

УДК 691.175

М. В. Русецька

аспірантка, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7168-7552>

Кафедра будівництва

Київський національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв
Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

Є. А. Бакулін

к.т.н., доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5384>

Кафедра будівництва

Київський національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв
Оборони, 15, Київ, Україна, 03041

*автор-кореспондент, e-mail: m.rusetska@nubip.edu.ua

Сендвіч-панелі з базальтовим, мінераловатним і пінополістирольним утеплювачем: порівняльний аналіз властивостей на основі експериментальних досліджень

Цитувати як:

Русецька М. В., Бакулін Є. А. (2025). Сендвіч-панелі з базальтовим, мінераловатним і пінополістирольним утеплювачем: порівняльний аналіз властивостей на основі експериментальних досліджень. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 23, 240-249. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-21)

© 2025, Русецька М. В., Бакулін Є. А.

Анотація. У статті досліджено конструктивно-технологічні особливості застосування стінових сендвіч-панелей із базальтовим утеплювачем з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, пожежної безпеки та механічної міцності. Проведено порівняльний аналіз ключових фізико-механічних характеристик трьох основних типів утеплювачів, що найчастіше використовуються в сендвіч-панелях: базальтового волокна, мінеральної вати та пінополістиролу. Проведено узагальнення та систематизація результатів експериментальних досліджень щодо теплофізичних, міцнісних, вогнестійких та технологічних властивостей сендвіч-панелей. Особливу увагу приділено аналізу поведінки матеріалів при підвищених температурах, що є критично важливим для запобігання поширенню вогню у разі пожежі. Огляд літератури показує, що базальтові утеплювачі демонструють найвищу вогнестійкість і стабільні теплофізичні властивості при температурах до 300 °С, особливо у поєднанні з неорганічними або геополімерними зв'язувальними, а також високу міцність на згин і стиск. Встановлено, що мінеральна вата має добрі теплозахисні характеристики, однак її міцність та температурна стабільність є нижчими. Пінополістирол, хоч і демонструє задовільну теплопровідність при низьких температурах, втрачає свої властивості при нагріванні вище 60 °С. У сукупності ці дослідження дозволяють обґрунтовано оцінити конструктивні обмеження і переваги кожного типу утеплювача з точки зору довговічності, безпеки та енергоефективності. Отримані результати

порівняння є корисними для вдосконалення конструкції сендвіч-панелей, правильного вибору утеплювача залежно від умов експлуатації та підвищення загальної ефективності й безпеки будівель.

Ключові слова: сендвіч-панелі, базальтовий утеплювач, теплофізичні властивості, конструктивно-технологічні особливості, енергоефективність.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Робота виконана у рамках наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України [1] і є продовженням розвитку та вдосконалення ефективних екологічних будівельних матеріалів [2, 3], які безумовно впливають на подальшу безпечну експлуатацію будівель та інженерних споруд [4] із урахуванням підготовки та інженерного захисту територій нового будівництва [5] або проведення реконструкції [6]. Основна проблема, що потребує розв'язання, — це відсутність узагальненої порівняльної оцінки ефективності трьох основних типів утеплювачів у контексті сучасних вимог до енергоефективності, пожежної безпеки та конструктивної надійності.

Мета і завдання дослідження. Метою цього розділу є узагальнення та систематизація результатів провідних експериментальних досліджень щодо теплофізичних, міцнісних, вогнестійких та технологічних властивостей сендвіч-панелей з трьома основними типами утеплювачів: базальтовим, мінераловатним та пінополістирольним. Порівняння здійснюється з акцентом на практичне значення результатів для подальшої розробки раціональних конструкцій панелей.

Матеріали та методи

У дослідженні застосовано **аналітичний та порівняльний методи**, спрямовані на узагальнення результатів експериментальних праць, опублікованих в міжнародних наукових виданнях. Основним джерелом інформації є рецензовані наукові статті, де описано результати випробувань сендвіч-панелей з утеплювачами трьох типів — базальтовим, мінераловатним та пінополістирольним. В результаті експериментів були досліджені наступні параметри: коефіцієнт теплопровідності (λ) у широкому температурному діапазоні (від кімнатної до 600–1000 °C), міцність на стиск (МПа) при стандартних та підвищених температурах, міцність на згин (МПа) із урахуванням армування, вогнестійкість відповідно до стандарту ISO 834.

Результати та обговорення

У ході опрацювання наукових джерел, зокрема іноземних досліджень, проведено порівняння теплоізоляційних, механічних, вогнестійких та технологічних характеристик сендвіч-панелей, утеплених базальтовим утеплювачем, мінеральною ватою та пінополістиролом.

У класичному дослідженні Wang et al. (2015) було змодельовано та виготовлено серію залізобетонних сендвіч-панелей із двома типами армування: базальтовими композитними стрижнями (BFRP) та традиційними сталевими зв'язками. Під час триточкового випробування на згин виявилося, що панелі з BFRP забезпечують порівняну або навіть вищу жорсткість при значно меншій масі конструкції [7]. Окрім того, застосування базальтових з'єднувачів дозволяло мінімізувати теплові мости, забезпечуючи кращий термофізичний розрив між зовнішніми листами панелі і, як наслідок, зниження втрат тепла в місцях стиків.

У роботі Li et al. (2023) експериментально досліджували механічні та теплоізоляційні властивості геополімерних сендвіч-панелей із базальтовим армуванням. Для оцінки експлуатаційної надійності використали випробування на стиск і згин, а також стандартизоване вогнестійке випробування ISO 834 (до 1000 °C). Результати показали, що панелі зберігають несучу здатність після експозиції полум'я понад 60 хвилин, а коефіцієнт теплопровідності їхнього базальтового прошарку становить близько 0,037 Вт/(м·K) [8]. Ці дані свідчать про високу термостійкість та структурну стабільність геополімер-базальтових систем навіть за екстремальних температур.

Karkhut & Penko (2022) акцентували увагу на поведінці сендвіч-панелей із мінераловатним утеплювачем при згині в двох температурних режимах: +20 °C та +250 °C. Під час випробувань було встановлено, що при підвищенні температури жорсткість панелей знижується на 35–50 %, а руйнування відбувається переважно по межі між теплоізоляційною плитою та клейовим шаром [9]. Крім того, присутність вологи в утеплювачі значно погіршує збереження форми конструкції, що підкреслює необхідність ретельного захисту від вологи та використання термостабільних адгезивів.

Розширюючи тему, Wójtowicz & Tomanek (2023) застосували метод лазерного спалаху для визначення теплофізичних характеристик мінераловатних плит за температур до 600 °C. Було встановлено, що коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати зростає від 0,038 до 0,057 Вт/(м·K) у міру нагріву, а при зволоженні ефективність теплоізоляції різко падає через капілярну конвекцію [10]. Ці результати демонструють, що вогнестійкість мінеральної вати зберігається, але її теплоізоляційні властивості можуть суттєво залежати від умов експлуатації.

У дослідженні Semko et al. (2024) розглянули сендвіч-панелі з пінополістирольним утеплювачем, підсилені базальтовими волокнами. Механічні випробування на згин і зсув показали, що без армування ППС виявляє крихкість і низьку несучу здатність, а армування частково підвищує міцність, проте не компенсує вразливість до високих температур [11]. Водночас теплопровідність пінополістиролу становить близько 0,043 Вт/(м·K), але вона знижується з часом через старіння полімеру та мікротріщини в структурі.

Провели комплексні випробування легких сендвіч-панелей із ППС-утеплювачем Al-Saadi et al. (2023), охопивши щільність, міцність на стиск і теплопровідність. Виявилося, що міцність на стиск таких панелей зазвичай не перевищує 0,8 МПа, що є недостатнім для конструкційних елементів, водночас теплопровідність залишається в межах 0,042–0,045 Вт/(м·К) [12]. Автори дійшли висновку, що ППС-панелі можуть ефективно використовуватися лише для внутрішніх перегородок або в нежитлових будівлях із невисокими вимогами до вогнестійкості та механічної стійкості.

Після детального розгляду окремих досліджень можна наочно продемонструвати ключові переваги та обмеження трьох основних матеріалів – базальтового утеплювача, мінеральної вати та пінополістиролу (EPS).

Графік (рис. 1) демонструє зміну коефіцієнта теплопровідності (λ , Вт/м·К) трьох основних видів утеплювачів залежно від температури

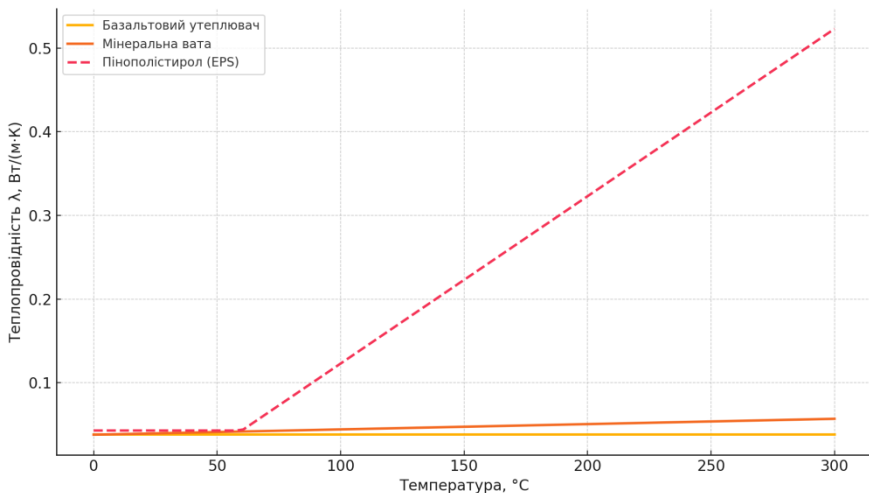


Рис. 1. Графік теплопровідності

Базальтовий утеплювач показує практично стабільну теплопровідність (~0,038 Вт/м·К) в усьому діапазоні температур до 300 °C, що свідчить про високу термостійкість та стабільність ізоляційних властивостей, що є критичним у пожежобезпечному будівництві. Теплопровідність мінеральної вати плавно зростає від ~0,038 до 0,057 Вт/м·К при підвищенні температури до 300 °C. Це означає, що при високих температурах ефективність утеплення знижується, хоча матеріал залишається негорючим. Пінополістирол (EPS) до 60 °C має стабільну теплопровідність (~0,043 Вт/м·К), але після цього значення різко зростає,

що вказує на деформацію або початок термічного руйнування, тому EPS не рекомендується до використання у конструкціях з підвищеними вимогами до вогнестійкості.

Графік (рис.2) відображає порівняльну міцність на стиск (МПа). У контексті міцності на стиск, базальтовий утеплювач є беззаперечним лідером, що підтверджує його універсальність та доцільність у багатофункціональних конструкційних рішеннях, особливо для сучасних сендвіч-панелей з підвищеними вимогами до навантажень та пожежної безпеки.

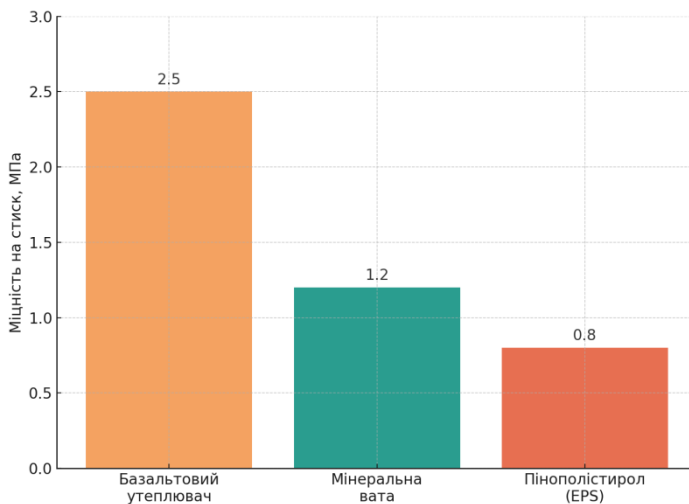


Рис. 2. Графік міцності на стиск

Мінеральна вата має помірну міцність на стиск і підходить для конструкцій із середніми механічними навантаженнями, проте потребує додаткового армування або жорсткого зовнішнього шару в панелі. Пінополістирол (EPS) має найнижчу міцність на стиск, виявляє крихкість і обмежену здатність до несення навантаження, тому його використання доцільне в ненавантажених конструкціях, наприклад, для заповнення стін чи перегородок у нежитлових приміщеннях.

Наступний графік (рис. 3) ілюструє середню міцність на згин (МПа), де базальтовий утеплювач демонструє найвищий показник серед представлених матеріалів.

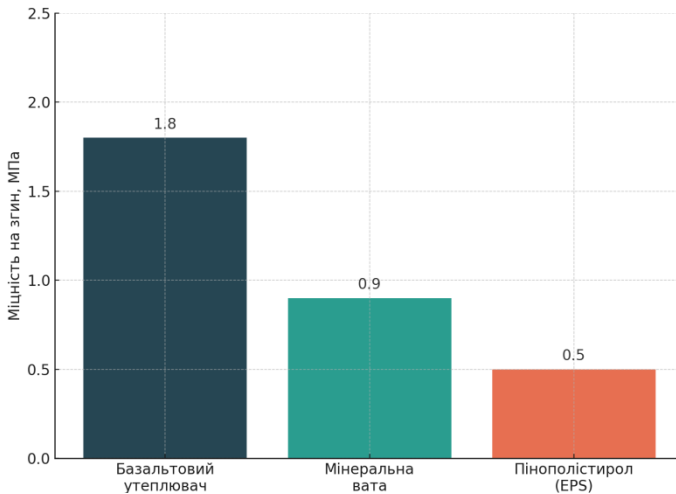


Рис. 3. Графік міцності на згин

Завдяки армуванню базальтовими волокнами або BFRP-зв'язками, забезпечується висока жорсткість і тривка форма конструкції. Це робить його ідеальним для навантажених елементів будівельних огорожень. Міцність на згин мінеральної вати є помірною і залежить від температури. При нагріванні жорсткість падає на 35–50 % [9]. Підходить для застосування в умовах середнього навантаження, але потребує захисту від вологи та армованих зовнішніх шарів. Пінополістирол має найнижчу міцність на згин. Навіть за армування базальтовими волокнами жорсткість збільшується незначно, а висока крихкість залишається [9]. Матеріал не придатний для відповідальних конструкцій, особливо під навантаженням і при впливі температур.

Висновки

Отримані результати дозволяють зробити висновок про доцільність застосування базальтового утеплювача в сучасних сендвіч-панелях, де критичними є енергоефективність, вогнестійкість та довговічність. Використання та для створення раціональних конструкцій сендвіч-панелей.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

References

1. Yakovenko, I. A., & Bakulin, Y. A. (2023). Directions of scientific research at the Department of Construction of NULES of Ukraine. In *Proceedings of the 10th International Scientific and Technical Conference "Kramarov Readings" dedicated to the 116th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of VASKhNIL, Vice President of UASN V. S. Kramarov (1906–1987) and the 125th anniversary of NULES of Ukraine* (Kyiv, February 24–25, 2023, pp. 488–491). Kyiv: NULES of Ukraine.
2. Rusetska, M. V., & Bakulin, Y. A. (2024). Basalt insulation: A natural "green material" for modern constructions. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, (22), 5–15. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-01)
3. Bakulin, Y. A., & Rusetska, M. V. (2024). Innovation, efficiency, and sustainability of sandwich wall panels with basalt insulation. In *Proceedings of the 23rd International Conference of Scientific and Pedagogical Staff, Researchers, and Postgraduates "Problems and Prospects for the Development of Technical and Bioenergy Systems of Nature Management, Design and Engineering"* (Kyiv, April 11–12, 2024, pp. 78–80). Kyiv: NULES of Ukraine.
4. Bakulin, Y. A. (2013). Deformations as indicators of hazards and risks of damage in operated buildings. *Construction of Ukraine*, (5), 2–5.
5. Bakulin Y.A. Engineering protection and preparation of territories: study guide; under the editorship of Cand. Tech. science Ye.A. Bakulin / Ye.A. Bakulin, I.A. Yakovenko, V.M. Bakulina. – Kyiv: NULES of Ukraine, 2022. – 205 p.
6. Yakovenko I., Bakulin Y. & Bakulina V. (2020) Classification methods of civil buildings reconstruction // Theoretical and scientific foundations of engineering: collective monograph / Apostolova R., Shembel E., Aurbach D., Markovsky B., etc. – International Science Group. – Boston: Primedia eLaunch, 2020. 180 p., pp. 70–96. <https://doi.org/10.46299/issg.2020.MONO.TECH.II>
7. Wang, Z., Wang, H., & Bai, Y. (2015). Flexural behavior of precast concrete sandwich wall panels with basalt FRP and steel reinforcement. *PCI Journal*, (6), 90–106. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/285629916_Flexural_behavior_of_precast_concrete_sandwich_wall_panels_with_basalt_FRP_and_steel_reinforcement
8. Pei, R., Hua, L., Zhao, H., Wang, X., Li, S., & Wu, Z. (2025). Experimental study on mechanical and thermal insulation properties of a geopolymer-based fireproof sandwich panel. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 22(2), 1–10. <https://doi.org/10.1111/ijac.14966>

- 9.Kowal, M., & Dziurka, D. (2023). Determination of thermal properties of mineral wool required for the safety analysis of sandwich panels subjected to fire loads. *Materials*, 16(17), 5852. <https://doi.org/10.3390/ma16175852>
10. Shoushtarian Mofrad, A., & Pasternak, H. (2020). Behaviour of mineral wool sandwich panels under bending load at room and elevated temperatures. *Engineering Structures and Technologies*, 12(1), 25–31. <https://doi.org/10.3846/est.2020.14046>
11. Zhang, Y., Wang, Y., & Li, J. (2025). Research on the flexural performance of basalt fiber-reinforced steel–expanded polystyrene foam concrete composite wall panels. *Buildings*, 15(2), 285. <https://doi.org/10.3390/buildings15020285>
12. El-Gamal, S., Al-Kalbani, A., & Al-Hatmi, O. (2022). Developing and investigating the performance of thermal insulation lightweight sandwich wall panels. In S. Walbridge, M. Nik-Bakht, K. T. Ng, M. Shome, M. S. Alam, A. el Damatty, & G. Lovegrove (Eds.), *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 240, pp. 653–666). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0507-0_57

Література

- 1.Яковенко І.А. Напрями наукових досліджень кафедри будівництва НУБіП України / І.А. Яковенко, Є.А. Бакулін // Зб. тез доп. Х Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження д.т.н.,проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віцепрез. УАСГН В.С. Крамарова (1906–1987) та 125 річниці НУБіП України (24–25 лютого 2023 р., м. Київ). – К.: НУБіП України, 2023. – С. 488–491.
- 2.Русецька М.В. Базальтовий утеплювач – природний «зелений матеріал» для сучасних конструкцій / М.В. Русецька, Є.А. Бакулін // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. – 2024. – № 22. – С. 5–15. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12\(22\)-01](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2024-12(22)-01)
- 3.Бакулін Є.А. Інноваційність, ефективність, сталість стінових сендвіч-панелей з базальтовим утеплювачем / Є.А. Бакулін, М.В. Русецька // Зб. тез доп. XXIII Міжн. конф. наук.-педаг. працівників, наук. співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування конструювання та дизайн» (11–12 квітня 2024 р.), – К.: НУБіП України, 2024.– С. 78–80.
- 4.Бакулін Є.А. Деформації як індикатори небезпек та ризику руйнування експлуатованих будівель /Є.А. Бакулін // Будівництво України. –2013. – №5. – С. 2–5.
- 5.Bakulin, Y. A., Yakovenko, I. A., & Bakulina, V. M. (2022). *Engineering protection and preparation of territories: Study guide* (Ye. A. Bakulin, Ed.). Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 205 p.
- 6.Yakovenko, I., Bakulin, Y., & Bakulina, V. (2020). Classification methods of civil building reconstruction. In R. Apostolova, E. Shembel, D. Aurbach, B. Markovsky et al. (Eds.), *Theoretical and scientific foundations of engineering: Collective monograph* (pp. 70 – 96). Boston: Primedia eLaunch. https://doi.org/10.46299/issg.2020.MONO.TEC_H.II

- 7.Wang, Z., Wang, H., & Bai, Y. (2015). Flexural behavior of precast concrete sandwich wall panels with basalt FRP and steel reinforcement. *PCI Journal*, (6), 90–106. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/285629916_Flexural_behavior_of_precast_concrete_sandwich_wall_panels_with_basalt_FRP_and_steel_reinforcement
- 8.Pei, R., Hua, L., Zhao, H., Wang, X., Li, S., & Wu, Z. (2025). Experimental study on mechanical and thermal insulation properties of a geopolymer-based fireproof sandwich panel. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 22(2), 1–10. <https://doi.org/10.1111/ijac.14966>
- 9.Kowal, M., & Dziurka, D. (2023). Determination of thermal properties of mineral wool required for the safety analysis of sandwich panels subjected to fire loads. *Materials*, 16(17), 5852. <https://doi.org/10.3390/ma16175852>
10. Shoushtarian Mofrad, A., & Pasternak, H. (2020). Behaviour of mineral wool sandwich panels under bending load at room and elevated temperatures. *Engineering Structures and Technologies*, 12(1), 25–31. <https://doi.org/10.3846/est.2020.14046>
11. Zhang, Y., Wang, Y., & Li, J. (2025). Research on the flexural performance of basalt fiber-reinforced steel–expanded polystyrene foam concrete composite wall panels. *Buildings*, 15(2), 285. <https://doi.org/10.3390/buildings15020285>
12. El-Gamal, S., Al-Kalbani, A., & Al-Hatmi, O. (2022). Developing and investigating the performance of thermal insulation lightweight sandwich wall panels. In S. Walbridge, M. Nik-Bakht, K. T. Ng, M. Shome, M. S. Alam, A. el Damatty, & G. Lovegrove (Eds.), *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 240, pp. 653–666). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-0507-0_57

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 19.05.2025	Received 19.05.2025
Отримано у доопрацьованому вигляді 23.05.2025	Received in revised form 23.05.2025
Прийнято 01.06.2025	Accepted 01.06.2025
Опубліковано 25.06.2025	Published 25.06.2025

M. V. Rusetska

PhD Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7168-7552>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

Ye. A. Bakulin

PhD (Tech. Sci.), Associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-5384>

Department of Construction

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 15, Kyiv, Ukraine, 03041

*corresponding author, e-mail: m.rusetska@nubip.edu.ua

Sandwich panels with basalt, mineral wool, and expanded polystyrene insulation: a comparative analysis of properties based on experimental research

How to Cite:

Rusetska, M. V., & Bakulin, Ye. A. (2025). Sandwich panels with basalt, mineral wool, and expanded polystyrene insulation: a comparative analysis of properties based on experimental research. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 23, 240-249. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-21](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-21)

Abstract. The article explores the structural and technological features of using wall sandwich panels with basalt insulation, taking into account modern requirements for energy efficiency, fire safety, and mechanical strength. A comparative analysis of the key physical and mechanical characteristics of the three main types of insulation materials most commonly used in sandwich panels is conducted: basalt fiber, mineral wool, and expanded polystyrene (EPS). The study summarizes and systematizes the results of leading experimental research on the thermophysical, strength, fire-resistant, and technological properties of sandwich panels. Particular attention is paid to the behavior of materials under elevated temperatures, which is critically important for preventing fire spread. According to the obtained data, basalt insulation materials demonstrate the highest fire resistance, stable thermophysical properties at temperatures up to 300 °C, as well as high compressive and flexural strength. It was found that mineral wool provides good thermal insulation, although it has lower strength and temperature stability. Expanded polystyrene, while showing satisfactory thermal conductivity at low temperatures, significantly loses its properties when heated above 60 °C. Overall, these studies allow for a well-grounded assessment of the structural limitations and advantages of each type of insulation in terms of durability, safety, and energy efficiency. The results may be useful for improving sandwich panel designs, selecting suitable insulation materials according to operating conditions, and enhancing the overall performance and safety of buildings.

Keywords: sandwich panels, basalt insulation, thermophysical properties, structural-technological characteristics, energy efficiency.