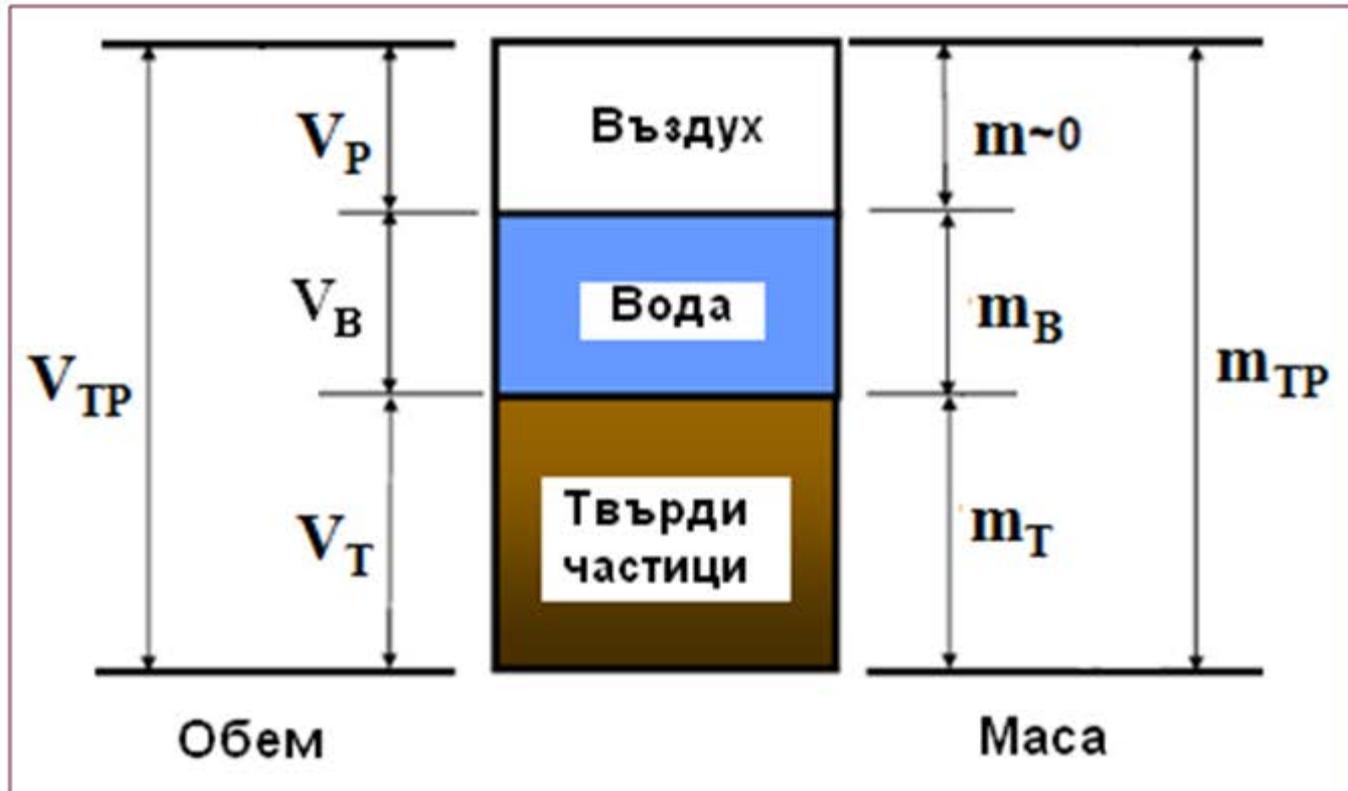


# ЗЕМНО-МЕХАНИЧНИ АСПЕКТИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕТО И ЕКСПЛОАТАЦИЯТА НА ЯЗОВИРНИТЕ СТЕНИ

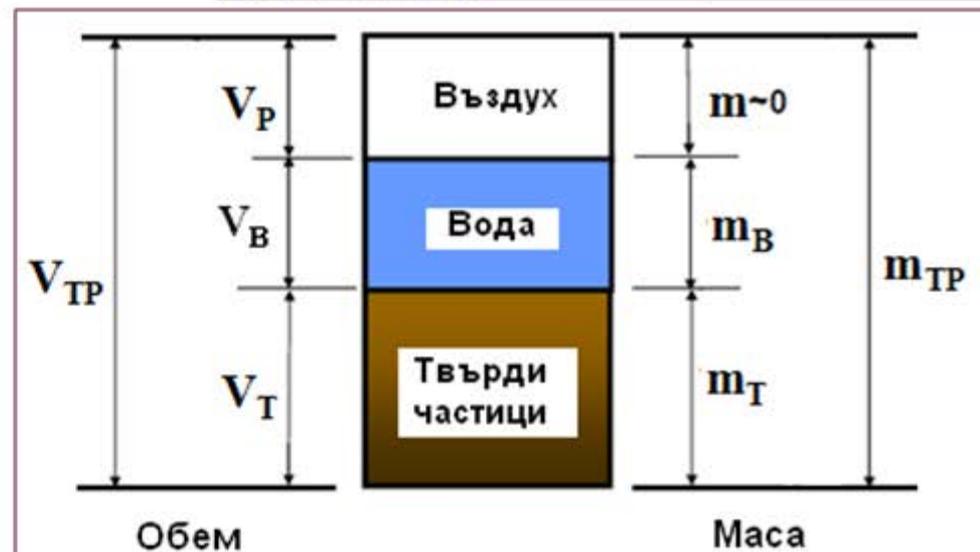
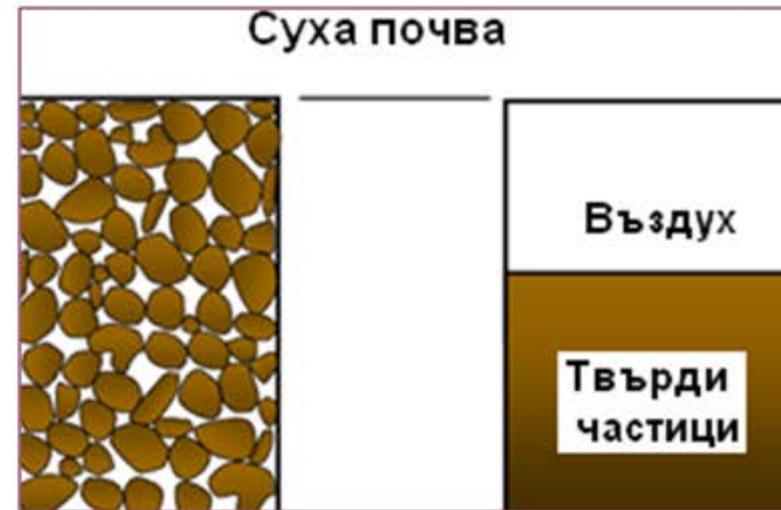
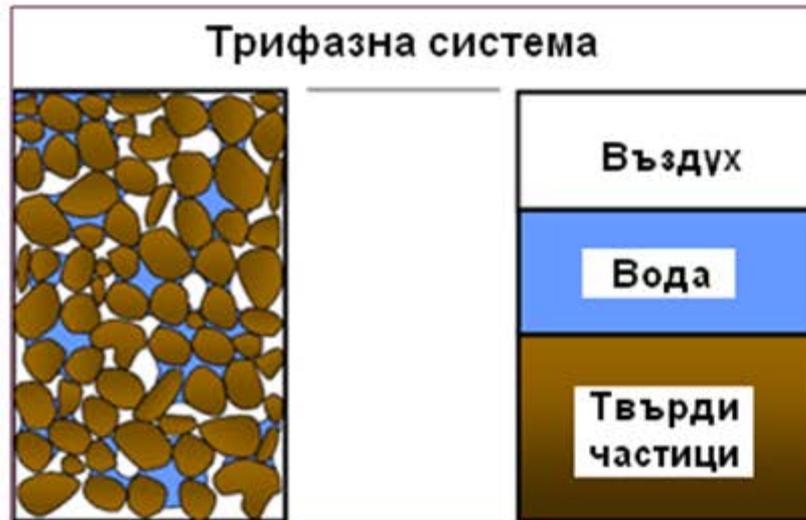


Проф. д-р инж. ВАНГЕЛ ВАСИЛЕВ

# Анализ на механичното поведение на почвите

## I. Основни физични свойства на почвите

### I.1 Състав



# Анализ на механичното поведение на почвите

## I. Основни физични свойства на почвите

### I.2 Основни зависимости (1-3)

Почва	Най – вероятна плътност $t/m^3$
Пясък, едрозърнести почви	2,65 - 2,67
Праховиден пясък, пясъклива глина	2,68 - 2,72
Глинест пясък	2,69 - 2,73
Глина	2,71 - 2,76

- $m_T$  — маса на тв. частици на суха почва в единица обем почва;
- $m_{TP}$  — обща маса на почвата в единица обем почва;
- $m_B$  — масата на водата в порите;
- $V_T$  — обем на тв. частици в единица обем почва;
- $V_{TP}$  — единичен обем на почвата;
- $V_P$  — обем на порите.

# Анализ на механичното поведение на почвите

## I. Основни физични свойства на почвите

### I.2 Основни зависимости (2-3)

- Плътност на частиците на почвата  $\rho_s$ :

$$\rho_s = \frac{m_T}{V_T}$$

- Плътност на почвата  $\rho_{TP}$ :

$$\rho_{TP} = \frac{m_{TP}}{V_{TP}} = \frac{m_T + m_B}{V_T + V_p}$$

- Влажност на почвата  $w$ :

$$w = \frac{m_B}{m_T} = \frac{m_{TP} - m_T}{m_T}$$

- Плътност на скелета:

$$\rho_{sk} = \frac{m_T}{V_{TP}}$$

- Обемно тегло на скелета:

$$\gamma_{sk} = \rho_{sk} \cdot g = \frac{\gamma_{TP}}{1 + w}$$

# Анализ на механичното поведение на почвите

## I. Основни физични свойства на почвите

### I.2 Основни зависимости (3-3)

- Пористост:

$$n = \frac{V_p}{V_{TP}} = 1 - \frac{\gamma_{sk}}{\gamma_{sp}} = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}$$

- Коэффициент на порите:

$$\varepsilon = \frac{V_p}{V_T} = \frac{\gamma_{sp} - \gamma_{sk}}{\gamma_{sk}}$$

- Объемно тегло на почва под вода:

$$\gamma_{p.woda} = \frac{\gamma_{sp} - \gamma_w}{1 + \varepsilon} = \gamma_{sk} - \frac{\gamma_{sk}}{\gamma_{sp}} \gamma_w$$

- Объемно тегло на водонаситена почва:

$$\gamma_{vna} = \gamma_{sk} + n\gamma_w = \frac{\gamma_b}{1 + w} + \frac{\varepsilon\gamma_w}{1 + \varepsilon}$$

където:  $V_p$  е обемът на порите в единица обем почва;  $\gamma_w$  е обемното тегло на водата.

## II. Класификация на почвите

(1-6)

### II.1 По степен на свързаност на отделните частици:

- несвързани

- свързани почви

### II.2 По зърнометричен състав

### II.3 По съдържание на глинести частици

Почви	Съдържание на частици	
	Големина mm	% по маса
<b>А. Едрозърнести</b> Валуни	> 200	> 50
Баластра	> 10	> 50
Чакъл	> 2	> 50
<b>Б. Пясъци</b> Чакълести	> 2	> 25
Едри	> 0,50	> 50
Средни	> 0,25	> 50
Дребни	> 0,10	≥ 75
Праховидни	< 0,10	> 75
<b>С. Глина</b>	< 0,005	

Почва	Съдържание на глинести частици с размер < 0,005 mm в % по маса
Глина	> 30
Глинест пясък	30 - 10
Песъклива глина	10 - 3
Пясък	< 3

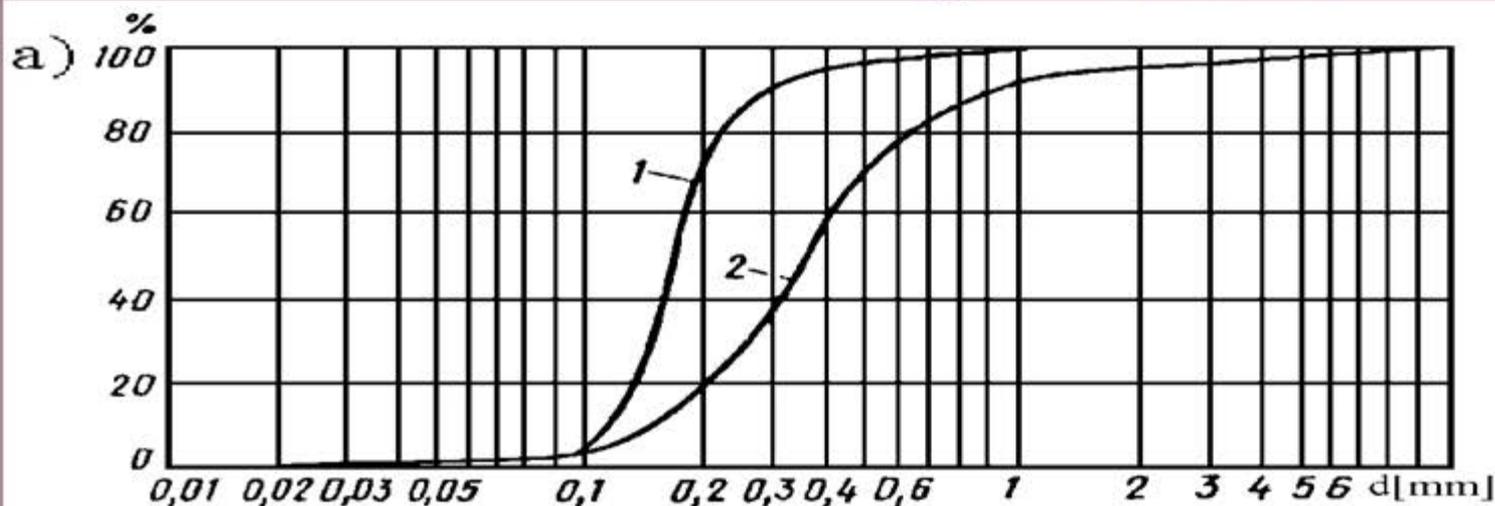
## II.2 По зърнометричен състав

Зърнометрични криви (Зарецкий, 1988):

### а) пясъкливи почви

1 – ситен пясък;

2 – среднозърнест пясък.



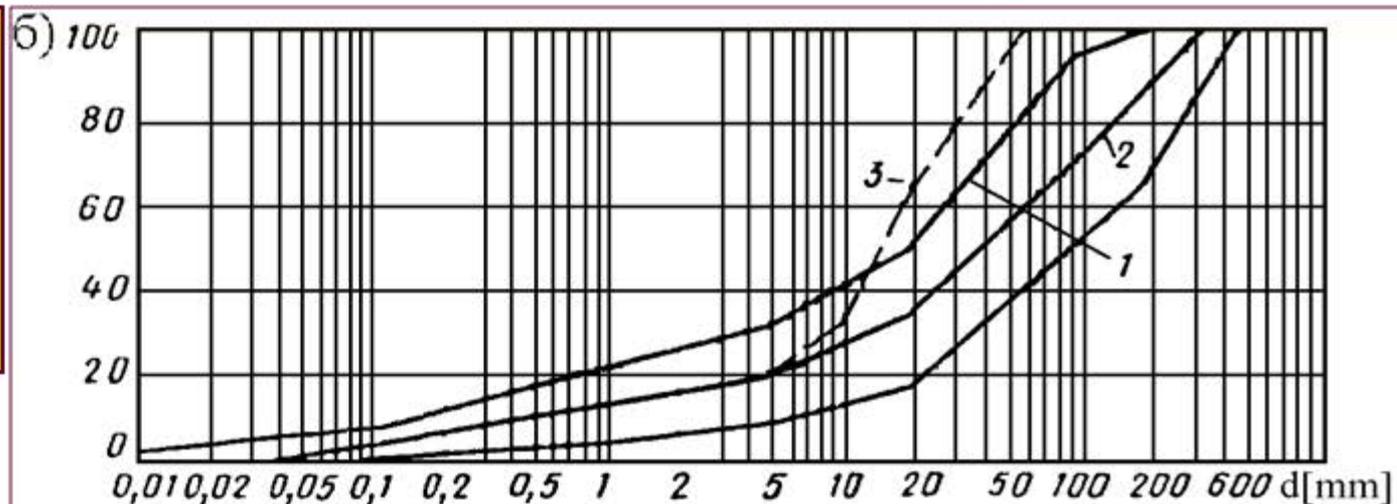
Зърнометрични криви:

### б) баластра

1 – гранични криви;

2 – средна крива

3 – моделна смес.



### II.4 По степен на еднородност (за несвързани почви):

в зависимост от коефициента на нееднородност

$$K_H = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

**където:**  $d_{60}$  и  $d_{10}$  са диаметрите на частиците, по-малки от които се съдържат в почвата съответно 60% и 10% по маса.

при  $K_H \leq 3$  почвата е еднородна;

при  $K_H > 3$  почвата е нееднородна.

## II. Класификация на почвите

(4-6)

**II.5 По плътност** (Критерий на Терцаги, коефициентът на относителна плътност  $I_D$ ):

$$I_D = \frac{\varepsilon_{max} - \varepsilon}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}}$$

където:  $\varepsilon_{max}$  = коефициентът на порите при пределно рохко състояние;  
 $\varepsilon_{min}$  = коефициентът на порите при пределно плътно състояние;  
 $\varepsilon$  = действителното значение на коефициента на порите.

– Според  $I_D$  пясъците са: рохки ( $I_D \leq 0.33$ ), средноплътни ( $0,33 < I_D < 0.66$ ) и плътни ( $I_D > 0.66$ ).

– Опорните призми на насипните язовирни стени се характеризират с  $I_D > 0.90$ .

**За практически цели:**  $I_D = P / P_{max}$ ,

където:  $P$  = плътността на даден насип;

$P_{max}$  = плътността на насипа при максимално виброуплътнение.

### II.6 По консистенция (за глинестите почви):

- твърдо
- пластично
- течно състояние.

Число на пластичност  $I_p = W_T - W_p$

Показател на консистенцията  $I_L = (W - W_p) / (W_T - W_p)$

**където:**

$W_T$  е влажността, при която почвата преминава от пластично в полутечно състояние;

$W_p$  е влажността, при която почвата преминава от пластично в твърдо състояние.

### II.7 Според числото на пластичност $I_p$ %

Почва	$I_p$ %
Глинест пясък	$< 7$
Песъклива глина	$7 \div 17$
Постна глина	$17 \div 30$
Нормална глина	$30 \div 60$
Мазна глина	$60 \div 100$
Много мазна глина	$> 100$

### II.8 Според показателя на консистенцията $I_L$

Глинест пясък	$I_L$
Твърд	0
Пластичен	$0 \div 1$
Течен	1

Глина и песъклива глина	$I_L$
Твърда	0
Полутвърда	$0 \div 0,25$
Твърдопластична	$0,25 \div 0,50$
Мекопластична	$0,50 \div 0,75$
Течнопластична	$0,75 \div 1$
Течна	1

# III. Механични свойства на несвързаните почви

## III.1 Деформируемост

(1)

► За несвързаните почви са характерни два вида основни деформации:

- **структурни**
- **еластични.**

► **Еластичните деформации** зависят от необратимите деформации на самите частици.

В общия случай еластичните деформации могат да бъдат:

- **линейни**
- **нелинейни.**

► **Дребнозърнести почви**

Процесът на деформиране протича бързо чрез пренареждане на частиците.

► **Едрозърнести почви и Каменен насип**

Разрушение на контактите, промяна на структурата вследствие разрушение на частици и преразпределение на товара между новополучените контактни точки.

► **Компресионни свойства** на несвързаните почви в тялото на насипните язовирни стени - **одометър**

**НДС на образеца в одометъра:**

$$\sigma_1 = \sigma_z = \frac{4P}{\pi D^2}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_x = \xi \cdot \sigma_z$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_z = \frac{dh}{h_0}$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$$

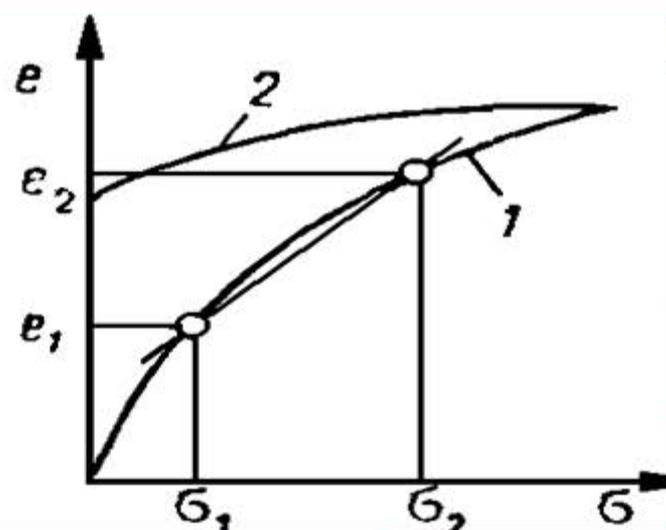
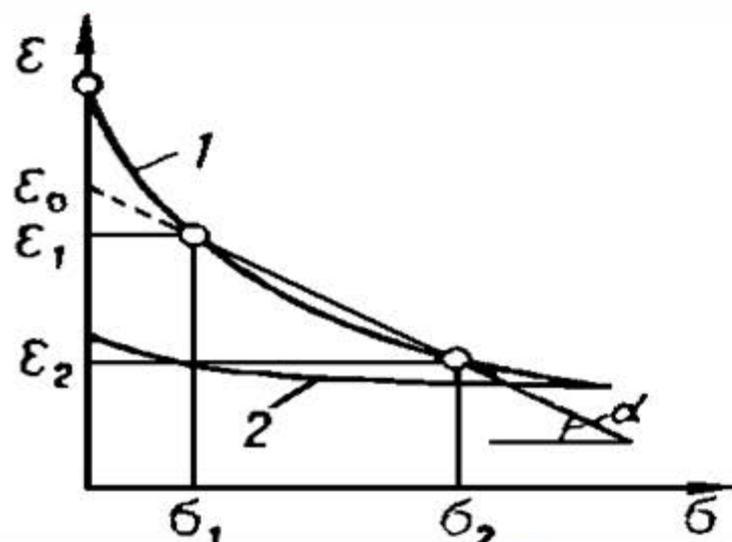
**където:** **P** е силата, приложена осово върху образеца;

**D** е диаметърът на одометъра;

**dh** е намалението на височината на пробата по време на изпитване;

$\xi = \sigma_3 / \sigma_1$  е коеф. на страничен натиск, който за едрозърнести почви има стойности  $\xi = 0,25 - 0,35$ , а за пясъци  $\xi = 0,35 - 0,40$ .

► Графики на зависимостите  $\varepsilon = f_1(\sigma)$  и  $e = f_2(\sigma)$



Компресионен  
модул:

$$E_K = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{e_2 - e_1}$$

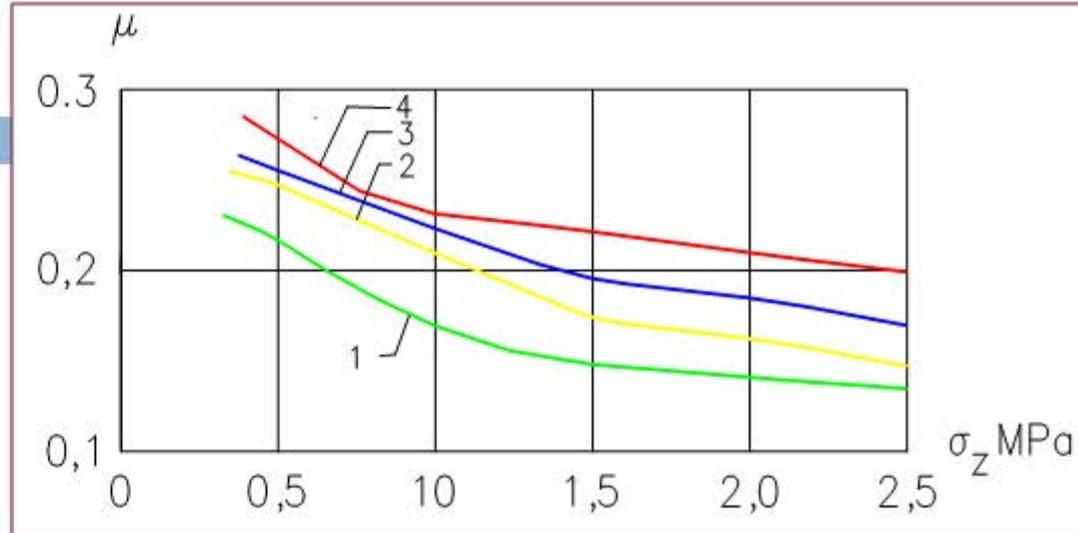
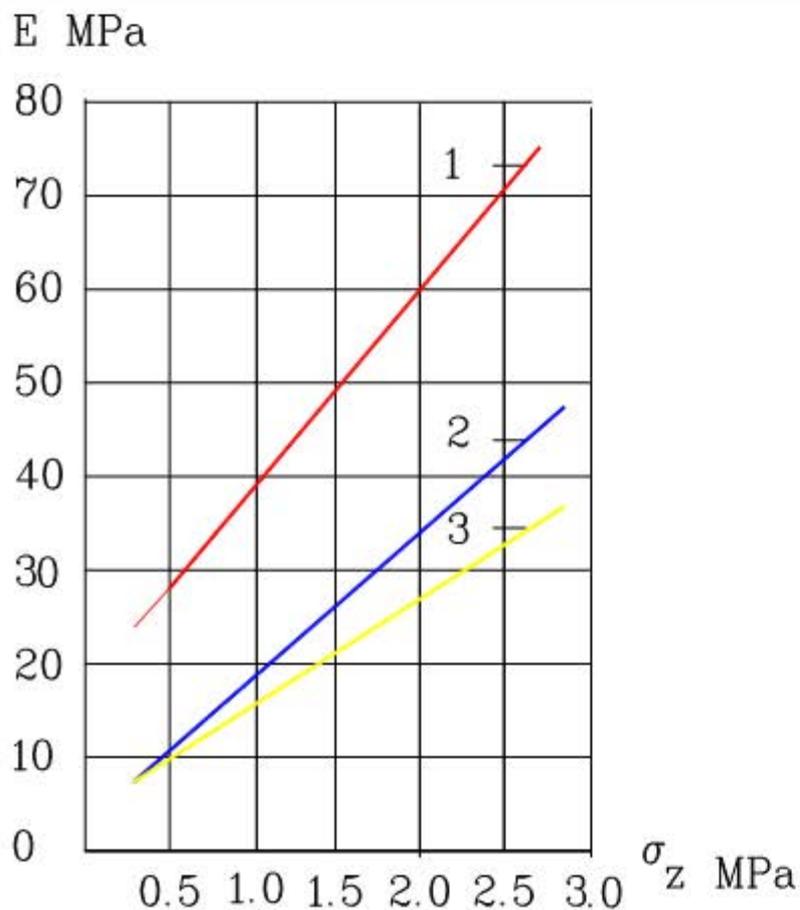
Модул на деформация:  $E^D = \beta \cdot m_c \cdot m_k \cdot E_K$

$$\beta = \frac{(1 - \xi)(1 + 2\xi)}{1 + \xi} = \frac{1 - \mu^2}{1 - \mu}$$

**където:**  $m_c$  е коефициент, равен на **1** за съоръжения с широчина по – малка от 20 m или площ в план по – малка от 500 m<sup>2</sup>;

**m = 1,5** за съоръжения с размери по – големи от тези;

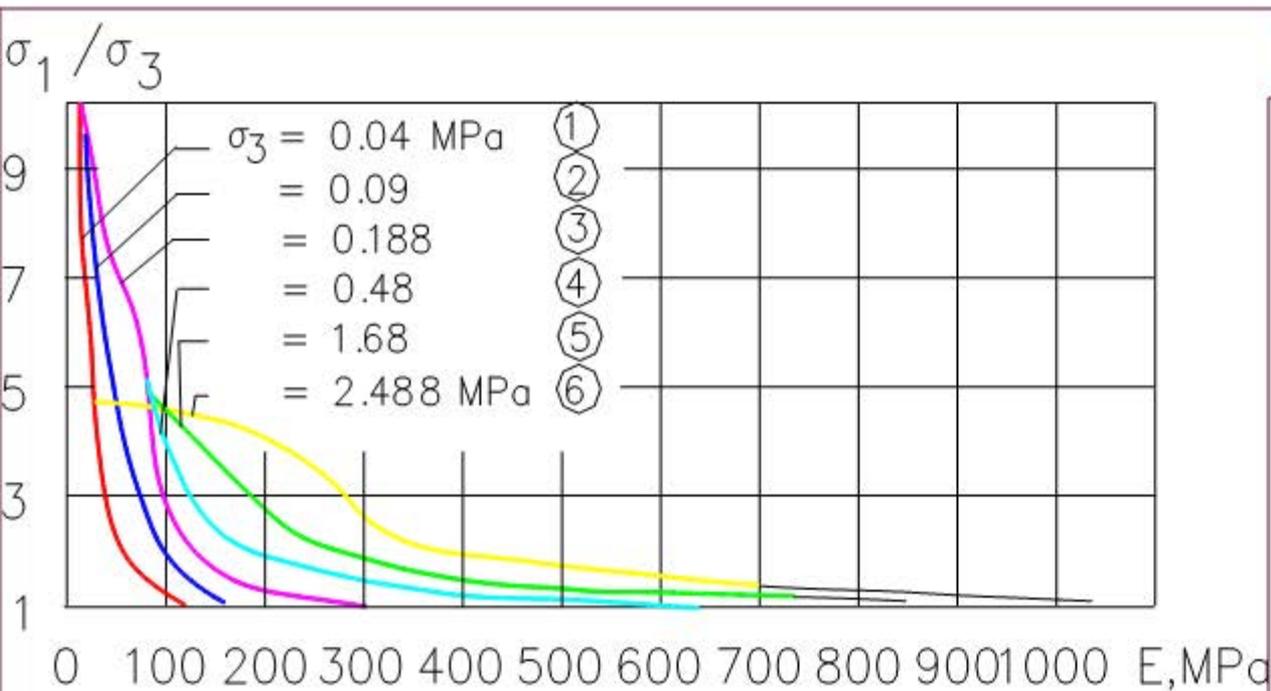
**m<sub>k</sub>** е коефициент, който за несвързани почви и пластични глини е равен на **1**, за глинести почви с твърда и полутвърда консистенция се изменя от **4** до **2**, в зависимост от коефициента на порите.



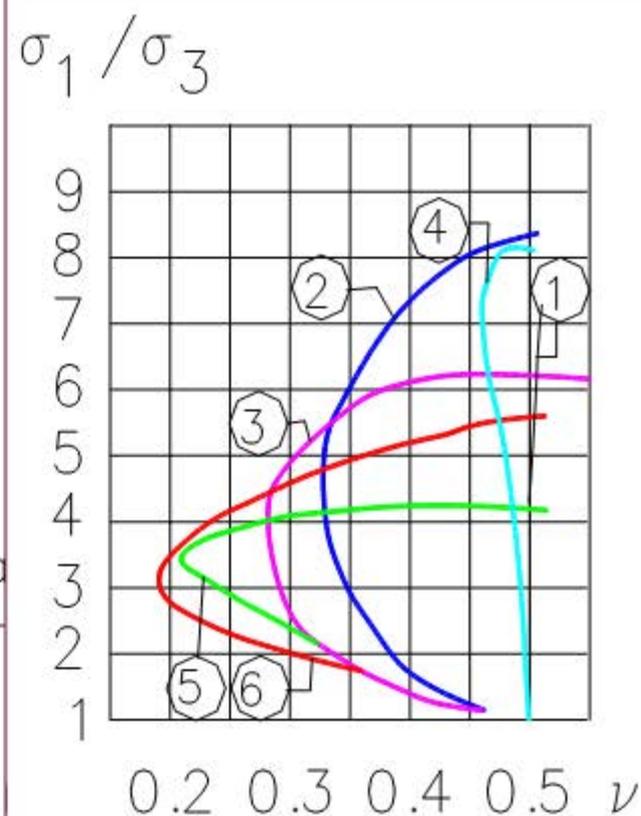
- 1 - сух, уплътнен насип,
- 2 - водонаситен уплътнен насип,
- 3 - сух, неуплътнен насип,
- 4 - водонаситен неуплътнен насип

Графики на функцията  $\nu = f(\sigma_z)$  за насип от конгломерат

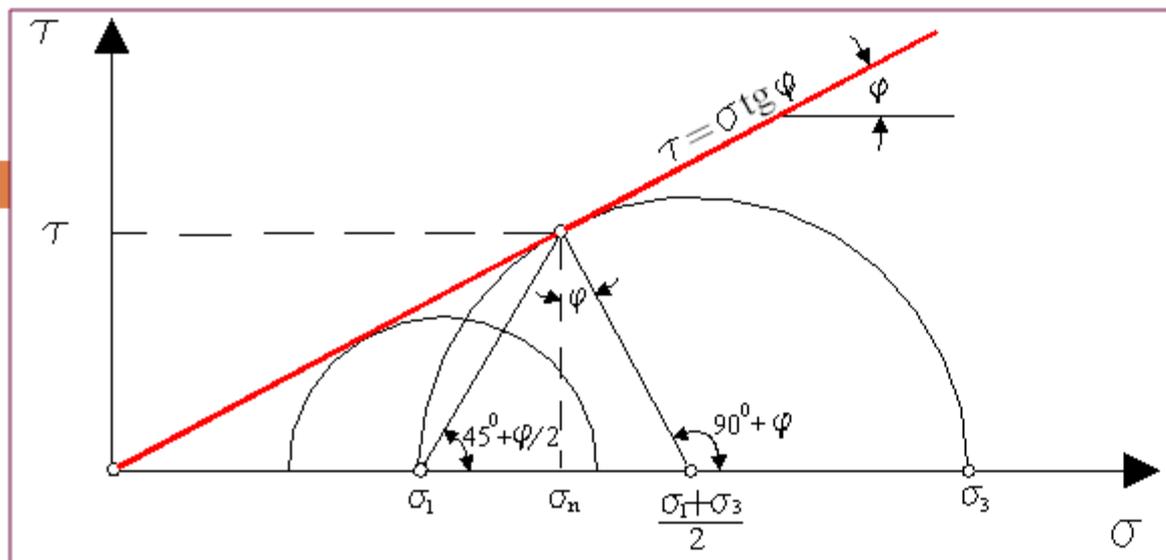
Графики на функцията  $E = f(\sigma_z)$  за насип от конгломерат



Графики на функциите  $E = f(\sigma_1, \sigma_3)$  за насип от конгломерат ( $d_{\max} = 200 \text{ mm}$ ,  $I_D = 0.90$ ).



Графики на функциите  $\nu = f(\sigma_1, \sigma_3)$  за насип от конгломерат ( $d_{\max} = 200 \text{ mm}$ ,  $I_D = 0.90$ ).



$$\tau_{\text{гр}} = \sigma_n \cdot \text{tg } \varphi$$

$$\sin \varphi = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 + \sigma_3}$$

### Критерий за разрушение на несвързани почви

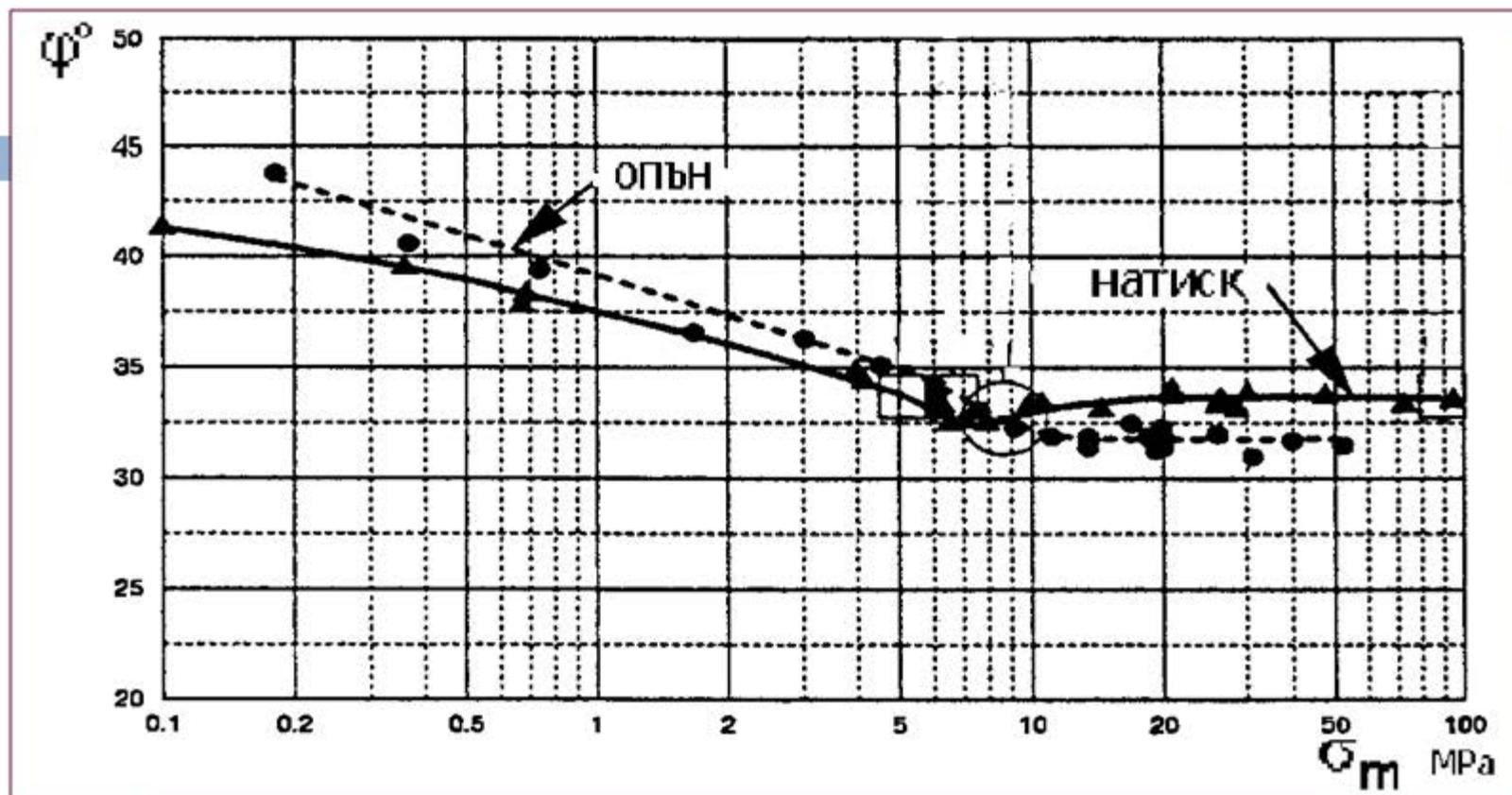
#### Гордиенко:

За чакълесто–баластрени почви :  $\varphi(\sigma) = \varphi_0 - 5 \lg (\sigma_n / \sigma_0)$  (1)

За **каменен насип** от материали, добити чрез взривяване в каменни кариери:

$$\varphi(\sigma) = \varphi_0 - 9 \lg (\sigma_n / \sigma_0)$$
 (2)

**където:**  $\varphi_0$  е ъгълът на вътрешно триене при  $\sigma_3 = 0$ ;  
 $\sigma_n = 2\sigma_1\sigma_3 / (\sigma_1 + \sigma_3)$  е нормалното напрежение в  
 площадката на срязване;  $\sigma_0 = 0,20 \text{ MPa}$ .



► При напрежения  $\sigma_m \geq 6$  МРа,

$$\varphi_{\sigma m} = \varphi_{\sigma m=6\text{MPa}} = \text{const.}$$

► За пясъкливо – чакълесто – баластрени почви, подложени на напрежения до  $5 \div 6$  МРа е валидна формула (1)

## IV. Механични свойства на свързаните почви (1)

▶ **Деформационните и якостните свойства на глинестите почви зависят от:**

- зърнометричен състав;
- минерален състав;
- плътност на скелета;
- влажност и пластичност.

▶ **Основните изводи относно деформируемостта и якостта на несвързаните почви са в сила и при свързаните почви !!!**

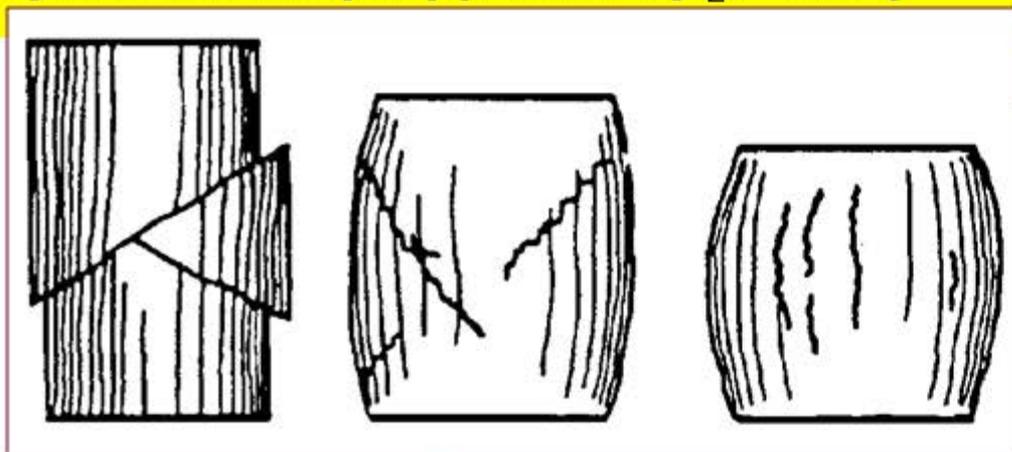
▶ **Основните разлики в поведението при натоварване на свързаните почви** се дължат на характерните за тях:

- сцепление;
- якост на опън;
- вискозо–пластична компонента на деформациите;
- наличие на порово налягане.

## IV. Механични свойства на свързаните почви (2)

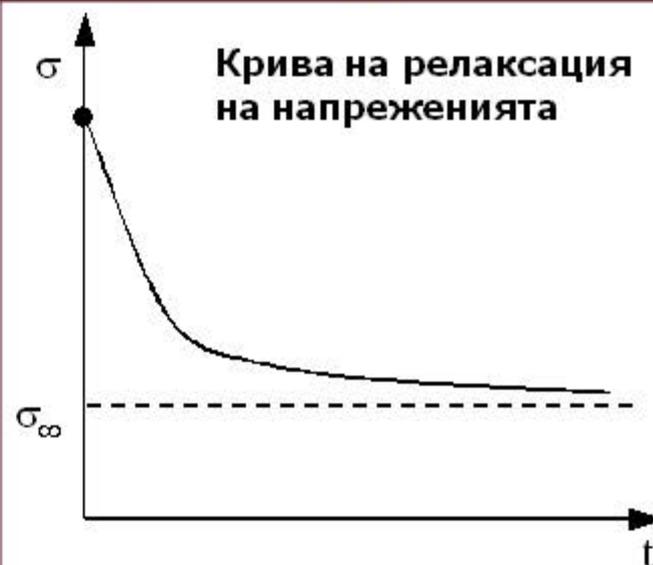
### ► Видове разрушение на глинести почви

- а) крехко разрушение (за гл. почви с показател на консистенция  $I_L < 0,25$ )
- б) крехко – пластично разрушение ( $0,25 < I_L < 0,50$ );
- в) пластично разрушение ( $I_L > 0,50$ )



### ► Реологични процеси, вискозо–пластичност

- Пълзене на почвите,
- Дълговременна якост
- Релаксация на напреженията.



# Използвана литература

Василев, В. (2001), Дисертация за присъждане на научна степен "Доктор на техническите науки" на тема: "Моделиране на напрегнатото състояние на масивни хидротехнически съоръжения по метода на крайните елементи."

ГОЛЬДИН А. Л., Л. Н. РАССКАЗОВ, 1987. *Проектирование грунтовых плотин*, Энергоатомиздат, Москва.

ЗАРЕЦКИЙ Ю. К., 1988. *Вязко - пластичность грунтов и расчеты сооружения*, Стройиздат, Москва.

РОЗАНОВ Н.Н., 1983. *Плотины из грунтовых материалов*, Стройиздат, Москва

JANSEN, R. V., 1988. *Advanced dam engineering*, Van Nostrand Reinhold, New York.