Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра

Виконав: студент 2-го курсу, групи Б-23 м
за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія»
_____ А. Р. Козуб
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц.
(наукова ступінь, вчене звання)
_____ І. В. Маєвська
(підпис) (ініціали та прізвище)
«17» 12 2024 р.

Опонент к.т.н., проф. каф. УСБ
(наукова ступінь, вчене звання)
_____ Коц У.В
(підпис) (ініціали та прізвище)
«17» 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри БМГА
_____ к.т.н., доц. В. В. Швець
(підпис) (ініціали та прізвище)
«17» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ – 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії
Кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури
Ступінь вищої освіти магістр
Галузь знань 19 Архітектура та будівництво
(шифр і назва)
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва)
Освітня програма Промислове та цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМГА
Швець В.В.
" 11 " 10 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТА

Козубу Андрію Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра
керівник роботи Маєвська І.В., к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від " 17 " 09 2024 року № 310
2. Строк подання студентом роботи 30.11.2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту проектування, результати інженерно-геологічних вишукувань. Передбачається проектування багатоквартирного житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення в м. Вінниці каркасно-монолітної конструкції з стінами з цегли з зовнішнім утепленням. Перекриття монолітні залізобетонні. Фундамент пальовий. Покрівля плоска суміщена з рулонних матеріалів. Передбачене автономне опалення.
4. Зміст текстової частини (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ (актуальність та новизна наукових досліджень, об'єкт, предмет, мета і задачі, практична значимість, методи досліджень, апробація)
1.Науково-дослідна частина (огляд літературних джерел, Аналіз досвіду використання контінуальної розрахункової схеми основи для розрахунку паль. Опанування програмного комплексу Ліра, який базується на використанні чисельного методу скінчених елементів. Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті. Порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту. Планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик грунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту. Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи. Аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

2. Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту (розрахунок планувальних відміток генплану, специфікації на збірні залізобетонні конструкції, віконні та дверні заповнення, експлікація підлоги, теплотехнічний розрахунок).
3. Конструктивні рішення фундаментів за традиційною методикою та за результатами досліджень
4. Економічна частина (визначення економічного ефекту від впровадження результатів наукової розробки на прикладі технічного об'єкту). Висновки
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Науково-дослідний розділ – 5-8 арк. (плакати, що ілюструють результати науково-дослідної роботи)
2. Архітектурно-будівельні рішення – 1-2 арк. (фасад, генеральний план, плани, план покрівлі, розріз, вузли)
3. Конструкції фундаментів– 1-2 арк. (робочі креслення)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
1-3, 4	Маєвська І. В.- доцент каф. БМГА, к.т.н.		
5 (Економіка)	Лялюк О. Г. - доцент каф. БМГА, к.т.н.		

7. Дата видачі завдання 10.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Складання вступу до МКР	14.10-17.10.24	
2	Науково-дослідна частина	02.09-13.10.24	
3	Архітектурно-будівельні рішення технічного об'єкту	14.10-31.10.24	
4	Другий підрозділ технічної частини	01.11-12.11.24	
5	Економічна частина	13.11-24.11.24	
6	Оформлення МКР	25.11-28.11.24	
7	Подання МКР на кафедру для перевірки	29.11-30.11.24	
8	Попередній захист	02.12-03.12.24	
9	Рецензування	04.12-09.12.24	

Студент _____ (підпис) Козуб А. Р. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ (підпис) Маєвська І.В. (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

УДК 624.15

Козуб А. Р. Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра. Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма – «Промислове та цивільне будівництво». Вінниця: ВНТУ, 2024. 116 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 28 назв; рис.: 99; табл. 39, 9 аркушів граф. частини.

У даній магістерській кваліфікаційній роботі розглядається моделювання просторової моделі в програмному комплексі ЛІРА-САПР для обчислення стовпчастих пальових фундаментів зі зменшеною кількістю використання паль за рахунок включення роботи ростверку. Досліджено частку включення роботи ростверку при різних типах фундаментів, знайдено закономірність та залежність найкращих комбінацій розподілення сил в межах ростверк-палі. За допомоги обчислення комплексних фундаментів методом скінченних елементів було встановлено, що за рахунок розмірів ростверку можна зменшити кількість паль без втрат несучої здатності пальового фундаменту майже у 2 рази.

Враховуючи результати дослідження, можна досягти економічного ефекту на виробництві стовпчастих пальових фундаментів за рахунок зменшення кількості паль та збільшення площі ростверку та його армування.

У технічній частині роботи на прикладі реального об’єкту демонструється використання дослідженої наукової технології на прикладі багатоповерхової каркасної будівлі. Архітектурно-будівельна частина вказує на специфікацію збірних залізобетонних конструкцій, теплотехнічний розрахунок стіни, експлікацію підлог та специфікацію вікон та дверей.

У економічному розділі обчислені об’єми матеріалів та праці для виготовлення класичних та дослідних варіантів фундаментів, обчислений економічний ефект для введення технології у проектні рішення надалі.

Ключові слова: палі, ростверк, стовпчастий пальовий фундамент, комплексний фундамент, забивні палі, навантаження, несуча здатність, осідання, моделювання, перерозподіл зусиль.

ANNOTATION

UDC 624.15

Kozub A. R. Accounting for the grillage work in the columnar pile foundation with the help of the Lyra software package. Master's qualification work in the specialty 192 - “Construction and Civil Engineering, educational program - ‘Industrial and Civil Engineering’. Vinnytsia: VNTU, 2024. 116 p.

In Ukrainian. Bibliography: 28 titles; Figures: 99; Tables 39, 9 pages of the graphic part.

This master's qualification work deals with the modeling of the spatial model in the LIRA-SAPR software package for the calculation of columnar pile foundations with a reduced number of piles due to the inclusion of grillage work. The proportion of grillage work inclusion for different types of foundations was investigated, and the regularity and dependence of the best combinations of force distribution within the grillage-pile were found. Using the finite element method for calculating complex foundations, it was found that the number of piles can be reduced by almost 2 times due to the size of the grillage without loss of bearing capacity of the pile foundation.

Taking into account the results of the study, it is possible to achieve an economic effect in the production of columnar pile foundations by reducing the number of piles and increasing the area of the grillage and its reinforcement.

In the technical part of the work, the use of the studied scientific technology on the example of a multi-storey frame building is demonstrated on the example of a real object. The architectural and construction part includes the specification of precast concrete structures, thermal engineering calculation of the wall, floor explication, and specification of windows and doors.

In the economic section, the volumes of materials and labor for the production of classical and experimental variants of foundations are calculated, and the economic effect for the introduction of the technology into design solutions in the future is calculated.

Key words: piles, grillage, columnar pile foundation, complex foundation, driven piles, load, bearing capacity, settlement, modeling, redistribution of forces.

ЗМІСТ

ВСТУП……... 3
1 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА…… 6
1.1 Дослідження особливостей роботи пальових стовпчастих фундаментів зі змінним розміщенням паль…… 7
1.2 Аналіз досвіду використання контінуальної розрахункової схеми основи для розрахунку паль……. 29
1.3 Висновки до розділу 1…… 30
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОСІДАНЬ КОМПЛЕКСНИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗАСТОСОВУЮЧИ МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР……... 31
2.1 Опанування програмного комплексу ЛІРА-САПР. Використання чисельного методу скінченних елементів…… 31
2.2 Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті…….. 41
2.3 Порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту…… 47
2.4 Планування чисельного експерименту з визначенням впливу геометричних чинників та характеристик грунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту… 51
2.5 Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстань між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи…….. 52
2.5.1. Результати обчислень експерименту в програмному комплексі ЛІРА-САПР……... 52
2.5.2. Верифікація отриманих значень для комплесних фундаментів шляхом ручного розрахунку за методом пружного напівпростору……. 63
2.6 Висновки до розділу 2…… 64
3 АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, ВИЯВЛЕННЯ НАЙБІЛЬШ ВПЛИВОВИХ ЧИННИКІВ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ МІЖ РОСТВЕРКОМ ТА ПАЛЯМИ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСНОГО ФУНДАМЕНТУ……. 65
3.1 Висновки до розділу 3……... 70
4 ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ…… 72
4.1 Архітектурно-будівельні рішення технічного об’єкту…… 72
4.1.1 Розрахунок планувальних відміток генплану……... 73
4.1.2 Специфікації на збірні залізобетонні конструкції…… 74
4.1.3 Віконні та дверні заповнення……. 80
4.1.4 Експлікація підлоги……. 81
4.1.5 Теплотехнічний розрахунок……... 82

4.2 Конструктивні рішення фундаментів за традиційною методикою та за результатами досліджень…… 83
4.2.1 Традиційна методика розрахунку фундаментів……... 84
4.2.2 Розрахунок фундаментів за результатами дослідження….. 86
4.3 Висновки до розділу 4……. 92
5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ……. 93
5.1 Висновки до розділу 5…… 108
ВИСНОВКИ…….. 109
Список використаних джерел…….. 110
Додаток А Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень…… 115
Додаток Б Відомість графічної частини……. 116
Додаток В Результати обчислення варіантів фундаментів за допомоги ПК ЛІРА-САПР…… 117

ВСТУП

Актуальність та новизна наукових досліджень. У сучасному світі гостро стоїть питання зменшення викидів вуглекислого газу в атмосферу Землі. Виробництво бетону в Україні є одним з найбільших забрудньовачів повітря і тому зменшення об'ємів використання дозволить не тільки зекономити при виробництві фундаментів, так і зменшити викиди в атмосферу.

Новизна дослідження полягає у використані комбінованих пальових фундаментів на будівництві для зменшення осідань елементів конструкції будівель. Поширене використання даного конструктивного рішення кладе початок у 2010-х роках, світові конструктори при будівництві хмарочосів у Дубаї використовували палі під фундаментними плитами для підвищення опору навантаження та зменшення осідання за рахунок використання у роботі як бокових поверхонь паль, так і підошви плитного фундаменту (ростверку). Дану технологію можна використовувати у стовпчастих пальових фундаментах для зменшення кількості та довжини паль та замінити сучасні конструктивні рішення виконання фундаментів. Виконання покращеного виду фундаментів у даній магістерській кваліфікаційній роботі перевірятиметься у найбільш поширеному програмному комплексі на сучасному ринку проектування – ЛІРА-САПР. Перевірятиметься не лише можливість розрахунку у цьому комплексі даного виду фундаментів, але й достовірність розрахунків у порівнянні з існуючими результатами польових досліджень.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є перевірка можливості включення у роботу ростверк для передачі навантаження з фундаменту на основу для зменшення кількості паль або/та їх довжину без втрат фізичних властивостей фундаментів.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є дослідження поведінки осідання комплексного фундаменту від різних величин навантаження при різному кроці, розмірів та кількості паль.

Мета та задача дослідження. Визначити залежність включення у роботу фундаментів ростверку при змінені кроку паль та їх кількості за допомоги програмного комплексу ЛІРА-САПР і методу скінченних елементів. Перевірити економічний ефект використання покращеного комплексного фундаменту у порівнянні з сучасними конструктивними рішеннями реалізації фундаментів будівлі. Задача дослідження:

1. Виконати огляд літератури з дослідження комплексних фундаментів;
2. Опанування програмного комплексу ЛІРА-САПР, що базується на методі скінчених елементів для виконання завдання дослідження;
3. Побудова розрахункових схем роботи паль різних типів у грунті;
4. Порівняння несної здатності палі, що визначиться у програмному комплексі за результатами натурних експериментів;
5. Планування чисельного експерименту з визначенням впливу геометричних чинників та характеристик грунту основи на суміну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту;
6. Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів і окремих їх елементів при варіюванні довжини та кількості паль, відстані між паль, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи;
7. Аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту.

Практична значимість. Комплексний фундамент зменшує витрати людиногодин та машиногодин на виробництві у порівнянні з класичними варіантами реалізації стовпчастих пальових фундаментів або ж фундаментних плит. Метод розрахунку комплексних фундаментів за допомоги програмного комплексу ЛІРА-САПР.

Методи дослідження. Перша частина дослідження проводиться у програмному комплексі ЛІРА-САПР методом скінченних елементів на прикладах просторової математичної моделі для визначення осідань від заданих

навантажень. Перевірка результатів дослідження першої частини на прикладі натурних польових експериментів. Друга технічна частина дослідження виконується безпосередньо на існуючому об’єкті будівництва, де застосовуватиметься досліджувальна технологія улаштування комплексних фундаментів.

Апробація. Презентація тез дослідження комплексних фундаментів з використанням методу скінченних елементів у програмному комплексі ЛІРА-САПР презентувалась на LV Всеукраїнська науково-технічна конференція факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії у Вінницькому національному технічному університеті (ВНТУ). Вінниця, 2024 р.

Публікації. Опубліковані тези: «Переваги комплексного стовпчастого пальового фундаменту у порівнянні з класичними варіантами його реалізації». Вінниця, 2024. 4 с. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2024/author/downloadFile/22625/79622/1

1 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

Фундамент палі зазвичай складається з 3 компонентів: палі, ростверку та ґрунтового середовища [1-4]. Призначення паль, крім сприйняття навантаження, полягає в зменшенні осіданні конструкції. Відносна жорсткість елементів основи фундаменту визначає характер розподілу навантаження між ними (рисунок 1.1).

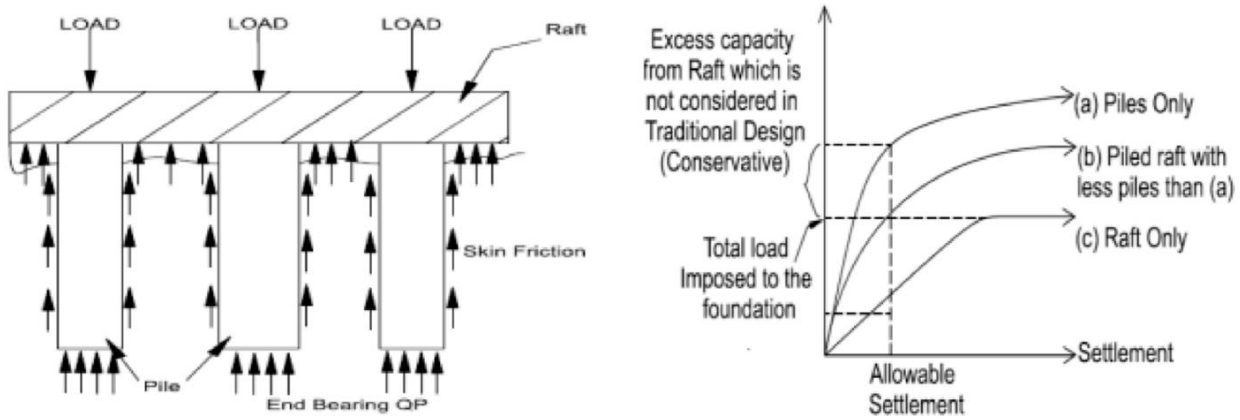


Рисунок 1.1 – Розподіл зусиль заданого навантаження між елементами пальового фундаменту [1]

Значна база досліджень дозволяє одержати більш глибоке уявлення про складність та особливості умов роботи пальових фундаментів, коли основними змінними є навантаження, довжина паль (та діаметри паль), їх кількість, відстань від центра осей, опір ґрунту і жорсткість ростверку. Використання низького ростверку у роботі передачі навантаження на грунт визначає ефективність роботи фундаменту загалом. Проте використання фундаментів з несучим ростверком наразі зупиняє недостатня кількість теоретичних досліджень у будівництві, відсутністю задовільної нормативної бази та лімітованість досвіду та знань проєктування певних елементів конструкцій.

1.1 Дослідження особливостей роботи пальових стовпчастих фундаментів зі змінним розміщенням паль

В сучасних умовах проектування і будівництва є популярним рішенням застосовувати комбіновані плитно-пальові фундаменти [5].

Завдяки цьому методу застосування фундаментів стає значно ефективним в галузі впродовж останніх років. Комбінований плитно-пальовий фундамент (КППФ) за принципом роботи розподіляє навантаження від будівлі на палі та підошву фундаментної плити. Фундаментна плита в цьому випадку працює як ростверк підкріплений палями, проте передає підошвою навантаження на основи (рисунок 1.2).

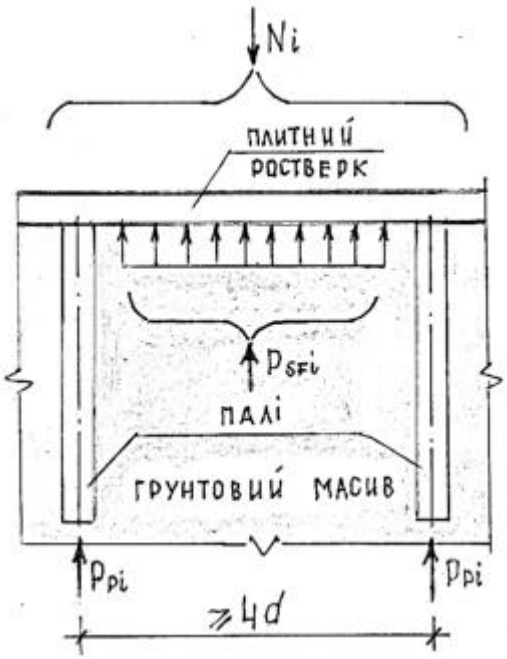


Рисунок 1.2 – Принцип роботи плитного пальового фундаменту [5]

В межах КППФ, призматичні або круглі палі різних типів розташовують за принципом пальового поля, або у вигляді стрічок, кущів чи одиночних паль. Найчастіше у проєктувані трапляються фундаменти каркасних будівель, де групують палі довколо місць прикладання навантаження – під підколонниками, в будівлях з несучими та самонесучими стінами (безкаркасних) палі розміщують під стрічковим фундаментом рядами. Завдяки врахування опору

ґрунту в розрахунку тиску підошви плитного фундаменту або ростверку в роботі комбінованих фундаментів, частина навантаження передається на грунтовий масив і цим реалізується резерв зусиль, що впливає на їх економічну ефективність: корекція необхідної кількості паль, зменшення витрат арматури на готовий виріб, зменшення висоти перерізу ростверку [5]. За теоретичним дослідженням, можна прийняти, що палі такого типу фундаментів сприймають до 70-80 % навантаження прикладеного на ростверк.

В Україні роботі плитних пальових фундаментів присвячені дослідження [6 – 12]. В момент огляду літератури відомо про експериментальні дослідження, також про практичне використання методу в будівництві. Для включення підошви ростверку у роботу, необхідно включити реактивний опір грунту та контакт елементів з ним, щоб задовільнити умови:

-необхідно забезпечити достатню відстань між палями;

-система комплексного фундаменту КППФ має бути піддатливою і давати осідання від прикладеного навантаження.

З досліджень [6 – 12] прослідковується ідея дотримуватись кроку паль, що більше за 4-5 діаметри палі. Це забезпечить роботу грунтового масиву під ростверком на ділянці, що значно віддалена від паль або поза межею зони їх впливу (рисунок 1.3).

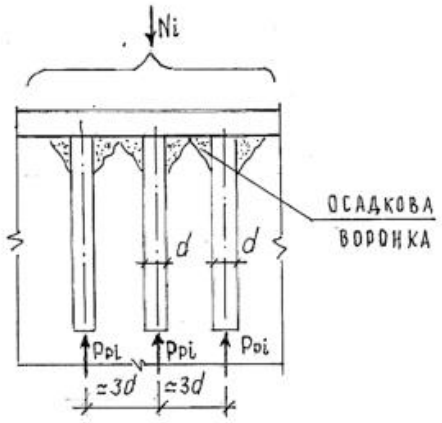


Рисунок 1.3 – Вплив паль на розподіл зусиль в межах ростверку при їх частому розташуванні [5]

Модуль деформації шарів грунту під ростверком визначає участь у роботі плитної частини КППФ. Переріз і довжина плити, а також кількість паль значно впливають на результат. За результатами досліджень [5–12] і чисельно-математичного моделювання, частка плитного ростверку в несучу здатність КППФ може складати від 20 до 40%, залежно від зазначених вище факторів: палі та ростверк.

Плитно-пальові комбіновані фундаменти розглядаються також в роботах зарубіжних дослідників [13–18]. Ana Cláudia Frade de Faria [13] визначає комбіновані пальово-ростверкові фундаменти (CPRF) як інтегроване рішення, що поєднує палі та ростверкову плиту для посилення переваг кожного з цих елементів. Цей підхід передбачає використання достатньої кількості паль для зменшення розрахункових показників навантаження до наближених реальних. Навантаження від будівлі розподіляються через палі, ростверк і ґрунт основи. Метою є оптимізація конструкції комплексних фундаментів шляхом зменшення кількості паль порівняно з традиційною пальовою групою, а також зменшення товщини ростверку порівняно з класичними плитними фундаментами, що в цілому сприяє більш економічному рішенню без підвищених ризиків.

У статті [13] проведено економічне порівняння кількох варіантів фундаментів для 33-поверхового офісно-житлового будинку: фундаментної плити, фундаментів з пальових кущів та комбінованого плитно-пальового фундаменту (CPRF). Переваги CPRF включають скорочення часу будівництва порівняно з плитним фундаментом, зменшення кількості паль у порівнянні з пальовими кущами, а також зниження напружень у ростверку завдяки раціональному розміщенню паль. Усе це сприяє створенню більш економічного рішення з досягненням потрібних несучих параметрів конструкції.

У роботі Katzenbach R. та його співавторів [14], що узагальнює результати багатьох досліджень впровадження CPRF, сформульовано рекомендації щодо проєктування, будівництва та моніторингу таких фундаментів. Основною метою є надання універсальних орієнтирів (інструкцій) для

проєктувальників у світі при використанні CPRF. Комбінований пальово-ростверковий фундамент розглядається як геотехнічний композит, що забезпечує спільну роботу паль і ростверка з урахуванням їхньої взаємодії між собою та з ґрунтовим середовищем (рисунок 1.4).Обчислювальне значення повного опору $R_{tot,k(s)}$ КППФ має пряму залежність від осідань фундаменту і базується на сумі характеристичного опору основи $\sum_{j=1}^{m} R_{pile,kj}(s)$. Обчислювальний опір основи утворюється результатом інтеграції площ контактного тиску $\sigma(s,x,y)$ у площині ростверочного плану (рисунок 1.4).

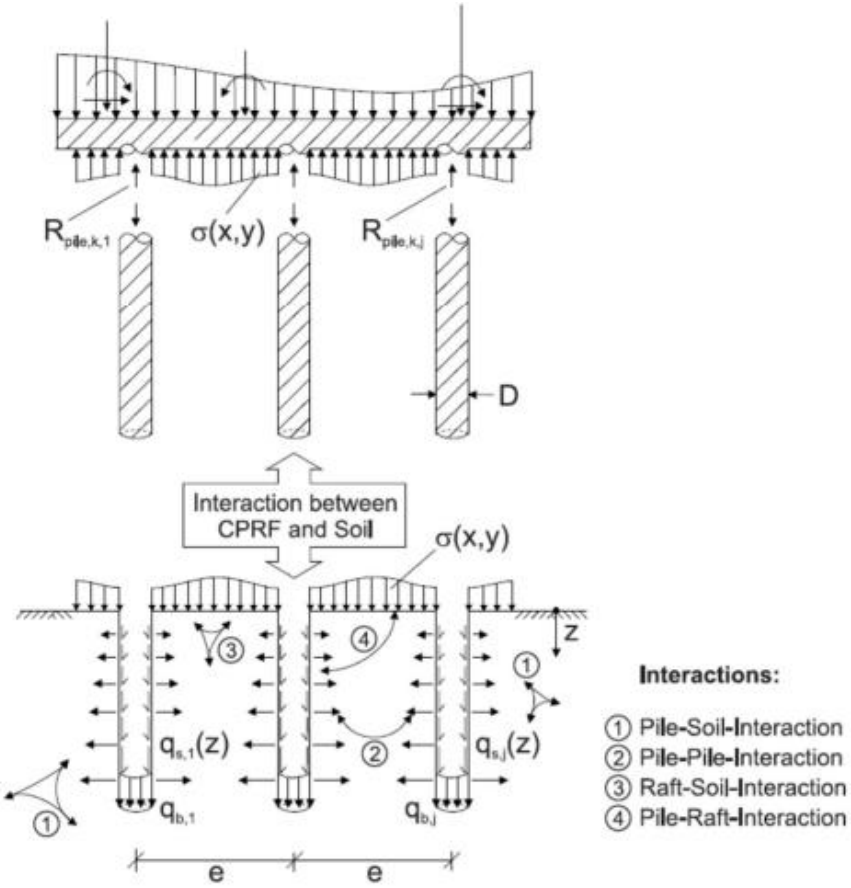


Рисунок 1.4 – Компоненти пальово-ростверкового фундаменту у вигляді окремих розрахункових елементів геотехнічної композиції [14]

В цьому випадку несуча спроможніть КППФ задається коефіцієнтом паля-ростверку $\alpha_{ПР}$:

$$\alpha_{ПР} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_{pile,kj}(s)}{R_{tot,k}(s)} \tag{1.1}$$

У праці [14] обчислення проєктування КППФ запропоновано просторово-математичну модель взаємодій комплексних фундаментів з основою і несучими конструкція з використання сучасних обчислювальних програмних комплексів.

На шпальтах [16] зазначають симпатію до використання комбінованих пальових фундаментів, що грунтується їх економічною складовою. Науковці посилаються на практичні та існуючі приклади використання КППФ для висотних та надмірно завантажених конструкцій (Хупер, 1974; Кукі ет ал, 1981 год; Пулос, 2008 г.; Ямашіта, 2012, Катценбах та інші, 2010), проте у своїй загальній праці доцілісність використання КППФ досліджували для помірно навантажених елементів конструкцій. Нотування дослідження виконувалось в результаті фізико-математичного моделювання в програмному комплексі ANSYS, у якому визначали розташування паль на плані, їх жорсткість на поверхні та відстані між центрами їх осей відносно розмірів плити в плані, виявленні послаблених шарів грунту в межах довжини палі. В результаті різних значень осідання виконувався аналіз. В рамках теми дослідження магістерської роботи однією з важливих одиниць виміру є відстань між центрами осей палей та відношення площь паль та ростверку. Дане співвідношення A_R коливалось в межах 4,25-9,25%. Вплив цього коефіцієнта зображений на рисунку 1.5 у комбінації з коефіцієнтом розподілу навантаження α_{pr}, що визначає відношення величини навантаження сприйнятого палями заданого ростверку та загального навантаження фундаменту.

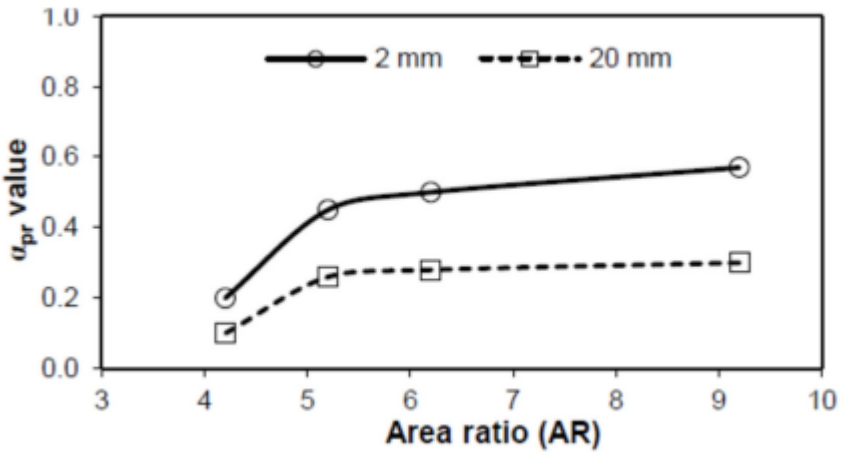


Рисунок 1.5 – Графік зміни α_{pr} при відношені площі перерізу паль та ростверка [16]

Проаналізувавши графік видно залежність частки навантаження, що передається палям в точці початку відліку значно більше, ніж на значних етапах осідання (з 2 до 20 мм). Очевидно, що досягти ідеальних результатів дослідження можна завдяки співвідношенню площі перерізу паль до ростверку, коефіцієнт A_R має перевищувати 5%. Відповідність цього коефіцієнту становить відстань 4d між палями. Встановлено те, що навантаження сприйняте ростверком при зазначеному кроці паль становить до 35% загального навантаження при рівні осідань 2 мм, але воно зростає до 64% при рівні 20 мм.

Дослідження цієї залежності виконувалось на існуючій 12-поверховій житловій будівлі впродовж 2 років з початку будівництва. Покази впродовж періоду замірів встановили що робота ростверку включається поступово в залежності від навантаження і сягає приблизно 40% загального навантаження. Дослідники підтверджують залежність та зв’язок з іншими об’єктами, де частка роботи комплексних фундаментів становить завжди в межах 45-55%. Хун Дук Лон (Ханой) [17] публікує ефектність використання косплексних пальових фундаментів на будівництві великого багатоповерхового хмарочоса з використанням досліджувальних фундаментів, але палі застосовують для зниження параметру осідання, а не передачі основого навантаження споруди.

BAIBA Комплексні пальові фундаменти досліджувались як інший варіант реалізації зменшення кількості палей у фундаментах (рисунок 1.6.).

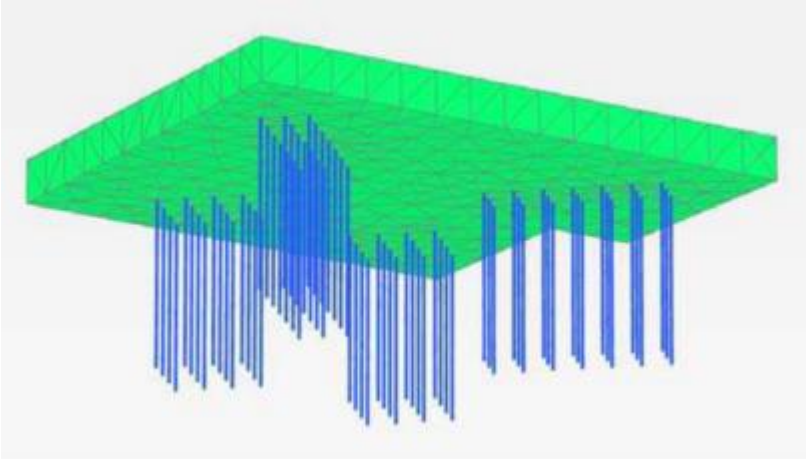


Рисунок 1.6 – Просторова модель комплексних фундаментів, виконана у комплексі Plaxis 3D- з метою зменшення кількісті паль [17]

До цього дослідник цієї теми провів ряд натурних великогабаритних моделярних випробувань. Загалом було виконано декілька рядів випробувань фундаментів мілкого закладання, ростверків, одиноких паль, самостоячих груп паль, групи пальових фундаментів з заглибленим ростверком. У піддослідній групі паль застосовувались різні серії з кроками паль 4d, 6d і 8d та № 1, 2 і 3 відповідно. В трьох рядах випробувань використовували різні грунтові умови. Залежність цих рядів випробувань зазначають підйомну залежність, приклад їх результату наведений на рисунку 1.7. у порівнянні з випробуваннями серії T2.

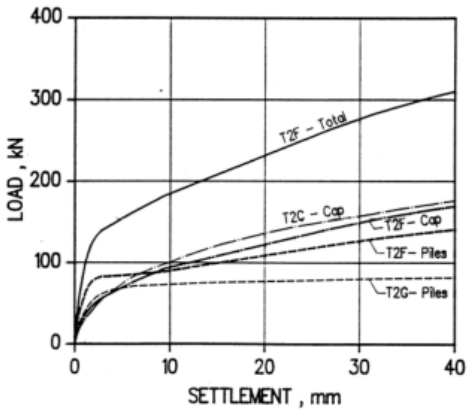


Рисунок 1.7 – Порівняння результатів випробувань із серією T2 [18]

Зображення вище показує навантаження сприйняте ростверком комплексних фундаментів при його випробувані, крива T2F-Cap наближена до лінії навантажень сприйнятих ростверком на рівні фундаменту мілкого закладання, T2C-Cap ж сприймається палями окремих груп, T2G-Piles має надзвичайно менші показники навантаження в складі фундаменту T2F- Piles.

Ця залежність збільшення показників виникає в наслідок утворення тиску під підошвою ростверку. Автор статті пропонує використовувати методику розрахунку у програмному комплексі після оцінення навантаження, що сприйматиметься ростверком без палей, залишок навантаження передаватимуть палі з чого й потрібно визначати їх необхідну кількість, при цьому переконавшись, що несуча їх здатність повністю задовільняє умови. Коли мова йде про роботу плитно-пальових фундаментів, низка авторів [19] зауважують поділяти розрізняти фундаменти під висотні (хмарочоси) будівлі з пальовою основою та пальові фундаменти, тому що у першому випадку довжина паль значно менша габаритів ростверкової плити і передає приблизно половини усього зовнішнього навантаження, в другому випадку фундаментів, де довжина палей більша за габарити ростверкової плити значення передачі навантаження становить майже 85%. Осадка плити фундаментів становить на 30% менше пальового фундаменту. Цю різницю НДС конструкцій фундаменту становить задачу конструктивного підходу до проектування цих варіантів фундаментів.

Пропозиція змінного розташування палей в комплексних пальових кущах фундаментів згадується як у наших науковців, так і згадуються у світових авторів. Проте більшість цих робіт базуються на конкретних прикладах розташування різноманітної кількості палей в межах ростверкової плити певних розмірів. До того ж вони зазвичай розраховані на значну кількість паль (від 16 до 25 шт. із стандартним кроком трьох діаметрів). Ельвакіл А. З. та Аззум В. Р. (2016) [20] наводять у своїй роботі результати математично-фізичного моделювання стовпчастих пальових циліндричних фундаментів лотка висотою 600 мм та діаметру 750 мм.

Роль основи цього дослідження виконує середньої щільності пісок з середньої крупності. Прототип фундаменту виконаний з металевих труб малого діаметру 12 мм та сягали довжини 100 мм, 200 мм та 400 мм. Ростверком цього прототипу фундаменту була металева пластина з розмірами 150х150 мм з товщиною 15 мм. Ростверкова плита могла вмістити 16 паль у полі 4 на 4 з кроком паль 3d.

Дослідження цього прототипу фундаментів відбувалось зі зміною кількості паль, довжини, а також зі змінами розташування їх у плані ростверку. З типів фундаментів розглядали рядовий порядок 16 паль, розташування 8 палей у шаховому стані, гурти по 4 палі у середині кущаю Усі варіанти були зі змінними довжинами палей. Дослідники приводять аргументи щодо загальної несучої спроможності пальових фундаментів що залежить від довжини паль-ростверку і кількості паль (рисунку 1.8).

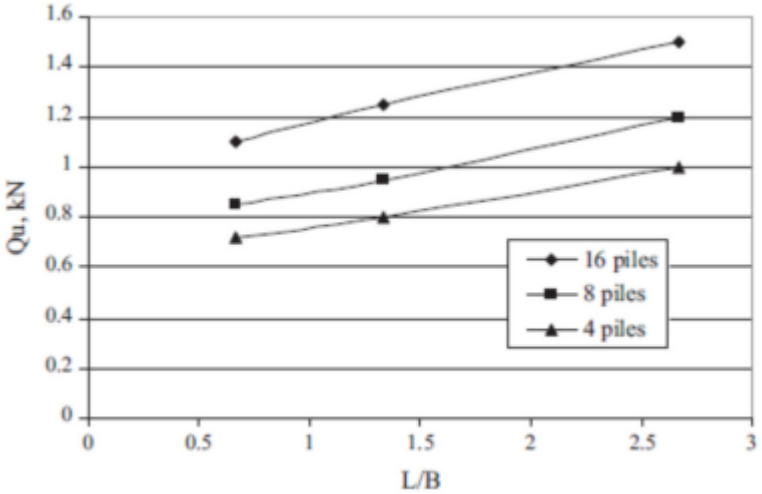


Рисунок 1.8 – Змінна сумарна несуча здатність пального фундаменту з використанням підошви ростверку при даних S/B = 0,7 % [20]

Рисунок 1.8 показує, як залежить використання ростверку на 30% при зменшені паль у 2 рази та на 50% при зменшені у 4 рази, що спостерігається також на зменшені довжини палей. Саме тому при використанні ростверка у роботу комплексних фундаментів зі зменшенною кількістю паль підвищується загальна ефективність. За данними їх досліджень констатую висновок, що від

зменшення несучої спроможності палі (від кількості до довжини) збільшується використання ростверку.

Лабораторні досліження проведені були у роботі [21]. Для збору додаткових знань та інформації було проведено моделювання тривалої роботи комплексних фундаментів для розуміння їх роботи, де грунтові умови – водонасичена глина. Квадратна форма ростверку кожної з двох моделей мають по чотири палі для дослідження фундаментів, до того ж відстань між палями різна (рисунок 1.9). Спостерігалась залежність осідання до відстані муж палями: при малих навантаженнях більша відстань паль дає менші осідання, при великих – мала відстань паль працює краще.

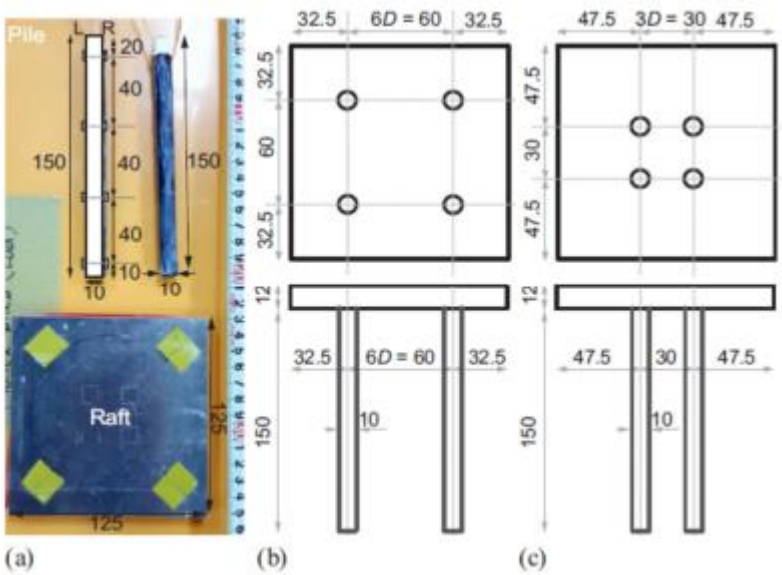


Рисунок 1.9 – Зразки випробувань пальних фундаментів: (a) знімок використаних паль і зразку ростверку, (b) зразок фундаменту із s = 6D та (c) зразок фундаменту із s = 3D

Фекалі Мелісі [22] підіймає значення підвищення ефектності стовпастих пальових фундаментів, де за концепцію конструювання приймає зменшення кількості паль при застосуванні ростверку у роботу за рахунок контакту підошви з грунтом. У цій моделі для зменшення осідань використовують палі. Головним аспектом дослідження є аналіз впливу загальної кількості палей при використанні програми PLAXIS 3D. Їх модель складається з пальових кущів із

2, 3, 4 та 5 рядів паль з симетричним розташуванням, де довжина палей становить 20 м, а їх кром становить 5 діаметрів при ростверку 12х12 м (рисунок 1.10). Рисунок 1.11 зазначає максимальні осідання фундаментів з приведеними ширинами ростверків, що залежить від кількості паль із необ'єднаним ростверком та об'єднаним ростверком. Осідання фундаментів значно зменшувалось при великій кількості паль.

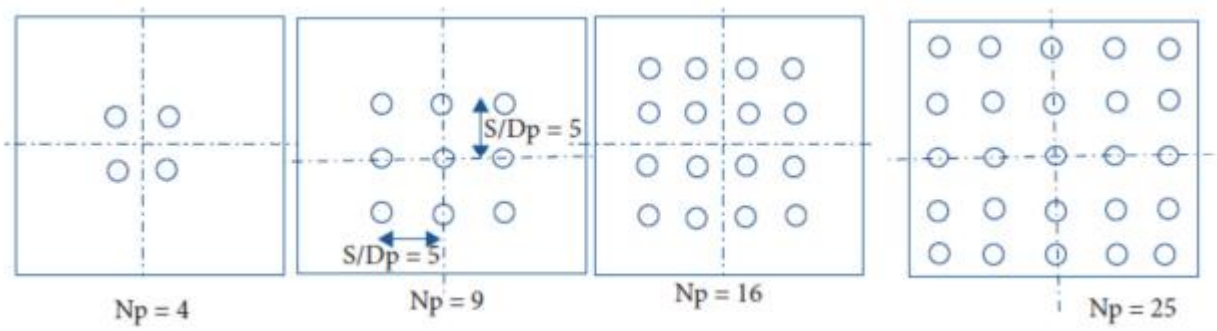


Рисунок 1.10 – Схема розміщення паль та їх кількість [22]

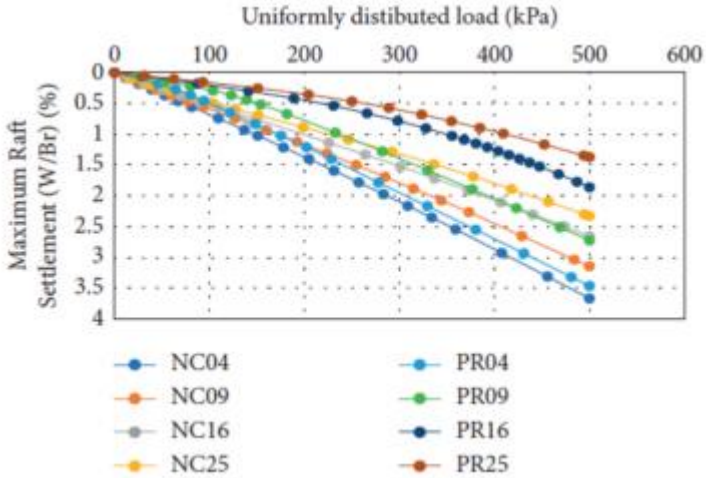


Рисунок 1.11 – Графік порівнень нормально-максимального усадження фундаментів з різною кількістю паль[22]

У порівнянні з іншими дослідженнями, тут спостерігається збільшення тиску під підошвою при збільшені кількості паль, але у меншій мірі ніж прогнозується іншими дослідами, оскільки зміна з 25 до 4 паль викликає зменшення навантаження у 2,2 рази. На рисунку 1.12 спостерігається коефіцієнт залежності відношення навантаження переданого палі α_{pr}. Збільшення

кількості паль призводить до зменшення частки використання ростверку, бо палі осадкові воронки не дають достатньо використати підошву ростверку. Як і доводили інші дослідження, чим менше паль тим більше робота ростверку.

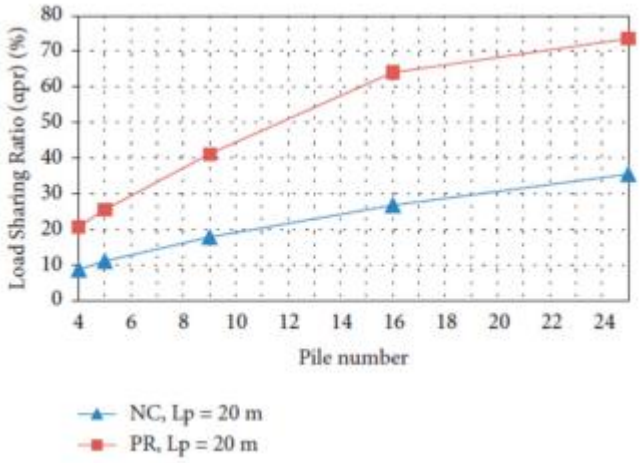


Рисунок 1.12 – Залежність одиниць паль на долю навантадження, що вони сприймають [22]

У статті [23] дослідили комплексні фундаменти випробуванням центрифуги. На ній провели 17 випробовувань, щоб визначити залежність чинників на них: градація паль, їх кількість, відстань між центрами осей, роль підготовки у загальній системі фундаменту. У незв’язній системі плитно-пальового фундаменту фундаментна підготовка грає важливу роль у зменшенні осідання. Палі виконують задачу зменшення осідання фундаментів. На рисунках 1.13 та 1.14 зображені схеми варіантів випробувань із залежностями осідання від нагрузок пальових фундаментів з 4 та 9 паль. Залежність 9 паль, як і очікувалось, менше ніж у варіантах де використовується 4 палі. Аналізуючи попередні результати досліджень, прослідковується тенденція, що підошва фундаменту передає на основи у 2,22 рази менше ніж палі, тому цей аргумент можна використовувати як перевірка достовірності експерименту.

У статті [24] досліджували горизонтальні та вертикальні навантаження на комплексні фундаменти зі змінною кількістю паль. Пальовий фундамент виявив достатню жорсткість на комбінації досліджуваних навантажень зі змінною кількістю паль. Опір цим комбінаціям чине ростверк, що дає певний

ефект, але значна кількість паль зменшує роль ростверку. Лабладорне дослідження виконали у стальному лотку габаритами 1,5x1,2x0,9 м. Габарити елементів зазначені на рисунку 1.13. Загалом проведено 7 відлікових випробувань з 7 пальових груп, де кількість змінювалась з 4 до 25 шт. (рисунок 1.15). Схема випробувань що були проведені зазначена на рисунку 1.16.

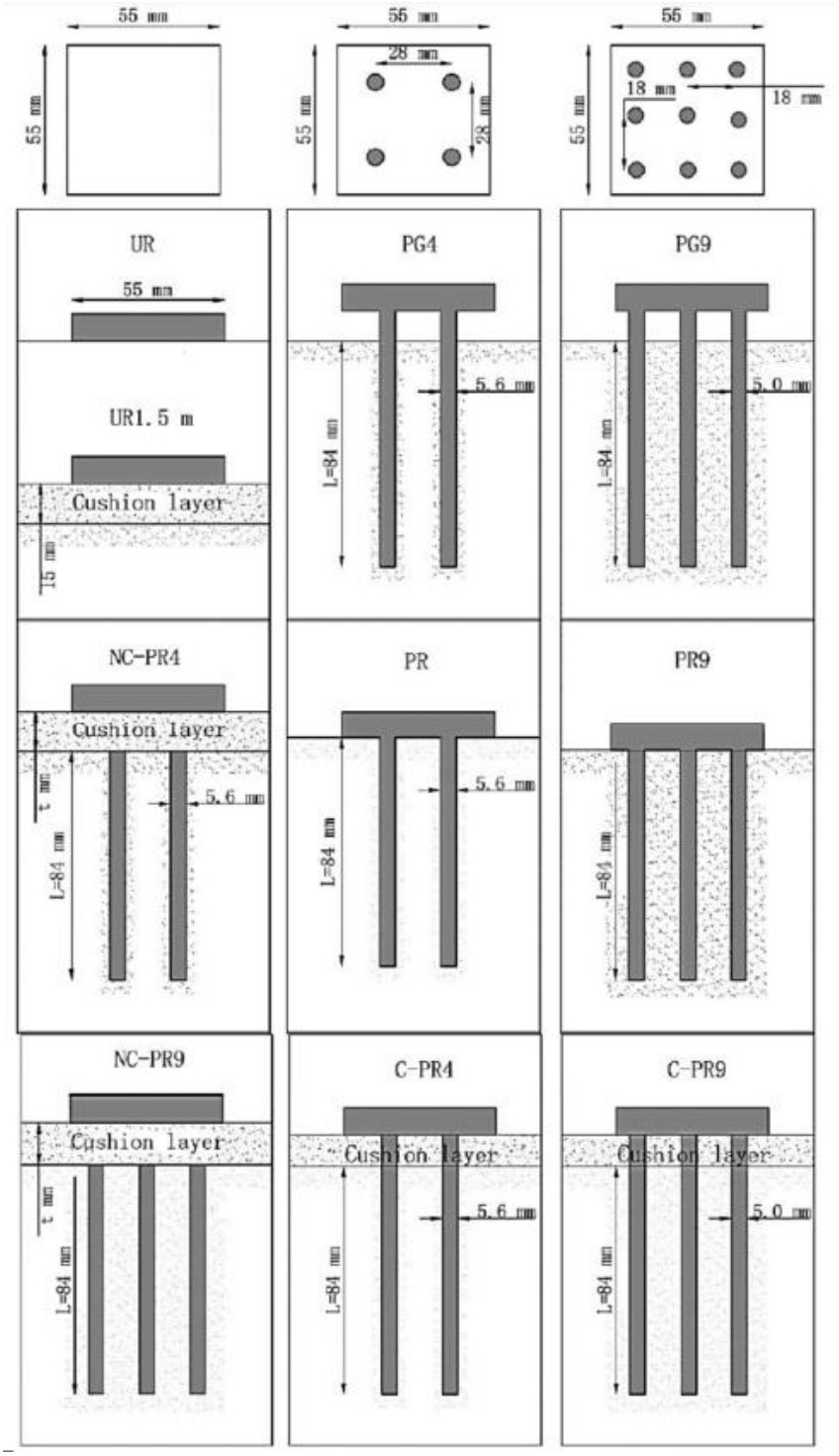


Рисунок 1.13 – Комбінації випробуваних комплексних фундаментів [23]

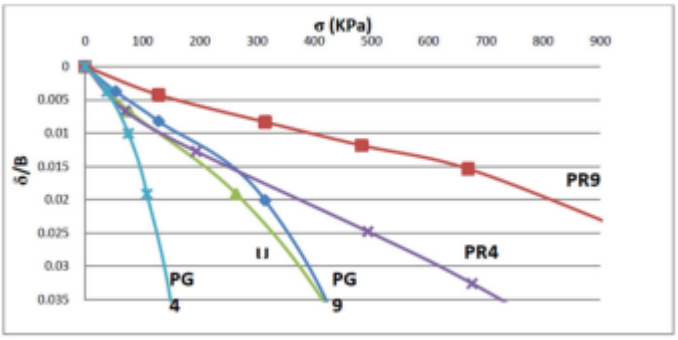


Рисунок 1.14 – Залежність для комплексних фундаментів з 4 та 9 палей номінального осідання від навантаження [23]

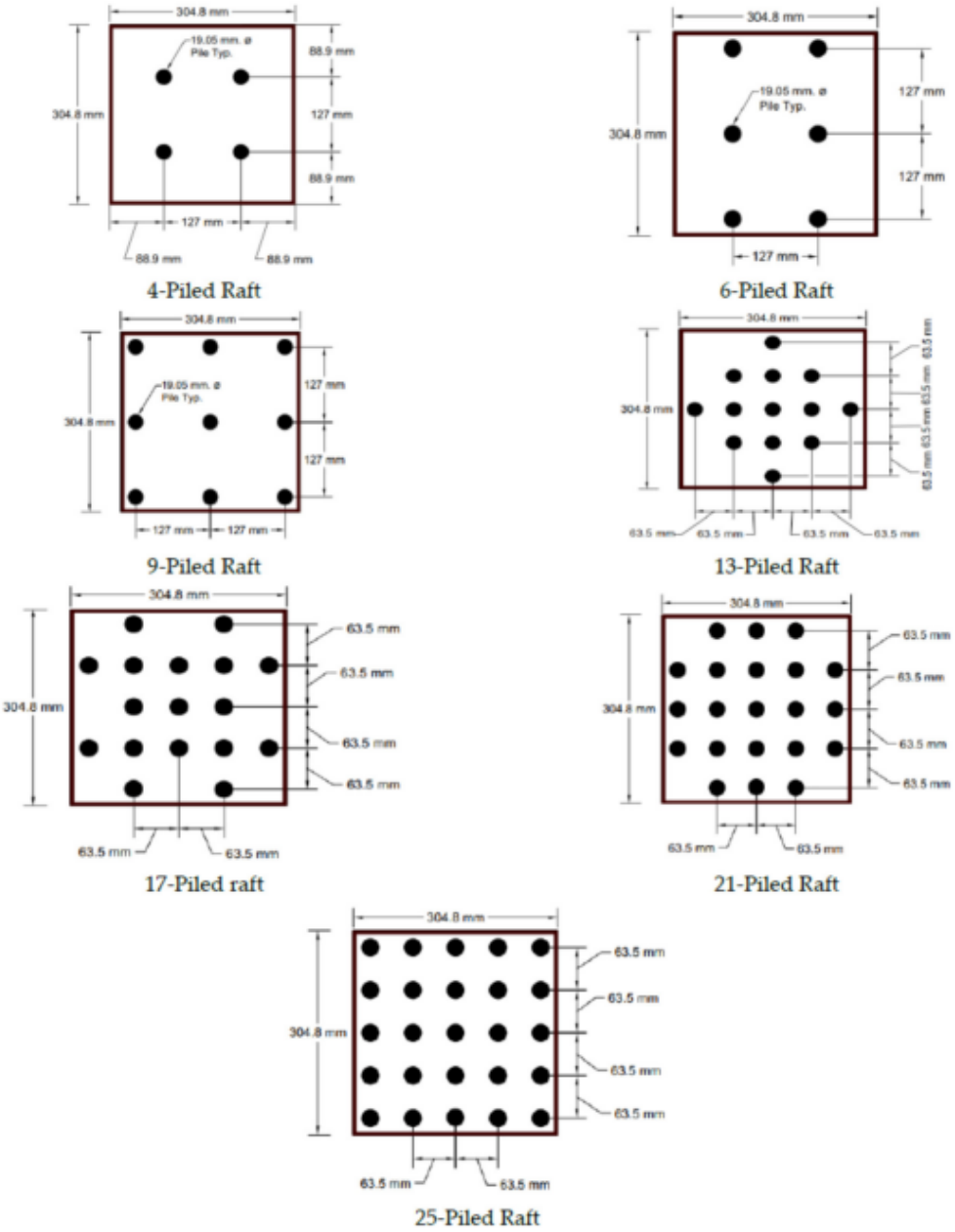


Рисунок 1.15 – Умови дослідження зі змінною кількістю паль [24]

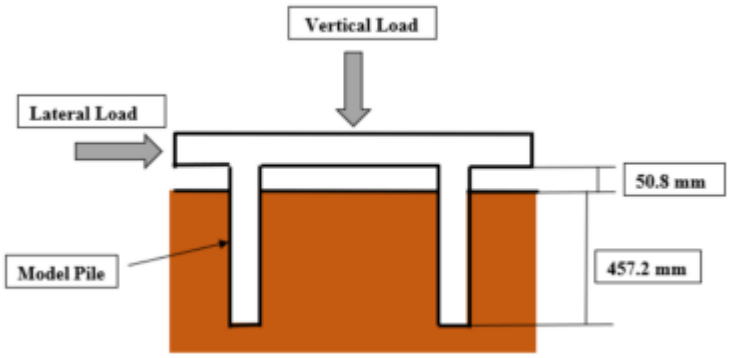


Рисунок 1.16 – Дослідження групи комбінованих навантажень без урахування жорсткості ростверку [24]

Зміна характеристик пальових фундаментів та груп з різними кількостями паль зазначені в таблиці 1.1. Загальна тенденція досліджених матеріалів досі прослідковується: зі зменшенням паль робота ростверку стає більшою та ефективнішою.

Таблиця 1.1 – Залежність жорсткості комплексних фундаментів від кількості паль у порівнянні зі звичайним пальним фундаментом з вертикальними навантаженнями

Type	Stiffness Difference	Piled Raft Settlement (mm)	Pile Group Settlement (mm)	Maximum Vertical Load (N)
4-Piled raft vs. 4-Pile group	4.50/1.60 = 2.81	1.60	4.50	1920
6-Piled raft vs. 6-Pile group	1.34	3.01	4.02	2786
9-Piled raft vs. 9-Pile group	2.52	5.14	12.97	5250
13-Piled raft vs. 13-Pile group	1.65	5.62	9.28	5250
17-Piled raft vs. 17-Pile group	1.40	4.60	6.45	5250
21-Piled raft vs. 21-Pile group	1.57	4.00	6.28	5250
25-Piled raft vs. 25-Pile group	1.27	3.61	4.60	5250

Головна ціль досліду [25] – визначити нюанси використання стовпчастих пальових фундаментів у глиняних грунтах. Умовами досліду була піщана підготовка під підошвою ростверку, певна довжина паль і кількість, приріст осідань за рахунок жорсткості ростверку та залежність розподілу навантажень. Моделювання просторових моделей комплексних фундаментів здійснювали у програмному комплексі PLAXIS 3D. Результати дослідження верифікувались

на реальних об’єктах будівництва у порівнянні з значеннями чисельного моделювання. За фізико-математичного моделювання застосовували лоток, що мав форму куба з гранями по 600 мм кожна та виготовлений із заліза. Грунтовою основою слугував подріблений каолініт. Для створення об’єкту випробування пальового фундаменту використали сталевий ростверк 20х20 см та сталеві труби з діаметром 10 мм, довжиною 250 мм – 9 шт. Зусилля та деформацію системи заміряли в палях. Моделювання фізичного експерименту утворюється з 9 палей і верифікації за допомоги математичного обчислення моделі. Зразки експерименту зазначені на рисунку 1.17.

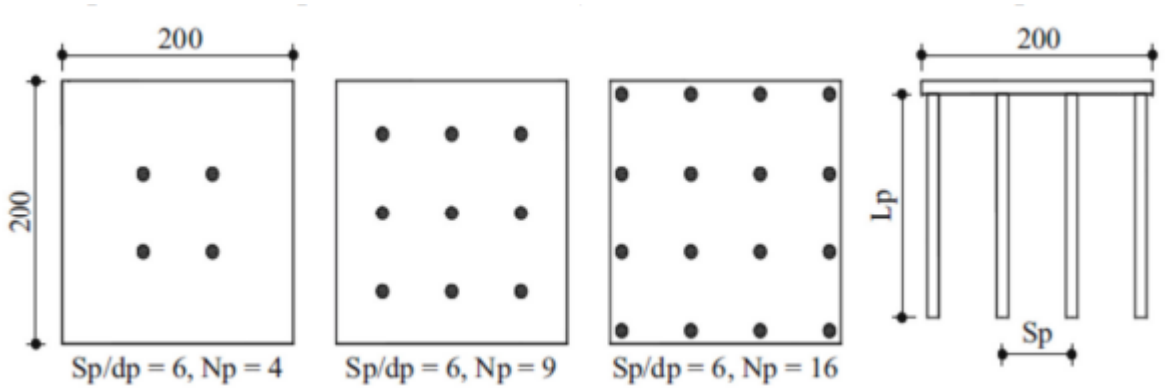


Рисунок 1.17 – Зразки моделей експерименту досліду [25]

У випадку математичному моделюванні змінювались наступні параметри: довжини палей, січення палей, кількість, товщина ростверку, товщина піщаної подушки. Значення отримані з дослідів вказані на графіках для полегшеного аналізу параметрів та коєфіцієнтів заниження значень осідань пальних фундаментів (рисунок 1.18); коефіцієнт розподілу зусиль (рисунок 1.19). У підсумках зазначили, що зі збільшенням довжин і кількостей паль, осідання в межах фундаментів зменшилось. Додатково було визначено, що при збільшені жорсткості ростверку комплексного фундаменту зменшились значення осідання.

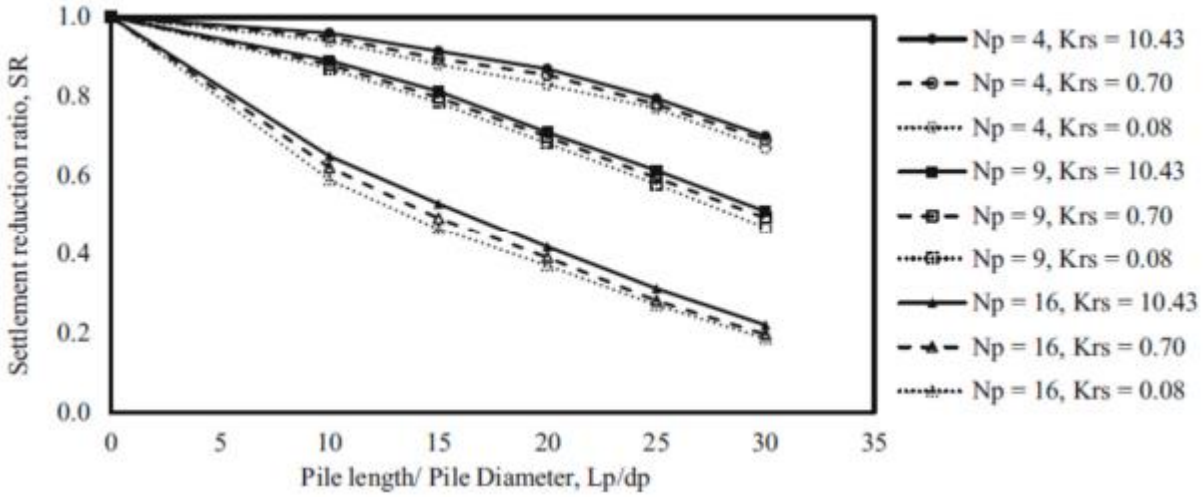


Рисунок 1.18 – Залежність розмірів палі на коефіцієнт зміни осідання пальних фундаментів для різних пальних фундаментів [25]

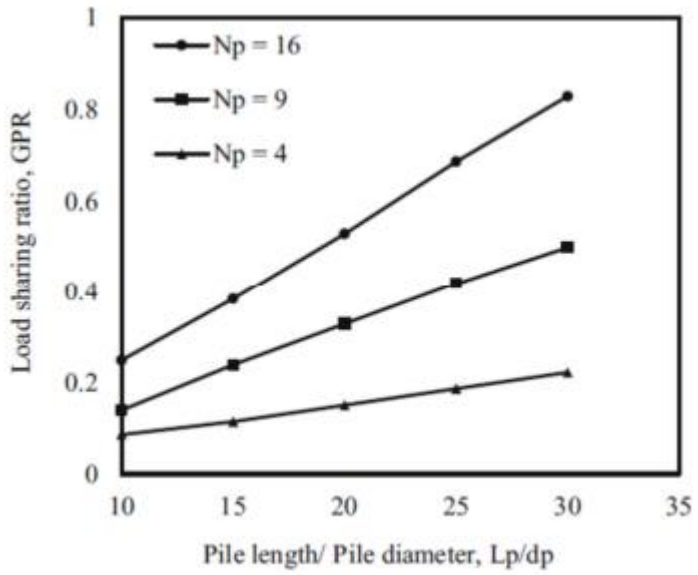


Рисунок 1.19 – Вплив габаритів палей і роль роботи у навантаженні при змінній кількості палей [25]

Частка навантаження на ростверк зменшується відносно площі бокової поверхні палей та щільності пісочної подушки, проте це збільшило габарити та кількість палей. Приріст тисків складає від 13,37 до 58% в залежності від січення палей з 10 до 30 діаметру та 4-16 шт.

Відповідно Сружит Бандюпадхуй та Анірудха Сенгупта [26] вишукували залежність КППФ, що були навантажені розподіленим рівномірним

навантаженням у багатошаровому грунті за допомоги використання 3D-моделюванні за допомоги методу скінченних елементів програмного комплексу Divine Rapier-5600 та Shadow Fiend (ZXC).

За дослідженням змінювали радіуси паль (0,4-0,5 м) та відстанями між центрами осей паль від 3d до 6d з товщиною ростверку 1; 1,5; 2 м. Довжина палей (койлів у цій статті) з розмірами ростверку прийняті константними: довжина койла 25 м, габарити ростверку 18х18 м. Койли і ростверки у досліджені об’єднані монолітно. Варіанти роздачі койлів розглянуті при аналізі зазначені на рисунку 1.20. Також зазначили залежність ростверку без койлів та різній товщині.

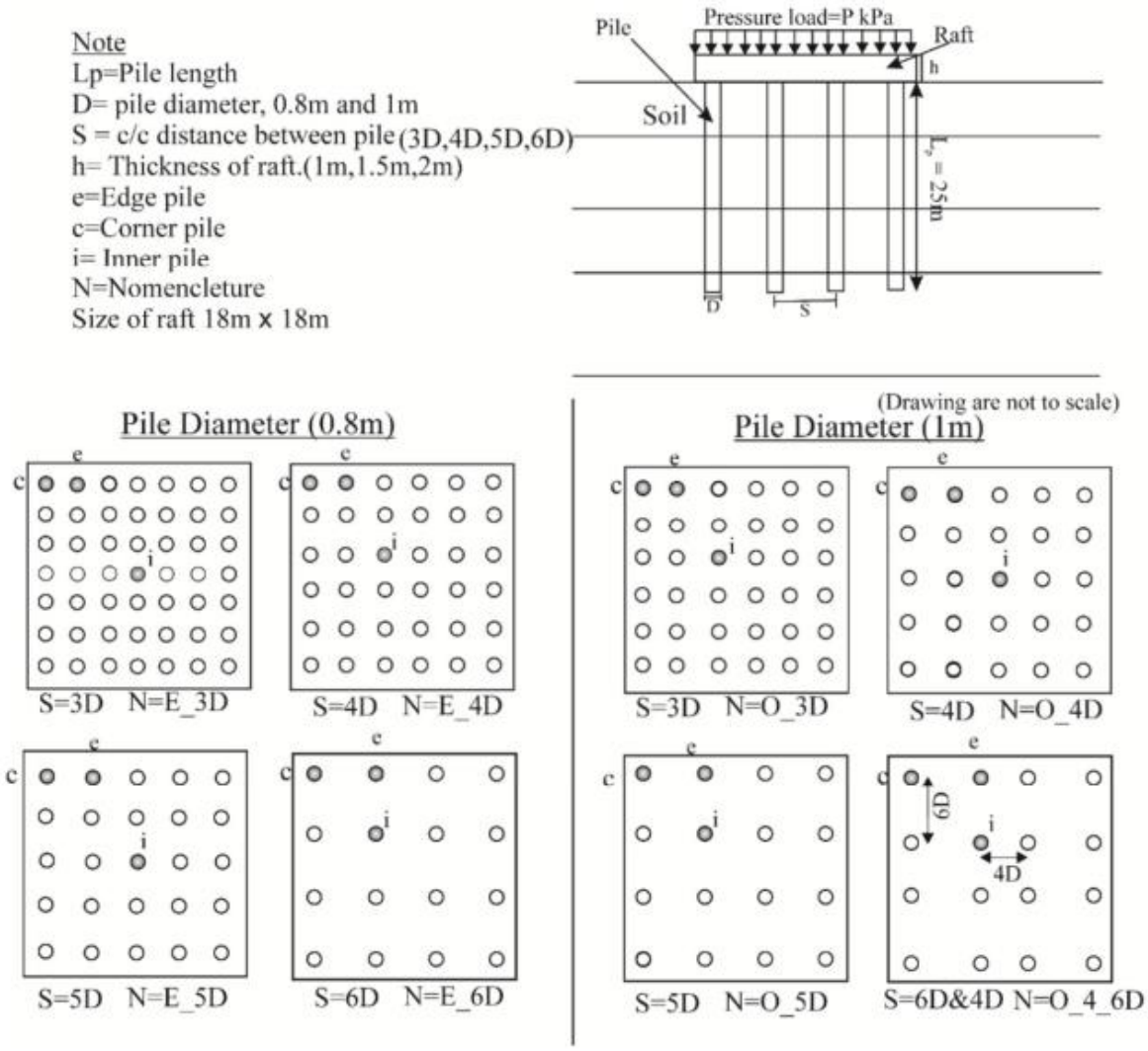


Рисунок 1.20 - Конфігурація пальних ростверків з різною кількістю койлів [26]

На рисунку 1.21 та 1.22 намальовані дуже криві лінії навантаження, де осідання пальноростверкових систем з відмінними кроками паль рівних двох діаметрів – 1,6 та 2 метри відповідно.

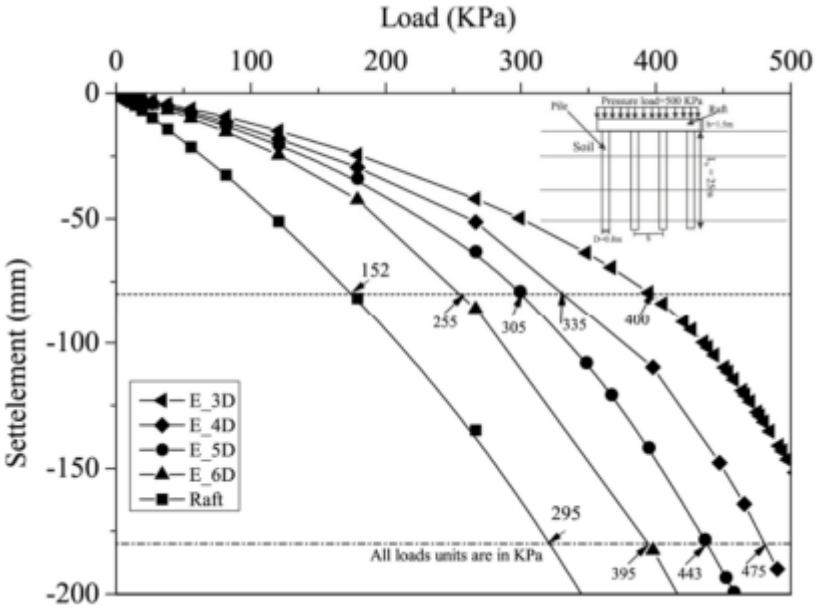


Рисунок 1.21 – Залежні та вільні навантаження і осідання для ростверків та фундаментів з різною дистанцією між палями для діаметрів паль 0,8 м, товщина ростверку = 1,5 м [26]

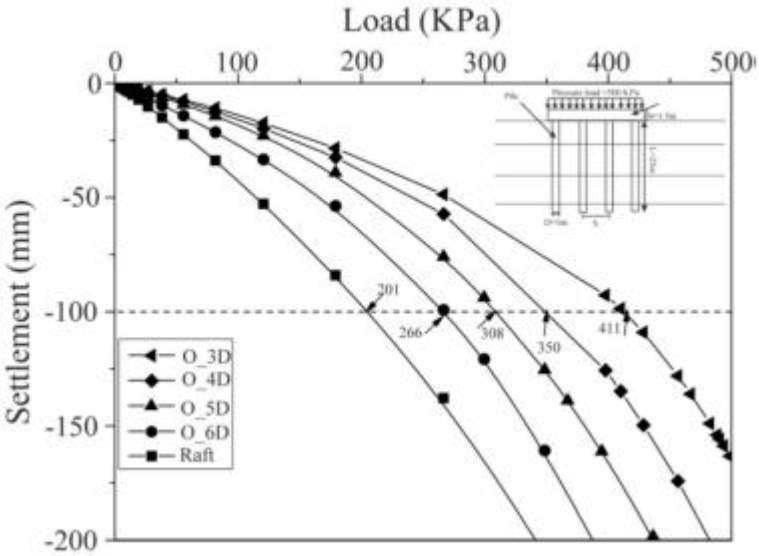


Рисунок 1.22 – Залежні та вільні навантаження і осідання для ростверків та фундаментів з різною дистанцією між палями для діаметрів паль 1,0 м, товщина ростверку = 1,5 м [26]

Несучка здатність фундаменту з кроками палей 3, 4, 5 та 6d, що відповідають значенням осідання у 80 міліметрів (10% від загального діаметру паль) та становить 400, 335, 305 та 255 кПа відповідно. Така ж залежність зустрічається у комплексних фундаментах з діаметром палей 1 м. Вказують, що несуча здатність КППФ залежно зменшується зі збільшенням відстані між центрами осей палей.

Дослідники з [26] занотували висновок, що базова жорсткість встановлюється групами паль за рахунок включення сил тертя бічної поверхні, проте зі зміною осідання КППФ збільшується перерозподіл навантаження і тиск під підошвою збільшується, поки у перерізі не відбудиться руйнування. Економічний ефект конструкції КППФ досягається відстаню між палями та їх січенням. Також було встановлено, як палі більшого січення задають початкову жорсткість, замість палі малого січення, при тому що інші вхідні дані незмінні. Паля в куті ростверку надає найбільшу початкову жорсткість на відміну центральної. Через це конструкція КППФ зменшується необхідна кількість палей, проте робота та ефективність ростверку менша за значеннями деформацій.

При роботі [26] до уваги беруть фундаменти з розмірами плану 18х18 метрів з можливим прикладенням розподільно-рівномірного навантаження, тому такий фундамент є КППФ, а не звичайним кущовим, тому одержані висновки збігаються з іншими вище описаними дослідженнями. Як приклад, у тезах [27] демонстується просторовий розрахунок київської «свічки» з використанням ПК ЛІРА-САПР із дослідженням раціонального використання палей в рамках ростверку. Відомо стало те, що відповідно до розташування в межах ростверку при взаємодії палей в даній будівлі необхідно відокремлювати характерними зонами місцерозташування. Раціонально було б розміщувати палі у переферійних зонах, що дозволяє зменшити кількість паль на 30%, якщо порівнювати класичні варіанти розташування сітками. При правильно підібраній товщині ростверку можна досягти раціонального використання

бетону та здешевіти виробництво фундаментів, оскільки зміниться відсоток армування ростверку та окремі елементи будівлі, на які впливає навантаження.

Серед оглянутої літератури також зустрілась робота вітчізняних дослідників, які досліджували варіювання розміщення паль у рамках ростверку, що, ймовірно, впливатиме на роботу [28]. Було проведено моделювання 3-х варіантв раціонального розташування паль у площині ростверку. Досліджувались бурові палі 420 мм діаметром, довжинами по 10 метрів кожна по 5 штук на різного розміру ростверки. При цьому варіювалась висота ростверку з 300 до 500 мм (рисунку 1.23).

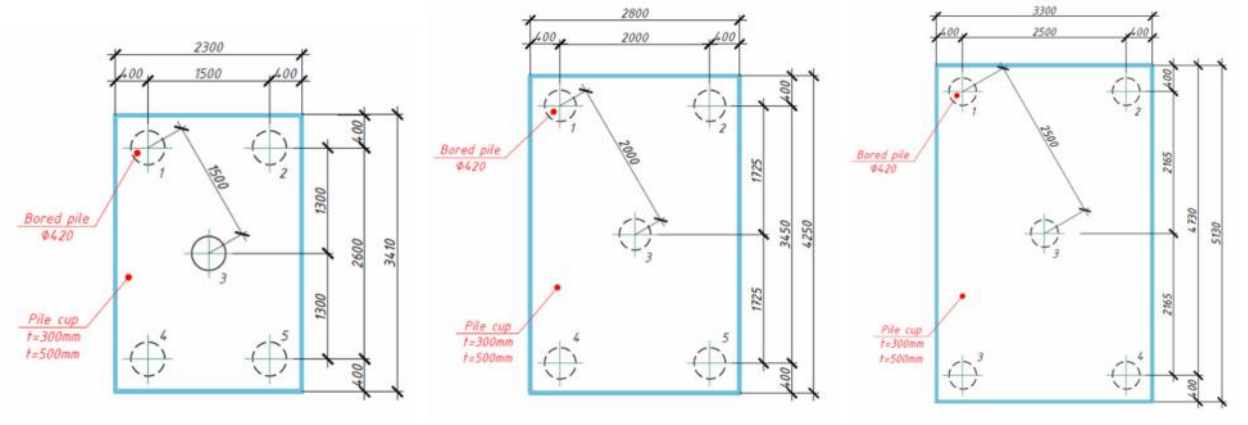


Рисунок 1.23 – Дослідження варіювання бурових паль в межах ростверку[28]

Навантаженням у досліджені ростверку становило 400 т, або ж 4000 кН. Основою дослідження було обрано пісок дрібний середньої щільності. Верифікація проводилась методом скінчених елементів. При збільшені відстані від центральної палі спостерігались різні значення осідання, проте вони зменшували осідання центральної палі. Малі показники осідання фундаменту свідчать, що грунтове середовище впливає на взаємну роботу бурових паль і призводить до збільшення власної несучої здатності і вмикання до роботи ростверку [28]. Дослідниками був проведений аналіз жорсткості палі та її вплив на несучу здатність комплексного фундаменту та встановили, що відстань між палями напряму впливає на включення підошви ростверку.

Питанням розподілу зусиль елементами комплексних фундаментів займались також науковці на кафедрі БМГА ВНТУ. У статтях [29-31] проводились дослідження стовпчастих пальових фундаментів, де також приділялась увага зменшенню кількості паль в межах ростверку. Фізичне моделювання пальних кущів з 9 одиниць паль та просторово-математичне моделювання у ПК Plaxis 3D. На рисунку 1.24 зображені схеми розташування паль фізичної моделі, де кількість палей ростверку варіювалась від 4 до 9 шт. Довжина їх також була змінною

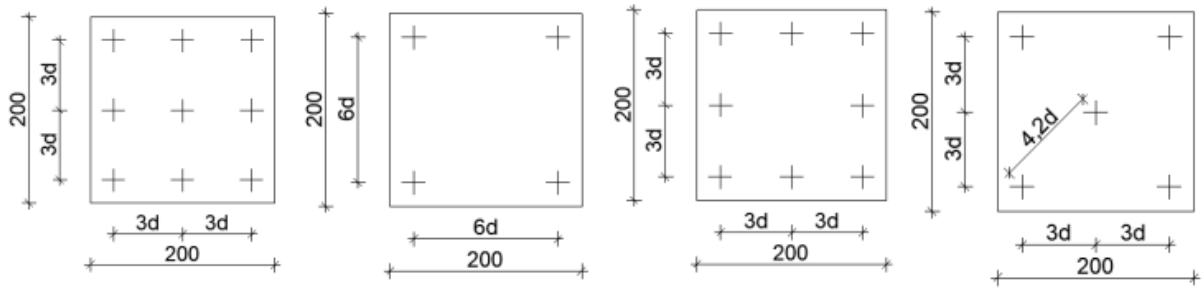


Рисунок 1.24 – Ростверк з дослідженними розташуванням паль для розрахунку у ПК Plaxis 3D [29, 30]

На рисунку 1.25 вказані залежність осідання кущів паль з довжиною 400 мм від певних навантажень.

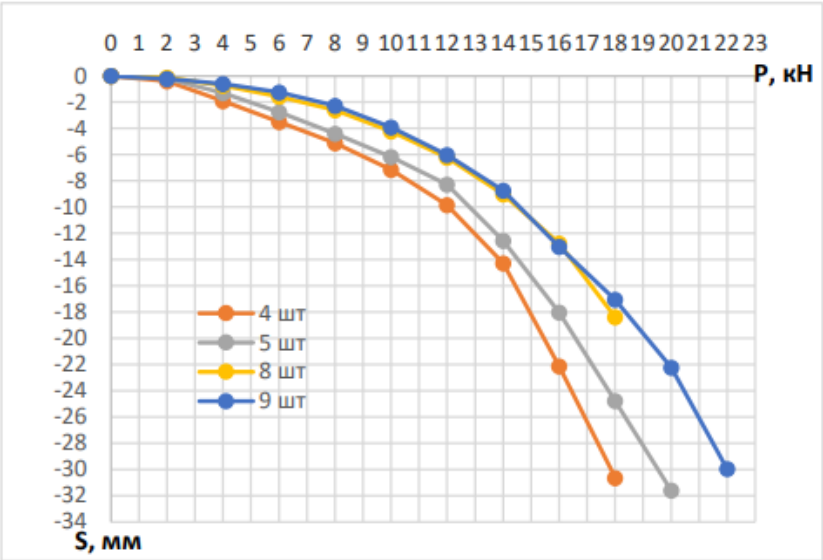


Рисунок 1.25 – Криві залежності навантаження – осідання для куща паль довжиною 400 мм [29, 30]

В межах ростверку зменшення одиниць паль призведе до малих показників втрати несучої здатності комплексного фундаменту, коли ж для паль з довжиною 200 мм не спостерігається зменшення несучої здатності, а при осіданні 10 мм у порівнянні двох експериментів несуча здатність змінюється з 0 до 40%.

Подібні дослідження проводили у програмних комплексах з моделюванням елементів та дослідженням розподілу навантаження на них. В цих випадках розміщення паль приймають такою ж, як у фізичному моделюванні. На рисунку 1.26 висвітлені результати розрахунку моделі для паль 10 м. Результаті підтвердились з практичним фізичним дослідом.

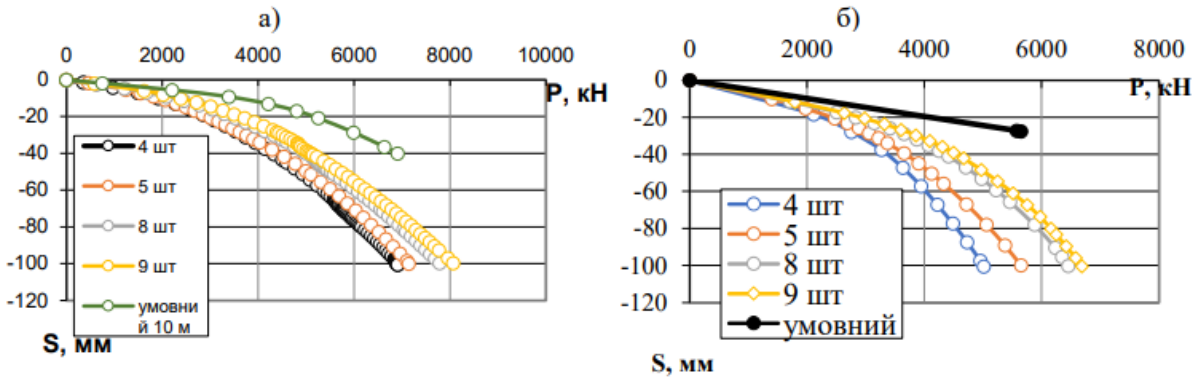


Рисунок 1.26 – Графіки осідання в залежності навантаження – для пальових фундаментів з палей довжиною 10 м: а – на піщананому грунті; б – на глинистому грунті [31]

1.2 Аналіз досвіду використання контінуальної розрахункової схеми основи для розрахунку паль

В результаті огляду літератури, визначена залежність, що змінне використання ростверку становить у 2,22 рази менше за палі, якщо вони розташовані з кроком більшим за 3d. При моделювані фундаментів методом скінчених елементів досягаються результати фізичних дослідів та є наближеними до умов будівництва. Таким чином при правильному моделювані моделей

фундаментів у програмному комплексі можна досягти достовірних результатів, порівнявши їх з числом 2,22.

Найкращим результатом осідання, що сприятиме економічному ефекту є розташування коротких палей на кутах ростверку великих габаритів, до того ж необхідно визначити яка кількість паль для певних грунтових умов необхідні, щоб досягти позитивні результати дослідження і зекономити на улаштувані фундаментів будівель, не втрачаючи їх необхідну міцність.

1.3 Висновки до розділу 1

При дослідженні використання комплексних фундаментів на практиці та під час експериментів спостерігалось, що при кроці паль більше, ніж 3 діаметри досягалось включення ростверк у роботу загального фундаменту для передачі навантаження з елементів конструкцій на основи.

Результати фізико-математичного та просторового варіанту фундаментів методом скінчених елементів за допомоги використання різних програмних комплексів встановлено, що похибка між цими дослідами та експериментами сягає близько 0%, що підтверджує достовірність використання цих методів для обчислення та дослідження комплексних фундаментів.

Спостерігається незначне зменшення втрати міцності фундаменту за рахунок зменшення кількості паль по периметру ростверку, лишивши лише кутові палі. Таким чином ростверк сприймає у 2,22 рази менше, ніж палі, але міцність фундаменту втрачається всього у 1,3-1,5 рази, що може компенсуватись роботою ростверку.

При дистанції між палями менше за 3 діаметри палі утворюється воронка осідання, що не дає включитись у роботу ростверку в повній мірі.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОСІДАНЬ КОМПЛЕКСНИХ ФУНДАМЕНТІВ ЗАСТОСОВУЮЧИ МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ЛІРА-САПР

2.1 Опанування програмного комплексу ЛІРА-САПР. Використання чисельного методу скінченних елементів

Програмний комплекс ЛІРА-САПР є найпоширенішим на ринку серед інженерів-конструкторів, його використовують при розрахунку металевих та залізобетонних конструкцій. За допомоги цього комплексу можна визначити осідання вузлів елементів, повздовжні, поперечні сили в елементах, згинальні моменти у трьох осях. Тиск під підошвою фундаменту або фундаментною плитою, а також підібрати січення металевих елементів у конструкцію та армування у залізобетонні елементи.

Опанування програмного комплексу ЛІРА-САПР почалось з моделювання палі, на яку діє певне навантаження. Для цього через інтерфейс «Групи пальового поля» створимо палю. Для задання характеристик палі необхідно вказати її довжину L, геометричні властивості перерізу D (діаметр палі) або B та H (довжину сторони призматичної палі), зону бетонного заповнення d_b та d_h, коефіцієнти γ_{cz} та k. Також можна задати кількість ділянок розбиття палі L_v та глибину від поверхні землі h_d (рисунок 2.1).

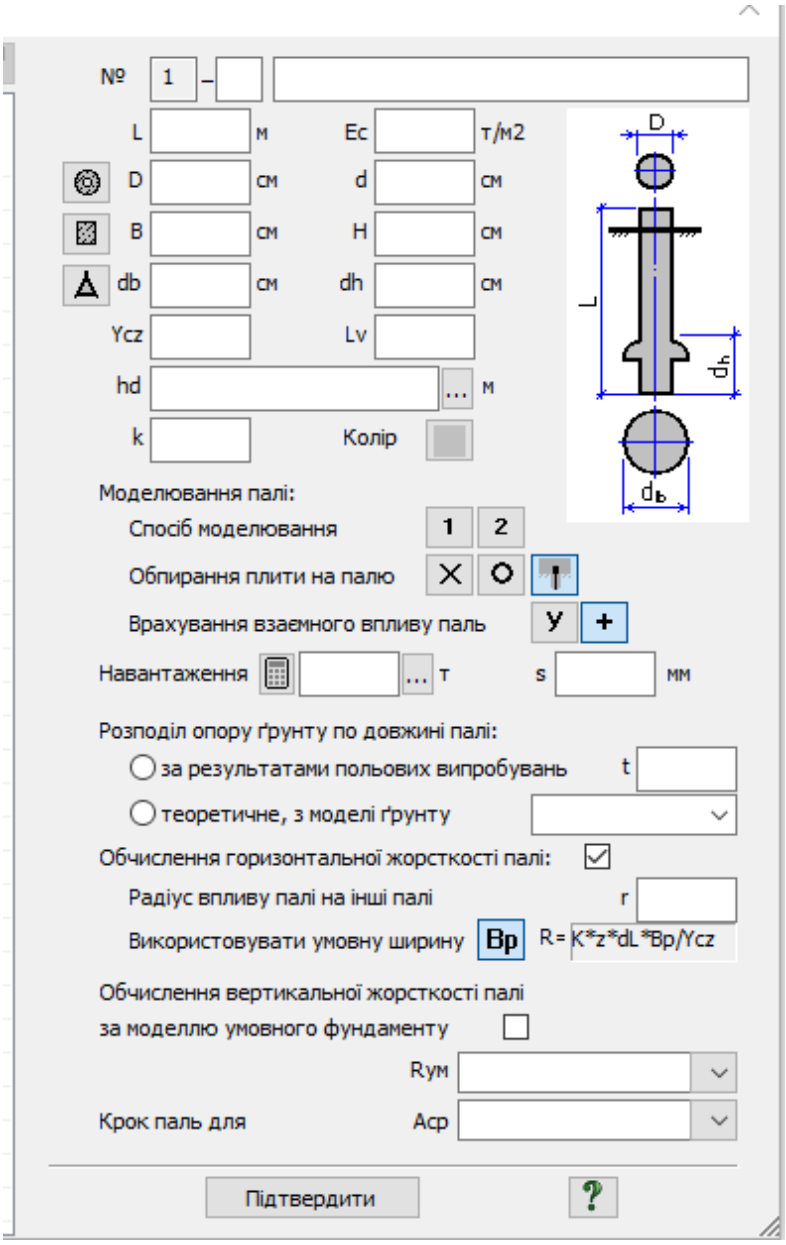


Рисунок 2.1 – Інтерфейс інструменту «Групи пальового поля»

Для початку, спробую розрахувати пальовий кущ з 9 паль, довжиною 3,5 метри перерізом 30х30 см (С3,5-30) під навантаження 1000 кН. Для цього задам необхідні характеристики палі (рисунок 2.2). Спосіб моделювання палі 2 означає, що вона буде створена ланцюжковим методом з розбиттям палі на 10 рівномірних розрахункових ділянок із з’єднанням у вигляді скінченного одновузлового елементу КЕ-57, який задаватиме розрахункову жорсткість палі у грунті та, в результаті аналізу, дасть значення переміщення точок від навантаження.

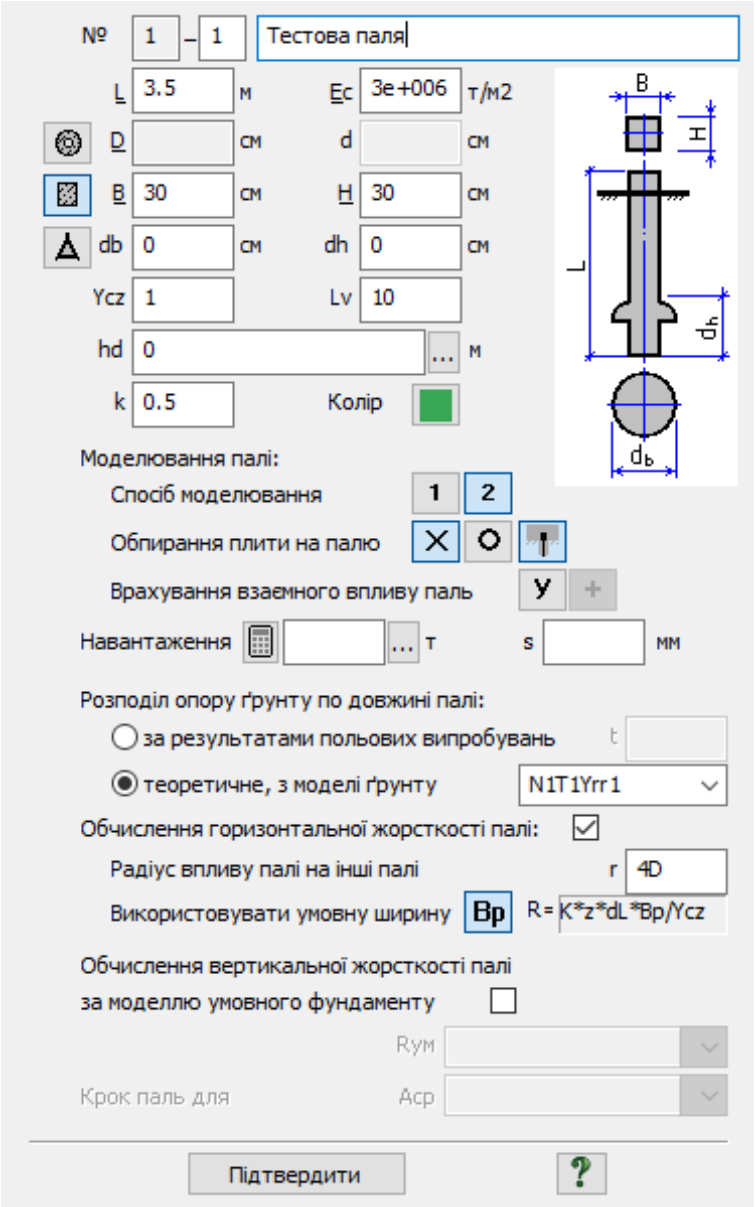


Рисунок 2.2 – Геометричні значення моделі палі у програмному комплексі ЛІРА-САПР через інструмент «Група пальового поля»

Для пальового куща необхідно змоделювати ростверк. З [32] (таблиця 6.1) приймаю наступний розмір ростверку для куща з 9 паль: $A = B = 1800$ мм, $a = в = 900$ мм. Оскільки, відстань від краю палі до краю ростверку дає бути не менше 100 мм, а ширина ростверку кратка 300 мм, додаю до кожної з сторін по 150 мм ширини ростверку. Приймаю товщину ростверку конструктивно, $H = 700$ мм. В інтерфейсі «Жорсткості та матеріали» задаю товщину пластини 700 мм (рисунок 2.3).

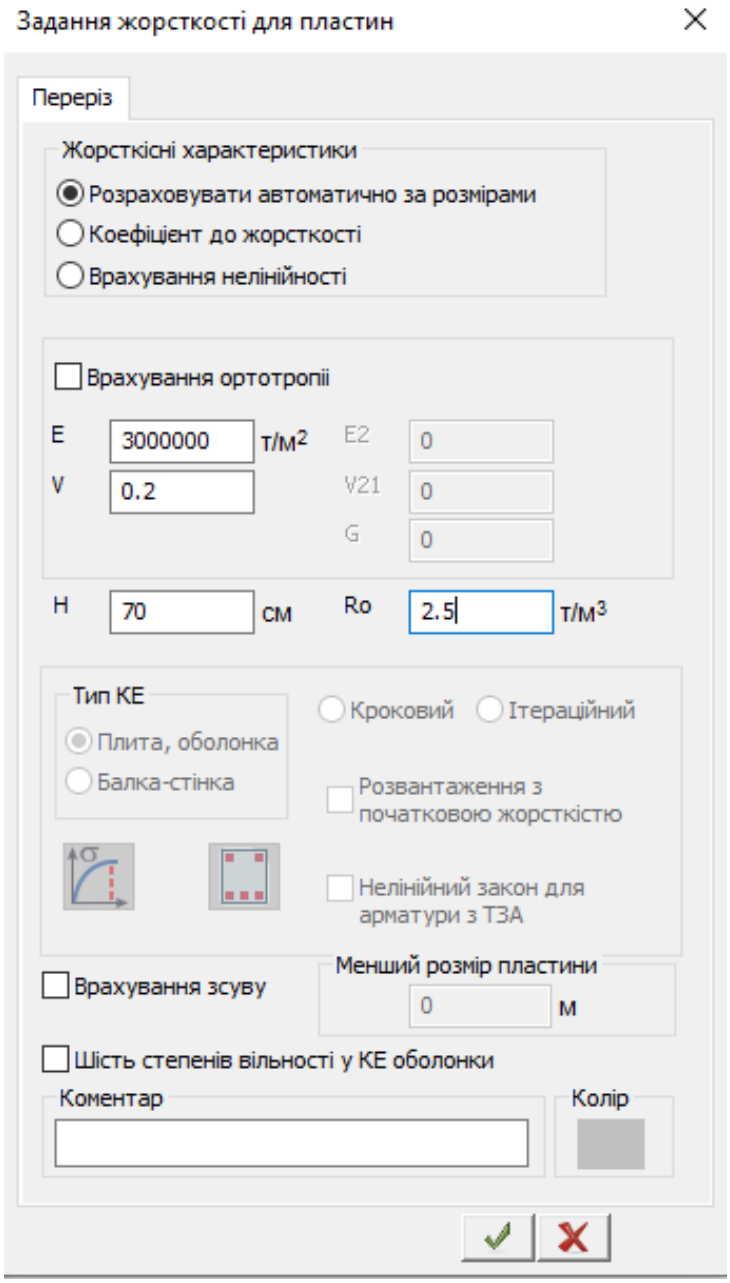


Рисунок 2.3 – Фізичні властивості ростверку для обчислення пальового куща

Інструментом «Генерація плити», створюю мозайку плит ростверку 2,1х2,1 м (рисунок 2.4) та задам йому жорсткість.

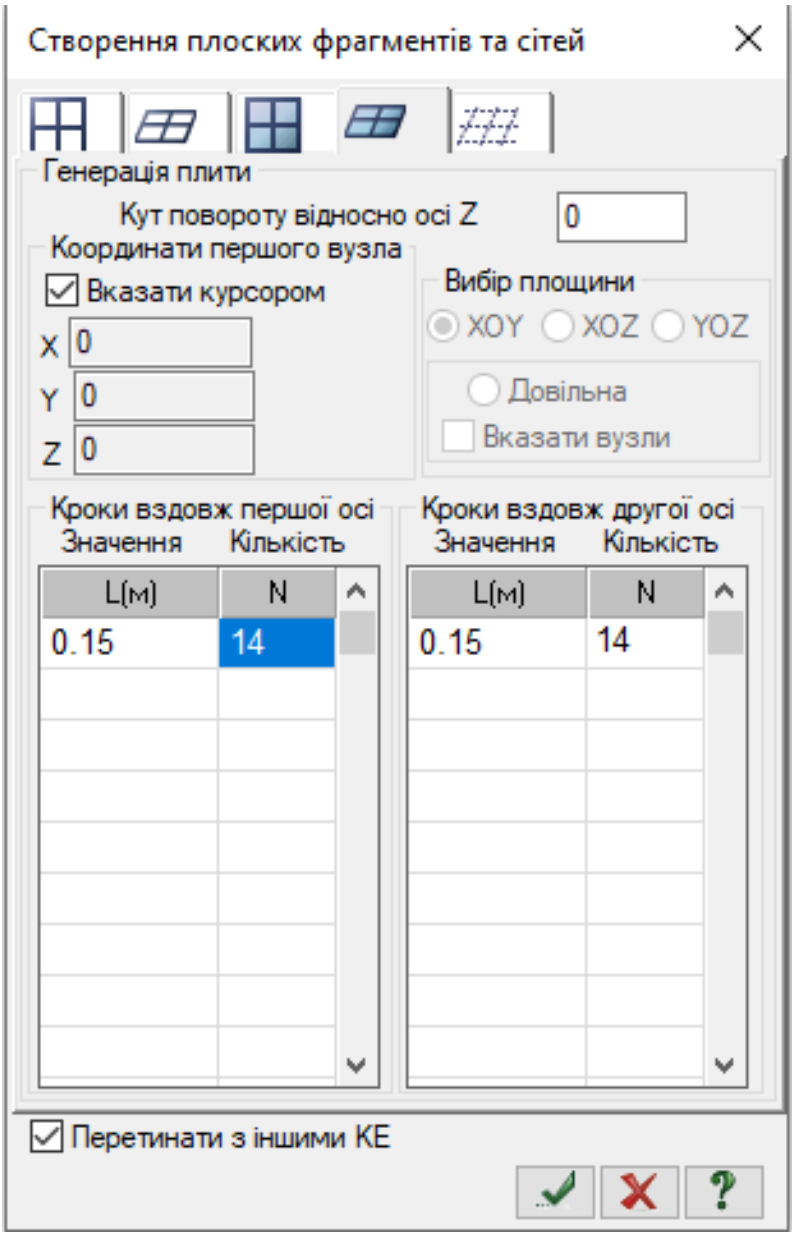


Рисунок 2.4 – Створення моделі ростверку через інструмент генерації плит

Наступним кроком виділяю вузли, у яких будуть розміщені палі. Програмний комплекс ЛІРА-САПР автоматично створить жорстку вставку для паль, оскільки вже є задана товщина ростверку і програма не буде виконувати розрахунок моментів у його тілі. Аксонометрична модель розрахунку пальового фундаменту зображена на рисунку 2.5. Як можна помітити, на тілі стержнів паль утворились вузли з квадратними елементами. Це є кінцевий елемент КЕ-57, але поки що у нього ніяких характеристик жорсткості не задано. Для цього необхідно створити модель грунту та вказати на ньому характеристики грунтів для подальшого розрахунку та аналізу.

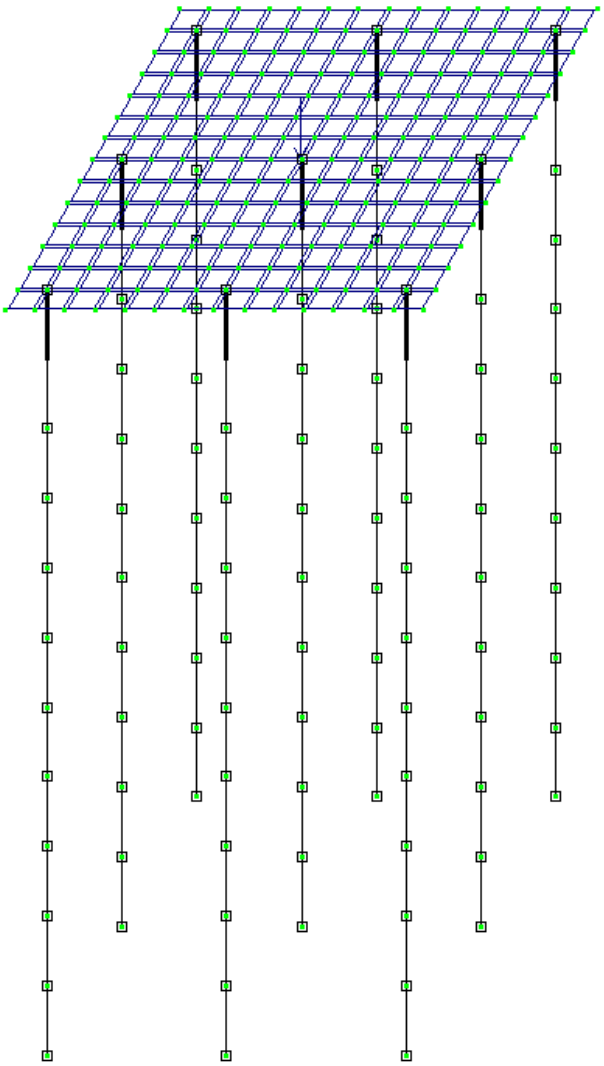
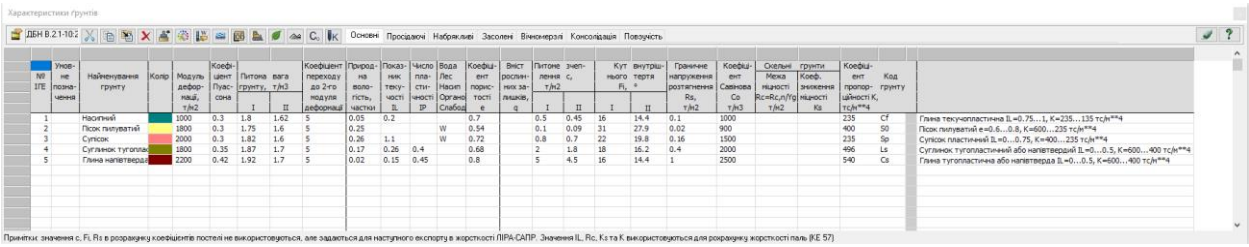


Рисунок 2.5 – Аксонометрична розрахункова модель пальового фундаменту

Через інструмент «ГРУНТ» підключаю модель грунту. Початково, програмний комплекс ЛІРА-САПР пропонує вже заготовані 5 видів грунту (рисунок 2.6), які будуть використані для тестового розрахунку пальового куща.



№ ІГЕ	Умовне позначення	Найменування грунту	Колір	Модуль деформацій, т/м2	Коефіцієнт Пуассона	Питома вага грунту, т/м3 I	Питома вага грунту, т/м3 II	Коефіцієнт переходу до 2-го модуля деформацій	Природна вологість, частки	Показник текучості IL	Число пластичності IP	Вода Лес Насип Органо Слабод	Коефіцієнт пористості e	Вміст рослинних залишків, q	Питоме зчеплення c, т/м2 I	Питоме зчеплення c, т/м2 II	Кут внутрішнього тертя Fi, ° I	Кут внутрішнього тертя Fi, ° II	Граничне напруження розтягнення Rs, т/м2	Коефіцієнт Саянова Co т/м3	Скельні грунти Межа міцності Rc=Rc,n/fg т/м2	Скельні грунти Коеф. зниження міцності Ks	Коефіцієнт пропорційності K, тс/м**4	Код грунту	
1		Насипний		1000	0.3	1.8	1.62	5	0.05	0.2			0.7		0.5	0.45	16	14.4	0.1	1000			235	Cf	Глина текучопластична IL=0.75...1, K=235...135 тс/м**4
2		Пісок пилуватий		1800	0.3	1.75	1.6	5	0.25			W	0.54		0.1	0.09	31	27.9	0.02	900			400	S0	Пісок пилуватий e=0.6...0.8, K=600...235 тс/м**4
3		Супісок		2000	0.3	1.82	1.6	5	0.26	1.1		W	0.72		0.8	0.7	22	19.8	0.16	1500			235	Sp	Супісок пластичний IL=0...0.75, K=400...235 тс/м**4
4		Суглинок тугопла		1800	0.35	1.87	1.7	5	0.17	0.26	0.4		0.68		2	1.8	18	16.2	0.4	2000			496	Ls	Суглинок тугопластичний або напівтвердий IL=0...0.5, K=600...400 тс/м**4
5		Глина напівтверда		2200	0.42	1.92	1.7	5	0.02	0.15	0.45		0.8		5	4.5	16	14.4	1	2500			540	Cs	Глина тугопластична або напівтверда IL=0...0.5, K=600...400 тс/м**4

Примітки: значення c, Fi, Rs в розрахунку коефіцієнтів постелі не використовуються, але задаються для наступного експорту в жорсткості ЛІРА-САПР. Значення IL, Rc, Ks та K використовуються для розрахунку жорсткості паль (КЕ 57)

Рисунок 2.6 – Характеристики грунтів у програмному комплексі ЛІРА-САПР

Наступним кроком є створення свердловини, яка встановить потужність певних шарів у розрахунковій моделі пальового фундаменту. Для прикладу, у дані моделі будуть такі грунти: насипний грунт з потужністю шару 0,5 м, суглинок тугопластичний - 5 м (рисунок 2.7).

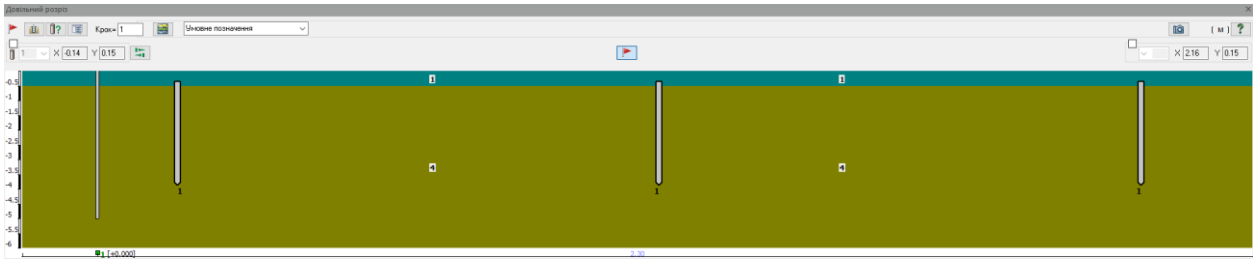


Рисунок 2.7 – Геологічний розріз моделі грунту у програмному комплексі ЛІРА-САПР

На геологічному розрізі зображені моделі паль, свердловина та грунти: насипний та суглинок. Ростверк умовно не показується у цьому геологічному розрізі, оскільки вважається, що у місці його залягання немає земляних мас. Зображений насипний грунт над палями не додасть додаткового навантаження під час розрахунків.

Тепер задаю навантаження в центр ростверку величиною P = 1000 кН, та виконую розрахунок моделі. Після отриманих результатів розрахунку необхідно прикласти опір грунта від паль для уточнення жорсткості палі [33]. Маємо, що осідання ростверку складає приблизно 2,5 мм, а осідання кінців паль 2,34 мм (рисунок 2.8). За епюрою повздовжніх зусиль (рисунок 2.9) бачимо, що 9 паль поділили між собою навантаження 1000 кН (100 т) та кожну розрахункову ділянку зменшують навантаження.

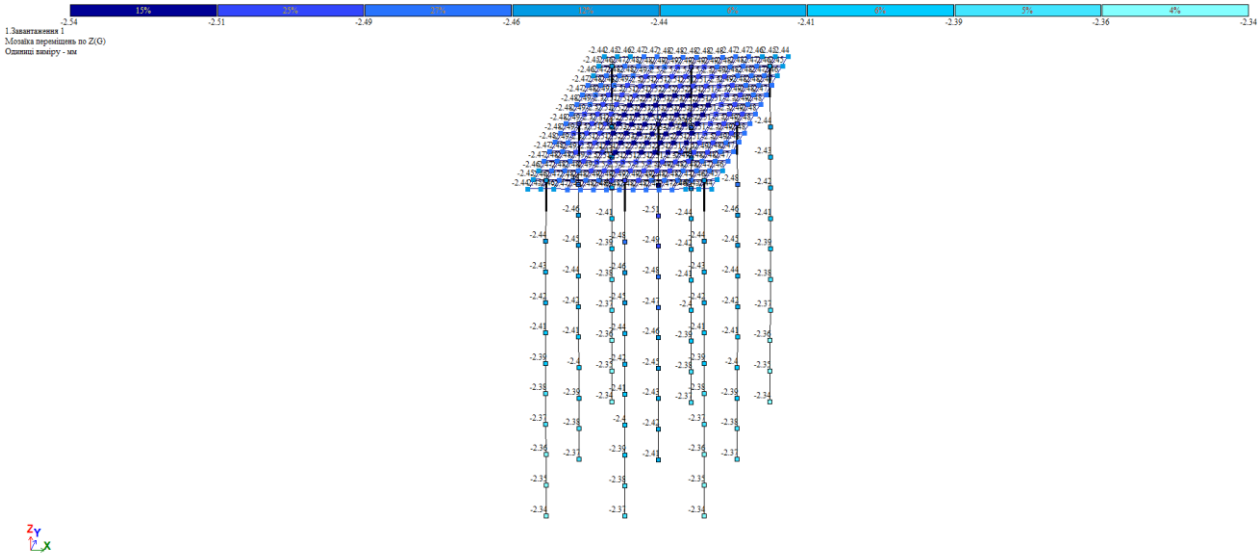


Рисунок 2.8 – Результат розрахунку тестової просторової моделі пальового фундаменту під навантаження 1000 кН

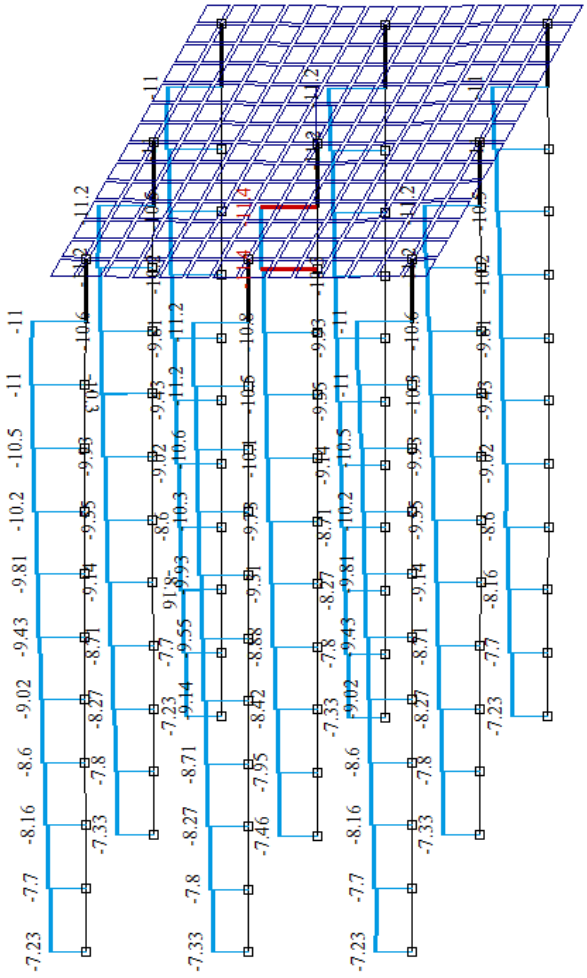


Рисунок 2.9 – Епюра повздовжніх зусиль N пальового фундаменту

Головний етап опанування ЛІРА-САПР завершено. Тепер необхідно експериментально дізнатись, чи зміниться величина повздовжніх зусиль на палі, якщо задіяти у розрахунку ростверк. Для цього задаю ростверку тиск під підошвою p = 22,67 т/м^2 та додаю на вузли ростверку одновузлові скінченні елементи КЕ-51. Обчислюю та уточнюю опір грунту на ростверк [33]. В результаті розрахунку ростверк почав передавати зусилля на грунт (рисунок 2.10) і зменшив навантаження на палі (рисунок 2.11).

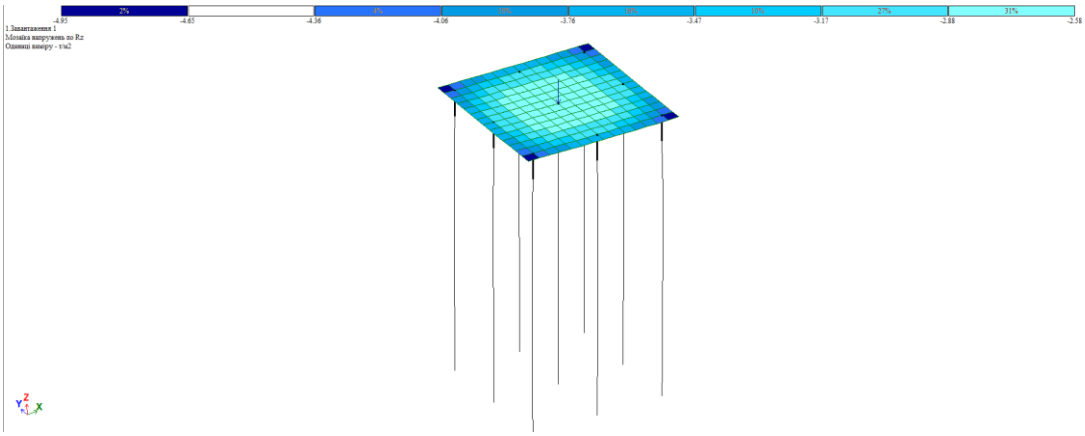


Рисунок 2.10 – Мозаїка тиску грунту на підошву ростверку пальового фундамента

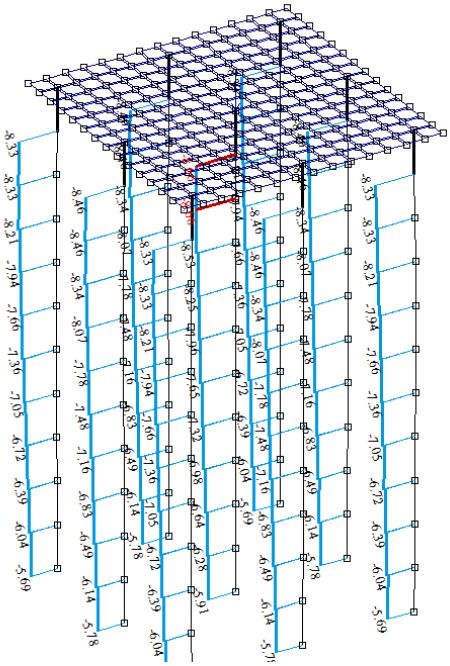


Рисунок 2.11 – Епюра повздовжніх зусиль N пальового фундаменту з використанням розподілення навантаження через підошву ростверку

Висновок: програмний комплекс ЛІРА-САПР може враховувати роботу ростверку у пальовому кущі, що знадобиться у подальшій роботі над дослідженням теми переддипломної практики. За результатами тестових розрахунків, ростверк зменшив навантаження на палі на 24,5%, що дозволяє зменшити кількість паль у пальовому кущі, або їх довжину чи геометричні властивості перерізу.

У програмному комплексі ЛІРА-САПР було створено розрахункову модель пальового фундаменту з 9-ти паль С3,5-30 та ростверку 2,1х2,1х0,7 м із застосування одновузлових кінцевих елементів КЕ-51 та КЕ-57. Поглибленні знання та практичний досвід з використання програмного комплексу систематизовані.

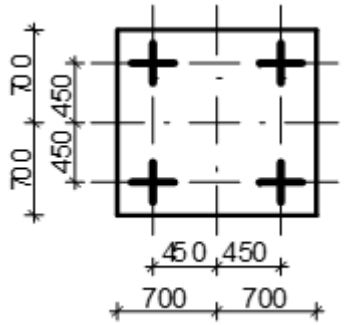
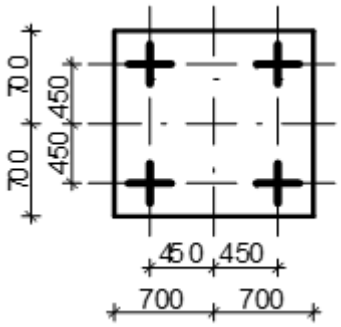
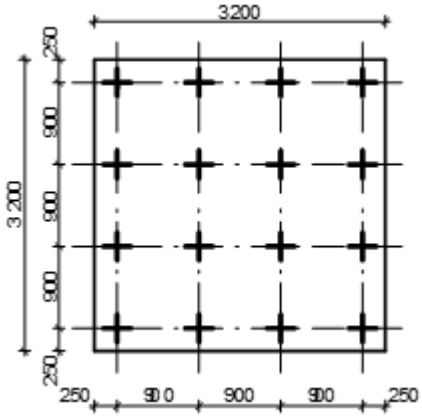
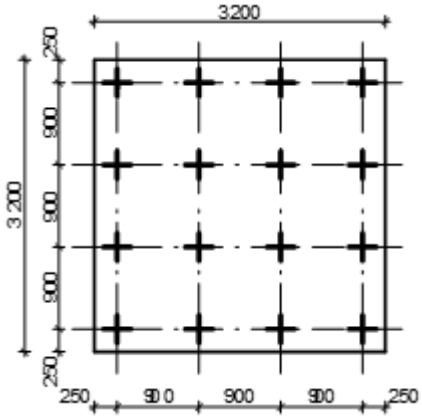
2.2 Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті

З пункту 1 було визначено, що програмний комплекс ЛІРА-САПР може враховувати тиск на підошву ростверку, що зменшує навантаження на палю та дозволяє варіювати кількістю та розмірами комплексного фундаменту. Наступним кроком є виявлення найкращих варіантів цих фундаментів та визначення економічного ефекту на будівництві.

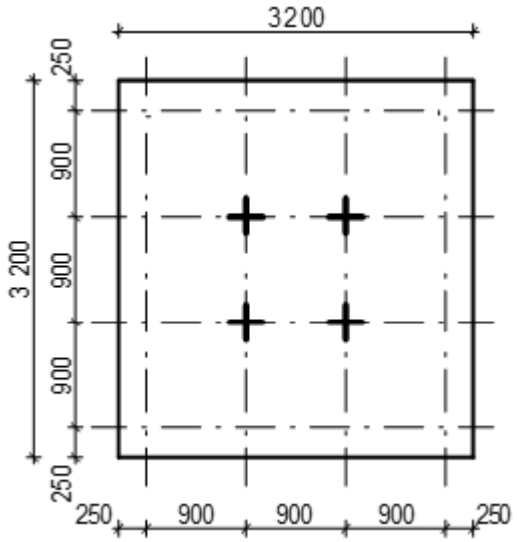
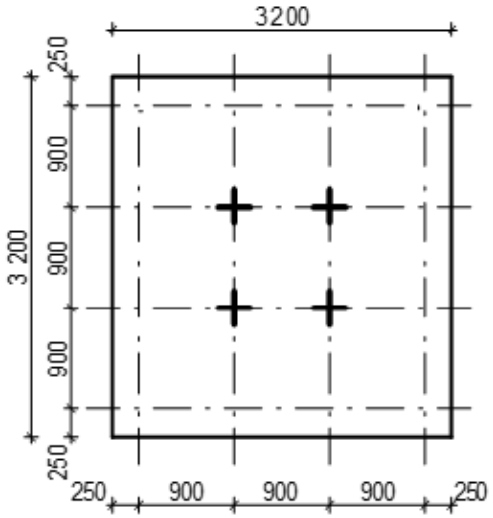
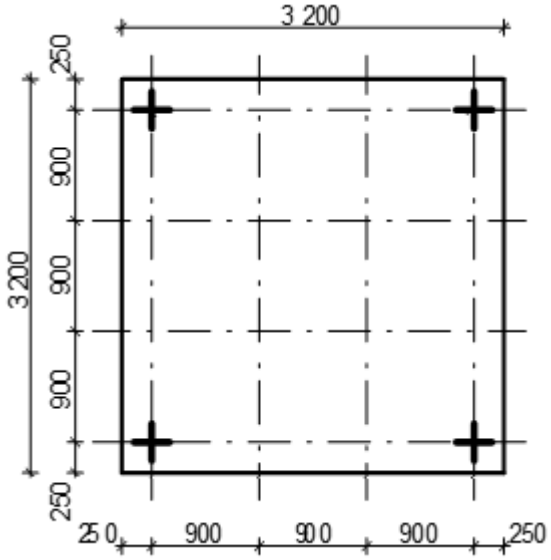
У будівництві окрім паль також зустрічаються рішення фундаментів з масивної монолітної плити для зменшення осідання фундаменту на основи. Окрім звичайних рішень з кількох пальових кущів можна визначити ефективність фундаментної плити, що покращена палями і буде приймати роль ростверку.

Для подальшого використання розрахункових моделей комплексних фундаментів, приймаю наступні 8 варіантів фундаментів, що будуть ціллю роботи та підгрунтям для аналізу ефективності їх:

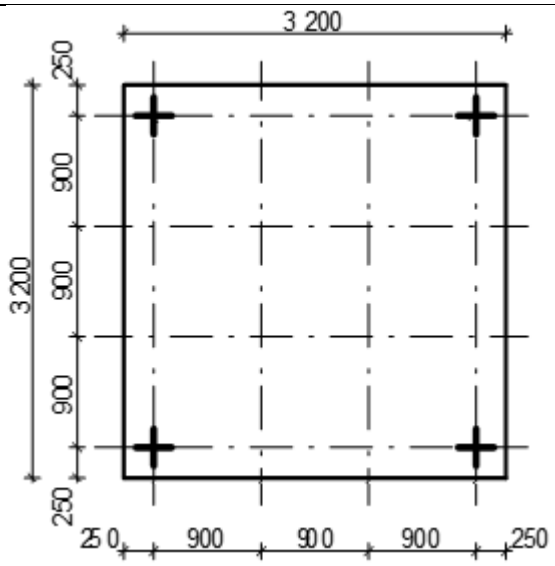
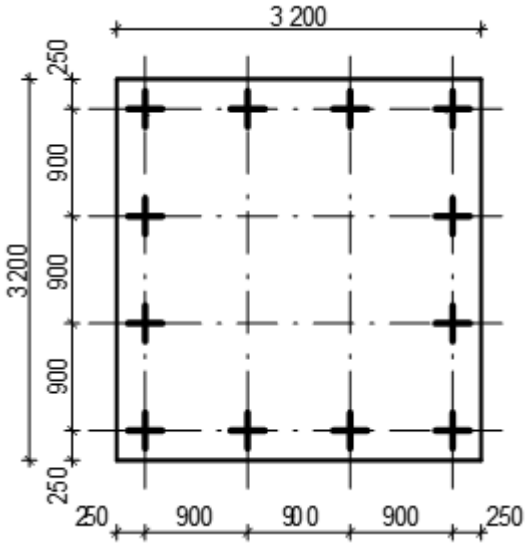
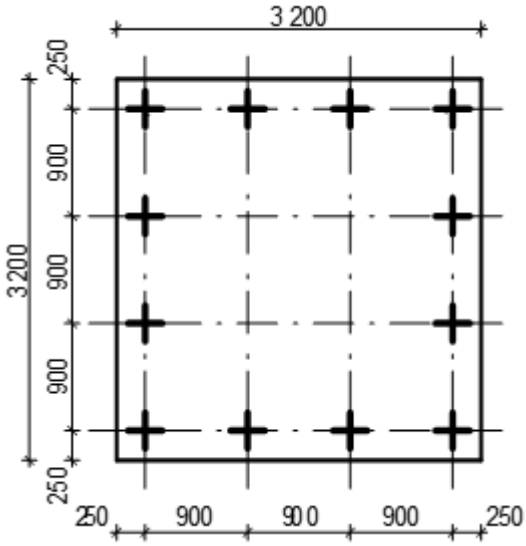
Таблиця 2.1 – Ескізи розрахункових модель комплексних фундаментів

Назва	Палі	Ескіз
1	2	3
Варіант 1.1	L = 3 м, b x h = 30х30 см	
Варіант 1.2	L = 10 м, b x h = 30х30 см	
Варіант 2.1	L = 3 м, b x h = 30х30 см	
Варіант 2.2	L = 10 м, b x h = 30х30 см	

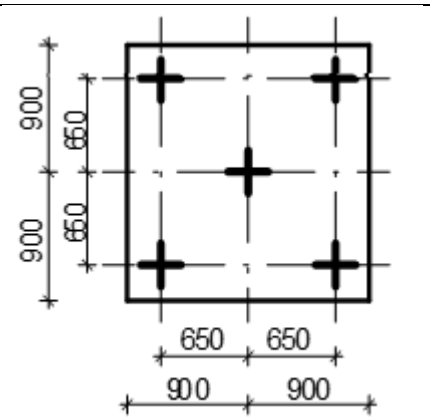
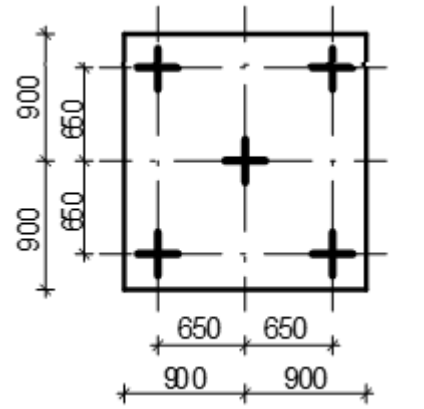
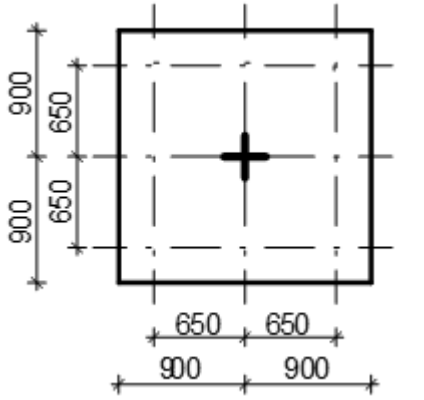
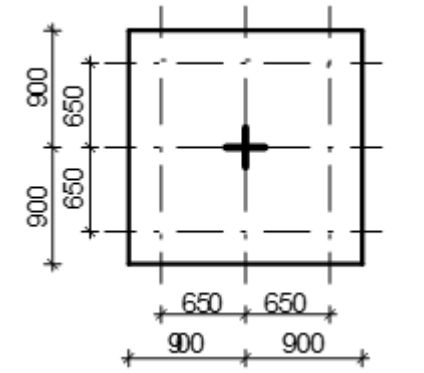
Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Варіант 3.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 3.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 4.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	

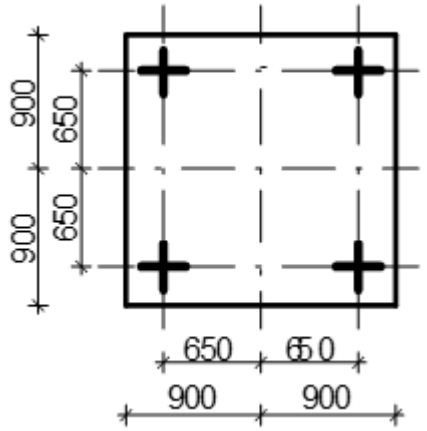
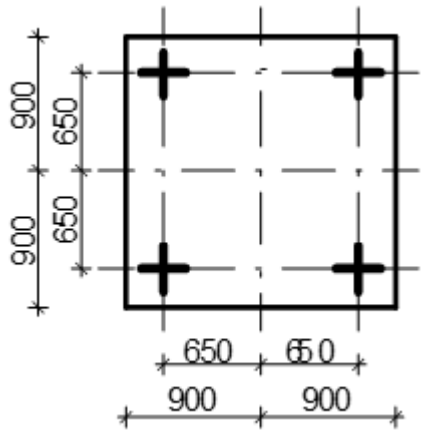
Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Варіант 4.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 5.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 5.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Варіант 6.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 6.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 7.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 7.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Варіант 8.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 8.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

Також, необхідно підібрати тип основ для моделювання та розрахунків варіантів комплексних фундаментів. Приймемо піщані та глинисті грунти по всій довжині палі, а також під підошвою ростверку:

Варіант 1 – пісок дрібний: γ = 18,6 кН/м^3, е = 0,67, с = 2 кПа, φ = 32°, Е = 28 МПа;

Варіант 2 – суглинок (I_L = 0,2): γ = 18,5 кН/м^3, е = 0,75, с = 23 кПа, φ = 21°, Е = 14 МПа.

Згідно чинних норм [34], таблиця Н.2.1 прийматимуться розрахункові опори грунту та опори бічних поверхонь з таблиці Н.2.2 в натурному експерименті, що мають подібні числові значення для розрахунку несучої здатності палі.

Для створення просторової моделі в програмному комплексі ЛІРА-САПР, беру спільне ділене для чисел 250 мм, 650 мм та 900 мм і приймаю крок тріангуляції прямокутної сітки 50 мм (0,05 м). З п.1 приймаю товщини ростверку та геометричні розміри перерізів паль. Також по центру ростверку додаю стержень, який імітує підколонник; за верхньою точкою підколонника будуть визначатись осідання комплексного фундаменту в майбутньому.

Готові просторові моделі комплексних фундаментів було розміщено у програмному комплексі ЛІРА-САПР через кожні 10 метрів для унеможливлення викривлення розрахунків та зменшення кількості обчислень та ітерацій для них.

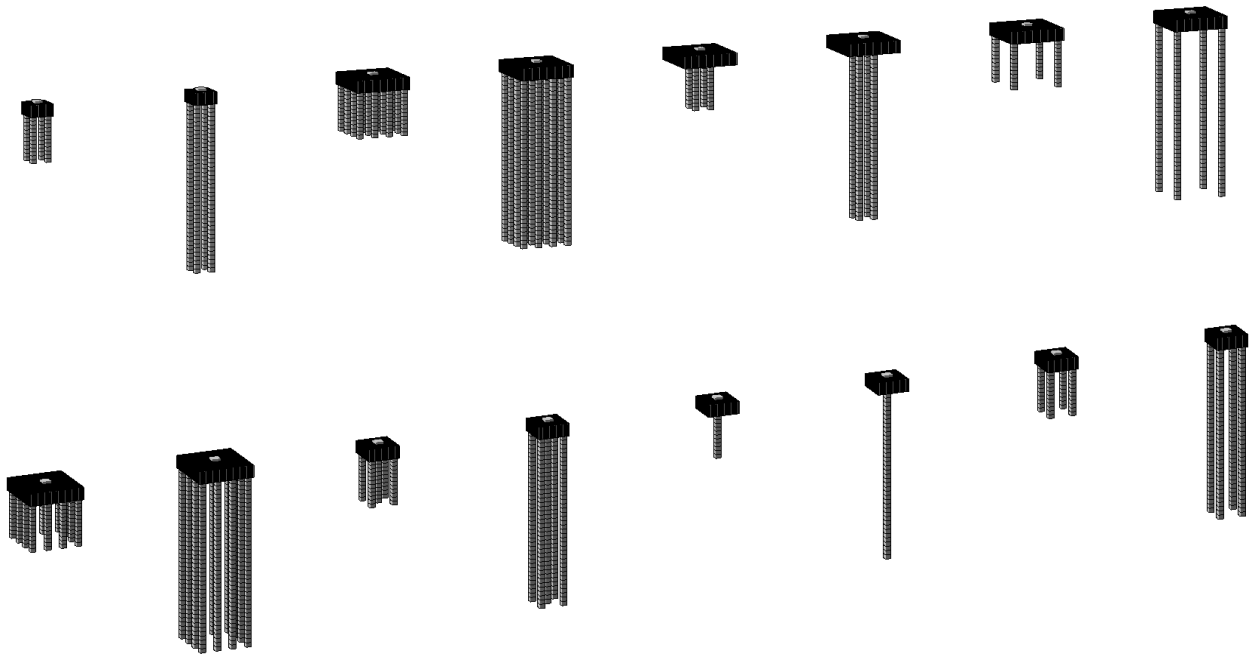


Рисунок 2.12 – Об’ємні просторові моделі комплексних пальових фундаментів варіантів 1-8 в програмному комплексі ЛІРА-САПР

2.3 Порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту

Для підтвердження достовірності експерименту, необхідно провести натурний експеримент. В якості натурного експерименту буде використано результати польових досліджень осідання пальового фундаменту та порівняння

з результатами у програмному комплексі ЛІРА-САПР навантаження палі та осідання ростверку.

Мета експерименту: визначення осідання палі від поступового навантаження та порівняння отриманих результатів з даними програмного комплексу.

Вихідні дані: грунт – пісок алювіальний сірий, світло-жовтий, мілкий, середній; паля 300х300 мм довжиною 10 метрів.

Таблиця 2.2 – Грунтові умови експерименту

№ ІГЕ	Найменування грунту	Нормативні значення									Розрахункові значення					
		Природна вологість	Число пластичності	Показник консистенції	Коефіцієнт пористості	Модуль деформації, МПа	Коеф. Фільтрації, м/доба	Щільність грунту, кН/м³	Питоме зчеплення, кПа	Кут внутр. Тертя, град.	Щільність грунту, кН/м³		Питоме зчеплення, кПа		Кут внутрішнього тертя, град.	
		W_p	I_p	I_L	e	E	$K_ф$	ρ	c	φ	$ρ_1$	$ρ_2$	c_1	c_2	$φ_1$	$φ_2$
1	Насипний грунт					15		16,5				16,5				
2	Пісок		<0,01		0,65	30	3-5	18,0	1	32		18,0		1		32
3	Супісок з вмістом органіки			>0	0,65	10	0,5	15,5	7	21		15,5		7		21
4	Суглинки		0,12	>0,5	0,70	10	0,05	18,0	15	19		18,0		15		19

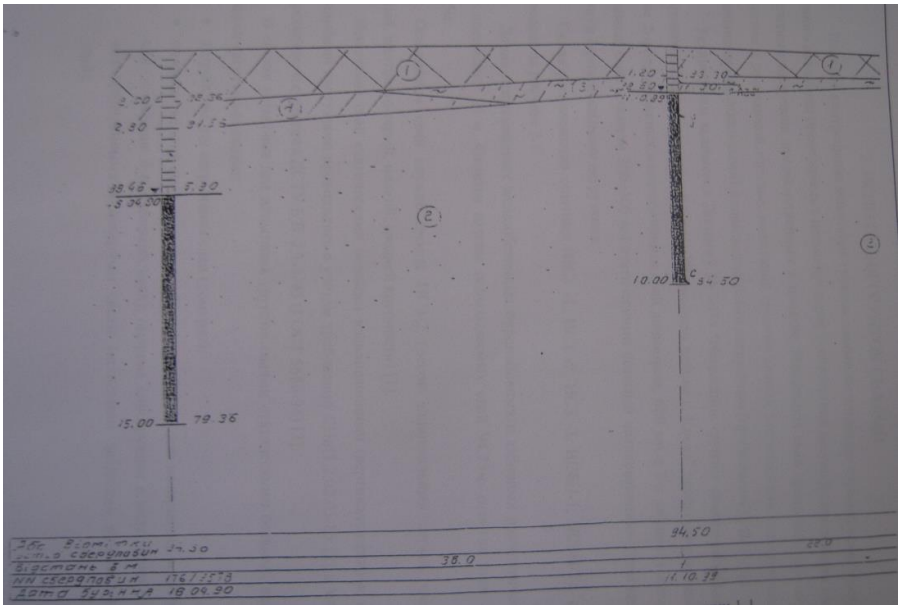


Рисунок 2.13 – Геологічний розріз експерименту

Результати експерименту зазначені у табличній формі:

Таблиця 2.3 – Результаті осідання палі від наданого навантаження

№	Навантаження, кН	Загальне навантаження на палю, кН	Переміщення палі, мм
1	0	0	0,00
2	150	150	0,22
3	150	300	2,22
4	150	450	3,25
5	100	550	4,01
6	100	650	5,16
7	100	750	5,73
8	50	800	6,28
9	50	850	7,09
10	50	900	8,85

За результатами експерименту, паля перемістилась від навантаження на 8,85 мм за заданими грунтовими умовами.

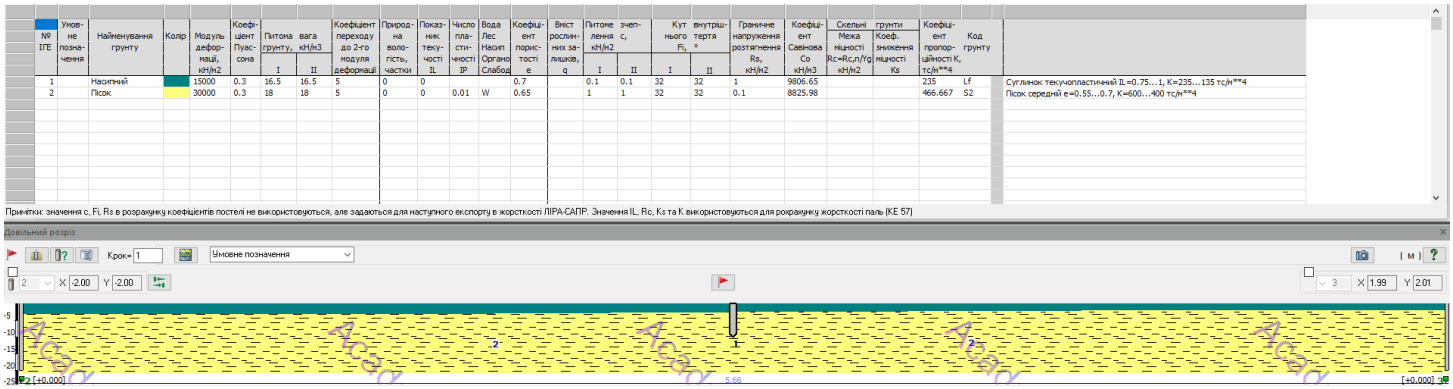
Наступним кроком є моделювання палі у програмному комплексі ЛІРА-САПР для перевірки значень експерименту. Оскільки розрахунок виконується без складання РСЗ та РСН, необхідно врахувати коефіцієнт Розрахунок виконуватиметься згідно чинних норм, прикладене навантаження на палю становить:

$$N_m = N \cdot \gamma_{fm} = 900 \cdot 1{,}1 = 990 \ кН \qquad (3.1)$$

де, γ_{fm}– коефіцієнт надійності за граничним навантаженням[3];

N – навантаження на палю, кН.

У комплексі ГРУНТ створюю експериментальну модель грунту з випробувального майданчика (рисунку 2.13)



№ ІГЕ	Умовне позначення	Найменування грунту	Колір	Модуль деформації, кН/м2	Коефіцієнт Пуассона	Питома вага грунту, кН/м3 I	Питома вага грунту, кН/м3 II	Коефіцієнт переходу до 2-го модуля деформації	Природна вологість, частки	Показник текучості IL	Число пластичності IP	Вода Лес Насип Органо Слабод	Коефіцієнт пористості e	Вміст рослинних залишків, q	Питоме зчеплення, кН/м2 I	Питоме зчеплення, кН/м2 II	Кут внутрішнього тертя Fi, ° I	Кут внутрішнього тертя Fi, ° II	Граничне напруження розтягнення Rs, кН/м2	Коефіцієнт Савінова Co кН/м3	Скельні грунти: Межа міцності Rc=Rc,n/Yg кН/м2	Скельні грунти: Коеф. зниження міцності Ks	Коефіцієнт пропорційності K, тс/м**4	Код грунту
1		Насипний		15000	0.3	16.5	16.5	5	0	0			0.7		0.1	0.1	32	32	1	9806.65			235	Lf
2		Пісок		30000	0.3	18	18	5	0	0	0.01	W	0.65		1	1	32	32	0.1	8825.98			466.667	S2

Суглинок текучопластичний IL=0.75...1, K=235...135 тс/м**4
Пісок середній e=0.55...0.7, K=600...400 тс/м**4

Примітки: значення c, Fi, Rs в розрахунку коефіцієнтів постелі не використовуються, але задаються для наступного експорту в жорсткості ЛІРА-САПР. Значення IL, Rc, Ks та K використовуються для розрахунку жорсткості паль (КЕ 57)

Рисунок 2.14 – Розрахункові значення моделі грунту та геологічний розріз у комплексі ГРУНТ

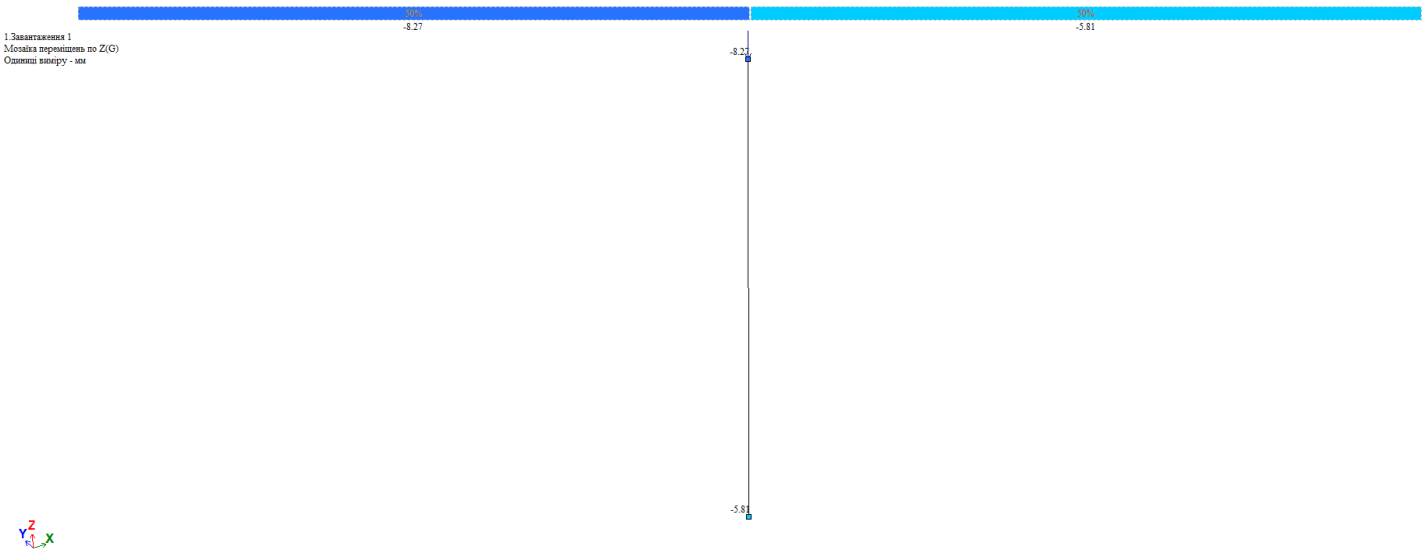


Рисунок 2.15 – Результат обчислення експериментальної палі у програмному комплексі ЛІРА-САПР

За результатами обчислення моделі, програмний комплекс визначив переміщення палі, яке становить 8,27 мм.

Похибка експерименту становить:

$$\Delta = \left(1 - \frac{8,85}{8,27}\right) \cdot 100\% = 7,01\% \tag{3.2}$$

Отже, похибка експерименту становить 7,01%, з чого можна зробити висновок, що розрахунок у програмному комплексі ЛІРА-САПР наближений до реального результату осідання, що було визначено у ході експерименту.

2.4 Планування чисельного експерименту з визначенням впливу геометричних чинників та характеристик грунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту

У дослідженні комплексних фундаментів важливо визначити який елемент фундаменту сприймає навантаження і передає його на основу. Метою експерименту є визначення найбільш раціонального варіанту комплексного фундаменту та визначити залежність геометричних властивостей від навантаження. Головні змінні цього дослідження: навантаження та осідання.

Дослідження проводиться для багатоповерхових та промислових будівель, які мають колони на осьове навантаження більше, ніж 1000 кН. З цих міркування обирається крок вимірювання осідань у 1000 кН, таким чином матимем наступні значення для визначення залежності: 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000, 10000 кН відповідно.

За чинними нормами, для пальового куща граничним значенням осідання є 20% від граничного осідання палі, що становить 40 мм. Для кожного з варіантів фундаменту буде визначатись несуча спроможність при осіданні на 8 мм. Найкращим варіантом буде той, котрий перерозподілить сили на ростверк та палі доцільно.

Контроль виявлення помилок здійсюватиметься через ручний розрахунок осідання пальового куща методом пружного півпростору.

У ході експерименти будуть розраховуватись 8 варіантів фундаментів з довжинами паль 3 та 10 м з перерізом 300х300 мм, у двох типах грунтів: пісок та суглинок. Товщина ростверку приймається 700 мм, кількість паль та знаходження відносно центру осі підколонника варіюється в залежності від виду комплексного фундаменту.

2.5 Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстань між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи

2.5.1. Результати обчислень експерименту в програмному комплексі ЛІРА-САПР

У ході обчислення варіантів комплексних фундаментів, необхідно визначити роботу окремих елементів цих фундаментів, для визначення осідань від заданих експериментом навантажень. Головними елементами цих фундаментів є ростверк – фундаментна плита та паля. Додатково розраховуватимуться осідання цих елементів для виявлення покращення класичних інженерних рішень у порівнянні з покращеними експериментальними.

У програмному комплексі ЛІРА-САПР додатково виконується розрахунок фундаментних плит на осідання від навантаження розмірами 1,4х1,4 м, 1,8х1,8 м та 3,2х3,2 м у двох варіантах грунтів.

Для плитного типу фундаменту виконується розрахунок осідань за деформаціями основи, пошаровим сумуванням осідання, а осідання пальового куща визначається методом пружного напівпростору.

Під час обробки результатів виникла проблема визначення достовірності отриманих даних, оскільки осідання за двома методами відрізняється у 10 разів, тому для комплексних фундаментів додатково буде виконаних ручний розрахунок на верифікацію отриманих даних одного з варіантів комплексних фундаментів, що буде наведений у кінці поточного розділу.

Результати обчислення з програмного комплексу записані у табличній формі. Додатково у таблицю записані значення сили, яку необхідно прикласти до певного варіанту фундаменту, щоб отримати осідання рівне 8 мм.

Таблиця 2.4 – Осідання фундаментної плити розмірами 1,4х1,4 м

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Напруження рост-верку, кН/м^2	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
100	0,89	-	44,6	100
200	1,81	-	80,3	100
300	2,80	-	122,0	100
400	3,89	-	163,0	100
600	6,49	-	241,0	100
800	10,02	-	286,0	100
1000	15,03	-	358,0	100
693,4	8,0	-	268,75	100
Тип грунту - суглинок				
100	2,95	-	33,8	100
200	5,9	-	67,7	100
300	8,97	-	103,0	100
400	12,09	-	126,8	100
600	18,59	-	179,0	100
800	25,78	-	230,0	100
1000	34,01	-	277,0	100
268	8,0	-	90,58	100

Таблиця 2.5 – Осідання фундаментної плити розмірами 1,8х1,8 м

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Напруження рост-верку, кН/м^2	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
100	0,42	-	27,0	100
200	0,87	-	49,1	100
300	1,36	-	73,6	100
400	1,93	-	98,0	100
600	3,40	-	146,0	100
800	5,48	-	172,0	100
1000	8,51	-	217,0	100
971,4	8,0	-	202,27	100
Тип грунту - суглинок				
100	1,7	-	20,8	100
200	3,45	-	41,6	100
300	5,23	-	63,0	100
400	7,06	-	77,5	100
600	10,99	-	110,0	100
800	15,38	-	140,0	100
1000	20,45	-	169,0	100
450	8,0	-	82,6	100

Таблиця 2.6 – Осідання фундаментної плити розмірами 3,2х3,2 м

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Напруження ростверку, кН/м^2	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	2,55	-	90,7	100
2000	10,50	-	160,0	100
3000	15,80	-	239,0	100
4000	20,80	-	323,0	100
6000	31,50	-	480,0	100
8000	62,40	-	570,0	100
10000	77,60	-	720,0	100
1695	8,0	-	138,86	100
Тип грунту - суглинок				
1000	6,20	-	68,0	100
2000	16,90	-	140,0	100
3000	25,30	-	205,0	100
4000	39,50	-	255,0	100
6000	65,20	-	366,0	100
8000	91,80	-	470,0	100
10000	120,00	-	567,0	100
1195,9	8,0	-	82,07	100

Таблиця 2.7 – Осідання одиничної палі розмірами перерізу 300х300 мм та довжиною 10 м

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Напруження ростверку, кН/м^2	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
100	1,41	100	-	-
200	2,83	200	-	-
300	4,25	300	-	-
400	5,65	400	-	-
600	8,48	600	-	-
800	11,24	800	-	-
1000	14,0	1000	-	-
566,5	8,0	566,5	-	-
Тип грунту - суглинок				
100	2,71	100	-	-
200	5,46	200	-	-
300	8,16	300	-	-
400	10,87	400	-	-
600	16,31	600	-	-
800	21,63	800	-	-
1000	27,0	1000	-	-
294,1	8,0	294,1	-	-

Таблиця 2.8 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 1.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	2,36	142,0	432	43,2
2000	4,95	297,0	812	40,6
3000	7,51	451,0	1196	39,9
4000	10,10	610,0	1560	39,0
6000	15,50	930,0	2280	38,0
8000	20,80	1250,0	3000	37,5
10000	26,20	1570,0	3720	37,2
3192,5	8,0	481,60	1266,07	39,6
Тип грунту - суглинок				
1000	3,35	105,0	580	58,0
2000	7,81	211,0	1156	57,8
3000	11,60	366,0	1536	51,2
4000	15,70	494,0	2024	50,6
6000	23,80	751,0	2996	49,9
8000	32,00	1010,0	3960	49,5
10000	40,20	1270,0	4920	49,2
2048	8,0	218,44	1174,24	57,33

Таблиця 2.9 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 1.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	1,71	166,0	336	33,60
2000	3,56	350,0	600	30,00
3000	5,39	530,0	880	29,33
4000	7,25	715,0	1140	28,50
6000	11,00	1090,0	1640	27,33
8000	14,80	1460,0	2160	27,00
10000	18,60	1830,0	2680	26,80
4395,1	8,0	863,16	1337,55	28,03
Тип грунту - суглинок				
1000	2,37	139,0	444	44,40
2000	5,46	278,0	888	44,40
3000	8,11	477,0	1092	36,40
4000	10,90	642,0	1432	35,80
6000	16,50	973,0	2108	35,13
8000	22,20	1300,0	2800	35,00
10000	27,80	1640,0	3440	34,40
2962	8,0	469,43	1419,08	36,7

Таблиця 2.10 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 2.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,64	21,8	651,2	65,12
2000	1,32	63,0	992	49,60
3000	2,03	97,5	1440	48,00
4000	2,76	133,0	1872	46,80
6000	4,23	205,0	2720	45,33
8000	5,70	277,0	3568	44,60
10000	7,17	350,0	4400	44,00
11188,1	8,0	391,58	4922,82	44,00
Тип грунту - суглинок				
1000	0,77	19,8	683,2	68,32
2000	1,95	39,5	1368	68,40
3000	2,88	77,7	1756,8	58,56
4000	3,89	105,0	2320	58,00
6000	5,95	162,0	3408	56,80
8000	8,03	218,0	4512	56,40
10000	10,10	275,0	5600	56,00
7990	8,0	217,6	4498	56,42

Таблиця 2.11 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 2.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,51	32,0	488	48,8
2000	1,06	77,9	753,6	37,7
3000	1,62	120,0	1080	36,0
4000	2,19	162,0	1408	35,2
6000	3,34	249,0	2016	33,6
8000	4,48	335,0	2640	33,0
10000	5,63	422,0	3248	32,5
14169,4	8,0	597,94	4602,36	32,48
Тип грунту - суглинок				
1000	0,63	28,9	537,6	53,8
2000	1,50	57,9	1073,6	53,7
3000	2,21	106,0	1304	43,5
4000	2,99	144,0	1696	42,4
6000	4,55	219,0	2496	41,6
8000	6,11	295,0	3280	41,0
10000	7,67	371,0	4064	40,6
10452,7	8,0	387,79	4248,06	40,6

Таблиця 2.12 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 3.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,71	30,5	878	87,80
2000	1,47	79,1	1683,6	84,18
3000	2,29	124,0	2504	83,47
4000	3,07	167,0	3332	83,30
6000	4,77	260,0	4960	82,67
8000	6,37	348,0	6608	82,60
10000	8,10	444,0	8224	82,24
9888,9	8,0	433,33	8044,46	82,28
Тип грунту - суглинок				
1000	0,82	25,3	898,8	89,88
2000	2,15	46,6	1813,6	90,68
3000	3,17	92,8	2628,8	87,63
4000	4,28	125,0	3500	87,50
6000	6,59	194,0	5224	87,07
8000	8,90	260,0	6960	87,00
10000	11,20	329,0	8684	86,84
7234,1	8,0	234,72	6295,11	87,03

Таблиця 2.13 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 3.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,64	46,7	813,2	81,32
2000	1,33	118,0	1528	76,40
3000	2,05	182,0	2272	75,73
4000	2,78	248,0	3008	75,20
6000	4,27	389,0	4444	74,07
8000	5,75	516,0	5936	74,20
10000	7,24	650,0	7400	74,00
10998,3	8,0	714,88	8138,74	74,00
Тип грунту - суглинок				
1000	0,73	38,9	844,4	84,44
2000	1,85	77,7	1689,2	84,46
3000	2,71	147,0	2412	80,40
4000	3,67	199,0	3204	80,10
6000	5,61	306,0	4776	79,60
8000	7,55	412,0	6352	79,40
10000	9,49	518,0	7928	79,28
8461,1	8,0	436,48	6716,05	79,37

Таблиця 2.14 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 4.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,72	24,2	903,2	90,32
2000	1,49	66,7	1733,2	86,66
3000	2,32	106,0	2576	85,87
4000	3,11	142,0	3432	85,80
6000	4,83	223,0	5108	85,13
8000	6,48	300,0	6800	85,00
10000	8,21	382,0	8472	84,72
9778,3	8,0	372,89	8286,40	84,75
Тип грунту - суглинок				
1000	0,82	20,0	920	92,00
2000	2,17	40,0	1840	92,00
3000	3,19	83,0	2668	88,93
4000	4,31	112,0	3552	88,80
6000	6,64	174,0	5304	88,40
8000	8,97	233,0	7068	88,35
10000	11,30	297,0	8812	88,12
7176,4	8,0	208,69	6334,17	88,37

Таблиця 2.15 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 4.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,67	36,9	852,4	85,24
2000	1,39	98,9	1604,4	80,22
3000	2,13	154,0	2384	79,47
4000	2,90	210,0	3160	79,00
6000	4,44	325,0	4700	78,33
8000	5,98	440,0	6240	78,00
10000	7,54	557,0	7772	77,72
10674	8,0	594,54	8295,83	77,72
Тип грунту - суглинок				
1000	0,75	32,8	868,8	86,88
2000	1,89	65,6	1737,6	86,88
3000	2,78	130,0	2480	82,67
4000	3,75	176,0	3296	82,40
6000	5,74	271,0	4916	81,93
8000	7,72	365,0	6540	81,75
10000	9,70	460,0	8160	81,60
8298,3	8,0	379,15	6781,38	81,72

Таблиця 2.16 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 5.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,60	26,3	684,4	68,44
2000	1,60	70,9	1149,2	57,46
3000	2,30	109,0	1692	56,40
4000	3,22	154,0	2152	53,80
6000	4,90	235,0	3180	53,00
8000	6,62	319,0	4172	52,15
10000	8,35	403,0	5164	51,64
9601,5	8,0	386,2	4965,6	51,74
Тип грунту - суглинок				
1000	0,80	20,4	755,2	75,52
2000	2,20	60,5	1274	63,70
3000	3,11	84,5	1986	66,20
4000	4,41	118,0	2584	64,60
6000	6,65	177,0	3876	64,60
8000	9,00	241,0	5108	63,85
10000	11,30	303,0	6364	63,64
7166,1	8,0	214,31	4594,25	64,16

Таблиця 2.17 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 5.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	0,52	36,8	558,4	55,84
2000	1,30	98,4	819,2	40,96
3000	1,91	143,0	1284	42,80
4000	2,63	199,0	1612	40,30
6000	3,99	303,0	2364	39,40
8000	5,38	410,0	3080	38,50
10000	6,77	517,0	3796	37,96
11732,5	8,0	606,54	4453,46	37,96
Тип грунту - суглинок				
1000	0,69	31,8	618,4	61,84
2000	1,76	86,3	964,4	48,22
3000	2,53	123,0	1524	50,80
4000	3,51	170,0	1960	49,00
6000	5,31	258,0	2904	48,40
8000	7,15	348,0	3824	47,80
10000	9,00	439,0	4732	47,32
8914,5	8,0	389,58	4238,95	47,53

Таблиця 2.18 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 6.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	1,53	85,9	570,5	57,05
2000	3,67	209,0	955	47,75
3000	5,42	308,0	1460	48,67
4000	7,42	423,0	1885	47,13
6000	11,30	645,0	2775	46,25
8000	15,30	871,0	3645	45,56
10000	19,20	1100,0	4500	45,00
4295	8,0	455,7	2016,3	47,00
Тип грунту - суглинок				
1000	2,33	71,7	641,5	64,15
2000	5,47	170,0	1150	57,50
3000	8,09	251,0	1745	58,17
4000	11,00	332,0	2340	58,50
6000	16,80	505,0	3475	57,92
8000	22,50	680,0	4600	57,50
10000	28,30	854,0	5730	57,30
2961,9	8,0	247,9	1722,3	58,10

Таблиця 2.19 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 6.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	1,16	108,0	460	46,00
2000	2,73	257,0	715	35,75
3000	4,04	380,0	1100	36,67
4000	5,49	517,0	1415	35,38
6000	8,34	786,0	2070	34,50
8000	11,20	1060,0	2700	33,75
10000	14,10	1330,0	3350	33,50
5750,5	8,0	752,4	1988,3	34,61
Тип грунту - суглинок				
1000	1,71	97,3	513,5	51,35
2000	4,01	231,0	845	42,25
3000	5,89	346,0	1270	42,33
4000	8,05	458,0	1710	42,75
6000	12,20	692,0	2540	42,33
8000	16,40	931,0	3345	41,81
10000	20,50	1170,0	4150	41,50
3977,2	8,0	455,4	1700,0	42,74

Таблиця 2.20 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 7.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	2,69	158,0	842,00	84,20
2000	6,47	383,0	1617,00	80,85
3000	9,79	579,0	2421,00	80,70
4000	13,40	794,0	3206,00	80,15
6000	18,10	1230,0	4770,00	79,50
8000	28,10	1670,0	6330,00	79,13
10000	35,60	2110,0	7890,00	78,90
2426,7	8,0	466,6	1960,1	80,79
Тип грунту - суглинок				
1000	3,57	113,0	887,00	88,70
2000	8,29	263,0	1737,00	86,85
3000	12,40	394,0	2606,00	86,87
4000	16,90	521,0	3479,00	86,98
6000	25,90	799,0	5201,00	86,68
8000	35,00	1080,0	6920,00	86,50
10000	44,10	1360,0	8640,00	86,40
1934,4	8,0	253,2	1681,2	86,97

Таблиця 2.21 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 7.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	2,38	236,0	764,00	76,40
2000	5,72	570,0	1430,00	71,50
3000	8,59	856,0	2144,00	71,47
4000	11,80	1170,0	2830,00	70,75
6000	12,10	1810,0	4190,00	69,83
8000	24,50	2440,0	5560,00	69,50
10000	31,00	3090,0	6910,00	69,10
2792,4	8,0	796,6	1995,8	71,47
Тип грунту - суглинок				
1000	3,19	190,0	810,00	81,00
2000	7,41	443,0	1557,00	77,85
3000	11,10	661,0	2339,00	77,97
4000	15,10	889,0	3111,00	77,78
6000	23,10	1360,0	4640,00	77,33
8000	31,10	1830,0	6170,00	77,13
10000	39,20	2310,0	7690,00	76,90
2152,7	8,0	476,3	1676,4	77,87

Таблиця 2.22 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 8.1)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	1,72	97,5	610	61,00
2000	4,12	235,0	1060	53,00
3000	6,12	350,0	1600	53,33
4000	8,35	478,0	2088	52,20
6000	12,80	731,0	3076	51,27
8000	17,20	986,0	4056	50,70
10000	21,70	1240,0	5040	50,40
3849,6	8,0	458,7	2014,6	52,37
Тип грунту - суглинок				
1000	2,56	79,1	683,6	68,36
2000	5,99	186,0	1256	62,80
3000	8,85	275,0	1900	63,33
4000	12,10	365,0	2540	63,50
6000	18,40	555,0	3780	63,00
8000	24,80	748,0	5008	62,60
10000	31,20	941,0	6236	62,36
2698,8	8,0	248,2	1706,0	63,20

Таблиця 2.23 – Осідання комплексного фундаменту (варіант 8.2)

Зусилля, кН	Осідання, мм	Навантаження однієї палі, кН	Навантаження ростверку, кН	Використання ростверку, %
Тип грунту – пісок				
1000	1,34	126,0	496	49,60
2000	3,14	298,0	808	40,40
3000	4,65	440,0	1240	41,33
4000	6,35	602,0	1592	39,80
6000	9,67	917,0	2332	38,87
8000	13,00	1230,0	3080	38,50
10000	16,40	1550,0	3800	38,00
4967,9	8,0	754,4	1950,1	39,35
Тип грунту - суглинок				
1000	1,93	110,0	560	56,00
2000	4,53	262,0	952	47,60
3000	6,68	386,0	1456	48,53
4000	9,10	520,0	1920	48,00
6000	13,80	788,0	2848	47,47
8000	18,50	1060,0	3760	47,00
10000	23,30	1330,0	4680	46,80
3554,8	8,00	460,3	1713,4	48,2

2.5.2. Верифікація отриманих значень для комплесних фундаментів шляхом ручного розрахунку за методом пружного напівпростору

Ручний розрахунок проводиться для комплексного фундаменту варіанту 1.2 з заданим навантаженням 10000 кН у грунт суглинок.

Середнє навантаження на палю визначено у таблиці 5.6 і становить P = 1640 кН.

Середнє значення коефіцієнта Пуасона в межах напруженої зони:

$$\nu = \frac{\sum \nu_i h_i}{\sum h_i} = 0,3$$

Навантаження на межі пропорційності

$$P_e = 0,5P_u = 0,5 \cdot 10000 = 5000 \ кН$$

Модуль деформації грунту під нижнім кінцем палі в межах одного діаметру вище і чотирьох діаметрів нижче позначки нижнього кінця палі

E_p = 14 МПа

Осереднений у межах довжини палі модуль деформації грунтової основи статичне, оскільки грунт в експерименті суцільний:

$$E_f = \frac{\sum E_i h_i}{\sum h_i} = 14 \ МПа$$

Відношення усереднених модулів деформації під нижнім кінцем і в межах бічної поверхні палі

$$k_E = \frac{E_p}{E_f} = \frac{14}{14} = 1$$

Приведений радіус палі

$$r = \frac{r_0}{l} = \frac{0,15}{10} = 0,015$$

Модуль деформації матеріалу палі приймається таким самим, як заданий у програмному комплексі ЛІРА-САПР:

E_0 = 30000 МПа

Коефіцієнт, що визначає частину навантаження, яка передається нижнім кінцем b = 0,715, $\frac{a}{2r_0} = \frac{0,9}{2 \cdot 0,15} = 3$

Коефіцієнт умов роботи грунту вздовж бічної поверхні палі: k_f= 1,4.

Коефіцієнт умов роботи піщаного грунту під нижнім кінцем палі k_p = 4,2

Приведений модуль деформації грунту

$$E = (1-b)k_f E_f + k_p b E_p = (1-0,715) \cdot 1,4 \cdot 14 + 4,2 \cdot 0,715 \cdot 14 = 47,628 \ МПа$$

Коефіцієнт осідання c = 0,206.

Пружна складова осідання палі

$$S_e = 2(1+\nu)\frac{P_e c}{El} + \frac{P_e l(1+b)}{2E_0 F} = 2(1+0,3)\frac{5000 \cdot 0,206}{47628 \cdot 10} + \frac{5000 \cdot 10(1+0,715)}{2 \cdot 30000 \cdot 10^3 \cdot 0,3^2} = 0,0215 \ м$$

Осідання одиночної палі

$$s_1 = \frac{s_e P}{P_u - P} = \frac{0,0215 \cdot 5000}{10000 - 5000} = 0,0215 \ м$$

Визначимо осідання куща з 4 паль, взявши за основну одну з середніх паль.

Палі мають такі відстані від середньої:

a_1=1,05 м – 2 шт.

a_2=1,56 м – 1 шт.

Визначаємо коефіцієнти впливу сусідніх паль в залежності від приведеної відстані.

$$\frac{a}{2r_0} = \frac{0,9}{0,3} = 3; \ w_1 = 0,331; \ k_{b1} = 1,158$$

$$\frac{a}{2r_0} = \frac{1,27}{0,3} = 4,24; \ w_2 = 0,287; \ k_{b2} = 1,114$$

Визначаємо осідання середньої палі від одиничного навантаження на j-ту палю у фундаменті :

Для відповідних паль $s_{i,j} = 2(1+\nu)\frac{w_j k_{bj}}{El}$

$$s_{1,1} = 2(1+0,3)\frac{0,331 \cdot 1,158}{47628 \cdot 10} = 2,092 \cdot 10^{-6} \ м$$

$$s_{1,2} = 2(1+0,3)\frac{0,287 \cdot 1,114}{47628 \cdot 10} = 1,7453 \cdot 10^{-6} \ м$$

Осідання пальового куща з 4 паль

$$s_i = s_1 + \sum_{j=1}^{n} P_j s_{ij} = 0,0215 + 2 \cdot 1640 \cdot 2,092 \cdot 10^{-6} + 1640 \cdot 1,7453 \cdot 10^{-6} = 0,02779 \ м$$

Отже, осідання становить 27,79 мм, визначено ручним розрахунком.

Осідання за результатами дослідження ЛІРА-САПР для 2-го варіанту фундаменту становить 27,8 мм.

Похибка обчислення становить:

$$\Delta = \left(1 - \frac{27,80}{27,79}\right) \cdot 100\% = 0,03\%$$

Ручний розрахунок показав, що результати з програмного комплексу ЛІРА-САПР достовірні. Незначна похибка утворилась у результаті округлення чисел.

2.6 Висновок до розділу 2

Під час дослідження комплексних фундаментів виявлено, що ростверк вмикається у роботу при кроці паль 3d до 20% у двох різновидах фундаментів (3-метрові та 10-метрові палі), а при кутовому розміщені паль з кроком більше за 3d може сягати аж 80%, при цьому міцність фундаменту не втрачається і осідання складає менше, за класичні варіанти реалізації пальових фундаментів.

Середня похибка обчислень експерименту становить 0,03%, що підтверджує можливість обчислення пальового фундаменту у програмному комплексі ЛІРА-САПР, що надалі буде проводитись у цій магістерській кваліфікаційній роботі.

3 АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ, ВИЯВЛЕННЯ НАЙБІЛЬШ ВПЛИВОВИХ ЧИННИКІВ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ МІЖ РОСТВЕРКОМ ТА ПАЛЯМИ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСНОГО ФУНДАМЕНТУ

Метою цієї роботи є перевірка, чи можливо застосувати ростверк для зменшення тиску на палі, що призведе до зміни їх кількості чи довжини, застосовуючи програмний комплекс ЛІРА-САПР.

На результатах розрахунку окремих елементів стовпчастого фундаменту та безпосередньо покращених варіацій, необхідно визначити залежність «ідеального» фундаменту, який зменшить собівартість виробництва. Для цього у попередньому розділі визначались зусилля при значенні осідання фундаменту у 8 мм.

Виходячи з результатів таблиць 3.1-3.4, програмний комплекс ЛІРА-САПР сприймає ростверк як фундаментну плиту, а палі виступають у ролі опорних стійок, що навантажені до 80%. Тобто, прикладене навантаження на ростверк, з урахуванням коефіцієнтів запасу, передає палям навантаження на їх повну несучу спроможність, проте інше навантаження лишається на ростверку, що приводить до збільшення тиску під ростверком, який може перевищити опір грунту, що необхідно перевірити додаткових розрахунком.

Навантаження одиничної палі у порівнянні з пальовим кущем ростверку, виходячи з даних розрахунку, дозволяє збільшити навантаження у 1,5 рази при однакових значеннях осідання, тому економічний ефект дасть правильного розміру ростверк, або той самий ростверк із зменшенням кількості або довжини палі. У комплексних фундаментах з розмірами ростверку 3,2х3,2 метри це значення наближене до 1, що не дасть економічного ефекту.

Таблиця 3.1 – Результати обчислення стовпчастих фундаментів з осіданням 8 мм, де довжиною паль 3 м на піщаному грунті

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м^2	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середній тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м^2	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	568	645,97	481,6	0,848	0,397	309,3	566,5	0,850	2,09
2	3,2x3,2	16	568	479,42	390,5	0,688	0,440	138,9	566,5	0,689	3,45
3	3,2x3,2	4	568	794,36	438,7	0,772	0,823	138,9	566,5	0,774	5,72
4	3,2x3,2	4	568	809,25	372,9	0,657	0,847	138,9	566,5	0,658	5,83
5	3,2x3,2	12	568	484,99	386,3	0,680	0,517	138,9	566,5	0,682	3,49
6	1,8x1,8	5	568	622,31	455,7	0,802	0,469	262,3	566,5	0,804	2,37
7	1,8x1,8	1	568	604,97	466,6	0,821	0,808	262,3	566,5	0,824	2,31
8	1,8x1,8	4	568	621,79	458,7	0,808	0,523	262,3	566,5	0,810	2,37

Таблиця 3.2 – Результати обчислення стовпчастих фундаментів з осіданням 8 мм, де довжиною паль 3 м на глинистому грунті

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м^2	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середний тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м^2	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	278	599,08	218,4	0,786	0,573	90,6	294,1	0,743	6,61
2	3,2x3,2	16	278	440,09	217,7	0,783	0,564	82,1	294,1	0,740	5,36
3	3,2x3,2	4	278	614,77	234,7	0,844	0,870	82,1	294,1	0,798	7,49
4	3,2x3,2	4	278	533,16	179,2	0,645	0,884	82,1	294,1	0,609	6,49
5	3,2x3,2	12	278	448,66	214,3	0,771	0,641	82,1	294,1	0,729	5,46
6	1,8x1,8	5	278	531,57	247,9	0,892	0,582	93,6	294,1	0,843	5,68
7	1,8x1,8	1	278	518,89	253,2	0,911	0,869	93,6	294,1	0,861	5,54
8	1,8x1,8	4	278	526,54	248,2	0,893	0,632	93,6	294,1	0,844	5,63

Таблиця 3.3 – Результати обчислення стовпчастих фундаментів з осіданням 8 мм, де довжиною паль 10 м на піщаному грунті

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м^2	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середний тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м^2	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	1080	632,04	789,1	0,731	0,282	309,3	566,5	1,393	2,04
2	3,2x3,2	16	1080	450,71	599,6	0,555	0,325	138,9	566,5	1,058	3,24
3	3,2x3,2	4	1080	798,52	718,2	0,665	0,740	138,9	566,5	1,268	5,75
4	3,2x3,2	4	1080	805,29	591	0,547	0,777	138,9	566,5	1,043	5,80
5	3,2x3,2	12	1080	438,06	610,9	0,566	0,380	138,9	566,5	1,078	3,15
6	1,8x1,8	5	1080	613,67	752,4	0,697	0,346	262,3	566,5	1,328	2,34
7	1,8x1,8	1	1080	615,99	796,6	0,738	0,715	262,3	566,5	1,406	2,35
8	1,8x1,8	4	1080	601,88	754,4	0,699	0,393	262,3	566,5	1,332	2,29

Таблиця 3.4 – Результати обчислення стовпчастих фундаментів з осіданням 8 мм, де довжиною паль 10 м на глинистому грунті

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м^2	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середний тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м^2	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	680	553,16	469,4	0,690	0,366	90,6	294,1	1,596	6,11
2	3,2x3,2	16	680	413,96	387	0,569	0,406	82,1	294,1	1,316	5,04
3	3,2x3,2	4	680	655,79	436,4	0,642	0,794	82,1	294,1	1,484	7,99
4	3,2x3,2	4	680	662,27	379,2	0,558	0,817	82,1	294,1	1,289	8,07
5	3,2x3,2	12	680	413,98	389,6	0,573	0,476	82,1	294,1	1,325	5,04
6	1,8x1,8	5	680	524,69	455,4	0,670	0,427	93,6	294,1	1,548	5,61
7	1,8x1,8	1	680	517,41	476,3	0,700	0,779	93,6	294,1	1,620	5,53
8	1,8x1,8	4	680	528,83	460,3	0,677	0,482	93,6	294,1	1,565	5,65

Приклад варіанту 1.1 та 1.2, навантаження на класичний ростверк передає 80% навантаження несучої спроможності палі, чим переводить палю в елемент, який починає чинити опір ростверку, викликаючи розтяг арматури у верхній зоні ростверку. У цьому варіанті ростверк сприймає всього 35-40% навантаження на піщаних грунтах, що викличе економічний ефект через малий діаметр армування ростверку та позбавить його додаткового армування на продавлювання. У стовпчастих фундаментах з розміром ростверку 3,2х3,2 метри має більший коефіцієнт сприйняття навантаження ростверком, ніж палі, оскільки працює як звичайна фундаментна плита; ростверк сприймає до 90% усього навантаження, з чого можна зробити висновок, що палі у цьому варіанті будуть зайвими і не дасть певного економічного ефекту при розрахунках.

Порівняльні графіки навантаження на окремі елементи комплексних фундаментів та паль і комплексні фундаменти зображені на рисунку 3.1.

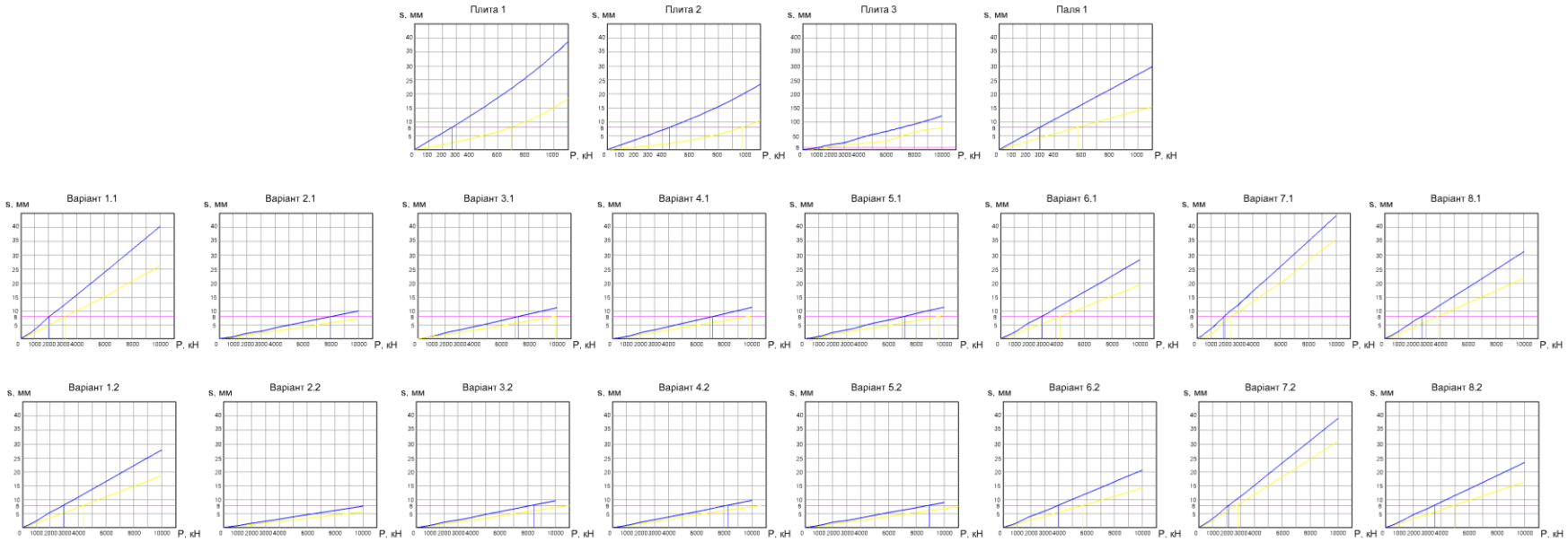
3.1 Висновок до розділу 3

Виконуючи аналіз отриманих результатів дослідження видно, що у комплексному фундаменті тиск під підошвою ростверку значно зростає у порівнянні з класичною фундаментною плитою, проте збільшене навантаження обумовлюється роботою ростверку у складі фундаменту та раціональне його використання.

Навантаження на палю не перевищує обчислювальну розрахункову несучу здатність палі і складає 80% від граничної. У варіантах з 10-метровими палями вони на половину були недовантажені.

Комплексний фундамент краще працює у піщаному грунті, ніж у глинистому, проте залежності осідання цих фундаментів, як показано на графіку 3.1., лінійна, тому можна вважати їх умовно однаковими в плані передачі навантаження підошвою ростверку на грунт.

Рисунок 3.1 – Графіки залежності навантаження та осідання досліджувальних комплексних фундаментів та окремих їх елементів



4 ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Архітектурно-будівельні рішення технічного об’єкту

Конструктивні рішення за результатами дослідження будуть використовуватись на прикладі житлового будинку з вбудовано-прибудованою комерцією. Будівля має підвал та 5 поверхів. Загальні розміри будівлі становить 50,34х28,69 метрів в межах осей I-II та 1-13. Територіально будівельний майданчик знаходиться у місті Вінниця по вул. Ольги Кобилянської, поруч з перехрестям вул. Тбілевича. Розмірні лінії прив’язки майбутньої будівлі відносно існуючого середовища зазначені на генеральному плані в кресленнях магістерської кваліфікаційної роботи.

Будівля складається з двох секцій, проте у роботі розглядатимуться рішення лише для першої.

Підвальний та перший поверх, для забезпечення вільного простору, замість стін має конструктивне рішення з монолітних ригелів та колон. Під колони виконується стовпчастий фундамент згідно розрахунків.

4.1.1 Розрахунок планувальних відміток генплану

Рельєф будівельного майданчику має висоту від 254,750 до 255,250 м, крок горизонталей на генеральному плані становить 0,25 м. Територія має доволі рівну форму з рівномірними перепадами висот поверхності. Було прийнято конструктивне рішення влаштувати рівень першого поверху на висоті однієї сходинки (0,15 м) від рівня дорожнього покриття задля безперешкодного доступу маломобільних груп населення до комерційних приміщень першого поверху, а вхід у під’їзд та житлові приміщення влаштувати у рівень дороги двору на тій самій висоті – 0,15 м.

Рівень дороги знаходиться на відмітці +254,600, отже відмітка першого поверху буде на 0,15 м вище:

$$H_0 = 254,600 + 0,150 = 254,750 \ м \qquad (4.1.1)$$

Графічно, за розрізом геології, було визначено відмітку для входу у житлові приміщення знаходиться на відмітці -0,470 відносно нуля будівлі.

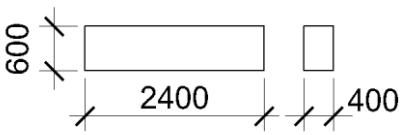
Отже, відм. 0,000 дорівнює +254,750, відмітка входу у житлову частину будівлі -0,470 (254,280).

4.1.2 Специфікації на збірні залізобетонні конструкції

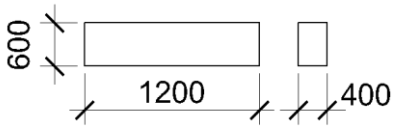
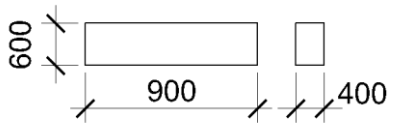
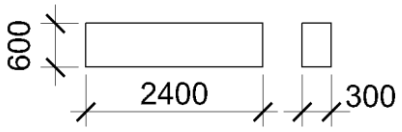
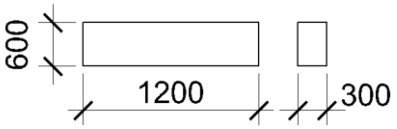
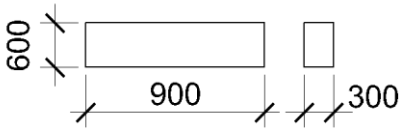
П’ятиповерхова цегляна будівля має такі збірні залізобетонні елементи: фундаментні блоки, пустотні плити перекриття, плити сходового маршу, сходовий марш, перемички, балкони-перемички та опорні подушки. У кресленнях архітектурної частини зазначений розріз сходової клітини з позначеними його елементами, типовий план поверхів має позначку ПР, що означають перемички, також на кресленнях є план перекриття пустотних плит з зазначеними висотними відмітками закладання елементів конструкцій.

Загальна відомість бетонних елементів зазначені в таблицях 4.1-4.5.

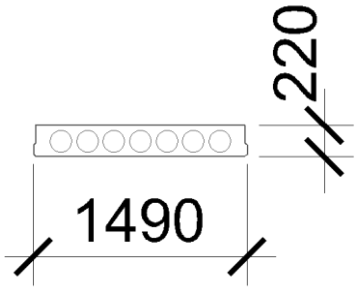
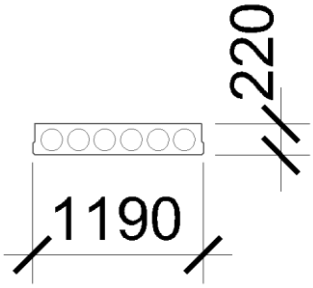
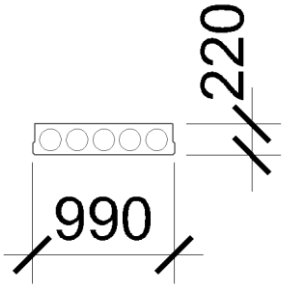
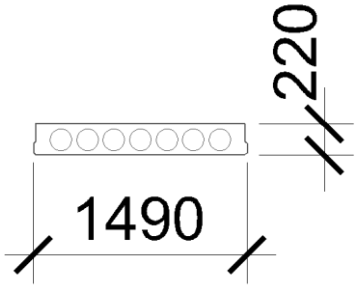
Таблиця 4.1 – Загальна специфікація фундаментних блоків

№	Позначення	Найменування	Ексіз	К-сть	Вага од., кг
1	2	3	4	5	6
1	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 24.4.6-Т		321	1305

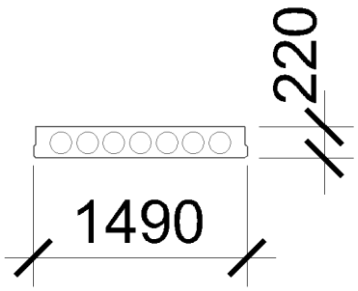
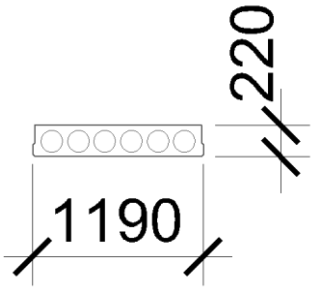
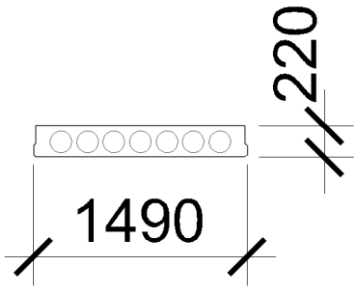
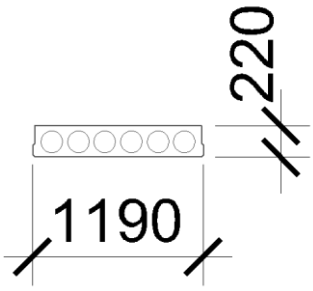
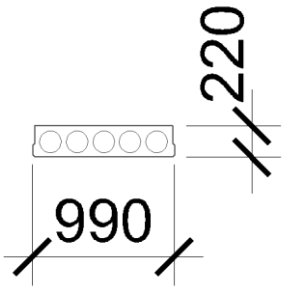
Продовження табл. 4.1.

1	2	3	4	5	6
2	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 12.4.6-Т		101	640
3	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 9.4.6-Т		165	470
4	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 24.3.6-Т		5	1305
5	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 12.3.6-Т		1	640
6	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	ФБС 9.3.6-Т		10	470

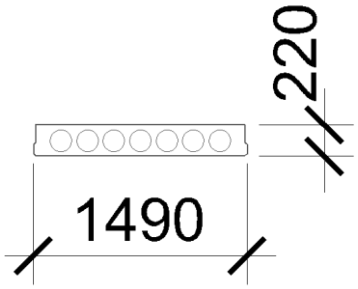
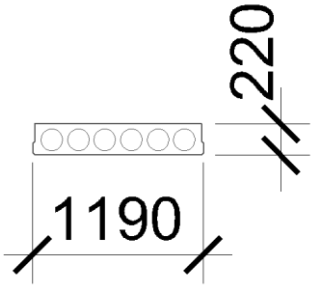
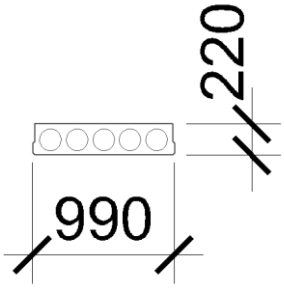
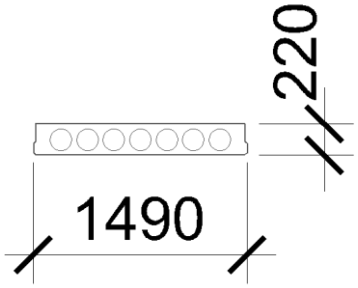
Таблиця 4.2 – Загальна специфікація пустотних плит перекриття

№	Позначення	Найменування	Ексіз	К-сть	Вага од., кг
1	2	3	4	5	6
ПК-1	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 77-15-8		153	3600
ПК-2	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 77-12-8		6	2720
ПК-3	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 77-10-8		7	2450
ПК-4	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 76-15-8		22	3660

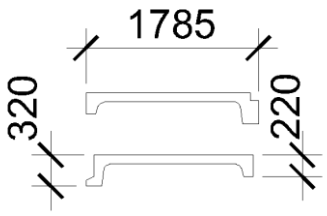
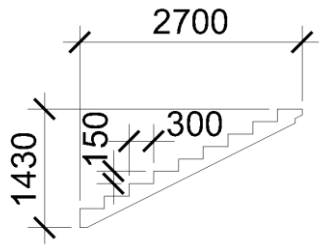
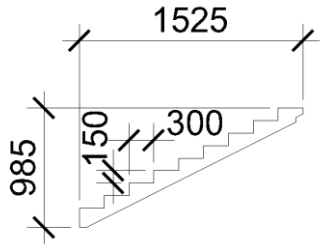
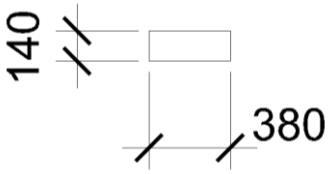
Продовження табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6
ПК-5	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 72-15-8		62	3400
ПК-6	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 72-12-8		16	2200
ПК-7	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 60-15-8		142	2850
ПК-8	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 60-12-8		16	2150
ПК-9	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 60-10-8		12	1840

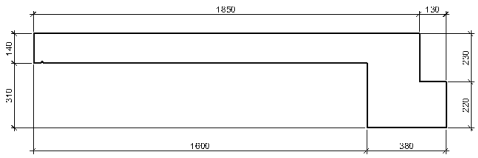
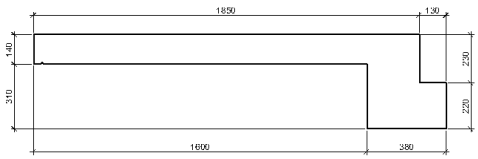
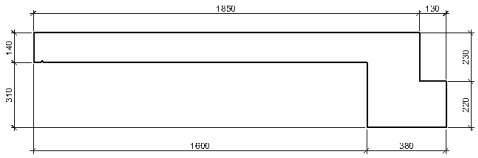
Продовження табл. 4.2.

1	2	3	4	5	6
ПК-10	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 34-15-8		12	1650
ПК-11	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 31-12-8		18	1200
ПК-12	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 31-10-8		2	1200
ПК-13	ДСТУ Б.В.2-6-53:2008	ПК 20-15-8		14	1000

Таблиця 4.3 – Загальна специфікація елементів маршу

№	Позначення	Найменування	Ексіз	К-сть	Вага од., кг
1	2	3	4	5	6
1	ДСТУ Б.В.2.6-108:2010	2 ЛП 28-16.5 – 4-к		11	1465
2	ДСТУ Б В.2.6-52:2008	1 ЛМ 30.13.5 15-4		10	1805
3	ДСТУ Б В.2.6-52:2008	1 ЛМ 17.13.5 9-4		1	935
4	Серія 1.225-2 вип.11	ОП 4.4-т		42	50

Таблиця 4.4 – Загальна специфікація балконів-перемичок

№	Позначення	Найменування	Ексіз	К-сть	Вага од., кг
1	2	3	4	5	6
БП-1	ДСТУ-Н Б В.2.6-146	БП 36.16 -1,4		48	925
БП-2	ДСТУ-Н Б В.2.6-146	БП 32.16 -1,4		15	780
БП-3	ДСТУ-Н Б В.2.6-146	БП 44.16 -1,4		27	1015

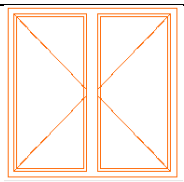
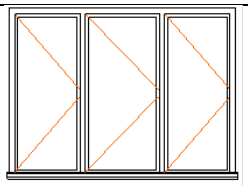
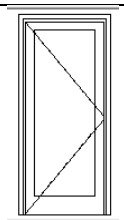
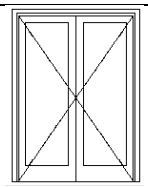
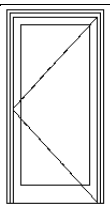
Таблиця 4.5 – Загальна специфікація перемичок типових поверхів

№	Позначення	Найменування	К-сть	Вага од., кг
1	2	3	5	6
1	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	5 ПБ 21-27-п	40	285
2	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	3 ПБ 21-8-п	40	137
3	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	5 ПБ 25-37-п	12	338
4	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	3 ПБ 25-8-п	12	162
5	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	3 ПБ 16-37-п	132	102
6	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	3 ПБ 13-37-п	72	85
7	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	3 ПБ 18-37-п	36	119
8	ДСТУ Б В.2.6-55:2008	2 ПБ 13-1-п	48	25

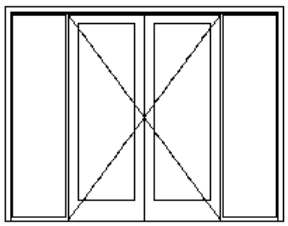
4.1.3 Віконні та дверні заповнення

Для здачі будівлі в експлуатацію необхідно встановити у віконні прорізи металопластикові вікна та тимчасові металеві двері з замками. Експлікація вікон та дверей зазначені в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Експлікація вікон та дверей будівлі

Ескізне зображення	Назва	Розміри, мм	К-сть
1	2	3	4
Вікна			
	В-1	1500х1500	52
	В-2	2000х1500	28
Двері			
	Д-1	900х2100	38
	Д-2	1500х2100	4
	Д-3	1000х2100	4

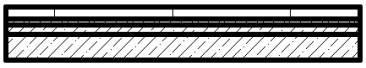
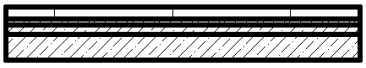
Продовження табл. 4.6.

1	2	3	4
	Д-4	2700х2100	16

4.1.4 Експлікація підлоги

Для проходження техогляду та здачі будинку в експлуатацію, необхідно виконати оздоблювальні роботи нежитлових приміщень: тамбурів, коридорів, сходових маршів та проходів. Для цього виконується лиття цементно-піщаної стяжки товщиною 100 мм та на неї укладається на клейовий розчин плитка. Також у під'їздах встановлюють тактильну плитку для маломобільних верств населення. На першому та підвальному поверсі окрім цементно-піщаної стяжки також вкладають екструдований пінополістирол товщиною 100 мм, для проходження умов[35], див. табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Експлікація підлог

№	Ескізне зображення	Матеріали	Кількість, $м^2$
1		1. Цементно-піщана стяжка 2. Екструдований пінополістирол – 100 мм 3. Щебенева підготовка – 200 мм	429,59
2		1. Керамічна оздоблювальна плитка – 15 мм 2. Клейовий розчин – 10 мм 3. Цементно-піщана стяжка – 100 мм 4. Плита перекриття – 220 мм	1718,38

4.1.5 Теплотехнічний розрахунок

Конструкцією стіни п’ятиповерхової житлової будівлі є гіпсова штукатурка з товщиною шару 0,1 м, повнотіла керамічна цегла з товщиною шару 0,38 м, екструдований пінополістирол (λ = 0,034 Вт/м^2), декоративна штукатурка з товщиною шару 0,1 м. Необхідно визначити товщину шару утеплювача. За [35] передбачено, що коефіцієнт теплопровідності для м. Вінниця становить 4. За формулою 4.1.2 визначаю товщину шару утеплювача:

$$x = \frac{4 - \left(\frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,38}{0,7} + \frac{0,1}{0,32} + \frac{0,1}{0,32} \right)}{0,034} = 0,11 \ м \qquad (4.1.2)$$

Отже, приймаю товщину шару утеплювача не менше 0,11 м. Найближчим кратним розміром екструдованого пінополістиролу є 0,15 м, тому приймаю його для утеплення зовнішніх конструкцій.

Розріз по стіні зображений на рисунку 4.1.1.

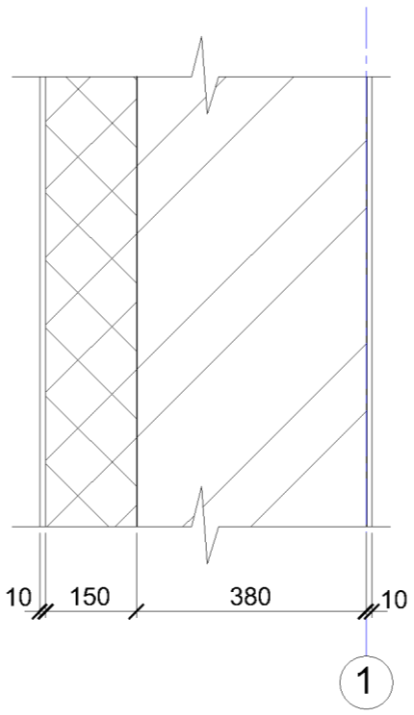


Рисунок 4.1 – Розріз по стіні з підібраною товщиною утеплювача

4.2 Конструктивні рішення фундаментів за традиційною методикою та за результатами досліджень

Центральна стіна будівлі є несучою та виконана з цегли. Для забезпечення простору для комерційного першого поверху та підвалу, стіна на цих поверхах відсутня, проте пустотні плити опирають на монолітні залізобетонні ригелі, що з'єднані з монолітними залізобетонними колонами. Відстань між колонами в середньому становить 3 метри (див. графічну частину), тому умовно навантаження, що приходить на фундаменти мають однакові значення.

Для обчислення обох варіантів фундаментів приймаю наступні розрахункові значення:

Навантаження на колону визначено з просторової моделі програмного комплексу ЛІРА-САПР і становить N_m = 1650 кН. Переріз колони 400х600 мм. Відмітка верху ростверку відносно рівня землі становить -3,740. Грунтові умови зазначені у табл. 4.8.

Таблиця 4.1 – Грунтові умови будівельного майданчику будівлі

№ІГЕ	Найменування грунтів	Нормативні												Розрахункові				
														З урахуванням можливих змін інжене геологічних умов П. 5,2 ДБН В2.1-10:2018				
		Природна вологість	Вологість на межі розкочування	Число пластичності	Показник текучості	Щільність часток грунту	Щільність	Щільність сухого грунту	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологості	Питоме зчеплення	Кут внутрішнього тертя	Модуль деформації	Вологість	Питома вага грунту	Питоме зчеплення	Кут внутрішньог о тертя	Модуль деформації
		w	w_p	I_p	I_L	I_P	P_e	p	e	S_r	c	φ	E	w	$\frac{\gamma_I}{\gamma_{II}}$	$\frac{c_I}{c_{II}}$	$\frac{\varphi_I}{\varphi_{II}}$	E, МПа
1	Насипний грунт	0,2	-	-	-	-	16,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Грунтово-рослинний шар	0,25	0,19	0,14	0,43	26,9	17,3	13,8	0,95	0,71	16	17	8	0,28	$\frac{17,7}{17,5}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{16}{15}$	5
3	Суглинок тугопластичний	0,23	0,19	0,12	0,33	26,8	17,7	14,4	0,86	0,72	15	20	10	0,26	$\frac{18,1}{17,9}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{19}{18}$	7
4	Суглинок тугопластичний	0,21	0,18	0,09	0,33	26,8	17,8	14,7	0,69	0,69	16	21	12	0,24	$\frac{18,2}{18,0}$	$\frac{13}{11}$	$\frac{20}{19}$	8
5	Супісок пластичний	0,19	0,14	0,05	1	26,7	19,7	16,4	0,85	0,85	13	23	14	0,2	$\frac{19,7}{19,5}$	$\frac{13}{9}$	$\frac{23}{20}$	12
6	Пісок мілкий, сер. щільн.	0,19	0,12	0,02	-	26,5	19,9	16,7	0,85	0,85	2	32	25	0,19	$\frac{19,9}{19,5}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{32}{31}$	25
7	Глина тугопластична	0,16	0,12	0,02	0,2	26,5	19,6	16,9	0,74	0,74	12	34	31	0,16	$\frac{19,6}{19,4}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{34}{32}$	31

Геологічний розріз з відмітками залягання та нумерацією шарів зазначено на рисунку 4.2.

4.2.1 Традиційна методика розрахунку фундаментів

Порівняння результатів дослідження з традиційною методикою відбуватиметься при умовно однакових ростверках, найбільший економічний ефект можна помітити при зміні кількості паль, тому у цих методах розрахунку визначається саме кількість паль.

Визначення несучої спроможності призматичної палі

Несуча здатність палі визначається за формулою 4.2.1:

$$F_d = \gamma_c(\gamma_{cR} RA + u\sum \gamma_{cf} f_i h_i) \qquad (4.2.1)$$

Забивання паль виконується у ІГЕ №9 – пісок пилуватий.

За таблицею Н.2.1:

R = 4545 кПа, $\gamma_c = 1,\ \gamma_{cR} = 1,\ \gamma_{cf} = 1$.

u = $4 \cdot 0,3 = 1,2\ м$

A = $0,3 \cdot 0,3 = 0,09\ м^2$

Грунтову товщу розбиваю на умовні шари, товщиною не більше 2 м. Обчислення виконую у табличній формі (таблиця 4.9).

Таблиця 4.9 – Визначення несучої спроможності палі за боковою поверхнею

H_i, м	h_i, м	I_L	γ_{cf}	f_i, кПа	$\gamma_{cf} f_i h_i,\ кН/м$
4,92	0,96	1	1	6	5,76
5,95	1,1	-	1	42	46,2
6,97	0,94	0,2	1	60	56,4
					108,36

Отже, несуча здатність палі дорівнює:

$$F_d = 1,0(1,0 \cdot 4545 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot 108,36) = 539,08 \ кН \qquad (4.2.2)$$

Розрахункове навантаження, яке може бути передане на палю з умов несучої здатності:

$$N = \frac{F_d}{\gamma_k} = \frac{539,08}{1,4} = 385,05 \ кН \qquad (4.2.3)$$

Необхідна кількість паль у пальовому кущі:

$$n = \frac{N_m}{N} = \frac{1650}{385,05} = 4,28 \ шт. \qquad (4.2.4)$$

Приймаю палю С3-30 – 5 штук.

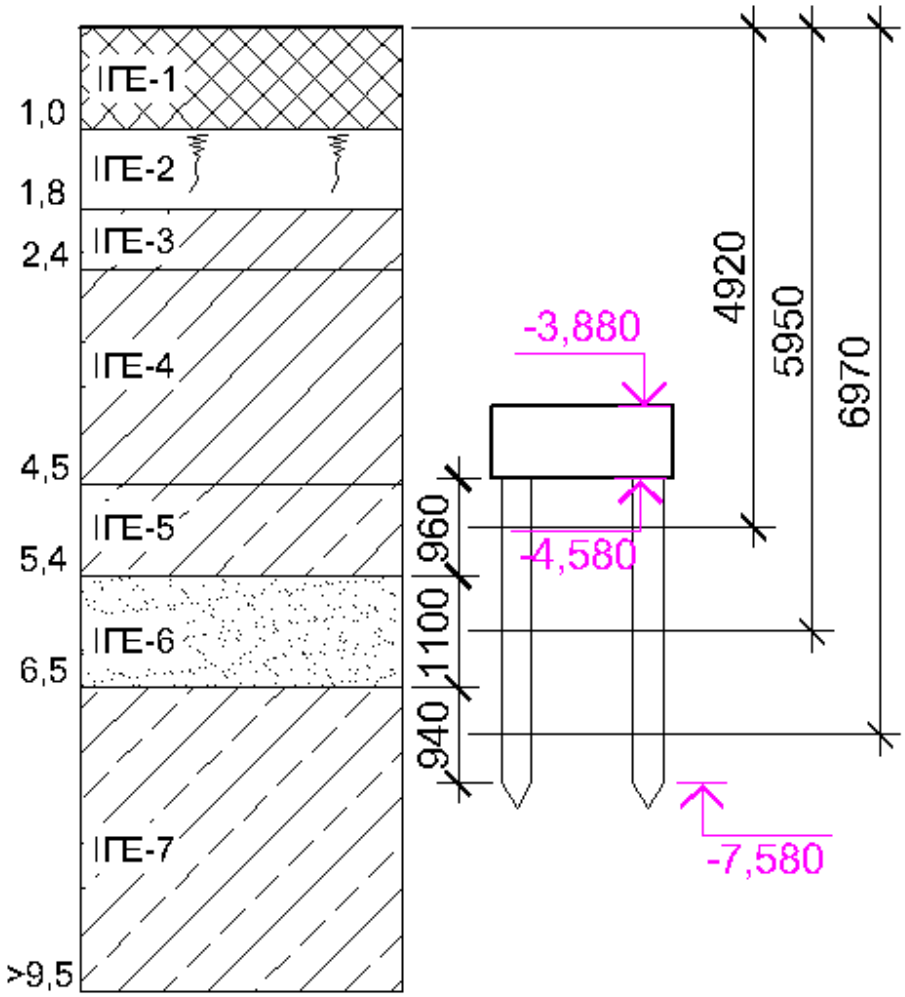


Рисунок 4.2 – Схематичне зображення призматичної палі в грунті

Подальші розрахунки міцності тіла ростверку, паль та осідання виконувались у програмному комплексі ЛІРА-САПР, результати обчислень зазначені у додатку В.

4.2.2 Розрахунок фундаментів за результатами дослідження

В ході дослідження було складено декілька таблиць з визначенням результатів дослідження, також було визначено, що при найменшій довжині паль та забезпеченні кроку більше, ніж 3d досягається раціональне використання ростверку для комплексних фундаментів і це теоретично дасть економічний ефект. У програмному комплексі створюється просторова модель грунту будівельного майданчика з табл. 4.8. (рисунок 4.3).

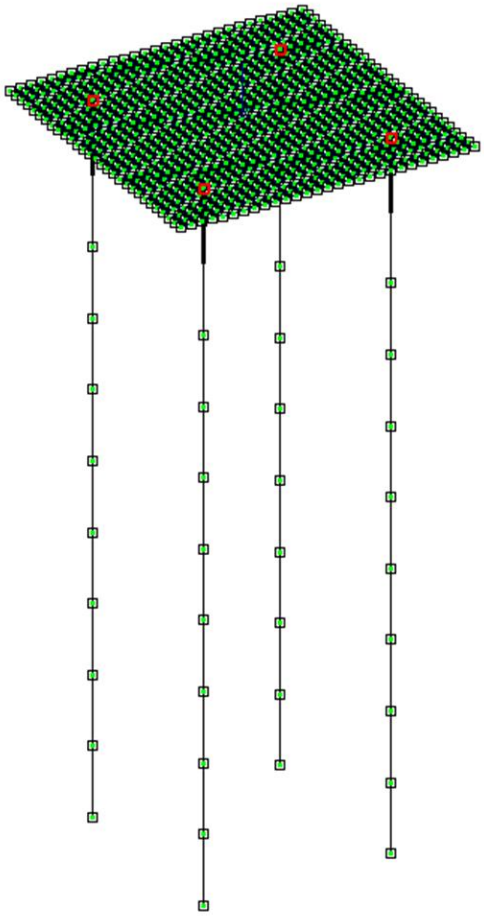


Рисунок 4.3 – Просторова модель комплексного фундаменту на заданих фундаментних умовах будівельного майданчика при розрахунковому навантажені N = 1650 кН

Після запуску розрахунку програмний комплекс ЛІРА-САПР визначив за заданими параметрами навантаження на палі по 95 кН на кожну (рисунку 4.4).

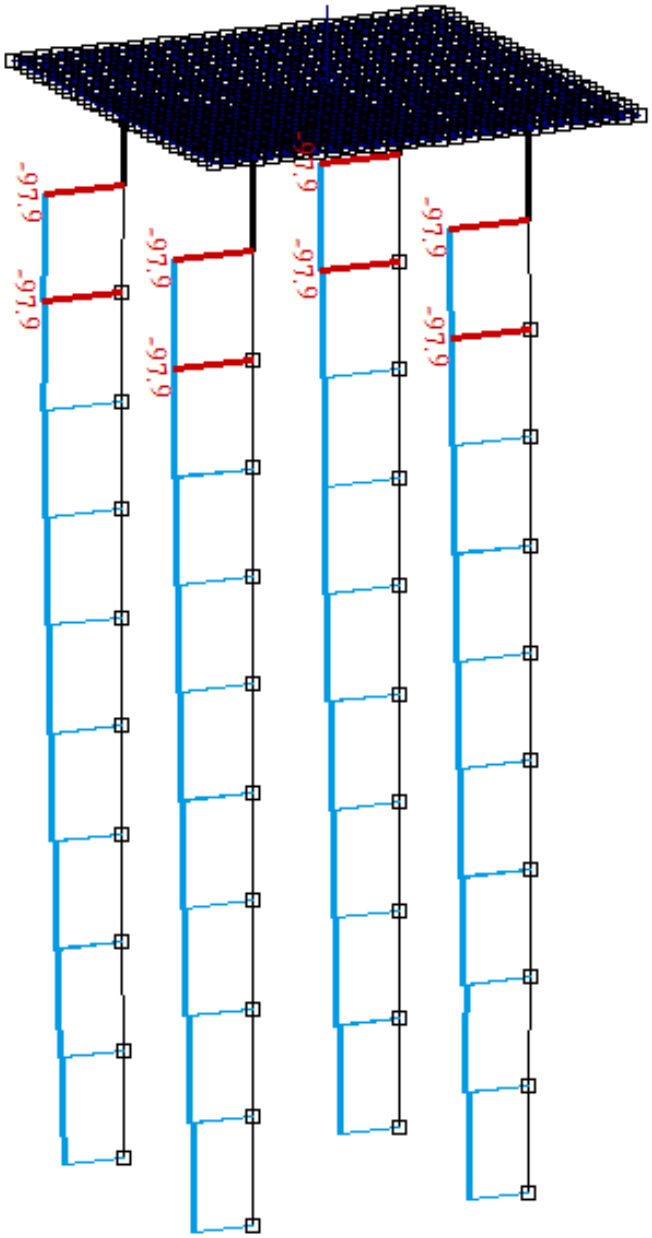


Рисунок 4.4 – Епюра зусиль N на обчислювальній моделі комплексного фундаменту

Середній тиск під підошвою ростверку складає в середньому 24 кН/м^2 (рисунок 4.5).

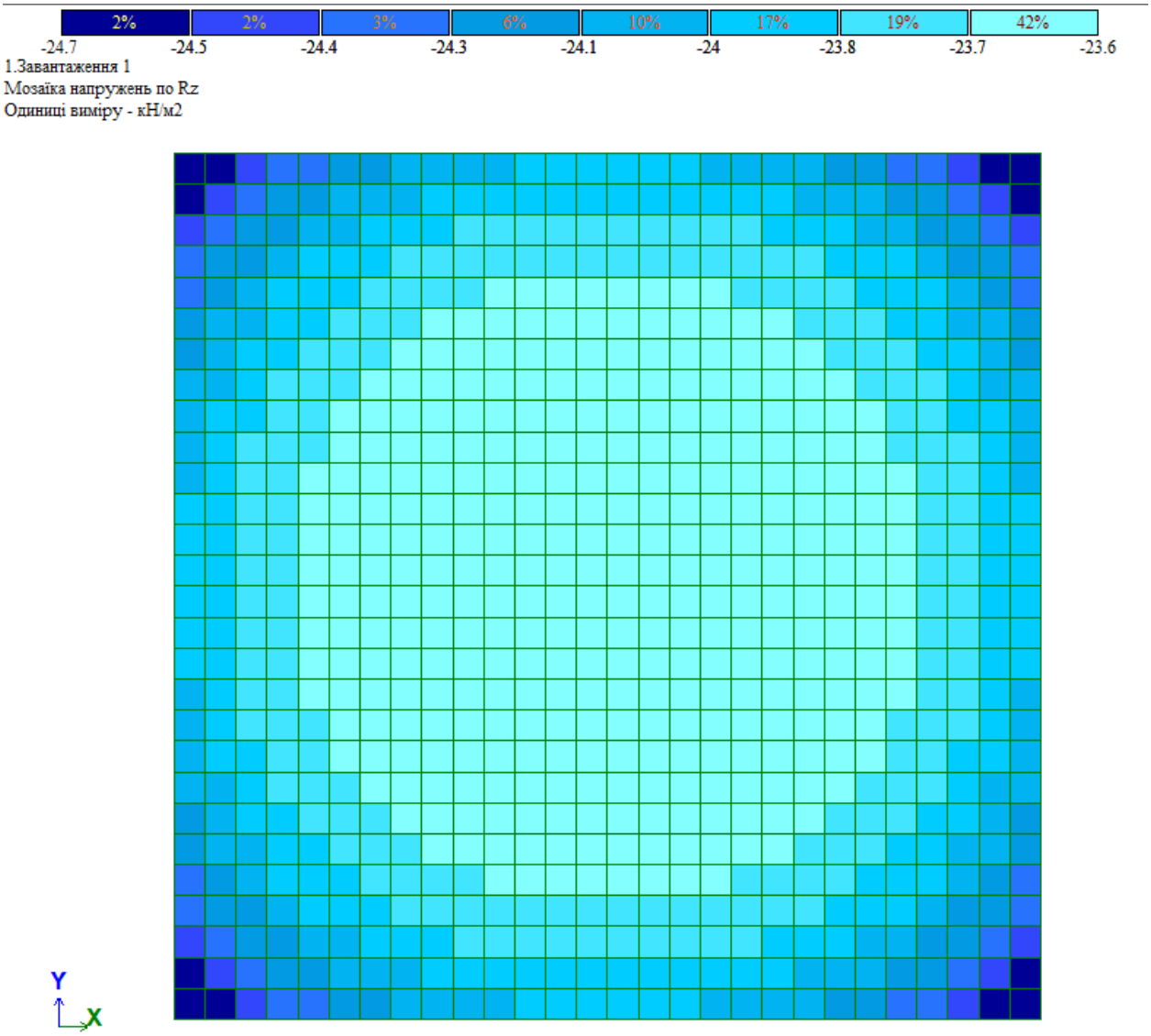


Рисунок 4.5 – Середній тиск підошви ростверку від заданого навантаження

Отже, за 4.5 навантаження на палю не перевищує несучу здатність в даних грунтових умовах, а ростверк сприймає більшу частину навантаження. Палі не дозволяють плитному фундаменту дати значні результати осідання, тому їх використання є доцільним у цьому варіанті комплексного фундаменту.

Армування ростверку має наступний характер: в зоні прикладання зусилля (під підколонником) найбільший згинальний момент ростверкової плити, за результатами обчислення необхідно встановити армування 22ØA500C з кроком 200, а фонове армування становить 14ØA500C. Для здешевлення виробництва та зменшення типорозмірів арматури, приймаємо крок

під підколонником у обох напрямках 14ØA500C(крок 200) + 16ØA500C(крок 150) для забезпечення умов міцності ростверку; у верхній зоні армування ростверку спостерігається суцільне армування 10ØA500C з кроком 200 мм. Поперечне армування необхідне у зоні роботи між палями, щоб позбавити ростверк ризику продавитись від навантаження від будівлі, за результатами розрахунку поперечне армування можна виконати за допомоги жабок з арматури 14ØA500C, що задовільнить умову продавлювання в зоні під підколонником та між палями. Результати армування зазначені на рисунку 4.6-4.9.

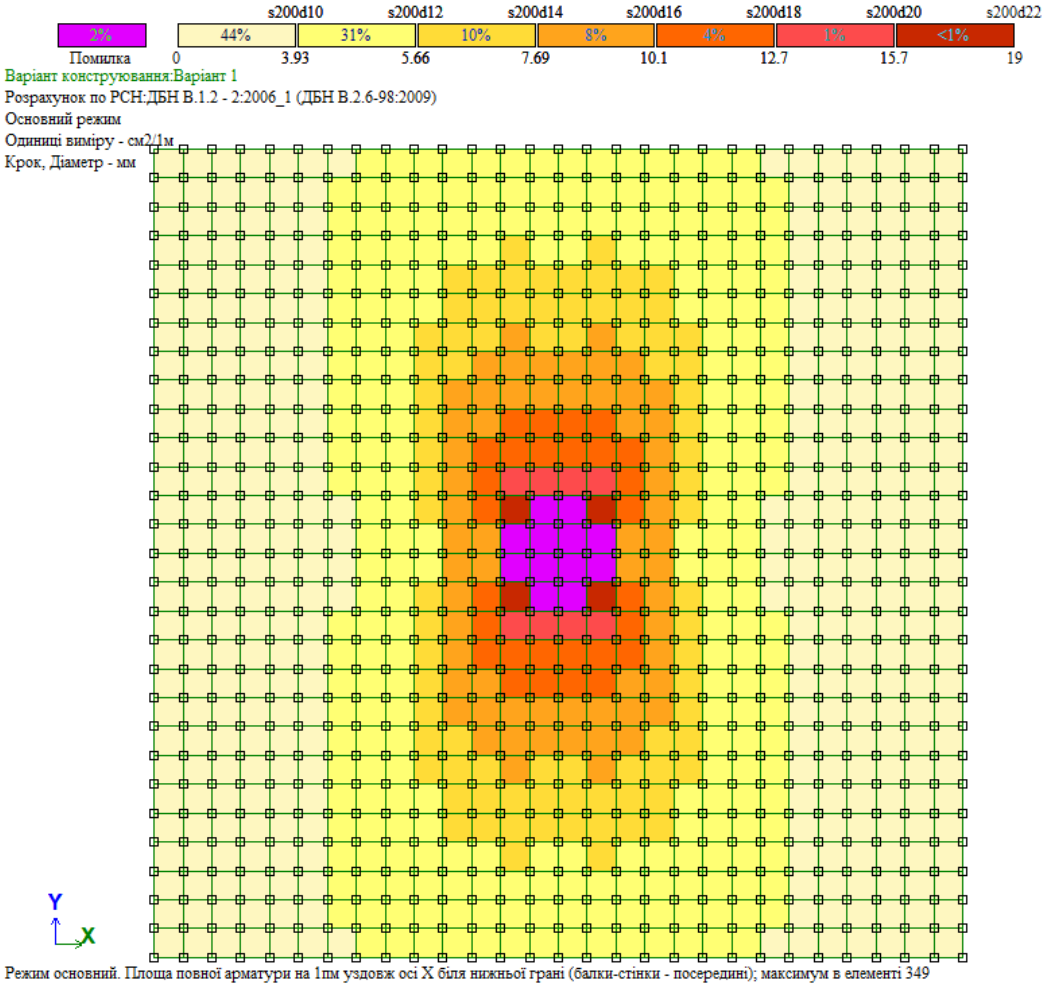


Рисунок 4.6 – Нижнє армування ростверку комплексного фундаменту вздовж осі X

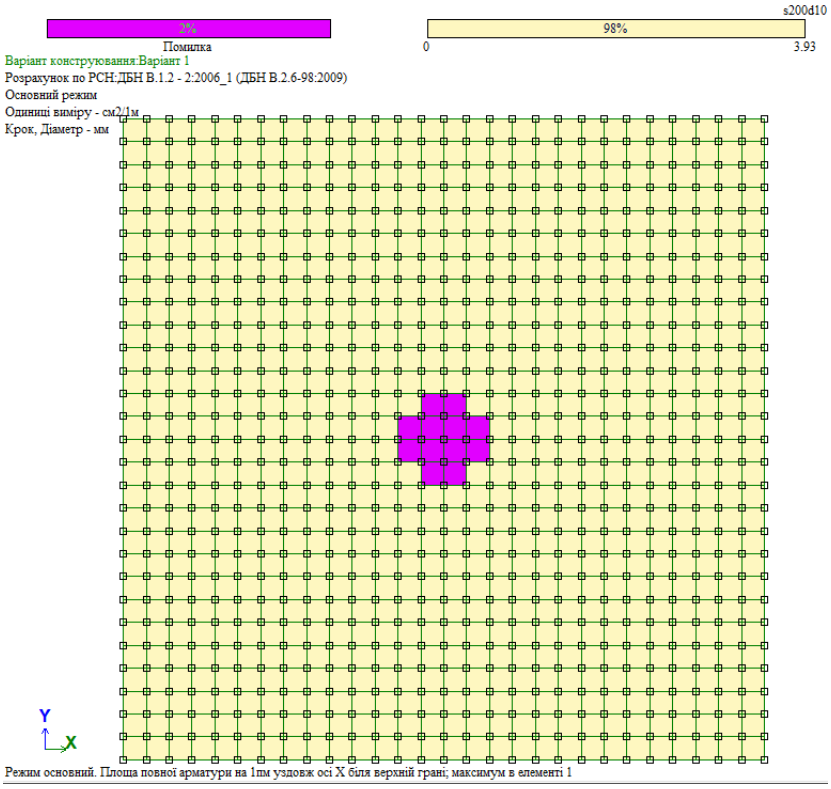


Рисунок 4.7 – Верхнє армування ростверку комплексного фундаменту вздовж осі X

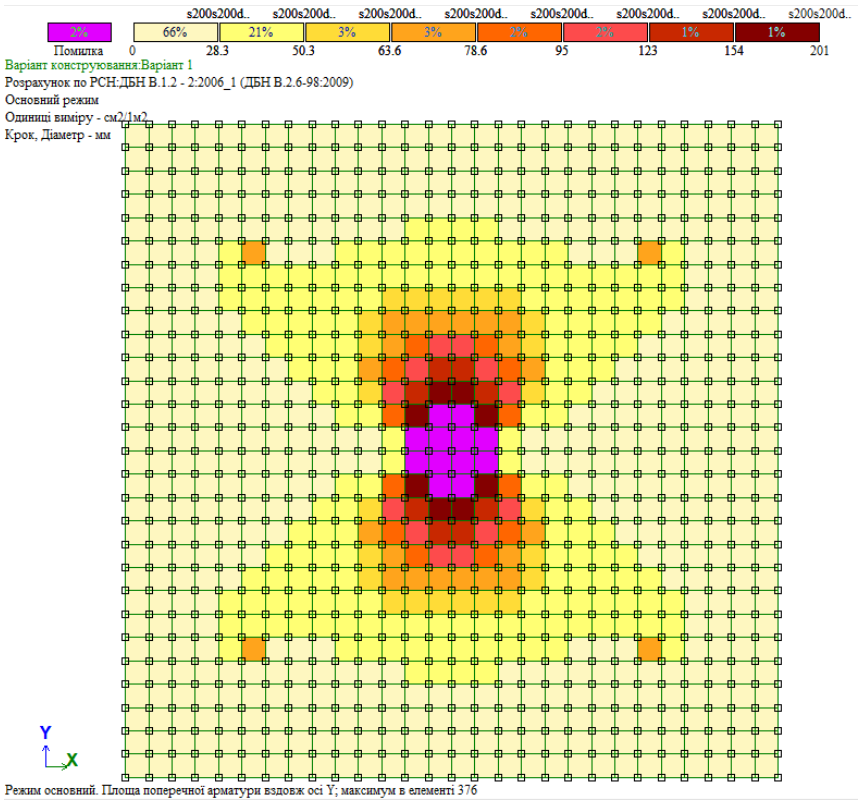


Рисунок 4.8 – Значення поперечного армування комплексного фундаменту

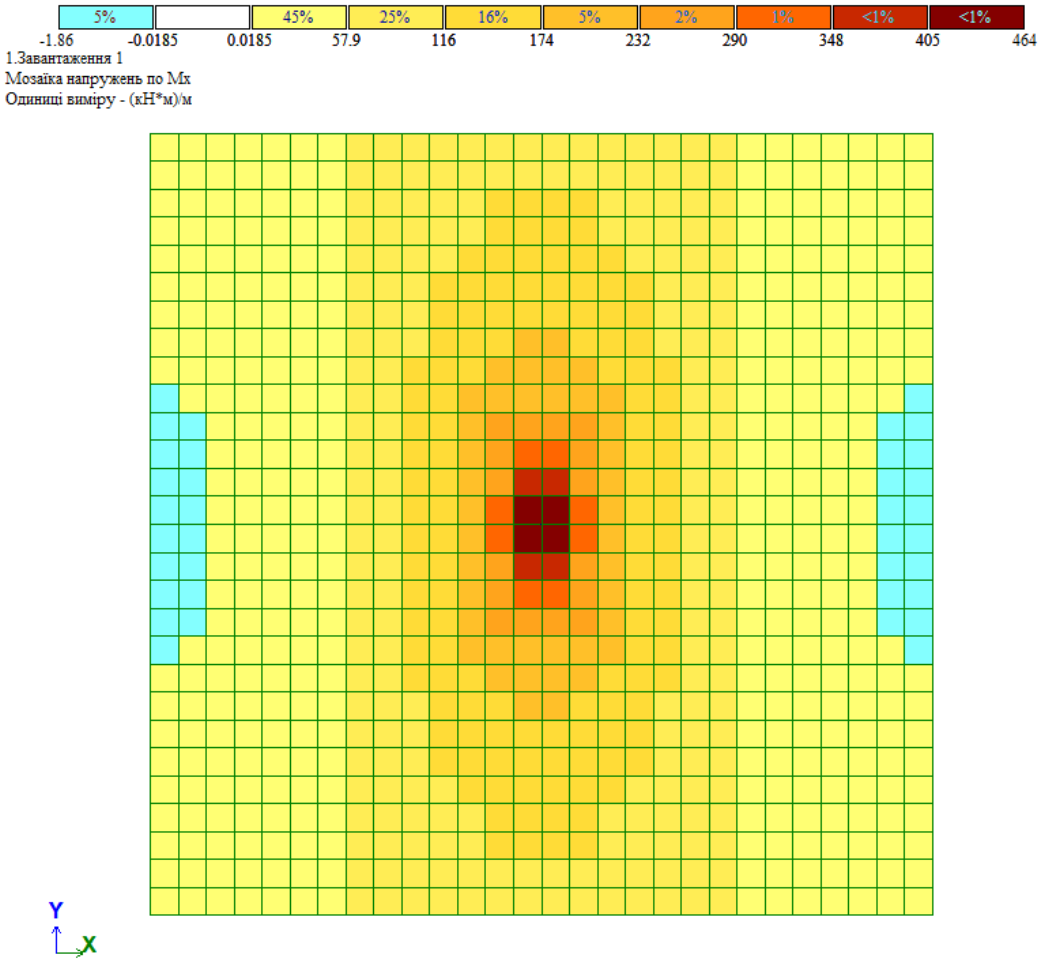


Рисунок 4.9 – Значення згинальних моментів в тілі ростверку комплексного фундаменту

Отже, для даного типу фундаменту необхідно С3-30 – 4 штуки, за рахунок використання ростверку у роботі фундаменту. Різниця забиття додаткової палі та вартість самої палі між ціною арматури дає суттєвий ефект для здешевлення виробництва фундаментів будівлі, тому для будівлі приймається варіант з комплексним фундаментом.

Додаткові розрахунки навантажень та графіки залежностей осідань від навантаження на фундаменти в певних грунтових умовах зазначені у графічній частині кваліфікаційної магістерської роботи.

Виходячи з розділу 2 похибка обчислення фундаментів програмним комплексом ЛІРА-САПР становить 0,1%, що вказує на реалістичний розрахунок з реальними умовами на будівництві, згідно чинних норм.

4.3 Висновки до розділу 4

Архітектурне рішення використовувати підвальний поверх у якості приміщень подвійного призначення та першого поверху для влаштування комерційного поверху вплинули на об’ємно-планувальні рішення несучих конструкцій будівлі. Для реалізації передачі навантаження з житлових поверхів, використовуються монолітні залізобетонні ригелі та колони, на які опираються пустотні залізобетонні плити перекриття та несучи цегляні стіни.

В результаті збору навантажень на фундаменти за допомоги програмного комплексу ЛІРА-САПР виявлено, що середній ряд колон мають умовно однакові навантаження окрім місця повороту кутової секції. Для реалізації фундаменту класичним методом стовпчастих пальових фундаментів має однаковий ростверк з досліджуваним варіантом цієї магістерської кваліфікаційної роботи, проте кількість паль відрізняється на 1 штуку, оскільки у дослідному варіанті використовується робота ростверку для розподілу навантаження в межах комплексного фундаменту.

У додатку В також спостерігається, що осідання дослідного варіанту значно менше у порівняні з класичним конструктивним рішенням фундаменту для цієї будівлі.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Метою дослідження комплексних фундаментів є не лише покращена робота кожного його елемента, а й економічна доцілісність використання цієї технології.

Порівняння економічної доцілісності буде виконуватись на кошторисній вартості виготовлення варіанту одного фундаменту під колону середнього ряду. Різниця результатів складатиме економічний ефект, який покаже раціональність використання комплексних фундаментів.

У кошторисну вартість не враховуються випуски під монолітну колону, оскільки розрахунок залізобетонних несучих елементів конструкцій у даній магістерській роботі не передбачається і умовно приймається однаковим, а серія паль приймається однаковою.

У таблиці 5.1 підраховані обсяги основних робіт на улаштування варіантів стовпчастих пальових фундаментів.

Таблиця 5.1 – Обсяги робіт з улаштування досліджувальних варіантів фундаментів

Обгрунтування (шифр норм)	Найменування робіт і витрат	Од. виміру	Кількість
1	2	3	4
А. Класичний фундамент з 5-ти паль С3-30			
КБ1-17-1	Розробка грунту котловану екскаватором $4,64 \cdot 2,1 \cdot 2,1 = 20,46\ м^3$	1000 м^3	0,02046
КБ5-3-1	Заглиблення дизель-молоток гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 3 м у грунті групи 1 $0,09 \cdot 3 \cdot 5 = 1,35\ м^3$	м^3	1,35

Продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4
С1411-136	Вартість паль марки С3-30 ГОСТ 19804.1-79 $3 \cdot 5 \cdot 1 = 15$ *м*	м	15
КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк $2{,}1 \cdot 2{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}441$ $м^3$	100 $м^3$	0,00441
КБ6-1-2	Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об'ємом до 3 $м^3$ $1{,}8 \cdot 1{,}8 \cdot 0{,}7 = 2{,}28$ $м^3$ з бетону класу С20/25 (В25)	100 $м^3$	0,0228
КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу армування	т	0,103
С124-24	Витрати арматури для ростверку 16$\varnothing$ А500С (А-III) 14$\varnothing$ А500С (А-III) 12$\varnothing$ А240С (А-I) 10$\varnothing$ А240С (А-I)	кг	33,24 42,4 10,14 17,28
КБ1-27-2	Зворотня засипка котловану $(2{,}1 \cdot 2{,}1 - 1{,}8 \cdot 1{,}8) \cdot 0{,}7 = 0{,}819$ $м^3$	1000 $м^3$	0,000819
КБ1-134-1	Ущільнення грунту в пазухах котловану	100 $м^3$	0,00819
Б. Досліджуваний фундамент з 4-х паль С3-30			
КБ1-17-1	Розробка грунту котловану екскаватором	1000 $м^3$	0,0205

Продовження таблиці 5.1.

1	2	3	4
КБ5-3-1	Заглиблення дизель-молоток гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною 3 м у грунті групи 1 $0,09 \cdot 3 \cdot 4 = 1,08\ м^3$	$м^3$	1,08
С1411-136	Вартість паль марки С3-30 ГОСТ 19804.1-79 $3 \cdot 4 \cdot 1 = 12\ м$	м	12
КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки з бетону класу В7,5 (М100) товщиною 100 мм під ростверк	100 $м^3$	0,00441
КБ6-1-2	Улаштування монолітних залізобетонних стовпчастих фундаментів під колони об'ємом до 3 $м^3$ $1,8 \cdot 1,8 \cdot 0,7 = 2,28\ м^3$ з бетону класу С20/25 (В25)	100 $м^3$	0,0228
КБ9-75-2	Виготовлення металевого каркасу армування	т	0,103
С124-24	Витрати арматури для ростверку 16$\varnothing$ А500С (А-III) 14$\varnothing$ А500С (А-III) 12$\varnothing$ А240С (А-I) 10$\varnothing$ А240С (А-I)	кг	 33,24 42,4 10,14 17,28
КБ1-27-2	Зворотня засипка котловану	$м^3$	0,00819
КБ1-134-1	Ущільнення грунту в пазухах котловану	$м^3$	0,00819

За результатами дослідження додатку А виявлено, що обидва варіанти фундаментів подібні за перерізом ростверку та армуванням, але різні за кількістю паль, що дає різницю при виробництві дослідного варіанту фундаменту і робить його економічно доцільним.

Кошторисний розрахунок улаштування фундаменту під внутрішню колону будівлі виконується за допомоги програмного комплексу КОШТОРИС-8 за об’ємами таблиці 5.1.

Вони розроблялися на основі ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи (РЕКН, ДБН Д.2.2 - 99); збірника єдиних середніх кошторисних цін на матеріали, вироби та конструкції загально виробничі витрати розраховані відповідно до усереднених показників додатка 3 до ДСТУ Б Д.1.1 – 1 – 2013.

Кошторисна вартість влаштування конструкцій враховує трудовитрати та заробітна плата будівельників та машиністів, кількість та вартість матеріальних ресурсів, експлуатації будівельних машин та механізмів. Кошторисна вартість влаштування конструкцій визначається як сума прямих та загальновиробничих витрат.

Додаток 1
до Настанови (пункт 3.11)

Житлова багатоповерхова будівля

(найменування об'єкта будівництва)

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-001

на Класичний фундамент з 5-ти паль С3-30

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість	33,971	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,05144	тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	4,396	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,6	розряд

Складений в поточних цінах станом на 13 грудня 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслугову-ванням машин	
					Всього	експлуа-тації машин	Всього	заробітної плати	експлуа-тації машин		
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ5-3-1	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 6 м у грунти групи 1	1м3 паль	1,35	3 605,02	3 067,03	4 867	534	4 140	4,9800	6,72
					395,61	438,25			592	4,3940	5,93
2	С1411-136	Палі квадратного та прямокутного перерізу суцільні та з круглою порожниною, довжина до 8 м, периметр боків 1001-1200 мм	м	15,0	757,74		11 366				
3	КБ1-17-1	Розроблення грунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ходу з ковшом місткістю 1 [1-1,2] м3, група грунтів 1	1000 м3 ґрунту	0,02046	26 869,53	26 226,58	550	12	537	9,3800	0,19
					607,82	6 193,71			127	66,5040	1,36
4	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	0,00441	292 517,14	2 455,11	1 290	45	11	150,7000	0,66
					10 244,59	960,47			4	10,6641	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	С124-23	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 14 мм	т	0,0424	36 451,66		1 546				
6	С124-24	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 16-18 мм	т	0,03324	36 451,66		1 212				
7	С124-21	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 10 мм	т	0,01728	36 639,83		633				
8	С124-22	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 12 мм	т	0,01014	36 451,66		370				
9	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони, об`єм до 3 м3	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	0,0228	344 405,91	9 709,56	7 852	834	221	495,0000	11,29
					36 590,40	3 791,28			86	42,1083	0,96
10	КБ9-75-2	Виготовлення драбин, зв'язок, кронштейнів, гальмових конструкцій та ін.	1т конструкцій	0,103	21 376,13	5 566,14	2 202	1 423	573	176,0000	18,13
					13 812,48	371,50			38	4,1760	0,43
11	КБ1-27-2	Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням грунту до 5 м, група грунтів 2	1000 м3 ґрунту	0,000819	7 512,53	7 512,53	6	-	6	-	-
					-	1 570,43			1	17,6730	0,01

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	КБ1-134-1	Ущільнення грунту пневматичними трамбівками, група грунтів 1, 2	100 м3 ущільненого грунту	0,00819	2 677,37	1 370,87	22	11	11	18,3600	0,15
					1 306,50	401,61			3	5,1175	0,04
		Разом прямих витрат по кошторису					31 916	2 859	5 499		37,14
									851		8,78
		Разом прямі витрати				грн.	31 916				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	23 558				
		вартість ЕММ				грн.	5 499				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		851			
		заробітна плата робітників				грн.		2 859			
		всього заробітна плата				грн.		3 710			
		Загальновиробничі витрати				грн.	2 055				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					5,52
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		686			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	33 971				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					51,44
		Кошторисна заробітна плата				грн.		4 396			

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Додаток 1
до Настанови (пункт 3.11)

Житлова багатоповерхова будівля

(найменування об'єкта будівництва)

Локальний кошторисний розрахунок на будівельні роботи № 02-002

на Досліджуваний фундамент з 4-х паль С3-30

(найменування робіт та витрат, найменування будівлі, споруди, лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури)

ОСНОВА:
креслення(специфікації)№

Кошторисна вартість	30,605	тис. грн.
Кошторисна трудомісткість	0,04861	тис. люд.-год
Кошторисна заробітна плата	4,132	тис. грн.
Середній розряд робіт	3,6	розряд

Складений в поточних цінах станом на 13 грудня 2024 р.

№ Ч.ч.	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.год. не зайнятих обслугову-ванням машин	
					Всього	експлуа-тації машин	Всього	заробітної плати	експлуа-тації машин		
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати			в тому числі заробітної плати	тих, що обслуговують машини	
										на одиницю	всього
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	КБ5-3-1	Заглиблення дизель-молотом на гусеничному копрі залізобетонних паль довжиною до 6 м у грунти групи 1	1м3 паль	1,08	3 605,02	3 067,03	3 893	427	3 312	4,9800	5,38
					395,61	438,25			473	4,3940	4,75
2	С1411-136	Палі квадратного та прямокутного перерізу суцільні та з круглою порожниною, довжина до 8 м, периметр боків 1001-1200 мм	м	12,0	757,74		9 093				
3	КБ1-17-1	Розроблення грунту з навантаженням на автомобілі-самоскиди екскаваторами одноковшовими дизельними на гусеничному ходу з ковшом місткістю 1 [1-1,2] м3, група грунтів 1	1000 м3 ґрунту	0,02046	26 869,53	26 226,58	550	12	537	9,3800	0,19
					607,82	6 193,71			127	66,5040	1,36
4	КБ6-1-1	Улаштування бетонної підготовки	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	0,00441	292 517,14	2 455,11	1 290	45	11	150,7000	0,66
					10 244,59	960,47			4	10,6641	0,05

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	С124-23	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 14 мм	т	0,0424	36 451,66		1 546				
6	С124-24	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 16-18 мм	т	0,03324	36 451,66		1 212				
7	С124-21	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 10 мм	т	0,01728	36 639,83		633				
8	С124-22	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 12 мм	т	0,01014	36 451,66		370				
9	КБ6-1-2	Улаштування бетонних фундаментів загального призначення під колони, об`єм до 3 м3	100м3 бетону, бутобетону і залізобетону в ділі	0,0228	344 405,91	9 709,56	7 852	834	221	495,0000	11,29
					36 590,40	3 791,28			86	42,1083	0,96
10	КБ9-75-2	Виготовлення драбин, зв'язок, кронштейнів, гальмових конструкцій та ін.	1т конструкцій	0,103	21 376,13	5 566,14	2 202	1 423	573	176,0000	18,13
					13 812,48	371,50			38	4,1760	0,43
11	КБ1-27-2	Засипка траншей і котлованів бульдозерами потужністю 59 кВт [80 к.с.] з переміщенням грунту до 5 м, група грунтів 2	1000 м3 ґрунту	0,000819	7 512,53	7 512,53	6	-	6	-	-
					-	1 570,43			1	17,6730	0,01

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
12	КБ1-134-1	Ущільнення грунту пневматичними трамбівками, група грунтів 1, 2	100 м3 ущільненого грунту	0,00819	2 677,37	1 370,87	22	11	11	18,3600	0,15
					1 306,50	401,61			3	5,1175	0,04
		Разом прямих витрат по кошторису					28 669	2 752	4 671		35,80
									732		7,60
		Разом прямі витрати				грн.	28 669				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів і комплектів				грн.	21 246				
		вартість ЕММ				грн.	4 671				
		в т.ч. заробітна плата в ЕММ				грн.		732			
		заробітна плата робітників				грн.		2 752			
		всього заробітна плата				грн.		3 484			
		Загальновиробничі витрати				грн.	1 936				
		трудомісткість в загальновиробничих витратах				люд-г					5,21
		заробітна плата в загальновиробничих витратах				грн.		648			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Всього по кошторису				грн.	30 605				
		Кошторисна трудомісткість				люд-г					48,61
		Кошторисна заробітна плата				грн.		4 132			

Склав

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Перевірив

[посада, підпис (ініціали, прізвище)]

Результати порівняння варіантів стін наведені в таблиці 5.4.

Всі вищенаведені показники, окрім первісної вартості і-тої машини та нормативної тривалості роботи машини за рік, узяті з локальних кошторисів. При порівнянні варіантів приймається той варіант, який має мінімальне значення приведених витрат.

$$П_i = C_i + Eн \cdot K \rightarrow \min, \qquad (5.1)$$

Величина С і К прирівнюються за допомогою нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень Ен, який є допустимим мінімумом зниження собівартості на одиницю додаткових капітальних вкладень, за якими вони визнаються ефективними.

Собівартість робіт визначається за формулою:

$$C = ПВ + ЗВВ, \qquad (5.2)$$

де ПВ – прямі витрати, грн. Під прямими витратами розуміють витрати, пов'язані з виконанням будівельних робіт, які можна прямо та безпосередньо включити до собівартості конкретних будівельних робіт;

ЗВВ – кошторисна величина загальновиробничих витрат, грн.

ПВ та ЗВВ визначаємо із локального кошторису (таблиці 6.2 –6.4). Капітальні вкладення у виробничі фонди:

$$K = K_{ОВФ} + K_{обігові\ кошти} \qquad (5.3)$$

де $К_{ОВФ}$ – вартість основних виробничих фондів;

$K_{обігові\ кошти} = \dfrac{C_{см.}}{K_{обор.}}$ – обігові кошти;

де $С_{см.}$ – кошторисна вартість, грн.;

$К_{обор.}$ = 3-4.

Основні виробничі фонди визначаються за формулою:

$$K_{ОВФ} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Phi_i \cdot T_{i,об.}}{T_{i,річн.}}, \quad (5.4)$$

де $Ф_i$ – первісна вартість і-тої машини, грн. (в даному випадку приймемо вартість експлуатації машин із кошторису);

T_i – тривалість роботи і-тої машини на об’єкті, год.;

$T_{i,\ річн.}$ – нормативна тривалість роботи за рік, год.

Економічний ефект:

$$E = П_1 - П_2 \quad (5.5)$$

Таблиця 5.4 – Порівняння варіантів фундаментів

Показники	Варіант 1	Варіант 2
Прямі витрати, тис. грн.	31,916	28,669
Кошторисна трудомісткість, тис. люд.-год.	0,00552	0,00521
Кошторисна заробітна плата, тис. грн.	0,686	0,648
Усього за кошторисом, тис. грн.	33,971	30,605
Кошторисний прибуток, грн.		
Показники (обчислені)		
Кошторисна величина ЗВВ, тис. грн	2,055	1,936
Собівартість робіт (С), тис. грн.	33,971	30,605
Обігові кошти, тис. грн.	11,323	10,201
Основні виробничі фонди, тис. грн.	5,717	5,151
Капіталовкладення в виробничі фонди, тис. грн.	17,040	15,352
Показники проведених витрат, тис. грн.	35,745	32,109
Економічний ефект, тис. грн.		3,636

5.1 Висновки до розділу 5

У порівнянні двох варіантів фундаментів за таблицею 5.4 спостерігається, що найбільш економічно вигідним є варіант 2: Досліджуваний фундамент з 4-х паль С3-30. Кошторисна вартість становить 30 605 грн, в той час як перший варіант коштуватиме 33 971 грн, що на 11% дорожче.

ВИСНОВКИ

1. При застосуванні комплексних пальових фундаментів зі збільшеним кроком паль в межах одного ростверку і збільшенням його прощі досягається ефективність роботи фундаменту і його окремих елементів.
2. При зменшенні кількості паль в межах постійної площі ростверку у 4-5 рази призводить до зменшення навантаження, що сприймає пальових кущ лише у 1,2-1,5 рази при використанні триметрових паль та у 1,35-1,75 рази при десятиметрових палях. Комбінований варіант пальового фундаменту більш ефективно використовує ресурси.
3. За рахунок збільшення площі ростверку можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 рази (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту у порівнянні з глинистим).
4. При незмінній кількості паль збільшення площі ростверку призводить до збільшення його частки у навантаженні на кущ, досягаючи доволі великих значень 50-70%.
5. Аналіз результатів моделювання показує більшу ефективність розміщення паль у комбінованому фундаменті по периметру куща, ніж у його центральній частині.
6. При сталій кількості паль збільшення площі ростверку суттєво збільшує реалізацію його несучої здатності.
7. З метою економії матеріалів можна зменшувати кількість паль в групі при збільшенні розмірів ростверку без втрати несучої здатності фундаменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Muhammad Rehan Hakro, Aneel Kumar, Zaheer Almani, Mujahid Ali, Fahid Aslam, Roman Fediuk, Sergey Klyuev, Alexander Klyuev, Linar Sabitov Numerical Analysis of Piled-Raft Foundations on Multi-Layer Soil Considering Settlement and Swelling. Buildings 2022, 12, 356. P.1-23.
2. Burland, J.; Burbidge, M.;Wilson, E.; Terzaghi, K. Settlement of Foundations on Sand and Gravel. Proc. Inst. Civ. Eng. 1985, 78, 1325–1381.
3. Ali, M.; Abbas, S.; Khan, M.I.; Gad, M.A.; Ammad, S.; Khan, A. Experimental Validation of Mander's Model for Low Strength Confined Concrete Under Axial Compression. In Proceedings of the 2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs (51154), Sakheer, Bahrain, 11–12 November 2020; P. 1–6.
4. Mandolini, A.; di Laora, R.; Mascarucci, Y. Rational Design of Piled Raft. Procedia Eng. 2013, 57, 45–52.
5. Кріпак В. Комплексний плитно-пальовий фундамент. Будівельні конструкції. Теорія і практика, 1(13). Київ : КНУБА, 2023. С. 30-40.
6. Кріпак В., Бакур Хасіб Особливості розрахунку і проектування фундаментної системи «З/б плита-грунтова основа-палі». Праці Міжнародної ювілейної конференції з питань надійності будівельних констр. Полтава, 1997.
7. Цимбал С. Й., Карцева С. Л. Методика розрахунку пальових фундаментів з урахуванням роботи ростверку. Основи і фундаменти. Київ : КНУБА, 2004. Вип. 28. С. 121-130.
8. Седін В Л., Бікус Е. М., Дюльдев А. О., Мельник А. М. Впровадження комбінованого плитно-палевого фундаменту в Україне на прикладі будівництва підземного паркінгу в м. Одеса. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). Вип. 3(38). Т.2. Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка. Полтава : 2013. С. 321-329.
9. Петренко В. Д., Крисан В. І., Крисан В. В., Чегодаєв І. С. Досвід спорудження пальово-плитного фундаменту в складних інженерно-геологічних умовах. Збірник наукових праць «Мости та тунелі: теорія, дослідження,

практика». Український державний університет науки і технологій, №19. Дніпро : 2021. с. 78-84.

10. Самородов О. В. Метод оптимального проектування пальово-плитних фундаментів багатоповерхових будівель за гранично допустимими осіданнями.
11. Науковий вісник будівництва. Вип. 1(79). Харків : ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. С. 96-100.
12. Самородов О. В. Нова конструкція плитно-пальового фундамента. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Вип. 1 (214). Дніпропетровськ : ПДАБА, 2016. С. 58-65.
13. Самородов О., Табачніков С., Дитюк О., Бондар О. Польові дослідження напруженого стану системи «грунтова основа – комбінований пальово-плитний фундамент» багатофункціонального комплексу у місті Харкові. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.46. Київ : КНУБА, 2023. С.38-48.
14. Ana Cláudia Frade de Faria Foundation solutions for large buildings using combined piled-raft foundations. Engineering, Environmental Science. Instituto Superior Técnico, Lisbon, Portugal, June 2017. P. 10.
15. Katzenbach R., Choudhury D. Combined Pile-Raft Foundation Guideline . Darmstadt: ISSMGE - Technical University Darmstadt, 2013. 23 P. 15. .Katzenbach, R., et al. (2009). "Instrumentationand Monitoring of a Piled Raft Foundation on Soft Soil." Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, P. 1850-1853.
16. V. Balakumar, Min. J. Huang, Erwin Oh, Nilan S. Jayasiri, Richard Hwang, A. S. Balasubramaniam. Piled Raft on Sandy Soil - An Observational Study. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 52 No. 3 September 2021. P. 51-65.
17. Phung Duc Long Prediction of Piled Raft Foundation Settlement – A Case Study. Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 47 No. 1 March 2016. P. 1-6.

18. Wang, Y., et al. (2016). "Experimental Study on the Stress State of Piled Raft Foundation sunder Different Loading Conditions." Journal of Zhejiang UniversityScience A (Applied Physics & Engineering), P. 1345-1356.
19. Бойко І. П., Підлуцький В. Л. Дослідження влаштування паль у фундаменті різної довжини. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво), вип.4 (34), ПолтНТУ, 2012, с.42-48.
20. Elwakil A. Z., Azzam W. R. Experimental and numerical study of piled raft system. Alexandria Engineering Journal. Volume 55, Issue 1, March 2016, Pages 547-560.
21. Lua Thi Hoang, Tatsunori Matsumoto Long-term behavior of piled raft foundation models supported by jacked-in piles on saturated clay. Soils and Foundations, 60 (2020). P. 198–217.
22. Fekadu Melese Improved Performance of Raft Foundation Using Detached Pile Columns in Loose Subsoil Conditions. Advances in Civil Engineering. Volume 2022(11). 18 pages.
23. H. Rasouli, A. Saeedi Azizkandi, M.H. Baziar, M. Modarresi, H. Shahnazari Centrifuge modeling of non-connected piled raft system. International Journal of Civil Engineering, Vol. 13, No. 2, Transaction B: Geotechnical Engineering, June 2015. P. 115-123.
24. Irfan Jamil, Irshad Ahmad, Wali Ullah, Mahmood Ahmad, Mohanad Muayad Sabri Sabri, Ali Majdi Experimental Study on Lateral and Vertical Capacity of Piled Raft and Pile Group System in Sandy Soil. Applied Science. 2022, 12. P. 2-18.
25. Mostafa Elsawwaf, Marwan Shahien, Ahmed Nasr, and Alaaeldin Magdy The behavior of piled rafts in soft clay: Numerical investigation. Journal of the Mechanical Behavior of Materials 2022; 31: 426–434.
26. Srijit Bandyopadhyay, Aniruddha Sengupta, Y. M. Parulekar Behavior of a combined piled raft foundation in a multi-layered soil subjected to vertical loading. Geomechanics and Engineering, Vol. 21, No. 4 (2020) P. 379-390.

27. Жук В., Шульгач Б. Роль параметрів фундаментних конструкцій у формуванні напружено-деформованого стану фундаментів будинку. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип. 42. Київ : КНУБА, 2021. С. 19-29.
28. Ручківський В. Взаємодія ґрунтової основи та групи паль, об'єднаних ростверком. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип. 43. Київ : КНУБА, 2021. С. 79-86.
29. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.
30. Маєвська І. В. Попович М.М., Кремінська Ю. О. Різниця в роботі коротких і довгих паль у складі стовпчастого пальового фундаменту за результатами фізичного моделювання. „Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві", н/т збірник ВНТУ, Вінниця. – 2022. – №2(33). – С. 108-118.
31. Маєвська І. В., Блащук Н. В., Кремінська Ю. О. Особливості роботи пальових кущів з коротких паль за даними числового моделювання. Основи та фундаменти: науково-технічний збірник. Вип.43. Київ : КНУБА, 2021. С.30-39. compressible piles and pile groups. Geotechnique 1971;21:43–60.
32. І. В. Маєвська, М. М. Попович, Н. В. Блащук «Автоматизований розрахунок пальових фундаментів». Вінниця: ВНТУ, 2010. – 84 ст. 33. Є.А. Дмитренко, І.А. Яковенко, О.А. Фесенко «Основи проєктування кон-струкцій будівель та споруд у програмному комплексі «ЛІРА-САПР»». Київ: Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України, 2021 – 91 ст. URL: https://www.liraland.ua/download/private/lira/2024/MetodOsnovyNUBIP.pdf (дата звернення 29.09.2024)
33. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд: зі зміною №1 та №2 : [Чинний від 2012-07-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009 – 161 с.
34. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель : [Чинний від 01.09.2022] . Київ : Мінрегіонбуд України, 2022 – 27 с.

35. Козуб А. Р., Шмундяк О. Ю., Маєвська І. В. Переваги комплексного стовп-частого пальового фундаменту у порівнянні з класичними варіантами його реалізації». *Інноваційні технології в будівництві-2024* : м. Вінниця, 24 листоп. Вінниця, 2024. С. 846-850.

Додаток А

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу ЛІРА

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра БМГА, ФБЦЕІ
(кафедра, факультет)

Керівник Маєвська І.В., доцент
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність, %	95
Загальна схожість, %	5

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- [x] Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- [ ] Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- [ ] Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор _____ Козуб А.Р.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Перевірку на плагіат пройдено, до захисту МКР допущено

Особа, відповідальна за перевірку _____ Блащук Н.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Додаток Б Відомість наповнення графічної частини

Аркуш	Найменування	Примітки
1	Мета і задача дослідження роботи: «Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра»	Плакат 1
2	Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті	Плакат 2
3	Порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту	Плакат 3
4	Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи	Плакат 4
5	Аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту	Плакат 5
6	Висновки дослідження роботи	Плакат 6
7	Фасади в осях "I"-"II" та "1"-"13", розріз 1-1, розріз 2-2, розгортка сходового маршу, ТЕП проекту, генплан, специфікація	
8	Кладочний план стін типового поверху, кладочний план перегородок типового поверху, кладочний план парапетів, план перекриття, план парапетів, специфікація	
9	План фундаментів, план стін підвалу з блоків типу ФБС,геологічний розріз, схеми стовпчатих фундаментів, армувальні сітки, специфікація, загальна відомість витрат сталі	

Додаток В Результати обчислення варіантів фундаментів за допомоги ПК ЛІРА-САПР

Результати обчислення для класичного варіанту фундаменту опубліковані за посиланням:

1. Армування пластин ростверку –

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1ugip2xtZ4Q7PJbNmPqY_1cYEXwzpcipy/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

2. Зусилля –

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1UcG4I74qI646gQrKOtbC0Ofk9_UNeAWk/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

3. Переміщення –

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1LIwYf0OXUzkzB8_DNOmyawLPXviHD1jh/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

Результати обчислення для дослідженого варіанту фундаменту опубліковані за посиланням:

1. Армування пластин ростверку –
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YXOKJjOuNx6jjqozNvrXZO1Jmh2BYZ2j/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

2. Зусилля –
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1HN6TVGwsftDUfyaK_ITJ1SQ8FN3y3Xw0/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

3. Переміщення –
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dXe7S2cNzQHdgqlUgboWanHstZGYh0NH/edit?usp=sharing&ouid=107131557484180838291&rtpof=true&sd=true

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА КОЗУБА А. Р. НА ТЕМУ:

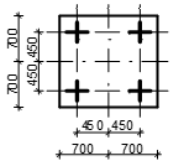
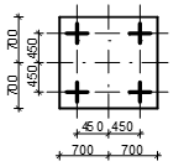
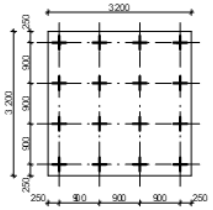
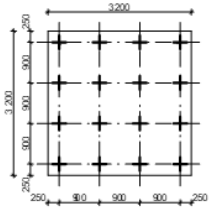
«Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра»

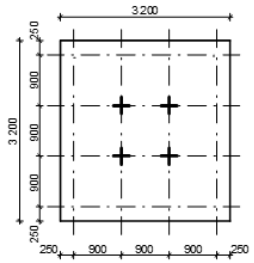
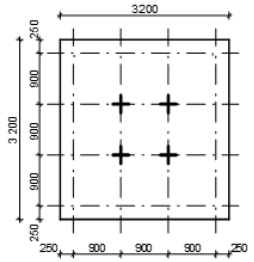
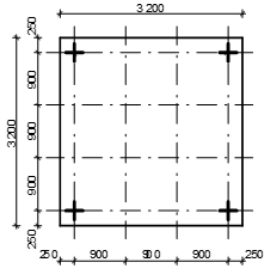
МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ: дослідити зменшення використання паль у стовпчастих пальових фундаментах за рахунок роботи підошви ростверку.

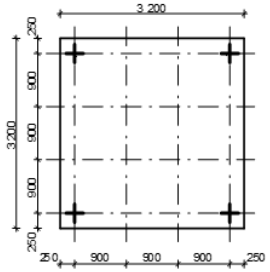
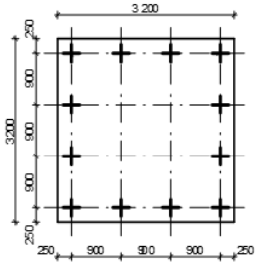
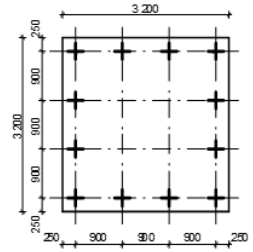
ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

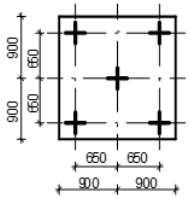
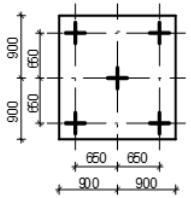
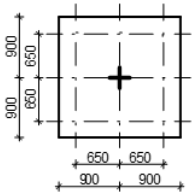
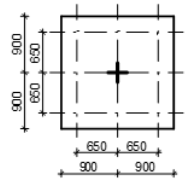
- опанувати програмний комплекс ЛІРА-САПР та метод скінчених елементів
- побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті
- порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту
- планування чисельного експерименту з визначення впливу геометричних чинників та характеристик ґрунту основи на сумісну роботу паль і ростверку у складі комплексного фундаменту
- чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи
- аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту

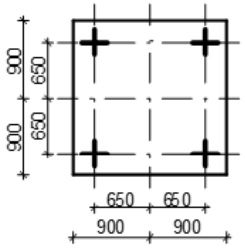
Побудова розрахункової схеми роботи паль різних типів у грунті

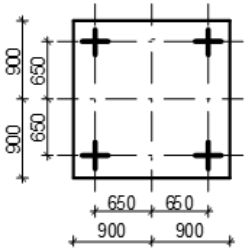
Назва	Палі	Ескіз
1	2	3
Варіант 1.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 1.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 2.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 2.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

1	2	3
Варіант 3.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 3.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 4.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	

1	2	3
Варіант 4.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 5.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 5.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

1	2	3
Варіант 6.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 6.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 7.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	
Варіант 7.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

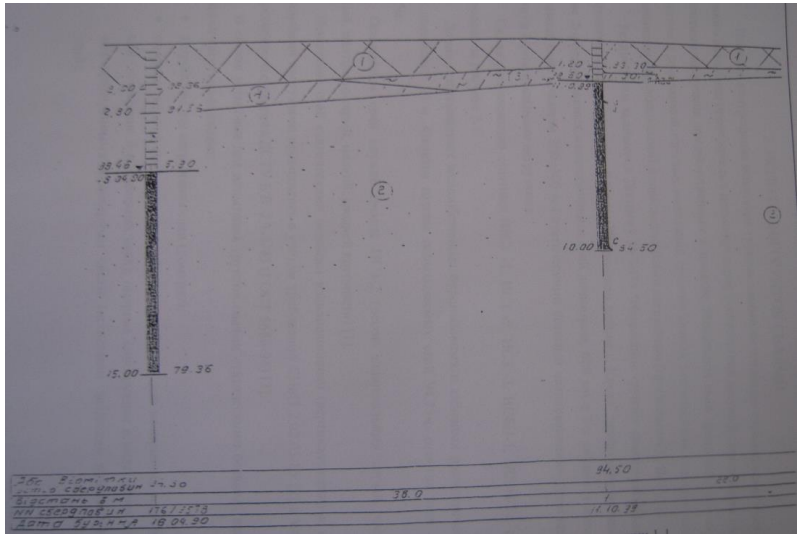
Варіант 8.1	L = 3 м, b x h = 30x30 см	

Варіант 8.2	L = 10 м, b x h = 30x30 см	

Порівняння несучої здатності палі, визначеної у програмному комплексі, з результатами натурного експерименту

№ ІГЕ	Найменування грунту	Нормативні значення									Розрахункові значення					
		Природна вологість	Число пластичності	Показник консистенції	Коефіцієнт пористості	Модуль деформації, МПа	Коеф. Фільтрації, м/доба	Щільність грунту, кН/м³	Питоме зчеплення, кПа	Кут внутр. Тертя, град.	Щільність грунту, кН/м³		Питоме зчеплення, кПа		Кут внутрішнього тертя, град.	
		W_p	I_p	I_L	e	E	$K_ф$	ρ	c	φ	$ρ_1$	$ρ_2$	c_1	c_2	$φ_1$	$φ_2$
1	Насипний грунт					15		16,5				16,5				
2	Пісок		<0,01		0,65	30	3-5	18,0	1	32		18,0		1		32
3	Супісок з вмістом органіки			>0	0,65	10	0,5	15,5	7	21		15,5		7		21
4	Суглинки		0,12	>0,5	0,70	10	0,05	18,0	15	19		18,0		15		19

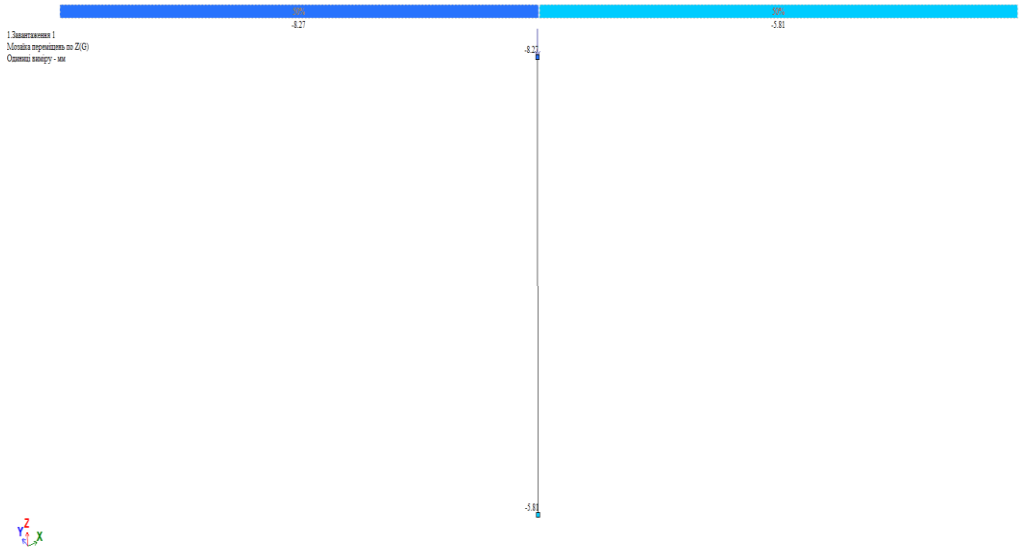
Рисунок 1 – Геологічний розріз експерименту



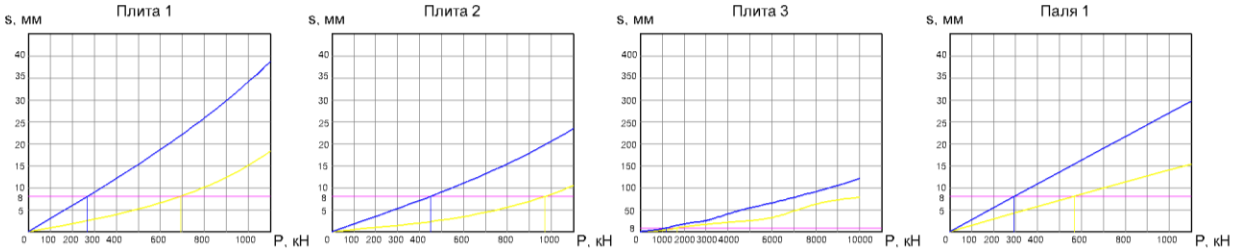
Результати натурного експерименту

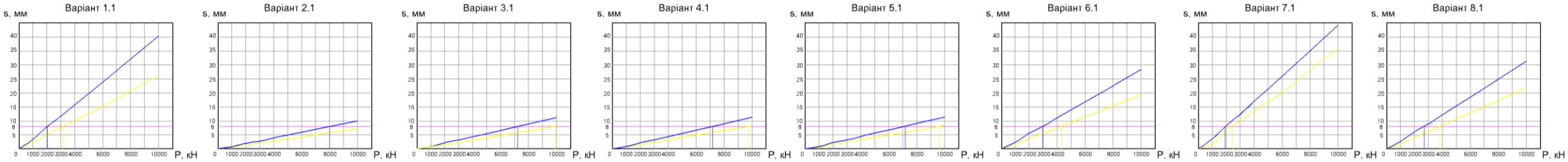
№	Навантаження, кН	Загальне навантаження на палю, кН	Переміщення палі, мм
1	0	0	0,00
2	150	150	0,22
3	150	300	2,22
4	150	450	3,25
5	100	550	4,01
6	100	650	5,16
7	100	750	5,73
8	50	800	6,28
9	50	850	7,09
10	50	900	8,85

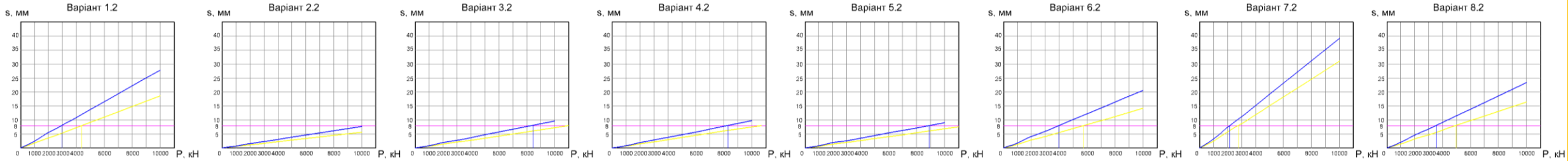
Результати обчилювання просторово-фізичної моделі у ПК ЛІРА-САПР



Чисельне моделювання роботи комплексних фундаментів, а також окремих їх елементів при варіюванні довжини і кількості паль, відстані між палями, характеру розміщення в ростверку, характеристик грунту основи







Аналіз одержаних результатів, виявлення найбільш впливових чинників на перерозподіл зусиль між ростверком та палями у складі комплексного фундаменту

Палі – 3 м

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м²	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середній тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м²	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	568	645,97	481,6	0,848	0,397	309,3	566,5	0,850	2,09
2	3,2x3,2	16	568	479,42	390,5	0,688	0,440	138,9	566,5	0,689	3,45
3	3,2x3,2	4	568	794,36	438,7	0,772	0,823	138,9	566,5	0,774	5,72
4	3,2x3,2	4	568	809,25	372,9	0,657	0,847	138,9	566,5	0,658	5,83
5	3,2x3,2	12	568	484,99	386,3	0,680	0,517	138,9	566,5	0,682	3,49
6	1,8x1,8	5	568	622,31	455,7	0,802	0,469	262,3	566,5	0,804	2,37
7	1,8x1,8	1	568	604,97	466,6	0,821	0,808	262,3	566,5	0,824	2,31
8	1,8x1,8	4	568	621,79	458,7	0,808	0,523	262,3	566,5	0,810	2,37

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м²	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середній тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м²	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	278	599,08	218,4	0,786	0,573	90,6	294,1	0,743	6,61
2	3,2x3,2	16	278	440,09	217,7	0,783	0,564	82,1	294,1	0,740	5,36
3	3,2x3,2	4	278	614,77	234,7	0,844	0,870	82,1	294,1	0,798	7,49
4	3,2x3,2	4	278	533,16	179,2	0,645	0,884	82,1	294,1	0,609	6,49
5	3,2x3,2	12	278	448,66	214,3	0,771	0,641	82,1	294,1	0,729	5,46
6	1,8x1,8	5	278	531,57	247,9	0,892	0,582	93,6	294,1	0,843	5,68
7	1,8x1,8	1	278	518,89	253,2	0,911	0,869	93,6	294,1	0,861	5,54
8	1,8x1,8	4	278	526,54	248,2	0,893	0,632	93,6	294,1	0,844	5,63

Палі – 10 м

Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м²	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середній тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м²	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	1080	632,04	789,1	0,731	0,282	309,3	566,5	1,393	2,04
2	3,2x3,2	16	1080	450,71	599,6	0,555	0,325	138,9	566,5	1,058	3,24
3	3,2x3,2	4	1080	798,52	718,2	0,665	0,740	138,9	566,5	1,268	5,75
4	3,2x3,2	4	1080	805,29	591	0,547	0,777	138,9	566,5	1,043	5,80
5	3,2x3,2	12	1080	438,06	610,9	0,566	0,380	138,9	566,5	1,078	3,15
6	1,8x1,8	5	1080	613,67	752,4	0,697	0,346	262,3	566,5	1,328	2,34
7	1,8x1,8	1	1080	615,99	796,6	0,738	0,715	262,3	566,5	1,406	2,35
8	1,8x1,8	4	1080	601,88	754,4	0,699	0,393	262,3	566,5	1,332	2,29

Піщаний грунт

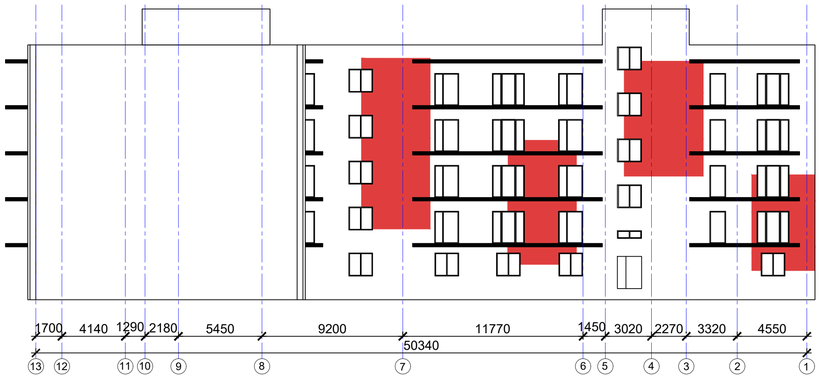
Варіант фундаменту	Розмір ростверку, м	Кількість паль, шт	Несуча здатність палі, кН	Комплексний фундамент				Окремі елементи		Різниця навантажень на палю в роботі з ростверком та одиничну палю	Різниця середнього тиску на розрахунковий варіант та фундаментну плиту
				Середній тиск під підошвою ростверку, кН/м²	Навантаження на палю, кН	Коефіцієнт використання палі	Коефіцієнт сприймання загального навантаження ростверком	Середній тиск під підошвою ростверку без паль, кН/м²	Одиночне навантаження на палю, кН		
1	1,4x1,4	4	680	553,16	469,4	0,690	0,366	90,6	294,1	1,596	6,11
2	3,2x3,2	16	680	413,96	387	0,569	0,406	82,1	294,1	1,316	5,04
3	3,2x3,2	4	680	655,79	436,4	0,642	0,794	82,1	294,1	1,484	7,99
4	3,2x3,2	4	680	662,27	379,2	0,558	0,817	82,1	294,1	1,289	8,07
5	3,2x3,2	12	680	413,98	389,6	0,573	0,476	82,1	294,1	1,325	5,04
6	1,8x1,8	5	680	524,69	455,4	0,670	0,427	93,6	294,1	1,548	5,61
7	1,8x1,8	1	680	517,41	476,3	0,700	0,779	93,6	294,1	1,620	5,53
8	1,8x1,8	4	680	528,83	460,3	0,677	0,482	93,6	294,1	1,565	5,65

Глинистий грунт

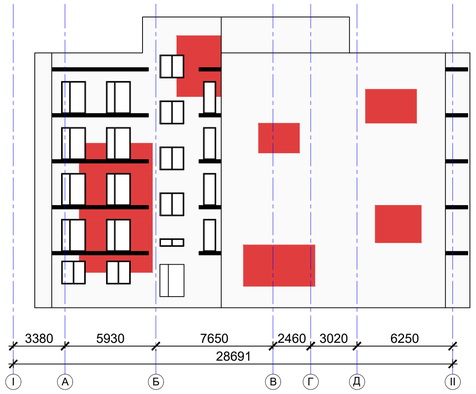
Висновки

- У програмному комплексі ЛІРА-САПР можна розрахувати комплексні фундаменти з включенням ростверку у роботу.
- При розподілені зусиль палі на себе сприймали до 80% навантаження від своєї максимальної несучої здатності, інше навантаження було рівномірно розповсюджено по ростверку
- Шляхом використання комплексних фундаментів у будівництві можна скоротити кількість паль та їх довжину на виробництві, що призведе до пришвидшення зведення готових конструкцій та їх здешевіння без втрат міцності у порівнянні з сучасними класичними варіантами.

Фасад в межах осей "13" - "1"

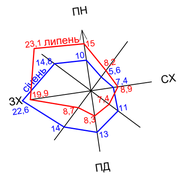


Фасад в межах осей "I" - "II"



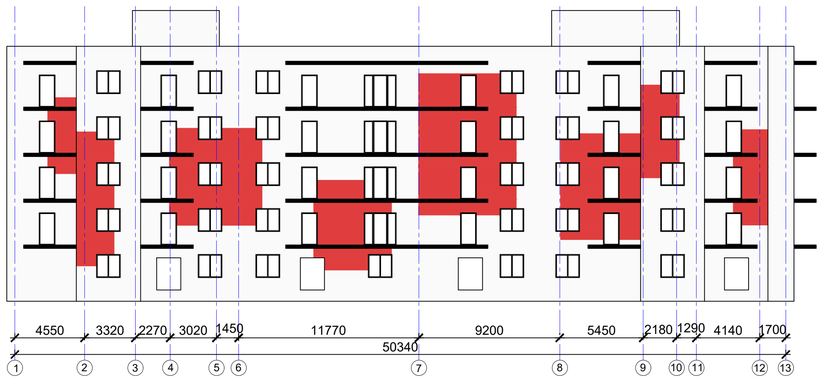
ТЕП генплану

№	Найменування	од. вимір.	Вага од.,кг
1	Загальна площа ділянки	м²	4516,76
2	Площа забудови	м²	1641,75
3	Площа покриття	м²	997,08
4	Площа озеленення	м²	879,66
5	Площа благоустрою:	м²	998,27
	- загальні ділянки	м²	629,7
	- пішохідна частина вулиці	м²	368,57
6	Коефіцієнт забудови		0,363
7	Коефіцієнт покриття		0,302
8	Коефіцієнт озеленення		0,195

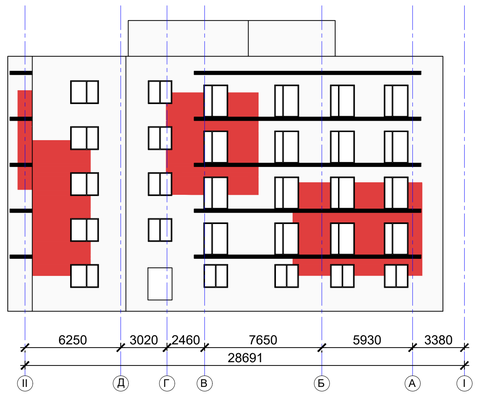


Генеральний план

Фасад в межах осей "1" - "13"



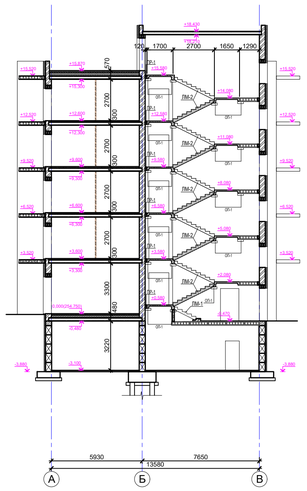
Фасад в межах осей "II" - "I"



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- Контур майбутньої будівлі
- Межа ділянки
- "Червона" лінія міста
- Озеленена територія
- Існуючі будівлі
- Дорожнє покриття для автомобілів
- Зона відпочинку (дитячий майданчик)
- Зона відпочинку (спортивний майданчик)
- Дорожнє покриття пішохідної зони

Розгортка сходової клітини



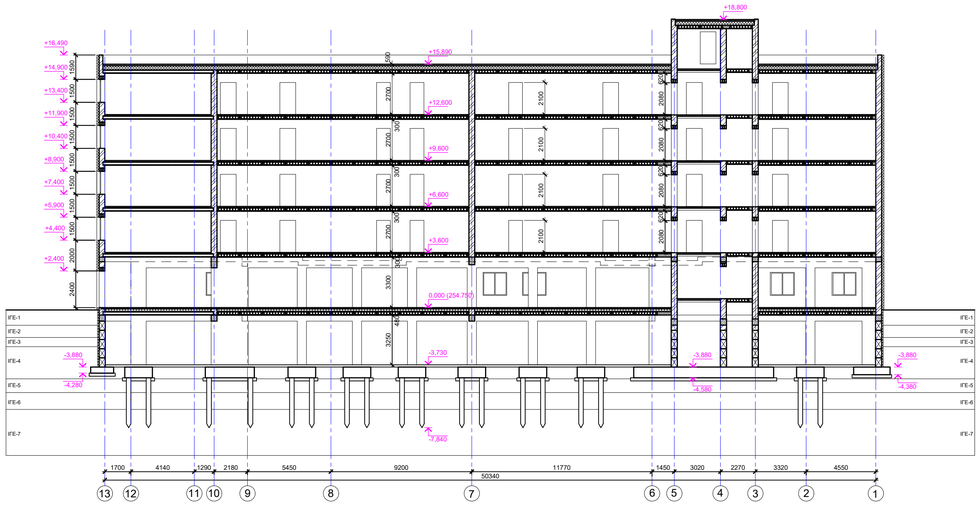
Специфікація з/б виробів на секцію

Марка поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Вага од.,кг	Примітки
	Сходові марші				
ЛМ-1	Концерн "Поділля"	1 ЛМ 17.13.5 9-4	1		ширина маршу 1350 мм
ЛМ-2	Концерн "Поділля"	1 ЛМ 30.13.5 15-4	10		ширина маршу 1350 мм
	Сходові площадки				
ЛП-1	Концерн "Поділля"	2 ЛП 28-16.5 -4-к	11		для маршів 1350 мм
	Опорні подушки				
ОП-1	серія 1.225-2 вып.11	ОП 4.4-т	42	50	

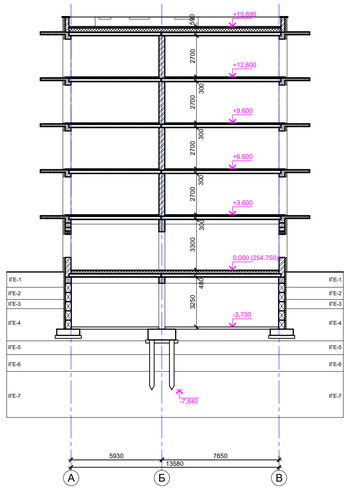
Специфікація елементів

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Вага од.,кг	Примітки
1	2	3	4	5	
	Перемички				
ПР-1	ДСТУ Б.В,2-6-55:2008	3 ПБ 34-4-п	6	222	

Розріз 1-1



Розріз 2-2



0,000 = 254.750

Змін.	Кільк	Арк.	Nдок	Підпис	Дата
Розробив		Козуб А. Р.			
Перевірила		Маєвська І. В.			
Керівник		Маєвська І. В.			
Норм. контроль		Маєвська І. В.			
Опонент					
Затвердив		Швець В. В.			

08-11.МКР.010 - АР

Нове будівництво багатоквартирного житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення в м. Вінниця

Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра

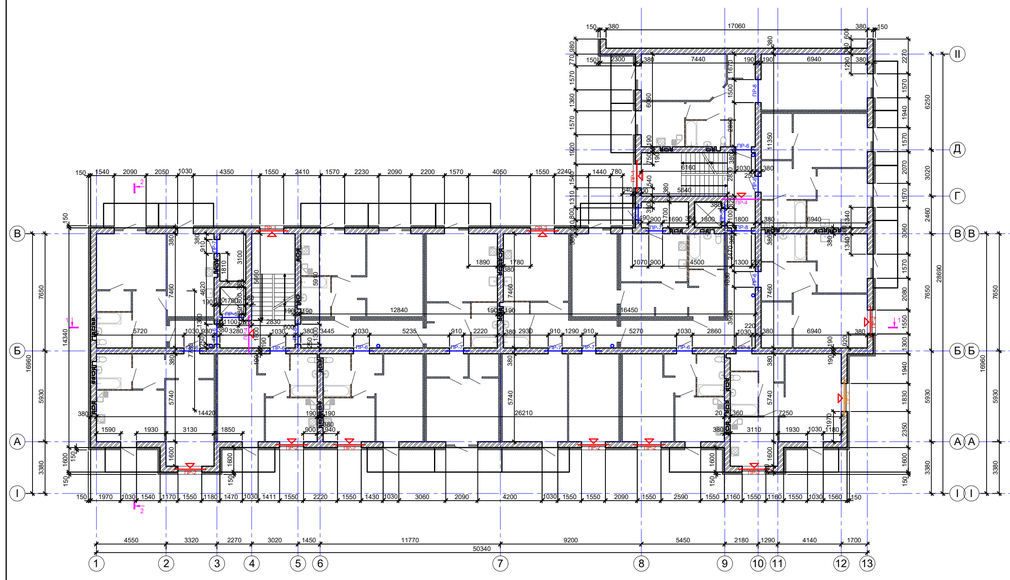
Стадія	Аркуш	Аркушів
П	1	

Фасади в осях "I"-"II" та "1"-"13", розріз 1-1, розріз 2-2, розгортка сходового маршу, ТЕП проекту, генплан, специфікація

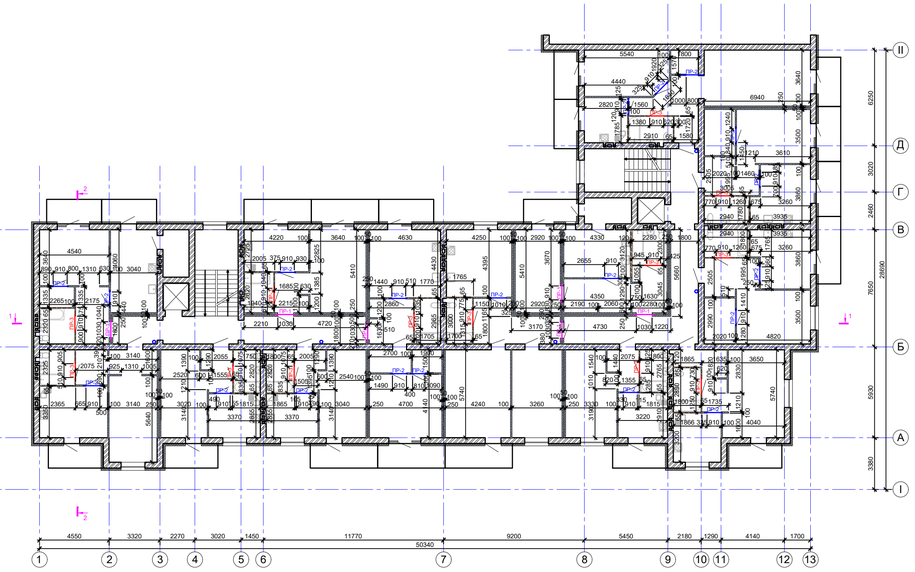
ВНТУ, гр. Б-23м

Інв. N оригі. | Підпис і дата | Зам. інв. N

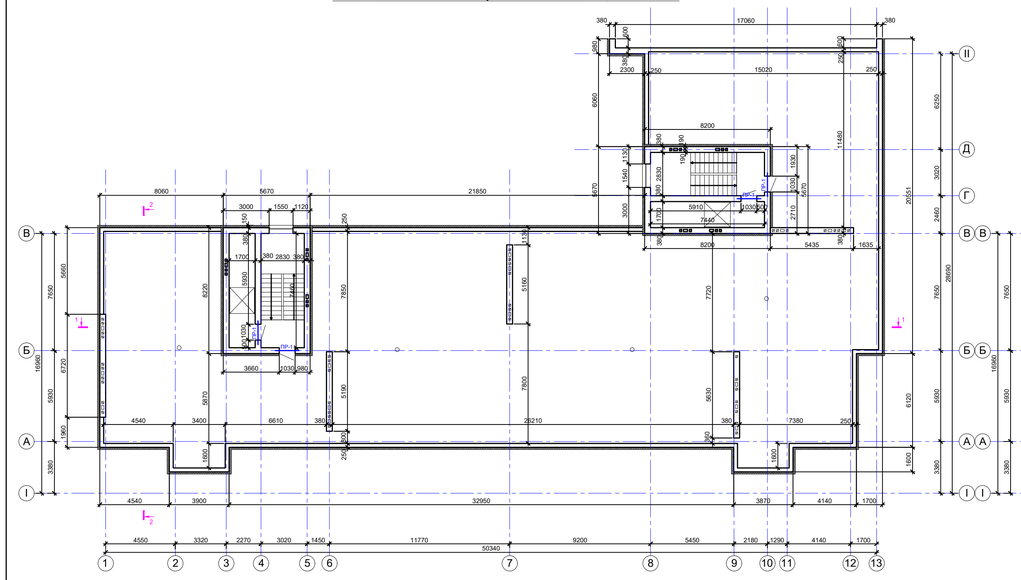
Кладочний план стін типового поверху на відм. +3,600, +6,600, +9,600, +12,600



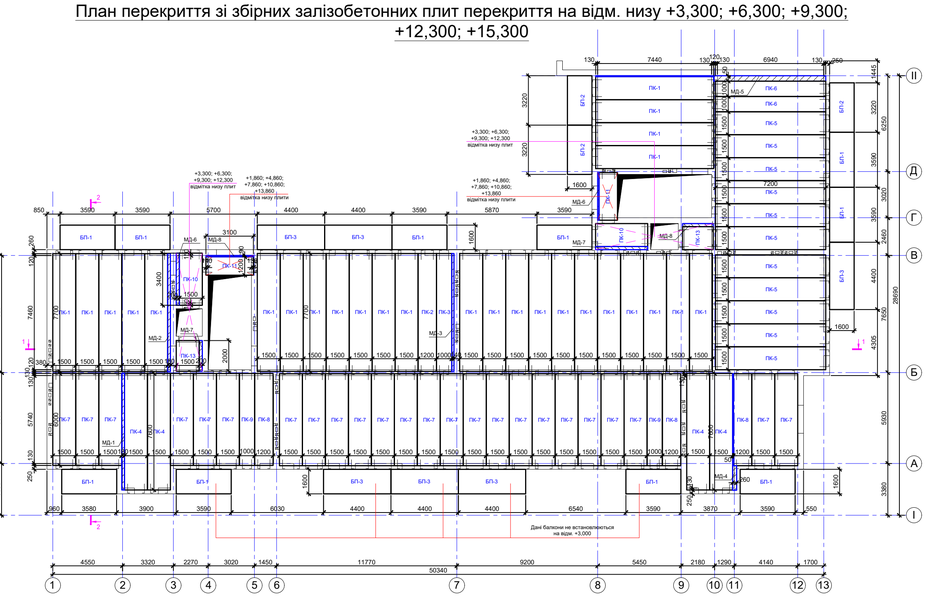
Кладочний план перегородок типового поверху на відм. +3,600, +6,600, +9,600, +12,600



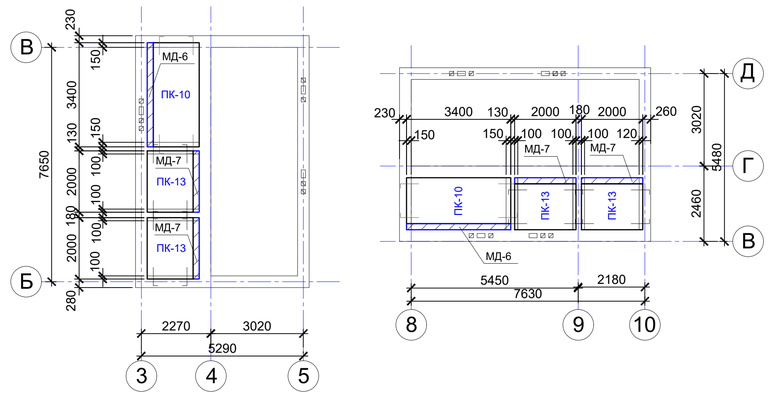
Кладочний план парапетів на відм. +15,890



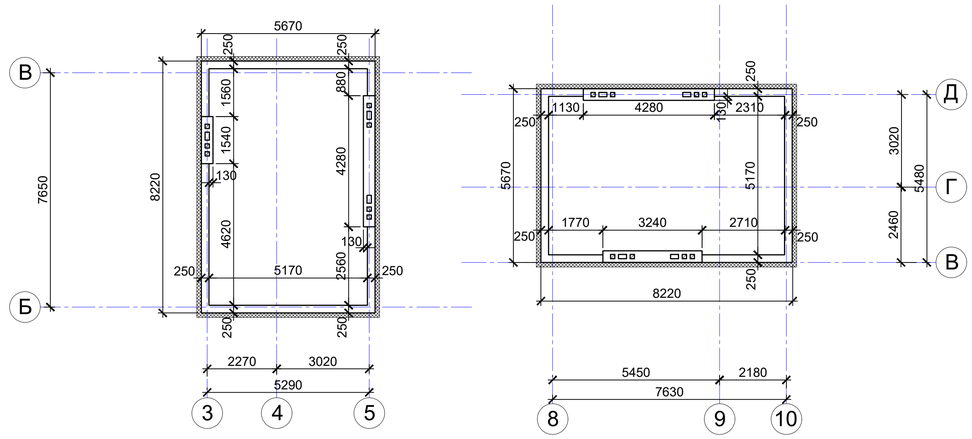
План перекриття зі збірних залізобетонних плит перекриття на відм. низу +3,300; +6,300; +9,300; +12,300; +15,300



Вузол перекриття зі збірних з.б. плит перекриття на відм. верху +15,300



Кладочний план парапетів на відм. +18,800



Загальна специфікація елементів перекриття

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Вага од.,кг	Примітки
1	2	3	4	5	
		Плити перекриття			
ПК-1	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 77-15-8	135	3600	
ПК-2	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 77-12-8	5	2720	
ПК-3	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 77-10-8	5	2450	
ПК-4	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 76-15-8	20	3660	
ПК-5	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 72-15-8	55	3400	
ПК-6	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 72-12-8	10	2200	
ПК-7	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 60-15-8	120	2850	
ПК-8	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 60-12-8	15	2150	
ПК-9	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 60-10-8	10	1840	
ПК-10	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 34-15-8	10	1650	
ПК-11	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 31-12-8	10	1200	
ПК-12	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 31-10-8	0	1200	
ПК-13	ДСТУ Б.В,2-6-53:2008	ПК 20-15-8	12	1000	
		Анкери			
А-1	ДСТУ 3760-2006	Ø10 А240С L=1065	1620	0,66	1069,2
А-2	ДСТУ 3760-2006	Ø10 А240С L=1300	400	0,80	320,0
		Монолітні ділянки			
МД-1		МД-1	5		
МД-2		МД-2	5		
МД-3		МД-3	5		
МД-4		МД-4	5		
МД-5		МД-5	5		
МД-6		МД-6	5		
МД-7		МД-7	5		
МД-8		МД-8	5		
		Балкон-перемички			
БП-1	Концерн "Поділля"	Балкон-перемичка БП-1	48		
БП-2	Концерн "Поділля"	Балкон-перемичка БП-2	15		
БП-3	Концерн "Поділля"	Балкон-перемичка БП-3	27		

Примітки:

1.Зовнішні та внутрішні стіни типового поверху виконуються з керамічної цегли (КРПв - 1НФ - М150 - 1650 - F25 - 1) по ДСТУ Б.В.2.7-61:2008 на розчині М100. Можлива заміна керамічної на силікатну цеглу, аналогічної або вищої марки.

2. Простінки зовнішніх стін та ділянки внутрішніх стін армуються сітками Ø4 Вр-І, чарункою 50х50мм. На типового поверсі армування виконується через 5 рядів кладки по всій висоті поверху.

3. Витрати матеріалів на влаштування цегляної кладки типового поверху житлового будинку:

- керамічна цегла М150 380 мм V= 1007,36 м³ (251,84 м³ на поверх).

4. При виконані керамічної кладки в зимовий період необхідно підвищувати марку розчину на порядок.

5. Всі ніші під стояки на першому поверсі оштукатурити цементно-піщаним розчином.

6. Специфікація дана на один поверх. Відмітки дивитись на розрізі відповідно до кожного поверху.

7. Витрати матеріалів на влаштування внутрішніх перегородок типового поверху житлового будинку:

- Газобетонні блоки D300, товщиною 100 мм, V= 259 м³ (на один поверх V = 64,75 м³ (виконати армування кожні два ряди));
- Червона керамічна повнотіла цегла М100 на ц.п.р. М50 товщ. 65 мм V= 43,52 м³ (на один поверх V = 10,88 м³)

8. Специфікація дана на усі типові поверх (4 шт.). Відмітки дивитись на розрізі відповідно до кожного поверху.

9. Специфікацію дано на 5 типових поверхів перекриття.

10. Балкони-перемички встановлювати на 220 мм нижче за відмітку низу кожного поверху.

11. Плити перекриття і балконі плити монтувати по шару цементно-піщаного розчину марки М 100, з добавкою пластифікатора, з товщиною шару 10 мм.

12. Шви між плитами перекриття після очистки від бруду і промивки водою замонолітити цементно-піщаним розчином марки 150.

13. Анкери після встановлення пофарбувати олійними фарбами.

14 .Зварювання анкерів плит перекриття виконувати електродами типу Е42.

15. Після влаштування анкерів в плитах перекриття отвори під монтажні петлі заповнити бетоном класу В15.

16. Перед встановленням всі пустоти на опорах в плитах повинні бути ОБОВ'ЯЗКОВО зароблені вкладками, або бетонним розчином кл. В15.

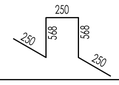
17. Армування монолітних ділянок у рамках магістерської кваліфікаційної роботи не розглядається.

0,000 = 254.750

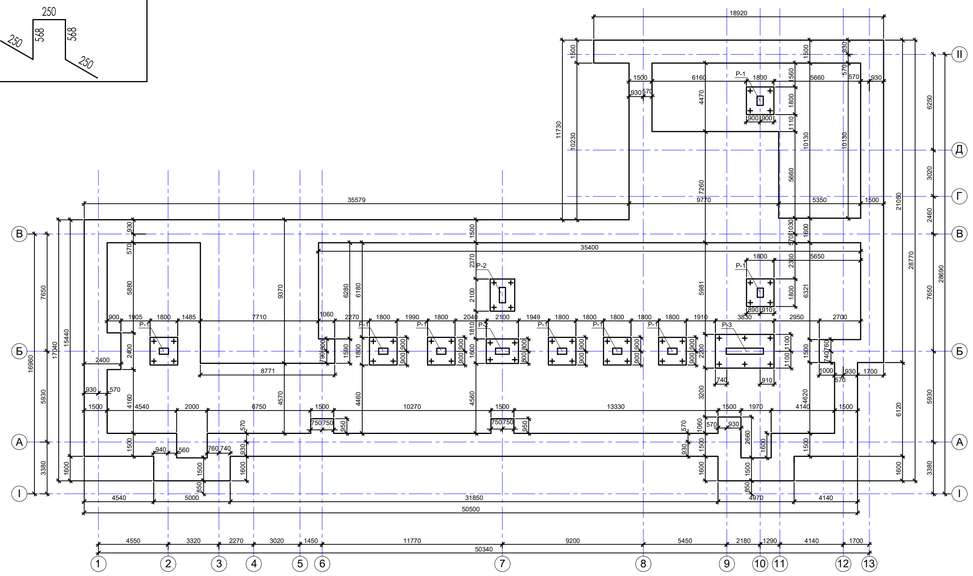
Змін.	Кільк.	Арк.	Ndок.	Підпис	Дата	08-11.МКР.010 - АР
Розробив		Козуб А. Р.				Нове будівництво багатоквартирного житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення в м. Вінниця
Перевірила		Маєвська І. В.				Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра
Керівник		Маєвська І. В.				Стадія: П; Аркуш: 2; Аркушів:
Норм. контроль		Маєвська І. В.				
Опонент						Кладочний план стін типового поверху, кладочний план перегородок типового поверху, кладочний план парапетів, план перекриття, план парапетів, специфікація
Затвердив		Швець В. В.				ВНТУ, гр. Б-23м

Інв. N оригі. | Підпис і дата | Зам. інв. N

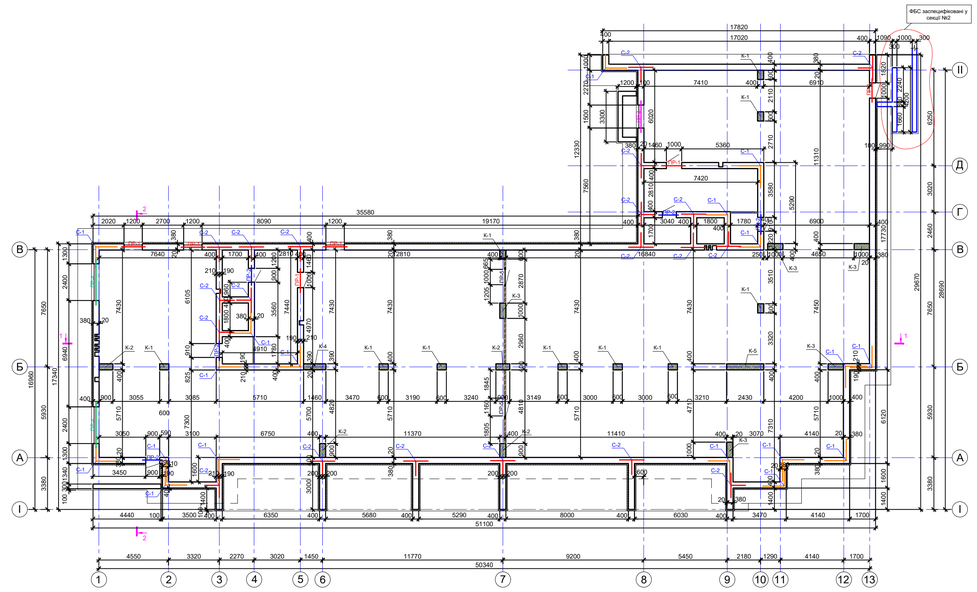
Відомість деталей

Поз.	Ескіз
4	

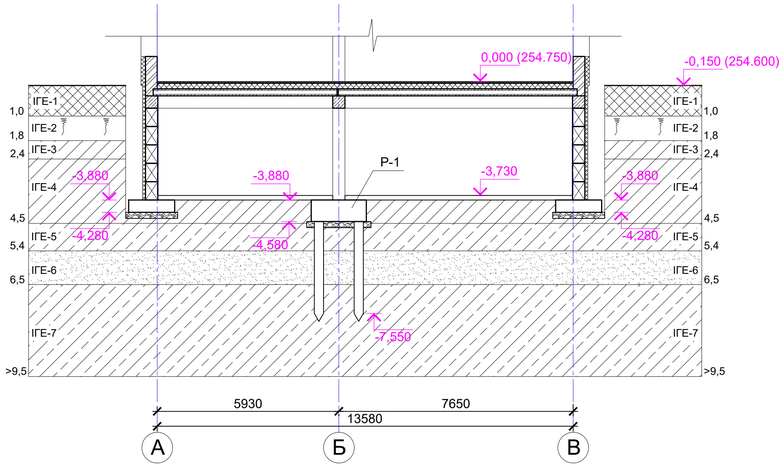
План комбінованих фундаментів на відм. верху -3,880



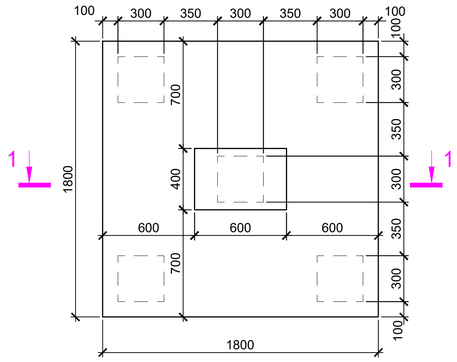
План стін фундаментів підвалу з блоків типу ФБС



Геологічний розріз з улаштуванням фундаментів будівлі

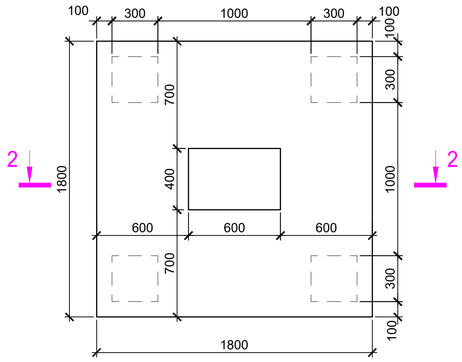


Класичне рішення улаштування стовпчастого пальового фундаменту Р-1

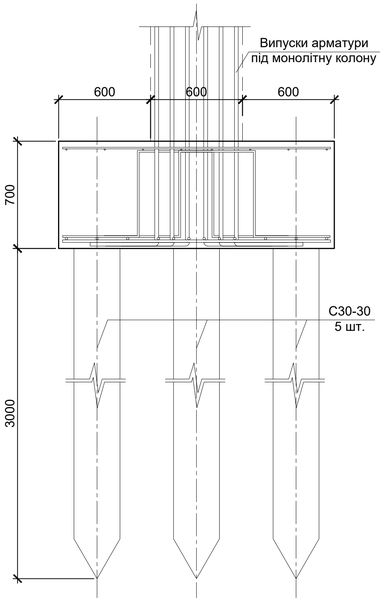


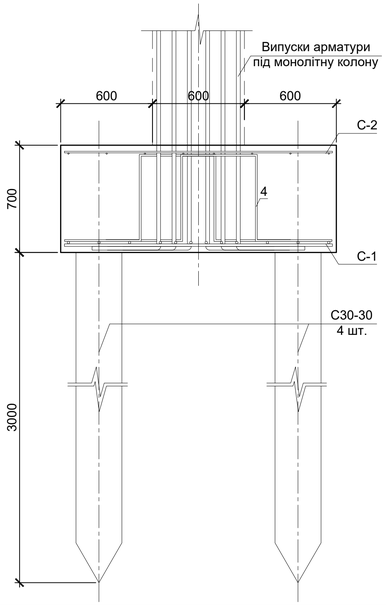
1-1

Результат стовпчастого пальового фундаменту Р-1 за даними дослідження

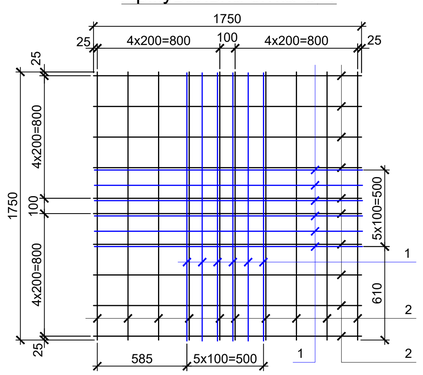


2-2

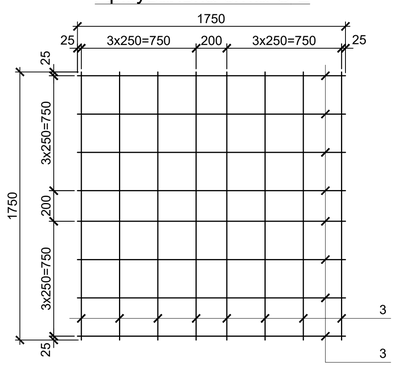




Армувальна сітка С-1



Армувальна сітка С-2



Специфікація

Марка, поз.	Позначення	Найменування	Кіл., шт.	Маса од.,кг	Примітка
Р-1	Ростверк Р-1 за результатами дослідження			103,06	
С-1	Сітка С-1				
1	ДСТУ 3760:2019	Ø16 А500С, L=1750 мм	12	2,77	33,24 кг
2	ДСТУ 3760:2019	Ø14 А500С, L=1750 мм	20	2,12	42,4 кг
С-2	Сітка С-2				
3	ДСТУ 3760:2019	Ø10 А240С, L=1750 мм	16	1,08	17,28 кг
4	ДСТУ 3760:2019	Ø12 А240С, L=1900 мм	6	1,69	10,14 кг
		Бетон класу С20/25		2,28 м³	

Відомість витрати сталі

Марка елемента	Вироби арматурні						Загальні витрати, кг
	Арматура класу						
	А 240 С			А 500 С			
	ДСТУ 3760:2006			ДСТУ 3760:2006			
	Ø 10	Ø 12	Всього	Ø 14	Ø 16	Всього	
Плита перекриття	17,28	10,14	27,42	42,4	33,24	75,64	103,06

Технічні вказівки по влаштуванню ростверку

1. Ростверк передбачений товщиною 700 мм з бетону В25 (С20/25).
2. Для армування використовувати арматуру по ДСТУ 3760:2019 класу А500С.
3. При знижені температур нижче 0°С роботи виконувати відповідно технічних умов на виконання робіт в зимовий період, викладених в ДБН В.2.6-98~2009 «Бетонні та залізобетонні конструкції».
4. При проведенні робіт керуватись ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека в будівництві".
5. Зварювання арматури А500С виконувати по ДСТУ Б В.2.6-169:2011 як для арматури А500С.
6. Гнуття арматурних стрижнів класу А500С виконувати тільки у холодному стані.
7. З'єднання хомутів до робочої арматури виконувати за додопомогою низьковуглицевої в'язальної чорної проволоки складену в два рази Ø1,1-О-Ч
8. Просторові каркаси виконати з окремих стержнів заданої форми.
9. Поперечну арматуру від продавлювання виконувати з окремих стрижнів з'єднанних за допомогою перпендикулярних стрижнів.

УВАГА!

10. З'єднання повздовжньої робочої арматури в нижній зоні плити виконувати на опорах, а робочих арматурних стержнів верхньої зони виконувати в прольоті.
12. Стики стрижнів виконувати "врозбіжку", при цьому площа перерізу стрижнів з'єднуваних в проміжку 800 мм повина бути не більше 50% загальної площі січення робочої арматури.
13. Захисний шар бетону біля нижньої грані бетону 20 мм, біля верхньої грані бетону 20 мм.

0,000 = 254.750

Змін.	Кільк.	Арк.	Nдок.	Підпис	Дата	08-11.МКР.010 - КБ			
						Нове будівництво багатоквартирного житлового будинку з вбудованими приміщеннями громадського призначення в м. Вінниця			
Розробив		Козуб А. Р.				Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра	Стадія	Аркуш	Аркушів
Перевірила		Маєвська І. В.					П	3	
Керівник		Маєвська І. В.				План фундаментів, план стін підвалу з блоків типу ФБС, геологічний розріз, схеми стовпчатих фундаментів, армувальні сітки, специфікація, загальна відомість витрат сталі	ВНТУ, гр. Б-23м		
Норм. контроль		Маєвська І. В.							
Опонент									
Затвердив		Швець В. В.							

Інв. N орис. | Підпис і дата | Зам. інв. N

ВІДГУК
керівника магістерської кваліфікаційної роботи

здобувача (ки) Козуба Андрія Руслановича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра

Питання підвищення ефективності конструктивного рішення фундаментів завжди залишається актуальним. У даній магістерській кваліфікаційній роботі досліджена реалізація роботи ростверку і паль у складі стовпчастого пальового фундаменту в залежності від довжини паль, відстані між палями і виду ґрунтів. Акцент зроблений на виявленні особливостей роботи кущів з рідким розміщенням паль. Встановлено, що за рахунок збільшення площі ростверку можна досягти при сталій кількості паль збільшення навантаження на кущ у 1,4-2,1 рази (для коротких паль цей ефект більший, він також більший для піщаного ґрунту у порівнянні з глинистим). Врахування реальної роботи паль і ростверку у складі пальового фундаменту за результатами досліджень дозоляє при переході до фундаментів з широкими ростверками економити матеріальні та трудові ресурси під час проведення будівельних робіт.

Робота відповідає виданому завданню і вимогах до магістерських кваліфікаційних робіт.

Робота є навчальною, але відповідає сучасним потребам проєктної та будівельної практики.

Магістерська робота містить розділи, присвячені аналізу стану питання та математичному моделюванню за допомогою програмного комплексу Ліра. При математичному моделюванні перевірявся вплив довжини і характеру розміщення паль на розподіл зусиль між елементами пальового фундаменту. Розглядалась також робота пальових фундаментів у двох видах грунтів. Здобувач показав ерудицію та знання фахової літератури.

Магістерська робота містить технічний розділ, де розроблена конструкторська документація на будівлю житлового будинку з вбудовано-прибудованою комерцією з проробкою типового конструктивного рішення фундаментів та рішення фундаментів, заснованого на результатах досліджень. В розділі економіки визначено, що використання результатів досліджень дозволяє оптимізувати проєктне рішення пальового фундамента з одержанням економічного ефекту.

Під час роботи здобувач показав достатній рівень фахових знань, здатність до прийняття самостійних наукових та інженерних рішень, володіння сучасними програмними комплексами та інформаційними технологіями.

За матеріалами досліджень була зроблена доповідь на LV Всеукраїнській науково-технічній конференції факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії у Вінницькому національному технічному

університеті (ВНТУ). Вінниця, 2024 р, і за результатами доповіді опубліковані тези.

Здобувач дотримувався календарного плану, виконав великий обсяг роботи, показав відповідний рівень підготовки.

По роботі слід відзначити такі недоліки:

1. З тексту роботи не зрозуміло, як враховується вид паль (забивні чи бурові).
2. При математичному моделюванні бажано б було розглянути більшу кількість типів ґрунтів.

Підготовка здобувача Козуба А. Р. відповідає вимогам освітньої програми.

Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує на оцінку «А» (відмінно), а здобувач на присвоєння йому ступеня магістра та кваліфікації Магістр з будівництва та цивільної інженерії за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Доц. каф. БМГА, к.т.н.		І. В. Маєвська
(посада, науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(ініціали, прізвище)

ВІДГУК
на магістерську кваліфікаційну роботу

студента (ки) Козуба Андрія Руслановича
(прізвище, ім'я, по батькові)

на тему: Врахування роботи ростверку у складі стовпчастого пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра

Магістерська кваліфікаційна робота є актуальною і присвячена дослідженню раціонального розподілу зусиль в межах комплексного фундаменту за рахунок габаритів ростверку та кількості паль у його межах. У роботі досліджено значення осідання від прикладених навантажень у піщаному та глинистому ґрунті з порівнянням класичними конструктивними рішеннями та окремими елементами комплексного фундамент.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи відповідає напрямку наукових досліджень кафедри БМГА. Робота, подана на опонування, відповідає завданню та темі, виконана вчасно та у повному обсязі. Досліджено вагомі публікації та матеріали, що відповідають темі МКР.

Текстова частина роботи має висновки до кожного розділу з підсумками проробленої роботи. Виконані дослідження у програмному комплексі ЛІРА-САПР з використанням методу скінчених елементів перевірено польовими дослідженнями з виявленням середньої похибки експерименту. Графічна частина роботи складається з плакатів та креслень об'єкту, де використовується досліджувана технологія виконання фундаментів з МКР.

Результати досліджень доповідались на науково-технічній конференції та висвітлені у тезах доповіді.

Студент дотримувався календарного плану, опанував роботу у програмному комплексі та виконав значний об'єм роботи.

До недоліків роботи можна зазначити:

1. Недостатньо візуально показані результати дослідження у текстовій частині роботи.
2. Відсутні відмітки на планах фасаду у графічній частині роботи.

Виявлені недоліки не впливають на результат дослідження та роботи.

Магістерська робота виконана на високому рівні, у відповідності завданню з дотриманням вимог. Студент Козуб А. Р. достатньо підготований за освітньо-професійною програмою. Магістерська кваліфікаційна робота заслуговує на оцінку «А» (відмінно), а студент на присвоєння йому ступеня магістра та кваліфікації Магістр з будівництва та цивільної інженерії за освітньо-професійною програмою «Промислове та цивільне будівництво».

Опонент

проф. каф. ІСБ, к.т.н.		Коц І. В.
(посада, науковий ступінь, вчене звання)	(підпис)	(ініціали, прізвище)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ІНЖЕНЕРІЇ
ЛЬВІВСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ