

Дослідження напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій при визначенні вертикальної жорсткості паль за допомогою різних програмних комплексів

Василь Підлуцький¹, Олександр П'ятков², Василь Беган³

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна, 03037,

¹pidlutskyi.vl@knuba.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1936-3990

²av.pyatkov@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8797-151X

³began.vasya@gmail.com, orcid.org/0009-0008-0357-5762

DOI: 10.32347/0475-1132.47.2023.15-28

Анотація. Представлено результати числового моделювання взаємодії багатоповерхової будівлі, на пальовому фундаменту, з ґрунтовою основою в ПК «Ліра-САПР». Виконано порівняння напружено-деформованого стану фундаментних конструкцій при різних методах визначення вертикальної жорсткості (R_z) в одновузлових скінченних елементах СЕ 57 (цей СЕ призначений для моделювання роботи палі разом з ґрунтом, який її оточує, аналог СЕ 56, та може реалізувати взаємозв'язок з системою ГРУНТ). Палі змодельовано ланцюжком одновузлових СЕ 57, з'єднаних вертикальними стержнями.

У першому варіанті виконано розрахунок будівлі в ПК «Ліра-САПР». Для визначення вертикальних жорсткостей в СЕ 57 створено модель ґрунту з фізико-механічними характеристиками та задано нашарування відповідно до інженерно-геологічного розрізу в системі «ГРУНТ». Розрахунок вертикальних жорсткостей виконано з урахуванням взаємного впливу та за моделлю умовного фундаменту.

У другому варіанті визначення вертикальних жорсткостей (R_z) в СЕ 57 виконано за допомогою ПК «Plaxis 3D». Загальна модель надземних конструкцій, фундаментів та всі необхідні навантаження було створено в ПК «Ліра-САПР», після цього виконано експорт в ПК «Plaxis 3D», в якому попередньо було змодельовано основу у вигляді тривимірного ґрунтового масиву (з характеристиками та потужностями шарів аналогічно до створеного в системі ГРУНТ) з моделлю поведінки «Hardening soil». Після імпорту в ПК «Plaxis 3D» виконано розрахунок системи «Основа-Фундамент-Надземні конструкції» та



Василь Підлуцький
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Олександр П'ятков
доцент кафедри
геотехніки
к.т.н., доц.



Василь Беган
магістр кафедри
геотехніки

експорт отриманих значень вертикальних жорсткостей (R_z) в СЕ 57 в ПК «Ліра-САПР». Після експорту «уточнених» значень вертикальних жорсткостей в ПК «Ліра-САПР» виконано загальний статичний розрахунок та порівняння НДС фундаментних конструкцій з першим варіантом розрахунку.

Встановлено, що вертикальні жорсткості в СЕ 57 в першому варіанті більші, ніж у другому, відповідно загальні переміщення для першого варіанту менші. Показано важливість використання зв'язку «Ліра-САПР» з ПК «Plaxis 3D» або іншими спеціалізованими геотехнічними програмними комплексами для отримання більш точних результатів взаємодії системи «основа-

фундамент-надземні конструкції» в зв'язку з можливістю використання нелінійних моделей ґрунту, за допомогою яких можна краще описати поведінку основи.

Ключові слова. Числове моделювання, пильовий фундамент, ПК «Ліра-САПР», ПК «Plaxis 3D», CE 57, Hardening soil model.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для передачі навантажень від надземних конструкцій на основу найчастіше використовують пильові фундаменти. При розрахунку вертикальних жорсткостей пильових фундаментів важливо врахувати не тільки взаємний вплив палей, але й нелінійну роботу основи. В багатьох сучасних програмних комплексах, які використовують для розрахунку надземних конструкцій, немає можливості врахувати особливості поведінки основи (зміна жорсткості в залежності від рівня напружень, консолідація, дилатансія тощо). Деякі з цих особливостей можна врахувати в програмних комплексах, які призначені для геотехнічних розрахунків, наприклад, такі як «Plaxis», «Midas GTX NX», «Z-Soil» та інші, але у них не так зручно моделювати та аналізувати результати розрахунків надземних конструкцій.

Важливим етапом є правильне визначення жорсткості фундаментів, тому що це впливатиме на весь надземний каркас і в свою чергу на необхідну площу армування конструкцій. Якщо жорсткості визначено невірно, то це може привести до перевитрат матеріалів (в кращому випадку) або до руйнування конструкцій.

Для вирішення цієї проблеми було досліджено зв'язок ПК «Ліра-САПР» з ПК «Plaxis 3D» та показано важливість використання саме геотехнічних програм для визначення вертикальних жорсткостей палей.

МЕТА РОБОТИ

Виконати порівняння НДС фундаментних конструкцій, в яких вертикальні жорсткості палей визначені за допомогою різних програмних комплексів. Показати важливість використання спеціалізованих

геотехнічних програмних комплексів, в яких є можливість врахувати нелінійну поведінку ґрунту, для визначення вертикальної жорсткості палей та порівняти результати.

ОСНОВНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

В програмному комплексі «Ліра-САПР» було створено числову модель багатоповерхової каркасно-монолітної будівлі за допомогою стержневих (CE 10) та пластинчастих (CE 44) елементів (рис. 1). Палі змодельовано ланцюжком одноузлових CE 57, з'єднаних між собою вертикальними стержнями (CE 10) (рис. 2). Довжина палей – 10 м, форма поперечного перерізу – круг діаметром 620 мм.

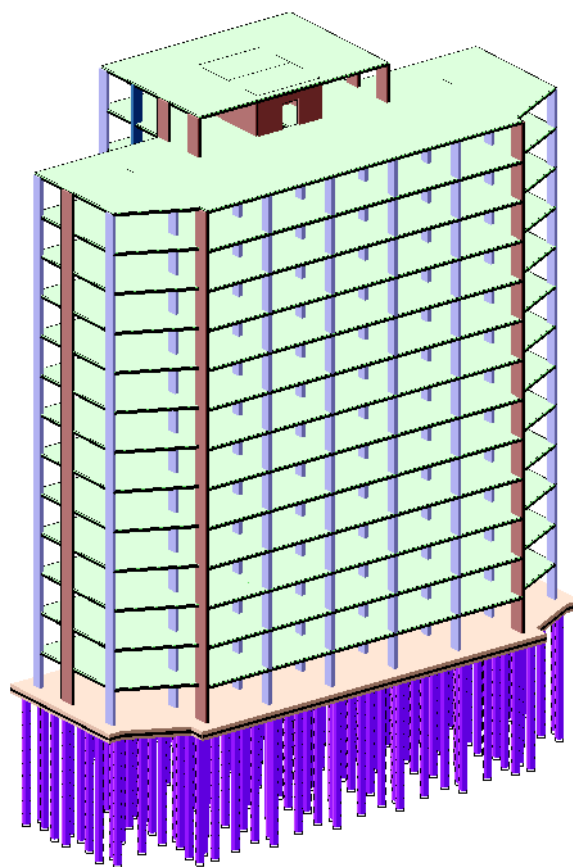


Рис.1. Загальний вигляд розрахункової моделі надземних конструкцій в ПК «Ліра-САПР».

Fig.1. General overview of the computational model for above-ground structures in «Lira-SAPR» software.

Ґрунтовий масив у системі ҐРУНТ задано відповідно до інженерно-геологічного розрізу, який наведено на Рис. 6. Параметри ґрунтів задано згідно з таблицею 1 інженерно-геологічних вишукувань.

Модель ґрунту, створена в ПК «Ліра-САПР», наведена на Рис. 3. В програмному комплексі «Plaxis 3D» було створено модель ґрунтового масиву (Рис. 4) розмірами 100x85x35 м.

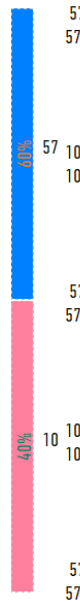


Рис.2. Загальний вигляд скінченних елементів які моделюють роботу палі в ПК «Ліра-САПР».

Fig.2. General representation of finite elements modeling the behavior of pile in «Lira-SAPR» software.

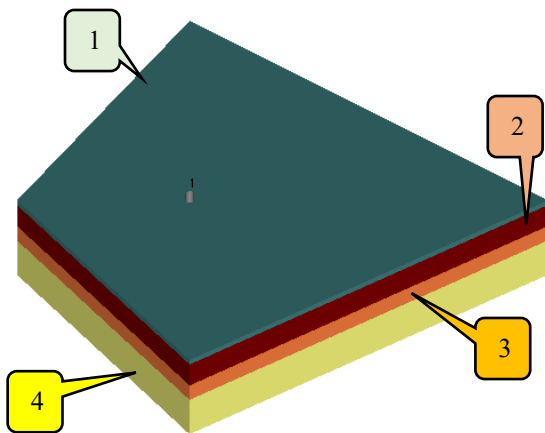


Рис.3. Модель ґрунту в ПК «Ліра-САПР».

Fig.3. Soil model in «Lira-SAPR» software.

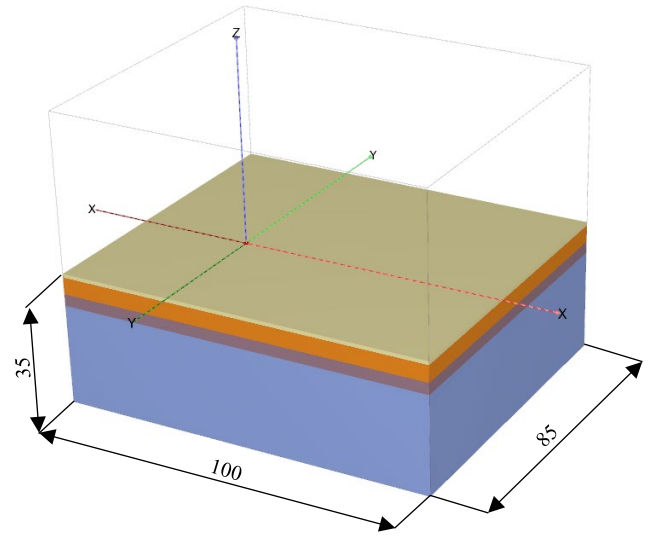


Рис.4. Модель ґрунту в ПК «Plaxis 3D».

Fig.4. Soil model in «Plaxis 3D» software.

Наступним етапом був експорт моделі з ПК «Ліра-САПР» в ПК «Plaxis 3D» з врахуванням заданих навантажень та призначених жорсткостей конструкцій. Після експорту було створено 7 фаз, для моделювання стадій будівництва. Загальний вигляд системи «основа-фундамент-надземні конструкції» в ПК «Plaxis 3D» наведено на Рис. 5.

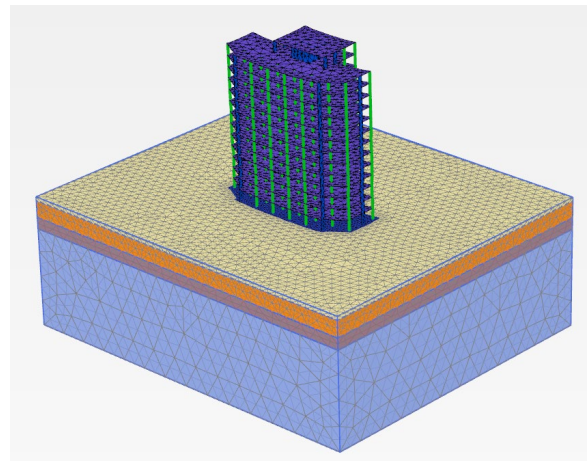


Рис.5. Загальний вигляд системи «Основа-Фундамент-Надземні конструкції» в ПК «Plaxis 3D».

Fig.5. The overall view of the «Soil-Foundation-Structure» system in «Plaxis 3D» software.

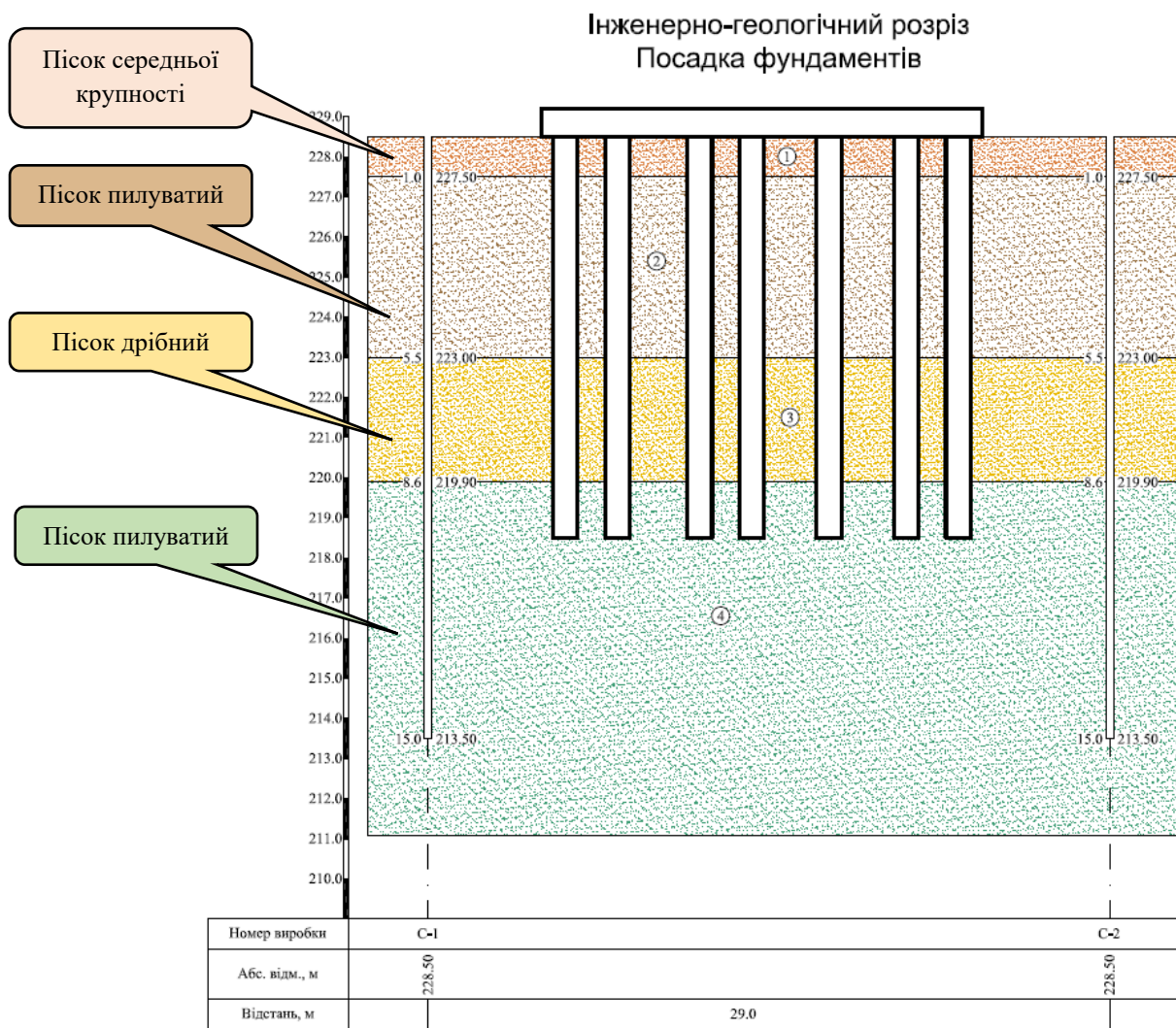


Рис.6. Інженерно-геологічний розріз майданчика будівництва та посадка фундаментів.
Fig.6. Engineering-geological cross-section of the construction site and foundation placement.

Табл. 1. Показники фізико-механічних властивостей ґрунтів
Table 1. Indicators of physical and mechanical properties of the soils

ІГЕ	Щільність, ρ	Коеф. пористості, e	Коеф. Пуассона, ν	Параметри міцності				Параметри жорсткості					Параметри початкового НДС		
				φ	C	R_f	ψ	E_{50}^{ref}	E_{oed}	E_{ur}	ν_{ur}	m	p_{ref}	K_0^{nc}	OCR
	г/см ³	–	–	°	кПа	–	°	МПа	МПа	МПа	–	–	кПа	–	–
1	1.92	0.6	0.33	32	7.8	0.66	6.1	32.1	25.7	121.1	0.2	0.71	50	0.38	1
2	1.89	0.66	0.33	24.9	12.3	0.74	5.1	14.1	11.3	117.3	0.2	0.88	50	0.5	1
3	1.95	0.58	0.33	30.3	11.2	0.76	6.5	13.3	10.4	117.3	0.2	0.76	60	0.41	1
4	2.01	0.55	0.33	26.8	5.1	0.67	5.6	64	31.6	192	0.2	0.57	150	0.45	1

Hardening Soil Model

Важливу роль в сучасному геотехнічному проектуванні відіграють числові методи розрахунку. Сучасні будівлі мають складну просторову форму, нерівномірний розподіл навантажень і взаємодіють з неоднорідними за будовою та властивостями ґрунтовими основами. Врахування всіх цих факторів можливе тільки при застосуванні числового моделювання.

Однією з найбільш універсальних моделей, яка реалізована в багатьох програмних комплексах, є модель ґрунту, який зміцнюється, Hardening Soil (HS). Окремі положення даної моделі сформовані більше 50-ти років назад в роботах іноземних дослідників, але свій остаточний вигляд модель прийняла в 1999 році.

Основною особливістю цієї моделі є прийнята гіперболічна залежність між вертикальними деформаціями ε_1 та девіаторним напруженням $\sigma_1 - \sigma_3$ при першому тривісному навантаженні (Рис.7).

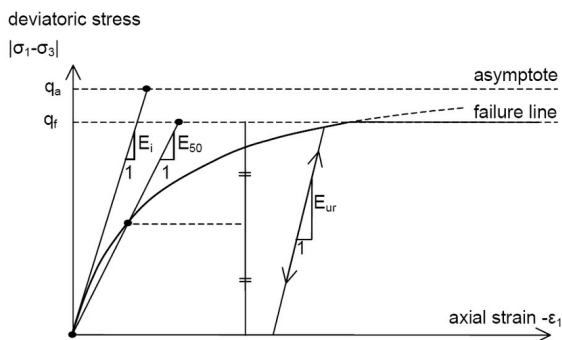


Рис.7. Графік залежності деформації від девіаторного напруження в моделі HS.

Fig.7. Graph of strain versus deviatoric stress in the HS model..

Дана залежність описується наступною формулою:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_i} \cdot \frac{q}{1 - \frac{q}{q_a}}, \quad (1)$$

де ε_1 – відносні деформації, E_i – початковий модуль деформації, q_a – поточне значення девіатора напружень, $q = \sigma_1 - \sigma_3$ – граничне (асимптотичне) значення опору зсуву.

Початковий модуль деформації визначається в залежності від сікучого модуля деформації при 50%-вій міцності (2):

$$E_i = \frac{2E_{50}}{2 - R_f}, \quad (2)$$

Де E_{50} – січний модуль деформації, R_f – відношення між розрахунковим та асимптотичним значенням опору зсуву. Таким чином, для побудови залежності деформацій від напружень в моделі використовується гіперболічна залежність, параметрами якої є граничне значення опору зсуву і сікучий модуль деформації.

Всі параметри моделі Hardening Soil можуть бути умовно розділені на декілька груп. До першої групи відносяться параметри, які характеризують поведінку моделі при деформуванні – опорні значення модулів деформації E_{50}^{ref} , E_{oed}^{ref} , E_{ur}^{ref} та коефіцієнт Пуассона ν_{ur} . Всі ці параметри отримують на основі тривісних випробувань зразків ґрунту.

До другої групи відносяться параметри міцності – кут внутрішнього тертя, питоме зчеплення, кут дилатансії. Модель Hardening Soil використовує параметри міцності, аналогічні моделі Мора – Кулона. Відповідно, параметри міцності є константами, які визначають поведінку ґрунту при зсуві, а їх величина залежить виключно від типу ґрунту.

Найбільш цікавою є третя група параметрів, яка відповідає за «калібрування» моделі і достовірність опису поведінки реального ґрунту. До цих параметрів відноситься опорний тиск та степеневий показник жорсткості від рівня напруги.

Індексом «ref» позначено всі характеристики, які визначені в ході випробувань зразка в умовах природного залягання, тобто при всебічному обтисненні p_{ref} . Рекомендоване значення складає 100 кПа, але при реальних випробуваннях його необхідно приймати в залежності від глибини отриманого зразка.

Степеневий показник жорсткості m – один з основних параметрів моделі, який визначає наскільки змінюється жорсткість при

зміні всебічного тиску. Визначення даного параметру, по результатах лабораторних випробувань, необхідно виконувати на основі компресійної залежності або на основі тривісного тиску, виконаному при різних значеннях бокового тиску.

Визначення вертикальної жорсткості паль в ПК «Ліра-САПР»

Жорсткість ґрунтової основи, що оточує палю, концентрується в одновузлових скінченних елементах типу 57 (CE 57), які з'єднуються вертикальними стержнями, що моделюють тіло палі.

Розрахунок вертикальної жорсткості палі за теоретичними значеннями осідання та несучої здатності. Під час розрахунку жорсткості палі цим способом вертикальна жорсткість ґрунтової основи розподіляється по довжині палі пропорційно граничній теоретичній несучій здатності ґрунту F_d , обчисленій за формулою (1):

$$F_d = R \cdot A \cdot \gamma_{R,R} \cdot \gamma_C + \sum_{i=1}^n f_i \cdot u \cdot h_i \cdot \gamma_{R,f} \cdot \gamma_C, (1)$$

де R – розрахунковий опір ґрунту під п'ятою палі, f_i – розрахунковий опір i -го шару ґрунту по бічній поверхні, h_i – його ширина, A – площа п'яти палі, u – периметр стовбура палі.

Тоді жорсткість ґрунту під п'ятою палі обчислюється за формулою (2):

$$EA_{п'яти} = \frac{R \cdot A \cdot \gamma_{R,R} \cdot \gamma_C}{S_{Fd}}, (2)$$

А жорсткість i -го шару ґрунту вздовж довжини палі обчислюється за формулою (3):

$$EA_i = \frac{f_i \cdot u \cdot h_i \cdot \gamma_{R,f} \cdot \gamma_C}{S_{Fd}}, (3)$$

де S_{Fd} – теоретичне осідання палі при

навантаженні $F = F_d$.

Теоретичне значення осідання палі для одиничної плити без розширення п'яти визначається за наступною формулою:

$$s_{Fd} = \beta \cdot \frac{F_d}{G_1 \cdot l}, (4)$$

З врахуванням взаємовпливу осідання i -ї палі визначається за формулою (5):

$$s_i = s(N_i) + \sum_{j \neq i} \delta_{ij} \frac{N_j}{G_1 l}, (5)$$

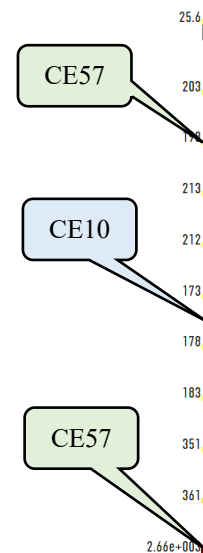


Рис.8. Розподіл значень вертикальної жорсткості (R_z) в кожному CE 57 по всій висоті палі.

Fig.8. Distribution of the vertical bearing capacity values (R_z) in each FE 57 along the entire pile height.

Загальний вигляд конструкцій в рівні ростверку показано на Рис. 9.

Для подальшого порівняння виділено декілька дослідних паль в характерних зонах (кутовій зоні, крайній зоні, зоні ядра жорсткості та в середній зоні).

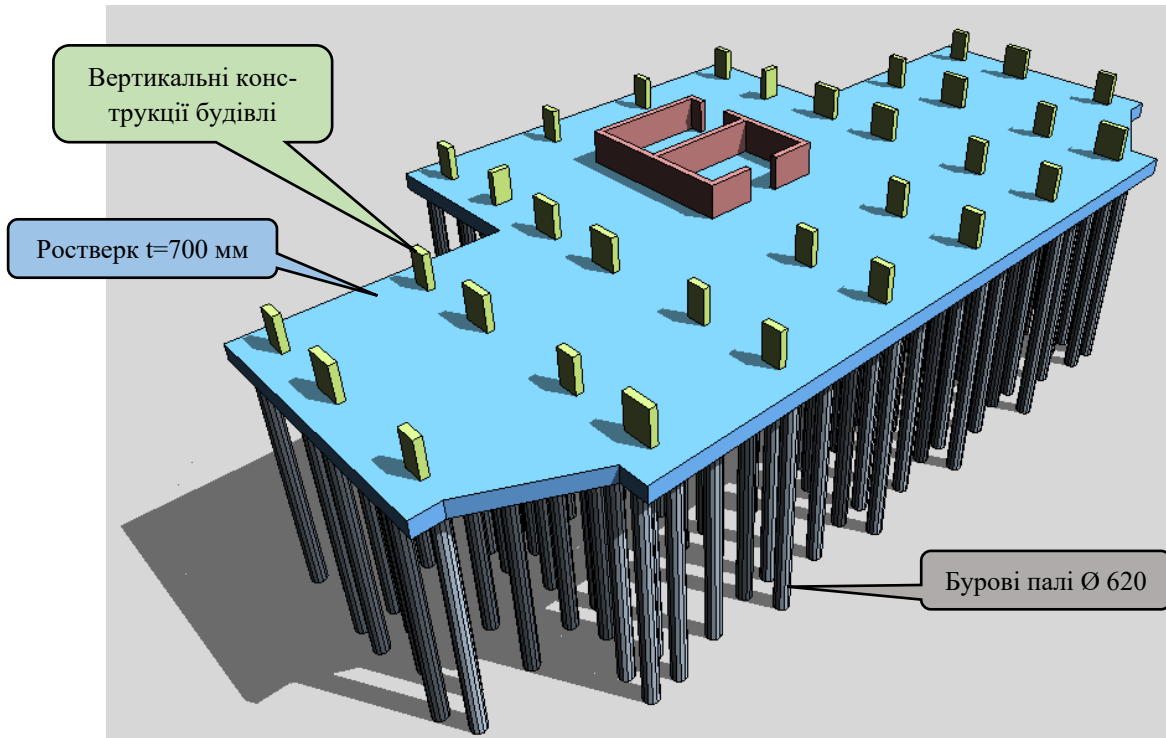


Рис.9. Загальний вигляд фундаментних конструкцій будівлі.
Fig.9. General view of the building's foundation structures

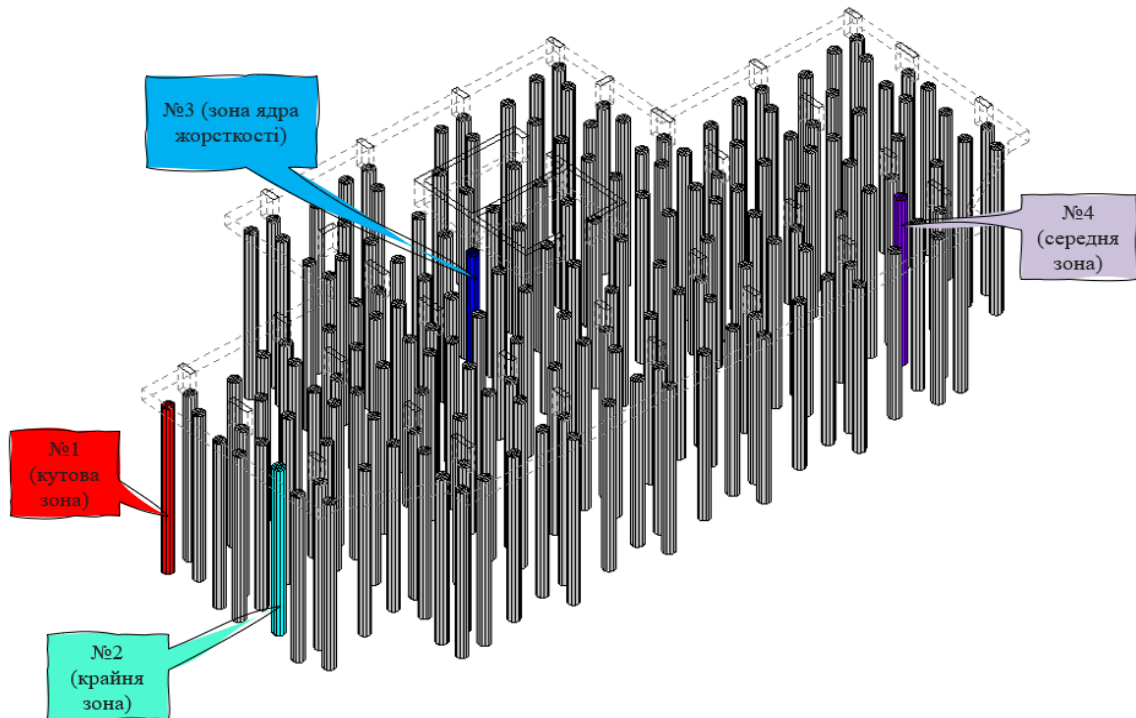


Рис.10. Виділені дослідні групи палей в характерних зонах.
Fig.10. Selected pilot groups of piles in characteristic areas.

Для другого варіанту розрахункової схеми виконано визначення вертикальних жорсткостей паль в ПК «Plaxis 3D», після імпорту загальної розрахункової схеми з ПК «Ліра-САПР». Загальний вигляд деформованої схеми системи «основа-фундамент-надземні конструкції» з ПК «Plaxis 3D» наведено на Рис. 11.

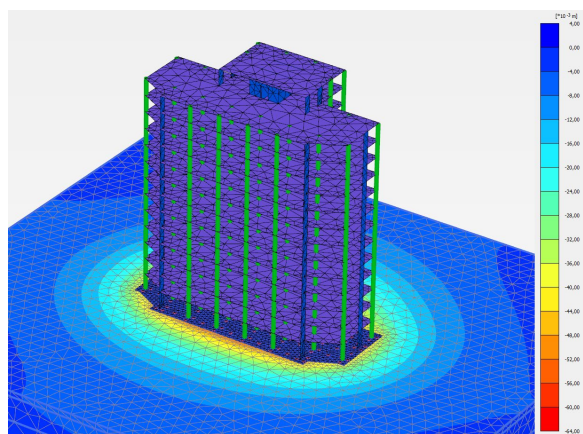


Рис.11. Загальний вигляд деформованої схеми системи «Основа-Фундамент-Надземні конструкції» в ПК «Plaxis 3D».

Fig.11. Overall view of the deformed scheme of the «Soil-Foundation-Structure» system in «Plaxis 3D» software.

Після розрахунку загальної системи в ПК «Plaxis 3D» було передано значення вертикальних жорсткостей в СЕ 57 до ПК «Ліра-САПР» та виконано статичний розрахунок. Значення вертикальних переміщень ростверку наведено на Рис. 15-16 та значення згинальних моментів, які виникають в пластинчастих елементах ростверку на Рис. 17-20.

Також, варто зазначити, що перевагою виконання розрахунків в геотехнічних програмних комплексах є те, що можна виконати аналіз напружено деформованого стану основи. На Рис. 12 показано максимальні деформації основи в перерізі по центру моделі.

Відображення пластичних точок показано на Рис. 13 та пояснення до них наведено на Рис. 14.

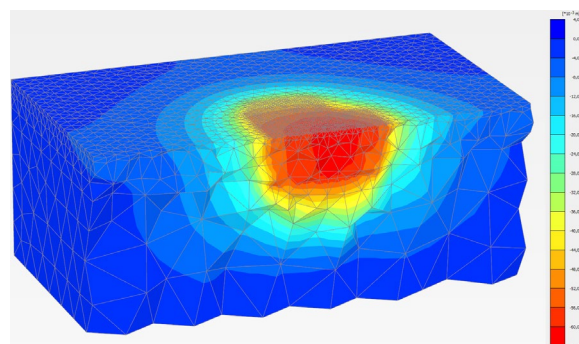


Рис.12. Загальний вигляд деформованої схеми системи «Основа-Фундамент-Надземні конструкції» в ПК «Plaxis 3D».

Fig.12. General view of the deformed scheme of the «Soil-Foundation-Structure» system in «Plaxis 3D» software.

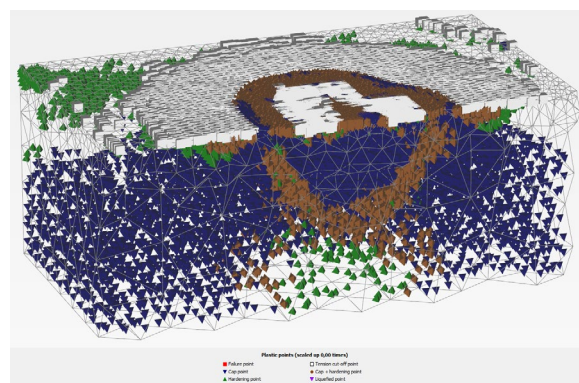


Рис.13. Пластичні точки основи в ПК «Plaxis 3D».

Fig.13. Plasticity points of the soil in «Plaxis 3D» software.

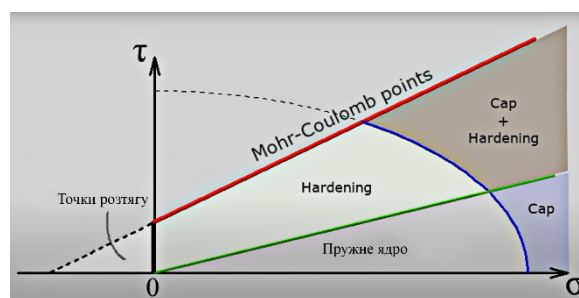


Рис.14. Пояснення до кольорів пластичних точок в ПК «Plaxis 3D».

Fig.14. Explanation of the colors of plastic points in the «Plaxis 3D» software.

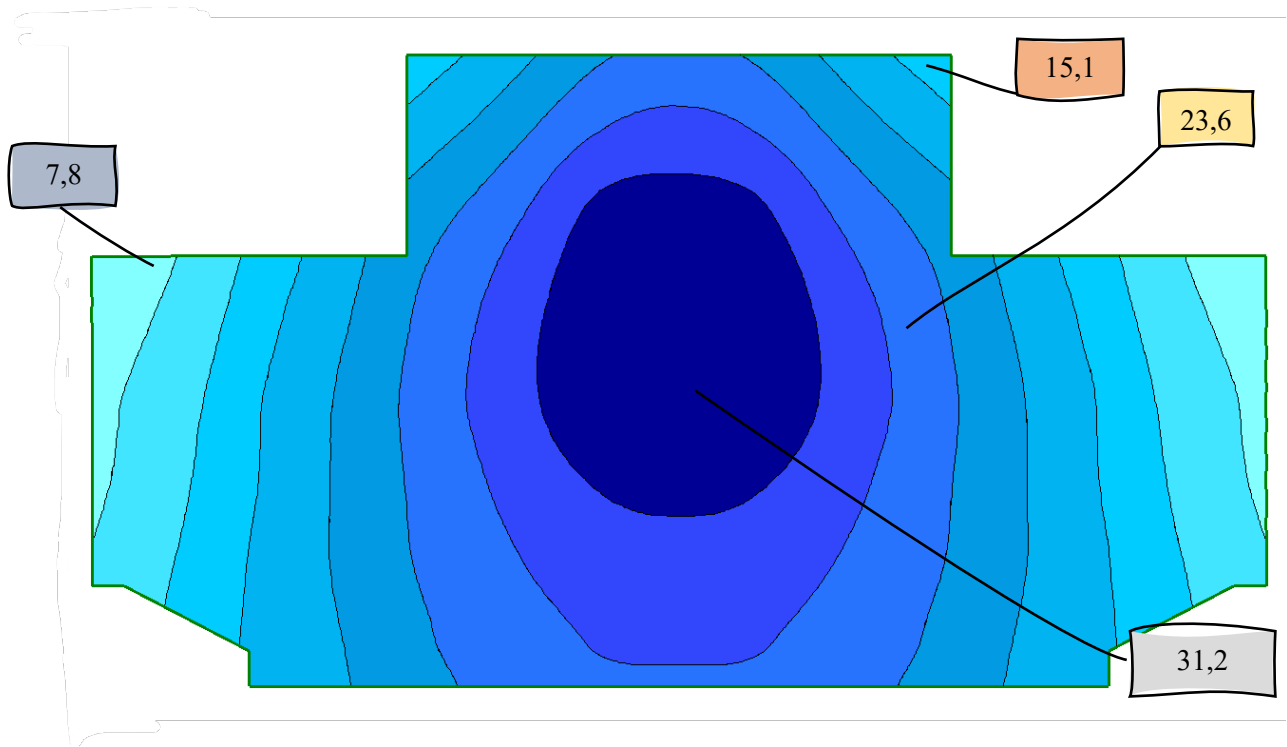


Рис.15. Ізополя вертикальних (вздовж осі Z) переміщень в ростверку для 1-го варіанту розрахунку.
Fig.15. Contour plot of vertical (along the Z-axis) displacements in the slab for the first calculation variant.

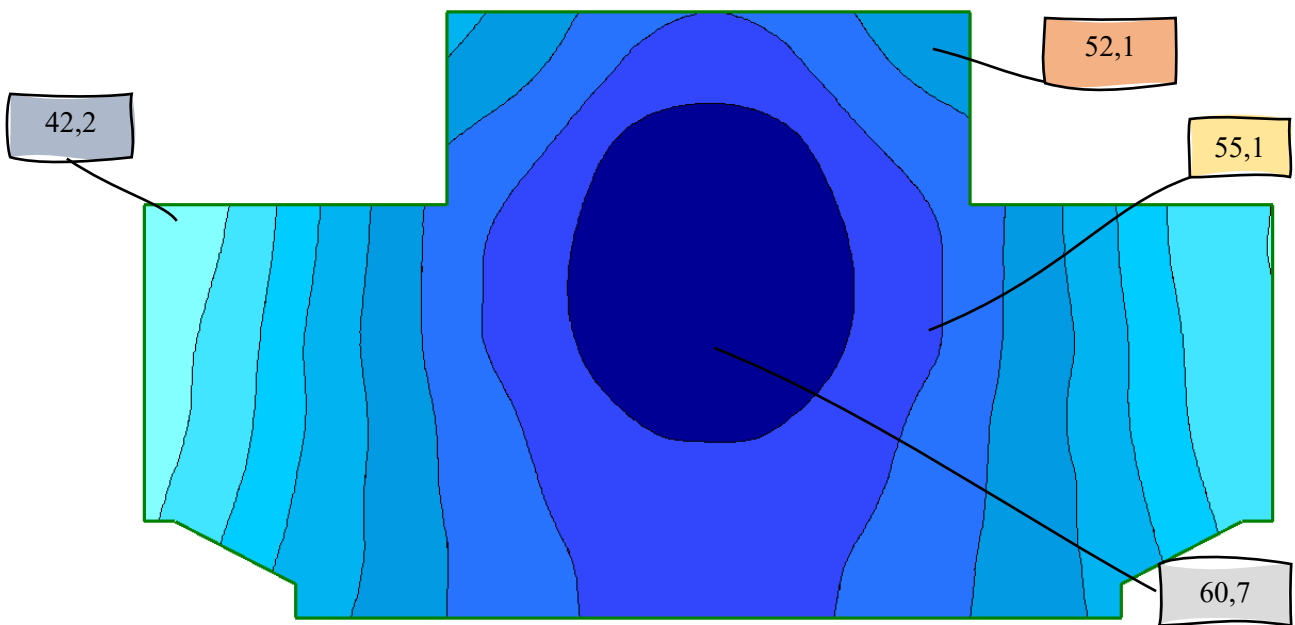


Рис.16. Ізополя вертикальних (вздовж осі Z) переміщень (мм) в ростверку для 2-го варіанту розрахунку.
Fig.16. Contour plot of vertical (along the Z-axis) displacements in the slab for the second calculation variant.

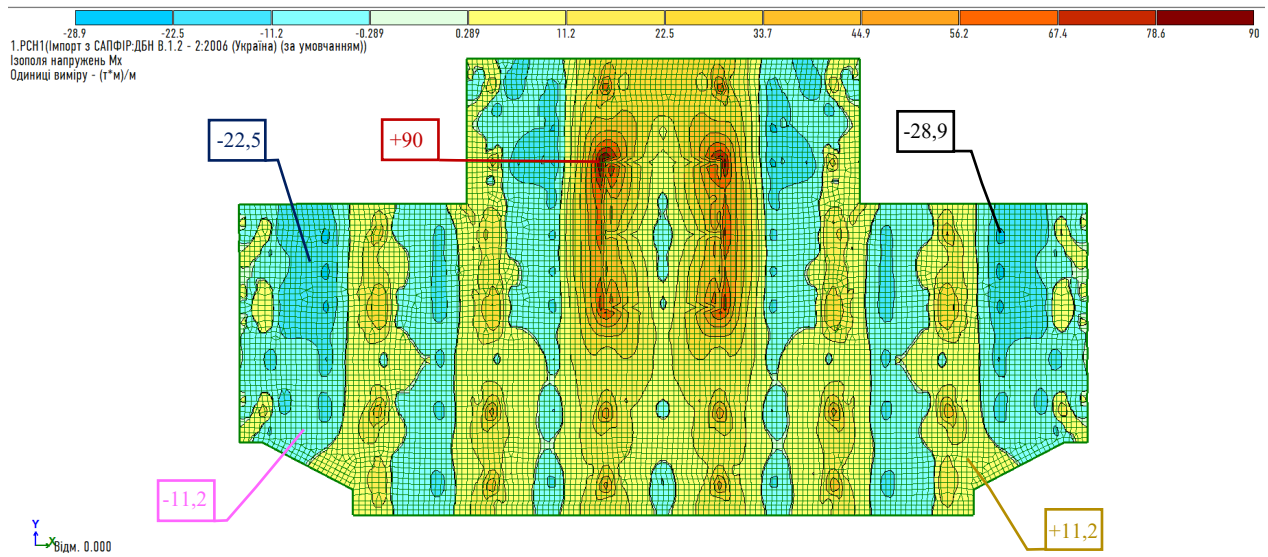


Рис.17. Значення згинальних моментів M_x в пластинчастих елементах ростверку 1-го варіанту розрахунку ($\text{тс}^*\text{м}/\text{м}$).

Fig.17. The values of bending moments (M_x) in the plate elements of the slab for the first calculation variant ($\text{тс}^*\text{м}/\text{м}$).

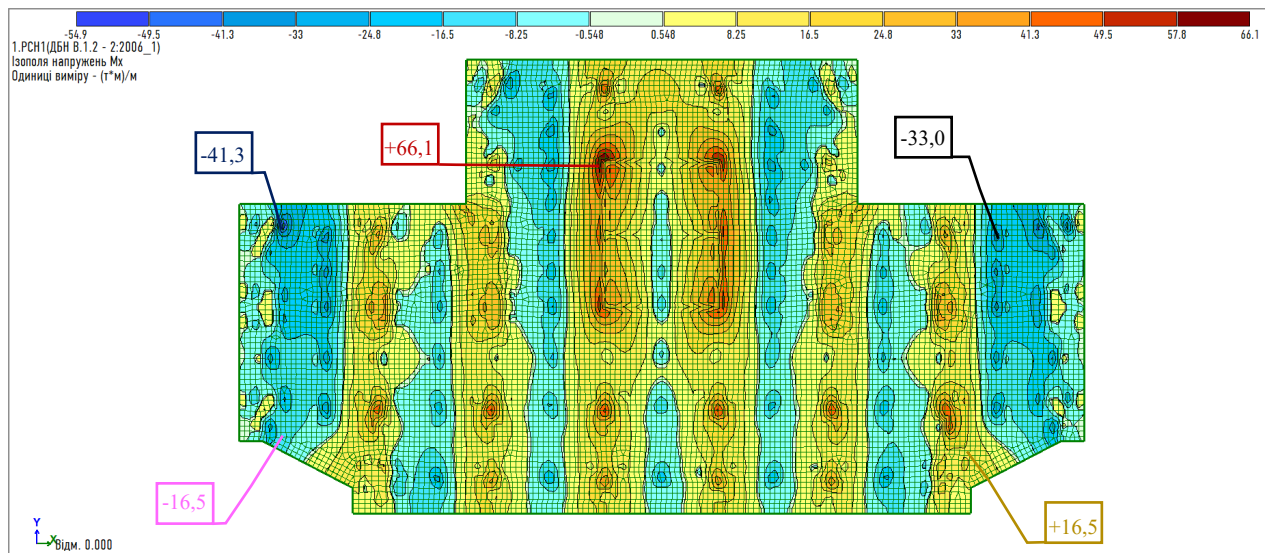


Рис.18. Значення згинальних моментів M_x в пластинчастих елементах ростверку 2-го варіанту розрахунку ($\text{тс}^*\text{м}/\text{м}$).

Fig.18. The values of bending moments (M_x) in the plate elements of the slab for the second calculation variant ($\text{тс}^*\text{м}/\text{м}$).

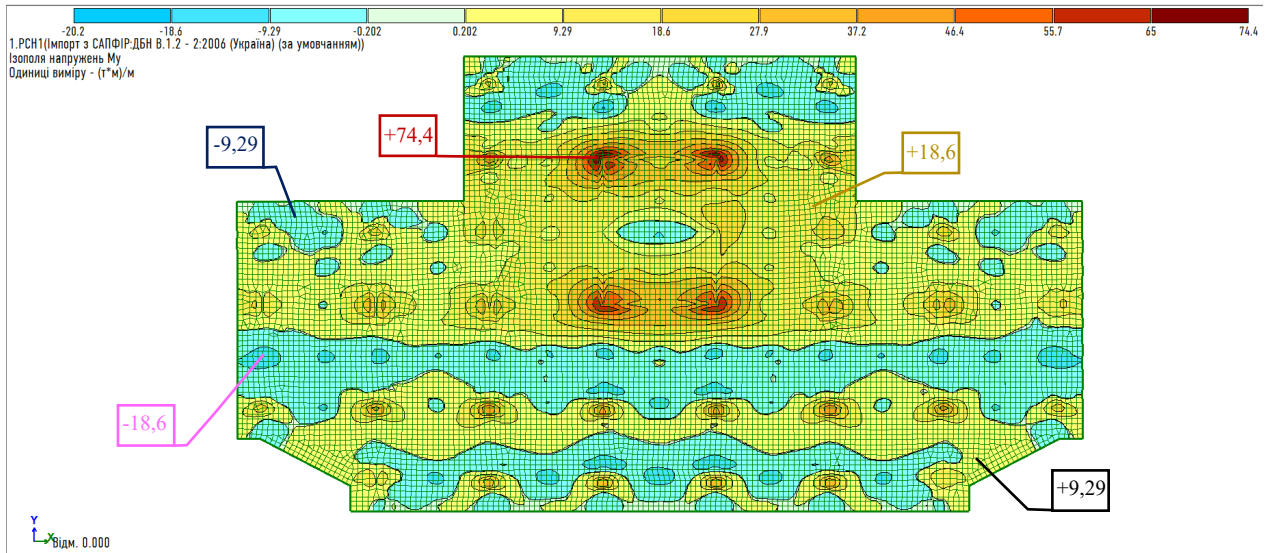


Рис.19. Значення згинальних моментів M_y в пластинчастих елементах ростверку 1-го варіанту розрахунку (τ^*m/m)

Fig.19. The values of bending moments (M_y) in the plate elements of the slab for the first calculation variant (τ^*m/m).

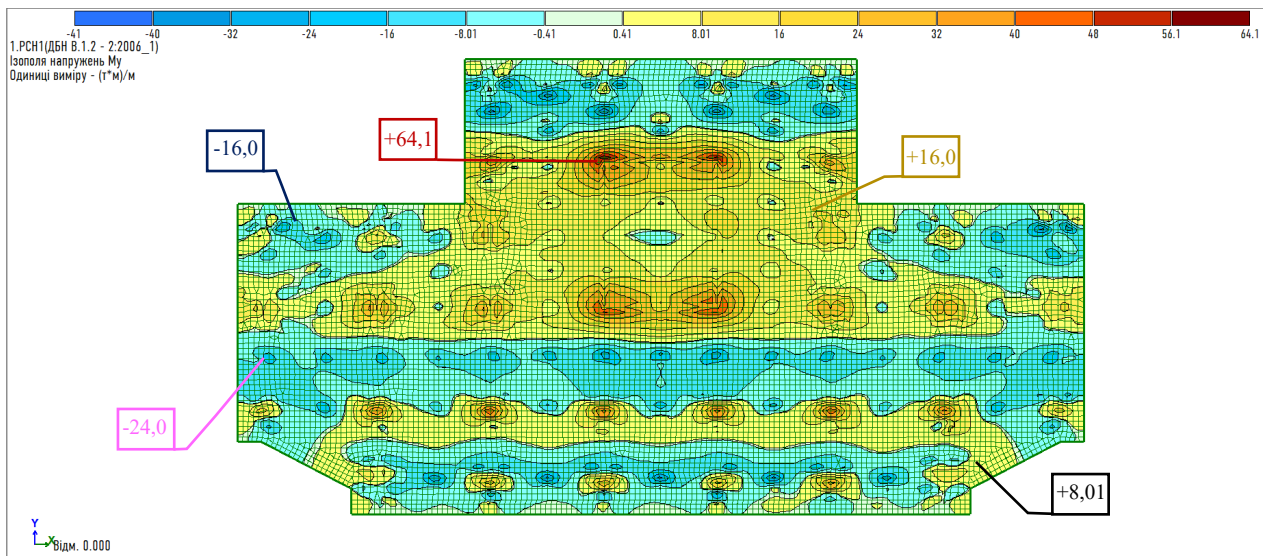


Рис.20. Значення згинальних моментів M_y в пластинчастих елементах ростверку 2-го варіанту розрахунку (τ^*m/m)

Fig.20. The values of bending moments (M_y) in the plate elements of the slab for the second calculation variant (τ^*m/m).

В результаті порівняння розрахунків було виявлено, що результати НДС фундаментних конструкцій **1-го варіанту** відрізняються від **2-го варіанту**. Графіки порівняння вертикальних жорсткостей в СЕ 57 для обраних паль наведено на Рис. 21, а порівняння внутрішніх зусиль в даних палях - на Рис.22. Діаграма порівняння значень максимальних згинальних моментів в ростверку та максимальних переміщень та наведені відповідно на Рис. 23-24.



Рис.21. Діаграма порівняння вертикальних жорсткостей в обраних палях для двох варіантів розрахунку.

Fig.21. Diagram comparing vertical stiffness values in selected piles for two calculation variants.

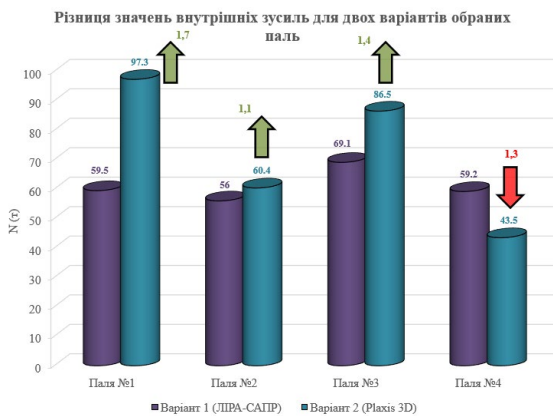


Рис.22. Діаграма порівняння внутрішніх зусиль в обраних палях для двох варіантів розрахунку.

Fig.22. Diagram comparing internal forces in selected piles for two calculation variants.

На графіках показано, що значення вертикальних жорсткостей паль, в **другому варіанті** розрахунку менші, приблизно у 3

рази, ніж у **першому варіанті**, а відповідно значення внутрішніх зусиль (N) навпаки більші майже у **1,5 рази**, у **другому варіанті**.

На Рис. 23 показано, що значення моментів в ростверку менші при **другому варіанті** майже у **1,5 рази**, порівняно з **першим варіантом**.

На Рис. 24 показано різницю максимальних значень вертикальних переміщень ростверку для двох варіантів розрахунку. Встановлено, що значення максимальних переміщень ростверку майже в **2 рази** більші у **другому варіанті**.

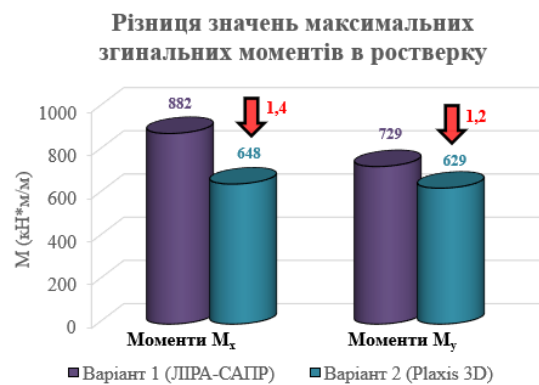


Рис.23. Діаграма порівняння значень максимальних згинальних моментів в ростверку для двох варіантів розрахунку.

Fig.23. Diagram comparing the maximum bending moments values in the grillage for two calculation variants.

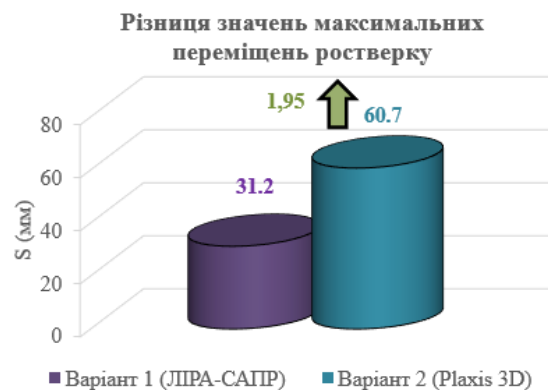


Рис.24. Діаграма порівняння значень максимальних переміщень ростверку для двох варіантів розрахунку.

Fig.24. Diagram comparing the maximum vertical displacement in the grillage for two calculation variants.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Встановлено, що значення вертикальних жорсткостей в палях, які визначені для **другого варіанту**, за допомогою спеціалізованого геотехнічного програмного комплексу, суттєво відрізняються від значень жорсткостей, отриманих у **першому варіанті**. Показано, що розподіл жорсткостей має схожий характер в обох варіантах, але самі значення суттєво відрізняються – значення у **2 варіанті** приблизно у **3 рази менші**, ніж у **першому варіанті**.

Показано, що така різниця значень вертикальних жорсткостей найбільше впливає на значення вертикальних переміщень ростверку. Переміщення ростверку для **другого варіанту** майже в **2 рази більші**, ніж у **першому**. Також, це впливає і на напружено-деформований стан фундаментних конструкцій. Доведено, що при **другому варіанті** значення максимальних згинальних моментів, які виникають в ростверку, менші майже у **1,5 рази**, ніж при **першому варіанті**, але значення внутрішніх зусиль (N) в палях для **другого варіанту** більші у **1,5 рази**, ніж для **першого**.

З'ясовано, що врахування більш складних нелінійних моделей поведінки ґрунту (на прикладі моделі Hardening Soil) суттєво впливає на НДС фундаментних конструкцій, що в свою чергу впливає на необхідну площу армування конструкцій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бойко І. Числове моделювання взаємодії бу-роін'єкційної палі з ґрунтовим масивом при дії статичного вертикального навантаження. / І. Бойко, О. Кривенко // *Основи та фундаменти: Науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2021. – Вип. 43. – С. 9-16.
2. Duncan J.M. Nonlinear analysis of stress and strain in soils. / J.M. Duncan, C.-Y. Chang // *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. – USA. – 1970. – 96. P.1629-1653.
3. Shanz T. The Hardening Soil Model: Formulation and verification. / T. Shanz, P.A. Vermeer // *Beyond 2000 in*

Computational Geotechnics. Balkema. Rotterdam. – 1999. – 1.P.281-290.

4. Основи та фундаменти споруд. Зміна № 1: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55с.
5. Бойко І.П. Особливості взаємодії пальових фундаментів під висотними будинками з їх основою. / І.П.Бойко // *Основи і фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К.: КНУБА. – 2006. – Вип. 30. – С. 3-8.

REFERENCES

1. Boyko I., Krivenko O. (2021). Chuslove modelivannia vzaiemodii byroinektiinoi pali z gryntovum masivom pru dii statuchnogo vertikalnogo navantajennia [Numerical simulation of interaction continuous flight auger pile with a soil mass under static vertical load]. *Osnovu ta fundamenti: Naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 43, 9-16 (in Ukrainian).
2. Duncan J.M., Chang C.-Y. (1970). Nonlinear analysis of stress and strain in soils. *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. USA. 96. P.1629-1653.
3. Shanz T., Vermeer P.A. (1999). The Hardening Soil Model: Formulation and verification. *Beyond 2000 in Computational Geotechnics*. Balkema. Rotterdam. 1. P.281-290.
4. Osnovy ta fundamenti sporud. Zmina 1: DBN V.2.1–10–2009. (2011). Kyiv: Minregionbud Ukrayiny, 55 (in Ukrainian).
5. Boyko I.P. (2006). Osoblyvosti vzaiemodii palovykh fundamentiv pid vysotnymy budynkamy z yikh osnovoju [Features of the interaction of pile foundations under high-rise buildings with their foundation]. *Osnovu i fundamenti: Mizhvidomchyj naukovo-tekhnichnyj zbirnyk*. Kyiv: KNUBA, 30, 3-8 (in Ukrainian).

Investigation of the stress-strain state of foundation structures in determining the vertical stiffness of piles using different software systems

Vasyl Pidlutskyi,
Oleksandr Piatkov,
Vasyl Behan

Summary. The results of numerical modeling of the interaction between a multi-storey building on a pile foundation and the soil base in the "Lira-SAPR" software are presented. A comparison of the stress-

strain state of foundation structures was performed using different methods for determining vertical stiffness (R_z) in single-node FE 57 (this element is designed to model the behavior of a pile together with the surrounding soil, similar to FE 56, and can implement the interaction with the "SOIL" system). Piles were modeled by a chain of single-node FE 57 connected by vertical bars.

In the first variant, the calculation of the building was performed in the "Lira-SAPR" software. To determine the vertical stiffness in FE 57, a soil model with physical-mechanical characteristics was created, and layering was defined according to the engineering-geological cross-section in the "SOIL" system. The calculation of vertical stiffness took into account mutual influence and the model of the conditional foundation.

In the second variant, the determination of vertical stiffness (R_z) in FE 57 was carried out using the "Plaxis 3D" software. The overall model of above-ground structures, foundations, and all necessary loads were created in the "Lira-SAPR" software. Subsequently, an export to "Plaxis 3D" was performed, where the soil was previously modeled as a three-dimensional soil mass (with characteristics and strengths of layers similar to those created in the "SOIL" system) using the "Hardening soil" behavior model. After the import into "Plaxis 3D," the analysis of the "Soil-Foundation-Structure" system was conducted, and the obtained values of vertical stiffness (R_z) in FE 57 were exported back to "Lira-SAPR". After the export of "refined" values of vertical stiffness to "Lira-SAPR", a general static analysis and comparison of the stress-strain state of foundation structures with the first calculation variant was performed.

It was established that the vertical stiffness in FE 57 in the first variant is higher than in the second, accordingly, the total displacements for the first variant are smaller. The importance of using the connection between "Lira-SAPR" and "Plaxis 3D" or other specialized geotechnical software complexes was demonstrated to obtain more accurate results of the interaction of the "Soil-Foundation-Structure" system due to the possibility of using nonlinear soil models to better describe the behavior of the foundation.

Keywords: Numerical modeling, pile foundation, "Lira-SAPR" software, "Plaxis 3D" software, Finite Element 57, Hardening soil model.