

## ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФОРМАТА И ГОЛЕМИНАТА НА ЕЛАСТИЧНОТО ЯДРО ПРИ ОПЪННИ ПЛОЧИ

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

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

***Ключови думи:** опънни фундаменти, анкерни плочи, свързани и несвързани почви, преуплътнено ядро, еластично ядро, лабораторни изпитвания.*

### ***Резюме:***

*В статията са представени изпитвания на модели на опънни плочи в пясъчливи и глинести почви в лабораторни условия. Опънните плочи са разположени в почвата хоризонтално и са подложени на вертикален центричен опън. При тези опити е наблюдавано образуването на „еластично ядро” от почва пред плочите. Направен е опит за определяне размерите и формата на това ядро. След направения анализ на публикациите по темата е установено, че някои учени са работили върху определянето формата и размерите на „еластичното - преуплътненото ядро” пред хоризонтални опънни плочи, но разработките са незначителен брой. Подобен опит, за определяне на ядрото, не е открит в изследваната литература. От изпитванията са определени формата и големината на еластичното ядро в глинести и пясъчливи почви. Дадени са опитни резултати за изпитаните почви при два размера на анкерни плочи подложени на опън.*

*Направени са изводи и обобщения на резултатите от извършените опити.*

### **I. УВОД.**

Анкерите се използват в съвременното строителство за укрепване на откоси, свлачища, изкопи за строителни обекти, при проблематични състояния на земната основа. Прилагат се при съоръжения подложени на воден подем, основи на мостове, мачти, вятърни генератори, за нефтени платформи и др. Формирането на преуплътнено ядро, или наречено още еластично ядро от почва, под фундаменти подложени на натиск, е наблюдавано от учените и развито в теоретични методи от Prandtl, Соколовский, Terzaghi, дадени в [1]. Техните инженерни методи са използвани за определяне на носещата способност на земната основа, при фундаменти подложени на натиск. Тези методи са доразвити от Mayerhof, Brinch Hansen и други учени, и са залегнали в Европейските и съвременните български норми [2] в тази област.

При фундаменти, подложени на опън, подобно еластично ядро е регистрирано от Мацуо в [3]. При дълбоки опънни фундаменти Весич приема за ъгъла на наклон на на образувателната на това ядро равен на  $(45+\phi/2)$ . Теорията на Весич, се базира на

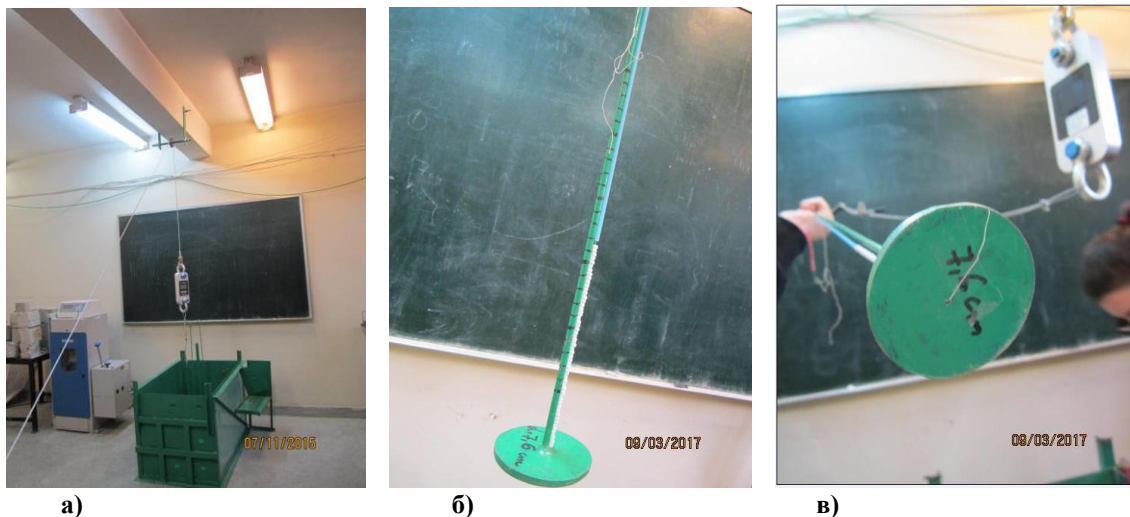
приемането, на постановката, че плочата работи подобно на върха на пилот обвърнат нагоре, с образувано еластично ядро пред върха му [4].

Определянето на размера и формата на уплътненото ядро е съществено, защото от него се прави извод за формата на разрушение на почвата пред опънните фундаменти. Ядрото дава също така важна информация за повърхнините на срязване и триене и при определяне носимоспособността на анкера.

## II. ИЗПОЛЗВАНИ УРЕДИ И АПАРАТУРА.

За провеждане на опитите е използван стенд за изпитване на модели на опънни фундаменти /Фиг.1 а)/. Стендът представлява метално тяло с лебедка, въже и макари за създаване на опън и измервателен динамометър за отчитане на натоварването по време на опитите. Уредите бяха изработени по научен проект „Изпитване и изчисляване на опънни фундаменти” към ВТУ „Тодор Каблешков” София.

Едната страна на метално тяло на стенда е направена от прозрачен плексиглас. При извършване на опити, в близост до прозрачната стена може да се наблюдава разрушението на почвата. Моделите на анкерите представляват метални плочи с различни размери. В средата им е заварен метален прът с халка, посредством който се предава опънната сила. Изследваните модели на анкерите са кръгли и квадратни. За настоящите опити са използвани кръгли плочи с диаметър 76mm, и квадратни с размери 50/50 mm.

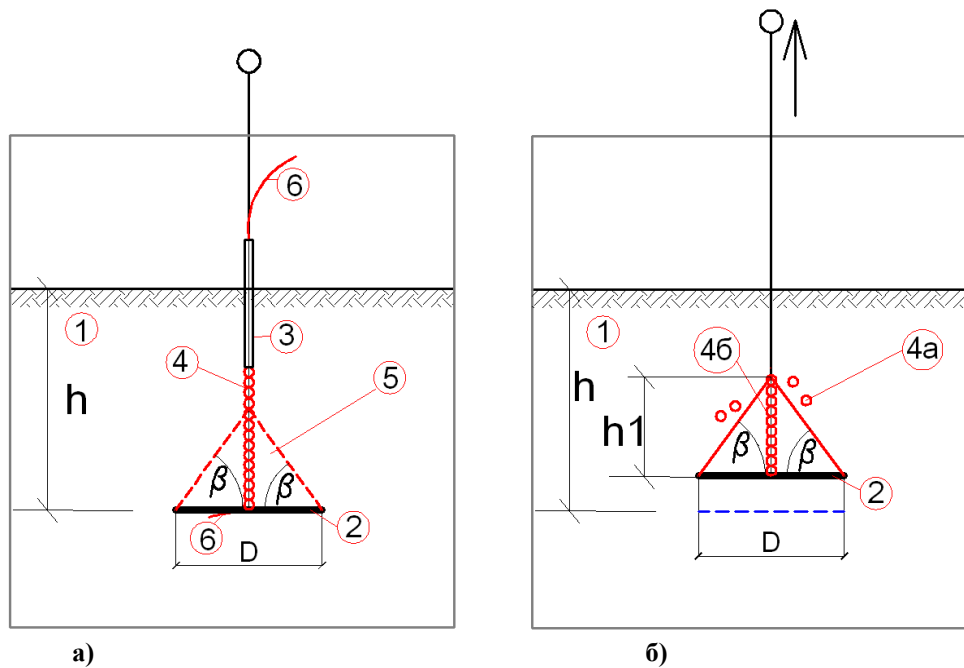


Фиг. 1. Уреди и апаратура.

а) стенд за изпитване на опънни фундаменти; б) модел на анкер – кръгла плоча подготвена за опит с редица мъниста поставени успоредно на металния прът; в) прикрепване на влакното към задната част на плочата.

## III. ПРОВЕЖДАНЕ НА ОПИТИТЕ.

Опитите са направени в два вида почви – едър пясък и песъчлива глина. Като едрият пясък на места има глинести включения. Глинестите включения са отстранени при подготовката на почвата за поставяне в уреда за изпитване. По време на изпитване на хоризонтално заложили плочи на опън, за целите на друго изследване, беше наблюдаван отчетливо ефекта на образуване на „преуплътнено ядро” от почва непосредствено пред плочата. Тези наблюдения породиха въпроса за размера и вида на това ядро. За решаването на този въпрос бяха създадени модел и методика на изпитване за определяне на размера и формата на „преуплътненото ядро” от почва пред анкерни плочи, които са описани тук, по долу.



Фиг. 2. Схема на опита.

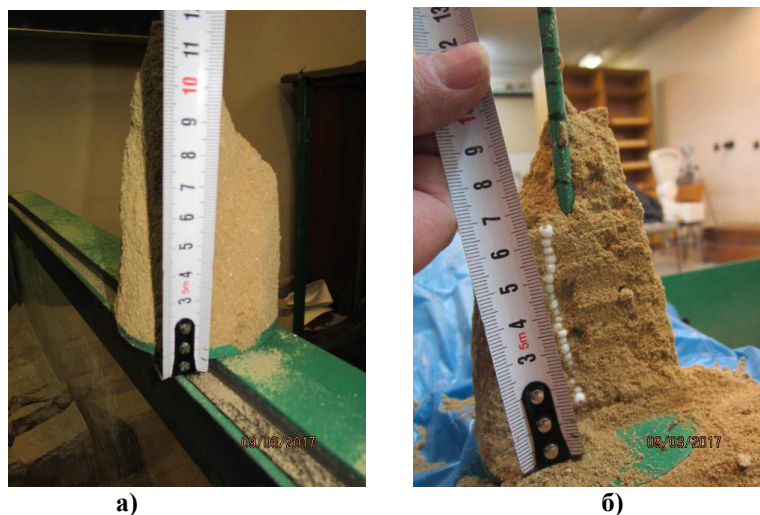
а) начална постановка на модела; б) резултат от опита.

1- почва; 2- метална плоча; 3 - закрепваща тръбичка; 4 – нанизани на корда мъниста, преди опита; 5 – преуплътнено ядро; 6- корда; 4а – разпръснати мъниста в почвата; 4б- фиксирани в ядрото мъниста; h – дълбочина на залагане на плочата; - височина на „преуплътненото ядро“.

**III. 1. Описание на опита. Опити проведени в пясък.** Схема на опита е дадена на Фиг.2.

Пясъкът е взет от реален обект и по време на изпитването има влажност 5% и ъгъл на вътрешно триене  $\phi=18^\circ$ . Подготвя се моделът на анкерната плоча. В близост до оста на плочата и успоредно на нея се поставят мънистата 4, които са нанизани предварително на кордата 6. Мънистата са с отчетливо видими цветове и размери по-големи от почвените зърна, както е показано на Фиг. 1.б). Кордата е временно фиксирана към долната страна на плочата с лепенка Фиг. 1.в). В горния си край, над мънистата, кордата влиза в пластмасовата тръбичка 3, която служи за осигуряване на неподвижността на мънистата, при опънатата корда, докато почвата се уплътнява. Пластмасовата тръбичка се притиска към мънистата и се фиксира временно към металния прът на анкера в горния си край. Кордата се опъва контролирано, така че мънистата да се подредят в стегната редица и опрат в долния край на тръбичката и също временно се фиксира към металния прът с лепенка. Металната плоча се залага на определена дълбочина  $h > 5 D$ . Почвата се насипва внимателно и се уплътнява на пластове от около 5-7см. Върху металната дръжката се прави отметка, която показва дълбочината на поставяне на анкерната плоча h. След като почвата е уплътнена се издърпва кордата, след нея се изважда пластмасовата тръбичка и мънистата остават свободни във вертикална редица в почвата над анкерната плоча. Започваме да подаваме опънното усилие върху анкера на стъпала през 1 минута. Между стъпалата не се извършва разтоварване. Преместването на хоризонталната плоча настъпва във вертикална посока. Плочата е натоварена на опън центрично. В процеса на натоварване над плочата и в зоната на редицата от мъниста се образува еластично почвено ядро. То фиксира в себе си неподвижна част от мънистата, до височината, до която се формира. При преминаване на граничната опънна сила и подаване на допълнителен опън настъпва разрушение на почвата. Започва преместване на анкерната плоча заедно с

формираното ядро нагоре, по посока на опънатата сила. В този процес фиксираните в ядрото мъниста остават неподвижни в него, а тези останали извън (над) ядрото се разпиляват около него, в зоната на образуваните хлъзгателни повърхнини. При продължаващо опънно натоварване внимателно изваждаме плочата заедно с почвата оставаща върху нея Фиг. 3.а). Всички направени опити показват, че формата на „преуплътненото ядро” е конична (Фиг. 3).



**Фиг. 3. Извадено „преуплътнено ядро” от изследвания пясък.**  
**а) форма на ядрото; б) височина на „преуплътненото ядро” определена от опита.**

Почвата върху плочата внимателно се разкрива с шпатула, докато се покажат фиксираните в ядрото мъниста. Наблюдаваме как са подредени и уплътнени по оста на анкерната плоча. Част от мънистата са останали подредени в уплътнения обем, както са били поставени 4б Фиг.2.б Мънистата които са били извън ядрото са изпаднали около него встрани от мястото на поставянето им в почвата оставащата в уреда виж 4а Фиг.2.б). От височината на редичката от мъниста останали непроменени след опита може да съди за височината на преуплътнения обем от почва. Височината на „еластичното ядро” е 65 mm за конкретния опит с плоча  $\Phi 76\text{mm}$ , и е показан на Фиг. 3.б). Други опитни резултати са показани в табл. 1. За големината на преуплътненото ядро се съди само от опитите проведени на дълбочина по-голяма от 5D . При по-малки дълбочини почвата над плочата не се преуплътнява. Изведените резултати се отнасят за изпитваните почви.

**Табл. 1. Данни от опитите за „преуплътнено ядро” в пясъчливата почва.**

Вид почва	Размер на плочата [mm]	Радиус на плочата [mm]	Отчетена височина на преуплътнено ядро	Ъгъл на наклон на образувателната на ядрото [°]	Усреднен ъгъл [°]
пясък	76	38	66	60.06	
пясък	76	38	65	59.69	
пясък	76	38	85	65.91	<b>61.89</b>
пясък	50/50	25	55	65.55	
пясък	50/50	25	40	57.99	
пясък	50/50	25	45	60.94	

В табл. 1 са дадени и обобщените резултати от опитите за пясъчливата почва. Усредненият ъгъл спрямо хоризонталата на образувателната на преуплътненото ядро за пясъка се движи от 61,89 – 61,49°. Този ъгъл приблизително се равнява на  $(45^\circ + \phi)$ .

### III. 2. Опити проведени в пясъчлива глина.

Пясъчливата глина е с ъгъл на вътрешно триене  $16^\circ$  и кохезия  $40 \text{ kN/m}^2$  и влажност 21,5%. Опитите за определяне на „еластично ядро“ в глина са проведени по аналогична методика както при пясъка. При обработката на глинестата почва са постигнати обемни тегла от  $16.5 \text{ kN/m}^3$ .



Фиг. 4. Извадено „преуплътнено ядро“ от изследваната глина. Разкриване на поставените мъниста в почвата.

Направени бяха и опити със залагане на анкерните плочи по- плитко от 5D. При тези дълбочини не се наблюдава преместване на ядрото през почвата и триене на околните стени на ядрото, а директно откъсване на обърнат почвен конус с малка страна върху плочата. При тази форма на разрушение на земната основа, типична за плитко опънни фундаменти, не можем да наблюдаваме изразено формирано почвено ядро над анкерната плоча Фиг.4. Това ни дава основание да направим извода, че „преуплътнено ядро“ не се образува над плитко опънни фундаменти с дълбочина по-малка от 5D, където D е диаметъра на плочата.

При дълбоките фундаменти, както вече отбелязахме, се наблюдава уплътняване на почвата пред плочата, и образуване на конично почвено ядро. При вертикалното преместване на плочата нагоре по околната повърхнина на това ядро се образуват хлъзгателни повърхнини и възниква триене между коничната повърхнина на ядрото и съседната почва.

Табл. 2. Данни от опитите за „преуплътнено ядро“ в глинестата почва.

Вид почва	Размер на плочата [mm]	Радиус на плочата [mm]	Отчетена височина на преуплътнено ядро	Ъгъл на наклон на образувателната на ядрото [ $^\circ$ ]	Усреднен ъгъл [ $^\circ$ ]
глина	76	38	77	63.73	
глина	76	38	75	63.31	
глина	76	38	85	65.91	
глина	76	38	69	61.15	
глина	76	38	95	68.91	64.60
глина	50/50	25	70	70.34	
глина	50/50	25	60	67.38	
глина	50/50	25	50	63.43	67.05

В табл. 2 са дадени и обобщените резултати от описания опит, проведени в пясъчливата глина. Усредненият ъгъл спрямо хоризонталата на образувателната на

преуплътненото ядро се движи от 64,6-67,05°. Формата на ядрото, поради наличието на кохезия при глината, не е така ясно изразена, както при пясъците, но отново е конична.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените опити можем да направим следните изводи:

1. Формата на „уплътненото ядро” при глинести и при пясъчливи почви е конична.
2. Чрез отчетената височина на ядрото са определени ъглите на наклона на образувателната на ядрото спрямо хоризонталата за двата вида почви.
3. Опитните резултати ни дават основание с достатъчна доза достоверност да приемем ъгъла на наклона на образувателната на коничното ядро спрямо хоризонталата равен на  $(45+\phi)$  за изпитаните почви.

#### ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Алексиев, А. и колектив, Наръчник по земна механика и фундиране, Техника, том I, 1989, с.412-437.
- [2]. [1]. БДС EN 1997-1:2005, Еврокод 7: Геотехническо проектиране. Част 1: Основни правила, 2007.
- [3]. Matsuo, M. Study on the uplift resistance of footings (I част), Soil and foundation, Vol. VII, № 4, 1967, стр. 1-37
- [4]. Vesic, A.S., 1969. Breakout resistance of objects embedded in ocean bottom. Report N CR.69.031 prepared for U.S.Naval Civil Engineering Laboratory Port Hueneme, California, May 1969, стр. iii-35.

## SURVEY ON THE SHAPE AND SIZES OF THE “ELASTIC CORE” OF ANCHOR PLATES

**Stoyna Kostova**

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

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

**Key words:** *tensile foundations, anchor plates, cohesive and noncohesive soils, elastic core, laboratory tests.*

**Abstract:** *the article presents the specifics of testing the models of tensile plates in sandy and clayey soils in laboratory conditions. Tensile plates are putted in soil horizontally and subjected to a vertical centric uplift. In this experiments are observed formation of an “elastic core” from the soil before the plates. The special test is made to survey the sizes and form of this core. After the review it was found that some scientists had worked to determine the shape and dimensions of the “elastic core” in front of horizontal plates, but the tests are insufficient. The methodic of author’s test is new, and has not been and described so far, according to the review. From the tests have been determined the shape and size of the core in clayey and sandy soils. The results from the experiments are given.*

*There have been some conclusions and summaries of the tests.*