УДК 624.15

О. Л. Булейко
О. Ю. Шмундяк
І. В. Маєвська

ВПЛИВ ЖОРСТКОСТІ РОСТВЕРКА СТОВПЧАСТОГО ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ МІЖ ЙОГО ЕЛЕМЕНТАМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

З попередніх досліджень відомо, що несуча здатність пальового фундамента як правило перевищує суму несучих здатностей одиночних паль. Встановлені основні чинники, що впливають на перерозподіл зусиль між елементами стовпчастого пальового фундаменту: палі краще включаються у роботу при більшому кроці і меншій довжині; ростверк також краще включається у роботу при більшому кроці паль; при збільшенні кількості паль зменшується частка роботи ростверка у загальній несучій здатності групи; зменшення кількості паль у групі при збереженні розмірів ростверка призводить до більш ефективного використання роботи паль. Але поза увагою більшості дослідників залишається вплив товщини плити ростверку і величини консольного вильоту цієї плити, тобто його жорсткості, на перерозподіл зусиль між палями та палями і ростверком,.

В даній роботі виконане математичне моделювання роботи пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу Ліра. Проведене дослідження реалізації роботи пальового фундаменту з ґрунтовою основою в залежності від розміру ростверка, довжини, кількості, розміщення паль в ростверку та ґрунтових умов. Дослідженнями розглядається однорідний піщаний та глинистий ґрунт основи. Основна увага приділена варіюванню товщини ростверка при різних комбінаціях його інших параметрів.

Показане, що зміна жорсткості ростверку призводить до незначного збільшення навантаження на кущ, навантаження, що сприймає ростверк та середнього навантаження на палю куща. Основні зміни при збільшенні жорсткості ростверка відбуваються у перерозподілі зусиль між палями. У більш жорстких ростверках збільшується частка навантаження, що сприймають кутові та крайні палі. Проаналізовані також зміни у напруженому стані в тілі ростверка при збільшенні його товщини..

Ключові слова: забивні палі, ростверк, жорсткість, несуча здатність, осідання, розподіл зусиль між палями, напружено-деформований стан.

Abstract

From previous studies it is known that the bearing capacity of a pile foundation usually exceeds the sum of the bearing capacities of single piles. The main factors influencing the redistribution of forces between the elements of a columnar pile foundation have been established: piles are better included in the work with a larger step and a smaller length; the grillage is also better included in the work with a larger pile step; with an increase in the number of piles, the share of the grillage work in the total bearing capacity of the group decreases; reducing the number of piles in the group while maintaining the dimensions of the grillage leads to a more efficient use of the work of the piles. But most researchers ignore the influence of the thickness of the grillage plate and the size of the cantilever extension of this plate, i.e. its stiffness, on the redistribution of forces between the piles and the piles and grillage.

In this work, mathematical modeling of the work of a pile foundation is performed using the Lira software package. A study of the implementation of the work of a pile foundation with a soil base depending on the size of the grillage, length, number, placement of piles in the grillage and soil conditions was conducted. The studies consider a homogeneous sandy and clayey soil of the base. The main attention is paid to varying the thickness of the grillage with different combinations of its other parameters.

It is shown that a change in the rigidity of the grillage leads to a slight increase in the load on the bush, the load perceived by the grillage and the average load on the pile of the bush. The main changes with an increase in the rigidity of the grillage occur in the redistribution of forces between the piles. In stiffer grillages, the share of the load perceived by the corner and extreme piles increases. Changes in the stress state in the grillage body with an increase in its thickness are also analyzed.

Keywords: driven piles, grillage, stiffness, bearing capacity, settlement, force distribution between piles, stress-strain state.

Вступ

Численними дослідженнями встановлене, що врахування реального розподілу зусиль між палями та ростверком у складі пальового фундамента забезпечує значний резерв підвищення його несучої здатності [2, 3]. Оцінка такого резерва залежить від виду паль і їх геометричних параметрів, відстані між ними, кількості паль в групі, ступеня піддатливості ґрунтової основи. Але наявні дослідження не дозволяють поки кількісно оцінити несучу здатність фундамента з урахуванням всіх наяавних факторів. Крім того деякі з факторів, що впливають на роботу фундамента, досліджені явно недостатньо. До таких факторів відносить жорсткість ростверка стовпчастого пальового фундаменту.

В даній роботі досліджується вплив товщини ростверка у сукупності з розмірами плити ростверка (основні параметри, щ визначають його жорсткість) на перерозподіл зусиль між елементами пальового фундамента.

Для дослідження використане моделювання роботи пальових груп за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024. Програмний комплекс Ліра побудований на методі скінчених елементів і дозволяє створювати неоднорідні масиви ґрунтової основи з довільним характером нашарування ґрунтів.

Планування математичного моделювання

Розглядалась робота стовпчастих пальових фундаментів з забивних паль під колону. Робота паль і фундаментів розглядалась в лінійній фазі.

Моделювання паль виконувалось багатовузловими стержнями, що володіють такими ж жорсткіснтими характеристиками як і палі.

Примикання стержня палі до пластини (оболонки) ростверку жорстке. Моделювання «низького» ростверку здійснювалось підключеням «пружин» (по моделі Вінклера-Пастернака). У ростверку задавався коефіцієнт С1 та С2, кінцеві елементі КЕ-51 (пружинку) для передачі тиску у систему Ліри "ГРУНТ", звідти брались характеристики ґрунтів та уточнювався тиск під підошвою ростверку.

При плануванні дослідження передбачалось варіювання товщини і розмірів ростверку, довжини, кількості паль, їх розміщення у ростверку та ґрунтових умов (два види однорідного піщаного та глинистого ґрунту з різним ступенем деформівності).

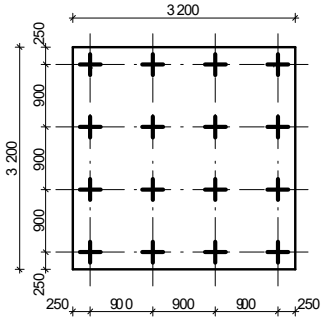
Прийняті параметри пальових груа при дослідженні:

- модель пальового фундаменту під колону з підколоником розмірами в плані 0,5х0,5 м;
- ростверки товщиною 0,7, 1,0 та 1,3 м;
- забивні палі поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м довжиною 3,0 м;
- забивні палі поперечного перерізу 0,3 х 0,3 м довжиною 10,0 м;
- бетон паль і ростверків С20/25 (В25).

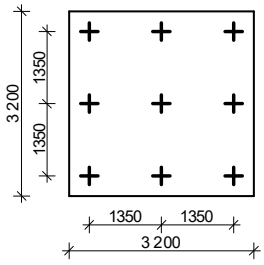
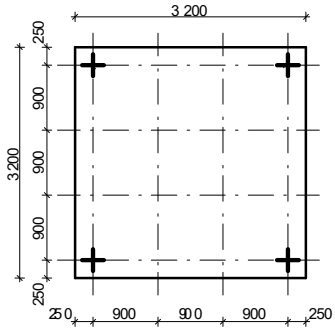
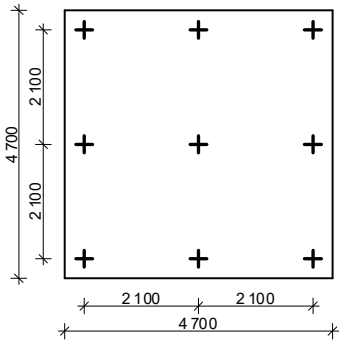
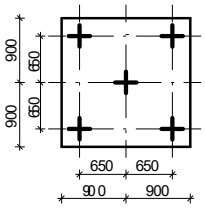
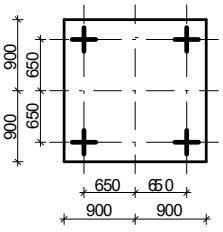
Варіювання кількістю паль і розмірами ростверку в плані здійснюється згідно з табл. 1.

Характеристики піщаного ґрунту: пісок дрібний, γ = 18,6 кН/м3, e = 0,67, c = 2 кПа, φ = 32°, E= = 28 МПа. Характеристики глинистого ґрунту: суглинок, γ = 18,5 кН/м3, e = 0,75, I_L = 0,25-0,5, c = 23 кПа, φ = 21°, E = 14 МПа.

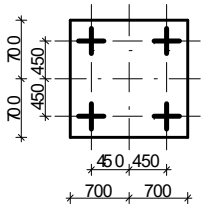
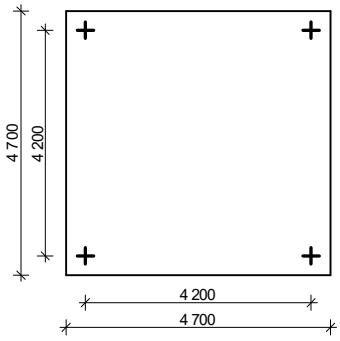
Таблиця 1 – Програма математичного моделювання робити пальового фундаменту за допомогою програмного комплексу ЛІРА-САПР 2024

Група дослідів	Довжина та поперечник паль	Розміщення паль у ростверку
1	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

Продовження таблиці 1

Група дослідів	Довжина та поперечник паль	Розміщення паль у ростверку
2	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
3	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
4	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
5	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
6	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

Продовження таблиці 1

Група дослідів	Довжина та поперечник паль	Розміщення паль у ростверку
7	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	
8	L = 3 м, d = 0,3 м	
	L = 10 м, d = 0,3 м	

Додатково до програми моделювання включені такі дослідження:

- моделювання роботи одиночних паль довжиною 3 та 10 м у відповідних ґрунтах;
- моделювання роботи ростверків відповідних розмірів як фундаменту мілкого закладання у відповідних ґрунтах.

Програмний комплекс дозволяє одержати залежності навантаження-осідання, величини зусиль у палях, розподіл напружень і осідань по підошві ростверка, величини внутрішніх зусиль у плиті ростверку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Загальний вигляд побудованих моделей стовпчастого пальового фундаменту зображений на рис. 1 та 2 (на прикладі групи дослідів 2).



Рисунок 1 – Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 3 м

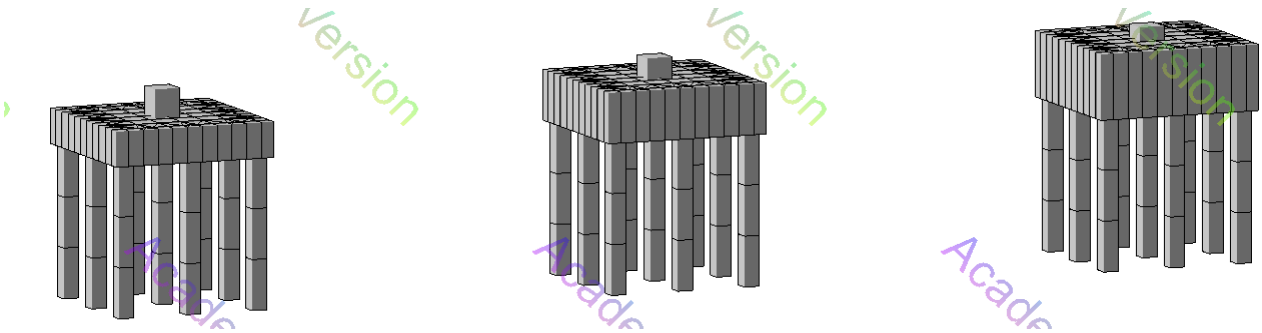


Рисунок 2 – Розрахункові моделі стовпчастого пальового фундаменту при довжині паль 3 м

Величина навантаження на моделі збільшувалась до 10000 кН.

На рис. 3, 4, 5 для прикладу зображені результати моделювання фундаменту з 9 паль з розмірами ростверка 3,2х3,2 м (група дослідів 2) для паль довжиною 3 м при навантаженні на кущ 10000 кН.

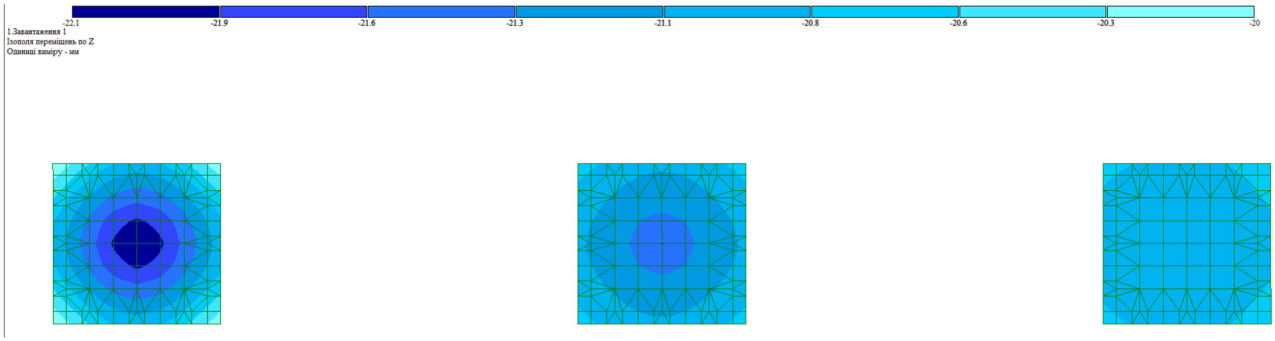


Рисунок 3 – Осідання ростверка при зміні його товщини

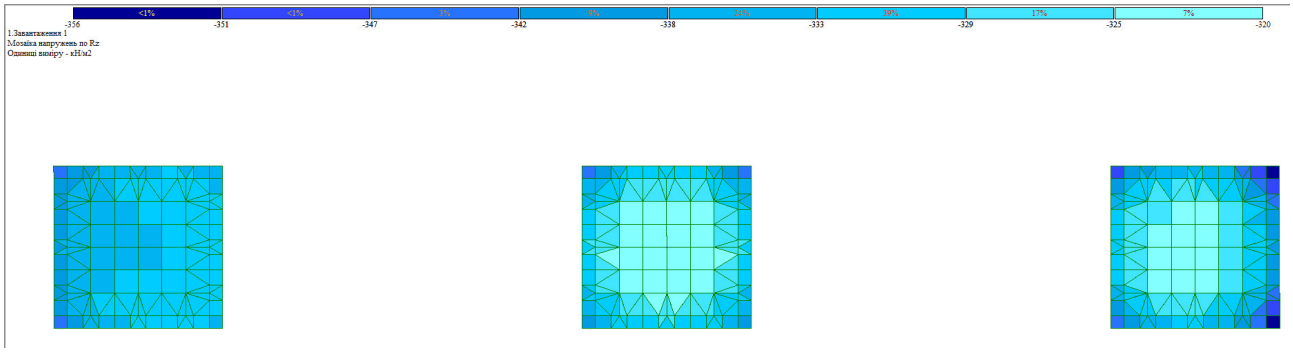


Рисунок 4 – Тиск під підошвою ростверка при зміні його товщини

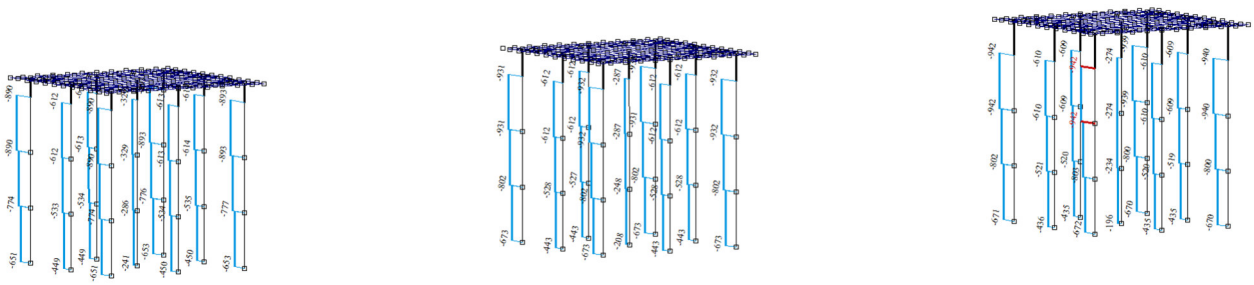


Рисунок 5 – Розподіл зусиль між палями для піщаного ґрунту при зміні товщини ростверка

З рисунків видно, що найбільше осідання спостерігається посередині ростверка, оскільки до нього прикладене зосереджене навантаження від колони. По мірі збільшення товщини ростверка осідання стають більш рівномірними. Відповідно найбільші напруження під підошвою ростверка спостерігаються по його периметру. Тут навпаки при збільшенні товщини ростверка концентрація

зусиль стає більш явною. Зусилля між палями розподіляються нерівномірно. При жорстких ростверках найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. При гнучких ростверках найбільші зусилля сприймають центральні палі, найменші – кутові.

На рис. 6 наведені кольорові діаграми згинального моменту в ростверках при зміні їх товщини при навантаженні 10000 кН в піщаному грунті. По мірі збільшення товщини ростверка згинальні моменти в їх тілі зростають.

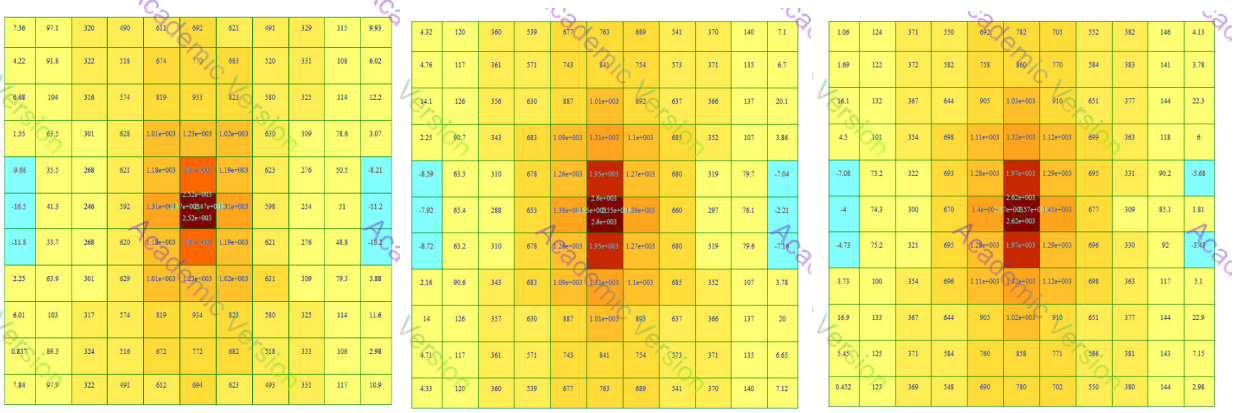


Рисунок 6 – Розподіл згинального моменту у плиті ростверку для піщаного ґрунту при зміні товщини ростверка

Одержані графіки осідання-навантаження мають практично лінійний характер. На рис. 7 та 8 наведена зміна зусиль в палях куща по мірі зростання навантаження для різної товщини ростверку.

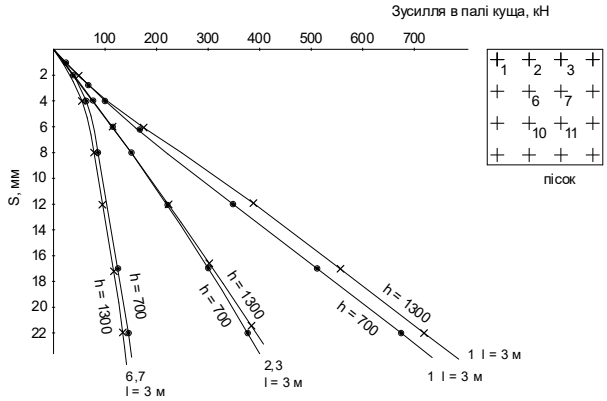


Рисунок 7 – Зміна зусиль в палях куща по мірі зростання навантаження для різної товщини ростверку (палі довжиною 3 м)

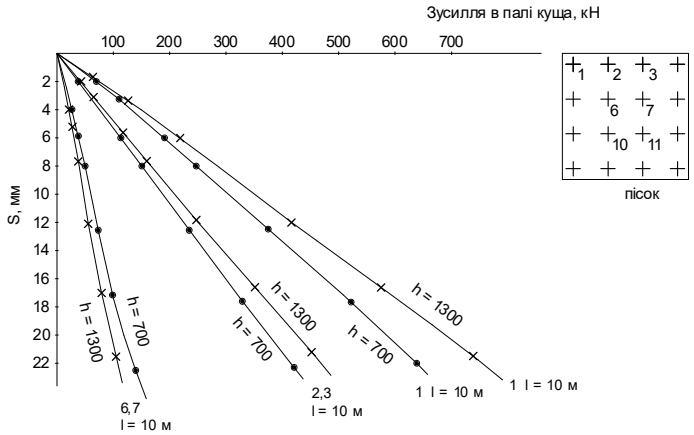


Рисунок 8 – Зміна зусиль в палях куща по мірі зростання навантаження для різної товщини ростверку (палі довжиною 10 м)

Для всіх досліджених груп паль збільшення товщини ростверку призвело до перерозподілу навантажень між палями в бік зовнішнього контура.

Було проаналізоване змінення навантажень, які сприймають палі куща по мірі збільшення товщини ростверка. На рис. 9 - 12 наведені діаграми перерозподілу зусиль між палями для груп дослідів 1 та 4. Ці групи найбільш чутливі до зміни жорсткості ростверка. Діаграми побудовані для етапу навантаження, коли реалізується несуча здатність паль, близька до передбаченої нормами [1].

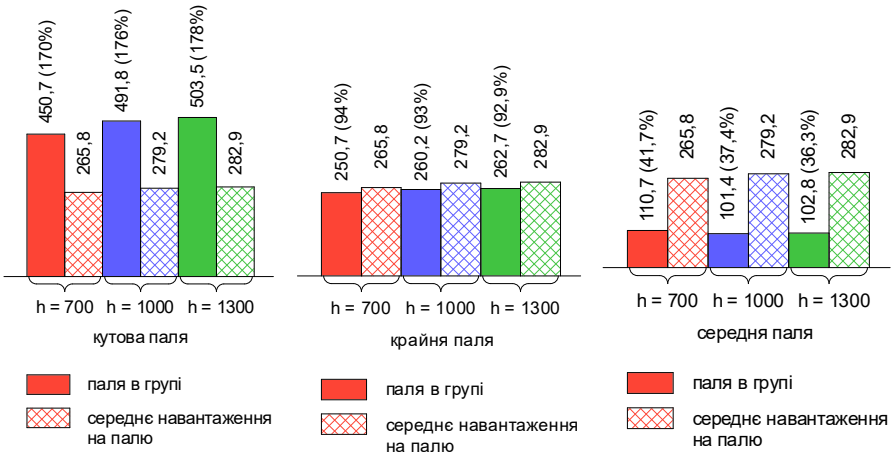


Рисунок 9 – Зміна навантажень, які сприймають палі довжиною 3 м куща за групою дослідів 1 у піщаному грунті при зміні товщини ростверка

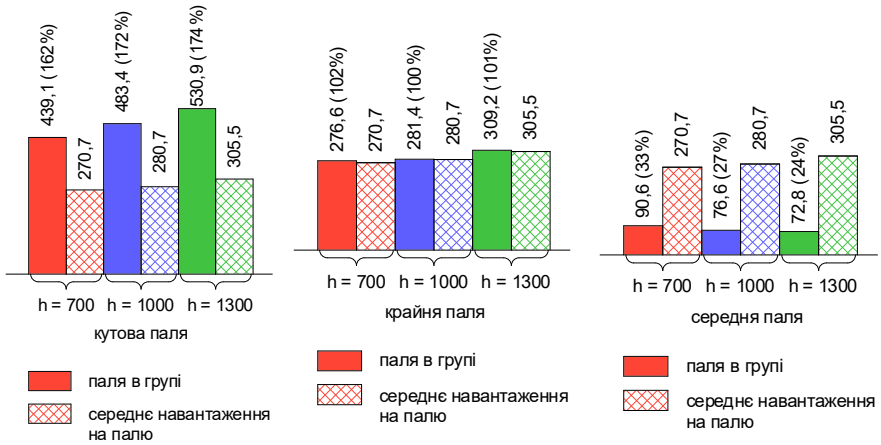


Рисунок 10 – Зміна навантажень, які сприймають палі довжиною 10 м куща за групою дослідів 1 у піщаному грунті при зміні товщини ростверка

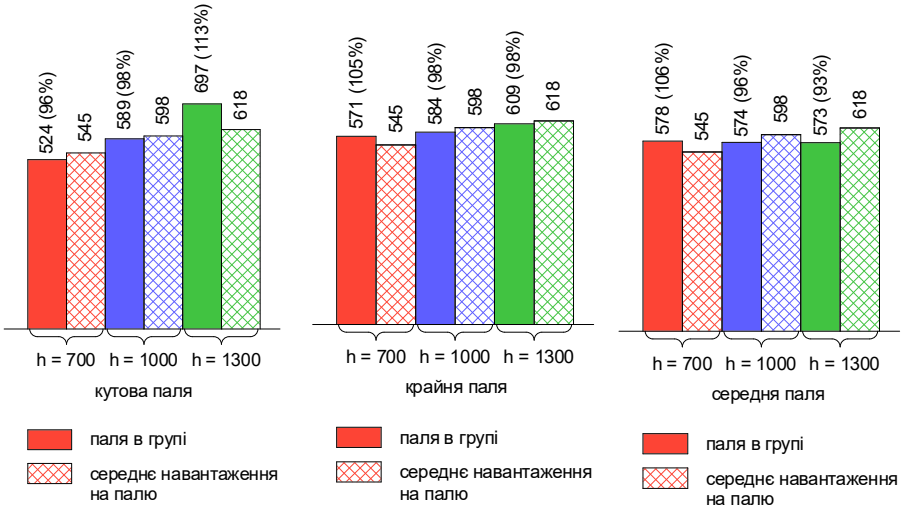


Рисунок 11 – Зміна навантажень, які сприймають палі довжиною 3 м куща за групою дослідів 4 у піщаному грунті при зміні товщини ростверка

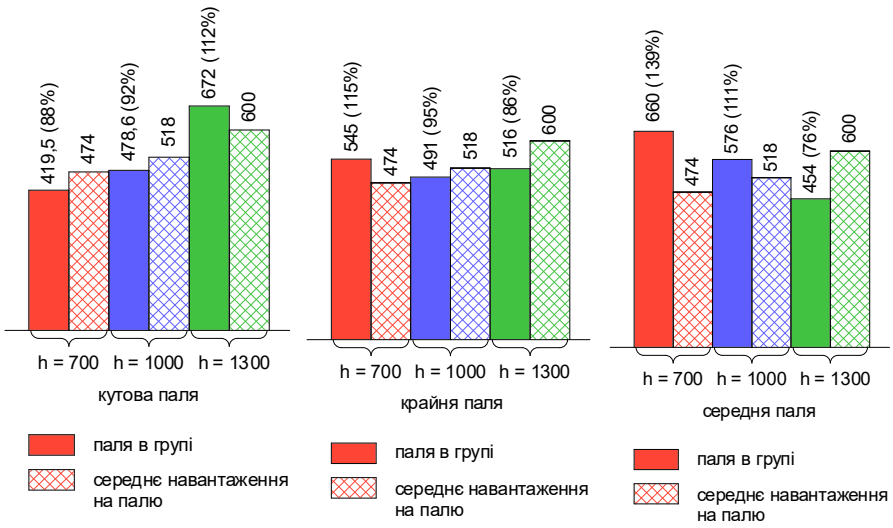


Рисунок 12 – Зміна навантажень, які сприймають палі довжиною 10 м куща за групою дослідів 4 у піщаному грунті при зміні товщини ростверка

Аналізувались також зміни в навантаженні на кущ, середнє навантаження на палю куща, навантаження, яке сприймає ростверк, частка ростверку у загальному навантаженні на кущ.

Висновки

1. Збільшення жорсткості ростверку призводить до несуттєвого збільшення навантаження на кущ за рахунок збільшення як навантаження на ростверк, та і сумарного навантаження на палі. При цьому частка ростверка у загальному навантаженні незначно зменшується.
2. Жорсткість ростверка є головним чинником, що впливає на розподіл зусиль між палями групи. При жорстких ростверках найбільші зусилля сприймають кутові палі, найменші – центральні. При гнучких ростверках найбільші зусилля сприймають центральні палі, найменші – кутові.
3. Збільшення товщини ростверку призводить до перерозподілу навантажень між палями в бік зовнішнього контура, при цьому середнє навантаження на палю куща змінюється несуттєво.
4. По мірі збільшення товщини ростверка згинальні моменти в їх тілі зростають.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи та фундаменти споруд: ДБН В.2.1-10-2009 зі зміною №1 та №2. [Чинний від 2012-07-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 161 с. (Національні стандарти України).
2. Маєвська І. В., Блащук Н. В. Робота паль і ростверку у складі стовпчастих пальових фундаментів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2023. 182 с.
3. 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.

Булейко Олександр Леонідович — магістр, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: oleksanderbuleiko@gmail.com .

Шмундяк Олександр Юрійович - аспірант, факультет будівництва цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: shmund@ukr.net.

Маєвська Ірина Вікторівна — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com.

Buleyko Oleksandr Leonidovych - Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: oleksanderbuleiko@gmail.com .

Shmundyak Oleksandr YU — Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : shmund@ukr.net

Maievskaya Irina Victorivna – associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: irina.mayevskaja@gmail.com