

УДК 625.8+691

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.358-365](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.358-365)

А. С. Лапченко, ст. наук. співроб., канд. техн. наук
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна
e-mail: las83@ukr.net

Порівняння властивостей дорожнього цементобетону з додаванням поліпропіленових та базальтових фібр

Мета і завдання дослідження полягає у встановленні впливу різних дозувань базальтової та поліпропіленової фібри в широкому діапазоні концентрацій на основні фізико-механічні показники дорожнього цементобетону на основі портландцементу з частковою його заміною його молотим доменним шлаком та на основі тільки клінкерного портландцементу. У статті наведено результати впливу різних дозувань базальтових волокон та поліпропіленових фібр в широкому діапазоні концентрацій на фізико-механічні властивості дорожнього цементобетону. Встановлено, що введення поліпропіленових фібр та базальтових волокон майже не впливає на міцність при стиску цементобетону. На основі експериментальних досліджень визначено концентрацію поліпропіленових та базальтових фібр, яка відповідає максимуму міцності на розтяг при згині цементобетону. Така концентрація становить 0,9-1,0 кг/м³ поліпропіленової фібри і 15,0-16,0 кг/м³ базальтового волокна. Встановлено зміну значення середньої щільності цементобетонів з додаванням поліпропіленових фібр та базальтових волокон. Введення оптимальної кількості поліпропіленового волокна (фібри) призводить до більших значень параметру міцності на розтяг при згині дорожнього цементобетону у порівнянні з цементобетоном на основі базальтового волокна. Зміна міцнісних показників цементобетону на основі портландцементу частково заміненого молотим шлаком з додаванням оптимальної кількості поліпропіленових фібр та базальтових волокон схожа на зміну цих показників цементобетону на основі суто клінкерного портландцементу.

базальтові волокна, згин, концентрація, міцність, поліпропіленова фібра, стиск, цементобетон

Постановка проблеми. В переважній більшості дорожнє покриття влаштовується з асфальтобетону [1]. Однак зростаючі темпи підвищення інтенсивності руху автомобільного транспорту в усьому світі з одночасним підвищенням навантаженням на вісь автомобіля [1, 2], постійні зміни клімату з підвищенням середньої температури повітря впродовж останнього півстоліття [3, 4], підвищені вимоги до покриття змушують дорожників замінювати асфальтобетон на цементобетон. На даний час загальна протяжність цементобетонних доріг у світі може досягти 30 %, що є актуальним по мірі вичерпування нафти і її циклічної дорожнечі, як сировини для виготовлення бітумів. До того ж запаси нафти зосереджені не рівномірно у світі і є практично дефіцитним товаром у Європейській частині світу. Навідміну цемент, як складова цементобетону, може виготовлятися з місцевих родовищ крейди, вапняку, поклади яких більш рівномірно розташовані у всьому світі і відповідно не є дефіцитним матеріалом.

Однією з вагомих причин, що стримує більш широке впровадження цементобетонного матеріалу в якості покриття є його не достатня міцність на розтяг при згині. Вирішення цієї проблеми може полягати у застосуванні різних видів фібр.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З неметалевих волокон найбільш доступними за ціновими і якісними показниками можуть бути полімерні (органічні) і базальтові (неорганічні) волокна [5, 6].

Поліпропіленове волокно - це синтетичне волокно, отримане шляхом полімеризації пропілену, що забезпечує хорошу міцність, стабільність до хімічних речовин, відносно низьку вартість, і широке використання в цементних композитах [7].

Базальтове волокно є неорганічним матеріалом, який має високу цінність для використання в промисловості, інженерії, має стійкість до високих температур та може ефективно покращити механічні властивості цементного бетону, включно з характеристиками покриття [8].

За рахунок дисперсного армування в цементобетоні утворюється нова структура [6], яка в порівнянні з звичайними цементобетонами майже не змінює міцність при стиску [9-11] або підвищує понад 20 % даний показник для піщаного цементобетону [9], зазвичай має більш високий модуль пружності [12], вищу міцність на розтяг [5, 9, 13], тріщиностійкість [5, 14], морозостійкість та водостійкість [9, 11, 15], стійкість до стирання [16, 17], ударів [5] і атмосферного впливу [11], меншу усадку [18-23]. При встановленні зазначених властивостей було відмічено, що ефективність використання поліпропіленових і базальтових фібр залежить від їх розмірів і конфігурації. Застосування синтетичних волокон може сприяти прискоренню набору міцності на початковій стадії [24]. В наведених роботах отримані показники цементобетонну з застосуванням металевих, полімерних (органічних) і базальтових (неорганічних) волокон (фібри) не завжди можна порівняти між собою, бо в певних роботах використовується лише один вид волокон, а в інших інший. Крім того, в роботах де порівнюють показники цементобетону з різними видами фібр співставлення іде за концентрацією фібри що рекомендована виробником або з інших міркувань і не має повного співставлення даних в широкому діапазоні концентрацій. В певних роботах наводиться широкий вид концентрацій для одного виду бетону, переважно піщаного, а для ін. видів бетону концентрація волокон (фібр) має вибіркового фрагментарний характер.

Постановка завдання полягає у встановленні впливу різних дозувань базальтової та поліпропіленової фібри в широкому діапазоні концентрацій на основні фізико-механічні показники дорожнього цементобетону. Також метою і завданням дослідження є порівняння властивостей дорожнього цементобетонну з використанням базальтової та поліпропіленової фібри. Крім того ставиться завдання порівняння цементобетонів на основі портландцементу з частковою його заміною молотим доменним шлаком та на основі тільки клінкерного портландцементу з додаванням базальтових та поліпропіленових волокон (фібр) в широкому діапазоні концентрацій, що слугуватиме продовженням роботи [25].

Виклад основного матеріалу. У роботі використано портландцемент ПЦ І-500 та ПЦ ІІ/А-Ш 500 ПрАТ “Дікергофф Цемент Україна”. В якості заповнювачів використано щєбінь гранітний фр. 5-10 і 10-20, а також пісок кварцовий з модулем крупності 1,4.

Фізико-механічні випробування цементів та бетонів проводили згідно з чинними стандартами. Міцнісні властивості цементобетонів оцінювали за міцнісним параметром, який визначався відношенням відповідної міцності при стиску чи розтягу при згині на 28 добу до максимально можливої відповідної міцності на 28 добу серед випробуваної партії зразків. Досліджувані цементобетони отримували з бетонних сумішей різних складів, як з додаванням поліпропіленових та базальтових фібр (волокон), так і без них.

Поліпропіленові фібри вводили у кількості: 0,3 кг/м³; 0,6 кг/м³; 0,9 кг/м³; 1,2 кг/м³; 1,5 кг/м³. Базальтові волокна вводили в кількості: 3,75 (4,0) кг/м³; 7,5 (8,0) кг/м³; 15,0 (16,0) кг/м³; 22,5 (24,0) кг/м³; 30,0 (32,0) кг/м³. Кількість портландцементу змінювалась від 375 до 400 кг/м³. Довжина поліпропіленової фібри та базальтового волокна становила 12 мм.

Результати дослідження міцнісного параметру при стиску цементобетонів з додаванням поліпропіленової і базальтової фібр наведено на рис. 1 та рис. 2.

Застосування поліпропіленової та базальтової фібр в усьому досліджуваному діапазоні концентрацій практично не призводить до зміни міцнісного параметру при стиску цементобетону. Коливання значень міцнісного параметру при стиску цементобетонів з використанням обох видів фібр знаходиться в межах до 5 %, що майже відповідає діапазону похибки експерименту. Така незначна зміна міцнісного параметру при стиску досліджуваних цементобетонів може пояснюватись багатощебневим складом цементобетону, що підтверджується науковим експериментом в роботах [9], коли перехід складу цементобетонну від багато щебеневого до піщаного призводить до значного підвищення міцності при стиску за рахунок додавання волокон.



Рисунок 1 – Залежність зміни міцнісного параметру бетону при стиску від кількості введеної поліпропіленової фібри та кількості портландцементу

Джерело: розроблено автором

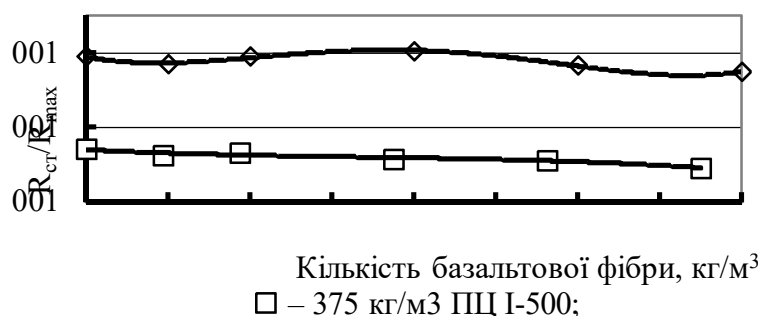


Рисунок 2 – Залежність зміни міцнісного параметру бетону при стиску від кількості введеної базальтової фібри та кількості портландцементу

Джерело: розроблено автором

У відповідності до рис. 3 та рис. 4 встановлено суттєвий вплив концентрації волокна в цементобетоні на його міцнісний параметр розтягу при згині. Зокрема, збільшення вмісту поліпропіленового волокна до 0,9-1,0 кг/м³ сприяє 34-38 % збільшенню параметру міцності на розтяг при згині залежно від кількісного вмісту портландцементу. Більший вміст портландцементу сприяє більшій міцності на розтяг при згині цементобетону за однакової кількості поліпропіленового волокна. Подальше збільшення поліпропіленової фібри в цементобетонні (понад 0,9-1,0 кг/м³) не доцільне, бо призводить до зниження міцності на розтяг при згині. Збільшення концентрації поліпропіленового волокна на 0,3 кг/м³ від 0 кг/м³ до 0,9-1,0 кг/м³ сприяє 1/3 підвищення міцності на розтяг при згині від максимального.

При використанні базальтового волокна теж спостерігається максимум міцнісного параметру цементобетону при згині (рис. 4), хоча приріст міцнісного параметру на розтяг при згині дещо менший. Максимум міцнісного параметра досягається при значно більшій кількості базальтового волокна у порівнянні з поліпропіленовою фіброю. Зокрема, збільшення вмісту базальтового волокна до 15,0-

16,0 кг/м³ сприяє 28-30 % збільшенню параметру міцності на розтяг при згині залежно від кількісного вмісту портландцементу. Це може бути пов'язане з: більшим стиранням базальтового волокна у порівнянні з поліпропіленовою фіброю при перемішуванні компонентів в бетонній суміші, різним характером новоутворень на поверхні розглянутих волокон, різною контактною міцністю на межі волокно – цементобетонна матриця, а також впливом лужного середовища цементобетону при його тужавінні та твердінні (початковий етап) на базальтове волокно.



Рисунок 3 – Залежність зміни міцнісного параметру бетону при згині від кількості введеної поліпропіленової фібри та кількості портландцементу

Джерело: розроблено автором



Рисунок 4 – Залежність зміни міцнісного параметру цементобетону при згині від кількості введеної базальтової фібри та кількості портландцементу

Джерело: розроблено автором

Надзвичайно інформативним показником цементобетонів є його щільність. При введенні поліпропіленової та базальтової фібр до складу цементобетону спостерігається єдиноспрямована зміна його середньої щільності (табл. 1).

Таблиця 1 – Зміна середньої щільності цементобетонів з додаванням фібр

Зміна середньої щільності цементобетонів залежно від вмісту волокна (фібри) при 400 кг/м ³ портландцементу ПЦ I-500, кг/м ³					
Поліпропіленові					
0 кг/м ³	0,3 кг/м ³	0,6 кг/м ³	0,9 кг/м ³	1,2 кг/м ³	1,5 кг/м ³
контрольний	-5	-10	-16	-20	-29
Базальтові					
0 кг/м ³	4,0 кг/м ³	8,0 кг/м ³	16,0 кг/м ³	24,0 кг/м ³	32,0 кг/м ³
контрольний	-3	-7	-14	-16	-38

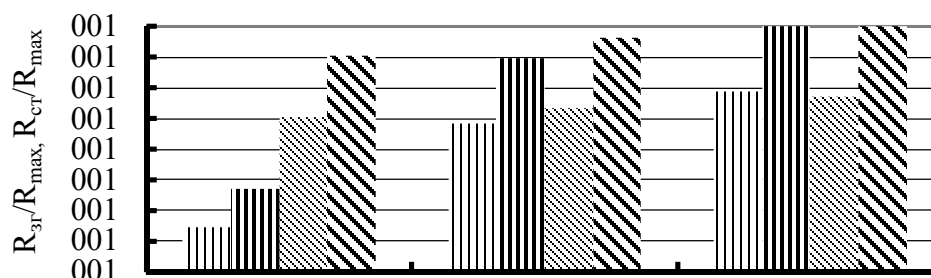
Примітка: знак «-» свідчить про зменшення середньої щільності

Джерело: розроблено автором

Додавання поліпропіленового волокна в усьому досліджуваному діапазоні концентрацій призводить до зменшення середньої щільності цементобетону. Поясненням може слугувати наявність двох конкуруючих фізико-хімічних процесів.

Перший сприяє появі новоутворень на поверхні поліпропіленових волокон, як це показано в роботі Бражник Г.В. [12], завдяки яким підвищується середня щільність. Другий процес сприяє зменшенню середньої щільності по мірі насичення цементобетону поліпропіленовим волокном, за рахунок меншої щільності останнього приблизно у 2,4 рази. Крім того, введення поліпропіленової фібри сприяє додатковому повітровтягуванню в цементобетонну суміш на стадії приготування при перемішуванні компонентів на що також вказано в [12]. Введення поліпропіленової фібри вище критичної концентрації, що відповідає максимуму параметру міцності на розтяг при згині, призводить до зниження середньої щільності за рахунок можливого розсування зерен щебеню волокном та комкуванням волокон. Введення базальтового волокна в усьому діапазоні досліджуваних концентрацій також призводить до зниження середньої щільності, аналогічно введенню поліпропіленових фібр, хоча величина зниження залишається меншою. Щільність цементобетону з використанням базальтових волокон зменшується з збільшенням їх кількості навіть не зважаючи на те, що базальтові волокна мають дещо більшу щільність ніж цементобетон. Поясненням отриманих результатів може бути більша кількість втягнутого повітря що залишається розподіленим в цементобетоні з більшим вмістом базальтового волокна. Наростання параметру міцності на розтяг при згині цементобетонів з додаванням поліпропіленових або базальтових фібр на противагу зменшенню їх середньої щільності може пояснюватись тим, що розподіл фібр в цементобетонній матриці перешкоджає процесу руйнування при прикладеному навантаженні не зважаючи на більшу кількість повітряних порожнин.

Аналіз результатів експериментальних досліджень представлених на рис. 5 показав, що на параметри міцності при стиску та розтязі при згині цементобетону з виростанням портландцементу частково заміненого молотим шлаком (ПЦ ІІ/А-ІІІ 500) також впливає наявність базальтової або поліпропіленової фібри. Кількість базальтового волокна становила 15-16 кг/м³, а поліпропіленової фібри – 0,9 кг/м³, що було визначено вище розглянутим аналізом для цементобетону на основі суто клінкерного портландцементу ПЦ І-500.



Кількість базальтової або поліпропіленової фібри, кг/м³

▨ – згин, 375 кг/м³ ПЦ ІІ/А-ІІІ 500; ▨ – згин, 400 кг/м³ ПЦ ІІ/А-ІІІ 500

▨ – стиск, 375 кг/м³ ПЦ ІІ/А-ІІІ 500; ▨ – стиск, 400 кг/м³ ПЦ ІІ/А-ІІІ 500

Рисунок 5 – Залежність зміни міцнісного параметру цементобетону при згині та стиску з використанням базальтової або поліпропіленової фібри та кількості портландцементу

Джерело: розроблено автором

Параметр міцності при стиску цементобетонну з виростанням портландцементу частково заміненого молотим шлаком (ПЦ ІІ/А-ІІІ 500) змінюється в межах до 5 % при введенні базальтового чи поліпропіленового волокна. Такі зміни можна вважати такими, що знаходяться в межах похибки експерименту. Параметр міцності на розтяг при згині цементобетонну на основі портландцементу частково заміненого молотим

шлаком (ПЦ II/A-III 500) з використанням базальтового чи поліпропіленового волокна збільшується на 25-28 % та на 32-35 %, відповідно. Діапазон збільшення параметру міцності при згині залежить від кількості в'язучого в цементобетоні. Загалом, приріст параметрів міцності при стиску та розтязі при згині цементобетону з використанням портландцементу ПЦ II/A-III 500 при додаванні базальтових чи поліпропіленових волокон близький до приросту в цементобетоні з використанням портландцементу ПЦ I-500, хоча залишається дещо меншим.

Висновки. Розглянуто вплив поліпропіленових та базальтових фібр в широкому діапазоні концентрацій на фізико-механічні властивості дорожнього цементобетону. Застосування поліпропіленової та базальтової фібр в усьому досліджуваному діапазоні концентрацій практично не призводить до зміни міцнісного параметру при стиску цементобетону, який змінюється до 5 %. Визначено, що максимальному параметру міцності на розтяг при згині дорожнього цементобетону відповідає 0,9-1,0 кг/м³ поліпропіленової фібри, а базальтового волокна – 15,0-16,0 кг/м³. Оптимальні концентрації базальтового волокна та поліпропіленової фібри в складі цементобетону на основі суто клінкерного портландцементу ПЦ I-500, що призводять до максимуму параметру міцності на розтяг при згині, сприяють підвищенню цього максимуму на 28-30 % та на 34-38 % залежно від кількості цементу, відповідно. Додавання базальтового волокна або поліпропіленової фібри в усьому досліджуваному діапазоні концентрацій призводить до зменшення середньої щільності цементобетону. Першопричинним поясненням може слугувати більша кількість втягнутого повітря що залишається розподіленим в цементобетоні з більшим вмістом досліджуваних фібр. Зміна міцнісних показників цементобетону на основі портландцементу частково заміненого молотим шлаком ПЦ II/A-III 500 з додаванням оптимальної кількості поліпропіленових фібр та базальтових волокон схожа на зміну цих показників цементобетону на основі суто клінкерного портландцементу ПЦ I-500. Відмінність полягає лише у дещо меншому прирості параметру міцності на розтяг при згині (2-3%) цементобетону на основі портландцементу частково заміненого молотим шлаком незалежно від виду доданого волокна. Введення оптимальної кількості поліпропіленового волокна (фібри) призводить до більших значень параметру міцності на розтяг при згині дорожнього цементобетону у порівнянні з цементобетоном на основі базальтового волокна не залежно від суто клінкерного чи частково заміненого молотим доменним шлаком портландцементу, що пояснюється специфікою та особливостями волокон.

Список літератури

1. Лапченко А. С. Реологічні властивості асфальтополімербетонів при динамічному деформуванні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2010. 22 с.
2. Experiences with 76 t and 34,5 m. The Nordic perspective: EMS and EMS2 trucks – the positive outcomes and lessons learned. *Revision of the Weights and Dimension Directive*. 17 Nov. 2022.
3. Lindsey R., Dahlman L. Climate change: global temperature / reviewed by Jessica Blunden. *Climate.gov* : веб-сайт. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature> (дата звернення: 10.06.2025).
4. McCulloch M. T., Winter A., Sherman C. E. et al. 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5 °C. *Nature Climate Change*. 2024. № 14. P. 171–177. DOI: 10.1038/s41558-023-01919-7.
5. Hannant D. J. *Fibre-cements and concretes*. Chichester : John Wiley & Sons Ltd, 1978. 228 p.
6. Liu H., Wang N. Computer model and analysis on pavement performance and pavement structure of polypropylene fibre material concrete. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1578, № 1. 012057. URL: <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1578/1> (дата звернення: 10.06.2025).
7. Menyhárd A., Menczel J., Abraham T. Polypropylene fibers. *The Textile Institute Book Series. Thermal Analysis of Textiles and Fibers*. 2020. № 12. P. 205–222. DOI: 10.1016/B978-0-08-100572-9.00012-4.
8. Базальтове волокно. *Вікіпедія. Вільна енциклопедія* : веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Базальтове_волокно (дата звернення: 16.06.2025).
9. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Дорошенко М. А., Покуса Ю. П. Порівняльна характеристика застосування поліпропіленової і базальтової фібри у дорожніх бетолах. *Механіка та математичні методи*. 2022. № 2. С. 65–74. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17012/1/MMM%20%E2%84%96%20%282%29.pdf> (дата звернення: 16.06.2025).

10. Chen M., Ren C., Liu Y., Yang Y., Wang E., Liang X. Effects of polypropylene fibre and strain rate on dynamic compressive behaviour of concrete. *Materials*. 2019. № 12. P. 1797. DOI: 10.3390/ma12111797.
11. Yermak N., Pliya P., Beaucour A.-L., Simon A., Noumowe A. Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: spalling, transfer and mechanical properties. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 132. P. 240–250. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.120.
12. Бражник Г. В. Монолітні дорожні цементні бетони високої морозостійкості з органомінеральним комплексом та фіброю : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2015. 23 с.
13. Advanced civil infrastructure materials / ed. by H. C. Wu. Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2006. 375 p.
14. Badr A., Ashour A., Platten A. Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*. 2006. № 32 (11). P. 107–120. DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2005.05.003.
15. Jafari N. Shrinkage behavior of steel-fibre-reinforced-concrete pavements : Doctor of Philosophy's thesis. Sheffield, 2012. 224 p.
16. Sliwinski J., Zych T. Contact zone between cement paste and fibre and its influence on the water permeability of fibre reinforced concrete. *International Symposium on Brittle Matrix Composites – BMC 5* (Warsaw, 13–15 October 1997). Warsaw : BIGRAF and Woodhead Publ., 1997. P. 54–63.
17. Cao Y., Yu Q., Brouwers H. Numerical investigation of fibers effects in SFRC under dynamic tension. *9th International Symposium on Cement and Concrete* (Wuhan, 31 October – 01 November 2017). Wuhan : Wuhan University of Technology, 2017. P. 1–7.
18. Бабич Є. М., Андрійчук О. В., Ужegov С. О., Шаповал І. В. Застосування сталевібробетону в дорожньому будівництві. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2015. Вип. 4. С. 3–9. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/stmrb_2015_4_3 (дата звернення: 16.06.2025).
19. Avishreshth S., Bansal P., Chopra T. Characterization of steel fiber reinforced pervious concrete for applications in low volume traffic roads. *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure* (New Delhi, 12–14 December 2017). New Delhi : The Institution of Engineers, 2018. P. 93–102.
20. Karakurt C., Turap A. Properties of concrete pavements produced with different type of fibers. *Journal of the Turkish Chemical Society*. 2017. Vol. 1. P. 17–24. URL: <https://acikaynak.bilecik.edu.tr/items/14d55f8a-5293-4de5-b943-fae77578b967> (дата звернення: 10.06.2025).
21. Ullah F., Al-Neshawy F., Punkki J. Early age autogenous shrinkage of fibre reinforced concrete. *Nordic Concrete Research*. 2018. Vol. 59, № 1. P. 59–72. DOI: 10.245781tamd/2018-12478.
22. Amreen N., Milind V. A review on effect of fiber reinforced concrete on rigid pavement. *Conf. Smarter Solution for Better Tomorrows* (Badnera, 9 December 2015). Badnera : PRMIT&R, 2015. P. 222–228.
23. Толмачов Д. С. Тріщиностійкі дрібнозернисті цементні бетони транспортного призначення : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харків, 2015. 20 с.
24. Khadhum M. M., Essa M. S., Hashim K. S. Effect of shape and type of steel fibre on some mechanical properties of reinforced concrete. *Journal of Babylon University. Engineering Sciences*. 2006. Vol. 12. P. 1–11. URL: https://www.researchgate.net/publication/317826132_EFFECT_OF_SHAPE_AND_TYPE_OF_STEEL_FIBRE_ON_SOME_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_REINFORCED_CONCRETE (дата звернення: 10.06.2025).
25. Лапченко А. С. Вплив меленого доменного шлаку та пластифікуючої добавки на міцнісні властивості дорожнього бетону. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2025. № 23. С. 143–154. DOI: 10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-14.

References

1. Advanced civil infrastructure materials. (2006). H. C. Wu (Ed.). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
2. Amreen, N., & Milind, V. (2015, December 9). A review on effect of fiber reinforced concrete on rigid pavement. In *Conference Smarter Solution for Better Tomorrows* (pp. 222–228). Badnera: PRMIT&R.
3. Avishreshth, S., Bansal, P., & Chopra, T. (2018). Characterization of steel fiber reinforced pervious concrete for applications in low volume traffic roads. In *Urbanization Challenges in Emerging Economies: Resilience and Sustainability of Infrastructure* (pp. 93–102). New Delhi: The Institution of Engineers.
4. Badr, A., Ashour, A., & Platten, A. (2006). Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre-reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 32(11), 107–120. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2005.05.003>
5. Babich, Ye. M., Andriichuk, O. V., Uzhegov, S. O., & Shapoval, I. V. (2015). Application of steel fiber concrete in road construction. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction*, 4, 3–9. http://nbuv.gov.ua/UJRN/stmrb_2015_4_3 [in Ukrainian].
6. Bazaltove volokno [Basalt fiber]. (2025). *Wikipedia. The Free Encyclopedia*. https://uk.wikipedia.org/wiki/Базальт_волокно (Accessed: 16.06.2025) [in Ukrainian].
7. Brazhnyk, H. V. (2015). Monolithic road cement concretes of high frost resistance with organomineral complex and fiber (Candidate of Technical Sciences dissertation abstract, 05.23.05). Kharkiv. 23 p. [in Ukrainian].
8. Cao, Y., Yu, Q., & Brouwers, H. (2017, October 31 – November 1). Numerical investigation of fibers effects in SFRC under dynamic tension. In *9th International Symposium on Cement and Concrete* (pp. 1–7). Wuhan: Wuhan University of Technology.
9. Chen, M., Ren, C., Liu, Y., Yang, Y., Wang, E., & Liang, X. (2019). Effects of polypropylene fibre and strain rate on dynamic compressive behaviour of concrete. *Materials*, 12, 1797. <https://doi.org/10.3390/ma12111797>
10. Climate.gov. (2025). Lindsey, R., & Dahlman, L. Climate change: global temperature (reviewed by J. Blunden). *Climate.gov*. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature> (Accessed: 10.06.2025).

11. Experiences with 76 t and 34,5 m. (2022, November 17). *The Nordic perspective: EMS and EMS2 trucks – the positive outcomes and lessons learned. Revision of the Weights and Dimension Directive*.
12. Hannant, D. J. (1978). *Fibre-cements and concretes*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
13. Jafarifar, N. (2012). *Shrinkage behavior of steel-fibre-reinforced-concrete pavements* (Doctor of Philosophy's thesis). Sheffield.
14. Karakurt, C., & Turap, A. (2017). Properties of concrete pavements produced with different type of fibers. *Journal of the Turkish Chemical Society, 1*, 17–24. <https://acikkaynak.bilecik.edu.tr/items/14d55f8a-5293-4de5-b943-fae77578b967> (Accessed: 10.06.2025).
15. Khadhum, M. M., Essa, M. S., & Hashim, K. S. (2006). Effect of shape and type of steel fibre on some mechanical properties of reinforced concrete. *Journal of Babylon University. Engineering Sciences, 12*, 1–11. https://www.researchgate.net/publication/317826132_EFFECT_OF_SHAPE_AND_TYPE_OF_STEEL_FIBRE_ON_SOME_MECHANICAL_PROPERTIES_OF_REINFORCED_CONCRETE (Accessed: 10.06.2025).
16. Lapchenko, A. S. (2010). Rheological properties of asphalt polymer concretes under dynamic deformation (Candidate of Technical Sciences dissertation abstract, 05.23.05). Kharkiv. 22 p. [in Ukrainian].
17. Lapchenko, A. S. (2025). Influence of ground blast-furnace slag and plasticizing additive on strength properties of road concrete. *Modern Technologies and Calculation Methods in Construction, 23*, 143–154. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-14](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-14) [in Ukrainian].
18. Liu, H., & Wang, N. (2020). Computer model and analysis on pavement performance and pavement structure of polypropylene fibre material concrete. *Journal of Physics: Conference Series, 1578(1)*, 012057. <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1578/1> (Accessed: 10.06.2025).
19. McCulloch, M. T., Winter, A., Sherman, C. E., et al. (2024). 300 years of sclerosponge thermometry shows global warming has exceeded 1.5 °C. *Nature Climate Change, 14*, 171–177. doi.org/10.1038/s41558-023-01919-7
20. Menyhard, A., Menczel, J., & Abraham, T. (2020). Polypropylene fibers. In *The Textile Institute Book Series. Thermal Analysis of Textiles and Fibers, 12*, 205–222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100572-9.00012-4>
21. Sliwinski, J., & Zych, T. (1997, October 13–15). Contact zone between cement paste and fibre and its influence on the water permeability of fibre reinforced concrete. In *International Symposium on Brittle Matrix Composites – BMC 5* (pp. 54–63). Warsaw: BIGRAF and Woodhead Publ.
22. Tolmachov, D. S. (2015). Crack-resistant fine-grained cement concretes for transport purpose (Candidate of Technical Sciences dissertation abstract, 05.23.05). Kharkiv. 20 p. [in Ukrainian].
23. Tolmachov, S. M., Bielichenko, O. A., Doroshenko, M. A., & Pokusa, Yu. P. (2022). Comparative characteristics of polypropylene and basalt fibers in road concretes. *Mechanics and Mathematical Methods, 2*, 65–74. <http://repositc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/17012/1/MMM%20%E2%84%968%20%282%29.pdf> (Accessed: 16.06.2025) [in Ukrainian].
24. Ullah, F., Al-Neshawy, F., & Punkki, J. (2018). Early age autogenous shrinkage of fibre reinforced concrete. *Nordic Concrete Research, 59(1)*, 59–72. <https://doi.org/10.245781tamd/2018-12478>
25. Yermak, N., Pliya, P., Beaucour, A.-L., Simon, A., & Noumowe, A. (2017). Influence of steel and/or polypropylene fibres on the behaviour of concrete at high temperature: Spalling, transfer and mechanical properties. *Construction and Building Materials, 132*, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.120>
26. Yu, F., et al. (2023). Techno-economic analysis of residential building heating strategies for cost-effective upgrades in European cities. *iScience, 107541*. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107541> (Accessed: 31.01.2025).

Artem Lapchenko, Sr. Researcher, PhD tech. sci

National Transport University, Kyiv, Ukraine

Comparison of Road Cement Concrete Properties with Polypropylene and Basalt Fibers Addition

The aim and objectives of the study are to establish the influence of different dosages of basalt and polypropylene fibers in a wide range of concentrations on the main physical and mechanical indicators of road cement concrete based on Portland cement with its partial replacement by ground blast furnace slag and based only on clinker Portland cement. The article presents the results of the influence of different dosages of basalt fibers and polypropylene fibers in a wide range of concentrations on the physical and mechanical properties of road cement concrete. It was found that the introduction of polypropylene fibers and basalt fibers has almost no effect on the compressive strength of cement concrete. Based on experimental studies, the concentration of polypropylene and basalt fibers was determined, which corresponds to the maximum tensile strength in bending of cement concrete. This concentration is 0.9-1.0 kg/m³ of polypropylene fiber and 15.0-16.0 kg/m³ of basalt fiber. A change in the average density of cement concretes with the addition of polypropylene fibers and basalt fibers was established. The introduction of the optimal amount of polypropylene fiber (fiber) leads to higher values of the tensile strength parameter in bending of road cement concrete compared to cement concrete based on basalt fiber. The change in the strength indicators of cement concrete based on Portland cement partially replaced by ground slag with the addition of the optimal amount of polypropylene fibers and basalt fibers is similar to the change in these indicators of cement concrete based on purely clinker Portland cement.

basalt fibers, bending, concentration, strength, polypropylene fiber, compression, cement concrete

Одержано (Received) 27.06.2025

Прорецензовано (Reviewed) 31.07.2025

Прийнято до друку (Approved) 27.08.2025