

## Різниця в роботі бурових і забивних паль в складі стрічково-пального фундаменту за результатами фізичного моделювання

Наталя БЛАЩУК<sup>1</sup>, Михайло ПЕРЕБИЙНІС<sup>2</sup>

Вінницький національний технічний університет  
95, Хмельницьке шосе, Вінниця, Україна, 21000,

<sup>1</sup> blaschuk@vntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9764-0271

<sup>2</sup> mishauavn@gmail.com, https://orcid.org/0009-0006-9750-1451

DOI: 10.32347/0475-1132.51.2025.36-42

**Анотація.** В даній роботі розглядається дослідження спільної роботи ростверку та паль у складі стрічкового пальового фундаменту мілкового закладання під дією вертикального навантаження. У практиці проектування несучу здатність фундаменту часто визначають виходячи з окремих характеристик паль, не враховуючи роботу ростверку та ефект сумісної роботи паль та ростверку в ґрутовому середовищі. Проте участь ростверку у сприйнятті та розподіленні навантажень може суттєво змінювати розподіл зусиль між елементами конструкції та впливати на напружено-деформаційний стан системи «стрічковий пальовий ростверк – палі – ґрунтова основа».

Виконано фізичне моделювання на маломасштабних моделях у лабораторних умовах. Досліджено вплив способу влаштування паль (бурові та забивні), їх довжини, кроку та геометричних характеристик на роботу фундаменту. Ґрунтова основа моделювалася піском середньої крупності з контролем вологості та щільності, навантаження прикладалися поступово з вимірюванням осідань і розподілу навантажень між палями за допомогою тензодатчиків.

Отримані результати показали, що включення в роботу ростверку при сумісній роботі підвищує несучу здатність суми несучих здатностей елементів конструкції, що вказує на складні геотехнічні процеси в ґрунті, які позитивно впливають на сумісну роботу паль та ростверку. Та при використанні



**Наталя БЛАЩУК**

доцент кафедри  
будівництва, міського господарства  
та архітектури  
к.т.н., доц.



**Михайло ПЕРЕБИЙНІС**

аспірант кафедри  
будівництва, міського господарства  
та архітектури

бурових паль несуча здатність фундаменту перевищує несучу здатність тих для тих же геометричних параметрів при використанні забивних паль. Що вказує на здатність бурових паль краще реалізувати несучу здатність при сумісній роботі.

То ж використання паль, по більшій мірі забивних, в стрічковому фундаменті значно підвищує несучу здатність фундаменту в цілому, що може бути використаним для більш економічного рішення при проектуванні для будівництва.

**Ключові слова.** стрічковий пальовий фундамент, низький ростверк, забивна паля, бурова паля, перерозподіл навантажень, статичне навантаження несуча здатність.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

На даний час було проведено багато експериментальних і фізичних досліджень стрічкових пальових фундаментів (описаних нижче), які показали, що частину навантаження сприймає ростверк, а частину палі. Відсоток вертикального навантаження, яке сприймає ростверк залежить від способу влаштування паль, від характеру передачі навантаження на стрічковий паловий фундамент, від конструктивних характеристик самого фундаменту та від фізико-механічних властивостей ґрунтової основи.

Нормативною документацією, яка діє на території України, рекомендується враховувати сумісну роботу ростверку і паль одночасно, але не наведено положень і методик для його врахування. Фізичним і чисельним моделюванням було встановлено, що відсоток навантаження, яке сприймає ростверк, залежить від виду паль, кроку їх розміщення та від довжини паль. В цілому це призводить до значного здешевлення вартості фундаменту, тому дана тема є актуальною.

Дослідження (Маєвська та ін., 2011), про аналіз несучої здатності буроін'єкційних паль, визначеної статичними випробуваннями показує резерв фактичної несучої здатності від 6 до 180% вище, порівняно з розрахованим за методикою норм у 90% випадках.

В натурних дослідженнях на будівельному майданчику в Харкові (Samorodov et al., 2024) за допомогою контрольованого залучення ростверка в роботу вдалося передати до 50% навантаження на ростверк та повністю залучити і в роботу палі. Використовувалась конструкція комбінованого плитно-пального фундаменту із зазорами між ростверком та палью. Таке конструктивне рішення дозволило зеконимити близько 35% бюджету, порівняно з іншими можливими рішеннями.

Питанням вивчення роботи ростверку в складі пального фундаменту присвячені роботи Н. М. Дорошкевич, К. С. Заврієва, М. І. Нікітенка, І. І. Орленка, Ю. Н. Платонова, І. І. Сахарова, В. Д. Яблочкова, В. О.

Сернова, І. П. Бойка, О. В. Самородова, В. Л. Седіна, В. Л. Підлущького, Р. К. Ковальського, А. М. Рузаєва та інших (Маєвська та ін., 2023).

Результати новітніх досліджень (Маєвська та ін., А. В., 2011; Блащук та ін., 2016; Пилипчук та ін., 2018) показують що резерв несучої здатності паль фактично в значній мірі вищий ніж розрахований за формулами і таблицями (ДБНВ.2.1–10:2009, 2012). Тож методика розрахунку навантаження які здатні сприймати бурові та забивні палі потребує удосконалення. При чому необхідність в удосконаленні методів розрахунку навантажень паль у складі фундаменту зростає з широтою їх застосування при проектуванні нових будівель та споруд так і для підсилення основи існуючих.

В дослідженнях проведених у ВНТУ показують певні конструктивні властивості та залежності, які впливають на несучу здатність пального фундаменту та стають в основі розробки ефективних методів розрахунку та проектування.

В дослідженні (Блащук та ін., 2016) за результатами фізичних експериментів виявлено вплив роботи ростверку на несучу здатність фундаменту. Моделі з більшою відстанню між шліцами показують більшу несучу здатність. Це вказує на включення в роботу ростверку, що підвищує несучу здатність пального фундаменту при зменшенні кількості паль.

І. В. Маєвською та Н. В. Блащук (Маєвська та ін., 2012) досліджено впливу низького ростверка на роботу пального фундаменту за допомогою чисельного моделювання. Результати досліджень показали, що найбільш впливовими чинниками на роботу ростверку у складі пального фундаменту є: крок паль у поздовжньому напрямку, відстань між рядами паль, довжина та спосіб влаштування паль, ґрунтові умови. Також опираючись на виявлені залежності було розроблено методику розрахунку стрічкових пального фундаментів який враховує частку навантажень, що сприймає ростверк.

Кореляційний аналіз факторів (Маєвська та ін., 2011), які впливають на несучу здатність фундаменту підсиленого палями,

показує складні процеси, які відбуваються при розподіленні навантажень від будівельних конструкцій фундаментом та палями. Проводилось моделювання з різними параметрами основи та змінному кроці і довжині паль підсилення методом скінченних елементів для дослідження напружено-деформованого стану системи паля-ростверк-основа за допомогою програмного комплексу Plaxis 3D Foundation. Комплексним аналізом факторів виявлено вплив факторів  $a_i/d_i$ ;  $b_i/d_i$ ;  $l_i/d_i$ ;  $E_i$ ;  $f_{0i}$ . На основі цих залежностей розроблено оригінальний метод багатфакторного аналізу. Результати експериментальних досліджень також показали, що частка ростверку у складі пальового фундаменту в залежності від інженерно-геологічних умов та геометричних параметрів фундаменту може сягати від 5 до 50 %.

Дослідження проведене (Пилипчук та ін., 2018) на тему залежності розподілу сил тертя за бічною поверхнею. Доводить що, співвідношення зусиль, що сприймає ґрунт під вістрям і за бічною поверхнею палі, залежить від її розмірів, жорсткості та властивостей ґрунтів, які прорізає паля. Повна реалізація несучої здатності палі тертя залежить від зрушувальної деформації палі, на що впливає виду й стану ґрунту, що оточує палю, та її розміри. Тому чим слабкіше ґрунт і більші поперечні розміри палі, тим величина зрушувального осідання більша.

У дослідженні (Пилипчук та ін., 2018), проведеному з ціллю більш точного визначення несучої здатності паль по боковій поверхні, отримано вагомні залежності для розподілення зусиль в палі. Результати показують що навантаження, які передає паля на ґрунт залежить від її розмірів та жорсткості ґрунту. Чим сильніший ґрунт під вістрям палі тим більше навантаження буде приходитись на нижню частину палі і менше передаватись на ґрунт через сили тертя. Ці результати вказують на важливість точного розрахунку палі, так як нерівномірний розподіл зусиль може призвести до неповної реалізації можливостей палі та передчасного її руйнування. Для ефективної роботи палі повинна відбуватися повна реалізація сил тертя за бічною поверхнею, яка

відповідає осіданню палі відносно оточуючого ґрунту при навантаженні.

Дослідження (Блащук та ін., 2018) виявило вагомні залежності в перерозподілі зусиль в пальовому фундаменті об'єднаним ростверком. Розподільча функція ростверку залежить від його жорсткості і наближення величини навантаження до граничного значення. А саме, при жорсткому ростверку найбільше навантаження сприймають кутові палі. По мірі навантаження близько до граничного навантаження розподіляються рівномірно. При гнучкому ростверку по мірі навантаження розподіляється рівномірно а при наближенні навантаження до граничного найбільше зусилля бере на себе центральна паля.

Виявлено залежність сумісної роботи ростверка та паль у стовпчастому пальовому фундаменті (Маєвська та ін., 2013) від характеристик ґрунту: кута внутрішнього тертя, питомого зчеплення та модуля деформації. При збільшенні питомого зчеплення ґрунту частка навантаження, що сприймається ростверком, зростає на різних етапах навантаження незалежно від виду ґрунту. При цьому ростверк краще включається в роботу при більшому навантаженні. Отримано, що ростверк краще включається в роботу при більшій деформації фундаменту.

## МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є дослідження особливостей спільної роботи ростверку та паль у складі стрічкового пальового фундаменту мілкового закладання під дією вертикального навантаження за допомогою випробування на маломасштабних моделях.

Була поставлена задача виявити різницю в роботі бурових та забивних паль об'єднаних низьким ростверком.

Також досліджувався вплив сумісної роботи ростверку та паль і як метод їх влаштування впливає на сумісну роботу.

## ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінки сумісної роботи ростверку і паль в складі стрічкового пальового

фундаменту мілкого закладання під дією вертикального навантаження та визначення частки навантаження, яке сприймає ростверк а яке приходить на палі в залежності від виду паль (бурова, забивна), кроку та геометричних характеристик проведено фізичне моделювання на маломасштабних моделях у лабораторних умовах.

Фізичне моделювання на маломасштабних моделях має вагомні переваги для дослідження поведінки конструкцій під навантаженням. Дозволяє отримати достовірну та точну оцінку поведінки фундаменту під навантаженням та взаємодію елементів конструкції в наближених до реальних умовах. Також дає широкий вибір варіантів розмірів, розміщення паль та можливість багаторазового повторення.

Моделювання ґрунтової основи виконано в лотку розмірами 1800x1200x1000 мм. В якості ґрунту заплановано використовувати пісок середньої крупності. Основа створюється шляхом пошарового засипання у лоток піску заданої вологості з обов'язковим ущільненням кожного шару до заданої щільності. Прийняті характеристики піску вказані в табл. 1. Щільність основи планується контролювати користуючись методом ріжучого кільця відповідно до вимог. Вологість визначатиметься методом висушування до постійної ваги. Масштаб моделювання прийнятий 1:15.

Табл. 1. Характеристики моделі ґрунтової основи в лотку

Table 1. Characteristics of the soil base model in the trough

| Назва характеристики         | Пісок середньої щільності |
|------------------------------|---------------------------|
| Щільність, г/см <sup>3</sup> | 1670                      |
| Вологість                    | 0,07                      |
| Коефіцієнт пористості        | 0,70                      |
| Кут внутрішнього тертя, град | 30                        |
| Питоме зчеплення, кПа        | 1                         |
| Модуль деформації, МПа       | 24                        |

Для моделювання паль довжиною 6, 4,5 і 3 м, поперечним перерізом 30x30 см, виготовлено моделі з деревини, діаметром поперечного перерізу 2,5 см (для бурових паль), 2x2

см (для забивних) і довжиною 20, 30 і 40 см. Виготовлено модель низького ростверку з металу висотою 2 см та довжиною 55 см, який об'єднує 11 паль з відстанню між ними 1 діаметр або 6 паль з відстанню 3 діаметри. Враховуючи обмеження упорної системи масштаб моделювання прийнятий 1:15.

Для навантаження моделі використовуються два механічних автомобільних домкрата, влаштованих по бокам моделі. Для контролювання прикладеного навантаження використовуються два динамометри ДС-5 і ДС-3, влаштовані на домкратах. Навантаження на ростверк передається через жорстку балку. На кожну палю влаштований тензодатчик. Для вимірювання навантажень, які приходяться на кожну з паль, використовуються тензодатчики (розраховані на навантаження до 200 кг.) які передають дані на аналого-цифровий перетворювач ваги hx-711, та виводить показники на дисплей вагового індикатору. Для можливості одночасно отримувати показники з одинадцятьох датчиків сконструйовано прилад, який об'єднує модулі інтерфейсів підключення, перетворювачів та дисплеї індикаторів.

Величина осідання заміряється за допомогою прогиномірів, закріплених вертикально по бокам моделі.

В ході експерименту на фундамент подавалося навантаження з кроком 150 кгс. до досягнення втрати несучої здатності. Кожен етап навантаження, по проходженню заданого проміжку часу, знімалися показники осідання для формування графіку осідання та показники тензодатчиків кожної з паль для визначення частки навантаження що несуть палі.

В результаті проведених модельних досліджень було отримано величину осідання моделей одиночних паль під дією статичного навантаження та сформовано порівняльні графіки осідання. На рис. 2 і рис. 3 зображено графіки залежності осідання-навантажень бурових та забивних паль різної довжини.

На основі графіку залежності осідання-навантаження, визначено несучу здатність фундаменту, як величину навантаження, що обмежує прямолінійну ділянку. Отримані значення несучої здатності подано в таблицю табл. 2.

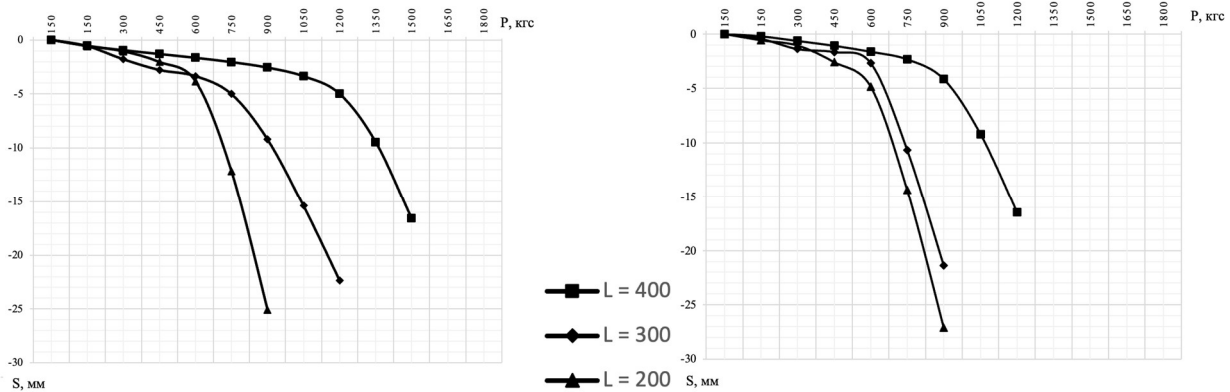


Рис. 2. Графіки залежності осідання-навантаження забивних паль 1D (зліва) і 3D (справа) об'єднані рост-верком

Fig. 2. Graphs showing the settlement-load relationship for driven piles 1D (left) and 3D (right) connected by a grillage

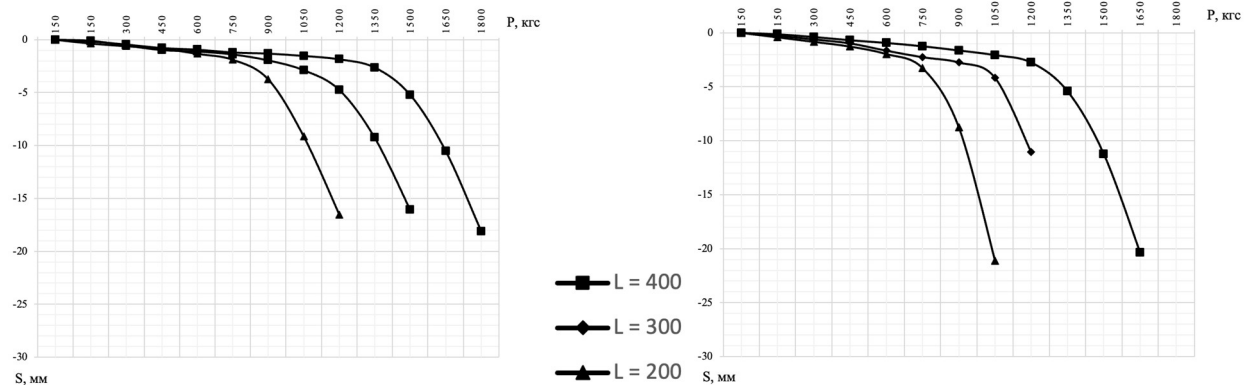


Рис. 3. Графіки залежності осідання-навантаження бурових паль 1D (зліва) і 3D (справа) об'єднані рост-верком

Fig. 3. Graphs showing the settlement-load relationship for 1D (left) and 3D (right) bored piles connected by a grillage

Табл. 2 – Результати визначення несучої здатності бурових та забивних паль при різній довжині та кроці.  
Tabl. 2 – Results of determining the bearing capacity of bored and driven piles with different lengths and pitches.

| Крок паль | Спосіб влаштування | Довжина паль, мм | Несуча здатність, кгс |
|-----------|--------------------|------------------|-----------------------|
| 1D        | забивна            | 400              | 1050                  |
|           |                    | 300              | 750                   |
|           |                    | 200              | 600                   |
|           | бурова             | 400              | 1350                  |
|           |                    | 300              | 1050                  |
|           |                    | 200              | 750                   |
| 3D        | забивна            | 400              | 900                   |
|           |                    | 300              | 600                   |
|           |                    | 200              | 450                   |
|           | бурова             | 400              | 1200                  |
|           |                    | 300              | 900                   |
|           |                    | 200              | 600                   |

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Включення в роботу ростверку при сумісній роботі підвищує несучу здатність суми несучих здатностей елементів конструкції, що вказує на складні геотехнічні процеси в ґрунті, які позитивно впливають на сумісну роботу паль та ростверку.

2. Несуча здатність стрічкового пальового фундаменту з низьким ростверком при використанні бурових паль перевищує несучу здатність фундаменту тих же геометричних параметрів при використанні забивних паль. Що вказує на здатність бурових паль краще реалізувати несучу здатність при сумісній роботі.

3. Використання паль, по більшій мірі забивних, в стічковому фундаменті значно підвищує несучу здатність фундаменту в цілому, що може бути використаним для більш економічного рішення при проектуванні для будівництва.

## ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування (Зміна №1 Палі і пальові фундаменти). Київ: Мінбуд України, 2011. 56 с.
2. Блащук, Н. В., & Підгорний, О. С. (2016). *Визначення несучої здатності фундаментів за результатами фізичного моделювання* [Дисертація]. ВНТУ.
3. Маєвська, І. В., & Блащук, Н. В. (2012). Ефект сумісної роботи паль і ростверку у складі стрічкового пальового фундаменту. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 2(33), 33–39. ВНТУ
4. Маєвська, І. В., Попов, В. О., & Блащук, Н. В. (2011). Прогнозування міцності бетону на ранніх стадіях твердіння. *Вісник Вінницького національного технічного університету*, (5), 23–27.
5. Малишев, О. М. (2017). *Робота ростверку і паль у складі стовпчастого пальового фундаменту* [Кандидатська дисертація, Вінницький національний технічний університет]. Інституційний репозитарій ВНТУ. [ir.lib.vntu.edu.ua](http://ir.lib.vntu.edu.ua)
6. Пилипчук, М. Л., & Капшієнко, Ю. Ю. (2018). *Визначення несучої здатності паль тертя по боковій поверхні* [Магістерська робота, Вінницький національний технічний університет]. Інституційний репозитарій ВНТУ. <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/3382>

7. Блащук, Н. В., Маєвська, І. В., & Попович, М. М. (2018). Перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, (1), 36–44.
8. Маєвська, І. В., Блащук, Н. В., & Чобанова, К. А. (2013). Вплив виду ґрунту на сумісну роботу паль і ростверку в кушовому пальовому фундаменті. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, (2), 40–47. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb\\_2013\\_2\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb_2013_2_9)
9. Samorodov, O., Tabachnikov, S., Dytiuk, O., Krotov, O., Vynnykov, Y., Kirichek, Y., & Shapoval, V. (2024). Field investigations of combined raft-pile foundation with adjustable interaction between the raft and the piles. In A. Pinto, A. Gomes Correia, C. Ferreira, M. Matos Fernandes, N. Guerra, & P. Sêco Pinto (Eds.), *Geotechnical engineering challenges to meet current and emerging needs of society* (pp. 799–804).
10. Маєвська, І. В., & Блащук, Н. В. (2023). *Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів*. ВНТУ.

## REFERENCES

1. DBN V.2.1-10-2009 Foundations and foundations of structures. Basic design provisions (Amendment No. 1 Piles and pile foundations). Kyiv: Ministry of Construction of Ukraine, 2011. 56 p. [in Ukrainian].
2. Blashchuk, N. V., & Pidhornyi, O. S. (2016). *Vyznachennia nesuchoi zdatnosti fundamentiv za rezultatamy fizychnoho modeliuvannia* [Determination of the bearing capacity of foundations based on the results of physical modeling] [Doctoral dissertation, Vinnytsia National Technical University]. VNTU. (in Ukrainian).
3. Maievska, I. V., & Blashchuk, N. V. (2012). *Efekt sumisnoi roboty pal i rostverku u skladi strichkovoho palovoho fundamentu* [Effect of joint work of piles and grillage as part of a ribbon pile foundation]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktсии v budivnytstvi* [Modern Technologies, Materials and Structures in Construction], 2(33), 33–39. VNTU (in Ukrainian).
4. Maievska, I. V., Popov, V. O., & Blashchuk, N. V. (2011). *Prohnozuvannia mitsnosti betonu na rannikh stadiakh tverdinnia* [Predicting concrete strength at early stages of hardening]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, (5), 23–27. (in Ukrainian).

5. Malyshev, O. M. (2017). *Robota rostverku i pal u skladi stovpchastoho palovoho fundamentu* [Work of the grillage and piles as part of a columnar pile foundation] [Doctoral dissertation, Vinnytsia National Technical University]. VNTU (in Ukrainian). [ir.lib.vntu.edu.ua](http://ir.lib.vntu.edu.ua)
6. Pylypchuk, M. L., & Kapshiienko, Yu. Yu. (2018). *Vyznachennia nesuchoi zdatnosti pal tertia po bokovii poverkhni* [Determination of the bearing capacity of friction piles on the lateral surface] [Master's thesis, Vinnytsia National Technical University]. VNTU Institutional Repository. (in Ukrainian).
7. Blashchuk, N. V., Maievska, I. V., & Popovych, M. M. (2018). *Pererozpodil zusyl mizh elementamy stovpchastoho palovoho fundamentu* [Redistribution of forces between the elements of a column-type pile foundation]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, (1), 36–44. (in Ukrainian).
8. Maievska, I. V., Blashchuk, N. V., & Chobanova, K. A. (2013). *Vplyv vydu gruntu na sumisnu robotu pal i rostverka v kushchovomu palovomu fundamenti* [Influence of soil type on the joint work of piles and grillage in a cluster pile foundation]. *Suchasni tekhnolohii, materialy i konstruksii v budivnytstvi*, (2), 40–47. (in Ukrainian). [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb\\_2013\\_2\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Stmkb_2013_2_9)
9. Samorodov, O., Tabachnikov, S., Dytiuk, O., Krotov, O., Vynnykov, Y., Kirichek, Y., & Shapoval, V. (2024). Field investigations of combined raft-pile foundation with adjustable interaction between the raft and the piles. In A. Pinto, A. Gomes Correia, C. Ferreira, M. Matos Fernandes, N. Guerra, & P. Sêco Pinto (Eds.), *Geotechnical engineering challenges to meet current and emerging needs of society* (pp. 799–804).
10. Maievska, I. V., & Blashchuk, N. V. (2023). *Robota pal i rostverku u skladi stovpchastykh palovykh fundamentiv* [Work of piles and grillage in the composition of columnar pile foundations]. VNTU. (in Ukrainian).

under vertical loading. In design practice, the bearing capacity of a foundation is often determined based on the individual characteristics of the piles, without taking into account the work of the grillage and the effect of the joint work of the piles and grillage in a bulk environment. However, the participation of the grillage in the reception and distribution of loads can significantly change the distribution of forces between the structural elements and affect the stress-strain state of the “strip pile grillage - piles - soil foundation” system.

Physical modeling was performed on small-scale models in laboratory conditions. The influence of the method of pile installation (drilled and driven), their length, spacing, and geometric characteristics on the performance of the foundation was investigated. The soil base was modeled with medium-grained sand with controlled moisture and density, and the load was applied gradually with measurement of settlements and load distribution between piles using strain gauges.

The results showed that the inclusion of a grillage in the joint operation increases the total bearing capacity of the structural elements, indicating complex geotechnical processes in the soil that have a positive effect on the joint operation of piles and grillage. However, when using bored piles, the bearing capacity of the foundation exceeds the bearing capacity of those with the same geometric parameters when using driven piles. This indicates the ability of bored piles to better realize their bearing capacity when working together.

Therefore, the use of piles, mainly driven piles, in a strip foundation significantly increases the bearing capacity of the foundation as a whole, which can be used for a more economical solution in construction design.

**Key words.** strip pile foundation, low grillage, driven pile, bored pile, load redistribution, static load bearing capacity.

### **The difference in the performance of bored and driven piles in a strip pile foundation based on the results of physical modeling**

*Natalia BLASCHUK  
Mykhailo PEREBYINIS*

**Summary.** This paper considers the joint action of grillage and piles in a shallow strip pile foundation