



---

## **ОПЪННИ ФУНДАМЕНТИ ПРИ СВЪРЗАНИ И НЕСВЪРЗАНИ ПОЧВИ**

**Стойна Любенова Костова**

[kostova.stoyna@gmail.com](mailto:kostova.stoyna@gmail.com)

**ВТУ “Тодор Каблешков”, ул. „Гео Милев” № 158 София 1574,  
катедра “Транспортно строителство и съоръжения”  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** опънни фундаменти, анкерни плочи, свързани и несвързани почви, опънни (анкерни) сили

**Резюме:**

*В статията са представени особеностите на анкерни фундаменти при свързани и несвързани почви. Различията при свързани и несвързани почви водят до появата на различни сили, които действат в тези видове почви. Когато говорим за свързани почви, ние разбираме глинести почви, като - пясъчливи глинени, глинест пясък или глинени. В Еврокод 7- 2 [1], глинестите почви са наречени пластични почви. Тези почви са свързани, защото те притежават вътрешни сили на взаимодействие между частиците им, наречени кохезия. Частиците на тези почви са много малки с размери по-малки от 0,005mm. Когато се опитваме да определим усилията в почвата предизвикани от опънните сили в почвата, при свързаните почви е добре да се вземат в предвид и тези сили. Чакълестите и пясъчните почви са от другата голяма група почви - несвързаните. В Еврокод 7- 2 [1] тези почви са наречени непластични. В статията ще се разгледат максималните усилия, които може да понесе една свързана и несвързана почва, при изтръгване на анкерен фундамент поставен в почвата.*

### **I. УВОД**

Когато поставим анкер в несвързана почва за укрепването и в почвата се появяват допълнителни напрежения предизвикани от поставените анкери. Напрегнатото състояние на почвата се променя, променя се и равновесното положение на масива. Това ново равновесно състояние на системата анкерен фундамент – почва, трябва да бъде така оразмерено, че да бъде устойчиво и да не предизвиква разрушение в масива. Равновесното състояние на тази система зависи от много фактори. Тези фактори са предпоставка за поставяне на едни или други анкерирани или съответни укрепващи съоръжения и конструкции. В статията ще се обърне внимание предимно на анкерните фундаменти. Анкерните фундаменти се поставят под съоръжения или строителни конструкции, в които се появяват големи опънни усилия. Тези опънни усилия могат да бъдат резултат от големи хоризонтални сили на повърхността. Големи хоризонтални сили се появяват в много високи сгради от действие на вятър или земетръс, от действие на вълни при съоръжения и платформи, изградени във водата, от действие на спирателни и сили на триене в мостови конструкции и др.

## II. ОСОБЕНОСТИ

Ще разгледаме поставянето на анкерни плочи в свързани и несвързани почви.

Нека определим напрежението, което предизвиква разрушение при поставянето на хоризонтална плоча в несвързани почви, като се ползват формулите изведени от Rowe and Davis 1982 г. [2] в следната задача:

Имаме хоризонтална анкерна плоча с ширина  $b=2\text{ m}$  поставена в пясък на дълбочина  $h=6\text{ m}$ ,  $c=0\text{ kN/m}^2$ ,  $f=35^\circ$ ,  $\psi=12$ ,  $K_0=0.5$ ,  $\sigma=20\text{ kN/m}^3$ . Товарът на повърхността е нула  $q_s=0$ . Тогава т. нар. фактор на залагане ще бъде  $h/b=6$ . От фиг. 5 на [1] можем да отчетем за  $f=35^\circ$  фактора за носеща способност  $F_g=2.85$ ,  $R_\psi=1.06$  за  $f=35^\circ$ .

$$R_k=1, R_R=1$$

$$(1) \quad q_u = \gamma \cdot h \cdot F_\gamma \cdot R_\psi \cdot R_R \cdot R_k$$

Където

$q_u$  е средното напрежение, което ще предизвика разрушение на анкерната плоча в несвързани почви с ъгъл на вътрешно триене  $\varphi$ .

$R_\psi$ ,  $R_R$ ,  $R_k$  са корекционни фактори отчитащи дилатансията, здравината на анкера, и началното напрежение съответно.

$$(2) \quad q_u = 363\text{ kN/m}^2$$

Ако имаме свързана почва със същите данни, при която кохезията е различна от 0. Например нека  $C=1$ , за да може да се отчете при много малка кохезия, какво е влиянието ѝ върху носимоспособността на хоризонталната анкерна плоча.

Хоризонтална анкерна плоча е със същите размери и почвата е със същите характеристики.

Анкерна плоча с ширина  $b=2\text{ m}$  поставена в глина на дълбочина  $h=5.4\text{ m}$ ,  $c=1\text{ kN/m}^2$ ,  $f=30^\circ$ ,  $\psi=0$ ,  $\sigma=20\text{ kN/m}^3$ . Товарът на повърхността е нула  $q_s=0$ . Факторът на залагане ще бъде  $h/b=2.7$ . От фиг. 5 на [1] са отчетени фактора за носеща способност  $F_g=1.5$ .  $R_\psi=1.01$  за  $f=30^\circ$ .

$$R_k=1, R_R=1$$

$$(3) \quad q_u = c \cdot F_c' + \gamma \cdot h \cdot F_\gamma \cdot R_\psi \cdot R_R \cdot R_k$$

$$(4) \quad F_c' = F_c + q_s / c$$

Ако товарът на повърхността  $q_s = 0$  тогава  $F_c = F_c'$ .

От фиг. 24 на [1] отчетено  $F_c = 4.3$ , следователно  $F_c' = 4.3$

За  $q_u$  Row and Davis са получили  $312\text{ kN/m}^2$

Увеличаването на кохезията води до съответно увеличаване на носимоспособността на анкерната плоча.

Ако при същите условия имаме товар на повърхността, то той също ще увеличи носещата способност на анкерния фундамент и  $F_c'$  ще се завиши с  $q_s/c$ . Ако дадем стойност  $10\text{ kN/m}^2$  това завишение ще бъде с  $1\text{ kN/m}^2$ . Стойността  $10\text{ kN/m}^2$  е един нормален товар от машини или складиран материал на повърхността. Можем да отчетем, че за носещата способност, ще имаме много по-голямо завишение от

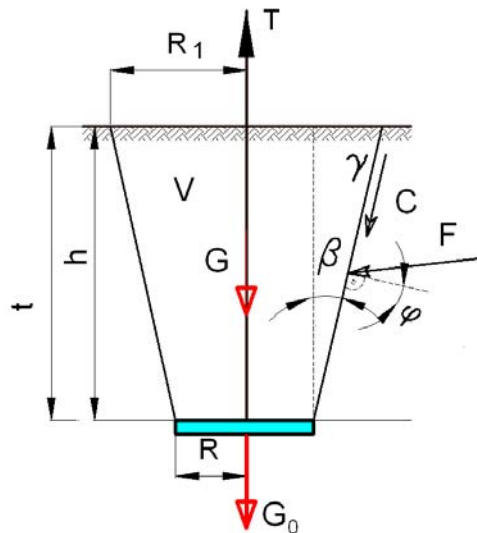
подвижен товар на повърхността, при по - малка кохезия. При големи стойности на кохезията влиянието на тази част е незначително.

По-голямо завишение на носещата способност на почвата ще се получи от влияние на кохезията в свързаните почви, което е нормален и напълно очакван резултат.

В статията [3] са представени два метода за определяне на носимоспособността на опънни фундаменти. Първият метод се базира на изместения обем почва. При втория метод се определя носещата способност на опънни фундаменти, чрез изведена формула за носещата им способност.

В статията [3] са представени носещата способност на вертикална и хоризонтална анкерна плоча, като във формулите не е включено теглото на самата плоча /анкерния фундамент/  $G_0$ . Когато този фундамент е масивен стоманобетонен фундамент неговото тегло се използва за поемане на значителна част от опънната сила.

Също бихме си позволили да добавим и триене, (освен кохезия) което би могло да се включи, ако почвата не е глина в течна или течнопластична консистенция. За тези слаби глинести почви приемаме че ъгълът им на вътрешно триене е приблизително равен на 0.



Фиг. 1. Приет обем почва и сили в почвата получени от опънна сила при хоризонтална кръгла плоча в почвата

Според нас триенето би имало стойност само в случай, че анкерната сила е малка, ако се преодолее теглото на ангажирания обем почва  $G$  и теглото на анкерната плоча (фундамент)  $G_0$ , ще се получи разрушение. Когато не е достигнато това разрушително състояние в свързаните почви може да се получат формули за общото им съпротивление по повърхнината на хлъзгане. То се състои от влиянието на кохезията и триенето или общо казано това е тангенциалното напрежение  $\tau$ . Силата на триене се разполага под ъгъл  $\epsilon$  спрямо перпендикуляра към повърхнината на хлъзгане. Повърхнината на хлъзгане е разположена под ъгъл  $\beta$  спрямо вертикалата, както е показано на фиг. 1.

За ивична плоча с размер  $B = 2b$ , коректния обем почва би бил както е показан на (фиг.4) от [3] имаме ивичен фундамент с дължина  $L = 1m$  и ширина  $B = 5m$ . Обемът на почвената призма с височина  $h$  и размери  $B$  и  $B + 2h \cdot \tan \beta$ , в другата посока размерът е  $L = 1m$ . Теглото на този обем почва е:

$$(5) \quad G = \frac{h}{2} (B + B + 2 \cdot h \cdot \tan \beta) \cdot 1m' \cdot \gamma [kN]$$

Резултантата  $C$  [kN] на кохезията  $c$  [kN/m<sup>2</sup>] по околната повърхнина на призмата е:

$$(6) \quad C = A.c = \left[ \frac{2h}{\cos \beta} + (2B + 2.h.tg\beta).h \right].c [kN]$$

Където:

$A$  е лицето на околната повърхнина на приетата призма на разрушение.  
за свързани почви  $\beta=1/3 \varphi$ .

Анкерна сила  $c$  включени тегло на плочата или иначе казано теглото на опънния фундамент  $G_0$ , теглото  $G$  на ангажирания обем почва, кохезията по повърхнината на хлъзгане  $C$  и силата на триене по същата хлъзгателна повърхнина  $F$  е:

$$(7) \quad T = G_0 + G + C + F.$$

Общата съпротивителна сила по повърхнината на хлъзгане изхождайки от уравнението за тангенциалните напрежения на френския учен Кулон /Coulomb/ за свързани почви е:

$$(8) \quad \tau = \sigma . \tan \varphi + c$$

$$(9) \quad T = G_0 + G + \tau = G_0 + G + A * (C + F)$$

Стойността на силата може да се намали компонентата от триене по подобие с анкерите с коефициент 0,75. Ще получим:

$$(10) \quad T = G_0 + G + \tau = G_0 + G + A * (c + 0,75.f)$$

$$(11) \quad T = G_0 + G + \tau = G_0 + G + A * (c + 0,75.\gamma.h.tg\varphi)$$

От тази формула за несвързани почви ще получим:

$$(12) \quad T = G_0 + G + \tau = G_0 + G + A * (0,75.\gamma.h.tg\varphi)$$

Пресмятаме силата , която може да поеме почвата, като пренебрегнем теглото на анкерния фундамент.

$$G = \frac{h}{2} (B + B + 2.h.tg\beta) . 1m' . \gamma = 5.4 / 2 . (2 + 2 + 2.5.4.tg10^\circ) . 20 = 295.2kN$$

Силата от триене е

$$F = A.0.75.f = \left[ \frac{2h}{\cos \beta} + (2B + 2.h.tg\beta).h \right] . 0.75.\gamma.h.tg\varphi =$$

Пресмятането на силата  $F$  за първия пример при  $h=6m$ ,  $b=2m$ ,  $f=35^\circ$ ,  $\psi=12$ ,  $K_0=0.5$ ,  $\sigma=20 kN/m^3$  засега дава резултат 2656 kN.

По вторият начин на автора при пресмятане на критичната сила за анкер в свързани почви по формулата (15) се получава максималната сила при много малък зрителен ъгъл  $\alpha=0,2$ ,

$P_{cr}=2310 kN/m^2$ . При  $\alpha=0,2$ ,  $P_{cr}=923 kN/m^2$ :

При  $z=z_{max}=h$  се получава критичната стойност на напрежението  $p_{cr}$  при което започва образуването на пластични зони в близост до ръбовете на фундамента.

$$(13) \quad p_{cr} = \frac{\frac{p_e}{A}}{\frac{\sin 2\alpha}{\pi \cdot \sin \varphi} - \frac{2\alpha}{\pi}}$$

Особеното тук е, че при несвързани почви тази критична сила не може да се намери. А опънната сила предизвикваща образуването на хлъзгателни повърхнини  $p_0 = 1150 \text{ kN}$ .

$$(14) \quad p = \gamma \cdot h + p_0$$

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение бихме направили сравнение на нашите резултати и тези на Rowe and Davis. не се получава много добро съвпадение в резултатите. Бихме казали, че добавянето на силите от триенето завишава доста опънната сила, която може да поеме почвата, ио може би е по-добре да не се разчита на нея.

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. EN 1997-2:2007 Еврокод 7: Геотехническо проектиране. Част 2: Изследване и изпитване на земната основа БИС, 2007 (Eurokod 7: Geotechnischesko projektiranje. Chast 2: Izsledvane i izpitvane na zemnata osnova. BIS, 2007)
- [2]. Rowe, R. K and Davis, E. H. The behavoir of anchor plates in sand, Geotechnique 32, No. 1 25-41, 1982 г .
- [3]. Костова, С., Относно изчисляването на опънни фундаменти, Механика , транспорт, комуникации, т.12, бр. 3/3, 2014

## ANCHORE FOUNDATIONS IN COHESIVE AND NONCOHESIVE SOILS

**Stoyna Kostova**

[kostova.stoyna@gmail.com](mailto:kostova.stoyna@gmail.com)

*Todor Kableshkov University of Transport, Sofia, 158 Geo Milev Str.  
Department of Transport and structure engeneering,  
BULGARIA*

**Key words:** *anchor foundations, anchor plates, cohesive and noncohesive, soils tensile (anchor) forces*

**Abstract:** *The article presents the characteristics of the anchor foundations in cohesive and noncohesive soils. Differences in cohesive and noncohesive soils lead to the emergence of different forces Which act in these soils. When we talk about cohesive soils, we understand clayey soils. The types clayey soils are sandy clay, clayey sand clay and clay. In Eurocode 7 2 [1], clayey soils are called plastic soils.*

*These soils are cohesive because they have the internal forces of interaction between the particles. These forces are called cohesion. Particles of these soils are very small. The particle sizes are smaller than 0,005mm. When trying to define the efforts in the soil caused by the tensile forces in the soil, for the cohesive soils is better to take into account these forces.*

*Gravels and sandy soils are the other large group of soils – noncohesive soils. In Eurocode 7 2 [1] these soils are called nonplastic. The article will examine the maximum effort that can bear cohesive and noncohesive soils when anchor foundations placed in the soil.*