

## ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА ПОЧВЕНИ АНКЕРИ

Андрей Тоцев

УАСГ

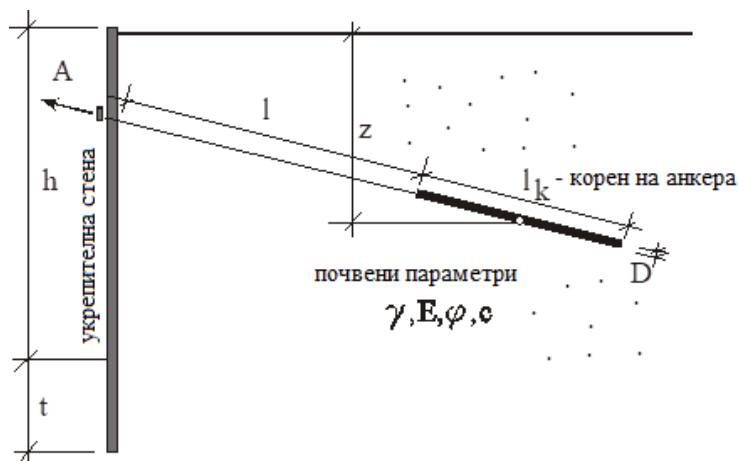
### Резюме:

Върху поведението, работата и носещата способност на анкерите влияят множество фактори и параметри. От една страна това са всички характеристики на почвите, в които е изпълнена самата анкерираща конструкция, а от друга – геометричните параметри на анкера като дълбочината, наклон, дължината и напречното сечение на корена на анкера. Основните аспекти при проектирането на този вид конструкции са свързани с определянето на максималното усилие, което анкерът е в състояние да поеме.

**Ключови думи:** анкери, носеща способност, корен

### 1. ВЪВЕДЕНИЕ

Определянето на носещата способност на анкери, респективно размерите на корена, не е еднозначно дефинирано. Съществуват различни методи и формули, таблици и графики, като получените резултати може да се различават не просто в проценти, а в стотици проценти. В тази статия са представени някои от популярните методи за определяне на носещата способност на корена на анкера в почви.



Фигура 1: Схема на анкера

Препоръчителната дължина на корена на анкера при почви е от 2,0 до 12,0 m, а при скали е от 2,0 до 10,0 m. Увеличение на дължината на корена над 12,0 m (за скали 10,0 m) не води до нарастване на носещата способност на анкера. На фиг. 2 е показано разпределението на напреженията на околно триене по дължината на корена в

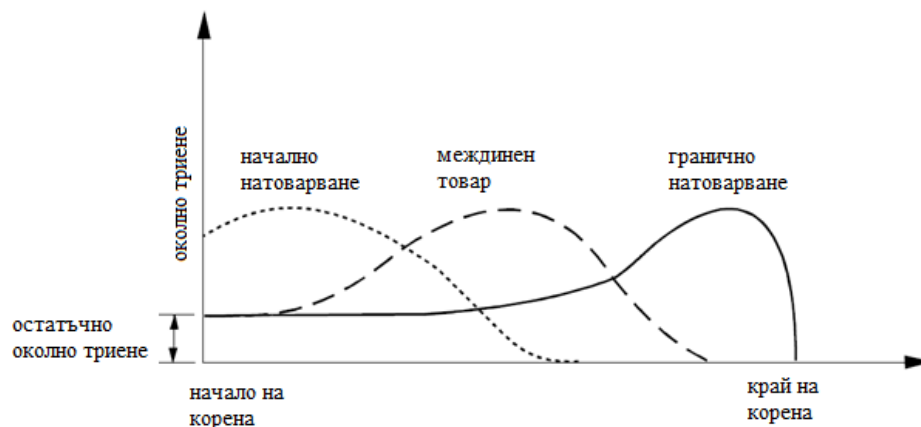
различните етапи на натоварване. Първоначално усилието се поема от горната част на корена (разположена в съседство със свободната дължина). С нарастване на натоварването деформациите в горната част на корена надвишават върховите деформации за чувствителните към деформации почви. В този случай напреженията на околоно триене в горната част на корена намаляват и максималната стойност се измества по надолу по анкерното тяло. Еластичната деформация в армировката на анкера води до деформация (преместване) на част от корена. Така по дължината на корена в отделни зони се мобилизира върховата якост на срязване, а в други остатъчната. Това води до нелинейно разпределение на напреженията на околоно триене и ясно изразен максимум. При по-малки товари е натоварена горната част на корена и с нарастване на товара и достигане до стойности близки до граничната носеща способност, максималните стойности на околоното съпротивление се изместват към долната част на корена. Според Sabatini [1] при анкери в скали, когато отношението на еластичният модул на разтвора към този на скалата е по-малко от единица, товарът се поема само от първите 1,5 до 3,0 m от корена на анкера.

Съгласно Еврокод 7 изчислителната стойност  $R_{a,d}$  на носещата способност на анкера трябва да удовлетворява условието:

$$P_d \leq R_{a,d},$$

Където  $P_d$  е изчислителната стойност на проектната сила в анкера;

$R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_a$ , където  $\gamma_{a,t}$  (за временни анкери) =  $\gamma_{a,p}$  (за постоянни анкери) = 1,10.



Фигура 2. Разпределение на напреженията на по дължината на корена на анкера [1].

## 2. КЛАСИЧЕСКИ МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $R_{a,k}$

Съгласно [2] носещата способност зависи от геометричните размери на корена, вида на почвата и якостните параметри  $\phi$  и  $c$  на почвата в зоната на корена:

$$(1) \quad R_{a,k} = K_n \cdot m \cdot n \cdot D \cdot \pi \cdot l_k (0,75 \cdot \gamma \cdot z \cdot \tan \phi + c)$$

където  $l_k$  е дължината на корена,  $D$  е неговия диаметър, а  $K_n$ ,  $m$  и  $n$  са коефициенти, отчитащи плътността на почвата при корена и се определят от таблици 1, 2 и 3.

Таблица 1: Определяне на коефициента  $K_n$  [2].

Почва	$K_n$
Рохки пясъци ( $D_r=0,2-0,3$ )	1.0
Средносбити пясъци ( $D_r=0,3-0,6$ )	1.0-2.0

Сбити пясъци ( $D_r=0,6-0,8$ )	2.0-3.0
Свързани почви	1.0

Таблица 2: Определяне на коефициента  $m$  [2]

Дължина на корена $l_k$ [m]	$m$
< 4.00	1.00
4.00-8.00	0.90-0.95
8.00-12.00	0.80-0.90

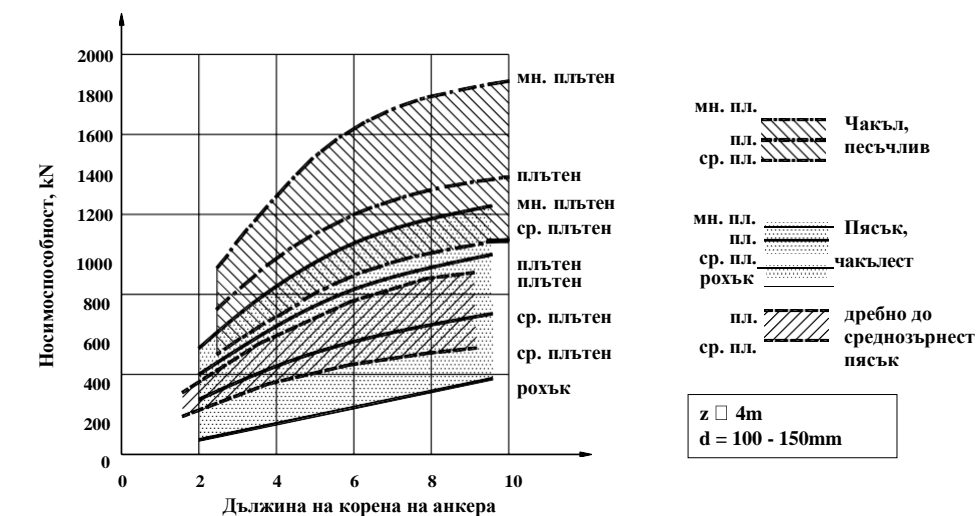
Таблица 3: Определяне на коефициента  $n$  [2].

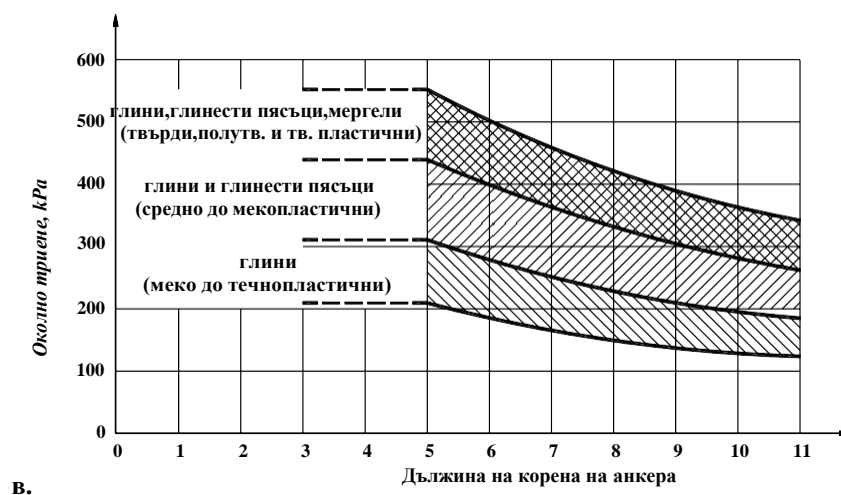
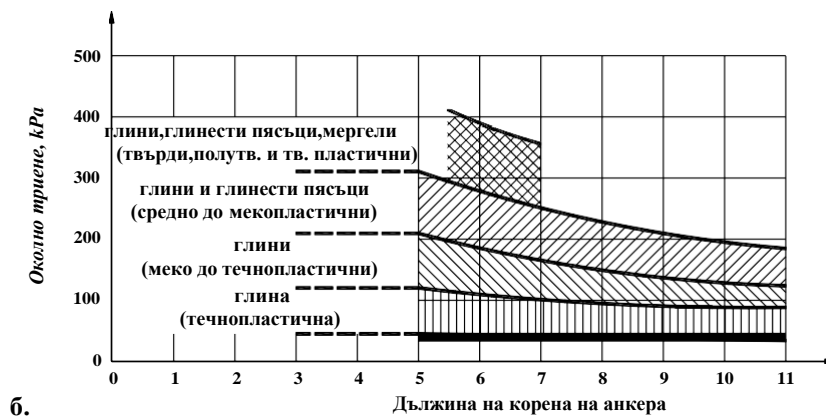
Диаметър на корена $d$ [cm]	$n$
<15	1.2
15-25	1.1
$\geq 25$	1.0
при многократно инжектиране, независимо от диаметъра на корена	1.5-2.0

### 3. ГРАФИКИ НА OSTERMEYER ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $R_a, k$

Графиките показани на фиг. 3 са резултат от множество натурни експерименти на инжекционни анкери [3]. Чрез тях, в зависимост от вида на почвата и дължината на корена, се отчита носещата способност на анкера. Тези графики могат да бъдат използвани като контролни.

Както беше отбелязано дължините на корена на анкера са ограничени в границите 2,0 – 11,0 m. Също така при вторично инжектиране носещата способност нараства с 20 до 50 %.





Фигура 3. Графики на Ostermeyer за определяне на носещата способност на инжекционни анкери: (а) за несвързани почви; (б) свързани почви; (в) свързани почви при повторно инжектиране [3].

#### 4. СЪГЛАСНО ПРЕПОРЪКИТЕ НА АМЕРИКАНСКАТА ПЪТНА АДМИНИСТРАЦИЯ (U.S. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION) ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА $R_a, k$

В резултат от натрупан предишен опит американската пътна администрация дава таблични данни за определяне на носещата способност на корена на анкера. Представената табл. 4 е валидна за анкери със следните параметри: проектно натоварване на анкера между 260 и 1160 kN; диаметър на анкера по- малък от 150 mm; дължина на анкера между 9,0 и 18,0 m; минимална дължина на корена от 3,0 m за въжени анкери и 4,50 m за прътови анкери; наклон на анкера от 10 - 45°; инжектиране под ниско налягане.

Таблица 4: Прогнозна гранична носеща способност на анкера в почви според U.S. FHА [1]

Вид почва	Относителна плътност/ (SPT стойности)	Гранична носеща способност $F_a$ [kN/m]
Пясък с чакъл	Рохък (4-10)	145
	Средно сбит (11-30)	220
	Сбит (31-50)	290
Пясък	Рохък (4-10)	100

	<b>Средно сбит (11-30) Сбит (31-50)</b>	<b>145 190</b>
<b>Пясък с прах</b>	<b>Рохък (4-10) Средно сбит (11-30) Сбит (31-50)</b>	<b>70 100 130</b>
<b>Прахови глини меко до течно пластични, фин слюдест пясък или прахови почви</b>	<b>Плътни (10-20) Твърди (21-40)</b>	<b>30 60</b>

Препоръчва се за определяне на допустимото анкерно проектно натоварване, стойността от табл. 4 да се умножи по дължината на корена на анкера и да се раздели на коефициент на сигурност 2,00.

$$(2) \quad R_{a;k} = F_a \cdot l_k / 2$$

### 5. МЕТОД НА DIN 1054 (2005) ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА Ra,k

Носещата способност на анкери съгласно DIN 1054 [4] се определя по формулата:

$$(3) \quad R_{a;k} = D \cdot k_d \cdot \pi \cdot \tau_{ag} \cdot q_{sk}$$

където  $k_d$  се определя от табл. 5 и отчита подобряването на корена, а  $q_{sk}$  се определя от табл. 6.

**Таблица 5: Коефициент  $k_d$  [4]**

<b>Вид почва</b>	<b><math>k_d</math></b>
<b>Чакъл</b>	<b>2,0</b>
<b>Пясък</b>	<b>1,5</b>
<b>Песъчлива глина, глинест пясък</b>	<b>1,4</b>
<b>Глина</b>	<b>1,3</b>

**Таблица 6: Околно триене  $q_{sk}$  [4]**

<b>Вид почва</b>	<b><math>q_{sk}</math>, [kPa]</b>
<b>Средни до едри чакъли</b>	<b>200</b>
<b>Пясък</b>	<b>150</b>
<b>Песъчлива глина, глинест пясък, глина</b>	<b>100</b>

### 6. МЕТОД НА ЯПОНСКАТА ПЪТНА АСОЦИАЦИЯ (JAPAN ROAD ASSOCIATION) ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА Ra,k

В резултат от натрупан опит японската пътна асоциация [5] дава таблични данни и следната формула за определяне на носещата способност на корена на анкера.

$$(4) \quad R_{a;k} = D \cdot \pi \cdot \tau_{ag} \cdot l_k / 2,5$$

**Таблица 7: Определяне на  $\tau_{ag}$  метода на JRA [5]**

<b>Вид земна основа</b>		<b><math>\tau_{ag}</math> [kPa]</b>	
<b>Скала</b>	<b>Твърда скала</b>	<b>150 - 250</b>	
	<b>Мека скала</b>	<b>100 - 150</b>	
	<b>Изветряла скала</b>	<b>60 - 100</b>	
	<b>Шисти</b>	<b>60 - 120</b>	
<b>Пясък и чакъл</b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>10</b>	<b>10 - 20</b>
		<b>20</b>	<b>17 - 25</b>
		<b>30</b>	<b>25 - 35</b>

		<b>40</b>	<b>35 – 45</b>
		<b>50</b>	<b>45 – 70</b>
<b>Пясък</b>	<b>Nspt</b>	<b>10</b>	<b>10 – 14</b>
		<b>20</b>	<b>18 – 22</b>
		<b>30</b>	<b>23 – 27</b>
		<b>40</b>	<b>29 – 35</b>
		<b>50</b>	<b>30 - 40</b>
<b>Свързани почви</b>	<b>Кохезия c [kPa]</b>	<b>10·c</b>	

### 7. ЧИСЛЕН ПРИМЕР ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА КОРЕНА НА АНКЕРА.

За сравнение на стойностите, които се получават при определяне на носещата способност на анкери по различните методи е решен числен пример. Да се определи носещата способност на анкер  $R_{a,k}$ . Коренът е с дължина 5,00 m и диаметър 0,15 m. Изпълнен е на дълбочина 10,00 m. Инжектиране еднократно, гравитачно, в пласт средно до твърдопластични нормалноуплътнени плеоценски глини със следните параметри:  $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ ;  $\varphi_k' = 28^\circ$ ;  $c_k' = 10 \text{ kN/m}^2$ ; СРТ ( $q_c=7500 \text{ kPa}$  и  $f_s=120 \text{ kPa}$ ).

Получените резултати са обобщени в табл. 8.

**Табл. 8. Обобщени резултати за носещата способност на анкер  $R_{a,k}$**

Метод	$R_{a,k}$ [kN]
<b>JRA</b>	<b>94,20</b>
<b>U.S. Federal Highway Administration</b>	<b>150,00</b>
<b>Класически метод</b>	<b>174,28</b>
<b>DIN 1054</b>	<b>306,15</b>
<b>Графики на Ostermeyer</b>	<b>565,20</b>

### ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

Въпросът с определяне на носещата способност на анкери не е еднозначно решен. Както се вижда от решения числен пример, разсейването на резултатите е значително (до 5 пъти разлики при различните методи). Тези резултати потвърждава необходимостта от пробно натоварване на анкерите за установяване на тяхната действителна носеща способност. Подобно пробно натоварване в строителната практика се прави рядко, а както се вижда от статията, то е абсолютно задължително с оглед безаварийната работа на съоръженията.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ground anchors and anchored systems, Federal Highway Administration, P.J. Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus, 1999
- [2] Наръчник по земна механика и фундиране, Г. Стефанов и колектив, 1989 г.
- [3] Research on ground anchors in non-cohesivesoils, Ostermayer H., F. Scheele
- [4] DIN 1054 <http://www.anker-system.com/atlant-ground-anchors/#Calculation>
- [5] Manual for slope protection, Japan road association, 1999