

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ КАВОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЕКОЛОГІЧНИХ БЕТОНІВ І РОЗЧИНІВ

PROSPECTS OF USING COFFEE WASTE FOR THE PRODUCTION OF ECOLOGICAL CONCRETES AND MORTAR

Горюн О. О., д-р філософії, ORCID: [0000-0001-5678-835X](https://orcid.org/0000-0001-5678-835X) (Вінницький національний технічний університет, Вінниця)

Horiun O., PhD, ORCID: 0000-0001-5678-835X (Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia)

У даній статті здійснено систематичний огляд сучасних наукових підходів до використання кавових відходів у виробництві екологічних бетонів і розчинів. Проведено аналіз впливу органічних кавових домішок властивості матеріалів, а також досліджено екологічну доцільність такого підходу через в контексті зниження вуглецевого сліду. Узагальнено способи використання кавових відходів, які застосовуються при виробництві бетонів та цементних розчинів. Визначено перспективні напрями подальших досліджень.

This article presents a comprehensive review of current scientific approaches to enhance the value of coffee industry by-products in the formulation of sustainable concretes and cement mortars.

The areas of application of coffee grounds in the production of ecological concretes and cement mortars are summarized. Five main areas of use are highlighted: pozzolanic additives that replace part of the cement; organic fibers that can improve crack resistance; rheological additives; modifiers or corrective additives; partial replacement of fine aggregates in the cement mixture.

A detailed analysis of experimental studies demonstrates how partial replacement of fine aggregates or cement with coffee waste can change key material properties, including density, compressive strength, thermal conductivity, shrinkage behavior and durability indicators such as water absorption.

In addition to technical characteristics, the environmental benefits of this approach are critically evaluated. Indeed, the use of coffee waste achieves the dual benefit of diverting organic waste from landfills and simultaneously reducing material costs.

Finally, we outline promising directions for future research, including optimization of mix design, long-term durability studies under different

environmental conditions. By reflecting the current state of the art and pinpointing knowledge gaps, this review aims to guide materials scientists, civil engineers, and sustainability practitioners toward unlocking the full potential of coffee waste as a resource for sustainable building materials.

Ключові слова: екологічний бетон, цементний розчин, екобетон, повторне використання, відходи кави, рециклінг, будівельні матеріали, циркуляційна економіка.

Вступ. Зростання обсягів споживання кави у світі спричиняє утворення значної кількості агропромислових відходів, серед яких ключове місце посідає кавова гуща, що здебільшого представлена у вигляді кавового макуху. Щорічно у світі виробляється близько 10 мільйонів тонн кави, відходи якої створюють серйозні екологічні виклики у разі їхнього захоронення на звалищах або спалювання. Відпрацьована кавова гуща (КГ) (англ –spent coffee grounds – SCG) є твердими відходами, які являють собою частку, що утворюється в процесі заварювання кави [1]. Водночас глобальна будівельна галузь є одним із найбільших джерел викидів вуглекислого газу, значна частина яких припадає на виробництво цементу. У зв'язку з цим, реалізація циркуляційної економіки завдяки використанню відходів агропромисловості, зокрема кавових відходів, у виробництві будівельних матеріалів стає надзвичайно актуальним та перспективним напрямком.

Аналіз останніх досліджень. Відомі дослідження застосування кавових відходів для виробництва будівельних матеріалів таких науковців: Ш. Кілмартін-Лінч, Р. Ройчанд, Ц. Лі, Г. Чжан, Ч. Цін Лі, М. Саберян, Б. Джаміла, А. Доннолі, І. Бондеренко, П. Олів, Б. Гілл, А. Альшаліф, Г. Мохамед, Ю. М. Азріл, А. Мутафі, С. Хакім, Х. Альшаір, Дж. М. Ірван та інші.

Останніми роками увага науковців була зосереджена на використанні різноманітних агровідходів у цементних композиціях, серед яких кавова гуща виділяється завдяки своїм унікальним органічним сполукам.

Результати досліджень [2] опублікованих у 2024 році продемонстрували збільшення міцності на стиск цементного розчину з додаванням добавок з кавових відходів на 12,6% у порівнянні з контрольними зразками.

Дослідження [3] показують, що додавання великої кількості кавової гущі до розчину знижує оброблюваність і міцність на стиск цементних блоків одночасно зі зменшенням водопоглинання. Результати досліджень свідчать про те, що при досягненні оптимального співвідношення компонентів суміші та введенні до неї відповідного відсотка добавок кавової гущі можливо забезпечити необхідну міцність блоку. Крім того, результати моніторингу температури показали зниження температури в приміщенні, де використовувався вентиляційний блок виготовлений з добавками відходів кави.

У 2023 році вчені Королівського Мельбурнського технологічного університету опублікували дослідження [4], одним із результатів якого є досягнення близько 30% більшої міцності бетону в якому замінили частину піску на піролізовані кавові відходи.

Постановка мети і задач досліджень. Метою даної роботи є систематизація і аналітичний огляд сучасних підходів і результати застосування кавових відходів у виробництві бетонів і розчинів з огляду на їх вплив на властивості матеріалів та екологічну ефективність. Завданнями дослідження є узагальнення способів використання кавових відходів у цементних композитах, аналіз їх впливу на властивості бетонів та цементних, оцінювання можливих екологічних переваг використання кавових відходів у будівельних сумішах, а також визначення перспектив окреслення напрямків подальших наукових досліджень.

Методика досліджень. У даній роботі застосовано метод систематизації літератури. Виконано пошук у базах даних Scopus, Web of Science, Google Scholar, Researchgate, ScienceDirect за період 2010-2024 рр. Пошук здійснювався за ключовими словами, такими як: «spent coffee grounds», «coffee waste concrete», «eco-friendly concrete» та ін. Відібрано близько 50 публікацій, з яких детально проаналізовано 15 найрелевантніших експериментальних досліджень.

Результати досліджень. За даними [5] населення світу споживає щорічно близько 500 млрд чашок кави. Високий попит на даний продукт формує позитивну динаміку зі збільшення світової тенденції виробництва кави за останнє десятиріччя. Графік виробництва кави за останні 10 років за даними [6] представлений на рис. 1.

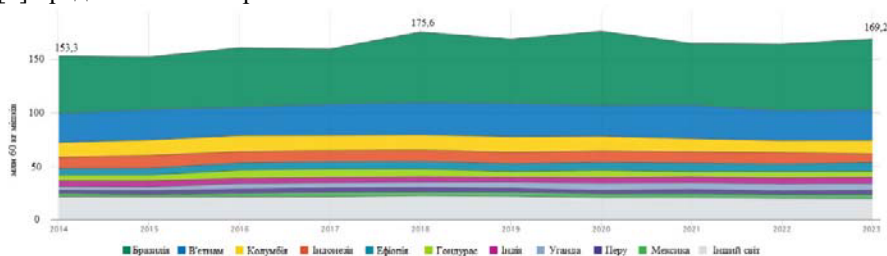


Рис. 1. Обсяги виробництва кави з 2014 по 2023 рр.

З графіка видно, що збільшення обсягів виробництва кави зросло від 153,3 млн 60-кг мішків у 2014 р. до 169,2 млн 60-кг мішків у 2023 р., тобто приріст виробництва кави за даний період становить близько 10,37%. Причому деякі зниження виробництва кави відносно загальної зростаючої тенденції, наприклад, у 2019, 2021 та 2022 рр. були пов'язані з впливом кліматичних умов цих років. Україна входить у 30-ку країн за найбільшим споживанням кави у світі [6]. Станом на 2023 р. у Києві споживання кави призводило до утворення близько 14 тонн мокрої кавової гущі на добу [7]. Кавова гуща

(рис. 2) відноситься до побутових органічних відходів, тому більша її частина утилізується шляхом розміщення на полігонах, де часто відсутні умови для планового швидкого розкладання відходів даного типу.



Рис. 2. Зовнішній вигляд кавових відходів

Дослідження [8] демонструють негативний вплив SCG на стан ґрунтів шляхом підвищення їх кислотності, особливо на урбанізованих територіях, що викликає необхідність перегляду підходів до утилізації кавових відходів. Одним із напрямків вирішення даного питання може бути повторне використання відходів кави для виробництва будівельних матеріалів.

Дослідження показують, що відпрацьована кавова гуща вимиває органічні сполуки, які погіршують перебіг реакції гідратації та знижують показник міцності бетону на стиск. Наприклад, у роботі [4] описано, що при заміні 15 об.% піску на піролізовану кавову гущу при 350 °C забезпечує підвищення міцності бетону на орієнтовно на 30% (рис. 3.).

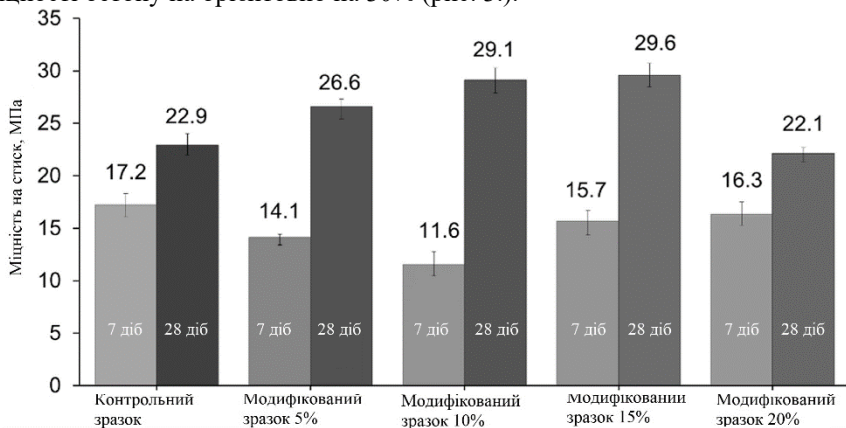


Рис. 3. Результати випробувань міцності на стиск зразків бетону з різним вмістом кавових відходів

Дані випробувань демонструють можливий позитивний вплив кавових добавок на міцнісні характеристики бетону, особливо при 10% та 15% заміни

об'єму піску кавовими відходами.

Завдяки дослідженням [2], спрямованим на визначення властивостей SCG та їх впливу на період тверднення, текучість цементного розчину продемонстрували та оптимізацію складу цементної суміші, було встановлено, що 1,1% кавових відходів за 68 днів тверднення забезпечили міцність на стиск 33,4 МПа цементного розчину порівняно з контрольним цементним розчином без добавок, що становив 28,77 МПа.

Аналізуючи та узагальнивши дані останніх досліджень, можна виокремити можливості додавання кавової гущі в бетони чи цементні розчини таким чином (рис. 4).



Рис. 4. Напрямки використання кавових відходів при виробництві бетонів або цементних розвчинів

Експериментальні дослідження [9, 10] показали, що введення SCG в цементні розчини може частково знизити щільність матеріалу та покращити його теплоізоляційні властивості внаслідок значного зниження теплопровідності (до 72%). При цьому важливо дотримуватися певних пропорцій, щоб не погіршувати інші властивості матеріалу.

Відоме дослідження використання кавової гущі як часткового заміника цементу у складі композитного будівельного матеріалу на основі бетону, а саме біопінобетонної цегли (В-FCB). За результатами досліджень [11] найкращі результати отримують при заміні 10% від загального вмісту цементу кавовими відходами. Внаслідок цього відходи кави ефективно зменшили глибину карбонізації в біопінобетонній цеглі, шляхом перешкоджанню проникненню вуглекислого газу (CO_2) в бетон.

У роботі [12] розглядається доцільність використання сирі кавової гущі як часткової заміни дрібних наповнювачів у бетонних сумішах, від 0 до 5,8% за об'ємом. За результатами дослідження заміна кавовою гущею 5,65% з В/Ц 0,42 мінімально впливає на механічні характеристики бетону.

В ході проведення досліджень [13] було виявлено, що SCG можуть використовуватися як заміна цементу. Висновки показали, що при застосуванні при 1% від ваги заміника цементу з В/Ц 0,35, проникний бетон продемонстрував покращення міцності з прийнятними властивостями проникності порівняно зі звичайними сумішами. З дослідження зроблено висновок, що кавову гущу можна використовувати як заміну цементу.

Механічна міцність водопроникного бетону покращилася завдяки введенню кавових відходів, одночасно демонструючи прийнятні властивості проникності. Поясненням такому ефекту може бути те, що полісахариди та гідрофільні сполуки, що містяться в кавовій гущі, можуть підвищувати водопоглинання в перші дні, однак тривала гідратація сприяє ущільненню матриці, що знижує капілярну пористість відносно звичайної суміші.

У роботі [10] розраховано зниження виробничих витрат (до 8%), що забезпечило значну фінансову економію.

Висновки та рекомендації. За результатами роботи узагальнено способи використання кавових відходів, які застосовуються при виробництві бетонів та цементних розчинів. Виділено 5 основних напрямків використання: пуцоланові добавки, що заміщують частину цементу; органічні волокна, здатні покращувати тріщиностійкість; реологічні добавки; модифікатори або коригуючі добавки; часткова заміна дрібних заповнювачів у цементній суміші.

Результати аналізу впливу кавових відходів на властивості цементних композитів підтверджують можливість ефективного використання кавових відходів як вторинної сировини у виробництві екологічних бетонів та цементних розчинів. Завдяки оптимізованому складу суміші досягається покращення характеристик матеріалу, зокрема, міцність на стиск, зниження теплопровідності, зменшення водопоглинання, зміна щільності та інші.

Встановлено, що повторне використання кавової гущі може не тільки покращувати характеристики цементних композитів, а й бути дійсною альтернативою звичайній утилізації відходів кави, зменшуючи вуглецевий слід будівельної галузі.

Наступним етапом є вивчення впливу кавових відходів на довговічність бетонних конструкцій, а також оптимізація рецептури цементних композитів.

1. Сукманов В., Сукманов О., Комар О., Юдіна, Т. Потенціал використання кавової гущі у технологіях функціональних продуктів харчування. Огляд. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32, 2024, 605-648. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.309754>.

Sukmanov V., Sukmanov O., Komar O., Yudina, T. Potentsial vykorystannia kavovoi hushchi u tekhnolohiiakh funktsionalnykh produktiv kharchuvannia. Ohliad. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32, 2024, 605-648. DOI: <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.309754>.

2. Yee J., Khong S., Tee K. F., Gimbin J., Chin S.C. Spent coffee grounds enhanced compressive strength of cement mortar: an optimization study. *Discover Applied Sciences*, 6, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06077-9>.

3. Shahid K., Ganesh V., Ghazali N. The Incorporation of Spent Coffee Grounds as an Additive in Cement Ventilation Blocks. *The Open Civil Engineering Journal*, 18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.2174/0118741495286280240206073611>.

4. Roychand R., Kilmartin-Lynch S., Saberian M., Li J., Zhang G., Qing Li C. Transforming spent coffee grounds into a valuable resource for the enhancement of concrete

strength. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 419, 2023, 138205. 15 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138205>.

5. Россоха В. В., Потенціал ринку кави в Україні та світі. *Економіка та суспільство*, Вип. 65, 2024, С. 129-140. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-44>.

Rossokha V. V., Potentsial rynku kavy v Ukraini ta sviti. *Ekonomika ta suspilstvo*, Vol. 65, 2024, S. 129-140. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-65-44>.

6. Coffee Production. USDA Foreign Agricultural Service. URL: <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0711100> (Last accessed:: 18.09.2024).

7. Coffee market report. International Coffee Organization. Coffee report and outlook. December, 2023. 43 p. DOI: https://icocoffee.org/documents/cy2023-24/Coffee_Report_and_Outlook_December_2023_ICO.pdf (Last accessed:: 18.09.2024).

8. Кочетов М. С., Тихомирова Т. С. Дослідження впливу відходів споживання кави на рівень рН ґрунтів. Проблеми надзвичайних ситуацій: Збірник матеріалів міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 16 травня 2024 р., Харків, 2024. С. 306-307.

Kochetov M. S., Tykhomyrova T. S. Doslidzhennia vplyvu vidkhodiv spozhyvannia kavy na riven rN gruntiv. Problemy nadzvychainykh sytuatsii: Zbirnyk materialiv mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kharkiv, 16 travnia 2024 r., Kharkiv, 2024. S. 306-307.

9. Saberian M., Li J., Donnoli A., Bonderenko E., Oliva P., Gill B., Lockrey S., Siddique R. Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 289, 2021. 125837. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125837>.

10. Capela, M.N. Development of energy-saving innovative hydraulic mortars reusing spent coffee ground for applications in construction. *Journal of Cleaner Production*, 399, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136664>.

11. Ishalif A. F., Azril Y. M., Irwan J. M., Mutafi A., Alshaeer H. A. Y., Hakim S. J. S. The use of coffee waste in bio-foamed concrete brick (B-FCB) to reduce the penetration of carbon dioxide (CO₂) into concrete. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. Vol. 1347. 012080. 09.10.2023 – 10.10.2023. Kuala Lumpur, Malaysia. 9 p. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1347/1/012080>.

12. Kumar, G., M S Ujwal, Kumar H., Sudeep Y., G.Venkatesha, Dr. Evaluating the impact of spent coffee grounds on concrete's workability and mechanical properties using response surface methodology. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41062-024-01843-5>.