Механика Транспорт Комуникации

ISSN 1312-3823 (print)
ISSN 2367-6620 (online)
том 24, брой 1, 2026 г.

Научно списание **http://www.mtc-aj.com** **статия № 2779**

ВЛИЯНИЕ НА КОРАВИНАТА НА ЗЕМНАТА ОСНОВА ВЪРХУ РАБОТАТА И ОРАЗМЕРЯВАНЕТО НА ОБЩИ ФУНДАМЕНТНИ ПЛОЧИ

Веселин Славчев
slavchev@vsu.bg

ВСУ „Любен Каравелов"
София 1373, ул. „Суходолска" № 175
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: *обща фундаментна плоча, земна основа, модел на Винклер, пружинна константа*

Резюме: *Докладът разглежда влиянието на коравината на земната основа върху работата и оразмеряването на общи фундаментни плочи при вертикални натоварвания. За изследването е използван пример с пространствен модел на стоманобетонна сграда с моделиране на взаимодействието „фундамент–земна основа" по модела на Винклер. Проследено е изменението на максималното ръбово напрежение в земната основа, оразмерителните моменти във фундаментната плоча и необходимата армировка като функция на коравината на земната основа. Получените резултати и направените изводи имат съществено практическо значение за проектирането на фундаментни плочи. Изследването подчертава значението на правилното определяне на параметрите на земната основа за надеждното проектиране и оразмеряване на фундаментните конструкции.*

УВОД

В съвременното строително проектиране общите фундаментни плочи са сред най-често прилаганите решения за фундиране на многоетажни сгради, предпочитани пред фундаментните скари поради по-равномерното разпределение на натоварванията към земната основа, по-голямата коравина и благоприятното им конструктивно поведение при сложни схеми на натоварване.

Съществено значение при тяхното изследване и оразмеряване има моделирането на взаимодействието „фундамент – земна основа", което в инженерната практика обикновено се представя чрез модел на еластична земна основа с пружинна константа.

Настоящото изследване разглежда поведението на фундаментна плоча под действие на вертикални (гравитачни) товари, като за жилищни сгради продължителната комбинация на въздействията често е определяща за изчисляването на армировката.

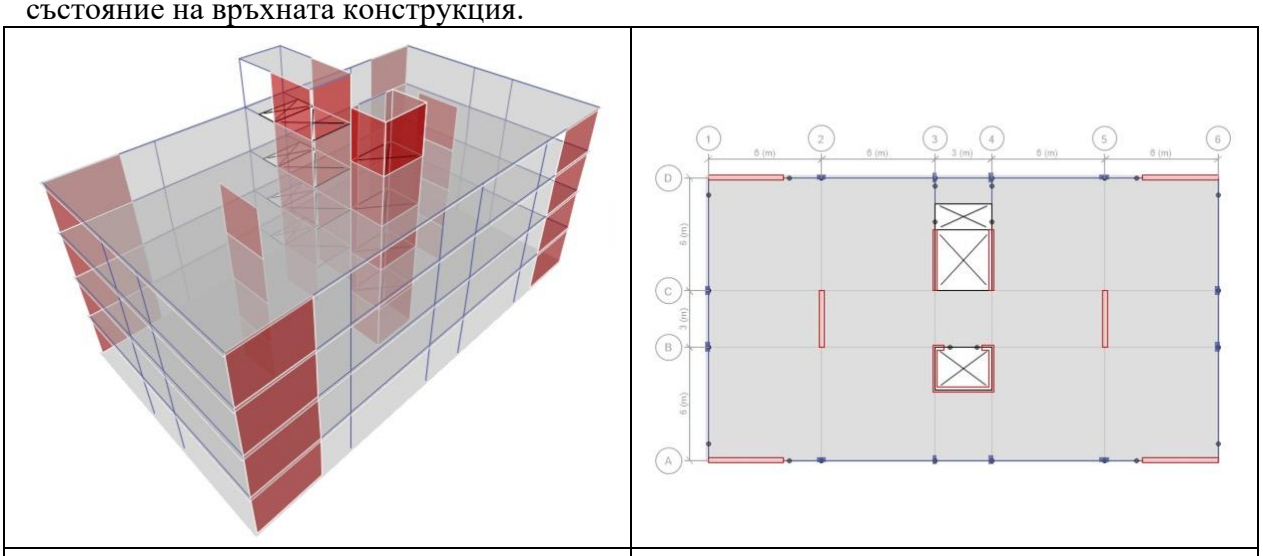
Анализирано е влиянието на коравината на земната основа върху разпределението на огъващите моменти и необходимата надлъжна армировка, без да се разглеждат напречните сили, продънването, експлоатационните гранични състояния и земетръсното въздействие, което е предвидено за следващ етап от изследването.

ИЗЧИСЛИТЕЛЕН МОДЕЛ ЗА РАЗГЛЕДАНИЯ ПРИМЕР

Обект на изследването е пространствен изчислителен модел, създаден с помощта на метода на крайните елементи, на четириетажна сграда със стоманобетонна носеща конструкция, представен на Фиг. 1. Конструктивната схема включва междуетажни стоманобетонни плочи с дебелина 20 cm, работещи съвместно с греди със сечение 25/40 cm, разположени по периметъра на сградата. Вертикалната носеща система е изградена от стоманобетонни колони с напречно сечение 25/50 cm и стоманобетонни стени (шайби) с дебелина 25 cm, осигуряващи носимоспособност и пространствена коравина на конструкцията.

Фундирането на сградата е решено посредством обща фундаментна плоча с дебелина 40 cm, моделирана върху еластична земна основа по модела на Винклер. Земната основа е представена чрез система от независими линейно-еластични пружини, описани посредством коефициент на земна реакция (пружинна константа). Изменението на този параметър позволява да бъде изследвано влиянието на деформационните характеристики на почвената среда върху работата на фундаментната конструкция.

Следва да се отбележи, че при различните софтуери се приемат различни предпоставки при модела на еластичната земна основа. В [6] е отбелязано, че основно разликите са при определяне на сляганията и не влияят съществено на напрегнатото състояние на връхната конструкция.



а)	б)

Фиг. 1. Изчислителен модел
а) Общ вид на пространствения модел; б) Типов план

Натоварването, приложено върху конструктивния модел, включва:

♦постоянни въздействия от собственото тегло на стоманобетонната конструкция;

♦товари от окачен таван, довършителни слоеве и подови покрития – 1,5 kN/m^2 и допълнително натоварване върху покривната плоча, която е обитаема от 1,5 kN/m^2;

♦ товари от зидарии – 1,5 kN/m^2 за вътрешните преградни стени, 9,4 kN/m за фасадни зидове и 4 kN/m за натоварване от бордовете за покривната плоча;

♦експлоатационни товари – 2 kN/m^2.

Вертикалните натоварвания се предават към фундаментната плоча посредством колоните и шайбите, което води до възникване на контактни напрежения, огъващи моменти и напречни сили във фундаментната конструкция.

За оценка на конструктивното поведение е проведен параметричен анализ при

различни стойности на пружинната константа на земната основа – от 10000 kN/m/m^2 до 50000 kN/m/m^2 със стъпка 10000 kN/m/m^2.

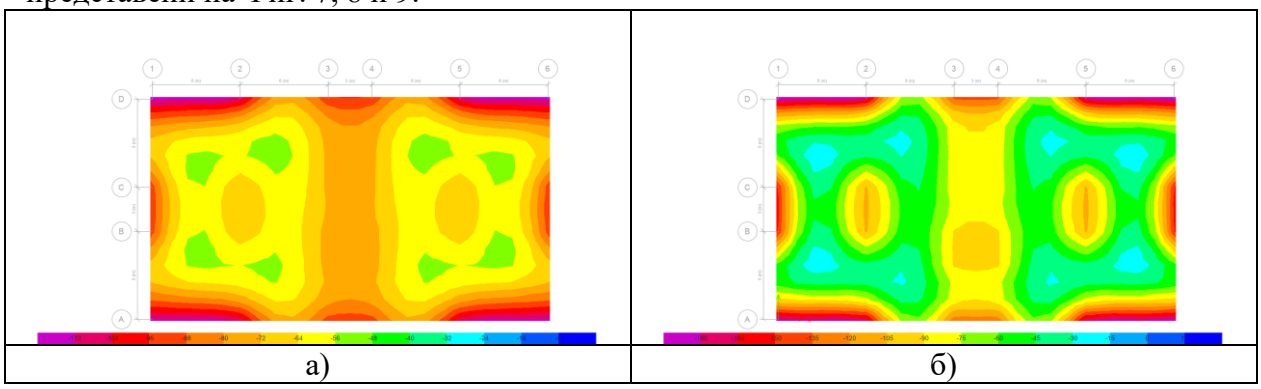
РЕЗУЛТАТИ ОТ ПАРАМЕТРИЧНИЯ АНАЛИЗ

В рамките на проведеното изследване е извършен анализ на разпределението на почвената реакция и на разрезните усилия във фундаментната плоча, с акцент върху разпределението и интензивността на огъващите моменти при действие на вертикални (гравитачни) товари.

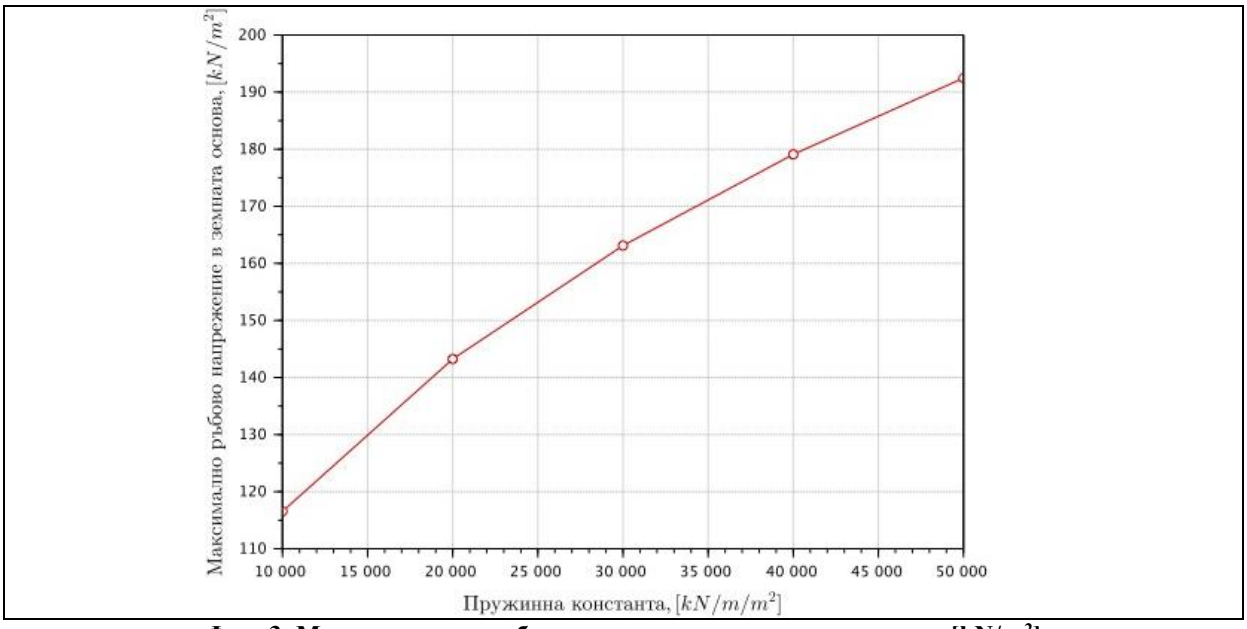
Разпределението на почвената реакция е търсено от характеристична комбинация на въздействията, а огъващите моменти са получени от дълготрайната изчислителна комбинация, съгласно изискванията на [9].

Резултатите показват отчетливо влияние на коравината на земната основа върху деформираното и напрегнато състояние на фундаментната плоча.

Изменението и разпределението на почвената реакция, за двете крайни стойности на пружинната константа, са представени графично на Фиг. 2. Максималните ръбови напрежения във функция на пружинната константа са представени на Фиг. 3. Изменението и разпределението на изследваните разрезни усилия, за двете крайни стойности на пружинната константа, са представени на Фиг. 4, 5 и 6, а съответно екстремните стойности на положителните и отрицателни моменти са представени на Фиг. 7, 8 и 9.

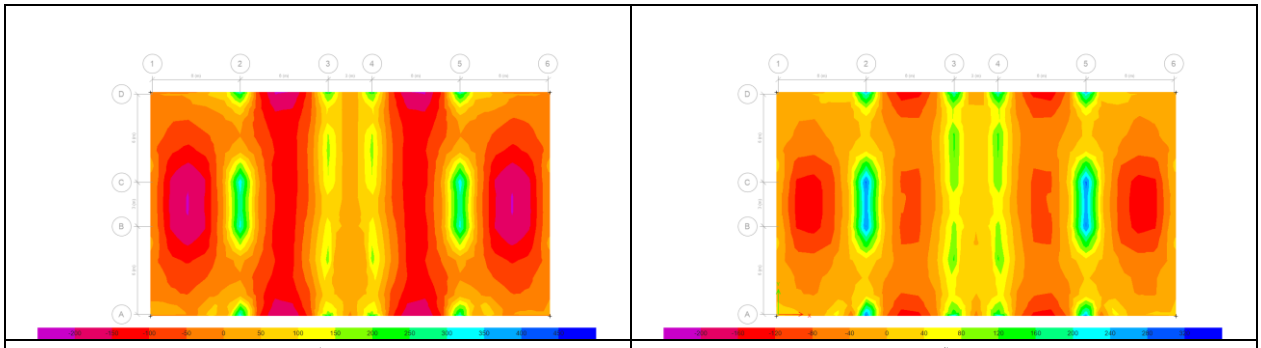


Фиг. 2. Почвената реакция
а) При пружинна константа 10000 kN/m/m^2; б) При пружинна константа 50000 kN/m/m^2



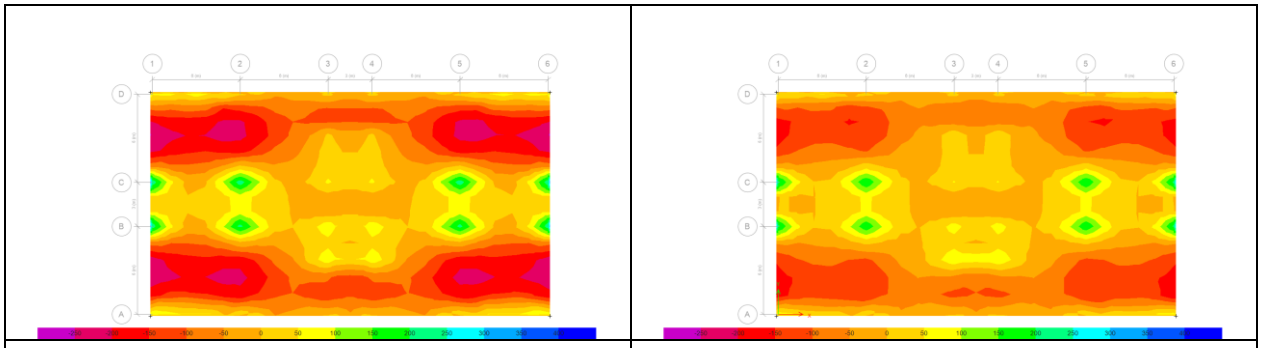
Фиг. 3. Максималните ръбови напрежения в земната основа, [kN/m^2]

При изменение на пружинната константа се наблюдава изменение на локалния характер на усилията в зоните около концентрираните натоварванията в областите под колоните и шайбите.



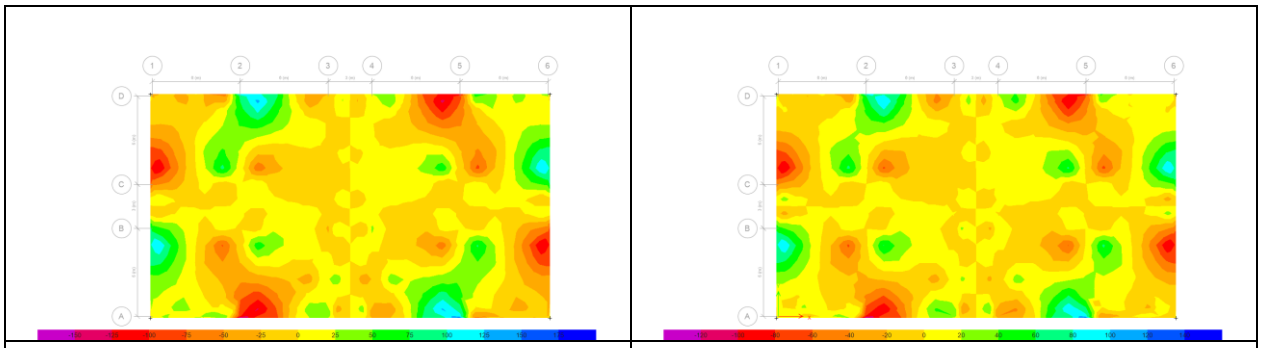
а) б)

Фиг. 4. Огъващи моменти по направление „X”, [kN.m/m]
а) При пружинна константа 10000 kN/m/m^2; б) При пружинна константа 50000 kN/m/m^2



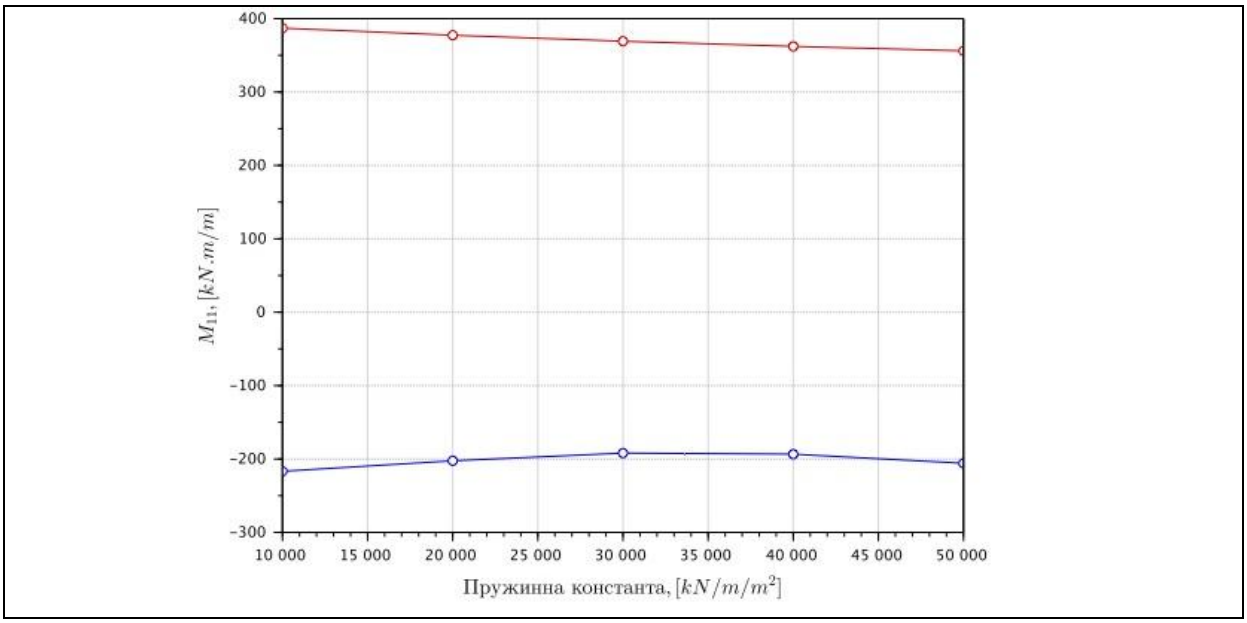
а) б)

Фиг. 5. Огъващи моменти по направление „Y”, [kN.m/m]
а) При пружинна константа 10000 kN/m/m^2; б) При пружинна константа 50000 kN/m/m^2

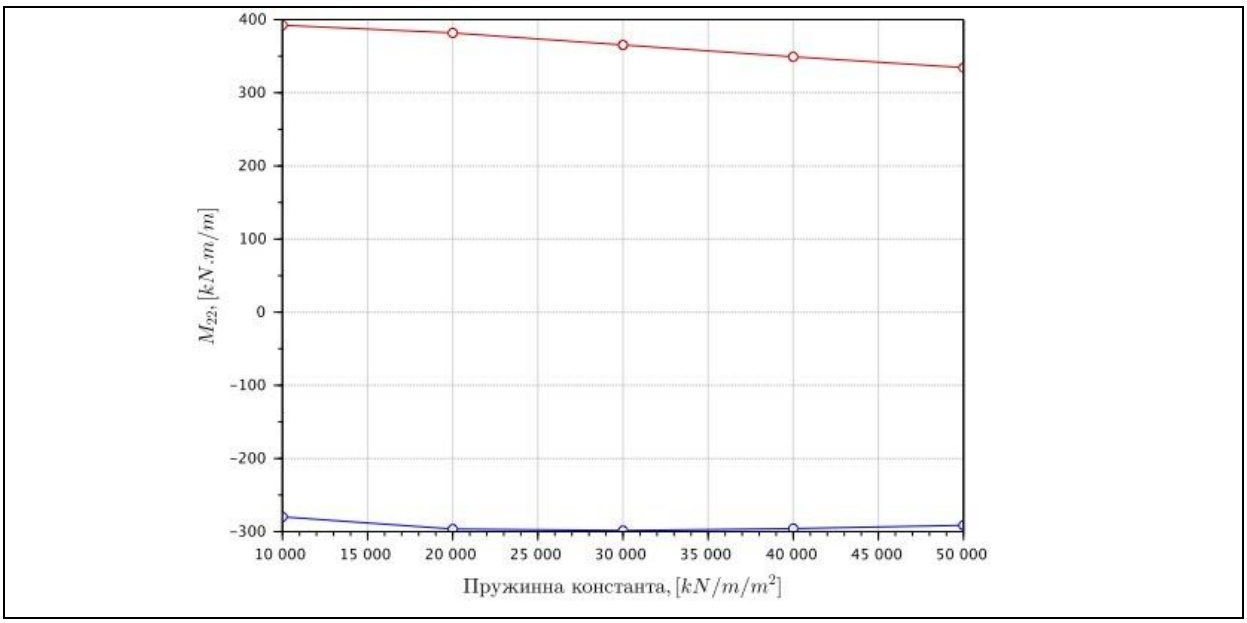


а) б)

Фиг. 6. Усукващи моменти, [kN.m/m]
а) При пружинна константа 10000 kN/m/m^2; б) При пружинна константа 50000 kN/m/m^2

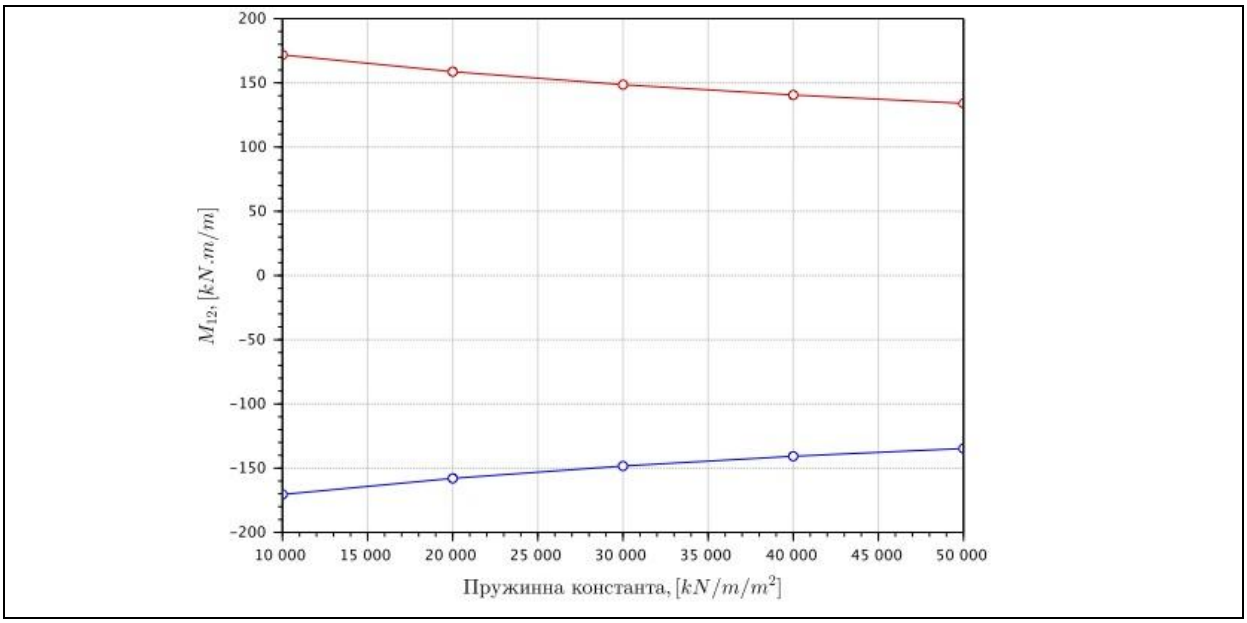


Фиг. 7. Екстремни огъващи моменти по направление „X”, [kN.m/m]



Фиг. 8. Екстремни огъващи моменти по направление „Y”, [kN.m/m]

Трябва да отбележим, че в някои случай земните пластове върху които „лежи“ фундаментната конструкция са косо разположени и нееднородни и това води до по-различно разпределение на почвената реакция и усилията във фундаментите. Интересно изследване по въпроса, относно греда на еластична основа, е представено в [1]. Също така следва да се отбележи, че има подходи за различно разпределение (приемане) на пружинната константа в различните зони на фундаментните плочи, което отново води до различно разпределение на почвената реакция и разрезните усилия. В [2] и [3] е разгледан пример на фундаментна плоча, натоварена с разпределен товар, без да се отчита влиянието на връхната конструкция. Има изследвания, при които пружинната константа се определя чрез пространствен изчислителен модел на земната основа, и в зависимост от получените премествания (слягания) на земната основа по обратен път се търси еквивалентната пружинна константа [7]. Всичко това е предпоставка за допълнителни изследвания и анализи, разширяващи настоящия доклад.

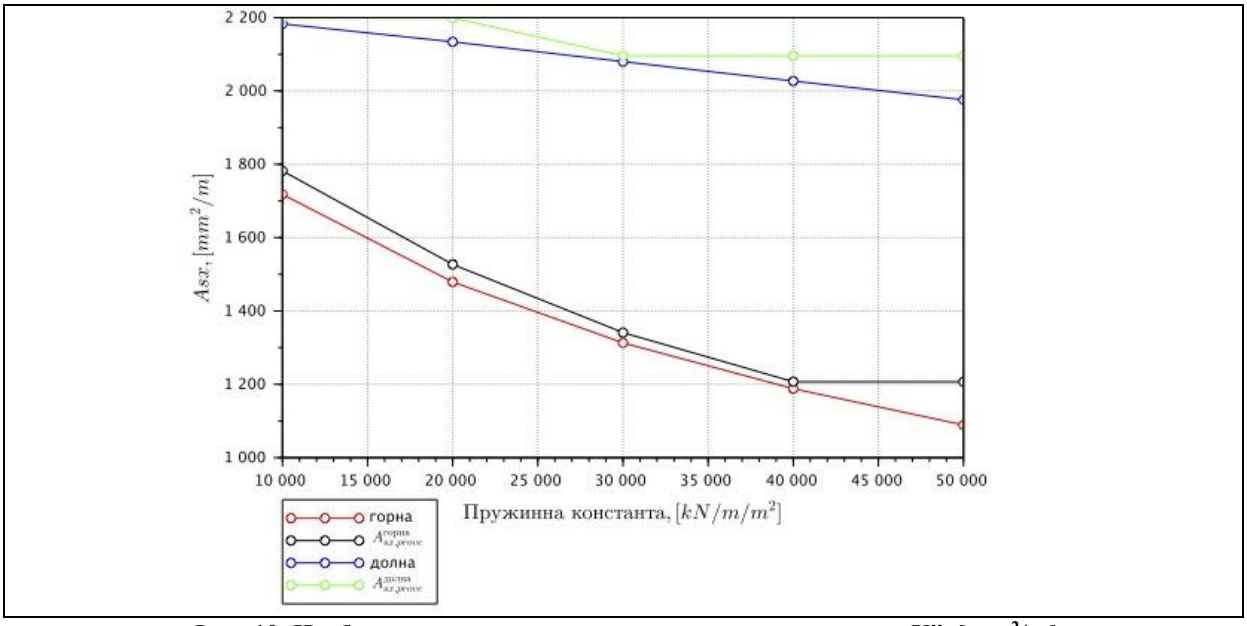


Фиг. 9. Екстремни усукващи моменти, [kN.m/m]

ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА НАДЛЪЖНАТА АРМИРОВКА

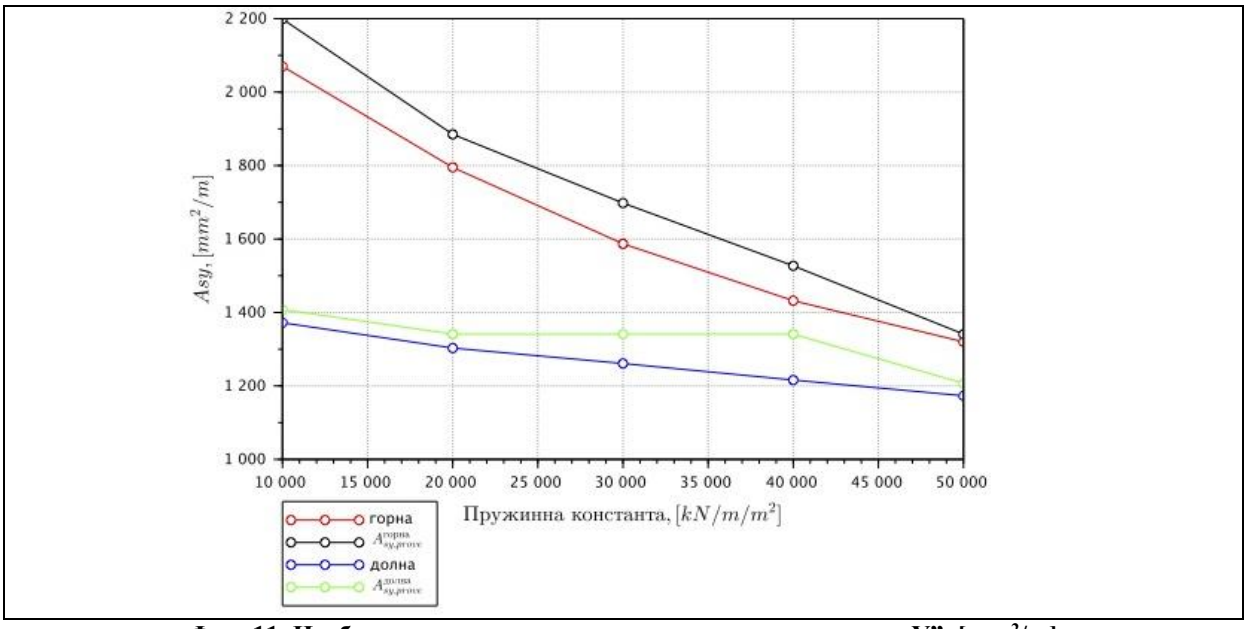
Извършено е оразмеряване на огъване на фундаментната плоча въз основа на получените стойности на оразмерителните огъващите моменти, като е отчетено, че усукващите моменти увеличават огъващите моменти по двете главни ортогонални направления.

При оразмеряването на правоъгълни сечения на огъване, съгласно [10] се допуска използването на правоъгълна диаграма на напреженията в бетона. За оразмеряването е използвана процедурата, описана в [4] и подобрението на ѝ, представена в [5]. Предмет на бъдещо изследване е отчитане на влиянието на натисковата армировка в комбинация със залагане на параболично-линейна работна диаграма на бетона, с програмата представена в [8], върху деформираното и напрегнато състояние на фундаментната плоча.



Фиг. 10. Необходима и приета армировки по направление „X”, [mm²/m]

Резултатите от оразмерителните процедури и необходимите армировки за линеен метър, получени по метода на „ивиците“, т.е. след интегриране в рамките на колонните и междуколонните ивици на фундаментната плоча, по двете главни направления са представени графично на Фиг. 10 и 11 и таблично в Таблица 1. На Фиг. 10 и 11 е нанесена и избраната армировка, която е приета предвид наличните диаметри на армировъчните изделия. Избраните материали за изследваната фундаментна плоча са бетон с клас по якост на натиск C30/37 и армировъчна стомана клас B500 B.



Фиг. 11. Необходима и приета армировки по направление „Y”, [mm²/m]

Таблица 1

№	Изменение на изследвания параметър	Пружинна константа				
		10000	20000	30000	40000	50000
		[kN/m/m²]				
1	Максималното ръбово напрежение в земната основа	0.00%	22.91%	39.95%	53.66%	65.14%
2	Положителен огъващ момент по “X”	0.00%	-2.50%	-4.61%	-6.42%	-8.00%
3	Отрицателен огъващ момент по “X”	0.00%	-6.59%	-11.44%	-10.76%	-5.02%
4	Положителен огъващ момент по “Y”	0.00%	-2.68%	-6.86%	-11.00%	-14.77%
5	Отрицателен огъващ момент по “Y”	0.00%	5.95%	6.70%	5.74%	4.13%
6	Екстремен положителен усукващ момент	0.00%	-7.64%	-13.51%	-18.18%	-21.99%
7	Екстремен отрицателен усукващ момент	0.00%	-7.35%	-12.99%	-17.45%	-21.00%
8	Необходимата горна армировка по “X”	0.00%	-13.91%	-23.57%	-30.85%	-36.61%
9	Необходимата долна армировка по “X”	0.00%	-2.24%	-4.72%	-7.15%	-9.48%
10	Необходимата горна армировка по “Y”	0.00%	-13.29%	-23.33%	-30.82%	-36.23%
11	Необходимата долна армировка по “Y”	0.00%	-5.03%	-8.09%	-11.37%	-14.50%

ИЗВОДИ

Както е видно от резултатите, представени в Таблица 1 с нарастване на пружинната константа, необходимата надлъжна армировка намалява, но това е за сметка на значително увеличаване на максималното ръбово напрежение в земната основа.

Конкретно за изследвания пример получените резултати за максималното ръбово напрежение в земната основа са приемливи и кореспондират на съответната пружинна константа, т.е. са адекватни за повечето срещани у нас почви.

Проведеното изследване потвърждава значимостта на адекватното моделиране на взаимодействието между фундаментната конструкция и земната основа при проектирането на общи фундаментни плочи.

Коректното определяне на параметрите на земната основа е от съществено значение за надеждното прогнозиране на разрезните усилия, оразмеряването на армировката и оптимизацията на конструктивното решение и следва да е предмет на подробно инженерно-геоложко проучване.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Банков Б., Л. Любенов, К. Казаков, Приложение на МКЕ за решаване на греда на еластична основа при косо разположение на разнородни земни пластове, Сборник с доклади на международна научна конференция „Проектиране и строителство на сгради и съоръжения и приложение на Еврокодовете" DCB 2010, 09 – 11 септември, Варна, България, стр. 273 – 278, ISBN 978-954-322-310-7.

[2] Любенов Л., Влияние на разпределението на Винклеровата константа при изследване на плоча върху еластична основа (Част 1), XIV Международна научна конференция ВСУ'2014, ISSN: 1314-071X, Том IV, стр. 111-116, 2014.

[3] Любенов Л., Влияние на разпределението на Винклеровата константа при изследване на плоча върху еластична основа (Част 2), XIV Международна научна конференция ВСУ'2014, ISSN: 1314-071X, Том IV, стр. 117-122, 2014.

[4] Любенов Л., Я. Михаилов, Оразмеряване на правоъгълни стоманобетонни сечения подложени на огъване по Eurocode 2 с помощта на Matchcad, XIV Международна научна конференция ВСУ'2014, ISSN: 1314-071X, Том III, стр. 415-420, 2014.

[5] Любенов Л., Оразмеряване на правоъгълни стоманобетонни сечения подложени на огъване с помощта на Matchcad, Научно списание „Механика, Транспорт, Комуникации", том 13, брой 3, 2015, статия № 1224, стр. VIII-42 – VIII-47, ISSN 1312-3823.

[6] Любенов Л., Прилагане на някои програмни системи за изчисляване на конструкции върху еластична основа, XIII Международна научна конференция ВСУ'2013, ISSN: 1314-071X, Том I, стр. I-62 – I-67, 2013.

[7] Loukidis D., G.-P. Tamiolakis, Spatial distribution of Winkler spring stiffness for rectangular mat foundation analysis, Engineering Structures, Volume 153, 2017, Pages 443-459, ISSN 0141-0296, https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.10.001.

[8] Slavchev V., About the influence of compression reinforcement on stress redistribution in concrete elements, subjected to bending, XXIII International Scientific Conference VSU'2023, ISSN: 1314-071X, p.p. 87-94, 2023.

[9] БДС EN 1990: ЕВРОКОД: Основи на проектирането на строителни конструкции.

[10] БДС EN 1992-1-1: ЕВРОКОД 2: Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции. Част 1-1: Общи правила и правила за сгради.

INFLUENCE OF SOIL STIFFNESS ON THE BEHAVIOUR AND DESIGN OF RAFT FOUNDATIONS

Veselin Slavchev
slavchev@vsu.bg

VSU "Lyuben Karavelov"
Sofia, 175 Suhodolska Street, 1373
BULGARIA

Key words: *raft foundation, soil, Winkler model, spring constant.*

Abstract*: The paper examines the influence of soil stiffness on the behaviour and design of raft foundations under vertical loads. The study employs an example of a reinforced concrete building represented by a 3D model, with the soil–foundation interaction modelled using the Winkler approach. The variation in the maximum edge stress in the supporting soil, the design bending moments in the foundation slab, and the required reinforcement as a function of the subgrade stiffness was investigated. The obtained results and the conclusions drawn are of significant practical importance for the design of foundation slabs. The research highlights the importance of accurately determining soil parameters for the reliable design and dimensioning of foundation structures.*