

УДК: 67.06 : 666.9.022.1

DOI: 10.20535/iwscmm2025325813

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ, МОДИФІКОВАНИХ ВІДСІВАМИ АНДЕЗИТУ

Любов МЕЛЬНИК,

К.т.н., доц.,

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

luba_xtkm@ukr.net

Валентин СВІДЕРСЬКИЙ,

Д.т.н., проф.,

КПІ ім. Ігоря Сікорського,

xtkm@ukr.net

Єлизавета КОЛОБОВНИКОВА,

Студентка 1 курсу магістратури, ХТФ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

kolobovnikova.elizaveta@lil.kpi.ua

Анотація. У роботі представлено результати дослідження використання відсівів андезиту як мінерального наповнювача в полімерних композиційних матеріалах. Об'єктом дослідження виступають полімерні композити на основі латексів Latex 2012 і Policril 590, а предметом - вплив концентрації відходів андезиту на теплофізичні характеристики цих матеріалів. Метою дослідження є обґрунтування доцільності вторинного використання техногенних відходів андезиту для створення композитів з підвищеною теплопровідністю. У роботі на основі дифрактограми наповнювача розраховано розмір кристалітів, досліджено залежності теплопровідності від температури, густини та пористості при різній концентрації андезиту (65 і 90 мас.%). Встановлено, що при високому вмісті наповнювача формуються ефективні теплопровідні шляхи, які забезпечують зростання теплопровідності навіть за умов підвищеної пористості. Отримані результати підтверджують доцільність залучення андезитових відходів до складу ПКМ та відкривають нові можливості для їх використання в матеріалах конструкційного й теплоізоляційного призначення.

Ключові слова: андезит, відходи, вулканічні матеріали, латекс, наповнювач, полімерні композити, пористість, теплопровідність.

Одним із перспективних напрямків повторного використання техногенних відходів гірничої промисловості є застосування відсівів андезиту як функціонального наповнювача в полімерних композиційних матеріалах. Андезит – це вулканічна порода з високою твердістю (7 за Моосом) і густиною (2,5-3,0 г/см³), що складається переважно з кремнезему (SiO₂ 57-63 %), плагіоклазу, піроксену та рогової обманки. Під час механічної обробки породи

утворюється значна кількість пилоподібних відходів, які можуть спричиняти екологічне навантаження, але водночас мають потенціал як активні або інертні мінеральні наповнювачі в композиційних системах.

Незважаючи на фізико-хімічні властивості андезиту, на сьогодні кількість наукових публікацій, присвячених його використанню саме у полімерних композиційних матеріалах, є вкрай обмеженою. Дослідники лише дотично згадують про його потенціал, зважаючи на аналогію з іншими вулканічними матеріалами – такими як пемза, перліт, туф, які ефективно зарекомендували себе як наповнювачі в полімерних матрицях. Зокрема, пемза дозволяє регулювати щільність композитів і покращувати їх адсорбційні властивості [1], тоді як перліт, завдяки своїй пористій структурі, сприяє підвищенню теплоізоляційних характеристик у системах на основі АБС, ПЕ, ПЛА/ПВА [2]. Вулканічний попіл у поліпропіленовій матриці покращує теплові та механічні властивості, що підтверджено в оглядовій статті [3].

На відміну від полімерної галузі, дослідження щодо застосування відсівів андезиту у виробництві цементу та бетонів вже мають широку доказову базу. У роботі [4] узагальнено результати численних досліджень, які демонструють, що андезитовий пил може бути використаний як мінеральна добавка до цементу завдяки вмісту активних оксидів ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$) та здатності проявляти пуцоланову активність, подібно до золи-виносу. Було встановлено, що при заміні до 15% цементу на андезитовий пил поліпшуються показники міцності та довговічності бетонів, зокрема підвищується щільність структури та знижується водопоглинання. У роботі [5] показано вплив андезитового пилу на механічні характеристики цементних композицій. Автори вказують, що заміна частини цементу (10–20 %) на відсів андезиту дозволяє зменшити екологічне навантаження без втрати міцності, особливо при використанні тонкодисперсного матеріалу, здатного утворювати щільну структуру. В роботі [6] порівнюється ефективність андезиту як вторинного в'язучого з іншими мінеральними добавками, зокрема метакаоліном та мікрокремнеземом. Таким чином, існуючі літературні джерела демонструють високу ефективність

використання андезитових відходів у цементних системах, але відсутність системних досліджень у полімерних композитах створює наукову нішу для подальших розвідок. Беручи до уваги фізико-хімічні характеристики андезиту та позитивний досвід використання інших вулканічних матеріалів, було обґрунтовано доцільність проведення експериментальних досліджень впливу відсівів андезиту на теплофізичні властивості полімерних композитів. Зокрема, досліджено теплопровідність композитів на основі латексів типу Latex 2012 і Policril 590 з різними концентраціями наповнювача – 65 мас.% і 90 мас.%.

Метою даного дослідження є комплексна наукова оцінка ефективності використання відсівів андезиту як інертного мінерального наповнювача в складі полімерних композиційних матеріалів з урахуванням теплофізичних параметрів, структурної організації композиту, пористості та взаємодії з полімерною матрицею. Основна увага приділяється вивченню впливу концентрації наповнювача на формування теплопровідних шляхів у матеріалі, з урахуванням зміни густини та мікроструктури, а також визначенню балансу між теплопровідністю і пористістю композитів. Дослідження має на меті надати експериментальне обґрунтування доцільності утилізації техногенних відходів андезиту в галузі створення функціональних ПКМ, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності та ресурсозбереження.

На першому етапі виконано рентгенівський дифракційний аналіз (XRD) для оцінки розміру кристалітів андезиту. За формулою Шеррера [7] встановлено, що середній розмір кристалітів становить 110,0 нм (табл. 1), що свідчить про достатню впорядкованість структури матеріалу. Водночас, значення теплопровідності андезиту становить 0,212 Вт/м·К, що вказує на його потенціал як помірного теплоізолятора.

Таблиця 1 – Розрахунок розміру кристалітів на основі дифрактограми

Матеріал	$2\theta, ^\circ$	FWHM, β , рад	Розмір кристаліту, D, нм	Середній розмір кристаліту (нм)	Теплопровідність, Вт/м·К
Відсів андезиту	26,5	0,7	116,6	110,0	0,212
	32,0	0,8	103,3		

Подальший аналіз теплопровідності композитів засвідчив, що за концентрації 90 мас.% у матриці Latex 2012 при температурі 150 К коефіцієнт теплопровідності сягає 1,6 Вт/м·К, з подальшим зниженням до 0,8 Вт/м·К у діапазоні 200–375 К. При меншій концентрації (65 мас.%) теплопровідність є нижчою та становить близько 0,8 Вт/м·К при 150 К (рис. 1). Аналогічна динаміка спостерігається і для системи з Policril 590. Це свідчить про зростання теплопровідності зі збільшенням вмісту наповнювача, особливо при низьких температурах, завдяки формуванню безперервної теплопровідної структури з частинок андезиту.

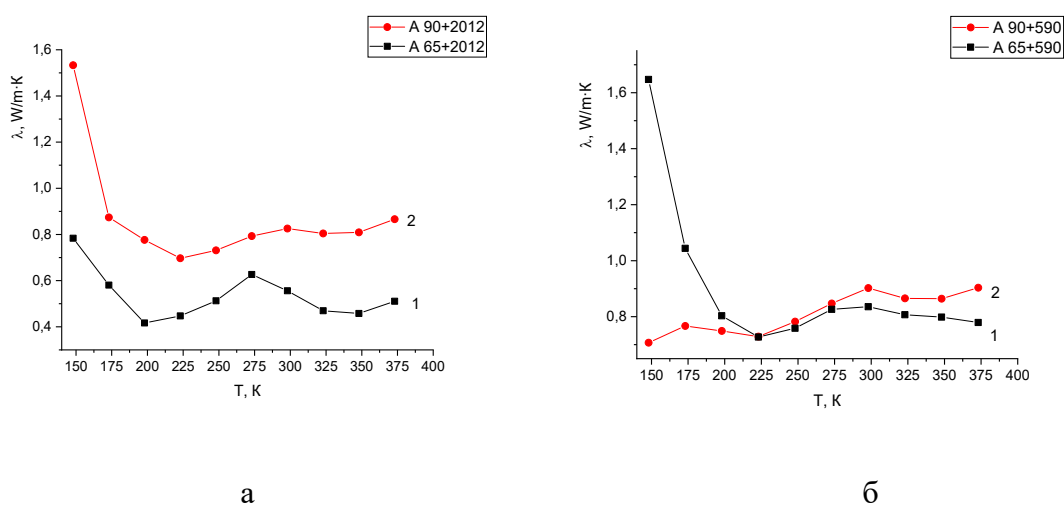


Рис. 1. Залежності коефіцієнта теплопровідності від температури для систем з відсівами андезиту на основі Latex 2012 (а) та Policril 590 (б) при концентрації наповнювача: 1 – 65 мас.%, 2 – 90 мас.%

Вивчення зв'язку між теплопровідністю та густиною матеріалу показало, що зі зростанням концентрації андезиту з 65% до 90% густина зростає з 1,52 до 2,02 г/см³, а теплопровідність – з 0,56 до 0,82 Вт/м·К (рис. 2). Така залежність демонструє, що щільніше пакування частинок у композиті забезпечує кращу передачу тепла, зменшуючи кількість полімерної фази з нижчою теплопровідністю.

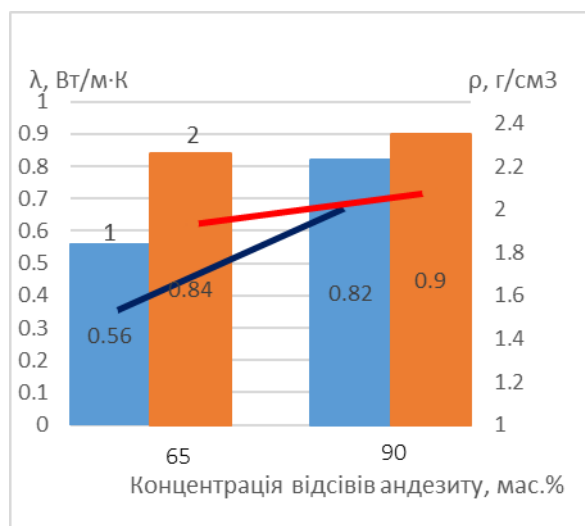


Рис. 2. Залежності коефіцієнта теплопровідності та густини композитів із відсівами андезиту для систем на основі: 1 – Latex 2012, 2 – Policril 590

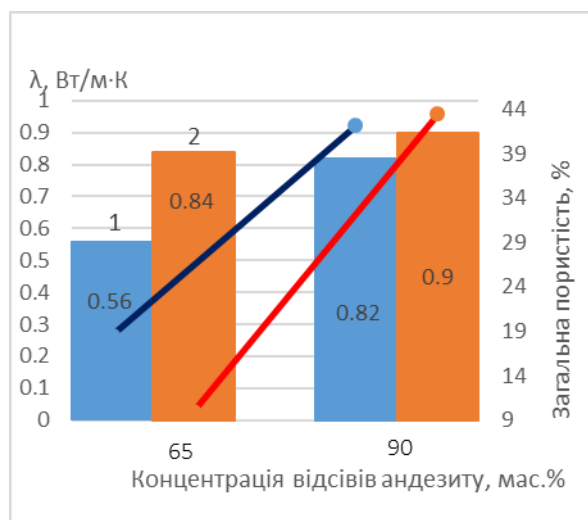


Рис. 3. Залежності коефіцієнта теплопровідності та загальної пористості композитів із відсівами андезиту для систем на основі: 1 – Latex 2012, 2 – Policril 590

Цікаво, що зростання пористості, яка зазвичай погіршує теплопровідність, у цьому випадку не призводить до зниження ефективності. Для Latex 2012 пористість збільшується з 18,56% до 42,23%, а для Policril 590 – з 9,89% до 43,51% зі зростанням вмісту наповнювача до 90 мас.%. Проте теплопровідність композитів продовжує зростати (Latex 2012: 0,56 → 0,82 Вт/м·К; Policril 590: 0,84 → 0,90 Вт/м·К), що пояснюється формуванням безперервних теплопровідних шляхів, які компенсують негативний ефект пористості (рис. 3).

ВИСНОВКИ

Таким чином, отримані результати експериментального дослідження узгоджуються з теоретичними припущеннями літературного аналізу. Висока твердість, мінералогічна стабільність та здатність формувати розгалужені теплопровідні мережі роблять відсіви андезиту ефективними інертними наповнювачами для створення функціональних полімерних композитів із заданими теплофізичними характеристиками. Збільшення концентрації наповнювача підвищує теплопровідність, густину та забезпечує стабільну

структуру композиту навіть при високій пористості. Це створює наукове підґрунтя для подальшого розвитку технологій утилізації андезитових відходів у полімерній промисловості та розробки нових матеріалів для будівництва, теплоізоляції та промислового застосування.

Список літератури:

1. Akkaya, R. (2013). Uranium and thorium adsorption from aqueous solution using a novel polyhydroxyethylmethacrylate-pumice composite. *Journal of Environmental Radioactivity*, 120, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.11.015>.
2. Raji, M., Nekhlaoui, S., El Hassani, I.-E. E. A., Essassi, E. M., Essabir, H., Rodrigue, D., Bouhfid, R., & Qaiss, A. e. k. (2019). Utilization of volcanic amorphous aluminosilicate rocks (perlite) as alternative materials in lightweight composites. *Composites Part B: Engineering*, 165, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.098>.
3. Çoban, O., & Yilmaz, T. (2022). Volcanic particle materials in polymer composites: a review. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07664-0>.
4. Handayani, A. F., Rosyidah, D. H., Sulaksitaningrum, R., Susanto, P. B., & Umniati, S. (2023). Andesite waste powder as mineral admixture in concrete: A Review. *E3S Web of Conferences*, 445, 01030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344501030>.
5. Özkan, Ş., & Ceylan, H. (2022). The effects on mechanical properties of sustainable use of waste andesite dust as a partial substitution of cement in cementitious composites. *Journal of Building Engineering*, 104959. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104959>.
6. Meng, T., Wei, H., Dai, D., Liao, J., & Ahmed, S. (2022). Effect of brick aggregate on failure process of mixed recycled aggregate concrete via X-CT. *Construction and Building Materials*, 327, 126934. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126934>.
7. Blake, A. J., & Clegg, W. (2009). *Crystal Structure Analysis, Principles and Practice* (2nd ed.). International Union Of Crystallography, Oxford University Press, 251–263.

References:

1. Akkaya, R. (2013). Uranium and thorium adsorption from aqueous solution using a novel polyhydroxyethylmethacrylate-pumice composite. *Journal of Environmental Radioactivity*, 120, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.11.015>.
2. Raji, M., Nekhlaoui, S., El Hassani, I.-E. E. A., Essassi, E. M., Essabir, H., Rodrigue, D., Bouhfid, R., & Qaiss, A. e. k. (2019). Utilization of volcanic amorphous aluminosilicate rocks (perlite) as alternative materials in lightweight composites. *Composites Part B: Engineering*, 165, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.11.098>.
3. Çoban, O., & Yilmaz, T. (2022). Volcanic particle materials in polymer composites: a review. *Journal of Materials Science*. <https://doi.org/10.1007/s10853-022-07664-0>.
4. Handayani, A. F., Rosyidah, D. H., Sulaksitaningrum, R., Susanto, P. B., & Umniati, S. (2023). Andesite waste powder as mineral admixture in concrete: A Review. *E3S Web of Conferences*, 445, 01030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344501030>.
5. Özkan, Ş., & Ceylan, H. (2022). The effects on mechanical properties of sustainable use of waste andesite dust as a partial substitution of cement in cementitious composites. *Journal of Building Engineering*, 104959. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104959>.
6. Meng, T., Wei, H., Dai, D., Liao, J., & Ahmed, S. (2022). Effect of brick aggregate on failure process of mixed recycled aggregate concrete via X-CT. *Construction and Building Materials*, 327, 126934. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126934>.
7. Blake, A. J., & Clegg, W. (2009). *Crystal Structure Analysis, Principles and Practice* (2nd ed.). International Union Of Crystallography, Oxford University Press, 251–263.

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES MODIFIED WITH ANDESITE SIFTINGS

Elizabeth KOLOBOVNIKOVA

Magistr graduate,

Lubov MELNYK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Valentyn SVIDERSKYI

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

Abstract. *This paper presents the results of a study on the use of andesite waste as a mineral filler in polymer composite materials. The object of the study is polymer composites based on Latex 2012 and Policril 590, while the subject is the influence of andesite waste concentration on the thermophysical properties of these materials. The aim of the study is to justify the feasibility of secondary utilization of andesite processing waste for the development of composites with enhanced thermal conductivity. Based on the X-ray diffraction pattern of the filler, the crystallite size was calculated, and the dependencies of thermal conductivity on temperature, density, and porosity were investigated at different filler concentrations (65 and 90 wt.%). It was found that at high filler content, effective thermally conductive pathways are formed, ensuring increased thermal conductivity even under elevated porosity conditions. The results confirm the feasibility of incorporating andesite waste into polymer composites and open new opportunities for its use in construction and thermal insulation materials.*

Key words: andesite, filler, latex, polymer composites, porosity, thermal conductivity, , volcanic materials, waste.