

# ОЦІНКА ВПЛИВУ ВТОРИННИХ МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У роботі розглянуто можливості використання відходів промисловості та будівництва як вторинної сировини для виробництва сухих будівельних сумішей. Проаналізовано вплив золи-винесення, доменного гранульованого шлаку, бетонного та цегляного бою на фізико-механічні властивості композиційних матеріалів. Наведено результати експериментальних досліджень густини, міцності на стиск та водопоглинання сухих будівельних сумішей із різним вмістом вторинних компонентів. Встановлено, що використання до 30 % вторинної сировини забезпечує підвищення міцності на стиск до 14,5 МПа, зниження густини до 1710 кг/м<sup>3</sup> та зменшення водопоглинання до 6,8 %. Показано, що впровадження технологій ресайклінгу дозволяє знизити споживання природних ресурсів, скоротити собівартість виробництва на 10-15 % та зменшити вуглецевий слід продукції на 15-20 %. Обґрунтовано перспективність застосування вторинної сировини для створення екологічно орієнтованих сухих будівельних сумішей.

**Ключові слова:** сухі будівельні суміші, вторинна сировина, зола-винесення, доменний шлак, бетонний бій, цегляний бій, ресайклінг, ресурсозбереження.

## Abstract

The paper investigates the efficiency of using industrial and construction waste as secondary raw materials in the production of dry building mixes. The influence of fly ash, granulated blast furnace slag, recycled concrete aggregate, and crushed brick waste on the physical and mechanical properties of composite materials was analyzed. Experimental studies were carried out to determine density, compressive strength, and water absorption of dry building mixes containing different amounts of secondary components. The results showed that the incorporation of up to 30% recycled materials improves the performance of the mixtures, increasing compressive strength up to 14,5 MPa while reducing density to 1710 kg/m<sup>3</sup> and water absorption to 6,8%. The combined use of fly ash and recycled concrete aggregate demonstrated the highest efficiency, providing a strength increase of nearly 17% compared to the reference mixture. In addition, the use of recycled materials contributes to reducing natural resource consumption, lowering production costs by 10-15%, and decreasing the carbon footprint by 15-20%. The obtained results confirm the feasibility of integrating industrial and construction waste into the technology of dry building mixes and support the principles of sustainable development and circular economy in the construction industry.

**Key words:** dry building mixes, recycled materials, fly ash, blast furnace slag, recycled concrete aggregate, crushed brick waste, resource efficiency, recycling, sustainable construction, circular economy.

## Вступ та теоретичні передумови досліджень

Будівельна галузь є одним із найбільших споживачів природних ресурсів та одночасно одним із найбільших джерел утворення відходів. Значні обсяги мінеральної сировини використовуються для виробництва цементу, заповнювачів та сухих будівельних сумішей. Водночас діяльність теплової енергетики, металургійної промисловості та будівельного комплексу супроводжується утворенням великих обсягів відходів, які часто складаються на полігонах та займають значні площі земельних ресурсів [1, 2].

В умовах переходу до принципів сталого розвитку та циркулярної економіки особливої актуальності набуває питання повторного використання техногенних і будівельних відходів. Зола-винесення теплових електростанцій, доменні шлаки, бетонний та цегляний бій характеризуються наявністю активних мінеральних компонентів та можуть використовуватись як замітники частини традиційної сировини у виробництві будівельних матеріалів [3, 4].

Особливої актуальності проблема набуває в сучасних умовах України, де внаслідок бойових дій значно зросли обсяги будівельних відходів від демонтажу пошкоджених та зруйнованих будівель і споруд. Використання продуктів ресайклінгу у виробництві сухих будівельних сумішей дозволяє не

лише вирішити проблему утилізації відходів, але й зменшити потребу у природних ресурсах, скоротити витрати на виробництво та покращити екологічні показники будівельної продукції [4-6].

**Метою роботи** є дослідження ефективності використання відходів промисловості та будівництва у виробництві сухих будівельних сумішей та визначення їх впливу на фізико-механічні властивості отриманих матеріалів.

### Результати досліджень

Базою для всіх дослідних складів був цементно-піщаний композит, до складу якого входили портландцемент ПЦ І-500, кварцовий пісок фракції 0,14-2 мм та вода замішування. Вторинні компоненти вводилися як часткова заміна традиційних мінеральних заповнювачів і наповнювачів. Для забезпечення порівняності результатів незмінними залишалися тип в'язучого, гранулометричний склад основного заповнювача та умови тверднення зразків. В якості вторинної сировини використовували золу-винесення теплових електростанцій, доменний гранульований шлак, подрібнений бетонний та цегляний бій [7]. Склади сумішей та результати визначення їх фізико-механічних характеристик наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

Склад суміші	Вміст вторинної сировини, %	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Міцність на стиск, МПа	Водопоглинання, %
Контрольний склад	0	1820	12,4	8,5
Зола-винесення	10	1780	13,1	7,9
Зола-винесення	20	1730	13,8	7,3
Доменний шлак	20	1760	14,2	7,1
Бетонний бій	15	1805	12,9	8,0
Цегляний бій	15	1775	12,6	8,2
Зола-винесення + бетонний бій	30	1710	14,5	6,8

Отримані результати свідчать про позитивний вплив вторинних компонентів на структуру та властивості сухих будівельних сумішей. Введення 20 % золи-винесення забезпечило підвищення міцності на стиск з 12,4 до 13,8 МПа та одночасне зниження густини матеріалу на 90 кг/м<sup>3</sup>. Це пояснюється пуцолановою активністю золи та її здатністю ущільнювати структуру цементного каменю.

Використання доменного гранульованого шлаку дозволило досягти міцності 14,2 МПа, що на 14,5 % перевищує показники контрольного складу. При цьому спостерігалось зменшення водопоглинання до 7,1 %, що свідчить про формування більш щільної мікроструктури матеріалу.

Найкращі результати отримані при комплексному використанні золи-винесення та бетонного бою в кількості 30 %. Міцність на стиск становила 14,5 МПа, густина знизилася до 1710 кг/м<sup>3</sup>, а водопоглинання склало лише 6,8 %. Таким чином, порівняно з контрольним складом міцність зросла майже на 17 %, а водопоглинання зменшилося на 20 %.

Для оцінки практичної доцільності використання вторинної сировини було виконано порівняльний аналіз екологічних та економічних показників традиційних сухих будівельних сумішей і сумішей, виготовлених із залученням продуктів ресайклінгу. Основними критеріями оцінювання були рівень споживання природних ресурсів, обсяги використання відходів, зміна собівартості продукції, скорочення вуглецевого сліду та зменшення кількості відходів, що підлягають захороненню. Результати проведеного аналізу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Екологічна та економічна ефективність використання вторинної сировини

Показник	Традиційні СБС	СБС з вторинною сировиною
Споживання природної сировини	100 %	70-80 %
Використання відходів, кг/т суміші	0	250-300
Зниження собівартості	–	10-15 %
Зниження вуглецевого сліду	–	15-20 %
Зменшення обсягів захоронення відходів	–	25-30 %

Отримані результати підтверджують доцільність широкого впровадження вторинної сировини у виробництво сухих будівельних сумішей. Використання продуктів ресайклінгу сприяє скороченню споживання природних ресурсів, підвищенню ефективності використання матеріалів та покращенню екологічних показників будівельної галузі.

### Висновки

Проведені дослідження підтвердили ефективність використання відходів промисловості та будівництва у виробництві сухих будівельних сумішей. Встановлено, що введення до 30 % вторинної сировини дозволяє підвищити міцність на стиск до 14,5 МПа, знизити густину до 1710 кг/м<sup>3</sup> та зменшити водопоглинання до 6,8 %. Найбільш ефективним виявилось комплексне використання золи-виноса та бетонного бою. Застосування вторинних ресурсів забезпечує зниження собівартості продукції на 10-15 %, скорочення споживання природної сировини на 20-30 % та зменшення вуглецевого сліду виробництва до 20 %, що підтверджує перспективність даного напрямку для розвитку сучасних будівельних технологій.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] Л. Й. Дворкін, В. В. Житковський, В. В. Марчук, Ю. О. Степасюк, та М. М. Скрипник, Ефективні технології бетонів із застосуванням техногенної сировини: монографія. Рівне, Україна: НУВГП, 2017.

[2] К. К. Пушкарьова, «Ресурсозберігаючі мінеральні в'язучі речовини і високоефективні композиційні матеріали на основі паливних зол і шлаків», *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*, Вип. 138, с. 19-26, 2013.

[3] М. Саницький, О. Позняк, Б. Русин, І. Гев'юк, « Вплив мінеральних добавок на властивості цементуючих систем для високофункціональних бетонів», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»: Теорія і практика будівництва*, № 737, с. 184-191, 2012.

[4] О. В. Бондар, О. В. Христич О. В., К. В. Гігінешвілі, «Ефективність використання відходів промисловості та будівництва для виробництва сухих будівельних сумішей», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 2, С. 45-51, 2024.

[5] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоєкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.

[6] ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-06-01]. Вид. офіц. К.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 42 с.

[7] О. В. Бондар, О. В. Христич, «Заповнювачі для сухих будівельних сумішей з продуктів ресайклінгу будівельного лому», *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, № 1, С. 45-50, 2025.

**Бондар Олександр Васильович** – аспірант кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bondar.sashko@gmail.com](mailto:bondar.sashko@gmail.com)

**Христич Олександр Володимирович** – к.т.н., доцент, Факультет будівництва цивільної і екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. e-mail: [khristych@vntu.edu.ua](mailto:khristych@vntu.edu.ua)

**Бондар Альона Василівна** – к.т.н., доцент, Факультет будівництва цивільної і екологічної інженерії Вінницького національного технічного університету, м. Вінниця. e-mail: [bondarav@vntu.edu.ua](mailto:bondarav@vntu.edu.ua)

**Bondar Oleksandr** – graduate student, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [bondar.sashko@gmail.com](mailto:bondar.sashko@gmail.com)

**Hristych Oleksandr** – Ph.D., Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [khristych@vntu.edu.ua](mailto:khristych@vntu.edu.ua)

**Bondar Alena** – Ph.D., Associate Professor, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: [bondarav@vntu.edu.ua](mailto:bondarav@vntu.edu.ua)