діапазону.

Отже, в низькочастотному діапазоні для товщини панелі 15 мм значення звукоізоляції вище на 0,3-0,9 дБ. В середньому частотному діапазоні для панелі товщею 15 мм, значення звукоізоляції вище на 0,6-1,3 дБ. У високочастотному діапазоні для панелі товщею 15 мм, значення звукоізоляції вище на 0,6-1,6 дБ.

У групі № 2 (панелі №1, №13 і №22, табл. 2.3, розділ 2) порівнювалися 3 зразка товщиною 10 мм ( $700 \text{ кг/м}^3$ ), 15 мм ( $750 \text{ кг/м}^3$ ) і 20 мм ( $750 \text{ кг/м}^3$ ). На відміну від першої групи, в даному випадку, звукоізоляція зразків показала істотні відмінності у значеннях. Значення звукоізоляції панелі товщиною 10 мм становить 14 дБ, звукоізоляція панелі товщиною 15 мм – 18,2 дБ, а звукоізоляція панелі товщиною 20 мм – 18,8 дБ.

З діаграми (рис. 3.2.) видно, що отримано значно менше значення звукоізоляції панелі товщиною 10 мм в порівнянні з панелями товщиною 15 і 20 мм. Цей факт можна пояснити меншим показником густини зразка. Тому доцільно розглянути вплив частотних діапазонів на звукоізоляцію даних панелей.



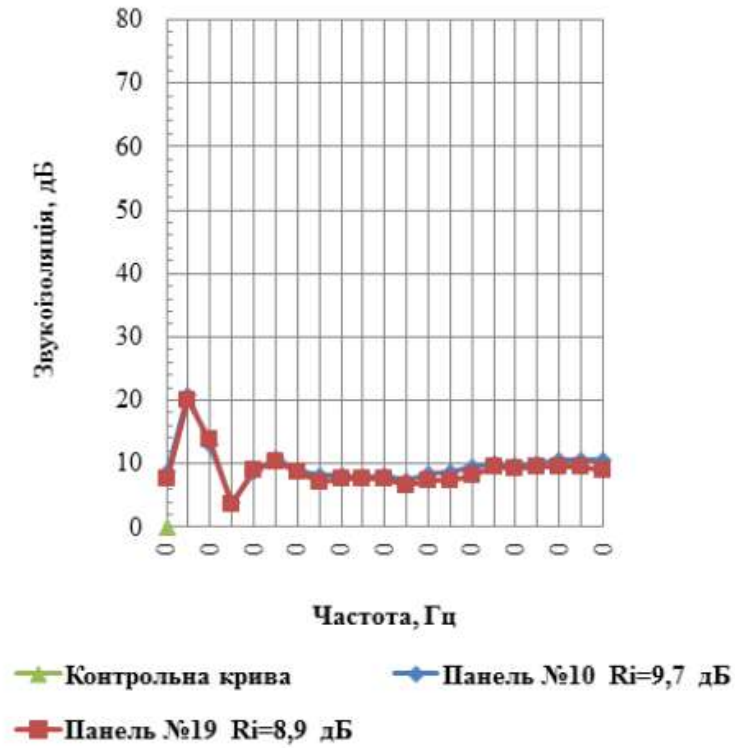


Рис. 3.1. Значення звукової ізоляції панелей групи №1

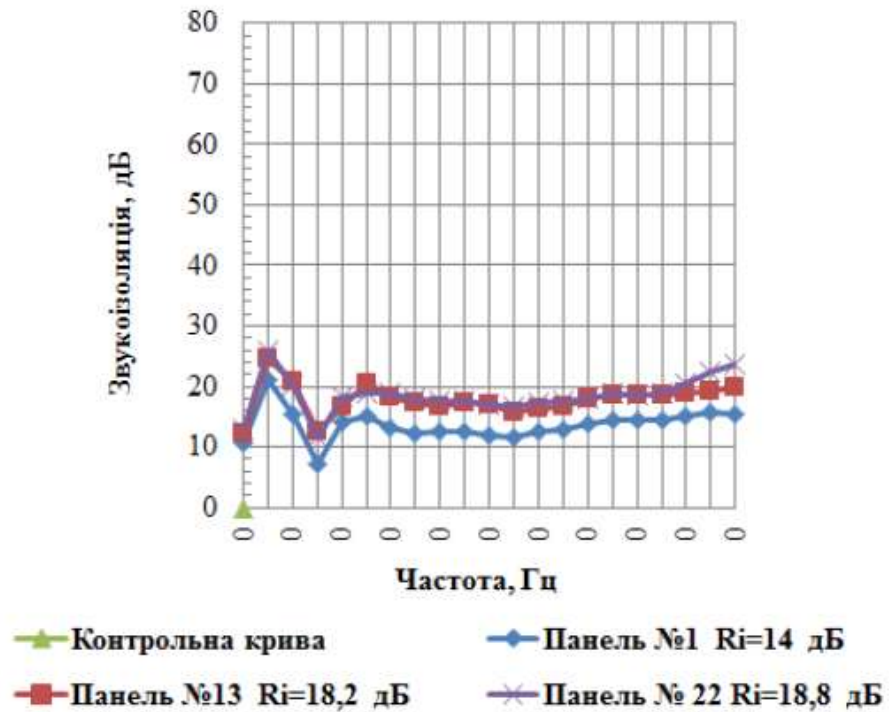


Рис. 3.2. Значення звукової ізоляції панелей групи №2

В низькому діапазоні для панелі товщиною 20 мм значення звукоізоляції є непостійним. Діаграма показує, що при частотах 80, 100 і 160 Гц спостерігається мінімальна звукоізоляція панелей, до 1,4 дБ, тоді як для решти низькочастотного діапазону звукоізоляція панелей більше на 0,1-0,9 дБ.

У середній смузі частот для товщини панелі 20 мм значення звукоізоляції більше на 0,0-0,9 дБ.

У високочастотній смузі для товщини панелі 20 мм значення звукоізоляції більше на 0,3-3,8 дБ.

У групі № 3 (панелі №4, №16 і №25, табл. 2.4, розділ 2) порівнювалися 3 зразки товщиною 10 мм ( $900 \text{ кг/м}^3$ ), 15 мм ( $916 \text{ кг/м}^3$ ) і 20 мм ( $915 \text{ кг/м}^3$ ). Значення звукоізоляції панелей показують значні відмінності.

З діаграми (рис. 3.3.) видно, що значення звукоізоляції панелі товщиною 10 мм становить 20 дБ. Звукоізоляція при товщині панелі 15 мм становить 26 дБ, а звукоізоляція панелі товщиною 20 мм становить 29,5 дБ.

У низькочастотній смузі для товщини панелі 20 мм значення звукоізоляції є непостійним. Це означає, що на частоті 63 Гц звукоізоляція панелей менше на 0,4 дБ, тоді як для решти низькочастотної смуги звукоізоляція вище для 0,1-2,8 дБ.

У середньому діапазоні частот для товщини панелі 20 мм значення звукоізоляції вище на 2,4-5,4 дБ.

У високочастотній смузі для товщини панелі 20 мм величина звукоізоляції вище на 5,2-6 дБ.

У другій частині експерименту досліджено вплив зміни густини за константних величин гранулометричного складу. Для порівняння відібрано 9 зразків, які залежно від ряду факторів поділялися на 3 групи:

- перша група (див. табл. 2.5, розділ 2) складалася зі зразків з показником густини  $\rho=700-1100 \text{ кг/м}^3$  з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі становив 10 мм;

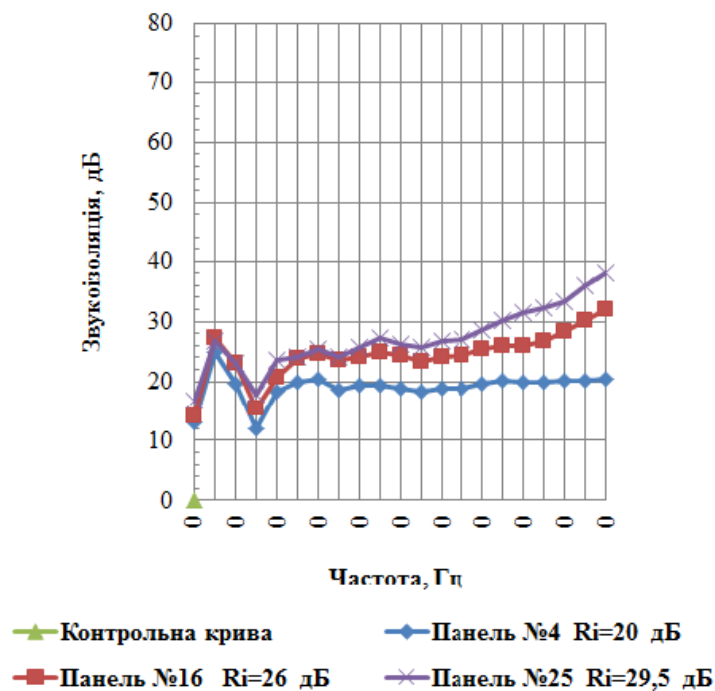


Рис. 3.3. Значення звукової ізоляції панелей групи №3

- друга група (див. табл. 2.6, розділ 2) складалася зі зразків з показником густини  $\rho=600-916 \text{ кг/м}^3$  з гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі – 15 мм;

- третя група (див. табл. 2.7, розділ 2) включала зразки з показником густини  $\rho=585-915 \text{ кг/м}^3$  і тим же гранулометричним складом, в якому фракція грануляції становила від 0,5 до 2,0 мм. Змінний коефіцієнт товщини панелі був 20 мм.

Результати випробувань дозволили провести аналіз зміни показників звукоізоляції відносно зміни певних параметрів. А саме, як змінювався показник звукоізоляції при різній товщині зразка з постійним гранулометричним складом і густиною, яка варіювалася в різних групах і зразках.

Перша група – три зразки товщиною 10 мм, гранулометричним складом 0,5-2,0 мм і з різною густиною: зразок №1 -  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>, зразок №4 -  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> і зразок №7 -  $\rho=1110$  кг/м<sup>3</sup>.

Результати досліджень представлені на рис. 3.4.

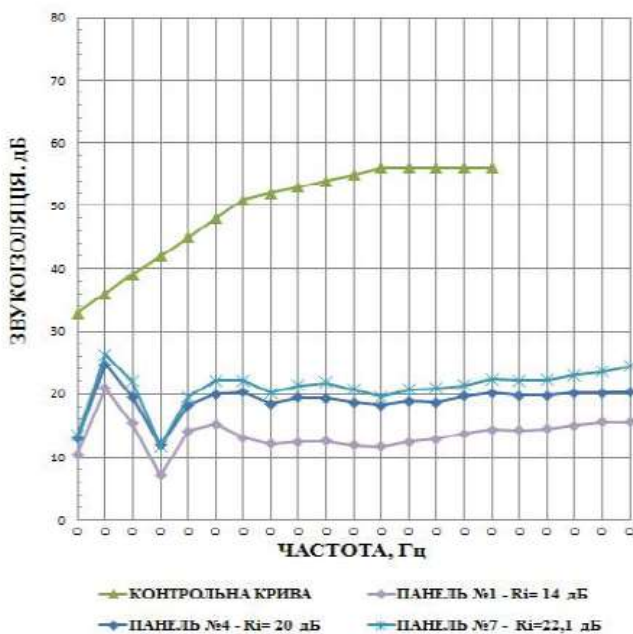


Рис. 3.4. Значення звукової ізоляції панелей групи №4

Панелі-зразки №4 і №7 мають близькі значення індексу звукоізоляції, в той час як показники панелі-зразка №1 є значно меншими.

Проаналізувавши результати в різних діапазонах частот, можна зробити такі висновки: – у низькочастотному діапазоні панель №7 має кращі звукоізоляційні властивості, за винятком частоти 100 Гц, де значення звукоізоляції нижче на 0,1 Гц, ніж у панелі №4, а середня звукоізоляція панелі №7 на 7,08% краща, ніж у панелі №4. Панель №1 має в середньому менше значення звукоізоляції на 38,35%, ніж панель №4, і на 47,96% порівняно з панеллю №7;

– у середньочастотному діапазоні панель №7 має кращі звукоізоляційні властивості і на 10,45% кращу звукоізоляцію порівняно з панеллю №4. Панель №1 має в середньому менше звукоізоляційне значення на 49,64%, ніж панель №4, на 65,2% порівняно з панеллю №7;

– у високочастотній смузі панель №7 має кращі звукоізоляційні властивості і звукоізоляція панелі на 15,9 % вища порівняно з панеллю №4. Панель №1 має в середньому менше значення звукоізоляції на 32,9%, ніж панель №4 та на 53,9% порівняно з панеллю №7.

Друга група складається з трьох зразків товщиною 15 мм, гранулометричним складом від 0,5 до 2,0 мм і різною густиною: зразок №10 –  $\rho=600$  кг/м<sup>3</sup>, зразок №13 –  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup> і зразок №16 –  $\rho=916$  кг/м<sup>3</sup>.

Результати досліджень представлені на рис. 3.5.

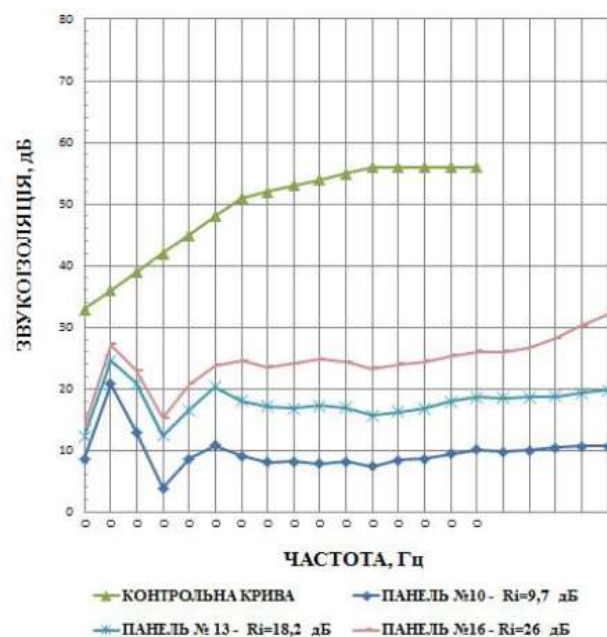


Рис. 3.5. Значення звукової ізоляції панелей групи №5

Загальний результат показує однакову різницю між зразками № 0 і №13, а також між зразками №13 і №16. Слід зазначити, що є аналогічна різниця в показниках середньої густини між зразками №10 і №13 та зразками №13 і №16.

Проаналізувавши більш докладно результати в різних діапазонах частот, можна зробити такі висновки:

– у низькочастотній смузі панель №16 має кращі звукоізоляційні властивості і на 21,5% кращу звукоізоляцію, ніж панель № 3. Звукоізоляція

панелі № 0 має більш низьке значення – 91,6% порівняно з панеллю №13, і на 135,68% порівняно з панеллю №7;

– у середньочастотній смузі панель №16 має кращі звукоізоляційні властивості і на 43,5% кращу звукоізоляцію порівняно з панеллю №10. Панель №10 має значення звукоізоляції нижче на 99,4 % порівняно з панеллю №13, і на 186,4 % порівняно з панеллю №16;

– у високочастотній смузі панель №16 характеризується кращими звукоізоляційними властивостями і на 52,8% кращою звукоізоляцією порівняно з панеллю №13. Панель №10 має значення звукоізоляції нижче на 82,9% порівняно з панеллю №13, і на 179,4% по відносно панелі №16.

У третій групі вибрано три зразки товщиною 20 мм із гранулометричним складом від 0,5мм до 2,0 мм і різною густиною: зразок №19 –  $\rho=585 \text{ кг/м}^3$ , зразок №22 –  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$  і зразок №25 –  $\rho=915 \text{ кг/м}^3$ .

Результати досліджень представлені на рис. 3.6.

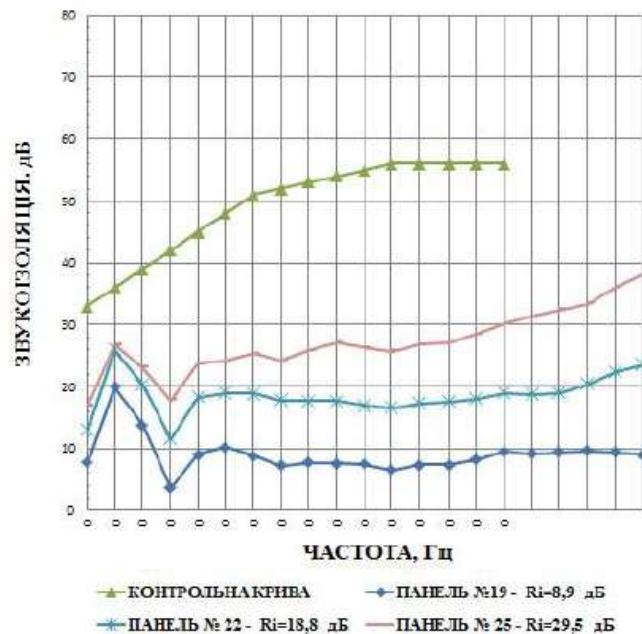


Рис. 3.6. Значення звукової ізоляції панелей групи №6

Загальний результат показує однакову різницю між зразками №19 та №22 і зразками №22 та №25. Також є аналогічною різниця в показниках густини між зразками №19 та №22 і зразками № 22 та №25. Таким чином, ситуація аналогічна отриманим результатам досліджень зразків з групи 2.

Можна виділити такі результати для різних діапазонів частот:

– в низькочастотному діапазоні панель №25 має кращі звукоізоляційні властивості і на 28,3% кращу звукоізоляцію панелі №25, ніж панелі №22. Панель №19 має середнє більш низьке значення звукоізоляції 102,46% відносно панелі №22, і 157,2% відносно до панелі №25;

– у діапазоні середніх частот панель №25 відзначається кращими звукоізоляційними властивостями і на 55,93% кращою звукоізоляцію, ніж панель №22. Середнє значення звукоізоляції панелі №19 є меншим на 126,4% порівняно з показниками звукоізоляції панелі №22, і 252,6% порівняно з панеллю №25;

– у високочастотному діапазоні панель №25 має кращі звукоізоляційні властивості, а саме на 64,3% кращу звукоізоляцію, ніж панель №22. Панель №19 має нижче значення звукоізоляції на 12,7% порівняно з панеллю №22, і на 273,6% – з панеллю №25.

Результати випробувань дозволили провести аналіз зміни показників звукоізоляції відносно зміни певних параметрів. По-перше, як змінювався показник звукоізоляції при різній товщині зразка з постійним гранулометричним складом, і густиною, яка варіювалася в різних групах і зразках.

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що середня густина істотно впливає на показник звукоізоляції. При меншій густині виникає умова, при якій товщина панелі не має істотного впливу на звукоізоляцію панелі. Це означає, що при однакових показниках середньої густини, товщина панелі не визначає величину її звукоізоляції. З цього виходить, що значення звукової ізоляції панелей з гумової крихти залежать від пористості матеріалу виробу та пропускної здатності панелі.

Результати проведених експериментів дозволяють заключити, що:

1. При високій середній густині матеріалу товщина гумової панелі значно впливає на величину звукоізоляції виробу. Велика середня густина панелей зумовлює менший об'єм пор, їх підвищену компактність, низьку пропускну здатність і поліпшену звукоізоляцію матеріалу виробу.

2. Підвищені значення звукоізоляції характерні для зразків з показником середньої густини  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ , які не перевищують необхідний мінімум в 10 Гц. Отже використання виробів з такими показниками для поліпшення звукоізоляційних властивостей будівельних конструкцій є недоцільним.

3. Результати експерименту показали значний вплив середньої густини на показник звукоізоляції панелей з гумової крихти, чим вища середня густина, тим краща звукоізоляція виробу. Так, панель №7 має кращі звукоізоляційні властивості порівняно з панеллю №4 на 10,5%. Панель №16 характеризується поліпшеними звукоізоляційними властивостями порівняно з панеллю №13 на 42,8%, а порівняно з панеллю №10 – кращі на 168,0%. Панель №25 відзначається покращеними звукоізоляційними властивостями порівняно з панеллю №22 на 56,9%, а порівняно з панеллю №19 – кращими на 231,46%.

Отже, зміна показника середньої густини матеріалу незалежно від товщини панелі значно впливає на показник звукоізоляції матеріалу виробу.

### **3.2 Вплив рецептурно-технологічних факторів на теплоізоляційні властивості гумових панелей**

Враховуючи, що панелі з гумової крихти рекомендується застосовувати в якості огорожувальних конструкцій будівель і споруд, постає необхідність проведення досліджень з визначення теплоізоляційних властивостей гумових панелей прийнятих складів та характеристик.



В ході досліджень використовували певну кількість зразків різної товщини, густини і гранулометричного складу, вибраних з матриці зразків, приведеної в табл. 2.1 (розділ 2).

В табл. 3.1 показані гранулометричний склад і властивості дослідних зразків.

Таблиця 3.1

## Склад та характеристики дослідних зразків

Зразок номер	Товщина мм	Гранулометричний склад мм	Вага кг/м <sup>2</sup>	Густина кг/м <sup>3</sup>	ПУ клей гр
1	10	0,5-2	7	700	296
2	10	2-3,5	7	700	296
3	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	7	700	296
7	10	0,5-2	11	1100	465
8	10	2-3,5	11	1100	465
9	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11	1100	465
13	10	0,5-2	11,25	750	475
14	10	2-3,5	11,25	750	475
15	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11,25	750	475
19	10	0,5-2	11,7	585	858
20	10	2-3,5	11,7	585	858
21	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11,7	585	858
25	10	0,5-2	18,3	915	1340
26	10	2-3,5	18,3	915	1340
27	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	18,3	915	1340

Зразки були згруповані за густиною матеріалу наступним чином:

- $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup> – зразки 1-3;
- $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup> – зразки 7-9;
- $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup> – зразки 13-15;
- $\rho=585$  кг/м<sup>3</sup> – зразки 19-21;
- $\rho=915$  кг/м<sup>3</sup> – зразки 25-27.

Гранулометричний склад розділили на 3 типи:

- дрібний розмір зерна 0,5-2,0 мм;
- великий розмір зерна 2,0-3,5 мм;
- змішана структура, яка складається з 35% дрібного розміру зерна та

65% великого розміру зерна.

За результатами експериментів були побудовані графіки залежності величини теплопровідності  $\lambda$  від густини матеріалу та гранулометрії гумового заповнювача.

На рис. 3.7 показано, що криві мають значення, досить близькі до густині  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ , тобто вплив гранулометрії на  $\lambda$  в цьому діапазоні густині проявляється несуттєво, і починає позначатися при густині матеріалу більше  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ .

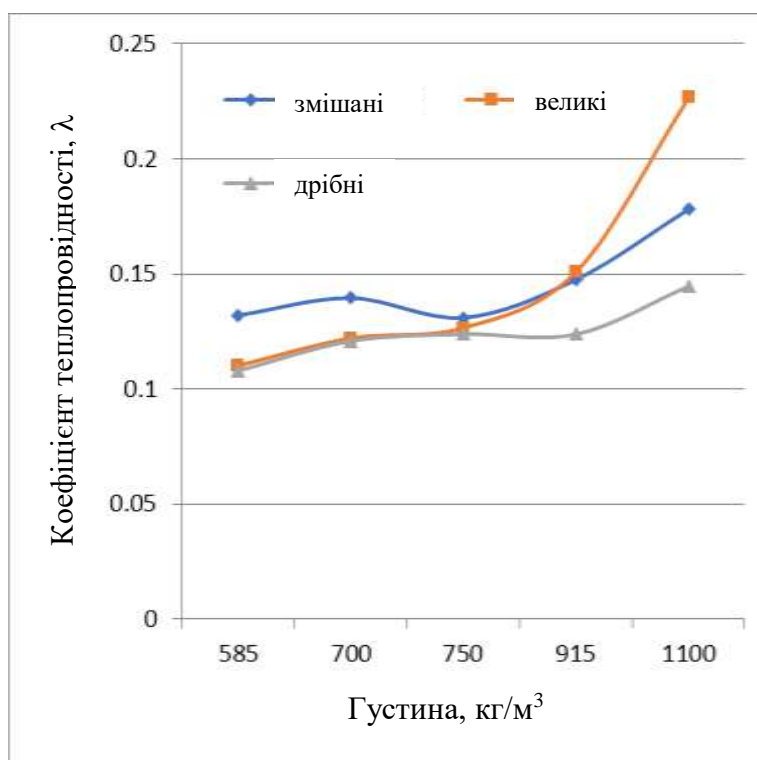


Рис. 3.7. Залежність коефіцієнта теплопровідності від густини матеріалу та розмірів гранул гуми

Також результати цього експерименту можна представити у вигляді стовпчастих діаграм (рис. 3.8), показуючи взаємозв'язок гранулометричного складу і коефіцієнта теплопровідності для згрупованих по щільності зразків.

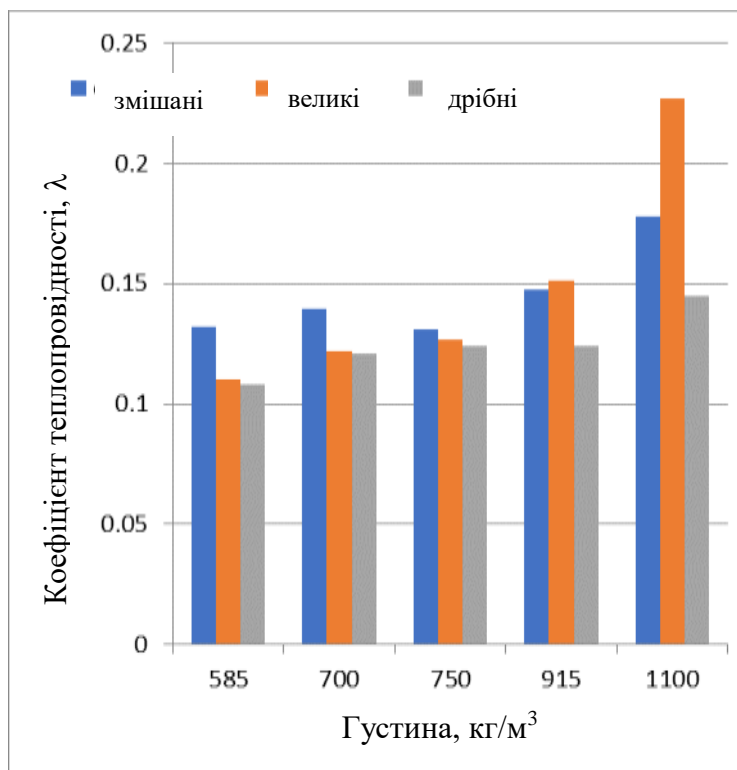


Рис. 3.8. Вплив густини виробу та гранулометричного складу на показники коефіцієнта теплопровідності матеріалу

- Група зразків 1-3 ( $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>): показники теплопровідності зразка №1 з гранулометричним складом, що складається з зерен дрібного розміру, є майже ідентичними результатам, отриманим для зразка №2, до складу якого входять великі зерна, тоді як зразок №3 змішаного гранулометричного складу показав значно високий результат, величина теплопровідності зросла на 13,3%.

- Група зразків 7-9 ( $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>): зразок №9, що містить змішаний гранулометричний склад, показав збільшення теплопровідності на 18,5%, в той же час теплопровідність зразка №8, що складається з великих зерен гумової крихти, зросла на 36,1% в порівнянні зі зразком №7, до складу якого входять зерна дрібного розміру.

- Група зразків 13-15 ( $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>): значення теплопровідності зразка №14, що складається з великих зерен, практично не змінились, в той час як зразок №15 зі змішаним гранулометричним складом показує результат,

вищий на 5,3% в порівнянні зі зразком №13 з гранулометричним складом, що складається з зерен дрібного розміру.

- Група зразків 19-21 ( $\rho=585 \text{ кг/м}^3$ ): зразок №20, що складається з великих зерен, показує більш високе значення теплопровідності. В той же час, величина теплопровідності зразка №21, що відзначається змішаним гранулометричним складом крихти, зростає на 18,2% по порівняно зі зразком №19 з гранулометричним складом, що складається з зерен дрібного розміру.

- Група зразків 25-27 ( $\rho=915 \text{ кг/м}^3$ ): зразок №27 змішаного гранулометричного складу крихти показує значення теплопровідності 5,6%, в той час як зразок № 6, що складається з великих зерен, показує результат на 17,9% кращий в порівнянні з зразком №25 з гранулометричним складом, що містить зерна дрібного розміру.

Таким чином, зразки з гранулометричним складом, що складається з зерен дрібного розміру (розмір зерна становить 0,5-2,0 мм), показують кращі властивості, що є показовим для всіх випробовуваних зразків. Спостерігається, що при густині менше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  гранулометричний склад, що містить зерна великого розміру, має підвищені показники теплопровідності, порівняно зі зразками, що включають змішаний гранулометричний склад гумових гранул. При густині більше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  змішаний гранулометричний склад крихти створює умови для підвищення показників теплопровідності зразків, тобто має перевагу перед зразками з гранулометричним складом, що містять зерна великого розміру.

Оскільки всі зразки з гранулометричним складом, що складаються з зерен дрібного розміру, є кращими у своїй групі, можна порівняти результати визначення теплопровідності, об'єднавши їх в табл. 3.2.

Результати експерименту показують, що перероблений каучук може поліпшити теплові властивості конструкції будівлі. Вибір матеріалу залежить від потреб та способу застосування виробу. Для всіх зразків наявність дрібних частинок в матеріалі дає найкращі результати.

Таблиця 3.2

Властивості панелей, що містять зерна гумової крихти дрібного розміру

Зразок №:	19	1	13	25	7
Кількість клею (гр.)	42,9	29,6	31,67	67	46,5
Густина (кг/м <sup>3</sup> )	585	700	750	915	1100
C (0,5-2,0 мм)	0,108	0,121	0,124	0,124	0,145

Також видно, що значення коефіцієнта теплопровідності  $\lambda$  зменшується зі зменшенням густини. Можна також зробити висновок про те, що кількість в'язучого клею в кількості 4-7,5% від маси зразка суттєво не впливає на результати. Це може бути пов'язано з присутністю невеликої частки пор в структурі матеріалу, об'єм яких залежить від гранулометричного складу гранул гумової крихти в зразках.

### ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 3:

1. Експериментально визначені значення звукоізоляції зразків, що розрізняються за густиною матеріалу, гранулометричним складом гумової крихти та кількістю в'язучого. Результати випробувань звукоізоляційних властивостей дають уявлення про поведінку матеріалу при впливі звуку. Залежно від дії різних частот визначено вплив прийнятих змінних факторів на отримання якісного матеріалу, відповідного заданим умовам по звукоізоляції.

2. Збільшення товщини панелі не призводить до збільшення значення звукоізоляції. При збільшенні густини матеріалу збільшується показник звукоізоляції виробу. Якщо густина матеріалу збільшується на 1%, індекс звукоізоляції зростає на 6,4% при інших незмінних значеннях. При збільшенні кількості в'язучого (поліуретанового клею) підвищується показник звукоізоляції. Якщо збільшити кількість в'язучого на 1%, індекс звукоізоляції зростає на 1,2% при інших незмінних значеннях.

3. Результати експерименту показують, що панелі з переробленого каучуку можуть використовуватись в якості теплоізоляційного матеріалу, тим самим, відповідно, поліпшуючи теплові властивості конструкції будівлі. Результати дослідження термічних властивостей гумових панелей показали, що найкращі теплоізоляційні властивості мають зразки, виготовлені з гумової крихти змішаного за розмірами зерен складу, а також з найменшою густиною та максимальною кількістю пор в структурі матеріалу.

## ГЛАВА 4

### ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАНЕЛЕЙ З ПЕРЕРОБЛЕННОЇ ГУМИ

#### **4.1 Вплив основних факторів на міцність при розтягу гумових панелей**

Оскільки досліджувані гумові панелі являють собою полімерний матеріал, то виникає необхідність проведення експериментів з визначення показників міцності виробів при розтягу.

Випробування проводилися на зразках, виготовлених відповідно до стандарту HRN EN ISO 527-4: 2008 і DIN 53504-S1.

Перший зразок був протестований для перевірки загального ефекту та оцінки статистичної моделі, щоб отримати параметри, які дозволяють оцінити очікувану подію при прояві деформації та руйнування матеріалу, в той час як другий зразок був випробуваний для отримання даних модуля пружності для кожної групи зразків.

Опір розтягуючого напруження визначався шляхом прикладання сили.

Метою проведення експерименту є визначення ступеня деформації по відношенню до даного навантаження і того, як матеріал реагує на силові впливи.

Результати обробляли для визначення того, як одинична зміна, наприклад, гранулометричного складу (або густини, або кількості клею) впливає на зміну залежної від сили деформації.

Використовували 27 зразків різної товщини, середньої густини матеріалу і гранулометричного складу гумових гранул, ідентичних тим, що були дослідженні при проведенні експерименту по визначенню звукоізоляційних властивостей панелей, виготовлених з переробленої гумової крихти. Матриця зразків, в якій наведено склад зразків та характеристика кожного із зразків, приведена в табл. 2.1 (розділ 2).

Проведено аналіз результатів досліджень зразків, згрупованих за розмірами гранул крихти, та визначено подальше ставлення матеріалу виробів до деформації в умовах зміни гранулометричного складу гумової крихти.

Порівнювалися показники властивостей 3 зразків, кожний з яких відрізнявся за гранулометричним складом крихти, але мав однакову кількість клею та однаковий показник середньої густини матеріалу.

На рис. 4.1 показані результати порівняння показників міцності при розтягу зразків №1 (дрібні гранули), №2 (великі гранули) і №3 (суміш гранул різного розміру).

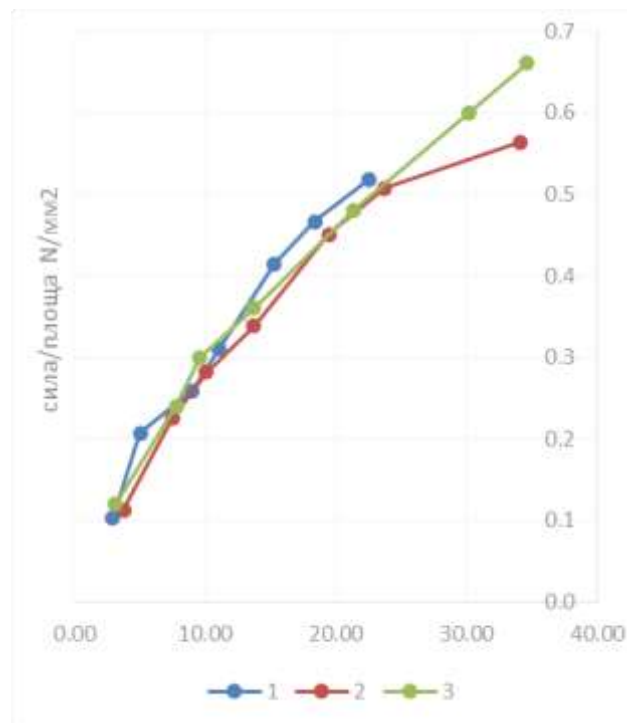


Рис. 4.1. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №1, №2 і №3

Результати досліджень показали, що показники міцності при розтягу для всіх зразків є практично ідентичними, проте зразок №1 має найнижчий опір руйнуванню, тоді як зразок №3 має кращі пружні властивості. Зона



розриву для зразків №2 і №3 знаходиться в схожій області деформації, в той час як зразок №1 має розрив в нижній області деформації. Деформація розтягування для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №1 цей показник становить 22,5 мм або 37,6%, для зразка 2 – 34,1 мм або 56,8%, а для зразка 3 – 34,6 мм або 57,7%.

На рис. 4.2 показано порівняння показників міцності при розтягу зразків №4 (дрібні гранули), №5 (великі гранули) і №6 (суміш гранул різного розміру).

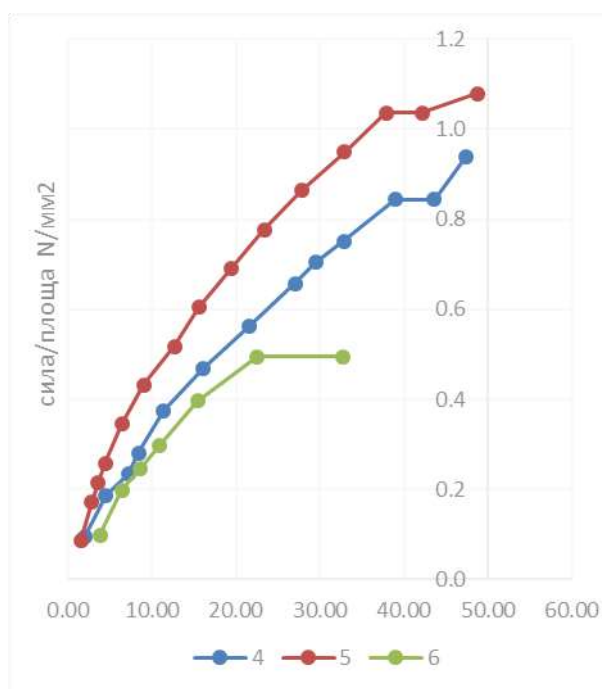


Рис. 4.2. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №4, №5 і №6

Криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу. Подібність проявляється тільки в початковій частині впливу сили на зразки. Точка перетину зразків №4 і №5 знаходиться в схожій області деформації, в той час як для зразка №6 можна спостерігати значно меншу величину деформації. Зразок №6 має розрив при найнижчому значенні деформації, тоді як зразок №5 має кращі властивості пружності.

Деформація розтягу для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка № 4 цей показник становить 47,35 мм або 78,9%, для зразка №5 – 48,7 мм або 81,2%, а для зразка №6 – 32,7 мм або 54,5%.

На рис. 4.3 показано порівняння показників міцності при розтягу зразків №7 (дрібні гранули), №8 (великі гранули) і №9 (суміш гранул різного розміру).

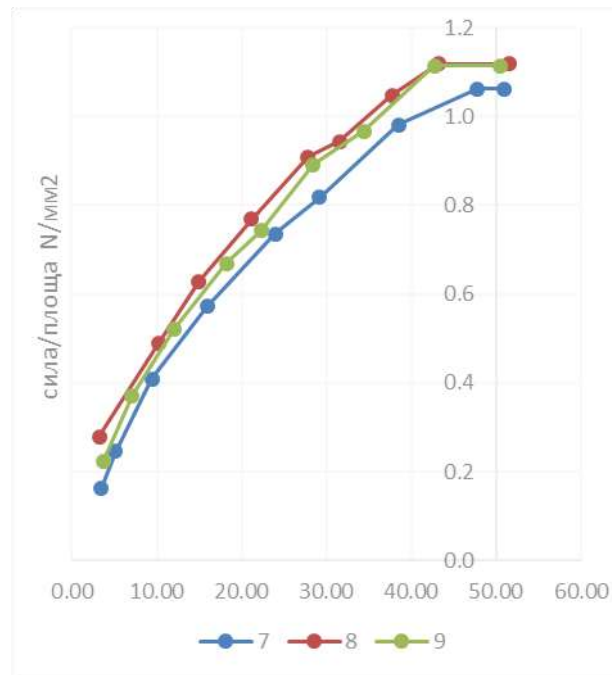


Рис. 4.3. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №7, №8 і №9

Криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу, але також видно, що вони знаходяться практично в одній області. Це означає, що ці зразки мають дуже схожі значення пружних властивостей під навантаженням. Є часткове перекриття кривих в зоні руйнування матеріалу зразків №8 та №9. Точка розриву знаходиться в дуже схожій області деформації.

Зразок №7 має розрив при найнижчому значенні навантаження, тоді як зразок №8 має кращі пружні властивості.

Деформація розтягування для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №7 цей показник становить 50,90 мм або 84,8%, для зразка №8 – 51,50 мм або 85,8%, для зразка №9 – 50 мм або 85,8%.

На рис. 4.4 показано порівняння показників міцності при розтягу зразків №10 (дрібні гранули), №11 (великі гранули) і №12 (суміш гранул різного розміру).

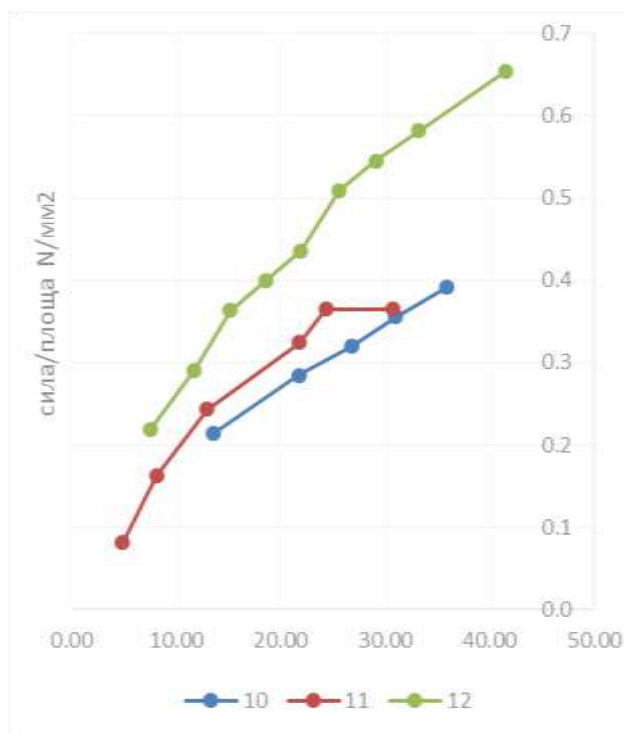


Рис. 4.4. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №10, №11 і №12

Криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу з чіткою межею щодо широкої області, в якій вони розташовані. Це означає, що зразки мають дуже різні показники пружних властивостей по відношенню до навантаження. Криві не перетинаються. Точка розриву знаходиться в абсолютно різних областях деформації.

Зразок №11 має розрив при найнижчому значенні навантаження, в той час як зразок №12 має кращі пружні властивості.

Деформація розтягування для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №10 цей показник 35,80 мм або 59,7%, для зразка №11 – 30,75 мм або 51,3%, а для зразка №12 – 41 – 55 мм або 69,3%.

На рис. 4.5 показано порівняння показників міцності при розтягу зразків №13 (дрібні гранули), №14 (великі гранули) і №15 (суміш гранул різного розміру).

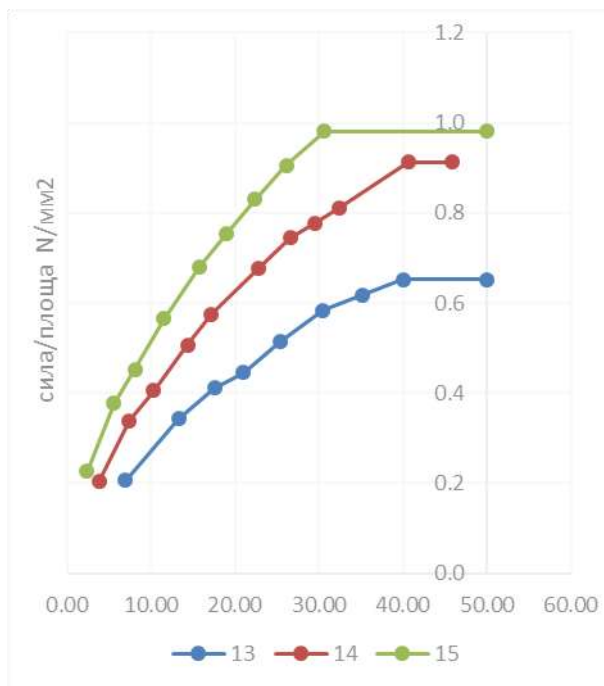


Рис. 4.5. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №13, №14 і №15

Криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу з чіткою межею щодо широкої області, в якій вони розташовані. Це означає, що вони мають дуже різні пружні властивості по відношенню до навантаження. Криві не перетинаються. Точка розриву знаходиться практично в одній області деформації.

Зразок №14 має розрив при найнижчому значенні навантаження, в той час як зразок №15 має кращі пружні властивості

Деформація розтягування для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №13 цей показник становить 50,00 мм або 83,3%, для зразка №14 – 45,80 мм або 76,3%, а для зразка №15 – 50 мм або 83,3%.

На рис. 4.6 показані порівняння показників міцності при розтягу зразків №16 (дрібні гранули), №17 (великі гранули) і №18 (суміш гранул різного розміру).

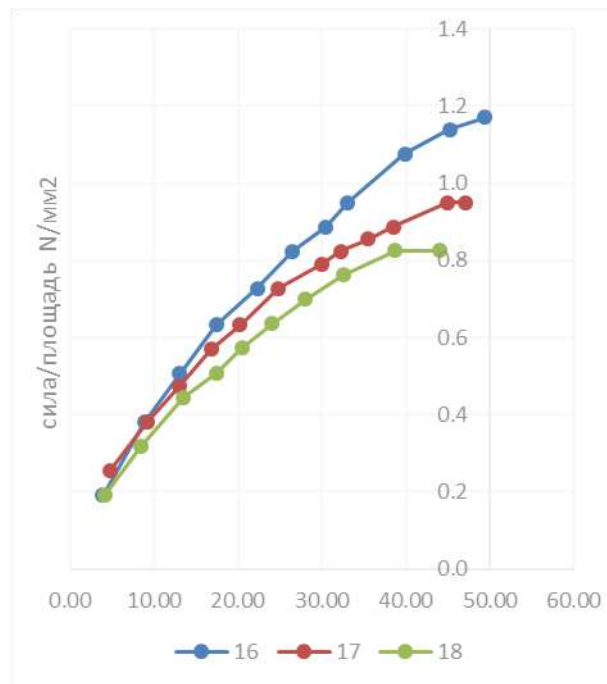


Рис. 4.6. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №16, №17 і №18

На графіку показане наступне:

- криві на графіку показують у першій третині деформації є аналогічними межі міцності при розтягу з частковим перекриттям до вузької області, в якій вони розташовані, тоді як при продовженні деформації ця різниця стає більшою. Це означає, що зразки мають дуже схожі пружні властивості в початкових деформаціях, в той час як в подальшому ця різниця збільшується. Частково перекриваються криві для початкових деформацій, і різниця є значно нижчою, тобто для даної деформації потрібні більш високі навантаження. Точка розриву знаходиться в суміжній області деформації;

- зразок №18 має розрив при найнижчому значенні навантаження і деформації, в той час як зразок №16 має кращі пружні властивості;

- деформація розтягування для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №16 – 49,40 мм або 82,3%, для зразка №17 – 47,10 мм або 78,5%, а для зразка №18 цей показник становить 44,05 мм або 73,4%.

На рис. 4.7 показані порівняння показників міцності при розтягу зразків №19 (дрібні гранули), №20 (великі гранули) і №21 (суміш гранул різного розміру).

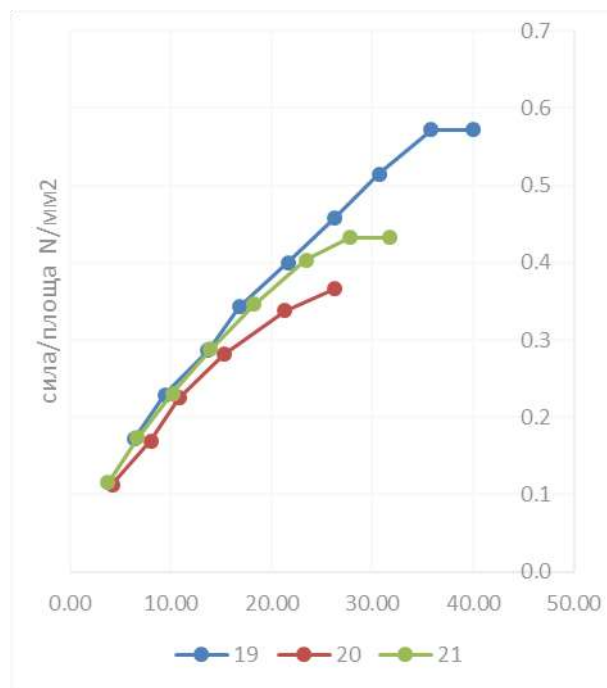


Рис. 4.7. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №19, №20 і №21

Криві на графіку показують у першій третині деформації аналогічні межі міцності при розтягу з частковим перекриттям щодо вузької області, в якій вони розташовані, тоді як при продовженні деформації ця різниця стає більшою. Це означає, що зразки мають дуже схожі пружні властивості в початкових деформаціях, в той час, як в подальшому ця різниця збільшується. Частково перекриваються криві для початкових деформацій, і різниця є значно нижчою, тобто для даної деформації потрібні більш високі

навантаження. Точка розриву знаходиться в абсолютно іншій області деформації.

Зразок №19 має розрив при найнижчому значенні навантаження і деформації, в той час як зразок №16 має кращі пружні властивості

Деформація розтягу для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №19 цей показник становить 40,00 мм або 66,7%, для зразка №20 – 26,20 мм або 43,7%, а для зразка №21 – 31,75 мм або 52,9%.

На рис. 4.8 показані порівняння показників міцності при розтягу зразків №22 (дрібні гранули), №23 (великі гранули) і №24 (суміш гранул різного розміру).

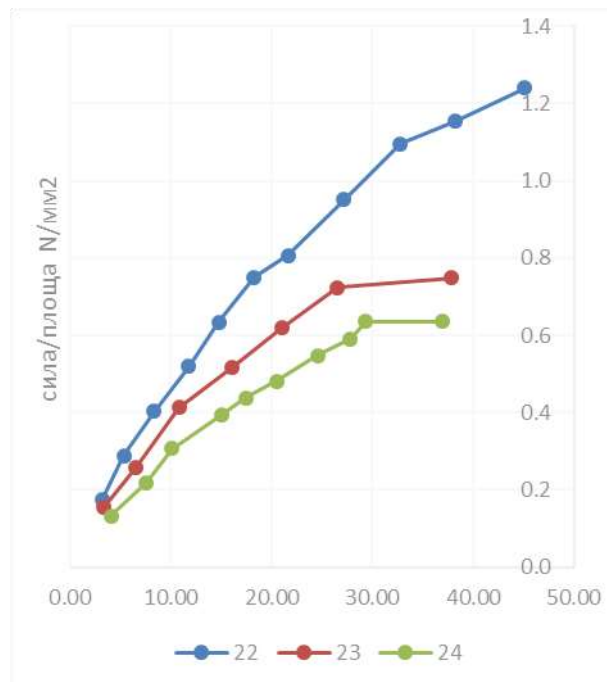


Рис. 4.8. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №22, №23 і №24

На графіку показане наступне:

- криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу. Подібність проявляється тільки в початковій частині впливу сили на зразки. Точка розриву зразків №23 і №24 знаходиться в дуже схожій області

деформації, тоді як для зразка №22 величина цієї деформації є значно більшою;

- зразки №23 і №24 мають розрив при аналогічному значенні деформації, але руйнування зразка №23 для тієї ж деформації потребувало посилення навантаження, в той час як зразок №22 мав кращі пружні властивості;

- деформація розтягу для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №22 – 45,10 мм або 75,2%, для зразка №23 – 37,90 мм або 63,2%, а для зразка №24 – 36,95 мм або 61,6%.

На рис. 4.9 показано порівняння показників міцності при розтягу зразків №25 (дрібні гранули), №26 (великі гранули) і №27 (суміш гранул різного розміру).

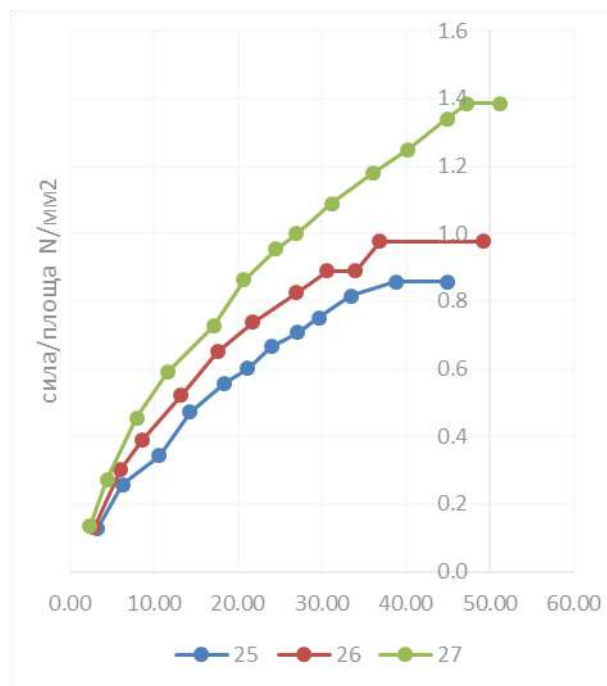


Рис. 4.9. Вплив гранулометричного складу гумової крихти на показники міцності при розтягу зразків №25, №26 і №27

На графіку показане наступне:

- криві на графіку показують різні значення міцності при розтягу. Подібність проявляється тільки в початковій частині впливу сили на зразки. Точки розриву розрізняються по величині деформації;



- руйнування зразків відбувається при різних значеннях деформації, але зразок №27 має кращі пружні властивості, в той час як зразок №25 відзначаються гіршими властивостями.

- деформація розтягу для кожного зразка наступна (довжина зразка 60 мм): для зразка №25 – 45,00 мм або 75,0%, для зразка №26 – 49,20 мм або 82,0%, а для зразка №27 цей показник становить 51, 20 мм або 85,3%.

У табл. 4.1 узагальнено результати проведеного експерименту для визначення впливу прийнятих факторів на характеристики матеріалу.

Таблиця 4.1

## Зведення результатів експерименту

Клей, кг/м <sup>3</sup>	29,6	38	64,5	25,35	31,67	67	585	55	67
Густина, кг/м <sup>3</sup>	700	900	1100	600	750	916	42,9	750	915
Еластичний розрив	Графік 1	Графік 2	Графік 3	Графік 4	Графік 5	Графік 6	Графік 7	Графік 8	Графік 9
S (0,5-2,0)	-	0	-	-	-	+	+	+	-
	-	0	-	0	-	+	+	+	-
K (2,0-3,5)	0	+	+	0	0	0	-	0	0
	0	+	+	-	0	0	-	0	0
S+K (суміш)	+	-	0	+	+	-	0	-	+
	+	-	0	+	+	-	0	-	+

Примітка: S – дрібне зерно; K – велике зерно; S+K – суміш зерен;  
«+» – кращий результат; «-» – гірший результат; «0» – середній результат.

У табл. 4.2 наведені порівняні результати проведених випробувань. Показано, як гранулометричний склад впливає на розтяжне зусилля.

Таблиця 4.2

## Порівняння результатів випробувань

Густина, кг/м <sup>3</sup>	585	600	700	750	900	915	916	1100
S (0,5-2,0)	+	-	-	-	0	-	+	-
K (2,0-3,5)	-	0	0	0	+	0	0	+
S+K (суміш)	0	+	+	+	-	+	-	0

Таким чином, при більш низькій густині матеріалу (менше  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ ) найкращі результати досягаються при поєднанні розподілу часток за розмірами. Тому, якщо об'єднати гранули гумової крихти різного розміру, можна отримати найкращі результати для області пружності. Також можна зробити висновок, що матеріал меншого розміру (S) знаходиться в гіршому становищі, ніж матеріал більшого розміру. При більш високій густині матеріалу (більше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ) результати є неоднозначними. Слід підкреслити, що матеріали з більш високою густиною містять більшу кількість клею; це також є параметром, який може суттєво впливати на властивості панелей з гумової крихти.

#### **4.2 Вплив основних факторів на коефіцієнт теплопередачі матеріалу гумових панелей**

Метод, за допомогою якого визначали теплопровідність матеріалу гумових панелей, належить до класичних методів стаціонарного одновимірного теплового потоку через пластину або циліндр з охоронними кільцями. Ідея цих методів випливає з закону Фур'є, який встановлює прямо пропорційну залежність теплового потоку від температурного градієнта.

Теплопровідність матеріалів, виготовлених з переробленого каучуку, перевірена експериментально. Геометрія і розміри зразків адаптовані до випробовуваних зразків.

При проведенні досліджень були використані зразки, характеристики яких наведені табл. 2.1 (розділ 2).

Отримані результати досліджень представлені на рис. 4.10.

Результати експериментів з визначення теплопровідності зразків, що відрізняються за прийнятими характеристиками, відображенні в табл. 4.3.

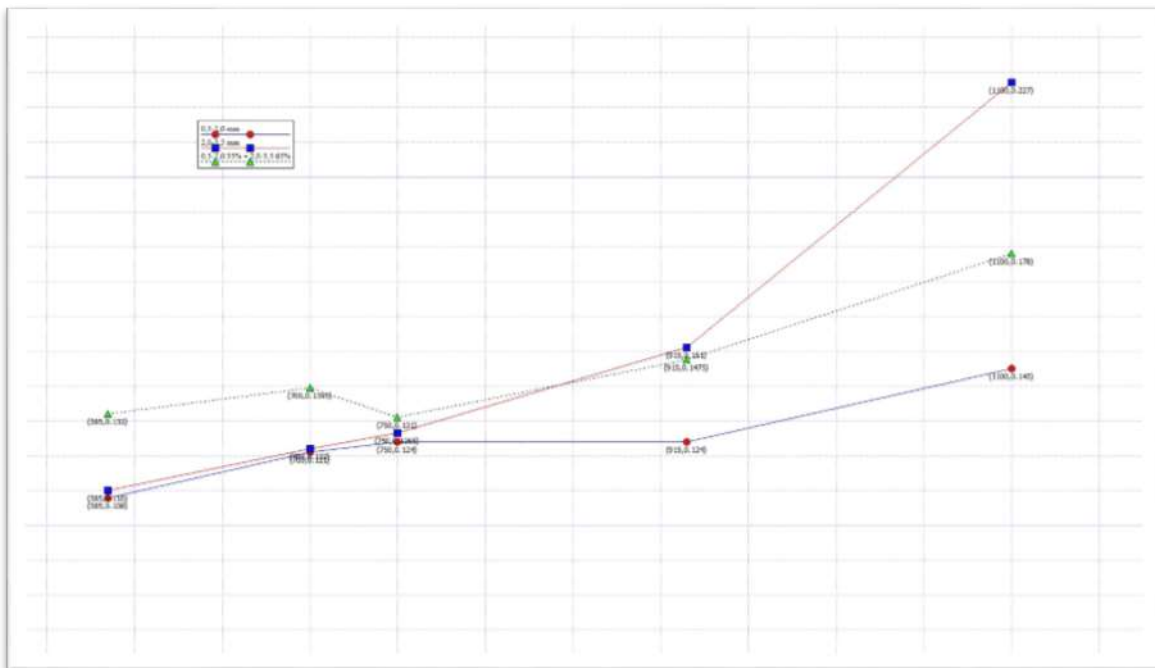


Рис. 4.10. Графічне представлення результатів досліджень

Був проведений аналіз властивостей гумових панелей на основі гранулометричного складу крихти. Для цього аналізу результати представлені в табличній формі (табл. 4.4).

Аналіз результатів досліджень показав:

- Для групи зразків 1-3 хороші результати показує зразок №1, що включає невеликі за розміром частинки, що є практично майже ідентичним показником властивостей зразку №2 з крупнозернистим складом крихти, тоді як зразок №3 відзначається підвищеними значеннями теплопровідності, на 13,26% вище, порівняно з іншими зразками.

- Для групи зразків 7-9, зразок №9 (зі змішаним складом гумових гранул) показав більш високе значення теплопровідності, на 18,5%, в той час як зразок №8 показав вищий результат на 36,12% в порівнянні з зразком №7.

- Для групи зразків 13-15, зразок № 14 показує більш високе значення на 1,59%, в той час як зразок №15 показує більш високий результат на 5,3% в порівнянні зі зразком №13.

Таблиця 4.3

## Відображення результатів досліджень

Густина	Кількість клею	Зразок №:	Коефіцієнт $\lambda$	Гранулометричний склад крихти
700 кг/м <sup>3</sup>	29,6 кг/м <sup>3</sup>	1	0,121	S
		2	0,122	K
		3	0,1395	S+K
1100 кг/м <sup>3</sup>	46,5 кг/м <sup>3</sup>	7	0,145	S
		8	0,227	K
		9	0,178	S+K
750 кг/м <sup>3</sup>	31,67 кг/м <sup>3</sup>	13	0,124	S
		14	0,126	K
		15	0,131	S+K
585 кг/м <sup>3</sup>	42,9 кг/м <sup>3</sup>	19	0,108	S
		20	0,11	K
		21	0,132	S+K
915 кг/м <sup>3</sup>	67 кг/м <sup>3</sup>	25	0,124	S
		26	0,151	K
		27	0,147	S+K

Таблиця 4.4

## Отримані результати для оцінки властивостей зразків

Зразок №:	19-21	1-3	13-15	25-27	7-9
Кількість клею	42,9	29,6	31,67	67	46,5
Щільність	585	700	750	915	1100
S (0,5-2,0)	+	+	+	+	+
K (2,0-3,5)	0	0	0	-	-
S+K (суміш)	-	-	-	0	0

Примітка: S – дрібні зерна; K – великі зерна; S+K – суміш зерен;

«+» – кращий результат; «-» – гірший результат; «0» – середній результат.

- Для групи зразків 19-21, зразок №20 характеризується достатнім значенням теплопровідності, зразок №21 показує більш високий результат на 18,2% в порівнянні з зразком №19.

- Для групи зразків 25-27, зразок № 27 показує більш високе значення на 15,6%, в той час як зразок №26 показує більш високий результат на 17,9% в порівнянні з зразком №25.

Таким чином, можна заключити, що зразки з невеликим розміром частинок (0,5-2,0 мм) показують кращі властивості (для всіх зразків). При густині менше  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>, зразок з більшим гранулометричним складом крихти має кращі властивості, ніж зразки зі змішаним складом гумових гранул. При густині більше  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> зразки зі змішаним складом крихти мають перевагу перед зразками, що містять великі гранули гумової крихти.

Оскільки всі зразки з одним і тим же гранулометричним складом є кращими у своїй групі, можна звести їх характеристики в таблицю (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Результати випробування зразків  
від нижчого значення до більш високого значення

Зразок №:	19	1	13	25	7
Кількість клею, кг/м <sup>3</sup>	42,9	29,6	31,67	67	46,5
Густина, кг/м <sup>3</sup>	585	700	750	915	1100
S (0,5-2,0)	0,108	0,121	0,124	0,124	0,145

Можна побачити наступне: густина матеріалу безпосередньо впливає на коефіцієнт теплопередачі. Різниця між тепловим коефіцієнтом зразка №19 і зразка №1 становить 10,7%. Зразки №1, №13 і №25 знаходяться в межах 2,4%, тоді як різниця між зразком №25 і зразком №7 досягає 14,5%.

Збільшення густини матеріалу зразків зумовлює зменшення коефіцієнта теплопередачі та веде до збільшення втрат тепла.

Якщо подивитись на порядок коефіцієнтів теплопередачі від найнижчого значення до найвищого значення та кореляцію між кількістю в'язучої речовини та кількістю адгезиву, можна зробити висновок, що немає явної тенденції або деякої закономірності, яка може чітко показати вплив на отримані результати. Причиною цього може бути невелика частка пор (4-7%) в загальній масі матеріалу гумових панелей.

### **4.3 Вплив основних факторів на модуль пружності гумових панелей**

Модуль пружності матеріалу є одною з важливих характеристик, за якою визначають можливість використання будівельних виробів, зокрема панелей з гумової крихти в якості конструкцій будівель та споруд.

Випробування проводилися на зразках, виготовлених відповідно до DIN 53504-S1 за допомогою устаткування, обладнаного комп'ютером з певною частотою обертання, що дозволяє отримати криву з необхідними параметрами. Результати експерименту обробляються і за ними визначають модуль пружності окремих зразків.

Модуль пружності при розтягу визначається експериментально. Важливо, щоб при подальшій обробці результатів дотримувався принцип обмеження площі максимум до 80% від пружної площі, який не має входити в зону пластичної деформації.

Результати досліджень інтерпретуються для визначення ступеня деформації по відношенню до даного навантаження і того, як матеріал реагує на них.

Склад гумової крихти та властивості випробуваних зразків приведені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Характеристики випробуваних зразків та склад гумової крихти в них

№ зразка	Товщина, мм	Гранулометричний склад, мм	Вага, кг/м <sup>2</sup>	Густина, кг/м <sup>3</sup>	ПУ клей, гр.
1	10	0,5-2	7	700	296
2	10	2-3,5	7	700	296
3	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	7	700	296
4	10	0,5-2	9	900	380
5	10	2-3,5	9	900	380
6	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	9	900	380
7	10	0,5-2	11	1100	465
8	10	2-3,5	11	1100	465
9	10	0,5-2(35%) + 2-3,5(65%)	11	1100	465

Товщина зразків становила 10 мм, тому що пристрій не може приймати товщину більше 12 мм.

Були випробувані три групи зразків, різної густини:  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> і  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>. Кожний з зразків відрізнявся гранулометричним складом гумової крихти та кількістю в'язучого матеріалу.

Була поставлена задача - дослідити поведінку матеріалу та визначити вплив різних чинників на модуль його пружності.

На рис. 4.11-4.19 і в табл. 4.7-4.15 представлені результати проведених досліджень.

Узагальнені результати досліджень показані в табл. 4.16.

Порядок зміни величини модуля пружності з основними характеристиками матеріалу показаний в табл. 4.17.

Проаналізувавши результати проведених експериментів, можна заключити:

Найкращі результати показав зразок №3, що мав показник середньої густини  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>, кількість клею 29,6 кг/м<sup>3</sup> та включав змішаний гранулометричний склад гумових гранул. Значення модуля пружності зразка складає  $E=0,122$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

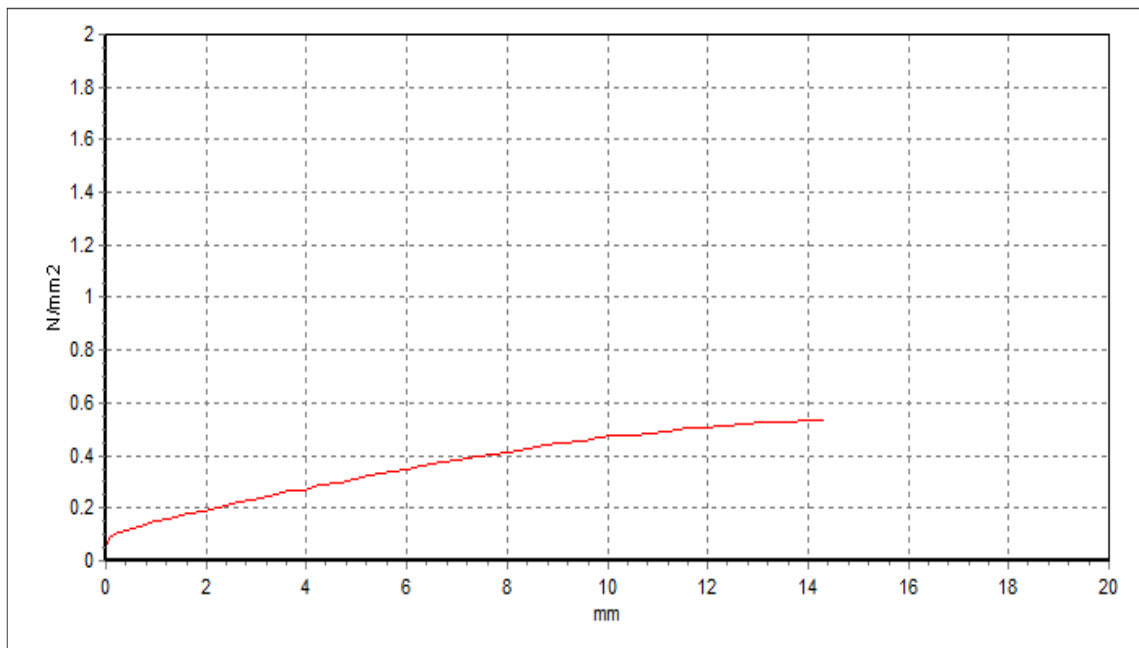


Рис. 4.11. Визначення модуля пружності зразка №1

Таблиця 4.7

## Результати тестування зразка №1

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
	мм	мм		мм <sup>2</sup>		Н / мм <sup>2</sup>	МПа
1	6	8,39	50,34	0,185	2	0,0925	
	6	8,39	50,34	0,265	4	0,0663	
	6	8,39	50,34	0,350	6	0,0583	
	6	8,39	50,34	0,420	8	0,0525	
	6	8,39	50,34	0,480	10	0,0480	
							0,0635



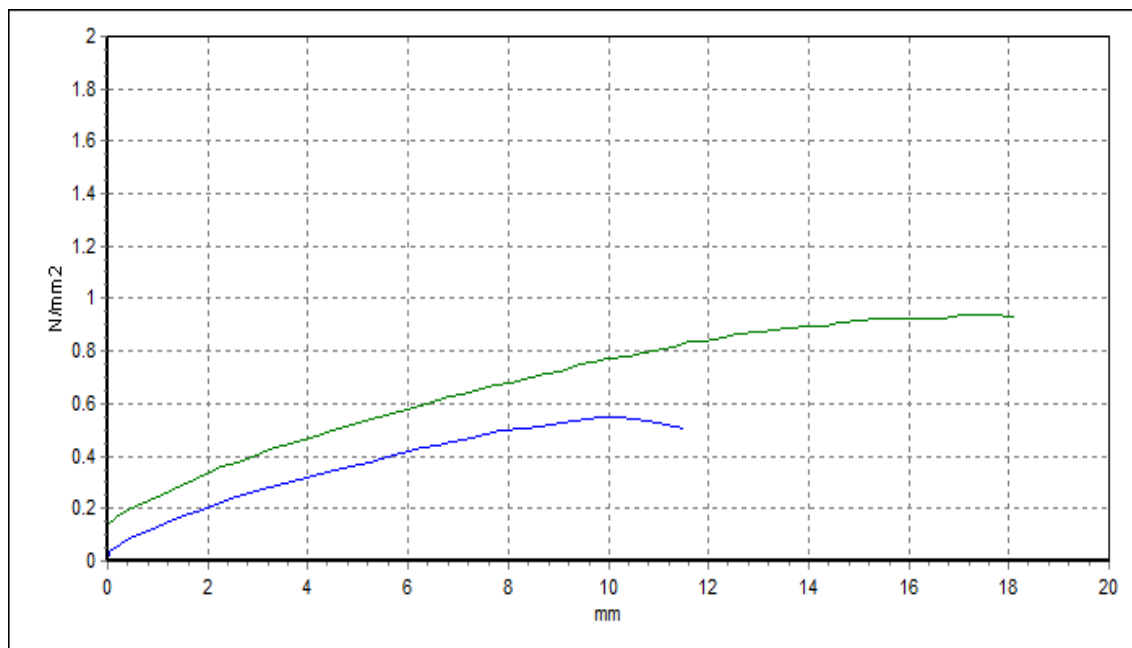


Рис. 4.12. Визначення модуля пружності зразка №2

Таблиця 4.8

## Результати тестування зразка №2

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
2а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	8,41	50,46	0,340	2	0,1700	
	6	8,41	50,46	0,470	4	0,1175	
	6	8,41	50,46	0,580	6	0,0967	
	6	8,41	50,46	0,680	8	0,0850	
	6	8,41	50,46	0,770	10	0,0770	
	6	8,41	50,46	0,835	12	0,0696	0,1026

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
2б	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	8,76	52,56	0,200	2	0,1000	
	6	8,76	52,56	0,320	4	0,0800	
	6	8,76	52,56	0,425	6	0,0708	
	6	8,76	52,56	0,500	8	0,0625	
						0,0783	
						0,0888	

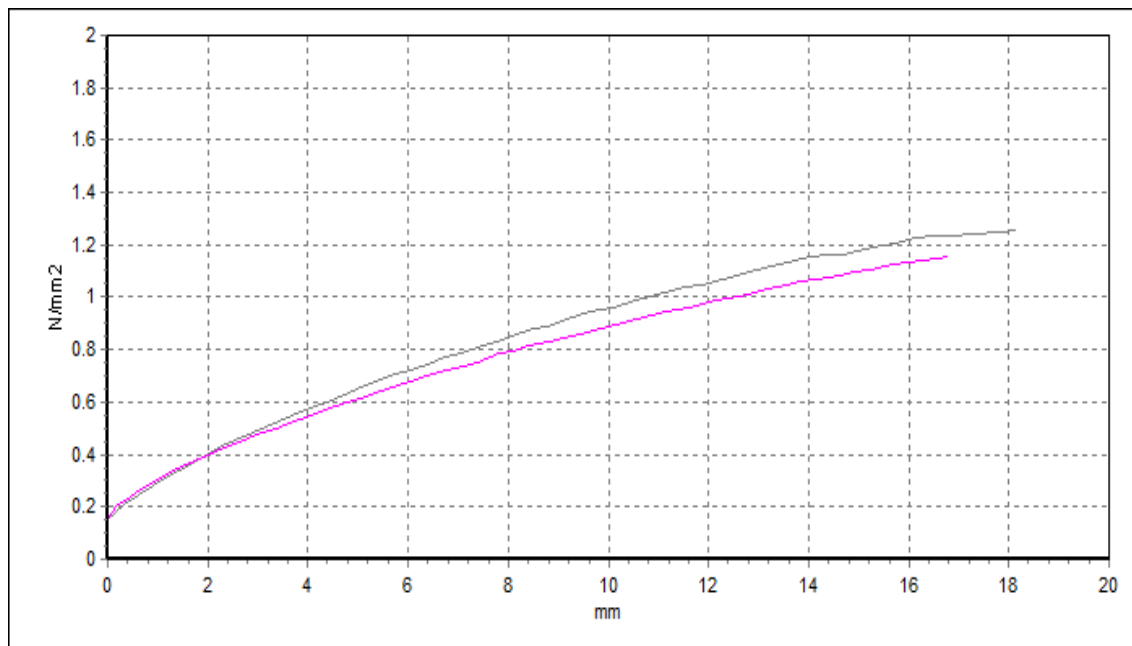


Рис. 4.13. Визначення модуля пружності зразка №3

Таблиця 4.9

## Результати тестування зразка 3

Номер	Ширина мм	Товщина мм	Площа мм <sup>2</sup>	Сила Н / мм <sup>2</sup>	Деформація мм	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
3а	6	9,09	54,54	0,400	2	0,2000	
	6	9,09	54,54	0,570	4	0,1425	
	6	9,09	54,54	0,725	6	0,1208	
	6	9,09	54,54	0,840	8	0,1050	
	6	9,09	54,54	0,960	10	0,0960	
	6	9,09	54,54	1,050	12	0,0875	0,1253

Номер	Ширина мм	Товщина мм	Площа мм <sup>2</sup>	Сила Н / мм <sup>2</sup>	Деформація мм	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
3б	6	9,12	54,72	0,400	2	0,2000	
	6	9,12	54,72	0,545	4	0,1363	
	6	9,12	54,72	0,675	6	0,1125	
	6	9,12	54,72	0,790	8	0,0988	
	6	9,12	54,72	0,880	10	0,0880	
	6	9,12	54,72	0,980	12	0,0817	0,1195 0,1223

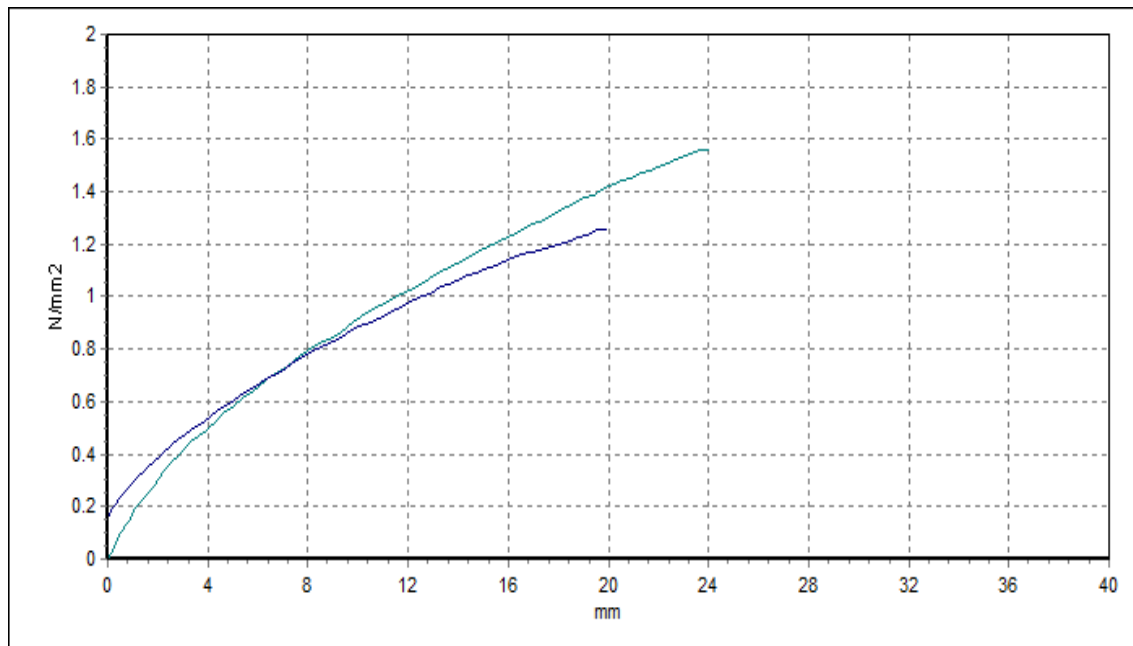


Рис. 4.14. Визначення модуля пружності зразка №4

Таблиця 4.10

## Результати тестування зразка 4

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
4а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	10,14	60,84	0,500	4	0,1250	
	6	10,14	60,84	0,780	8	0,0975	
	6	10,14	60,84	1,200	12	0,1000	
	6	10,14	60,84	1,223	16	0,0764	
							0,0997
4б	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм	МПа	Н / мм <sup>2</sup>
	6	10,80	64,8	0,535	4	0,1338	
	6	10,80	64,8	0,780	8	0,0975	
	6	10,80	64,8	0,970	12	0,0808	
	6	10,80	64,8	1,140	16	0,0713	
							0,0977

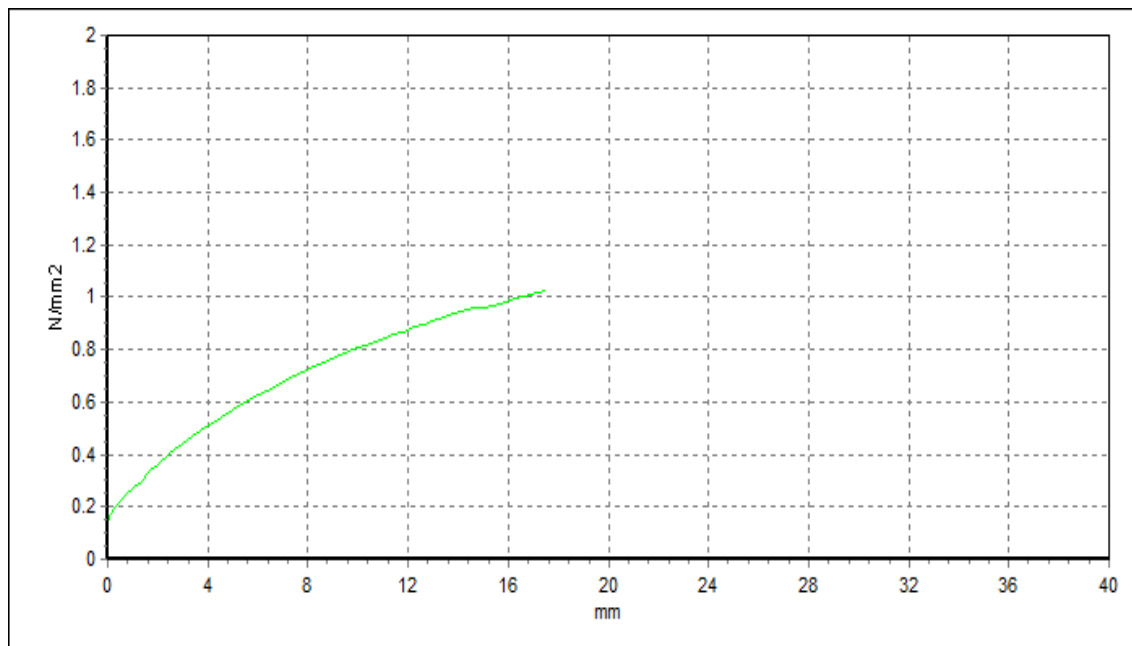


Рис. 4.15. Визначення модуля пружності зразка №5

Таблиця 4.11

## Результати тестування зразка 5

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
5а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	11,71	70,26	0,365	2	0,1825	
	6	11,71	70,26	0,515	4	0,1288	
	6	11,71	70,26	0,627	6	0,1045	
	6	11,71	70,26	0,720	8	0,0900	
	6	11,71	70,26	0,805	10	0,0805	
	6	11,71	70,26	0,870	12	0,0725	
							0,1098

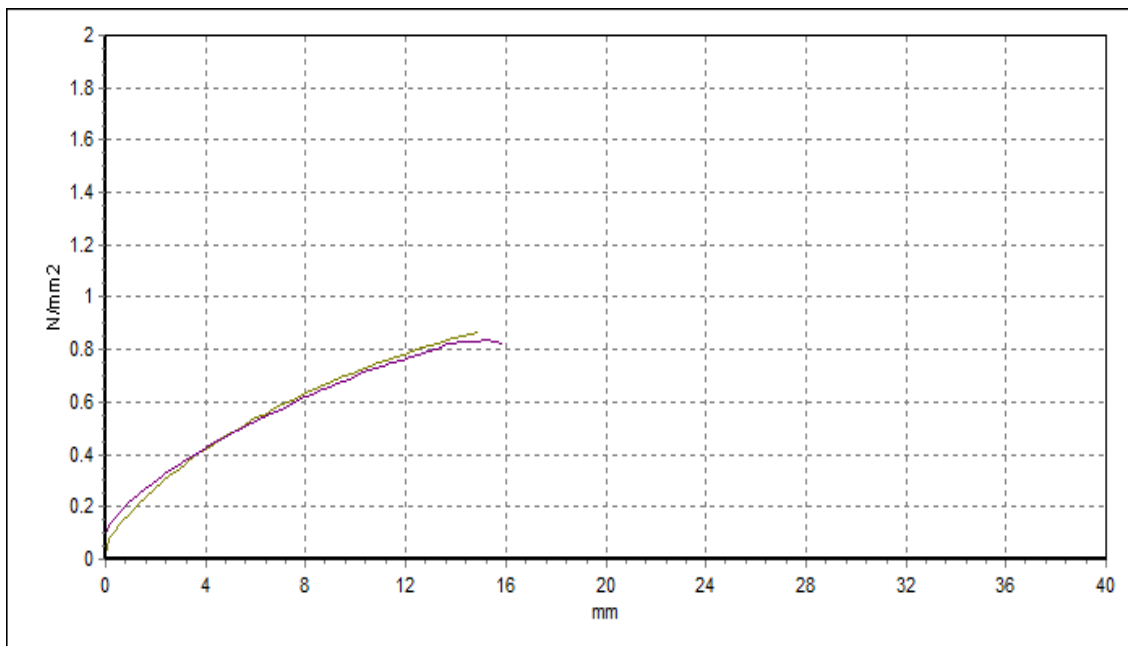


Рис. 4.16. Визначення модуля пружності зразка №6

Таблиця 4.12

## Результати тестування зразка 6

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>		МПа	Н / мм <sup>2</sup>
ба	6	11,71	70,26	0,275	2	0,1375	
	6	11,71	70,26	0,420	4	0,1050	
	6	11,71	70,26	0,592	6	0,0987	
	6	11,71	70,26	0,635	8	0,0794	
	6	11,71	70,26	0,715	10	0,0715	
	6	11,71	70,26	0,780	12	0,0650	
							0,0928
Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>		МПа	Н / мм <sup>2</sup>
6б	6	11,71	70,26	0,295	2	0,1475	
	6	11,71	70,26	0,430	4	0,1075	
	6	11,71	70,26	0,580	6	0,0967	
	6	11,71	70,26	0,622	8	0,0778	
	6	11,71	70,26	0,700	10	0,0700	
	6	11,71	70,26	0,765	12	0,0638	0,0939
						0,0933	

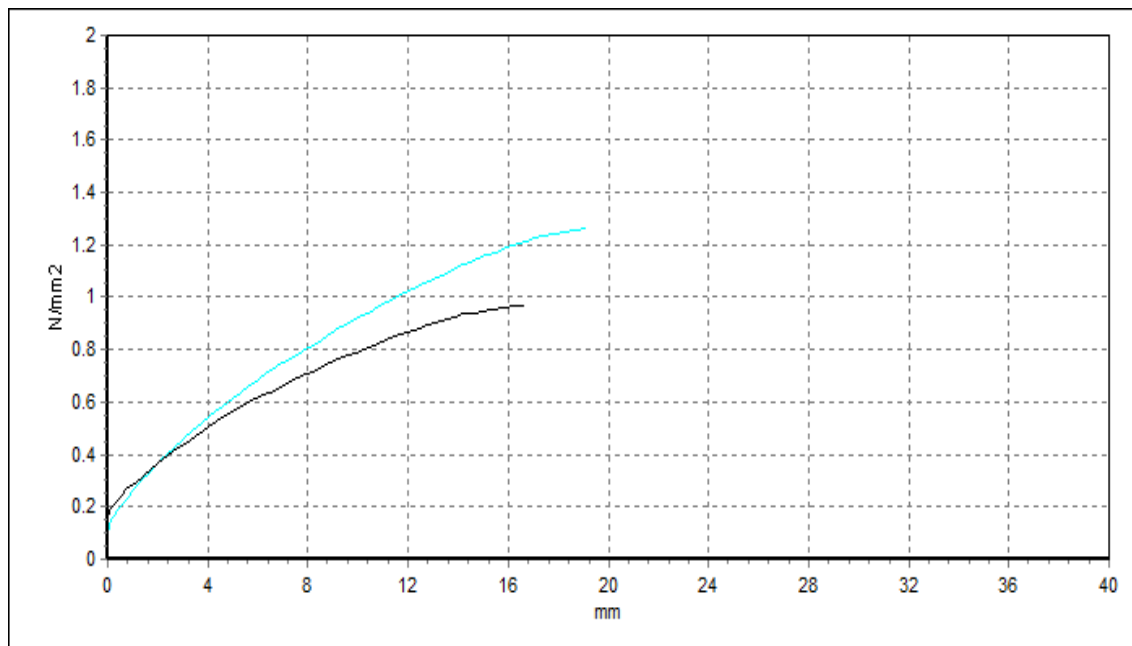


Рис. 4.17. Визначення модуля пружності зразка №7

Таблиця 4.13

## Результати тестування зразка 7

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
7а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм	МПа	Н / мм <sup>2</sup>
	6	9,99	59,94	0,370	2	0,1850	
	6	9,99	59,94	0,545	4	0,1363	
	6	9,99	59,94	0,685	6	0,1142	
	6	9,99	59,94	0,808	8	0,1010	
	6	9,99	59,94	0,922	10	0,0922	
	6	9,99	59,94	1,250	12	0,1042	
							0,1221
Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
7б	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм	МПа	Н / мм <sup>2</sup>
	6	11,70	70,2	0,370	2	0,1850	
	6	11,70	70,2	0,505	4	0,1263	
	6	11,70	70,2	0,620	6	0,1033	
	6	11,70	70,2	0,792	8	0,0990	
	6	11,70	70,2	0,865	10	0,0865	
							0,1200
							0,1211

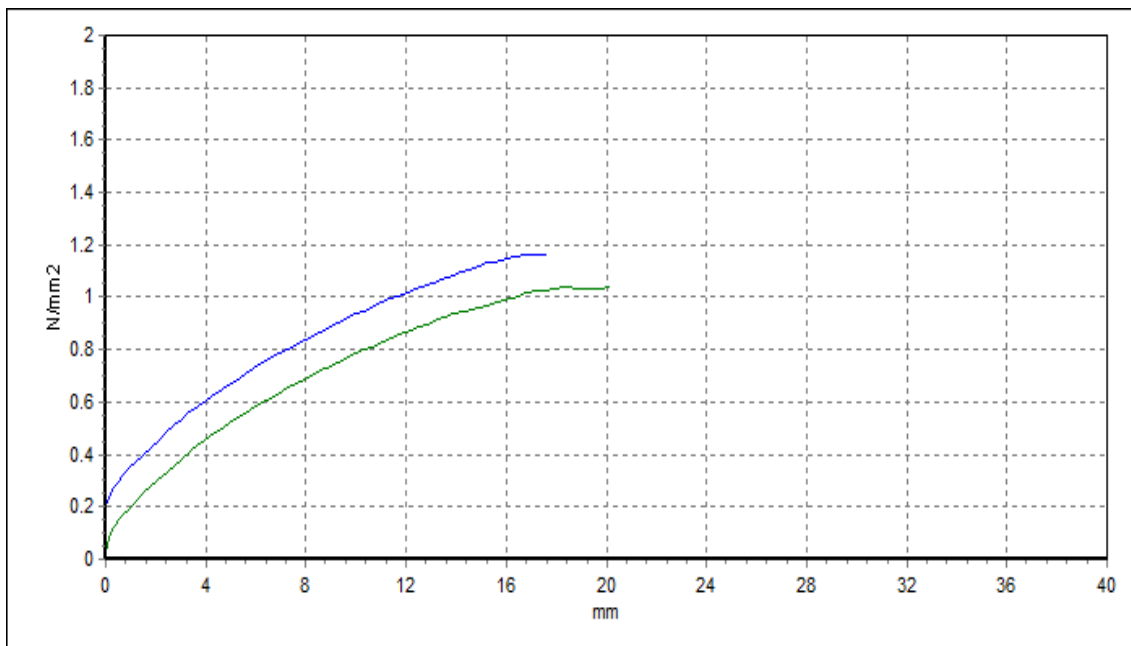


Рис. 4.18. Визначення модуля пружності зразка №8

Таблиця 4.14

## Результати тестування зразка 8

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
8а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	13,15	78,9	0,290	2	0,1450	
	6	13,15	78,9	0,465	4	0,1163	
	6	13,15	78,9	0,585	6	0,0975	
	6	13,15	78,9	0,685	8	0,0856	
	6	13,15	78,9	0,785	10	0,0785	
	6	13,15	78,9	0,865	12	0,0721	
						0,0992	
Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
8б	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	12,98	77,88	0,440	2	0,2200	
	6	12,98	77,88	0,610	4	0,1525	
	6	12,98	77,88	0,735	6	0,1225	
	6	12,98	77,88	0,835	8	0,1044	
	6	12,98	77,88	0,935	10	0,0935	
	6	12,98	77,88	1,150	12	0,0958	0,1315
						0,1130	

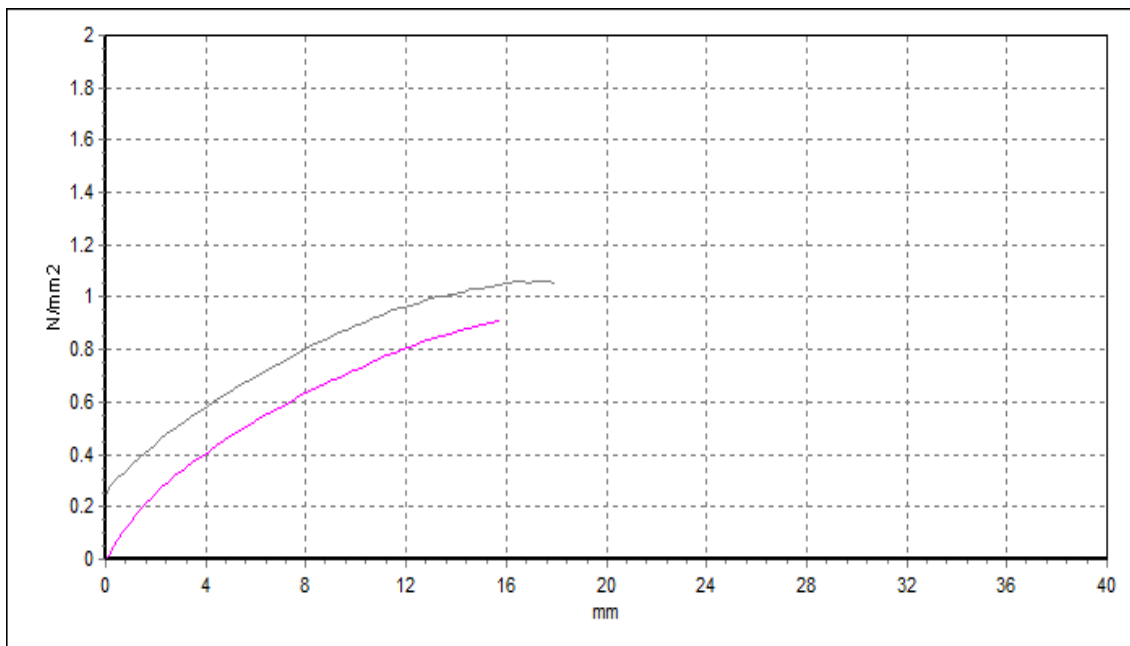


Рис. 4.19. Визначення модуля пружності зразка №9

Таблиця 4.15

## Результати тестування зразка 9

Номер	Ширина	Товщина	Площа	Сила	Деформація	E=σ/ε	
						МПа	Н / мм <sup>2</sup>
9а	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	12,25	73,5	0,440	2	0,2200	
	6	12,25	73,5	0,570	4	0,1425	
	6	12,25	73,5	0,700	6	0,1167	
	6	12,25	73,5	0,800	8	0,1000	
	6	12,25	73,5	0,890	10	0,0890	
	6	12,25	73,5	0,960	12	0,0800	
							0,1247
9б	мм	мм	мм <sup>2</sup>	Н / мм <sup>2</sup>	мм		
	6	12,10	72,6	0,250	2	0,1250	
	6	12,10	72,6	0,410	4	0,1025	
	6	12,10	72,6	0,535	6	0,0892	
	6	12,10	72,6	0,635	8	0,0794	
	6	12,10	72,6	0,720	10	0,0720	
	6	12,10	72,6	0,810	12	0,0675	
							0,0893
							0,1040



Таблиця 4.16

## Узагальнені результати тестування зразків

	Зразок №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E=\sigma/\varepsilon$	МПа	0,064	0,088	0,122	0,098	0,110	0,093	0,121	0,113	0,104

Таблиця 4.17

Таблиця результатів модуля пружності окремих зразків, упорядкованих від більш високих значень до більш низьких значень

Клеї	29,6	46,5	46,5	38	46,5	38	38	29,6	29,6
Густина	700	1100	1100	900	1100	900	900	700	700
Зразок №	3	7	8	5	9	4	6	2	1
$E=\sigma/\varepsilon$ , МПа	0,122	0,121	0,113	0,110	0,104	0,098	0,093	0,088	0,064

Наступне значення модуля пружності складає  $E=0,121$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа) та спостерігається у зразка №7, що містить дрібні гранули та характеризується густиною  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup> при кількості клею 46,5 кг/м<sup>3</sup>.

Зразок №8 знаходиться на наступній позиції. Це зразок з густиною  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup> та кількістю клею 46,5 кг/м<sup>3</sup> з великими зернами гумової крихти. Значення модуля пружності цього зразка складає  $E=0,113$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

Зразок №5 має значення модуля пружності нижче відповідного показника зразка № 8. Цей зразок має густину  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> та містить кількість клею 38 кг/м<sup>3</sup> при великих гранулах гумової крихти. Значення модуля пружності даного зразка складає  $E=0,11$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

Зразок №9 має густину  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup> та кількість клею 46,5 кг/м<sup>3</sup> при змішаному складі гумових гранул. Значення модуля пружності цього зразка складає  $E=0,104$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

Значення модуля пружності зразка №4 складає  $E = 0,08$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа). Густина матеріалу даного зразка становить  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>, кількість клею – 38 кг/м<sup>3</sup> при гранулометричному складі, що містить дрібні зерна.

Зразок №6 має густину  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> та кількість клею 38 кг/м<sup>3</sup>, змішаний гранулометричний склад гумової крихти. Модуль пружності цього зразка складає  $E = 0,093$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

Зразок №2 має густину  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>, кількість клею – 29,6 кг/м<sup>3</sup> та містить великі зерна гумової крихти. Модуль пружності даного зразка складає  $E=0,0736$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

Найменшим показником модуля пружності в цьому експерименті характеризується зразок №1, що має густину  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup>, кількістю клею – 29,6 кг/м<sup>3</sup> та включає склад дрібних зерен гумової крихти. Модуль пружності даного зразка складає  $E=0,064$  (Н/мм<sup>2</sup>) або (МПа).

У табл. 4.18 показані відсоткові відмінності в значенні модуля пружності між зразками, які впорядковані від найвищого значення модуля пружності до найнижчого.

Аналіз результатів показав, що різниця між зразком №3 і зразком №9 складає 14,7%; різниця між зразком №9 і зразком №2 становить 15,48%; різниця між зразком № 3 і зразком № 2 становить 27,9%.

Таблиця 4.18

Відсоткова різниця між кожним випробуваним зразком

Номер зразка	3	7	8	5	9	4	6	2	1
Модуль E	0,1220	0,1210	0,1130	0,1100	0,1040	0,0980	0,0930	0,0880	0,0640
% змін	-	-0,8%	-6,6%	-2,6%	-5,4%	-5,8%	-5,1%	-5,4%	-27,3%

Якщо взяти до уваги, що виробничий процес не може забезпечити рівномірний розподіл часток гумової крихти та в'язучих речовин в об'ємі

виробу, то допустима зміна модуля пружності випробуваних зразків може досягати 27,9%.

В табл. 4.19 приведені характеристики гумових панелей з найбільш раціональними показниками густини залежно від кількості клею в матеріалі виробу.

Таблиця 4.19

Таблиця для визначення тренда

Вміст клеїв, кг/м <sup>3</sup>	29,6	46,5	46,5	38	46,5	38	38	29,6	29,6
Густина, кг/м <sup>3</sup>	700	1100	1100	900	1100	900	900	700	700
Зразок №	3	7	8	5	9	4	6	2	1

Враховуючи невеликий відсотковий розрив між ранжированими зразками за модулем пружності, можна побачити чітку тенденцію, при якій найбільший вплив на значення модуля пружності оказує густина матеріалу. В другій і третій позиціях густина становить  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>, а в п'ятій позиції густина  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup> знаходиться на четвертому, шостому та сьомому місці, а густина  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup> – на першому (можлива аномалія) та на восьмому і дев'ятому місці. Різниці в результатах можуть бути пояснені неможливістю забезпечити рівномірний розподіл гумових гранул та в'язучих речовин в об'ємі виробу. Це особливо проявляються для зразків, що містять змішаний склад гумових гранул різного розміру. Це явище можна назвати виробничою помилкою або недосконалим виробничим процесом, яке може привести до скупчення як гранул, так і сполучних речовин в окремих ділянках об'ємах матеріалу. В результаті можуть виникнути певні області несприятливого розподілу сполучних речовин і гумових гранул, що призведе до погіршення властивостей кінцевого продукту.

#### **4.4 Вплив основних факторів на пористість панелей з гумової крихти**

Пористість є одною з основних характеристик виробів, що призначені для використання в якості огорожувальних конструкцій через те, що кількість та розподіл пор в матеріалі визначає ряд фізико-механічних і деформативних властивостей готового продукту.

Були виготовлені панелі розміром 1 м<sup>2</sup>, з яких потім були вирізані зразки для випробувань. Розмір зразка має бути від 50 см<sup>3</sup> до 200 см<sup>3</sup> за нормами EN 993-1: 2018: Методи випробувань для щільних фасонних вогнетривких виробів. Частина 1. Визначення середньої густини, істинної пористості, яка пов'язана з випробуваннями пористості вогнетривких матеріалів.

Всі зразки мали різні об'єми. Об'єм зразків вимірювали використанням за закону Архімеда в посудині. Об'єм зразка варіювався від 51,2 см<sup>3</sup> до 124,5 см<sup>3</sup>.

Характеристики зразків наведені в табл. 4.1.

Був проведений аналіз результатів досліджень зразків, згрупованих за складом гумової крихти відповідно поставленій задачі – визначити поведінку матеріалу залежно від об'єму пор в умовах зміни гранулометричного складу гранул з гуми.

Вплив гранулометричного складу крихти на об'єм пор для кожного зразка оцінювали без урахування щільності матеріалу та кількості клею в матеріалі.

Зведені результати сукупного об'єму пор в досліджуваних зразках-панелях представлені в табл. 4.20.

Було проаналізовано групи зразків (9 груп з трьох зразків), що мали однакову величину густини.

Для першої групи зразків з густиною  $\rho=585$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 20 мм (зразки №19, №20 і №21) було визначено, що зразок з гранулометричним

складом з дрібних гранул має найвищу пористість 35,8%, зразок, що містив суміш гранул різного розміру, мав 28,9%. В той час зразок з гранулометричним складом, що складався великих зерен, характеризувався найнижчою пористістю, 24,8%, в умовах експерименту. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями пористості в цій групі вибірки становила 11,0%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 4,2%.

Таблиця 4.20

## Зведення результатів сукупного об'єму пор в зразках

Густина, кг/м <sup>3</sup>	Зразок №	Пори, %	Зразок №	Пори, %	Зразок №	Пори, %
585	19	35,828	20	24,708	21	28,96
600	10	36,068	11	22,305	12	27,009
700	1	29,912	2	22,606	3	22,456
750	13	30,008	14	20,4	15	23,625
750	22	25,943	23	22,541	24	24,68
900	4	16,583	5	18,202	6	22,673
915	25	21,214	26	11,456	27	17,323
916	16	20,847	17	18,315	18	20,357
1100	7	22,416	8	18,05	9	21,867

Для другої групи зразків з густиною  $\rho=600$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 15 мм (зразки №10, №11 і №12) було встановлено, що зразок з гранулометричним складом дрібних частинок мав найвищу пористість 36,0%, зразок зі змішаним складом гранул мав 27,0%, тоді як зразок з гранулометричним складом, що утворювався великими зернами крихтами, мав найнижчу пористість, 22,3%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 13,7%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 4,7%.

Для третьої групи зразків з густиною  $\rho=700$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 10 мм (зразки №1, №2 і №3) було визначено, що зразок з гранулометричним

складом з дрібних частинок мав найвищу пористість 29,9%, зразок з гранулометричним складом з великими зернами характеризувався показником пористості – 22,6%, тоді як зразок зі змішаним складом зерен характеризувався найнижчою пористістю, 22,4%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 7,4%; різниця між двома меншими результатами – 0,14%.

Для четвертої групи зразків з густиною  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$  і товщиною 15 мм (зразки №13, №14 і №15) було встановлено, що пористість зразка з гранулометричним складом з дрібних частинок досягала 30,0%, а показник пористості зразка зі змішаним складом гранул – 23,6%. Зразок з гранулометричним складом, що включав великі зерна гуми, мав найнижчу пористість, 20,4%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 9,6%, різниця між двома меншими результатами – 3,2%.

Для п'ятої групи зразків з густиною  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$  і товщиною 20 мм (зразки №22, №23 і №24) було визначено, що зразок з гранулометричним складом, утвореним дрібними частинками гуми, відзначався найвищою пористістю 25,9% в умовах експерименту, зразок зі змішаним складом гранул мав показник пористості 24,7%, в той час як зразок з гранулометричним складом, що містив великі зерна мав найменшу пористість, 22,5%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 3,4%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 2,1%.

Для шостої групи зразків з густиною  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  і товщиною 10 мм (зразки № 4, №5 і №6) було встановлено, що пористість зразка, який включав суміш гумових гранул різного розміру, досягала показника 22,6%, для зразка з гранулометричним складом із великих зерен гуми пористість мала значення 18,2%, в той час як зразок зі гранулометричним складом з дрібних частинок мав найнижчу пористість, 16,6%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 6,1%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 1,6%.

Для сьомої групи зразків з густиною  $\rho=915$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 20 мм (зразки №25, №26 і №27) було визначено, що зразок, який містив гранулометричний склад з дрібних частинок гуми, мав найвищу пористість 21,2% в умовах експерименту, а зразок зі змішаним складом гумових гранул – 17,3%, тоді як зразок зі складом з великих зерен мав найнижчу пористість, 11,4%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 9,7%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 5,8%.

Для восьмої групи зразків з густиною  $\rho=916$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 15 мм (зразки №16, №17 і №18) було встановлено, що зразок з дрібними гранулами гуми відзначався найвищим показником пористості, 20,8%, зразок зі змішаним складом гумових зерен мав значення пористості 20,3%. Зразок, що включав складом з великих зерен гуми, мав найнижчу пористість, 18,3%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки складала 2,5%, різниця між двома меншими результатами – 2,0%.

Для дев'ятої групи зразків з густиною  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup> і товщиною 10 мм (зразки №7, №8 і №9) було встановлено, що зразок зі складом дрібних частинок мав найвищу пористість 22,4%, зразок, що містив суміш гранул різного розміру, відзначався показником пористості 21,8%, в той час як зразок з великими зернами гуми характеризувався найнижчою величиною пористості, а саме 18,0%. Різниця між найвищим і найнижчим значеннями в цій групі вибірки становила 4,3%, тоді як різниця між двома меншими результатами складала 3,8%.

На рис. 4.20 представлені зведені результати досліджень, які дозволяють зробити такі висновки:

- зразки, що містять гранулометричний склад гумової крихти з дрібних частинок, мають найвищу пористість практично при всіх прийнятих значеннях щільності матеріалу (зразок №4);

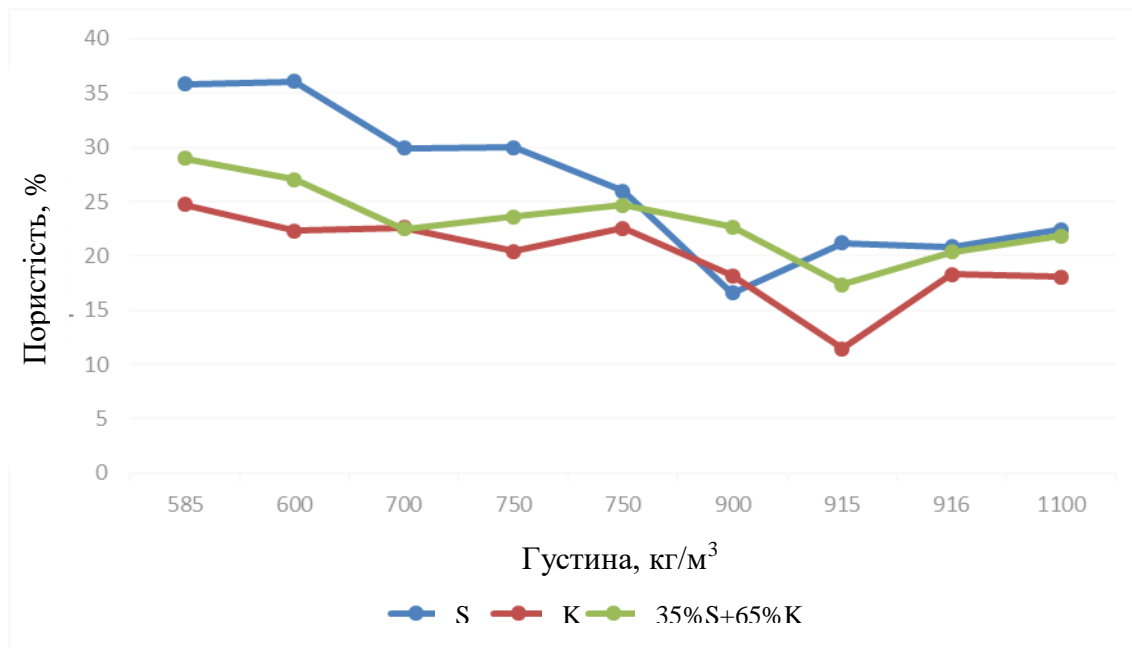


Рис. 4.20. Визначення пористості зразків, що містять дрібні зерна гуми (S), великі зерна гуми (K) та суміш зерен (35%S+65%K).

- зразки, що включають складом великих зерен гуми, відзначаються зниженими показниками пористості при всіх прийнятих значеннях густини матеріалу (крім зразка №2).

Кількість збільшення об'єму пор безпосередньо залежить від складу конкретного матеріалу; чим вище показник густини матеріалу, тим нижче його пористість.

Виявлені аномалії виникають в зразках з густиною в діапазоні  $\rho=900-916$  кг/м<sup>3</sup>.

#### 4.5 Контроль внутрішніх напружень в панелях, виготовлених переробленої гуми

Визначення внутрішніх напружень в матеріалі панелей з переробленої гуми є важливою задачею для оцінки їх якості. Напруження визначалися графічним методом. В ході досліджень використовували мікроскоп, що мав функцію фотографування та програму на платформі DWG, в якій можна



здійснювати виміри в певному масштабі (див. розділ 2.8). Деформації розміру зерна гуми вимірялися у відсотках відносно виміряного стану гуми на підкладці. Слід було забезпечити порівняння фотографій, зроблених до і після вилучення зерна гуми з матеріалу (або вивільнення зерна, хоча б по обидва боки), тобто зроблених в однакових умовах. Вимірювання виконувалось в двох вимірах в різних (переважно вертикальних) напрямках.

При перевірці стану зерна гуми в матеріалі панелей (були проведені тестові вимірювання) був зроблений висновок, що розмір зерна в товстому і тонкому зразку однаковий. Розміри зерна гуми збільшуються лише в ситуації, коли зерно звільняється від бічних насадок. Для зручності виміряне зерно не було повністю видалено зі зразка, а звільнено з двох або трьох сторін. Це забезпечило відсутність контактів між зернами гуми та в'язучою речовиною, тобто відсутність явищ тертя між ними.

Для вимірювання було необхідно витягти мінімум 5 зерен з одного зразка і порівняти їх до фотографування та після нього. Після підготовки фотографії вставлялися в підкладку dwg без зміни параметрів і вимірялися за котируванням. Було використане обладнання: - цифровий мікроскоп DM4; - програма ZW cad 2018.

В ході досліджень були отримані такі результати вимірювань (табл. 4.21). Візуалізація результатів представлена на рис. 4.21-4.23.

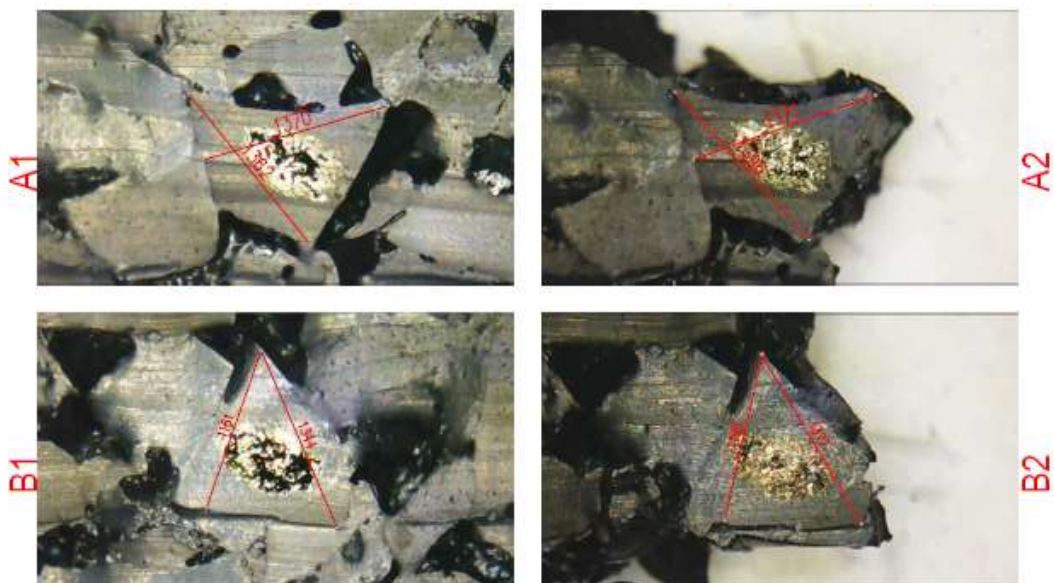


Рис. 4.21. Результати вимірювань, отриманих для зерен гуми А і В

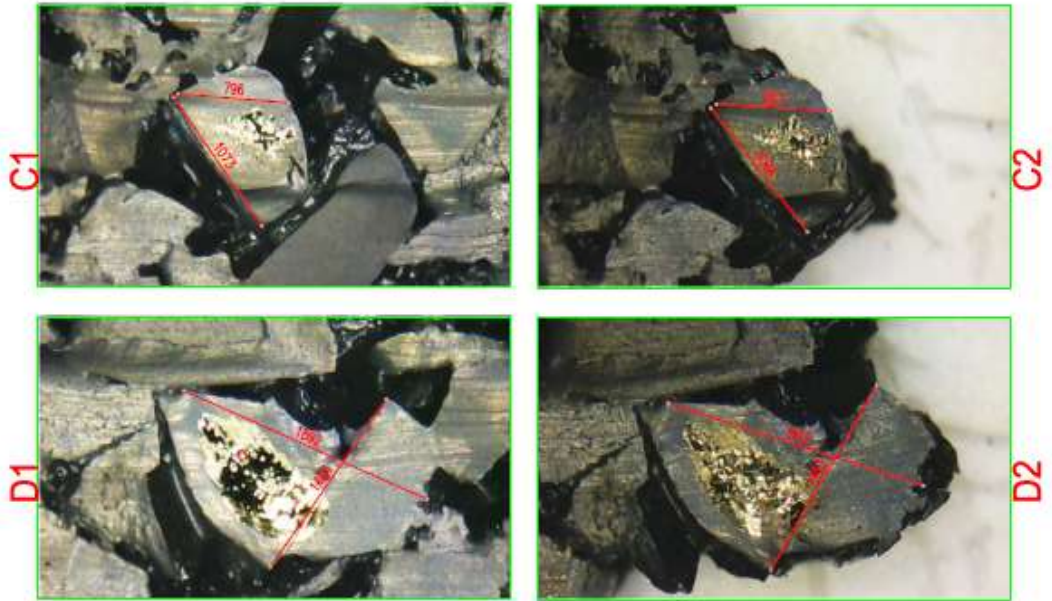


Рис. 4.22. Результати вимірювань для зерен С і D

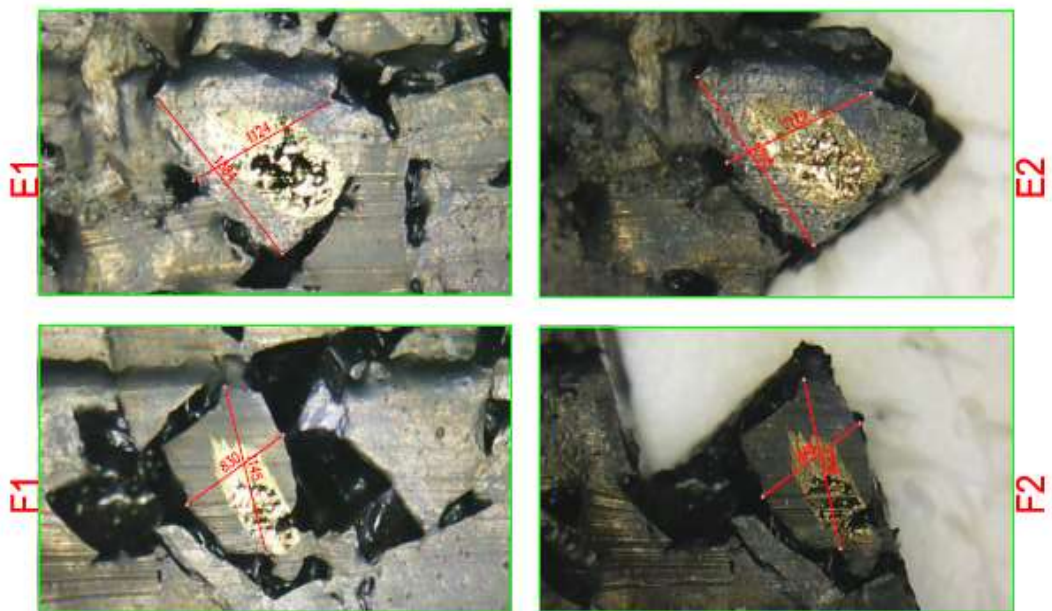


Рис. 4.23. Результати вимірювань для зерен Е і F

Таблиця 4.21

## Результати вимірювань розмірів зерен гуми в зразках

	Зерно в зразку ( n )	Зерно зі зразку ( m )	Збільшення розміру (m-n)/m
A	1370	1371	0,07%
	1362	1396	2,43%
B	1161	1188	2,27%
	1344	1372	2,04%
C	796	807	1,36%
	1073	1084	1,01%
D	1892	1912	1,04%
	1404	1453	3,37%
E	1124	1129	0,44%
	1384	1395	0,79%
	830	848	2,12%
	1145	1156	0,95%

Для кожного зразка було зроблено по два виміри. На підставі цих вимірювання було зроблено висновок, що в матеріалі панелей, виготовлених з переробленої гуми присутні внутрішні напруження. Аналіз результатів показав, що мінімальна зміна форми зерна гуми характерна для зерна А, яка становить 0,07, в той час як найбільша деформація відбулася в зразку D; зміна розміру зерна гуми дорівнювала значенню 3,4%. Мінімальна середня зміна розміру зерна в зразку Е становила 0,8%, тоді як максимальна середня зміна форми зерна гуми в зразку досягла значення 2,1%.

#### 4.6 Визначення куту внутрішнього тертя гранул з переробленої гуми

Кут внутрішнього тертя сухої гумової крихти визначали аналітично. Було проведено кілька вимірів цього параметру.

Дослідження проводилися з використанням способів цифрового вимірювання та визначення тангенса кута за допомогою обчислення Піфагора. Гума являє собою нев'язкий матеріал, тому передбачалося, що при заливці матеріалу утворюється конічне тіло, похідна якого розташована відносно основи. При цьому утворюється певний кут, який можна уявити як кут внутрішнього тертя частинок.

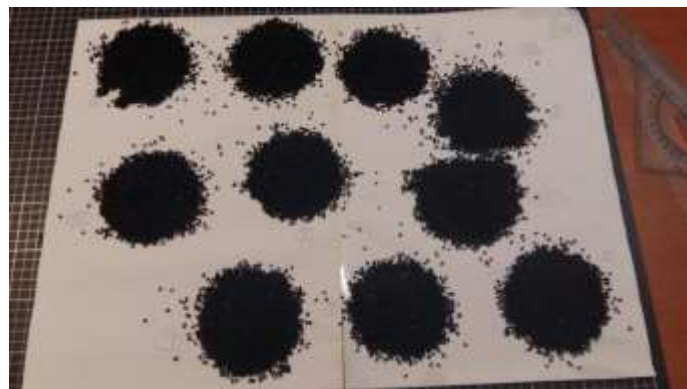
Були використані зразки, які застосовували при визначенні питомої маси матеріалу, що не містив клею.

Зразки відбиралися випадковим чином. В експериментах використовували гранули розміром 0,5-2,0 мм і 2-3,5 мм, індивідуально, та їх суміш у співвідношенні 35%+65%.

При проведенні експерименту використовували цифрову шкалу, позначену на колбі (випробувальній посудині), для визначення висоти заповненого зразка. Використані прилади показані на рис. 2.14.



а)



б)

Рис. 4.24. Устаткування (а) і підготовлені зразки для вимірювання (б)

Спочатку виміряли діаметр зразка та його висоту. Порядок проведення експерименту приведено на рис. 4.25.

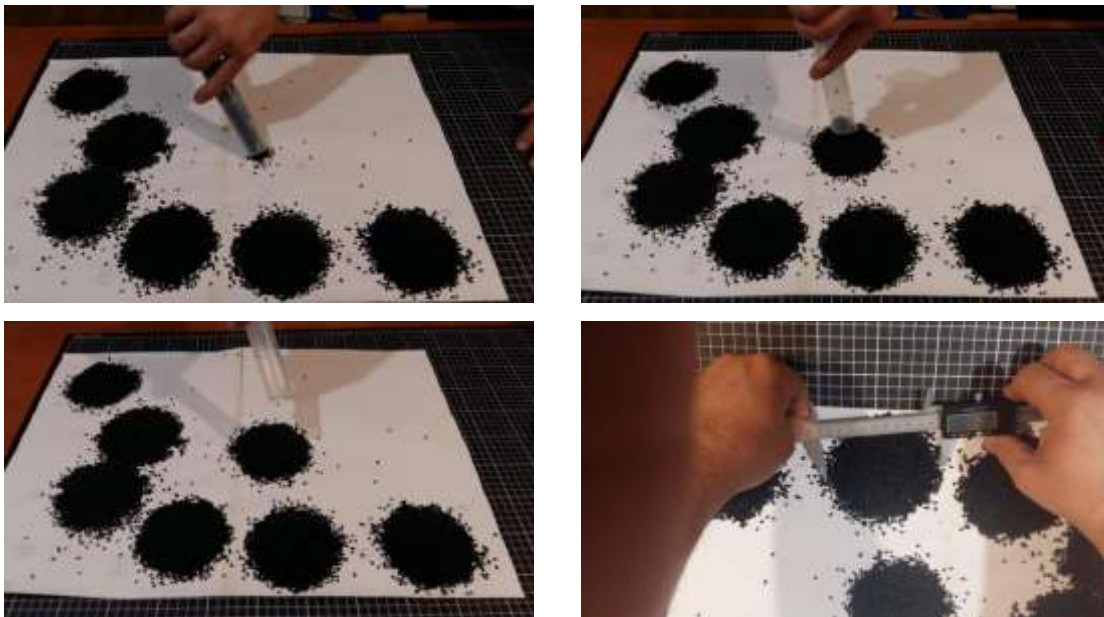


Рис. 4.25. Методика визначення кута внутрішнього тертя сухої гумової крихти

Отримані результати було узагальнено та наведено в табл. 4.22-4.23, залежно від гранулометричного складу гумової крихти.

Було визначено, що кут внутрішнього тертя для зерен гуми розміром 0,5-2,0 мм складає  $33,2^\circ$ . Кут внутрішнього тертя для зерен гуми розміром 2,0-3,5 мм складає  $33,9^\circ$ .

Таблиця 4.22

Результати вимірювання кута внутрішнього тертя для сухих зерен з розміром зерна 0,5-2,0 мм

Порядковий номер	Діаметр, мм	Висота, мм	За Піфагором, мм	Тангенс $\alpha$	Арктангенс $\alpha$
0,5-2,0	102,30	32	51,150	0,626	32,031
	102,80	34	51,400	0,661	33,484
	103,10	38	51,550	0,737	36,396

105,25	33	52,625	0,627	32,091
101,40	33	50,700	0,651	33,060
106,10	34	53,050	0,641	32,656
108,80	34	54,400	0,625	32,005
103,30	35	51,650	0,678	34,123
105,20	35	52,600	0,665	33,640
100,60	33	50,300	0,656	33,267
Середнє значення вимірювання				33,275

Таблиця 4.23

Результати вимірювання кута внутрішнього тертя для сухих зерен  
з розміром 2,0-3,5 мм

Порядковий номер	Діаметр, мм	Висота, мм	За Піфагором, мм	Тангенс $\alpha$	Арктангенс $\alpha$
2-3,5	101,03	31	50,515	0,614	31,537
	101,90	29	50,950	0,569	29,648
	103,50	36	51,750	0,696	34,824
	105,70	36	52,850	0,681	34,262
	104,14	38	52,070	0,730	36,121
	99,76	35	49,880	0,702	35,057
	98,51	35	49,255	0,711	35,397
	100,75	35	50,375	0,695	34,791
	102,80	33	51,400	0,642	32,701
	101,90	35	50,950	0,687	34,487
Середнє значення вимірювання					33,883

#### 4.7 Визначення гранульованої ваги зерен з переробленої гуми

Для визначення маса сухих крихт гуми використовували аналітичний підхід. Об'ємну масу гумових крихт визначали декількома вимірами. Для отримання крихти з переробленої гуми була здійснена механічна переробка шин різних транспортних засобів з використанням різних магнітних і обертових пристроїв, які відокремлювали відходи: кам'яні матеріали, метал, тканину та інші компоненти, з яких виготовляються шини.

Крім того, визначали частку пор (повітря) в сухій гумовій крихті. Отримані результати сприятимуть підтвердженню висновків, зроблених в розділі 4.4. при визначенні об'єму пор в панелях з гумової крихти. Ця інформація також буде доцільна при визначенні інших властивостей виробів, що досліджуються.

Експеримент проводився шляхом зважування сухої гумової крихти на точних вагах з точністю до 0,1 грама. Було зважено 10 зразків об'ємом 100 мл, які насипали у мірну чашку. Зразки відбиралися випадковим чином. При проведенні досліджень використовували гранул гуми, що мали розміри 0,5-2,0 мм і 2-3,5 мм, а також суміш цих гранул у співвідношенні 35%+65%.

Колба (випробувальна посудина), штангенциркуль, пінцет, електронні точні ваги, які використовувалися для визначення гранульованої ваги гумової крихти, показані на рис. 2.14 (розділ 2).

Спочатку зважували колбу без гранул, потім колбу заповняли сухими гранулами каучуку об'ємом 100 мл та зважували.

Отримані результати експерименту приведені в табл. 4.24-4.25, залежно від гранулометричного складу каучукових гранул.

Таблиця 4.24

Результати вимірювання маси сухої гумової крихти  
з розміром зерна 0,5-2,0 мм

Порядковий номер	Маса пробірки і зразка, гр.	Маса колби, гр.	Маса зразка, мм
0,5-2,0	78,0	34,4	43,6
	78,6	34,4	44,2
	80,0	34,4	45,6
	80,8	34,4	46,4
	79,6	34,4	45,2
	80,1	34,4	45,7
	81,9	34,4	47,5
	78,9	34,4	44,5
	80,5	34,4	46,1
	78,1	34,4	43,7
середнє значення вимірювання			45,3

Проведенні дослідження дозволяють заключити:

- для гранулометричного складу гранул 0,5-2,0 мм: отримана маса 45,25 гр/100 мл з розрахунку дає масу 452,5 кг/м<sup>3</sup> сухої ваги гумової крихти. Можна зробити висновок, що інша частина об'єму колби приходить на об'єм повітря, відсоток котрого становить 54,7%.

- для гранулометричного складу 2,0-3,5 мм: отримана маса 49,30 гр/100 мл за розрахунками дає масу 493 кг/м<sup>3</sup> сухої ваги. Таким чином, об'єм повітря в процентному відношенні складає 50,7%.



Таблиця 4.25

Результати вимірювання сухої гумової крихти  
з розміром зерен 2,0 - 3,5 мм

Порядковий номер	Маса пробірки і зразка, гр.	Маса колби, гр.	Маса зразка, мм
2-3,5	84,3	34,4	49,9
	81,8	34,4	47,4
	84,7	34,4	50,3
	83,6	34,4	49,2
	84,6	34,4	50,2
	84,7	34,4	50,3
	83,8	34,4	49,4
	81,4	34,4	47,0
	83,3	34,4	48,9
	84,8	34,4	50,4
середнє значення вимірювання			49,3

#### 4.8 Випробування механічних властивостей панелей на деформації розтягу

Дослідження проводили на зразках, що містили в'язучий матеріал на основі поліуретану. Для будівництва особливо важливим є той факт, щоб виріб був економічно вигідним та екологічно чистим, зокрема для виробництва панелей для поліпшення звукоізоляційних властивостей, легких металевих конструкцій та панелей для будівництво звукових бар'єрів на різних дорогах.

Було випробувано 27 зразків з різними властивостями. Змінними факторами були прийняті: розподіл частинок за розміром, густина та кількість в'язучого.

На рис. 4.26. представлено графічне зображення існуючого зв'язку між напруженнями та пов'язаною з ними деформацією кожного окремого зразка.

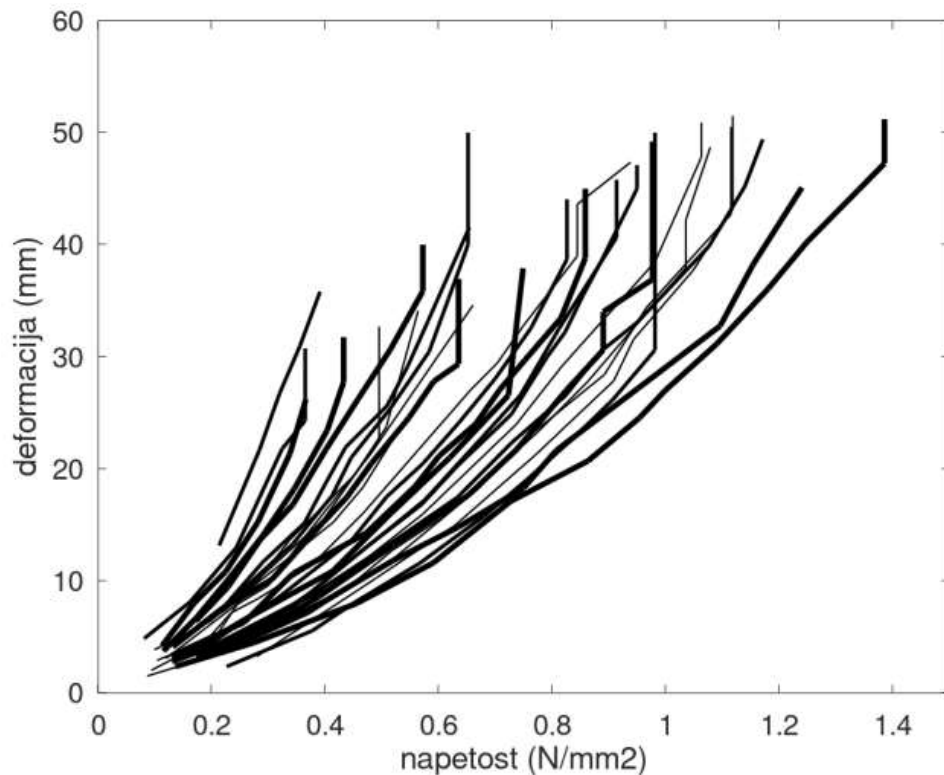


Рис. 4.26. Співвідношення напружень і деформацій у випробуваних зразках

За результатами, приведеними на рис. 4.27, можна заключити про суттєві відмінності у значеннях властивостей випробуваних зразків, що свідчить про вплив окремих змінних факторів на результати визначення властивостей матеріалу.

На основі представлених результатів була створена база даних, до якої застосували програмний комплекс «Статистичний пакет соціальних наук» (SPSS) із використанням множинної логарифмічної моделі.

У моделі, представлений у табл. 4.26, показано, що всі змінні є логарифмічними. Відповідні змінні фактори є взаємозалежними, що є однією з умов застосування обраної моделі.

Таблиця 4.26

## Результати логарифмічної бази даних результатів тесту

Регресія залежності змінної: логарифм деформації (база даних) $R=,93387647$ $R^2=,87212527$ скорегований $R^2=,87059077$ $F(3,250)=568,35$ $p$						
Перехват	$b^*$	Стандарт-на похибка $b^*$	$b$	Стандарт-на похибка $b$	$t(250)$	$p$ - величина
			1,49231	0,015047	99,1744	0
$\log(\delta)$	1,015547	0,024731	1,29961	0,031649	41,0636	0
$\log(\rho)$ (Т/М3)	-0,304961	0,02444	-1,28938	0,103332	-12,478	0
$\log(\rho_u)$ Г/М2	-0,083137	0,02291	-0,13434	0,03702	-3,6289	0,000345

Розглядаються такі змінні:

- $\log(\delta)$  - логарифмічна змінна “напруження”;
- $\log(\rho)$  - логарифмічна змінна “середня густина”;
- $\log(\rho_u)$  - логарифмічна змінна “поліуретановий клей”.

Модель інтерпретує точність показників, значення дорівнює 87,2% ( $R^2=0,87212527$ ), щодо наведених результатів. Це означає, що саме з такою точністю можна передбачити результати потенційної деформації зразків. Слід зазначити, що інші незалежні змінні, такі як густина та кількість в'язучого, мають залишатися незмінними, інакше модель буде не дійсною.

Тестування значущості моделі проводилося для визначення рівня значущості випробувань. Випробування надають інформацію про те, наскільки надійно проводяться дослідження. Якщо дані такі, що значення  $p < 0,05$ , можна говорити, що результати є прийнятними.

Згідно з табл. 4.27, значення коефіцієнта  $p$  є меншими 0,05. Можна зробити висновок про правильність та надійність моделі.

Таблиця 4.27

Результати логарифмічної бази даних результатів тесту значущості.

Аналіз варіативності; DV: log деформації (база даних)					
	Сума квадратів	df	Значення квадратів	F	p-величина
Регрес	26,65913	3	8,886378	568,3461	0
Залишок	3,90888	250	0,015636	-	-
Загалом	30,56801	-	-	-	-

Важливою задачею є підготовка та тестування моделі. Тестування на мультиколінеарність проводиться для того, щоб визначити взаємозв'язок незалежних змінних для того, щоб показати в чому полягає взаємозалежність одного і того ж фактору.

Для аналізу мультиколінеарності важливо, щоб усі фактори перевищували 0,20. За даними, приведеними в табл. 4.28, можна побачити, що ця умова виконана, та зробити висновок, що не існує проблеми мультиколінеарності.

Таблиця 4.28

Логарифмічна база даних результатів тесту мультиколінеарності

Змінні в рівнянні в даний час; DV: log деформації (база даних 25.05.2019.)	
-	Допуски
$\log(\delta)$	0,836293
$\log(\rho)$ (t/m <sup>3</sup> )	0,856332
$\log(\rho_u)$ gr/m <sup>2</sup>	0,97453

Наявність гетероскедастичності не означає, що оцінки, отримані методом найменших квадратів, є упередженими, але це призводить до того, що рейтинги не мають мінімальних змін, тобто вони є неефективними. Отже, якщо присутня гетероскедастичність, прогнози на основі оцінок оригінальної моделі також будуть неефективними. Варіація передбачення, крім варіації

залишків, включає також варіацію оцінок параметрів. Отже, слід переконатися, що в моделі відсутня гетероскедастичність.

Умовою відсутності гетероскедастичності є коефіцієнт  $p > 0,05$ . У табл. 4.29 можна побачити, що умова виконана, тобто модель є правильною та надійною.

Таблиця 4.29

Значення логарифмічної бази даних результатів тесту на гетероскедастичність

Кореляція рангів Спірмена Парновидалені вибрані кореляції значні при $< 0.05000$				
-	Дійсний N	Коеф. Спірмана R	t(N-2)	Значення p
Залишки & log ( $\delta$ )	254	0,032002	0,508281	0,611701
Залишки & log ( $\rho$ )	254	0,024431	0,387948	0,698382
Залишки & log ( $\rho u$ )	254	0,002687	0,042648	0,966016

Після розробки множинної логарифмічної математичної моделі та проведення тестів для перевірки правильності застосованої моделі, можна дійти висновку, що її можна застосовувати з дуже високою точністю для прогнозування деформації при відомому напруженні матеріалу. Незалежні змінні густини та кількості поліуретанового клею є відомими та незмінними. Це забезпечується технологічним процесом виробництва певного продукту. Виходячи з наведених вимог, модель визначила математичний вираз, за допомогою якого можна виконувати такі обчислення. Обробивши результати тесту за допомогою множинної логарифмічної моделі, було досягнуто наступного математичного виразу:

Логарифмічна форма рівняння:

$$\text{Log } \varepsilon = 1,49 + 1,2996 * \log \delta - 1,289 * \log \rho - 0,134 * \log \rho u \text{ (mm)}$$

Основна форма рівняння:

$$\varepsilon = 31,07 * \delta^{1,30} * \rho^{-1,29} * \rho_{\text{и}}^{0,134} \text{ (mm)}$$

де:

$\varepsilon$  – деформація;  $\delta$  - напруження (Н / мм<sup>2</sup>);  $\rho$  - густина (т/м<sup>3</sup>);  $\rho_{\text{и}}$  - клей гр/м<sup>2</sup> (кг).

Отримавши математичний вираз для визначення величини деформації при даному навантаженні, необхідно відзначити значний вплив на певні ділянки в зоні випробувальних кривих. Це мінімальні та максимальні значення, які мають значний вплив порівняно з фактичною моделлю. Фактична модель – це тестові дані, з яких створюється база моделі. Це означає, що вплив помилки точності, яка була згадана на початку, значною мірою залежить від цих значень.

Існують суттєві відхилення модельних значень по відношенню до фактично вимірених значень. Оскільки це мінімальні та максимальні значення, пояснення явища є відносно простим. Внаслідок характеру випробування початкове та кінцеве вимірювання знаходяться в зоні, яку важче виміряти, тобто, що найбільша помилка полягає в оцінці початкової деформації та у фазі пластичної деформації, тобто в зоні руйнування матеріалу.

Вимірювання проводили методом ручного прикладання напруги, а проблема реєстрації початкової деформації та деформації в зоні пластичної деформації та руйнування матеріалу є надзвичайно складною і піддається суб'єктивним враженням на місці в момент вимірювання.

У табл. 4.30 показано як гранулометричний склад впливає на розтяжне зусилля.

Модель показує з дуже високою точністю поведінку матеріалу під дією напруження в реальних умовах та з фактичним матеріалом, який можна отримати як сировину за певної географічної мікролокації.

Таблиця 4.30

## Порівняння результатів випробувань

Густина, кг/м <sup>3</sup>	585	600	700	750	900	915	916	1100
S (0,5-2,0)	+	-	-	-	0	-	+	-
K (2,0-3,5)	-	0	0	0	+	0	0	+
S+K (суміш)	0	+	+	+	-	+	-	0

Примітка: S – дрібне зерно; K – велике зерно; S+K – суміш зерен;  
«+» – кращий результат; «-» – гірший результат; «0» – середній результат.

Точність застосованої множинної логарифмічної моделі становить 87,2%. Можна зробити висновок, що модель має дуже високу точність оцінки деформації щодо прикладеного напруження.

Якщо розглянути структуру матеріалу, то побачимо, що при менших щільностях матеріалу (менше  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>) найкращі результати досягаються поєднанням розподілу розміру частинок – суміші. Отже, якщо об'єднати розподіл частинок за розміром, можна отримати найкращі результати для області еластичності. Також можна заключити, що матеріал з більшим зерном (K) знаходиться в кращому положенні, ніж матеріал з меншим зерном (S).

При більш високій густині матеріалу (більше  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>) були отримані інші результати. У цих умовах є тенденція, яка демонструє переваги застосування більшого зерна у двох зразках, суміш зерен різного розміру проявила себе кращим чином. Оскільки суміш містить 65% великих зерен, передбачається, що зразки з більшими зернами мають кращі властивості. Слід підкреслити, що матеріал з більшим показником густини має більшу кількість в'язучого матеріалу, тому це також можна виділити як параметр, який впливає на кінцеві результати.

Результати, отримані шляхом застосування множинної логарифмічної моделі, можуть бути застосовані при визначенні та вирішенні певних проблем, що вимагають відповіді на питання про те, наскільки велика деформація і чи допускається вона, якщо існує дія певного напруження на матеріал виробу.

#### 4.9 Визначення модуля пружності зразків при різних значеннях деформацій

При експериментальному визначенні модуля пружності важливо, щоб при подальшій обробці результатів дотримувався принцип обмеження площі (максимум до 80% від пружної площі). Дані отримані в експерименті наведені в табл. 4.31.

Таблиця 4.31

##### Модуль пружності окремих зразків

	Зразок №	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$E=\sigma/\varepsilon$	МПа	0,064	0,088	0,122	0,098	0,110	0,093	0,121	0,113	0,104

У табл. 4.32 показано співвідношення результатів за двома точками деформації, розташованими в пружній області матеріалу.

Таблиця 4.32

##### Модуль пружності для двох значень деформації

№ зразка	Деформація, mm	$E_{ср}$	Порядок	$E_{ср}$	Деформація, mm	$E_{ср}$	Порядок	$E_{ср}$
1a	4,000	0,066	3	-	8,000	0,053	3,000	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
2a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
2b	4,000	0,125	2	-	8,000	0,074	2,000	-
3a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
3b	4,000	0,139	1	0,110	8,000	0,102	1,000	0,076
4a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
4b	4,000	0,129	1	-	8,000	0,098	2,000	-
5a	4,000	0,129	2	-	8,000	0,129	1,000	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
6a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
6b	4,000	0,106	3	0,121	8,000	0,079	3,000	0,102
7a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
7b	4,000	0,131	2	-	8,000	0,100	1,000	-
8a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
8b	4,000	0,134	1	-	8,000	0,095	2,000	-
9a	4,000	-	-	-	8,000	-	-	-
9b	4,000	0,123	3	0,129	8,000	0,086	3,000	0,094



Для зразків з густиною матеріалу  $\rho=700 \text{ кг/м}^3$  (модуль деформації – 4мм) встановлено, що кращі результати спостерігаються у зразка зі змішаним гранулометричним складом зерен №3, а найгірші - у зразка №1, отриманого з дрібного гранулометричного складу. Зразок №3 має кращі властивості більш ніж на 11% в порівнянні з № 2.

Для зразків з густиною матеріалу  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  було визначено, що найкращими результатами відзначається зразок дрібнозернистого складу №4, за ним слідує зразок з великими зернами №5, а найгірші результати характерні для зразку зі змішаного складу №6. Різниця показників властивостей у зразків №4 та №5 у порівнянні зі зразком №6, коливається від 0,5% до 18%.

У зразків з густиною матеріалу  $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$  найкращі результати дає зразок з великим гранулометричним складом №8, потім зразок з дрібними зернами №7. Найгірший результат отримано для зразку №9, що містить суміш гранул різного розміру. Якщо подивитися на різницю між зразками №8 і №7, то можна побачити, що вона складає 3,3%, у порівнянні зі зразком №9 – менше 9%.

Було проаналізовано експериментальні результати з урахуванням показника модуля пружності при деформації, величина якої дорівнювала 8 мм.

При густині матеріалу  $\rho=700 \text{ кг/м}^3$  кращі результати спостерігаються у зразка №3 зі змішаним складом гранул, а найгірші - у зразка №1, що містить дрібні зерна. Зразок №3 має кращі властивості на 27,4% в порівнянні зі зразком №2, а зразок №1 – більш ніж на 48% порівняно зі зразком №2.

При густині матеріалу  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  кращі результати досягаються для зразка №5, що складається з великих зерен, потім йде зразок №4, що включає дрібні зерна, а найгірші результати показав зразок №6. Різниця показників між зразками №5 і №4 становить 24%, а різниця значень в порівнянні зі зразком №6 досягає 39%.

При густині матеріалу  $\rho=1100 \text{ кг/м}^3$  встановлено, що кращі результати спостерігаються у зразка №7 з дрібними зернами, трохи гірше проявляє себе зразок №8, що включає великі зерна, та найгірший результат є характерним для зразка №9, який складається з суміші зерен різного розміру.

Аналіз результатів показав, що, незалежно від гранулометричного складу гумової крихти, густина матеріалу оказує значний вплив на значення модуля пружності.

В умовах використання дрібного грануляту крихти, залежно від зміни показника густини, значення модуля пружності матеріалу змінюються до 50%.

В умовах використання великих гранул гумової крихти ситуація ускладнюється. Показники менших деформацій розрізняються до 7%, а величини великих деформацій – 65%. В цьому випадку можна зробити висновок, що густина матеріалу визначає значення модуля пружності.

Аналогічна залежність простежується для зразків, що включають суміш гранул гумової крихти. Результати експеримент показали, що зразок з найменшою густиною має найкращий показник модуля пружності в спостережуваній області великих і малих деформацій. Відмінності в значеннях  $E$  досягають 24%.

Результати модуля пружності, впорядковані від більш високих значень до більш низьких, показані в табл. 4.33.

Таблиця 4.33

Результати модуля пружності окремих зразків

	Клей	29,6	46,5	46,5	38	46,5	38	38	29,6	29,6
	Густина	700	1100	1100	900	1100	900	900	700	700
	№ зразка	3	7	8	5	9	4	6	2	1
$E=\sigma/\varepsilon$	МПа	0,122	0,121	0,113	0,110	0,104	0,098	0,093	0,088	0,064
	Різниця	-	-0,8%	-6,6%	-2,6%	-5,4%	-5,8%	-5,1%	-5,4%	-27,3%

Якщо передбачити, що виробничий процес не може забезпечити рівномірний розподіл часток і в'язучих речовин в об'ємі матеріалу, то отриманий найгірший результат (не вписується в інші результати через велике відхилення), свідчить про те, що модуль пружності випробуваних зразків може змінюватися до 40%. Отримані різниці в результатах можуть бути пояснені технологічним процесом та неможливістю забезпечити рівномірний розподіл гранул і в'язучих речовин. Це особливо вірно для матеріалів зі змішаних складом заповнювачів у вигляді гранул гумової крихти. Це може привести до скупчення як гранул, так і сполучних речовин в окремих ділянках матеріалу, що призведе до появи певних областей, присутність та розподіл яких може погіршити властивості кінцевого продукту.

#### **4.10. Впровадження результатів роботи**

Проведений комплекс аналітичних і експериментальних досліджень та аналіз результатів дозволив визначити основні напрямки їх практичної реалізації.

Результати дисертаційної роботи впроваджені компанією Stas d.o.o (м. Дуго-Село, Хорватія) при монтажі звукоізоляційних панелей в зовнішніх стінах слюсарного заводу для зниження шуму від будівлі в оточуючому середовищі.

Для ефективної експлуатації панелей необхідно знайти технологічне рішення, яке буде забезпечувати експлуатаційні якості продукту та його довговічність.

Запропонована гумова панель являє собою виріб, який можна встановлювати на опорах, каркасах або будь-якому іншому типі несучої конструкції.

Сама панель є самонесучою конструкцією. Для цього гранули гуми слід наносити на сталевий лист трапецієподібної форми. Оскільки в'язучою речовиною в панелі прийнято поліуретановий клей, то виготовлення виробу значно спрощується.

Панель отримується шляхом безпосередньої заливки трапецієподібного листа та пресування матеріалу в формі. Трапецієподібний лист забезпечує рівномірний розподіл полімерної складової, а розподіл гумових гранул надає виробу необхідні ізоляційні властивості.

Панелі були виконані на заводі Gumiimpex Varaždin (Хорватія), на якому були виготовлені всі тестові зразки).

Спосіб виготовлення панелей наступний: в форму вбудовується трапецієподібний лист, на який заливається суміш, що складається поліуретановий клей та гранул переробленої гуми. Суміш має температуру до  $T=130^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує можливість її використання. Після заливки в форму прес притискає суміш до трапецієподібного листу, в результаті чого заповнюються канавки клеєм. Таким чином забезпечується виготовлення панелей заданих розмірів та певної товщини. Потім панель охолоджують і поміщають в місце, де її оглядають, очищають і упаковують для транспортування. Така панель готова до безпосереднього монтажу на конструкції.

Запропоновані вироби являють собою за конструктивним рішенням сандвіч-панелі, які складаються з двох зовнішніх шарів та шару-ізолятора (гумової панелі) між ними. Зовнішні шари виробу рекомендується виготовляти з металу, бетону або дерева. Гумову панель розміщують вертикально і закріплюють до горизонтальних ригелів, які, в свою чергу, з'єднують з несучими конструкціями. Кріплення здійснюється класичними шурупами із застосуванням антивібраційних накладок. Завдяки цьому можна запобігти передачі вібрації від гумової панелі на інші шари виробу.

При монтажі виробу рекомендовано використовувати різні методи установки гумових панелей, які можуть діяти як: ізолятори (відбивати

звукову енергію), дефлектори (пряма звукова енергія) та атенюатори (ослаблювати звукові хвилі).

Організація виконання робіт з установки виробу з гумовою панеллю здійснюється в певній послідовності. По-перше слід розмітити проектне положення виробу по підлозі, стелі і базовим стінам. Стіни, підлога і стеля мають бути чистими і сухими в місцях розташування виробів. За допомогою будівельного шнура накреслити на підлозі лінію розташування виробу. Використовуючи рівень і схи́л, продовжити цю лінію на стінах і стелі. Із зовнішнього боку ригелів, з'єднаних з несучими конструкціями, безпосередньо перед установкою ригелів, необхідно приклеїти пружну стрічку або нанести паралельними шарами герметик. Закріпити ригелі каркаса до підлоги і стелі. Кріплення ригелів проводиться дюбелями з кроком не більше 1 м. Далі слід встановити і закріпити дюбелями стійки, які вставляють в нижній, потім в верхній ригелі з кроком 600 мм. В середині каркаса проводять монтаж електричних проводів і заставних деталей для кріплення стаціонарного обладнання. Потім встановлюють та закріплюють на одній зі сторін каркаса вертикально-орієнтовані гумові панелі. Кріплення можна проводити за допомогою шурупів (довжиною не менше 25 мм) з кроком 25 см. В просторі між стійками слід закріпити панелі з гуми як ізоляційний матеріал, закласти шви між панелями та виконати ґрунтування поверхонь виробу під декоративну обробку. Технологія закладення швів може відрізнитися в залежності від застосовуваної шпаклівки та вироблятися як із застосуванням армуючої стрічки з наступним заповненням шпаклівкою, так і без неї. Монтажні роботи необхідно виконувати при температурі навколишнього середовища не нижче  $T=+15^{\circ}\text{C}$  і традиційному вологісному режимі.

Акт впровадження результатів проведених досліджень компанією Stas d.o.o наведений в додатку Б.

Результати досліджень, викладені в дисертаційній роботі, впроваджені в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури та University Nord (Університет Север, Хорватія).

Результати досліджень використовуються при проведенні лекційних та практичних занять з освітніх компонент «Технологія будівельного виробництва», «Технологія зведення будівель та споруд» і «Методологія та методика наукових досліджень», а також при підготовці дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія Освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво» в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

В Університет «Север» (University Nord, Хорватія) результати досліджень використовуються при проведенні занять на кафедрі Цивільного будівництва при викладені курсів «Будівництво 1» та «Будівництво II» на третьому році навчання (2019-2020 рр., 2020-2021 рр.).

Довідки про впровадження результатів досліджень в навчальний процес закладів вищої освіти наведені в додатку Б.

## ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ 4:

1. Встановлено що при більш низькому показнику середньої густини матеріалу (менше  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ ) найкращі результати міцності при розтягу досягаються при використанні суміші часток гумової крихти двох фракцій при виготовленні виробів. При більш високій середній густині матеріалу (більше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ) поліпшені значення міцності при розтягу можуть бути отримані для панелей, які містять гранули різного складу. Це свідчить про те, що кількість клею суттєво впливає на кінцеві результати з визначення міцнісних властивостей виробів.

2. Експериментально перевірені значення теплопровідності матеріалів, виготовлених з переробленого каучуку. Встановлено, що зразки, які включали зерна розміром 0,5-2,0 мм, мають кращий коефіцієнт теплопередачі. При густині матеріалу менше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ , зразок зі складом великих зерен характеризується підвищеним рівнем властивостей, ніж зразки, що містять зерна крихти змішаного гранулометричного складу. При густині більше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$  використання суміші гранул різного розміру має перевагу перед використанням великих за розміром гранул.

2. За результатами досліджень встановлено невеликий відсотковий розрив, до 15%, між ранжируемими зразками за модулем пружності. При цьому основним чинником, що впливає на даний показник якості, густина щільність матеріалу.

4. Встановлено, що зразки з гранулометричним складом з дрібних зерен мають найвищу пористість практично при всіх значеннях густини матеріалу. Зразки зі складом з великих зерен відзначаються найнижчою пористістю, що характерно для всіх значень густини матеріалу.

5. Контроль внутрішніх напружень в панелі з переробленої гуми показує, що існуючі в матеріалі деформації впливають на технологічні та експлуатаційні властивості панелі. Величина середньої деформації в зразках становить 2,2%.

6. Визначення куту внутрішнього тертя гранул та гранульованої ваги переробленої гуми дозволяє зробити висновок про те, що кінцевий матеріал є стійким до деформацій здвигу, тому його можна рекомендувати для використання при проведенні ізоляційних робіт.

7. Розроблена логарифмічна математична модель може бути застосовувана для прогнозування прояву деформацій при напруженні матеріалу. Модель характеризує поведінку матеріалу під дією напруження з точністю до 87% в порівнянні з натурними даними.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведеними дослідженнями була підтверджена можливість підвищення ізоляційних властивостей конструкції за рахунок використання панелей з гумової крихти, отриманої з переробленої сировини. Встановлено що звукоізоляційні конструкції є більш ефективними порівняно зі звукоізоляційними матеріалами, оскільки вони розраховані на широкий частотний діапазон звукової хвилі, що має високі проникаючі властивості. За рахунок застосування в звукоізоляційних конструкціях матеріалів різної щільності, а також дотримання правил герметичності і відсутність жорстких зв'язків з іншими огорожувальними конструкціями, ефективність цих виробів значно збільшується.

2. Експериментально підтверджена робоча гіпотеза роботи, згідно з якою найбільший показник звукоізоляції мають панелі з меншим показником середньої густини та виготовлені з використанням гранул гумової крихти різного фракційного складу. Обґрунтуванням є той факт, що при поширенні звукова хвиля зустрічає перешкоду. В разі, коли довжина хвилі значно менше перепони, спостерігається явище відбивання хвиль, якщо ж розміри перешкоди набагато менше довжини хвилі, спостерігається явище дифракції. У тих випадках, коли розміри перешкоди можна порівняти з довжиною хвилі, закони поширення звукової хвилі стають більш складними, тому що одночасно має місце прояв двох явищ: і певне відбивання, і дифракція.

3. Прийняті в дослідженнях матеріали та методи визначення основних характеристик, методи аналізу впливу густини матеріалу та фракційного складу гумової крихти на початкову організацію структури досліджуваних панелей, організація проведення експериментально-теоретичних робіт, вибір контрольованих параметрів якості, інтерпретація отриманих результатів дозволили запропонувати методи отримання виробів для вирішення завдання покращення показників фізико-механічних і деформативних характеристик, а також рівня звуко- та теплоізоляційних властивостей конструкцій, що зводяться або ремонтуються.

4. За результатами досліджень визначені вплив частоти, гранулометричного складу суміші та товщини стінової панелі на значення індексу звукоізоляції. Отримані експериментальні результати показали, що при збільшенні густини матеріалу товщина панелей, виготовлених з переробленої гуми, суттєво впливає на показник звукоізоляції виробів.

5. Аналіз впливу факторів на теплоізоляційні властивості огорожувальної конструкції з переробленої гуми дозволив встановити, що використання переробленого каучуку для виготовлення панелей дозволяє підвищити теплові властивості конструкції будівлі. Найкращі результати дає застосування гумової крихти, що складається з дрібних зерен. Також визначено, що значення коефіцієнта теплопровідності зменшується зі зменшенням середньої густини матеріалу. Кількість в'язучого клею в матеріалі панелей впливає не суттєво на значення теплоізоляції виробів.

6. Отримані результати дозволяють визначити вплив факторів на міцність при розтягу гумових панелей, згідно яких встановлено, що при більш низькій густині матеріалу (менше  $\rho=750 \text{ кг/м}^3$ ) найкращі результати міцності при розтягу досягаються при використанні суміші гумової крихти, що містить частки двох фракцій. При більш високій густині матеріалу (більше  $\rho=900 \text{ кг/м}^3$ ) підвищити показники міцності матеріалу при розтягу можна шляхом застосування великих чи дрібних гранул крихти при виготовленні панелей. Аналіз отриманих результатів показав невеликий відсотковий розрив між ранжированими зразками за показниками модуля пружності. При чому обов'язково потрібно враховувати вплив густини матеріалу на модуль пружності панелей.

7. Проведенні дослідження дозволили встановити, що панелі, в яких до складу гумової крихти входять дрібні гранули, мають найвищу пористість. Це характерно практично для всіх зразків незалежно від густини матеріалу. Використання великих зерен крихти при виготовленні панелей забезпечувало зниження величини пористості матеріалу при всіх прийнятих значення його густини.

8. Встановлено, що зміни розміру зерна гумової крити можуть бути виміряні у відсотках до та після прикладання навантаження до виробу. Порівняння фотографій, зроблених до і після вилучення зерна з матеріалу (або вивільнення зерна, хоча б по обидва боки), тобто зроблених в однакових умовах, дозволило встановити, що в матеріалі гумових панелей присутні внутрішні напруження, величина яких впливає на властивості кінцевого виробу. Аналітичне визначення куту внутрішнього тертя гранул та гранульованої ваги зерен переробленої гуми дозволив визначити, що середня маса повітря в матеріалі панелі становить 54,7% при гранулометричному складі гранул крихти 0,5-2,0 мм та 50,7% при гранулометричного складу гумових зерен 2,0-3,5мм.

9. Виконаний комплекс досліджень дозволив запропонувати склади матеріалу для виготовлення панелей з гумової крихти з підвищеними рівнями звуко- та теплоізоляційних властивостей. Розроблені склади дозволили, при відповідності звуко- та теплоізоляційних параметрів, отримати панелі з гумової крихти при достатньому рівні фізико-механічних властивостей для проведення будівельних робіт. Дослідно-промислова партія панелей з гумової крихти виготовлена в компанії Gumi Impex (м. Вараждин, Хорватія). Результати досліджень використовуються в навчальному процесі в Університеті Север (Хорватія) та Одеській державній академії будівництва та архітектури при підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

### Список використаних джерел

1. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. [Чинний від 2014-06-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 85 с.
2. ДСТУ Б В.2.6-85:2009. Конструкції будинків і споруд. Звукоізоляція огорожувальних конструкцій. Методи оцінювання. [Чинний від 2009-11-30]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 30 с.
3. ДБН В.1.2-10-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Захист від шуму. [Чинний від 2008-10-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 14 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.1-34:2013. Настанова з розрахунку та проектування звукоізоляції огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 92 с.
5. Горин В. А., Клименко В. В. Снижение уровня ударного шума паркетными полами. *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 22-24.
6. Горин В. А., Клименко В. В., Шнурникова Е. П. Изоляция ударного шума междуэтажными перекрытиями с паркетными полами. *Строительные науки. Акустика*. 2010. № 3. С. 200-203.
7. Горин В. А., Клименко В. В. К оценке изоляции ударного шума междуэтажными перекрытиями с полами из древесных материалов. *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 66-73.
8. Боганик А. Г. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций с гибкими бескаркасными многослойными облицовками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Москва, 2006. 40 с.
9. Ретлинг Э. В. Исследование звукоизоляции ограждающих конструкций зданий и ее повышение : автореф. дис. ... докт. тех. наук : 11.00.11. Москва, 1999. 35 с.

10. Гребнев П. А. Звукоизоляция ограждающих конструкций зданий из сэндвич-панелей : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.23.01. Нижний Новгород, 2016. 45 с.

11. ИПИТ. Проектный институт : веб-сайт. URL: <http://ipit.ooo/ru/the-use-of-waste-inconstruction> – 2016.

12. Тесленко В. А., Асланова О. Д. Новейшие тенденции технологий переработки и использования вторсырья в строительстве. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 92. Вип. 2. С. 118–124.

13. Gumiimpex-GRP. URL: <http://gumiimpex.hr>.

14. Wisniewska M. H., Heisel F., Hebel D. E. Building from Waste: Recovered Materials in Architecture and Construction. 2014. P. 86-87.

15. Green steel' from old rubber tyres produces no waste or toxic fumes – CRC Association. URL: <https://crca.asn.au/green-steel-from-old-rubber-tyres-produces-no-waste-or-toxic-fumes>.

16. Дементьев В. В. О субъективных оценках звукоизоляции ударного шума в жилых зданиях. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. Вип. 3. С. 59-63.

17. HRN EN ISO 717-1:2013. Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. 2013.

18. ISO 717-1:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1 : Airborne sound insulation. 2013. 18 p. URL: <https://www.iso.org/standard/51968.html>.

19. ISO 717-2:1982. Acoustics – Rating of sound insulation in building and of building elements – Part 2 : Impact sound insulation. 1982. 7 p. – URL: <https://www.iso.org/standard/4941.html>.

20. Лунеева Г. С. Оценка беспокоящего воздействия на проживающих в жилых домах шумов, проникающих из соседних квартир и с улицы. *Звукоизоляция и защита от шумов в жилых домах*. 1984. С. 101–117.

21. Jimenez-Espadafor F. J., Villanueva J. B., Jimenez-Espadafor F. J., García M. T., Trujillo E. C., Blanco A. M. Optimal design of acoustic material from tire fluff. *Materials and Design*. 2011. № 32. P. 3608–3616.

22. Печенкин И. Э., Овчинкин И. В., Карпенко А. В. Экологические аспекты применения резиновой крошки. *Современные научные исследования и разработки*. 2017. № 6 (14). С. 257-260.

23. Пермяков М. Б., Пивоварова К. А., Домнин В. Ю. Процессы получения резиновой крошки и ее применение в системе ограждения. *Вестник науки и образования*. 2016. № 9 (21). С. 28-31.

24. Трофимова Г. М., Новиков Д. Д., Компаниец Л. В. и др. Влияние измельчения на структуру резиновой крошки. *Высокомолекулярные соединения*. 2000. Т. 42. № 7. С. 1238- 1245.

25. Разгон Д. Р. Вторичное использование и переработка изношенных шин. *Новые химические технологии*. 2004. URL: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=932](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=932).

26. Chernyshova E. P., Permyakov M. B. Architectural town-planning factor and color environment. *World applied sciences journal*. 2013. № 27 (4). P. 437-443.

27. Вдовин А. А., Поторочина С. А. Способы улучшения эффективности использования резиновой крошки в качестве мелкого заполнителя в бетоне. *Интеграционные процессы в науке в современных условиях*. 2017. Ч. 3. С. 20-23.

28. Nahla N. H. Hardened properties of self-compacting concrete with different crumb rubber size and content. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2017. № 6. P.191-206.

29. ДБН В2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2016-07-08]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017. 33 с.

30. ДБН В.2.2-15-2005. Житлові будинки. Основні положення (Зміна № 4). [Чинний від 2006-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 2005. 76 с.

31. Менейлюк А. И и др. Разработка технологических карт на облицовку стен, устройство перегородок и подвесных потолков с использованием листов из гипсокартона тиги КНАУФ : мет. вказ. Одеса, 2011. 74 с.

32. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2007-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінбуд України, 2007. 70 с.

33. ДСТУ Б В.2.7-95-2000 (ГОСТ 6266-97). Будівельні матеріали. Листи гіпсокартонні. Технічні умови. [Чинний від 2000-07-01]. Вид. офіц. Київ : Держкомбуд України, 2000. 44 с.

34. ДСТУ EN 520:2018. Плити гіпсокартонні. Визначення, вимоги та методи випробування (EN 520:2004+A1:2009, IDT). [Чинний від 2019-01-03]. Вид. офіц. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2018.

35. СНиП 3.04.01-87. Изоляционные и отделочные покрытия. [Действующий с 1988-07-01]. Изд. офиц. Москва : ЦНИИОМТП Госстроя СССР, 1987. 44 с.

36. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві. [Чинний від 2012-04-01]. Вид. офіц. Київ : НДІБВ Мінрегіонбуду України, 2009. 126 с.

37. ДБН В.2.6-14-97. Конструкції будинків і споруд. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 1997-05-07]. Вид. офіц. Київ : Держкомбуд України, 1998. 109 с.

38. End of life tyre report. European tyre & rubber manufacturers' association. 2015. URL: [http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documents\\_manager/elt-report-v9a---final.pdf](http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documents_manager/elt-report-v9a---final.pdf).

39. Marsili L., Coppola D., Bianchi N., Maltese S., Bianchi M., Fossi M. C. Release of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Heavy Metals from Rubber Crumb in Synthetic Turf Fields: Preliminary Hazard Assessment for Athletes. *Environmental & Analytical Toxicology* : J Environ Anal Toxicol, 2014. Vol. 5. Iss. 2. URL: <https://www.researchgate.net/publication275581397>.

40. Synthetic turf from a chemical perspective – a status report 3/06 KEMI-Kemkalieinspektionen. *Swedish Chemicals Inspectorate*. Sundbyberg, 2006.

41. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. *World Health Organization International Agency for Research on Cancer - IARC (2010). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*. 1983. Vol. 92. P. 868.

42. Simon R. Review of the Impacts of Crumb Rubber in Artificial Turf Applications. Berkeley : University of California, Laboratory for Manufacturing And Sustainability College of Engineering. 2010. URL: <https://escholar-ship.org/uc/item/9zp430wp>.

43. Detlef A. Birkholz, Kathy L. Belton, Tee L. Guidotti Toxicological Evaluation for the Hazard Assessment of Tire Crumb for Use in Public Playgrounds. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2012. Vol. 53. Iss. 7. P. 903-907. URL: <https://doi.org/10.1080/10473289.2003.10466221>.

44. Watterson A. Artificial Turf: Contested Terrains for Precautionary Public Health with Particular Reference to Europe. *US National Library of Medicine, National Institutes of Health, PubMed.gov, Int J Environ Res Public Health*. Iss. 14(9). URL: <https://doi.org/10.3390/ijerph14091050>.

45. Википедия – свободная энциклопедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. End-of-LifeTires, WorldBusiness Council for Sustainable Development – WBCSD, 2019. URL: <https://www.wbcd.org/Sector-Projects/Tire-Industry-Project/End-of-Life-Tires-ELTs>.

46. Farrag N. M., Ibrahim V. A. R., Elalfy A. M. Applicability Of Using Recycled Rubber-Tire Materials For Acoustic Insulation In Barriers Of Residential Areas In Egypt. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017. Vol. 12, № 3. P. 806-820.

47. Beausoleil M., Price K., Muller C. Chemichals in outdoor artificial turf: A health risk for users? *Direction de santé publique de l'Agence de la santé et des services sociaux de Montréal (Public Health Branch, Montreal Health and Social*



*Services Agency*). Institut national de santé publique du Québec, 2009. Vol. 19, № 4-09/10/2008.

48. Review of the Human Health & Ecological Safety of Exposure to Recycled Tire Rubber found at Playgrounds and Synthetic Turf Fields. Pittsburgh : Cardno ChemRisk, 2013. URL: <https://www.groundsmastrubbermulch.com/docs/resources/Human-Health-Eco-Safety-Exposure-to-RTR-at-Playgrounds-and-Synthetic-Turf-Fields.pdf>.

49. Boccaa B., Forte G., Petrucci F., Costantini S., Izzo P. Metals contained and leached from rubber granulates used in synthetic turf areas. 2009. URL: [www.elsevier.com/locate/scitotenv/Elsevier](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv/Elsevier), Science of total environment 407.

50. Report on the Implementation of Directive 2000/53/EC on End-Of-Life Vehicles for the period 2002-2005. *European Commission*, 2007. URL: [www.ec.europa.eu/environment/waste/elv\\_index.htm](http://www.ec.europa.eu/environment/waste/elv_index.htm).

51. Managing End-of-Life Tires. ELT Full Report, 2009. URL: <http://www.rubberassociation.ca/files/ELT%20Full%20Report,%202008.pdf>.

52. Panko J., Kreider L.M., McAtee B., Marwood C. Biological leaching of metals from respirable tire wear particles. 2010. URL: [https://www.research-gate.net/publication/257556983\\_Chronic\\_toxicity\\_of\\_tire\\_and\\_road\\_wear\\_particles\\_to\\_water-\\_and\\_sediment-dwelling\\_organisms](https://www.research-gate.net/publication/257556983_Chronic_toxicity_of_tire_and_road_wear_particles_to_water-_and_sediment-dwelling_organisms).

53. McAtee B., Kreider L. M., Panko J., Finley B. Chronic toxicity of tire and road wear particles to water- and sediment-dwelling organisms. *ChemRisk*, 2012. URL: [https://docs.wbcsd.org/2010/04/Bio\\_Leaching\\_Metals.pdf](https://docs.wbcsd.org/2010/04/Bio_Leaching_Metals.pdf).

54. Guleira S. P., Dutta R. K. Behaviour of fly ash-lime-gypsum composite mixed with treated tire chips. *ResearchGate, Geomechanics and Engineering*, 2012. Vol. 14, №. 3, URL: <https://www.researchgate.net/publication/292286443>.

55. Kowalska M., Chmielewski M., Guleira S. P., Dutta R. K. Mechanical Parameters of Rubber-Sand Mixtures for Numerical Analysis of a Road Embankment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, WMCAUS*. IOP Publishing, 2017. URL: <https://www.researchgate.net/>

publication/320861427\_Mechanical\_Parameters\_of\_Rubber-and\_Mixtures\_for\_Numerical\_Analysis\_of\_a\_Road\_Embankment.

56. Zaoiai S., Makani A., Tafraoui A., Benmerioul F. Optimization and mechanical characterization of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates. *Asian journal of civil engineering (BHRC)*. 2015. Vol. 17, № 6. P. 817-829. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/298076139\\_Optimization\\_and\\_mechanical\\_characterization\\_of\\_self-compacting\\_concrete\\_incorporating\\_rubber\\_aggregates](https://www.researchgate.net/publication/298076139_Optimization_and_mechanical_characterization_of_self-compacting_concrete_incorporating_rubber_aggregates).

57. Sankov P. M., Tkach N. O., Dikarev K. V., Bliznyuk A. M., Hvadzhaia B. D. Effect of motor transport on the working places in the service infrastructure (By noise factor and urban air pollution in the center of the Dnipro city). *Наука та інновації*. 2018. № 14 (3). URL: <https://www.research-gate.net/publication/325452280>.

58. Бабій І. Н., Гострик А. Н., Кальченя Е. Ю. Багатокритерійний аналіз під час вибору технології влаштування звукоізоляції міжповерхових монолітних перекриттів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. № 4. С. 243-244.

59. Керш Д. В., Ляшенко Т. В., Керш В. Я. Анализ влияния легких заполнителей на звукоизолирующие свойства гипсобетона. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2011. Вип. 46. С. 164-168.

60. Дементьев В. В. О субъективных оценках звукоизоляции ударного шума в жилых зданиях. *Науковий вісник будівництва*. 2018. Т. 93. № 3. С. 59-63.

61. ISO 717-2:2013. Acoustics – Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 2: Impact sound insulation. 2013. 17 с. URL: <https://www.iso.org/standard/51969.html>.

62. ДСТУ Б EN 12354-1:2014. Будівельна акустика. Визначення акустичних характеристик будівель за характеристиками їх елементів. Частина 1. Ізоляція повітряного шуму між приміщеннями (EN 12354-1:2000,

IDT). [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : ДНДІБК Мінрегіону України, 2017.

63. Jelaković, T. Zvuk-sluch-arhitektonska akustika. *Školska knjiga*. Zagreb, 1978. 283p.

64. Bošnjaković, R. Redukcija buke. *Tozd Gospodarski Vestnik Ljubljana*. Čgp Delo, 1981. 198p.

65. Tanković, A. Suljić-Beganović, F. Talajić, M. Lutvica, S. Lutvica, E. Goletić, A. Utjecaj vibracija na ljudski organizam – Vibratorna bolest. *Bilten ljekarske komore*. Zavod za medicinu rada i sportsku medicinu Zeničko-dobojskog kantona, 2015. Br. 20. P. 33-40. URL: <http://ljkzedo.ba/sites/default/files/bilten/B20/05%20Uticaj%20vibracija.pdf>.

66. Mota H. I., Gomes J. F. P., Bordado J. C. M, Pereira M. M. C, Felisberto G. M. S., Ribeiro A., Pampulim V. M., Veloso I., Custodio M. L. B. Coated rubber granulates obtained from used tyres for use in sport facilities: A toxicological assessment. *Ciencia e Tecnologia dos Materiais*, 2009. URL: <https://www.researchgate.net/publication>.

67. Junfeng Zhang, In-Kyu Han, Lin Zhang, Crain W. Hazardous chemicals in synthetic turf materials and their bioaccessibility in digestive fluids. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. Nature Publishing Group, 2008. P. 600-607.

68. Andrea Re Depaolini, Giancarlo Bianchi, Daniele Fornai, Angela Cardelli, Marco Badalassi, Camillo Cardelli, Enrico Davoli. Physical and chemical characterization of representative samples of recycled rubber from end-of-life tires. *Elsevier. Chemosphere*, 2017. P. 1320-1326.

69. European tyre & rubber manufacturers' association. *The European Tyre Industry, Fact and Figures*, 2017. URL: [www.etrma.org](http://www.etrma.org).

70. Artificial Turf: Contested Terrains for Precautionary Public Health with Particular Reference to Europe? *Occupational and Environmental Health Research Group, Centre for Public Health and Population Health Research*. UK :

University of Stirling, 2017. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28895924>, Int J Environ Res Public Health.

71. Moretto R. Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf. *Ademe Aliapur Fieldturf Tarkett*. 2007.

72. Simović V. Leksikon Građevinarstva. Zagreb : Masmedia, 2002. 1091p.

73. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Аналіз теплоізоляційних властивостей монолітного перекриття із застосуванням гумової крихти, як конструктивного шару. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. Вип. № 73. С. 98-104.

74. Koški Ž., Perak M. Improvement of room acoustic with absorption materials and elements. *E-gfos*, 2010. № 1. С. 101-114.

75. Суханов В. Г., Выровой В. Н., Коробко О. А. Структура материала в структуре конструкции. Одеса : Поліграф, 2016. 243 с.

76. Jelaković T. *Zvuk-sluh-arhitektonska akustika*. Zagreb : Školska Knjiga, 1978. 283p.

77. Singh M. *Noise Control in Buildings. Fundamental and Applications*. Narosa Publishing House, 2014. 149 p.

78. Nabil A. F. *Vauphysik Kalendar. Raumakustik und Schallschutz*. Ernst & Sohn, 2014. 790 p.

79. Kurtović H. *Akustika za arhitekta*. Akademska misao Beograd, 2002. 62p.

80. Боганик А. Г. Эффективные конструкции для дополнительной звукоизоляции помещений. *Строительные материалы*. 2004. № 10. С. 18-19.

81. Федулов А. А., Иващенко В. Д., Боганик А. Г. Изоляция шума полнотелыми железобетонными перекрытиями со сборными основаниями полов Кнауф. *Строительные материалы*. 2004. № 10. С. 22-26.

82. Гладилин Д. А. Пенотерм – новый материал для виброшумоизоляции. *Строительные материалы*. 2004. № 10. С. 27.

83. Христофорова И. А. Звукопоглощающий материал на основе поливинилхлорида. *Строительные материалы*. 2004. № 10. С. 28-29.

84. Гусев П. В., Леденев В. И. Проектирование оптимальной защиты от шумового воздействия систем ОВК в административных зданиях предприятий текстильной и легкой промышленности. *Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 146-151.

85. Иванович А. А., Валерьевна Б. А. Расчет нестационарных звуковых полей помещений при зеркально-диффузной модели отражения звука от ограждений. *Вестник ТГАСУ*. 2015. № 6. С. 71-77.

86. Киселева Е. Г. История развития архитектурной акустики. *Жилищное строительство*. 2010. № 10. С. 26-29.

87. Иванов Н. И., Семенов Н. Г., Тюрина Н. В. Расчет и конструирование акустических экранов для снижения шума в жилой застройке. *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 10-12.

88. Никифоров А. В., Иванов А. В. Трехмерное моделирование и визуализация шумового загрязнения окружающей среды. *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 16-18.

89. Антонов А. И., Жоголева О. А., Леденев В. И., Шубин И. Л. Метод расчета шума в квартирах с ячейковыми системами планировки. *Жилищное строительство*. 2013. № 7. С. 33-35.

90. Антонов А. И., Леденев В. И., Соломатин Е. О., Гусев В. П. Методы расчета уровней прямого звука, излучаемого плоскими источниками шума в городской застройке. *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 13-15.

91. Овсянников С. Н., Котова Е. М. Защита от шума жилой застройки, прилегающей к транспортными магистралям и развязкам. *Жилищное строительство*. 2013. № 6. С. 06-09.

92. Буторина М. В., Куклин Д. А. Оценка уровней шума потоков железнодорожного транспорта. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 37-39.

93. Цукерников И. Е., Шубин И. Л., Невенчанная Т. О. Оценка снижения уровня звука шумозащитным экраном. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 40-42.

94. Старцева О. В., Овсянников С. Н. Исследование звукоизоляции однослойных и двухслойных перегородок. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 43-46.

95. Минина Н. Н., Иванов Н. И., Корнилов В. А. Расчет акустической эффективности искусственных сооружений. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 47-49.

96. Гребнер П. А., Мониц Д. В. Исследование звукоизолирующих свойств многослойных ограждений с жестким наполнителем. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 50-51.

97. Гусев В. П., Жоголева О. А., Леденев В. И., Соломатин Е. О. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 52-54.

98. Антонов А. И., Бацунова А. В., Крышов С. И. Метод оценки шумовых полей помещений при проектировании шумозащиты в гражданских зданиях с непостоянными во времени источниками шума. *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 58-60.

99. Хританков В. Ф. Легкие органоминеральные бетоны с повышенной звукопоглощающей способностью. *Жилищное строительство*. 2009. № 8. С. 60-63.

100. Машкин Н. А., Игнатова О. А. Строительные материалы. Краткий курс. Новосибирск : НГАСУ, 2012. С. 157-160.

101. Трибельский И. А., Бохан В. В., Зубарев А. В., Попков С. В. Метод измерения звукоизоляции панели с помощью акустического интерферометра. *Омский научный вестник*. 2012. № 3 (113). С. 88-94.

102. Попов П. А., Осипов А. С., Синдюков А. А. Расчет звукоизоляции многослойной конструкции на основе метода “Обратной матрицы”. *Вестник*

*Самарского государственного аэрокосмического университета*. 2014. № 3 (45). С. 53-60.

103. Салтыков И. П. Теоретические аспекты суммарного влияния воздушного и ударного шума на звукоизоляцию междуэтажных перекрытий жилых зданий. *Вестник МГСУ*. 2012. № 10. С. 45-50.

104. Скворцов А. Н., Савельев А. П., Глотов С. В. Расчет эффективности переносного акустического экрана. *Вестник НИМГУ*. 2016. № 1. С. 59-69.

105. Литвинов А. Е., Чукарин А. Н. Исследование шумов и вибрации отрезных круглопильных станков. *Научный журнал КубГАУ*. 2016. № 122 (08). С. 01-09.

106. Скворцов А. Н. Современное проектно-конструкторское решение для защиты населения от энергии шума. *Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2016. № 1. С. 78-87.

107. Иванов Н. И., Буторина М. В., Минина Н. Н. Проблема защиты от шума. *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 135-145.

108. Гиясов Б. И., Антонов А. И., Матвеева И. В. Энергетический метод расчета шума, проникающего в плоские помещения через стены. *Вестник МГСУ*. 2014. № 9. С. 22-31.

109. Антонов А. И., Соломатин Е. О., Цева А. В. Метод расчета шума в длинных помещениях. *Вестник МГСУ*. 2013. № 1. С. 19-25.

110. Анджелов В. Л., Пороженко М. А. Оценка и нормирование звукоизоляции ограждающих конструкций зданий. *Строительные науки. Акустика*. 2010. № 3. С. 170-174.

111. Анджелов В. Л. Проблемы обеспечения звукоизоляции ограждений монолитных жилых и общественных зданий. *Строительные науки. Акустика*. 2009. № 5. С. 193-215.

112. Смирнов В. А., Смоляков М. Ю., Цукерников И. Е. Оценка эффективности виброизоляции конструкций на основе щебеночной засыпки. *Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2 (368). С. 241-245.

113. Кочкин А. А., Шубин И. Л., Кочкин Н. А., Киряткова А. В. О регулировании звукоизоляции слоистых вибродемпфированных элементов. *Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 181-187.

114. Леденев В. И., Макаров А. М., Матвеева И. В., Шубин И. Л. Методика оценки коэффициентов звукопоглощения в производственных помещениях с технологическим оборудованием. *Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2 (368). С. 249-254.

115. Антонов А. И., Леденев В. И., Матвеева И. В., Шубин И. Л. Оценка распространения прямого звука от звукоизолирующих ограждений технологического оборудования текстильной и легкой промышленности. *Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 167-172.

116. Овсянников С. Н., Скрипченко Д. С. Исследование звукоизоляционных свойств материалов при различных статических нагрузках. *Технология текстильной промышленности*. 2016. № 4 (364). С. 40-44.

117. Гусев В. П., Сидорина А. В., Антонов А. И., Леденев В. И. Проектирование звукоизоляции крупногабаритных вентиляционных каналов. *Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2 (368). С. 254-260.

118. Гусев В. П., Антонов А. И., Жоголева О. А., Леденев В. И. Расчеты шума при проектировании шумозащиты в производственных помещениях с перегородками неполной высоты. *Технология текстильной промышленности*. 2017. № 2 (368). С. 260-266.

119. Wolfgang M. V., Schild K., Dinter S. Vieweg, Sohn Verlag. *Prijevod Građevinska Fizika – Priručnik, Deo II*. Beograd : Građevinska knjiga d.o.o., 2006.

120. Минина Н. Н. Шум стройплощадок. *Вестник МГСУ*. Москва : МГСУ, 2011. № 3. С. 128-134.



121. Ruben M. S., Manuel M. C., Rosendo V. G. The performance of resilient layers made from recycled rubber fluff for impact noise reduction. *Applied Acoustics*. 2011. № 72. P. 823-828.

122. Harjana H., Ubaidillah S., Yahya I., Restu K., Muqowi E., Mazlan S. A. Sound insulation and absorption properties of re-claimed waste tire rubber. *Conference ICAMST2014* (Indonesija). 2009. URL: <https://www.researchgate.net/publication/266142931>.

123. Horoshenkov K. V., Swift M. J. The effect of consolidation on the acoustic properties of loose rubber granulates. *Applied Acoustics*. 2001. № 62. P. 665-690.

124. Sanchez-Dehesa J., Garcia-Chocano V. M., Torrent D., Cervera F., Cabrera S. Noise control by sonic crystal barriers made of recycled materials. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2011. № 129 (3). URL: <https://www.researchgate.net/publication/50829920>.

125. Holmes N., Browne A., Montague C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 73. P. 195-204.

126. Pastora J. M., Garcíaa L. D., Quintanaa S., Peñaab J. Glass reinforced concrete panels containing recycled tyres. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 54. P. 541-549.

127. Jimenez-Espadafor F. J., Villanueva Becerra J. A., Torres M. G., Trujillo E. C., Blanco Munoz A. Optimal design of acoustic material from tire fluff. *Materials and Design*. 2011. Vol. 32. P. 3608-3616.

128. Holberg D., Hamer P., Nilsson E. Acoustic properties of materials. Variational formulation of the radiation impedance of absorbing patches in finite rooms. *Sessions. Acta Acustica united with Acustica*. 2003. Vol. 89 (3). URL: <https://www.researchgate.net/publication/233560690>.

129. Barnes G. A., Don C. G. Acoustic properties of materials. Optimising the Parameters Influencing the Acoustic Properties of Plane Space Absorbers.

*Sessions*. 2001. URL: [https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4\\_02.pdf](https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4_02.pdf).

130. Parkinson J. P., Pearse J. R., Latimer M. D. Acoustic properties of materials. Strip Absorber. *Sessions*. 2001. URL: [https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4\\_02.pdf](https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4_02.pdf).

131. Sulzer H. D. Acoustic properties of materials-An Innovative Sound Absorption System which Fulfills the Highest of Acoustic and Aesthetic Requirements. *Sessions*. 2001. URL: [https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4\\_02.pdf](https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4_02.pdf).

132. Ramis J., Alba J., Brabo J. M., Redondo J. Acoustic properties of materials-Absorption for the Control of Reverberation by Using Perforated Gypsum and Wood Boards. *Sessions*. 2001. URL: [https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4\\_02.pdf](https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA2001Rome/4_02.pdf).

133. Nilsson E. Room acoustic measures for classrooms. *ResearchGate*. 2020. URL: <https://www.researchgate.net/publication/267858659>.

134. Rubacha J., Pilch A., Zastawnik M. Measurements of the Sound Absorption Coefficient of Auditorium Seats for Various Geometries of the Samples. *PAN – Archives of acoustics*. 2012. Vol. 37. № 4. P. 483-488.

135. Ianniello C. Modern shows in Roman amphitheatres. *Acoustics in Practice EAA*. 2017. Iss. 6. P. 13-22.

136. Dolezal F., Spitzbart-Glasl C. Relevance of acoustic Performance in Green Building Labels and social Sustainability Ratings. *Acoustics in Practice EAA*. 2017. Iss. 6. P. 23-32.

137. Juraga I., Paviotti M., Berger B. The Environmental Noise Directive at a Turning Point. *Acoustics in Practice EAA*. 2017. Iss. 6. P. 65-68.

138. Tang S. K. Sound insulation and radiation directivity of plenum windows installed with cylinder arrays. *INTER-NOISE 2017 – 46<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Taming Noise and Moving Quiet*. Hong Kong : Institute of Noise Control Engineering, 2017. P. 27-30.

139. Cai C., Mak C. M., Shi X., Wang X. The Helmholtz resonator with different types of necks. *INTER-NOISE 2017 – 46<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Taming Noise and Moving Quiet*. Hong Kong : Institute of Noise Control Engineering, 2017. P. 27-30.

140. Davy J. L., Debevc, Blanc C. The sound insulation of autoclaved aerated concrete panels lined with gypsum plasterboard. *INTER-NOISE 2017 – 46<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Taming Noise and Moving Quiet*. Hong Kong : Institute of Noise Control Engineering, 2017. P. 27-30.

141. Herrero S., Maor P., Hernandez-Olivares F. Influence of proportion and particle size gradation of rubber from end-of-life tires on mechanical, thermal and acoustic properties of plaster–rubber mortars. *Materials and Design*. Elsevier, 2013. Vol. 47. P. 633-642.

142. Allemon P., Hazebrouck R. Influence of the pore size distribution on sound absorption of rubber granulates. Hong Kong : Inter Noise, 1996.

143. Narang N., Sharma A., Kaushik M. K., Guleria S. P. Large scale waste tire reutilization practices for granulated and chopped rubber Tires in Civil Engineering Applications. *3rd DAV National Congress on Science, Technology, Engineering, Humanities and Management*, Daviet, Jalandhar. 2016. URL: <https://www.researchgate.net/publication/305755579>.

144. Zaoiai S., Makani A., Tafraoui A., Benmerioul F. Optimization and mechanical characterization of self-compacting concrete incorporating rubber aggregates. *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*. 2016. Vol. 17, № 6. P. 817-829.

145. Khan A., Mohamed M., Al Halo N., Benkreira H. Acoustical properties of novel sound absorbers made from recycled granulates. *Applied Acoustics*. Elsevier, 2017. № 127. P. 80-88.

146. Holmes N., Browne A., Montague C. Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement. *Construction and Building Materials*. Elsevier, 2014. № 73. P. 195-204.

147. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив діапазону частоти і товщини панелі із застосуванням гумової крихти на значення індексу звукоізоляції. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. С.6-12.

148. Meneulyuk A., Popov O., Hostryk A., Crnoja A. Analysis of the change of sound insulation index from the range of frequency, density and thickness of the panel with the use of rubber crumb. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 96, № 2 (2). Р. 353-358.

149. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив щільності панелі з застосуванням гумової крихти на показник звукоізоляції. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 4. С. 57-63.

150. Crnoja A., Kersh V., Popov O., Dovhulia A. Laboratory Studies of The Heat-Insulating Properties of the Panels that Made of Recycled Rubber. *Key Engineering Materials*. Vol. 864. P. 66-72.

151. Crnoja A., Kos Z., Popov O. Application of a Logarithmic Model on a Stress – Deformation Interdependence of the Recycled Tires. *Tehnički Glasnik*. Varaždin : University North, 2019. Vol. 13. № 3. P. 180-183.

152. Crnoja A. Panels made from recycled tire-application of linear model to test the tensile force. *Croatian Regional Development Journal*. 2020. Vol. 1. № 1. P. 1-15.

## **ДОДАТКИ**

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

### Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

#### *Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Аналіз теплоізоляційних властивостей монолітного перекриття із застосуванням гумової крихти, як конструктивного шару. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2018. Вип. 73. С. 98–104.

2. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив діапазону частоти і товщини панелі із застосуванням гумової крихти на значення індексу звукоізоляції. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2019. Т. 26. № 1. С. 6–12.

3. Meneulyuk A., Popov O., Hostryk A., Crnoja A. Analysis of the change of sound insulation index from the range of frequency, density and thickness of the panel with the use of rubber crumb. *Науковий вісник будівництва*. 2019. Т. 96. № 2 (2). С. 353–358.

4. Попов О. А., Гострик А. Н., Црноя А. Вплив щільності панелі з застосуванням гумової крихти на показник звукоізоляції. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 4. С. 57–63.

#### *Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:*

5. Crnoja A., Kos Z., Popov O. Application of a Logarithmic Model on a Stress – Deformation Interdependence of the Recycled Tires. *Tehnički Glasnik. Varaždin* : University North, 2019. Vol. 13. № 3. P. 180–183.

6. Crnoja A., Kersh V., Popov O., Dovhulia A. Laboratory Studies of The Heat-Insulating Properties of the Panels that Made of Recycled Rubber. *Key Engineering Materials*. Vol. 864. P. 66–72.

7. Crnoja A. Panels made from recycled tire-application of linear model to test the tensile force. *Croatian Regional Development Journal*. 2020. Vol. 1. № 1. P. 1–15.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

8. Попов О.О., Гострик А.Н., Црноя А. Аналіз теплотехнічного розрахунку самоущільнюючої бетонної суміші з гумовою крихтою. *Актуальні проблеми інженерної механіки* : мат-ли V-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 22-25 травня 2018 р. Одеса, 2018. С. 191–193.

9. Попов О.О., Гострик А.Н., Црноя А. Вплив щільності панелі з застосуванням гумової крихти на показник звукоізоляції. *Структурутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструк* : зб. тез наук. конф., м. Одеса, 23-24 квітня 2019 р. Одеса, 2019. С. 79–80.

10. Попов О. О., Гострик А.Н., Црноя А. Вплив діапазону частоти і товщини панелі із застосуванням гумової крихти на значення індексу звукоізоляції. *Експлуатація і реконструкція будівель і споруд* : мат-ли III-ї міжнар. наук.-практ. конф., м. Одеса, 26-28 вересня 2019 р. Одеса, 2019. С. 130.

11. Єрмакова С., Срноја А. Теплоізоляційні можливості гумової крихти на засадах бережливого будівництва: *75-ї наук.-техн. конф. проф.-викл. складу академії* : зб. тез наук. конф., м. Одеса, 16-17 травня 2019 р. Одеса, 2019. С. 282.

## Продовження додатку А

### Відомості про результати апробації дисертації

- V Міжнародна науково-практична конференція "Актуальні проблеми інженерної механіки" (Одеса, 22-25 травня 2018 р., – очна участь);

- міжнародна конференція «Структуроутворення, міцність та руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» (Україна, м. Одеса, 23-24 квітня 2019 р. – очна участь);

III Міжнародна конференція "Експлуатація та реконструкція будівель і споруд" (Одеса, 26-28 вересня 2019 р., – очна участь)

- 75-та науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу Одеської державної академії будівництва та архітектури (Україна, м. Одеса, 16- 17 травня 2019 р. – очна участь).



**ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**



STAS d.o.o., Franje Blažinca 27, 10370 Dugo Selo, Hrvatska

Tel/Fax: 01-2763-105/01-2763-050 OIB: 71567077819

Croatia Banka IBAN HR4824850031100289145

Zagrebačka banka IBAN HR5023600001102133743

---

## CONFIRMATION

### On the application of research results in the company STAS d.o.o.

We confirm that the results of scientific and technical research of the postgraduate student of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Anđelko Crnoja were used for installation in the outer walls of the locksmith plant to reduce the noise from the building to the environment.

It has been scientifically proven that recycled rubber panels contribute to reducing noise emissions into the environment, and practical application has shown that they can be used in practice.

Field measurements showed that there was a significant reduction in noise from the building to the surroundings.

The company will continue to develop new products.

Dugo Selo, 05.04.2021.g



---

Stanko Slišković, C.E.O.

**STAS**  
d.o.o.  
DUGO SELO, ul. F. Blažinca br. 27



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

вул. Дідріхсона, 4, м. Одеса, 65029, тел./факс: (048) 723-69-04, тел. (048) 723-43-53,  
E-mail: [list@odasu.org.ua](mailto:list@odasu.org.ua), веб-сайт: [www.odaba.edu.ua](http://www.odaba.edu.ua), код ЄДРПОУ 02071033

01.04.2021 № 29-297

На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### Довідка

#### про впровадження результатів наукових досліджень

Ця довідка засвідчує, що результати досліджень, викладені в дисертаційній роботі Црноя Анджелка на здобуття ступеня доктора філософії з галуззі знань 19 – Архітектура та будівництво зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія за темою «Ефективні звукоізоляційні матеріали для реконструкції огорожувальних конструкцій будівель» (науковий керівник – к.т.н., доц. О.О. Попов) впроваджені в навчальний процес Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Результати досліджень використовуються при проведенні лекційних та практичних занять з освітніх компонент «Технологія будівельного виробництва», «Технологія зведення будівель та споруд» і «Методологія та методика наукових досліджень», а також при підготовці дипломних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія Освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво».

Проректор з НПР, д.т.н., проф.



Ю. Крутий



**Sveučilište  
Sjever**

Klasa: 303-01/21-01/25

Urbroj: 2186-0336-43-21-1

Varaždin, 14. travnja 2021.

**Predmet: Potvrda o provedbi rezultata disertacije doktoranda katedre građevinskih konstrukcija Anđelka Crnoje**

Ovime potvrđujem da su rezultati istraživanja izloženi u disertaciji postdoktoranda **Anđelka Crnoje** na temu: *"Učinkoviti zvučnoizolacijski materijali za rekonstrukciju omotača građevina"* implementirani u obrazovni proces predavanja i vježbi na Sveučilištu Sjever, Odjelu za graditeljstvo, na kolegijima „Zgradarstvo I“ i „Zgradarstvo II“ na III. godini studija građevinskih smjerova, u akademskoj godini 2019./2020. i 2020./2021.

Pročelnik Odjela za graditeljstvo  
Doc.dr.sc. Danko Markovinović

Dostaviti: 1. Anđelko Crnoja,  
2. Pismohrana, ovdje