



Получена: 31.05.2019 г.

Приета: 01.07.2019 г.

АНАЛИЗ НА СЛЯГАНЕ НА ЕДИНИЧНИ ФУНДАМЕНТИ В РАЗЛИЧНИ ПОЧВЕНИ УСЛОВИЯ И МОДЕЛИ

С. Мартулкова¹, М. Гайдаржинска²

Ключови думи: фундиране, слягане, метод на крайните елементи, Plaxis 2D

РЕЗЮМЕ

В статията се изследва преместването на единични фундаменти в пясъчливи и пясъчливо-глинести почви, като се отчита влиянието на коравината на фундамента. Анализът се осъществява чрез следните материални модели – **Mohr-Coulomb (MC)**, **Hardening Soil (HSM)**, **Hardening Soil Small (HSS)** като за целта е приложен софтуерът по крайни елементи **Plaxis 2D**.

1. Въведение

Плоскостните фундаментни конструкции са разпространен начин на фундиране. Този тип конструкции контактуват със земната основа с хоризонтална или наклонена под малък ъгъл основна плоскост. Натоварванията от връхната конструкция се предават главно чрез основната плоскост на фундамента.

Плоскостните фундаментни конструкции се изпълняват като монолитни бетонни или стоманобетонни конструкции.

Най-общо те се подразделят на три основни типа: единични, ивични и фундаментни плочи. Единичните фундаменти се изпълняват като призматични, пирамидални и стъпаловидни, както е показано на фиг. 1.

¹ Стефка Мартулкова, магистърска програма „Конструктивно инженерство“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: stefkakostadinova1982@gmail.com

² Мария Гайдаржинска, магистърска програма „Конструктивно инженерство“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: mashammaria@gmail.com



Фиг. 1. Единични фундаменти [1]

С помощта на изчислителни модели, базирани на метода на крайните елементи, Plaxis 2D дава възможност за анализ и реална оценка на напреженията и преместванията при големи деформации или около граничната носеща способност.

Линейно-еластичният перфектно пластичен **Mohr-Coulomb** модел включва пет входни параметъра: модул на Юнг (E) и коефициент на Поасон (ν) за еластичност на почвата; кохезия (c) и ъгъл на триене (ϕ) за пластичност на почвата; ъгъл на разширяване (ψ). Mohr-Coulomb моделът представлява приближение от първи ред на поведението на основата. Този модел се използва за първи анализ на разглеждания проблем. За всеки слой се оценява постоянна средна коравина или коравина, която се повишава в дълбочина. Поради тази постоянна коравина, изчисленията са сравнително бързи и се получава първото приближение за деформациите [2].

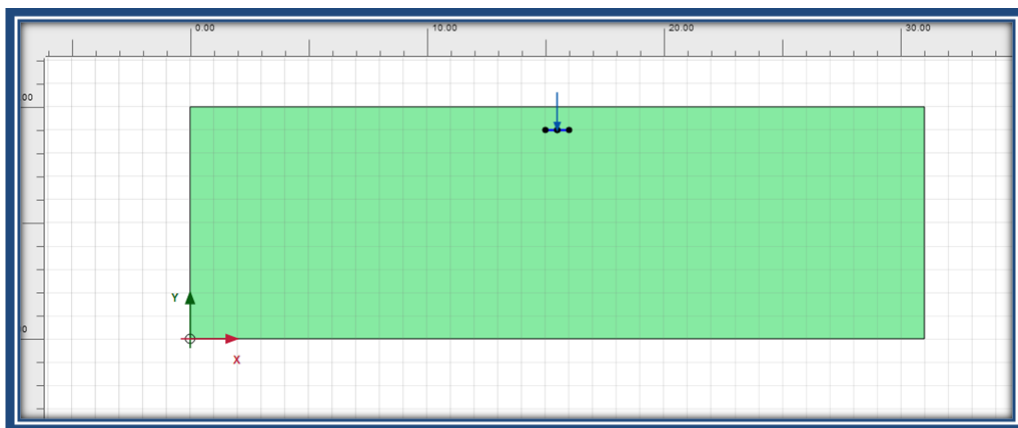
Hardening Soil моделът на почвата е усъвършенствен модел за симулиране на поведението на почвата. Както при модела Mohr-Coulomb, граничните напрежения се получават от кохезията (c), ъгъла на триене (ϕ) и ъгъла на разширяване (ψ), като коравината на почвата е описана много по-точно чрез използване на три различни входни коравини: триосна коравина на натоварване E_{50} , триосна коравина на разтоварване E_{ur} и “oedometer” коравина на натоварване E_{oed} .

За разлика от модела на Mohr-Coulomb, Hardening Soil моделът отчита зависимостта на коравината от напреженията. Това означава, че всички коравини се увеличават при увеличаване на напреженията [2].

Hardening Soil small моделът е модификация на **Hardening Soil** модела, който взима под внимание нарастването на коравината при малки напрежения. При ниски нива на напреженията повечето почви показват по-висока коравина, отколкото при проектната стойност на напреженията, като зависимостта е нелинейна. Това поведение се отчита в модела чрез допълнителен параметър за историята на напрежението и два допълнителни параметъра на основата: G_0^{ref} и $\gamma_{0,7}$. G_0^{ref} е модулът на срязване на основата, а $\gamma_{0,7}$ е стойността на напреженията, при които модулът на срязване е редуциран под 70% [2].

2. Геометрични и геотехнически параметри

Фундаментът е моделиран като “Plate” – плочов елемент (фиг. 2) с размери $1,0 \times 1,0$ m и различна дебелина (0,1, 0,3, 0,6 и 1,0 m). Материалът на фундамента е стоманобетон C25/30. Еластичното изотропно поведение за бетона се приема със среден модул на еластичност $E = 3,10^7$ kPa и $\nu = 0,2$. Фундаментът е центрично натоварен с вертикална концентрирана сила 400 kN.



Фиг. 2. Геометрия на модела

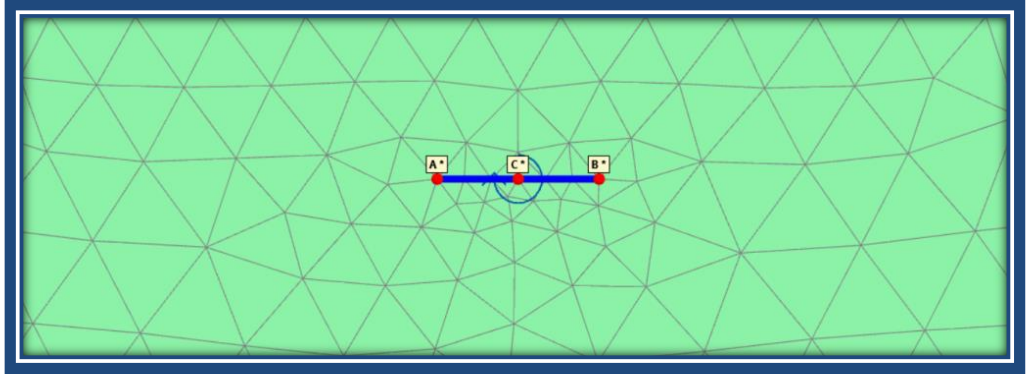
За всеки един от разглежданите модели Mohr-Coulomb (MC), Hardening Soil (HS) и Hardening Soil Small (HSS) са въведени съответните почвени характеристики. Входните геотехнически параметри от софтуерния продукт Plaxis 2D са показани в табл. 1. Параметрите са подбрани на базата на литературни данни и експерименти [3] и [4].

Таблица 1. Входни параметри

Параметър	Мярка	Mohr-Coulomb		HSM		HSS	
		Пес. глина	Пясък	Пес. глина	Пясък	Пес. глина	Пясък
		Стойност		Стойност		Стойност	
γ_{unsat}	kN/m ³	18	17	18	18	18	18
γ_{sat}	kN/m ³	20	20	20	20	20	20
E_{50}^{ref}	kN/m ²	-	-	7000	1,20E+04	7000	1,20E+04
$E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	-	-	7000	1,20E+04	7000	1,20E+04
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	-	-	3,00E+04	3,60E+04	3,00E+04	3,60E+04
E'	kN/m ²	7000	1,20E+04	-	-	-	-
ν' (nu)	-	0,3	0,3	-	-	-	-
E_{oad}	kN/m ²	9423	1,62E+04	-	-	-	-
e_{init}	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5
c'_{ref}	kN/m ²	25	1	25	1	25	1
ϕ' (phi)	°	25	30	25	30	25	30
Ψ (psi)	°	0	1	0	1	0	1
v'_{ur}	-	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2
P_{ref}	kN/m ²	-	-	100	100	100	100
K_0^{nc}	-	-	-	0,5774	0,4701	0,5774	0,4701
R_f	-	-	-	0,9	0,9	0,9	0,9
$\gamma_{0.7}$	-	-	-	-	-	3,00E-04	2,00E-04
G_0^{ref}	kN/m ²	-	-	-	-	8,00E+04	1,00E+05

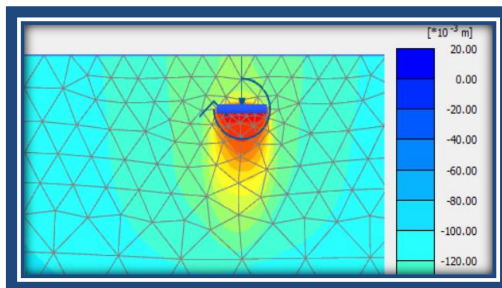
3. Резултати от моделите

Изследвани са резултатите в точки А, В и С от основната плоскост на фундамента, като те са групирани в табличен вид, в зависимост от модела, вида на почвата и дебелината на фундамента. Характерните точки на фундамента са показани на фиг. 3.

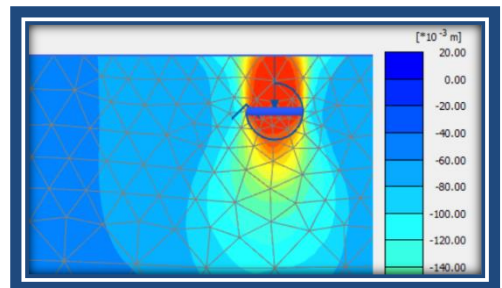


Фиг. 3. Характерни точки от фундамента

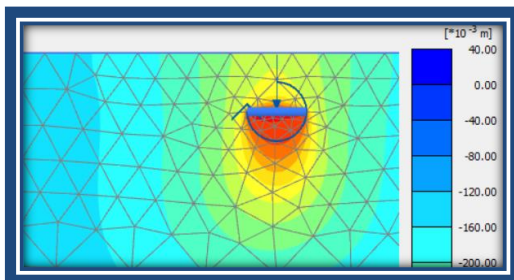
Графично са представени диаграми на преместванията U_y за съответните модели, при различни почви за дебелина на фундамента 0,60 m на фиг. 4 ÷ 9.



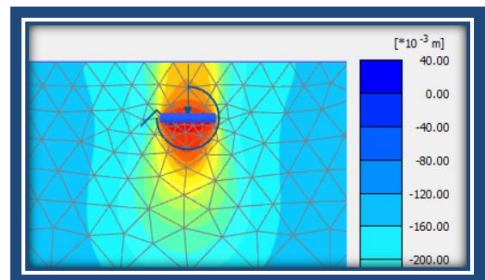
Фиг. 4. Mohr-Coulomb модел, пясъклива глина, plate 0,60 m



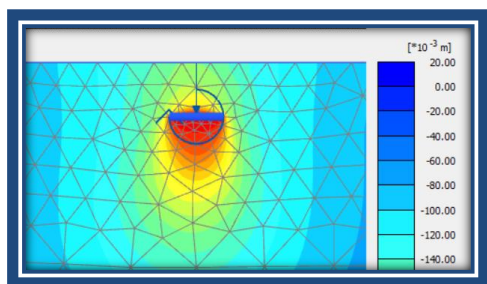
Фиг. 5. Mohr-Coulomb модел, пясък, plate 0,60 m



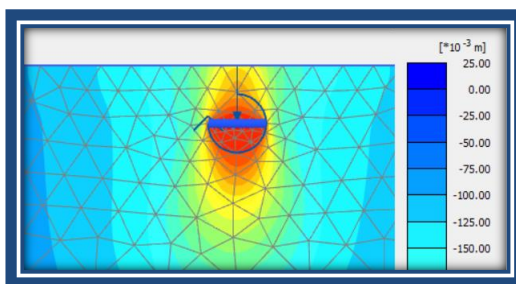
Фиг. 6. HSM модел, пясъклива глина, plate 0,60 m



Фиг. 7. HSM модел, пясък, plate 0,60 m



Фиг. 8. HSS модел, пясъклива глина, plate 0,60 m



Фиг. 9. HSM модел, пясък, plate 0,60 m

4. Анализ на резултатите

В табличен вид (табл. 2) са представени процентното изменение на стойностите на преместването, на характерните точки от основната плоскост спрямо стойностите от модела Mohr-Coulomb, отнесени към тези на останалите два изследвани модела HSS и HSM.

От анализа и обработката на резултатите се отчита значително нарастване на стойностите при модела Hardening Soil. Максималната процентна разлика от 90,19% се реализира при най-ниската дебелина на фундамента 0,10 m и пясъклива почва. Влиянието на вида на почвата допълнително допринася за изменение на стойностите от направения анализ, като за пясъклива глина максималните стойности спадат до 63,89% за дебелина на фундамента 0,30 m.

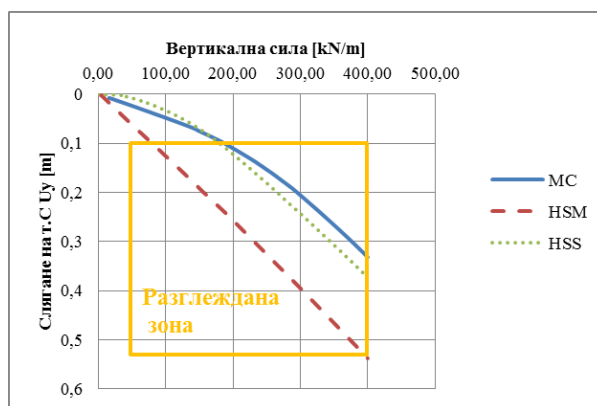
Процентните разлики при модела Hardening Soil small са значително по-малки като стойност, с което може да се отчете поведението на почвите при този модел, а именно нарастване на коравината им при ниски нива на напреженията.

Таблица. 2. Анализ на резултатите (при вертикална сила 400 kN за модели MC, HSM, HSS)

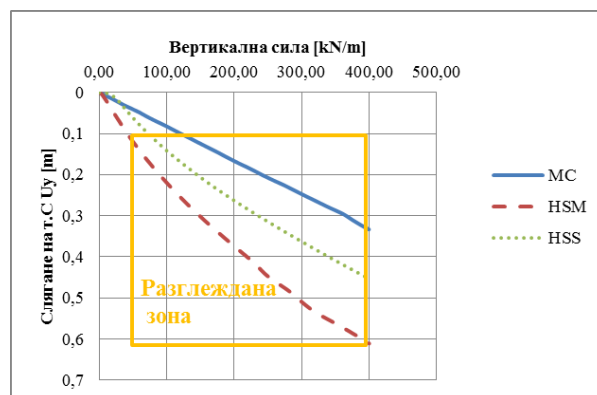
		Модел MC		
Вид почва	Дебелина на фундамента, [m]	Преместване т. А U_y [m]	Преместване т. В U_y [m]	Преместване т. С U_y [m]
Sand_clay	0,10	0,320	0,313	0,318
	0,30	0,324	0,321	0,323
	0,60	0,332	0,331	0,332
	1,00	0,343	0,343	0,343
Sand	0,10	0,316	0,319	0,318
	0,30	0,327	0,327	0,327
	0,60	0,333	0,333	0,333
	1,00	0,342	0,342	0,342
		Модел HSS		
Вид почва	Дебелина на фундамента, [m]	Преместване т. А U_y [m]	Преместване т. В U_y [m]	Преместване т. С U_y [m]
Sand_clay	0,10	26,56%	25,56%	25,79%
	0,30	12,96%	12,77%	12,69%
	0,60	12,35%	12,39%	12,35%
	1,00	12,24%	12,24%	12,24%
Sand	0,10	49,68%	47,02%	48,74%
	0,30	46,18%	46,18%	46,18%
	0,60	36,34%	36,04%	36,04%
	1,00	47,95%	47,95%	47,95%

Вид почва	Дебелина на фундамента, [m]	Модел HSM		
		Преместване т. А U_y [m]	Преместване т. В U_y [m]	Преместване т. С U_y [m]
Sand_clay	0,10	63,75%	61,98%	62,58%
	0,30	63,89%	63,24%	63,47%
	0,60	62,05%	62,24%	61,75%
	1,00	61,81%	61,81%	61,81%
Sand	0,10	90,19%	83,70%	87,11%
	0,30	85,02%	83,79%	84,40%
	0,60	83,78%	83,18%	83,48%
	1,00	83,63%	83,33%	83,63%

От гореизложената таблица е видно, че стойностите на преместването в средната точка С от фундаментната плоскост е най-голямо, поради което за същата са представени криви на слягане (фиг. 10 и 11) във функция на нарастването на натоварването – вертикална концентрирана сила до стойности 400 kN. Графиките онагледяват преместването и при трите обследвани модела с отчетено влияние на вида на основата, съответно пясъклива глина и пясък, като са разгледани за дебелина на фундамента 0,60 m.



Фиг. 10. Крива на слягане при дебелина на фундамента 0,60 m и вид почва – пясъклива глина



Фиг. 11. Крива на слягане при дебелина на фундамента 0,60 m и вид почва – пясък

Обяснението за получаване на по-малки премествания в кривите при моделите с материален модел Мор-Кулон може да се крие в големината на деформациите. Тук целта е да се определи крайна носеща способност на фундамента. Т.е. при премествания над 10 cm, се наблюдава следкритичното поведение на материалния модел.

5. Изводи

В съвременния свят процесът на проектиране в областта на геотехниката е немислим без използването на определените за тези дейности софтуерни продукти. С помощта на една от водещите програми в областта на геотехниката Plaxis 2D са изследвани и анализирани отделни параметри, от които зависи резултатът на решението. На база на точен числен и графичен вид може да се опише действителното напрегнато и деформирано състояние на системата „конструкция-почва”, чието поведение се разглежда като една сложна нееднородна среда и е важна задача за решаване. Това изследване дава обща представа за следкритичното поведение на използваните материални модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Илов, Г. и др.* Ръководство по Геотехника. Разработено съгласно изискванията на Еврокод 7. Геотехническо проектиране, изд. КИИП, София, 2012.
2. Plaxis 2D Manual 2018.
3. *Керенчев, Н.* Инерционна устойчивост и деформации на откоси при сеизмично въздействие. Дисертационен труд, София, 2015.
4. *Kerenchev, N.* ON THE E50 MODULUS OF TAILINGS DAM MATERIAL. Proceeding of XIX International multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2019.

ANALYSIS OF THE SUSPENSION OF SINGLE FUNDAMENTS IN DIFFERENT STAINLESS CONDITIONS AND DIFFERENT MODELS

S. Martulkova¹, M. Haidarzhynska²

Keywords: *geotechnical, foundation, suspension, finite element method, 2D plaxis*

ABSTRACT

The paper compares the subsidence of single foundations in sand and sand-clay soils. Soil analysis is produced in different models – Mohr-Coulomb and Hardening Soil with the help of the Plaxis 2D software. The comparison of the footing thickness and post critical behavior results are described.

¹ Stefka Martulkova, MS “Structural Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: stefkakostadinova1982@gmail.com

² Mariia Haidarzhynska, MS “Structural Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: mashammaria@gmail.com