

EFFICIENCY OF THE COMBINED PILE-RAFT FOUNDATION

Volodymyr KRIPAK¹, Vira KOLIAKOVA², Daniil KUZMENKO³

^{1,2,3} Kyiv National University of Construction and Architecture
31, Povitrianyh Syl Avenue, Kyiv, Ukraine, 03037

¹kripak.vd@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6575-5015>

²vkolyakova@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6879-8520>

³danielkuzma228@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0004-3026-8953>

Abstract. It is well known that a raft foundation is, in most cases, a more economical alternative to a conventional pile foundation. The concept of incorporating a raft into a piled system is not new and has been implemented in foundation design in several Western countries. However, practical implementation of this concept remains limited and largely absent. Ukrainian design codes only mention the existence of combined pile-raft foundations (CPRFs) and the possibility of their application.

In CPRFs, both components—the raft and the piles—act as load-bearing elements, and their design must follow one of two approaches, depending on which component serves as the primary structural element.

The first approach treats the raft on natural soil as the main foundation system, with piles added to improve its functional performance. In this case, piles are used to reduce and equalize the raft's settlement and to lower the reactive pressure beneath the raft base.

The second approach considers the piles as the main load-bearing elements, with the raft incorporated to reduce the total number of piles. This type of CPRF can be particularly effective in cases of complex soil stratification, where at depths of 10–15 meters there are thick lenses of weak soil, making traditional pile foundations require excessively long piles.

This paper demonstrates, using a specific design case of a pile foundation, the feasibility of implementing an alternative solution in the form of a combined pile-raft foundation.

The structural analysis model of the building was developed as a spatial multi-element system. The



Volodymyr KRIPAK
Professor of the Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, PhD in Technical Sciences, Professor



Vira KOLIAKOVA
Associate Professor, Department of Reinforced Concrete and Masonry Structures, PhD in Technical Sciences, Associate Professor



Danyil KUZMENKO
Bachelor's degree student, Department of Reinforced Concrete Masonry Structures

raft was modeled as a slab on an elastic foundation with a variable modulus of subgrade reaction across the plan.

The design parameters of the model were determined analytically and through software, using the GRUNT subroutine of the LIRA-SAPPHIRE 2024 software package.

The implemented alternative CPRF solution proved to be both feasible and efficient, satisfying all deformation and stability requirements for both the soil base and the piles. With minor modifications to the raft design, the number of piles was reduced from 290 to 190.

Keywords: pile-raft foundation; raft; pile group; soil base; settlement; reinforcement; soil improvement.

PROBLEM STATEMENT

The idea of incorporating a raft into the functioning of a pile foundation is not new. However, the practical design implementation of this concept is unfortunately limited and largely absent. Ukrainian normative documents only briefly mention the existence of combined pile-raft foundations (CPRFs) and the possibility of their application [1, 2, 3]. Nonetheless, research on combined pile-raft foundations has been and continues to be actively conducted [9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19]. There are also implementations of such foundations in construction practice, but these are usually individual unique structures [4, 7, 8, 17], or design solutions adopted to reinforce existing foundations [5, 6, 12, 13]. The areas of effective application of CPRFs are thoroughly discussed in [12].

Given that in CPRFs both components—the raft and the piles—act as load-bearing elements, two main design approaches can be distinguished.

The first approach considers the raft on natural soil as the primary foundation type, with piles supplementing the raft foundation to improve its functional characteristics. This type of foundation is also referred to as a raft-pile foundation. Combined raft-pile foundations are effective for buildings on sites where medium-strength soils lie near the surface, and although the soil's bearing capacity is sufficient, a raft foundation alone does not meet deformation requirements. Piles are used to reduce and equalize the raft settlement and to decrease the reactive pressure under the raft base.

The second approach treats the pile foundation as the main type, while the raft is incorporated to reduce the number of piles. Implemented design solutions have shown that CPRFs of this type can be quite effective in cases of specific soil layering, where lenses of

weak soil of significant thickness occur at depths of 10 to 15 meters.

This type of CPRF is classified as a pile-raft foundation, where the majority of the building load is transferred to the piles, and the raft increases the foundation's efficiency by reducing the number of piles required.

This paper examines, using a specific implemented pile foundation design, the possibility of realizing an alternative solution in the form of a combined pile-raft foundation and analyzes its efficiency and prospects for adoption in design practice.

MAIN STUDY

The design of CPRFs, regardless of the selected type, should be carried out using an iterative method through successive approximations toward an optimal solution.

Analyzing the arrangement of vertical elements and the estimated loads on them, the type and dimensions of piles are selected, and a pile layout is designed. In the first approximation, the load distribution between piles and raft can be assumed as 70% and 30%, respectively. The spacing between pile groups should be at least 4 to 5 pile diameters. Based on the first approximation calculation results, the total settlement of the building, pile forces, and soil stress under the raft are analyzed. After adjusting the pile layout (if necessary), modifications are made to the calculation model and the next iteration of analysis is performed.

The study is based on a realized design of the pile foundation for a 20-storey residential building under construction in Sofiivska Borshchahivka village, Kyiv region. The foundation consists of bored injection piles with a diameter of 420 mm and a length of 12 m combined with a continuous reinforced concrete raft 1200 mm thick. For proper comparison, piles in the alternative pile-raft foundation design are taken identical to those in the base design.

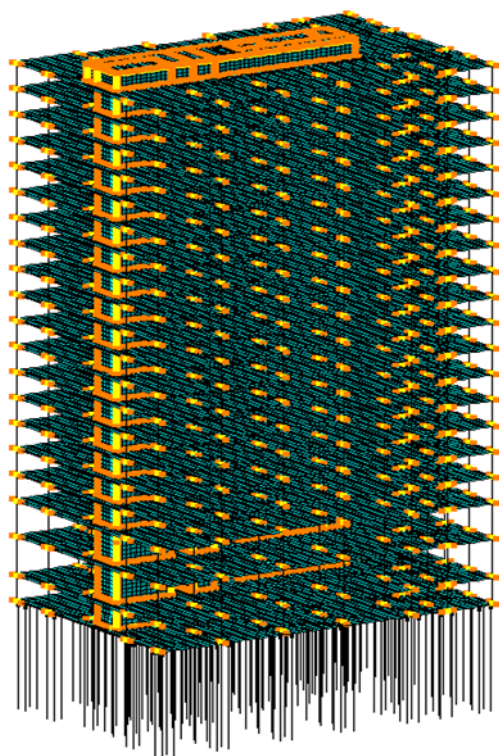


Fig. 1. Calculation-analytical model of the building in LIRA-SAPPHIRE 2024 software

Рис. 1. Розрахунково-аналітична модель будівлі у ПК Ліра-САПФІР 2024

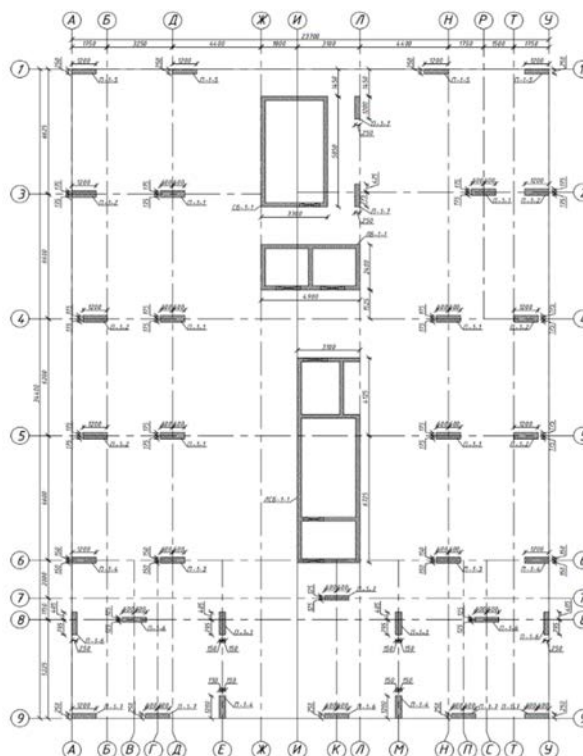


Fig. 2. Arrangement of vertical elements

Рис. 2. Розташування вертикальних елементів

CALCULATION-ANALYTICAL MODEL

The calculation-analytical model of the building was created as a spatial multi-element model. The raft foundation was modeled as a slab on an elastic foundation with a variable in-plan modulus of subgrade reaction (modulus of subgrade reaction).

The base traditional pile foundation was designed using the LIRA-SAPR software suite, while the calculations for the alternative pile-raft foundation were performed using the LIRA-SAPPHIRE 2024 software package. In the calculation model, a plate triangulation step of 250 mm was used for the pile foundation and 500 mm for the combined pile-raft foundation. The calculation model of the building is shown in Fig. 1, and the arrangement of vertical elements is presented in Fig. 2.

The base pile foundation with a high raft included 290 piles transmitting the load to the

soil foundation without considering the contribution of the raft slab.

In the combined pile-raft foundation, approximately 35% fewer piles were designed—190 piles in total.

Piles were modeled as a chain of single-node finite elements of type 57 (FE 57), the stiffness of which was determined based on soil properties using the GRUNT system.

In the horizontal direction, boundary conditions for the foundation slab were implemented using single-node elements type 54 (FE 54). In the vertical direction, boundary conditions were modeled via the GRUNT system according to the geological survey data of the site, which allows for variation in the modulus of subgrade reaction beneath the raft foundation base.

Generally, for pile-raft foundations it is advisable to use bored piles with a diameter of 620 mm or more; however, as noted above, the type and dimensions of the piles were kept unchanged for consistency.

Figure 3 shows the pile field of the base design variant, where 290 piles are arranged, and Figure 4 presents the alternative variant with a reduced number of piles down to 190 units. The logic of pile arrangement in both variants, despite the reduction in quantity, is maintained and dictated by the layout of the

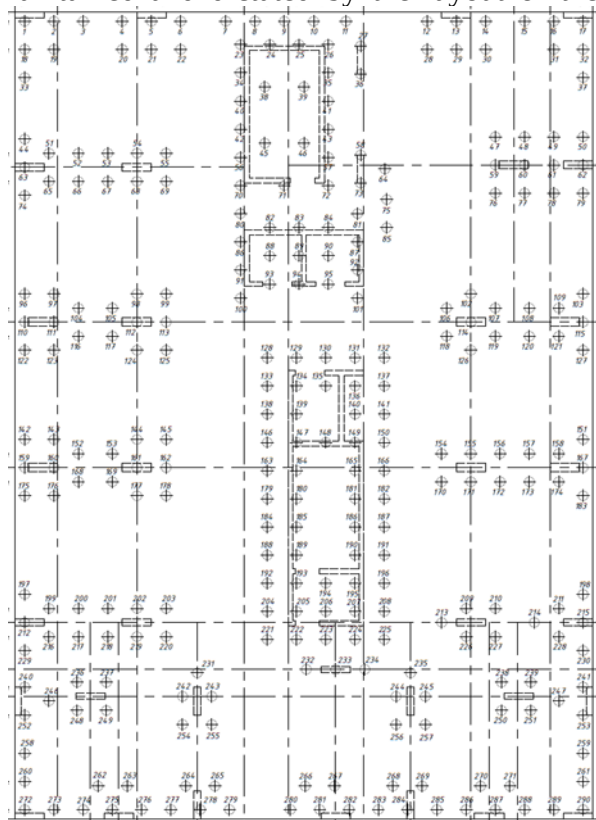


Fig. 3. Arrangement of piles in the base pile foundation, 290 units

Рис. 3. Розташування паль у базовому пальовому фундаменті, 290 шт

ГРУНТОВІ УМОВИ І РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ КППФ

Геологічний розріз з посадкою плити фундаменту на ґрунтову основу наведено на рис.5. Безпосередньо під підшвою плитного ростверку залягає пісок дрібний, щільний з такими характеристиками:

$\rho = 1,95 \text{ т/м}^3$; $E = 29,41 \text{ МПа}$; $\varphi = 30$.

Вістря паль спираються на шар ґрунту №8 з наступними характеристиками — пісок дрібний, щільний, насичений водою:

$\rho = 2,1 \text{ т/м}^3$; $E = 49,03 \text{ МПа}$; $\varphi = 33$.

Метод розрахунку осідання КППФ і відповідно розподіл навантажень між його

вертикальними елементів. The total load transferred to the soil foundation amounts to 24,400 tons-force (tf).

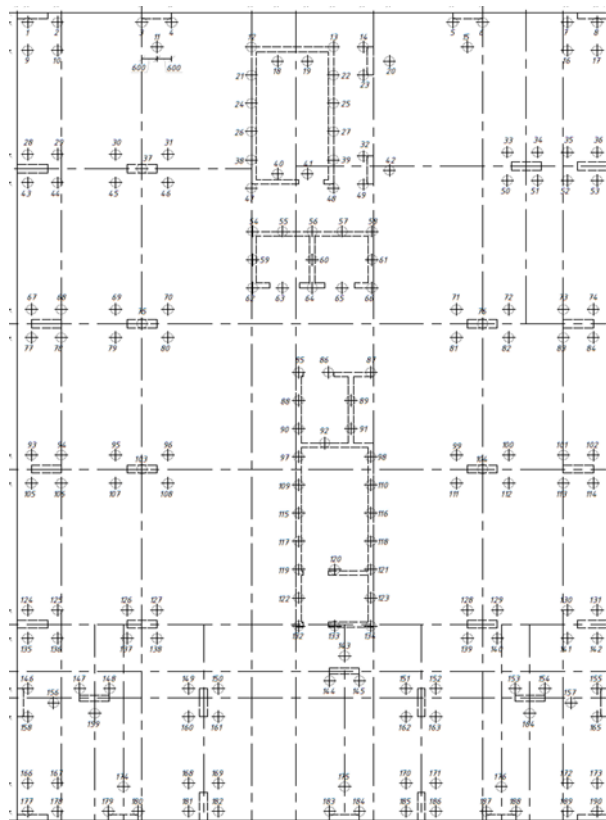


Fig. 4. Pile Arrangement in the Combined Pile-Raft Foundation (CPRF), 190 units

Рис. 4. Розташування паль у КПП фундаменті, 190 шт

елементами базується на спільному врахування жорсткості паль і плитного ростверку. Нижче наведені параметри фундаменту, розраховані відповідно до [].

Жорсткість всіх паль K_c визначена як

$$K_p = \frac{K_1 \cdot n}{R_s} = 36 \cdot 10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (1)$$

Жорсткість плити ростверку визначена з виразу

$$K_p = \frac{E_s \cdot \sqrt{A}}{(1 - \nu^2) \cdot m_0} = 14 \cdot 10^5 \frac{\text{кН}}{\text{м}} \quad (2)$$

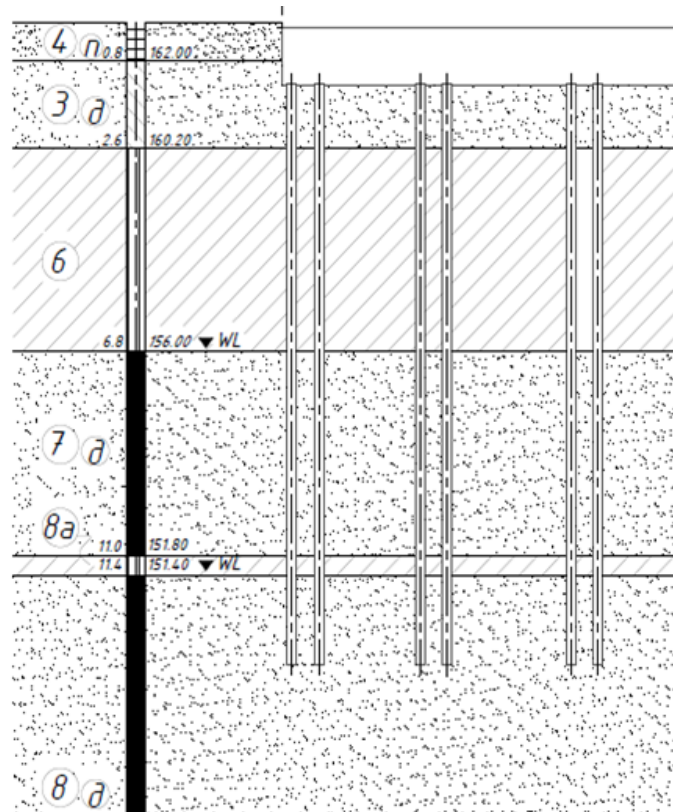


Fig. 5. Geological cross-section and seating of the pile foundation on the soil base
Рис. 5. Геологічний розріз і посадка ППФ на ґрунтову основу

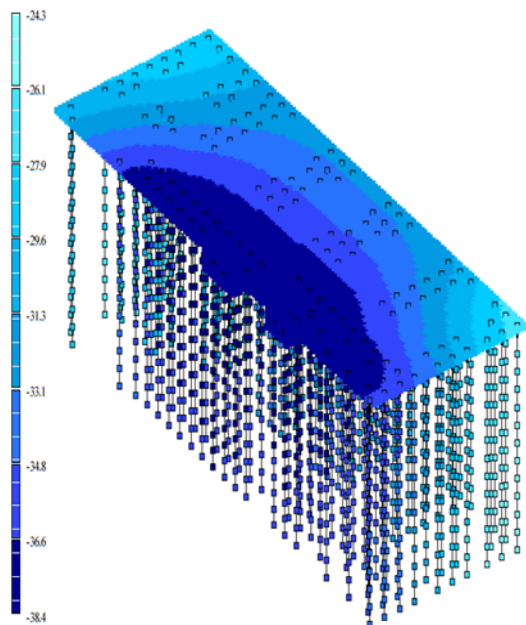


Fig. 6. Settlement of the building with a pile foundation

Рис. 6. Осідання будівлі з пильовим фундаментом

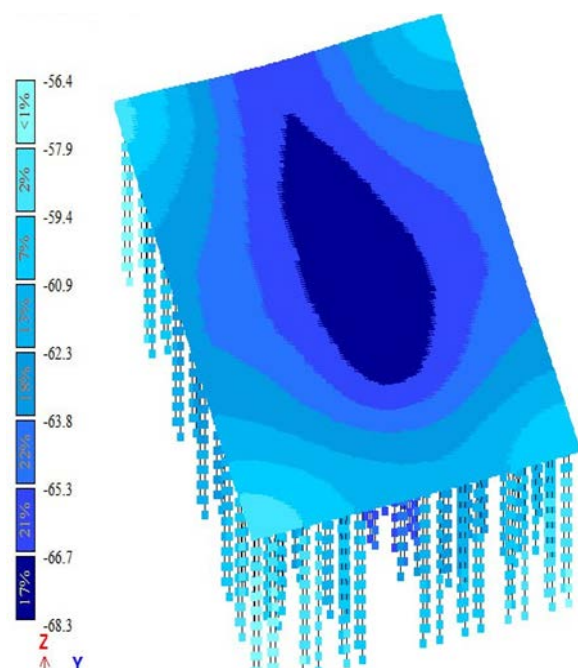


Fig. 7. Settlement of the building with a combined pile-raft foundation

Рис. 7 Осідання будівлі з КПП фундаментом

The characteristics of the soil foundation obtained from the GRUNT program were as follows: modulus of subgrade reaction $C = 4000 \dots 2800 \text{ kN/m}^3$, and the design soil bearing capacity under the base of the raft foundation $R_0 = 540 \text{ kPa}$.

The calculation results of the alternative combined pile-raft foundation (CPRF) variant, performed using the above-mentioned calculation-analytical model, will be presented

in comparison with the corresponding results of the base foundation variant.

The maximum building settlements (see Figs. 6 and 7) in the CPRF are greater than those in the pile foundation (68.3 mm. versus 38.4 mm.), but do not exceed the allowable limit of 150 mm [2]. The analytically calculated settlement of the CPRF (61 mm.) shows very good agreement with the results of the numerical analysis.

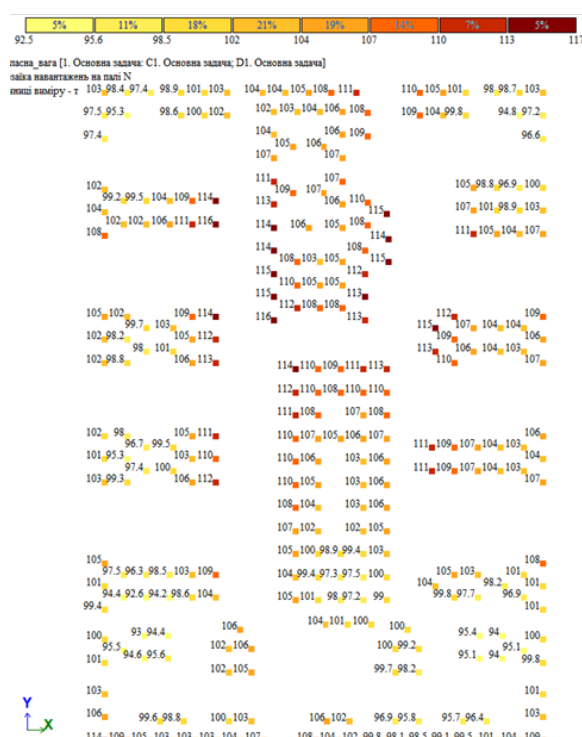


Fig. 8. Forces in piles of the base variant

Рис.8. Зусилля в палях базового варіанту

Figures 8 and 9 show the calculated forces in the piles for the base variant (290 piles) and the alternative variant (190 piles), respectively. It should be noted that the pile layout in the base variant was designed quite efficiently, as the difference between the maximum force (1160 kN) and the minimum force (950 kN) was about 18%.

The force distribution in the pile-raft foundation is less uniform, with a difference of approximately 50%, and three piles are overloaded, with the maximum overload

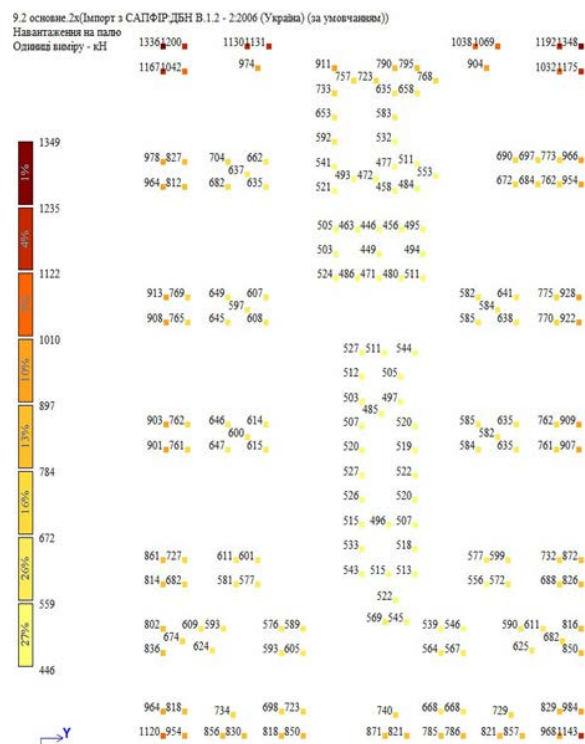


Fig. 9. Forces in piles of the combined pile-raft foundation (CPRF)

Рис.9. Зусилля в палях КППФ

reaching 14.5%. The maximum force in these CPRF piles was 1336 kN, compared to the bearing capacity of 1166 kN obtained from cluster testing.

However, the underloaded piles are mainly located in the central zone beneath the elevator and staircase block, which provides a potential reserve of strength for the CPRF in case of incomplete soil participation beneath the raft base.

The differential settlement of the building is nearly the same for both variants. In the base

variant, it is $38.4 \text{ mm} - 24.3 \text{ mm} = 14.1 \text{ mm}$, while in the alternative variant, it is $68.3 \text{ mm} - 56.4 \text{ mm} = 11.9 \text{ mm}$.

The reactive pressure on the soil under the raft base (see Fig. 8) is uneven, varying from 165.2 kPa to 281.2 kPa. The calculated pressure does not exceed the design soil bearing capacity $R_0 = 540 \text{ kPa}$, indicating that the raft can be used as a load-bearing element in the pile-raft foundation.

An interesting observation arises from the consideration of the required design reinforcement of the raft slab.

Individual reinforcement maps of the raft are presented in Figures 11 through 15. Both variants adopt the same raft thickness of 1200 mm and identical concrete and reinforcement classes.

The distribution of design reinforcement in the upper zone along the X-axis for both variants is shown in Figures 12 and 13. The main slab field requires up to $16 \text{ cm}^2/\text{m}$ in the base variant and $13 \text{ cm}^2/\text{m}$ in the alternative variant. Additional reinforcement zones require

approximately $40\text{--}50 \text{ cm}^2/\text{m}$ in the base variant and $30\text{--}40 \text{ cm}^2/\text{m}$ in the alternative variant. In the CPRF, the relative area of strengthened zones is larger than in the base variant, and the layout of additional zones has been changed.

A similar pattern is observed for the upper reinforcement along the Y-axis.

The reinforcement of the lower zone of the raft slab along the X-axis is shown in Figures 14 and 15. Here, the CPRF requires somewhat more reinforcement in both the main slab field and the additional zones compared to the base variant. Conversely, for the lower reinforcement along the Y-axis, the situation is reversed.

Thus, it can be concluded that in the alternative foundation variant, the quantity of design longitudinal reinforcement in the raft slab practically remains unchanged. However, significant shear forces are generated near the vertical elements in the pile-raft foundation (see Fig. 11), which will require transverse design reinforcement in these areas.

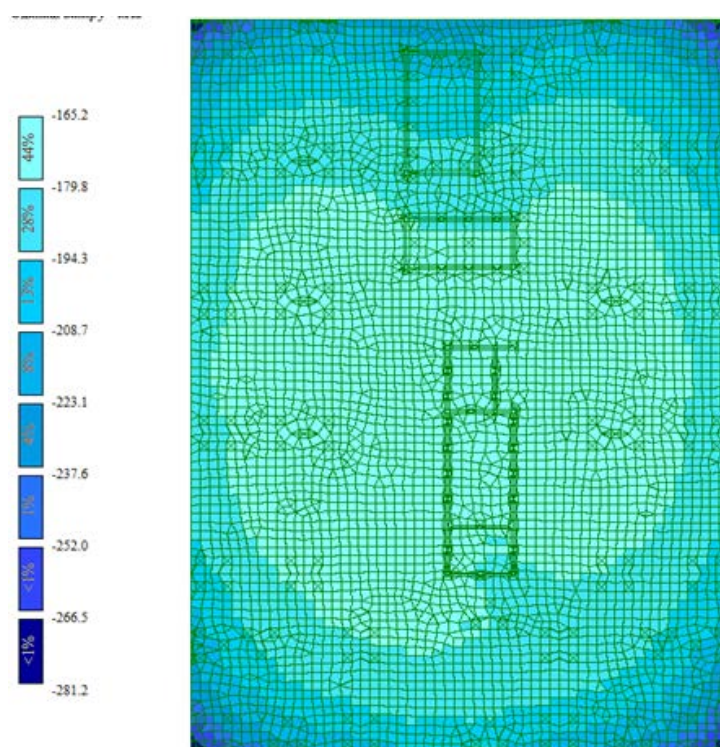


Fig. 10. Reactive pressure beneath the base of the CPRF slab

Рис.10. Реактивний тиск під підшоною плити КППФ

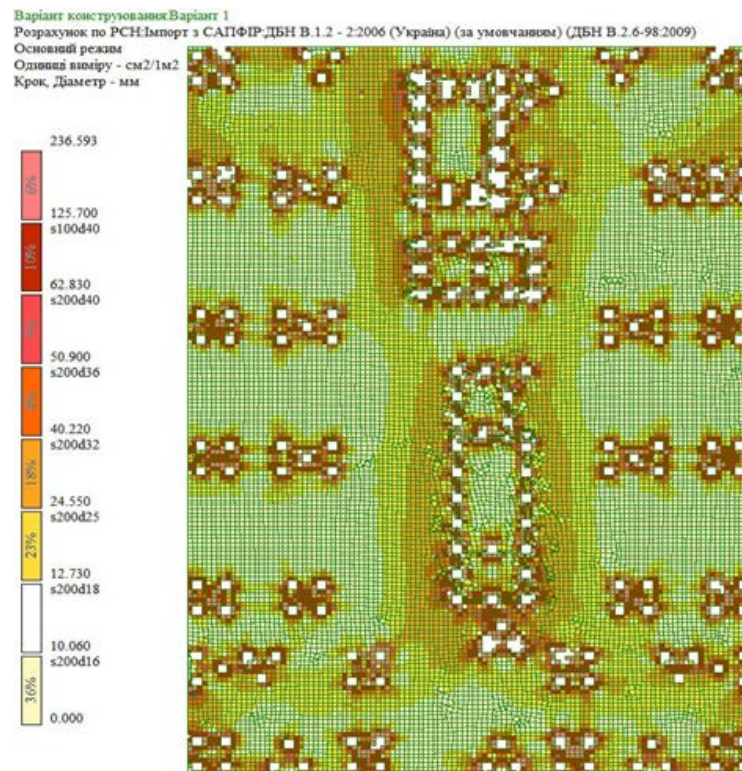


Fig. 11. Design transverse reinforcement of the CPRF raft slab

Рис.11. Розрахункове поперечне армування плити ростверка КППФ

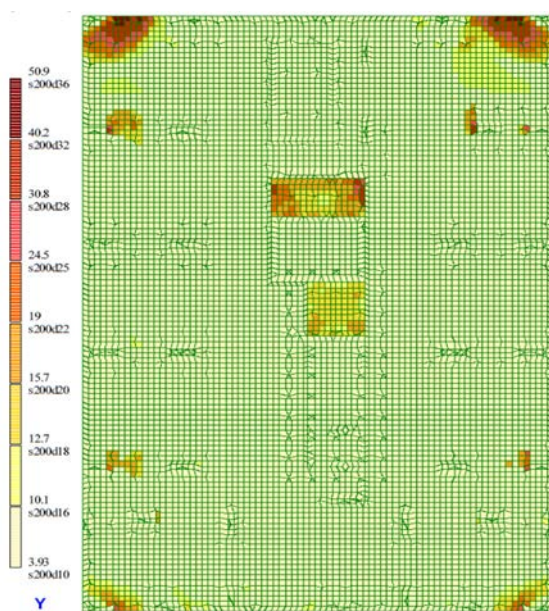


Fig. 12. Reinforcement of the upper slab zone along the X-axis, base variant

Рис. 12. Армування верхньої зони плити по осі X, базовий варіант.

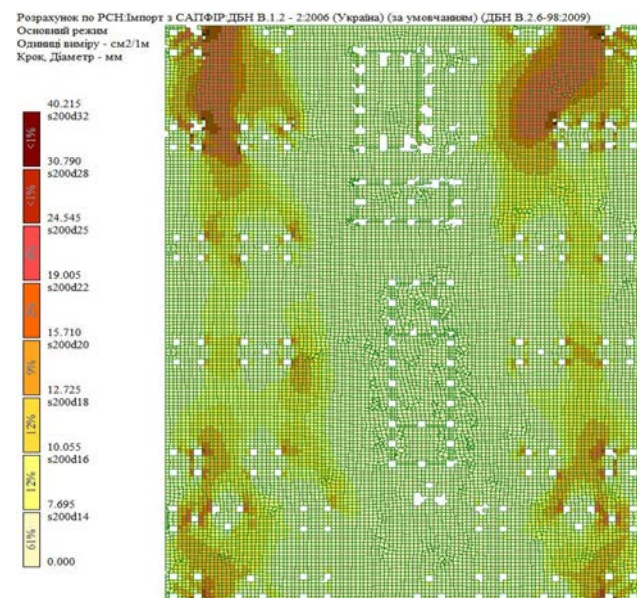


Fig. 13. Reinforcement of the upper slab zone along the X-axis, CPRF variant

Рис. 13. Армування верхньої зони плити по осі X, КППФ

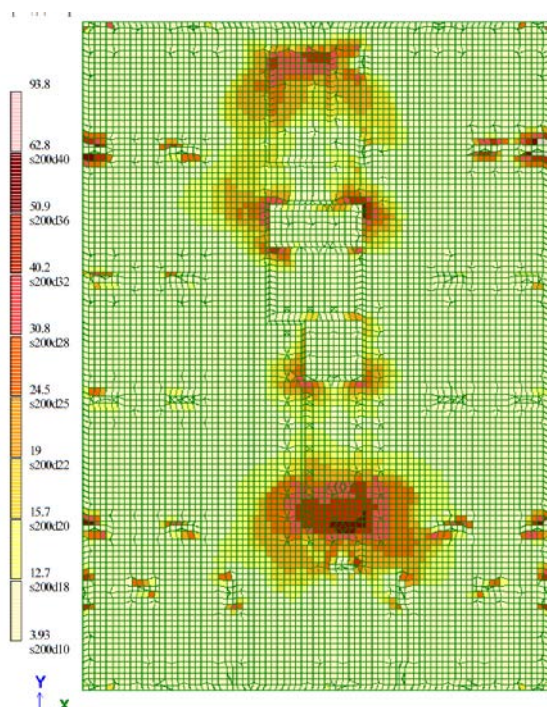


Fig. 14. Reinforcement of the lower slab zone along the X-axis, base variant

Рис. 14. Армування нижньої зони плити по осі X, базовий варіант

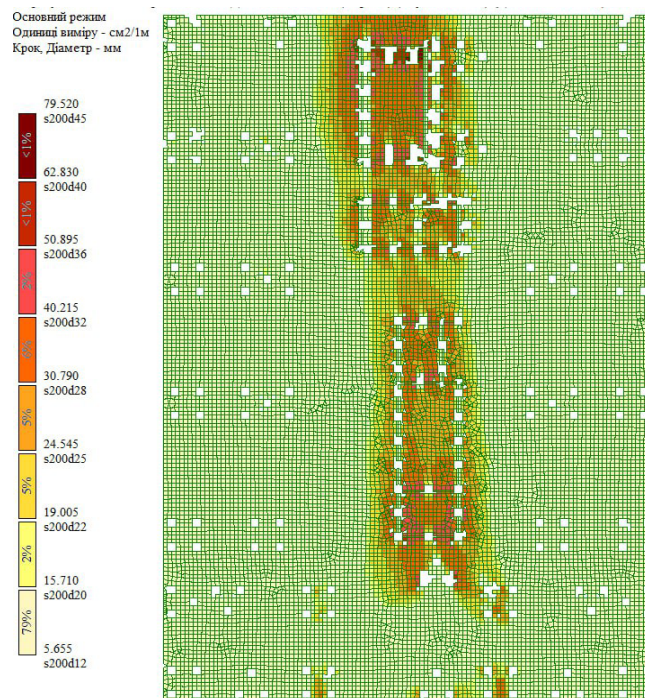


Fig. 15. Reinforcement of the lower slab zone along the X-axis, CPRF variant

Рис. 15. Армування нижньої зони плити по осі X, КППФ

CONCLUSIONS AND PROSPECTS FOR FURTHER RESEARCH

1. This paper, using the example of a specific pile foundation design, demonstrated and confirmed the feasibility of implementing an alternative solution in the form of a combined pile-raft foundation (CPRF).
2. The calculation-analytical model of the building was developed as a spatial multi-element model. The raft was modeled as a slab on an elastic foundation with a variable in-plan modulus of subgrade reaction. The design parameters of the model were determined both analytically and numerically using the GRUNT subprogram within the LIRA-SAPPHIRE 2024 software package.
3. Based on the analytical calculation of pile and slab stiffnesses, an approximate load distribution between piles and the raft was adopted as 70% and 30%, respectively.
4. The maximum settlement of the building in the CPRF is greater than in the pile

foundation (68.3 mm vs. 38.4 mm) but does not exceed the allowable limit of 150 mm [2]. The analytically calculated settlement of the CPRF (61 mm) almost exactly matches the results of the numerical analysis.

5. In the alternative CPRF variant compared to the pile foundation, the amount of design longitudinal reinforcement in the raft slab does not increase. Introduction of design transverse reinforcement near vertical elements is possible.
6. The implemented alternative CPRF solution demonstrated its feasibility and effectiveness, meeting all deformation and stability requirements for both the soil foundation and the piles. With a minor modification of the raft design, the number of piles was reduced from 290 to 190 units.

REFERENCE

1. **Ministry of Regional Development of Ukraine.** (2011). *Foundations and foundations of structures. Amendment No.1: DBN V.2.1-10-2009* [Building Codes of Ukraine]. Kyiv,

- Ukraine: Author. (Effective from July 1, 2011). [Ukrainian]*
2. **Ministry of Regional Development of Ukraine.** (2018). Foundations and foundations of buildings and structures. DBN V.2.1–10:2018 [Building Codes of Ukraine]. Kyiv, Ukraine: Author. (Effective from January 1, 2019). [Ukrainian]
 3. **Minrehionbud Ukrainy.** (2019). High-rise buildings. General provisions: DBN V.2.2-41:2019 (52 p.). Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. (State Building Codes of Ukraine). (In Ukrainian)
 4. **Samorodov, A. V., Nalivaiko, T. A., Konyukhov, A. V., Nikulin, V. B., et al.** (2015). Monitoring and analysis of settlements of multi-storey buildings on pile-raft foundations in Kharkiv. In *Proceedings of the 7th International Scientific Conference "Resource and Safety of Operation of Structures, Buildings, and Facilities"* (pp. 101–102). Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. [Ukrainian]
 5. **Sedin, V. L., Bikus, E. M., Dyuldeev, A. O., & Melnyk, A. M.** (2013). Implementation of combined pile-raft foundation in Ukraine: Case study of underground parking construction in Odessa. *Poltava National Technical University Named After Yuri Kondratyuk*, 322–329. Poltava, Ukraine. [Ukrainian]
 6. **Petrenko, V. D., Krysan, V. I., Krysan, V. V., & Chegodayev, I. S.** (2021). Experience of constructing pile-raft foundations under complex engineering-geological conditions. *Scientific Collection "Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice"*, 19, 78–84. Ukrainian State University of Science and Technology. [Ukrainian]
 7. **Katzenbach, R., Dunaevsky, R. A., Muliar, D. L., & Dyachenko, K. O.** (2010). Barrettes – Efficient foundations for high-rise buildings. *New Technologies in Construction*, (2(20)), 28–37. [Russian]
 8. **Katzenbach, R., Schmitt, A., & Ramm, H.** (2005). Basic principles of design and monitoring of high-rise buildings in Frankfurt am Main: Practical cases. *City Reconstruction and Geotechnical Engineering*, (9), 80–99. [Russian]
 9. **Fioravante, V., & Yamiolkovskiy, M. B.** (2006). Physical modeling of pile-raft foundations. *City Reconstruction and Geotechnical Engineering*, (10), 200–206. [Russian]
 10. **Aleksandrovich, V. F., Kurillo, S. V., & Fedorovsky, V. G.** (2003). On the mutual influence of piles and slab in pile-raft foundation bases. In *Proceedings of the Conference on Reconstruction of Historical Cities and Geotechnical Construction* (pp. 125–143). [Russian]
 11. **Tsymbal, S. Y., & Kartseva, S. L.** (2004). Methodology for calculating pile foundations considering raft interaction. *Foundations and Bases*, 28, 121–130. Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture. [Ukrainian]
 12. **Kripak, V.** (2023). Complex pile-raft foundation. *Building Structures: Theory and Practice*, (13), 30–40. [Ukrainian]
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.30-40>
 13. **Kripak, V. D., & Drobakha, O. K.** (2018). Reconstruction of buildings using external and internal metal frameworks. In *II Scientific and Practical Conference "Buildings and Structures of Special Purpose: Modern Materials and Structures"* (pp. 93–96). Kyiv, Ukraine: KNUCA. [Ukrainian]
 14. **Kripak, V., Kolyakova, V., & Demchenko, D.** (2021). Adequacy and interrelation of structural and calculation schemes of buildings. In *III Scientific and Practical Conference "Buildings and Structures of Special Purpose: Modern Materials and Structures"* (pp. 27–28). Kyiv, Ukraine: KNUCA. [Ukrainian]
 15. **Kripak, V., & Kolyakova, V.** (2021). Interdependence of structural and calculation schemes of buildings. *Building Structures: Theory and Practice*, 1(8), 17–24. [Ukrainian]
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
 16. **Kripak, V., & Bakur, K.** (1997). Features of calculation and design of the foundation system "Reinforced concrete slab – soil base – piles". In *Proceedings of the International Jubilee Conference on Reliability of Building Structures*, Poltava, Ukraine. [Ukrainian]
 17. **Katzenbach, R., & Choudhury, D.** (2013). Combined Pile-Raft Foundation Guideline. Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt. [English]
 18. **Samorodov, A. V.** (2015). Method of optimal design of pile-raft foundations of multi-storey buildings considering permissible settlements. *Scientific Bulletin of Construction*, 1(79), 96–100. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. [Ukrainian]
 19. **Samorodov, A. V.** (2016). New design of pile-raft foundation. *Bulletin of Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 1(214), 58–65. Dnipro, Ukraine. [Ukrainian]

LITERATURE

1. **Основи та фундаменти споруд.** Зміна №1: ДБН В.2.1-10-2009. – [Чинний від 2011-07-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2011.* – 55 с. – (*Будівельні норми України*).
2. **Основи і фундаменти будівель та споруд.** ДБН В.2.1-10:2018. – [Чинний від 2019-01-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2018.* – 35 с. – (*Будівельні норми України*).
3. **Висотні будівлі. Основні положення.** ДБН В.2.2-41:2019. – [Чинний від 2020-01-01]. – К.: *Мінрегіонбуд України, 2019.* – 52 с. – (*Будівельні норми України*).
4. **Самородов А.В.** Мониторинг и анализ осадок многоэтажных зданий на свайно-плитных фундаментах в г. Харькове / [А.В. Самородов, Т.А. Наливайко, А.В. Конюхов, В.Б. Никулин и др.] // *Тези за матеріалами VII міжнародної наукової конференції "Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд". – Харків: ХНУБА, 20-21 жовтня 2015 р.* – С. 101-102.
5. **Седин В.Л., Бикус Е.М., Дюльдев А.О., Мельник А.М.** Впровадження комбінованого плитно-палевого фундаменту в Україні на прикладі будівництва підземного паркінгу в м. Одеса // *Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка.* – Полтава: 2013. С. 322-329.
6. **Петренко В.Д.** Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах /Петренко В.Д., Крисан В.І., Крисан В.В., Чегодаєв І.С. *Збірник наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика». Український державний університет науки і технологій, Дніпро, №19.2021р.* – с.78-84.
7. **Катценбах Р.** Баретты-эффективные фундаменты для высотных зданий./ Катценбах Р., Дунаевский Р.А., Муляр Д.Л., Дьяченко К.О.//*Нові технології в будівництві.2010-№2(20).* – С.28-37.
8. **Катценбах Р.** Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики / Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. // *Реконструкция городов и геотехническое строительство.* – 2005. – №9. – С. 80-99.
9. **Фиораванте В.** Физическое моделирование плитно-свайных фундаментов / Фиораванте В., Ямиолковский М.Б. // *Реконструкция городов и геотехническое строительство.* – 2006. – №10. – С. 200-206.
10. **Александрович В.Ф.** К вопросу о взаимном влиянии свай и плиты в основании свайно-плитного фундамента / Александрович В.Ф., Курилло С.В., Федоровский В.Г. // *Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство: тр. конф.* – 2003. – С. 125-143.
11. **Цимбал С.Й.** Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку / Цимбал С.Й., Карцева С.Л. // *Основи і фундаменти.* – К.: *КНУБА, 2004.* – Вип. 28. – С. 121-130.
12. **Кріпак В. . (2023).** Комплексний плитно-пальовий фундамент. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, (13), 30–40.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.13.2023.30-40>
13. **Кріпак В.Д.** Реконструкція будівель з використанням зовнішнього та внутрішнього металевих каркасів./ Кріпак В.Д., Дробаха О.К. // II Науково –практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, КНУБА, 24-25 травня 2018 р.), С. 93-96.
14. **Кріпак В.** Адекватність і взаємовплив конструктивної і розрахункової схеми будівлі. / Кріпак В., Колякова В., Демченко Д. //III Науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, КНУБА, 22-23 квітня 2021 р.) – 156 с. – С. 27-28.
15. **Кріпак В., & Колякова, В. (2021).** Взаємозалежність конструктивних і розрахункових схем будівлі. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 1(8), 17–24.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.8.2021.17-24>
16. **Кріпак В.,** Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «3/6 плита- ґрунтова основа-палі»/ Кріпак В., Бакур Хасіб. //Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівель-них констр. Полтава, 1997.
17. **Katzenbach R., Choudhury D.** Combined Pile-Raft Foundation Guideline / R. Katzenbach, D. Choudhury // Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt, 2013. – 23 p.
18. **Самородов А.В.** Метод оптимального проектування свайно-плитних фундаментов многоэтажных зданий по предельно допустимым осадкам / А.В. Самородов //

Науковий вісник будівництва. – Вип. 1(79). – Харків: ХНУБА, ХОТВАБУ, 2015. – С. 96-100.

19. **Самородов, А.В.** Новая конструкция плитно-свайного фундамента / А.В. Самородов // *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Вип. 1 (214). – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2016. – С. 58-65.*

ЕФЕКТИВНІСТЬ КОМБІНОВАНОГО ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ

*Володимир КРІПАК,
Віра КОЛЯКОВА
Даніїл КУЗЬМЕНКО*

Анотація. Відомо, що плитний фундамент, у більшості випадків, буде економнішим альтернативного пальового фундаменту. Ідея включення ростверку не нова і реалізована при проектуванні фундаментів у ряді західних країн. Але проектна реалізація цієї ідеї, на жаль, обмежена і відсутня. В нормативних документах України можна знайти, хіба що, лише нагадування про існування комбінованих плитно-пальових фундаментів (КППФ) і можливість їх використання.

У КППФ обидві компоненти фундаменту, плитний ростверк і палі, являються несучими елементами і при його проектуванні слід дотримуватися двох підходів, в залежності від того яка компонента ППФ являється основною.

Перший – де основним, базовим типом фундаменту являється плита на природній основі, а палями доповнюють плитний фундамент для покращення його функціональних якостей. Палями зменшують і

вирівнюють осідання плити, зменшують реактивний тиск під подошвою плити.

Другий – тут основною компонентою являються палі, а плитний ростверк включають в роботу для зменшення кількості паль. КППФ такого типу може бути досить ефективним при своєрідному нашаруванні ґрунтів, коли в ґрунтовому масиві на глибині 10...15 м проявляються лінзи слабкого ґрунту значної товщини і традиційний пальовий фундамент буде вимагати паль значної довжини.

У наведеній статті, на прикладі конкретного проектного рішення пальового фундаменту, показана можливість реалізації альтернативного рішення у вигляді комбінованого пальово-плитного фундаменту.

Розрахунково-аналітична модель будівлі утворена у вигляді просторової багато-елементної моделі. Плитний ростверк моделювався як плита на пружній основі зі змінним в плані коефіцієнтом пружного відпору ґрунту (коефіцієнтом постелі).

Розрахункові параметри моделі визначалися аналітично і програмно з використанням підпрограми ГРУНТ програмного комплексу ПК Ліра-САПФІР 2024.

Реалізований альтернативний варіант фундаменту у вигляді ППФ показав свою доцільність і ефективність, забезпечив усі вимоги по деформаціях і стійкості як ґрунтової основи так і паль. При незначній зміні конструктивного рішення ростверка, кількість паль зменшена з 290 до 190 шт.

Ключові слова: плитно-пальовий фундамент; ростверк; пальове поле; ґрунтова основа; осадка; підсилення; армування.

Стаття надійшла до редакції 28.03.2025 р.