



Studijski program:

**GRAĐEVINARSTVO**

Modul:

**Zajedničke osnove**

Godina/Semestar:

**2. godina / 4. semestar**

Naziv predmeta (šifra):

**MEHANIKA TLA (B3O2MT)**

Asistent:

**Milena Raković**

Naslov vežbi:

**KVANTITATIVNI POKAZATELJI TLA**

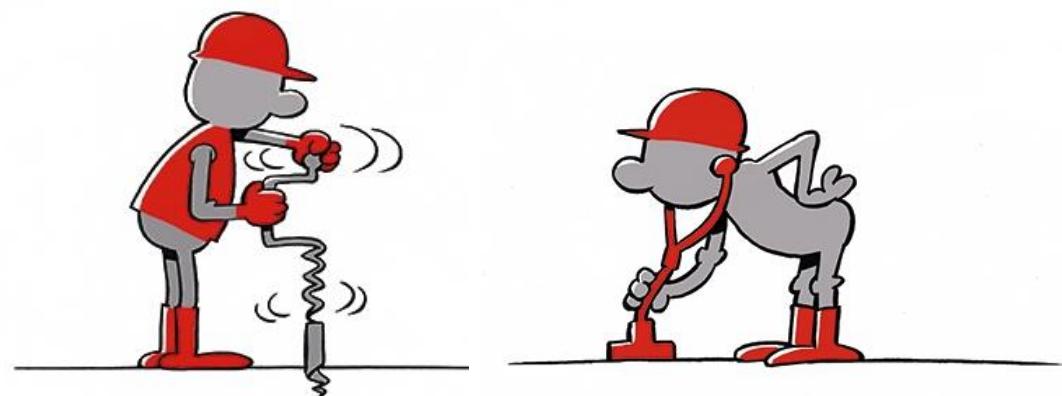
**ZBIJENOST TLA**

Datum:

**4-8.3.2024.**

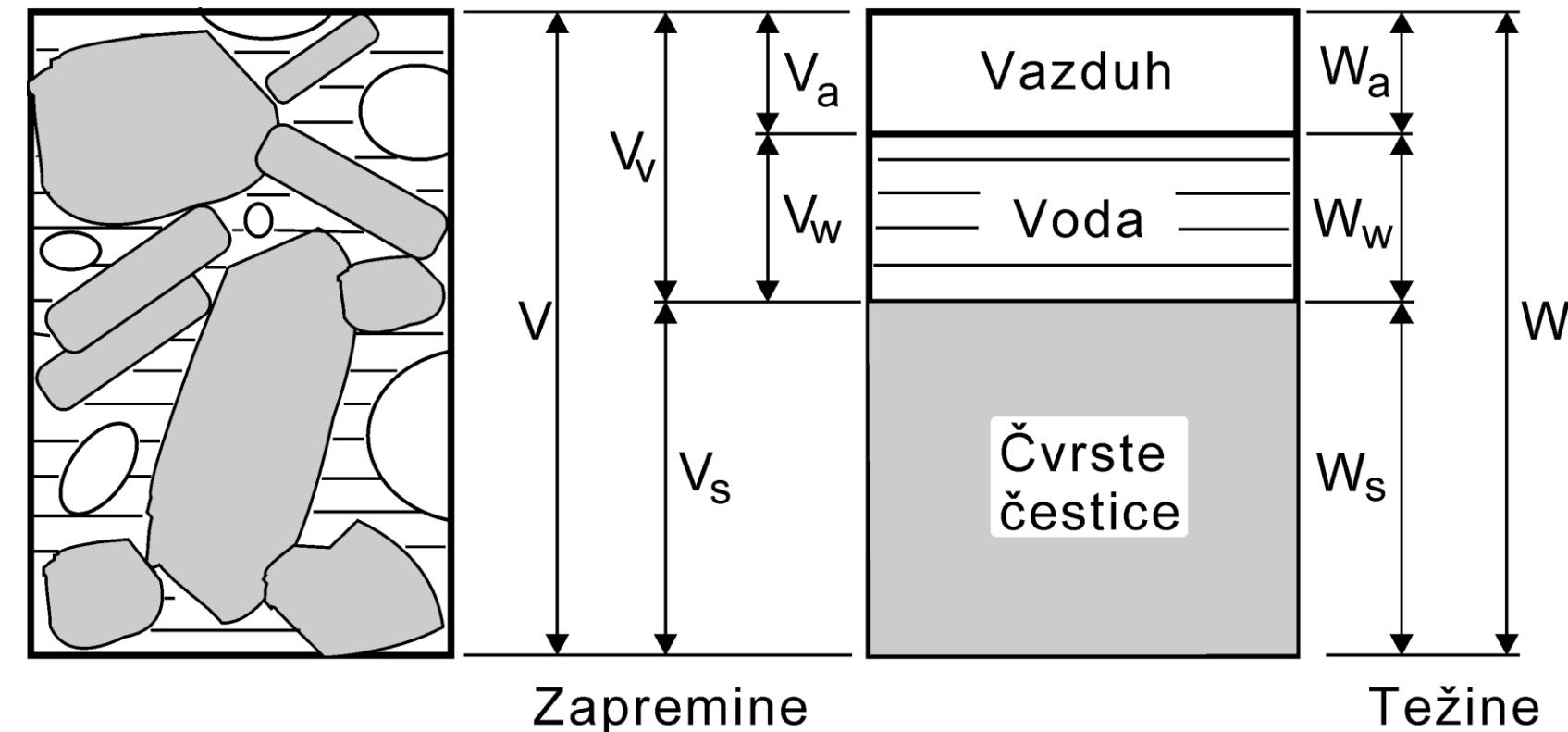
*Beograd, 2024.*

# KVANTITATIVNI POKAZATELJI TLA ZBIJENOST TLA



## KVANTITATIVNI POKAZATELJI TLA

- Sa građevinske tačke gledišta, tlo je prirodna mešavina mineralnih zrna, koja se mogu razdvojiti mehaničkim postupkom.
- Tlo je, najčešće, necementirani skup granularnog (zrnastog) materijala mineralnog i organskog porekla.
- **Tlo se sastoji od tri faze:**
  - čvrsta zrna
  - voda
  - vazduh
- **Suvo stanje** – sve pore ispunjene vazduhom
- **Zasićeno stanje** – sve pore ispunjene vodom



## VRSTE TLA

### ➤ KRUPNOZRNA TLA:

- Blokovi
- Obluci (drobina)
- Šljunak
- Pesak



Nevezana, nekoherentna

### ➤ SITNOZRNA TLA:

- Prašina
- Glina



Vezana, koherentna

### ➤ ORGANSKA TLA



## KVANTITATIVNI POKAZATELJI TLA

- Relativno učešće navedenih faza u masi tla opisuje se odgovarajućim pokazateljima.

1. Specifična težina (relativna gustina)  $G_s$

→ LABORATORIJSKI SE ODREĐUJE

2. Zapreminska težina čvrstih čestica  $\gamma_s$  [ $\text{kN/m}^3$ ]

3. Zapreminska težina tla  $\gamma$  [ $\text{kN/m}^3$ ]

→ LABORATORIJSKI SE ODREĐUJE

4. Zapreminska težina tla u suvom stanju  $\gamma_d$  [ $\text{kN/m}^3$ ]

5. Zapreminska težina tla u zasićenom stanju  $\gamma_z$  [ $\text{kN/m}^3$ ]

6. Zapreminska težina tla u potopljenom stanju  $\gamma'$  [ $\text{kN/m}^3$ ]

7. Vlažnost  $W$  [%]

→ LABORATORIJSKI SE ODREĐUJE

8. Vlažnost u zasićenom stanju  $W_z$  [%]

9. Poroznost (relativna poroznost)  $n$

10. Koeficijent poroznosti  $e$

11. Stepen zasićenja  $S_r$  [%]

## ODREĐIVANJE SPECIFIČNE TEŽINE TLA

- Specifična težina (relativna gustina) je odnos jedinične težine čvrstih čestica i jedinične težine vode.

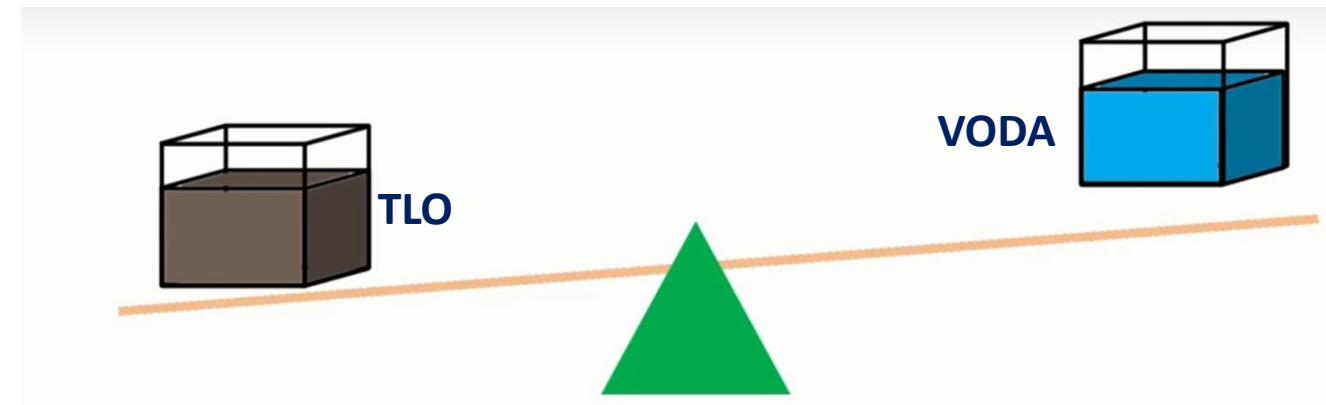
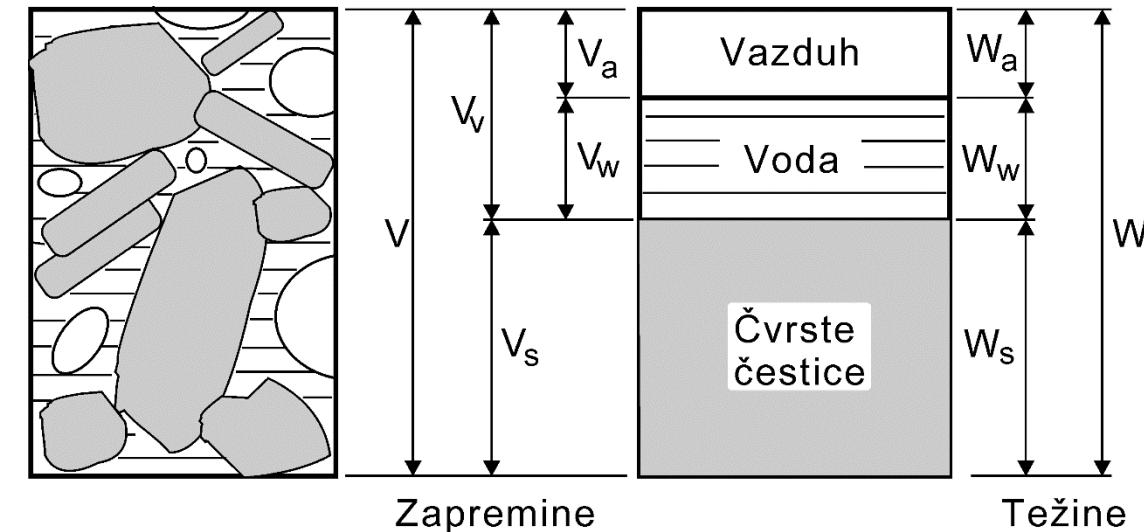
$$G_s = \frac{W_s / V_s}{\gamma_w} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Za pirodna tla (najčešće):  $G_s=2.6-2.8$

Za organska tla:  $G_s < 2$

Voda:  $G_s \approx 1$

- Određuje se metodom PIKNOMETRA (postupak će biti objašnjen na laboratorijskim vežbama)

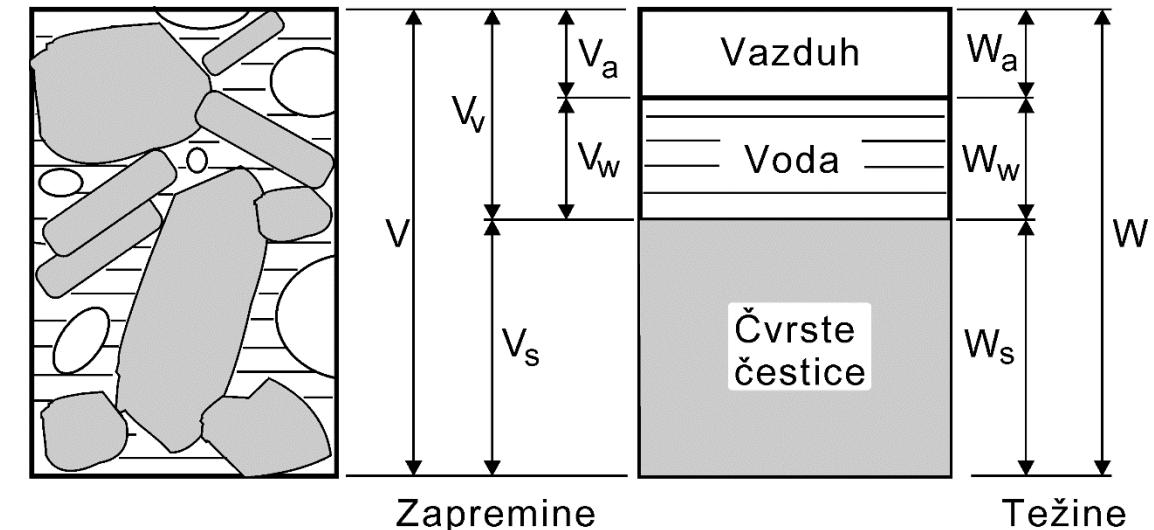


U ISTOJ  
ZAPREMINI

## ODREĐIVANJE ZAPREMINSKOJE TEŽINE TLA

- Zapreminska težina tla je odnos ukupne težine uzorka  $W$  i njegove zapremine  $V$ :

$$\gamma = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \quad [kN / m^3]$$

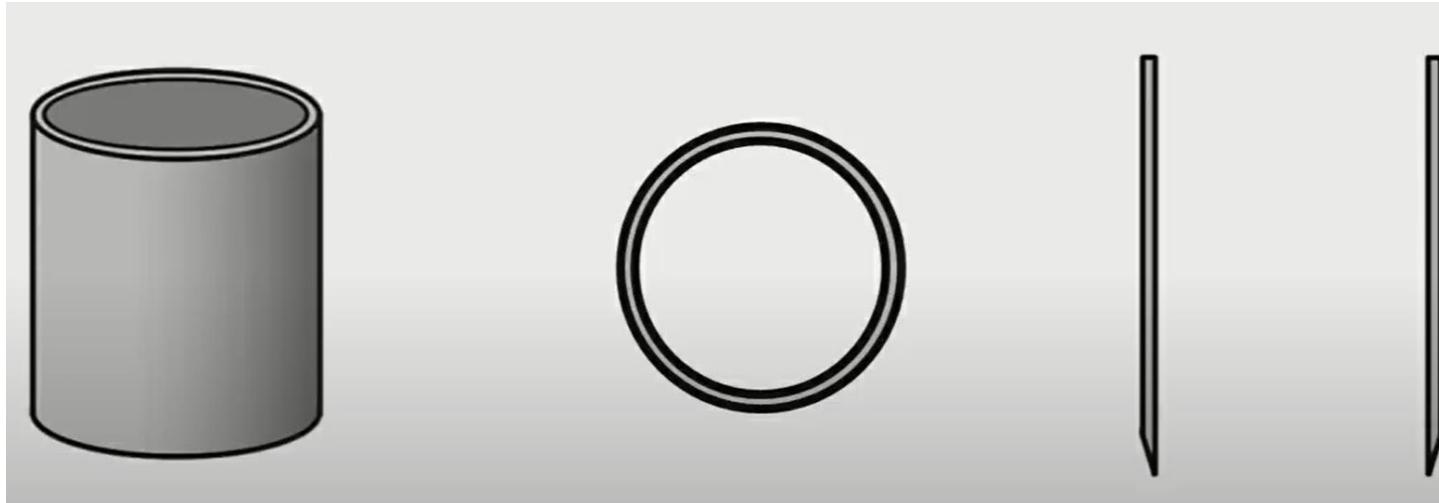


- Metode za određivanje zapreminske težine:

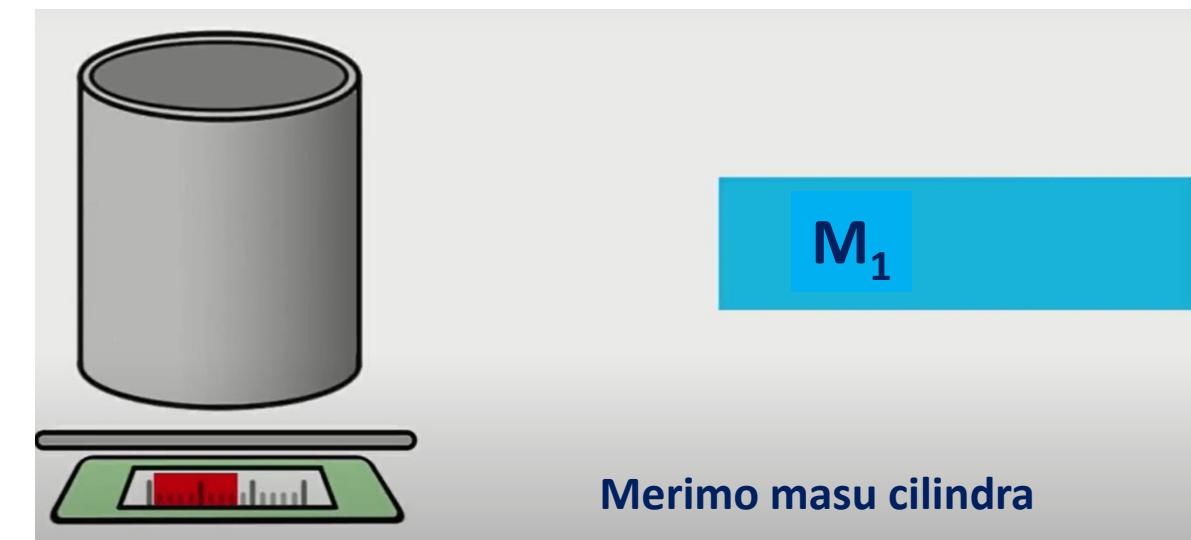
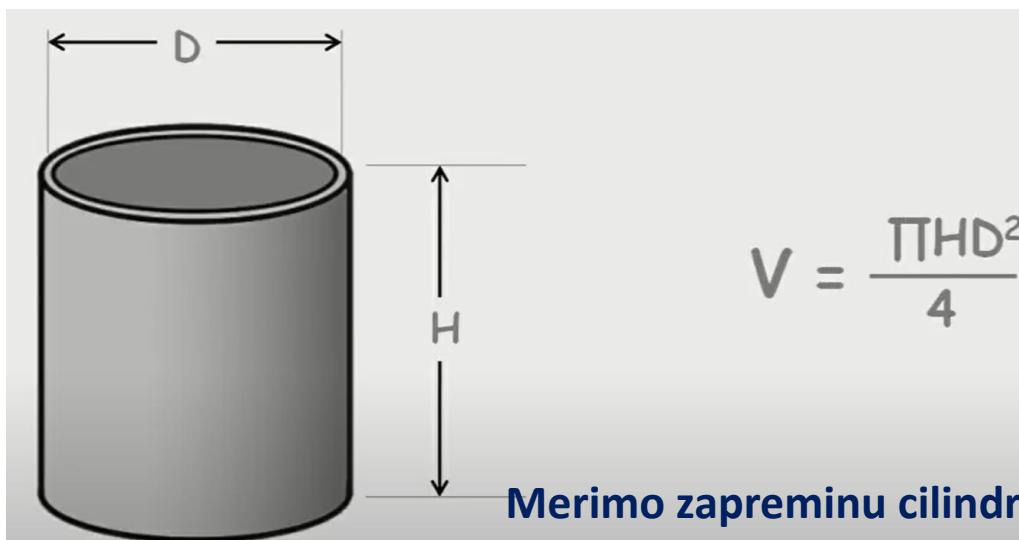
- **Metoda linearog merenja** – cilindrični ili prizmatični uzorak (Sitnozrno tlo)
- **Metoda sa potapanjem u vodu** (Sitnozrno tlo)
- **Metoda sa gumenom membranom** (Krupnozrno tlo)
- **Metoda sa kalibriranim peskom** (Krupnozrno tlo)

# ODREĐIVANJE ZAPREMINSKЕ TEŽINE TLA

## Metoda cilindra poznate zapremine



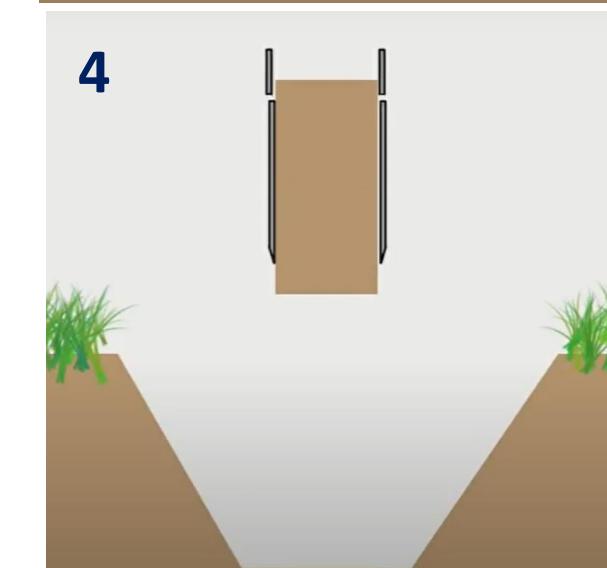
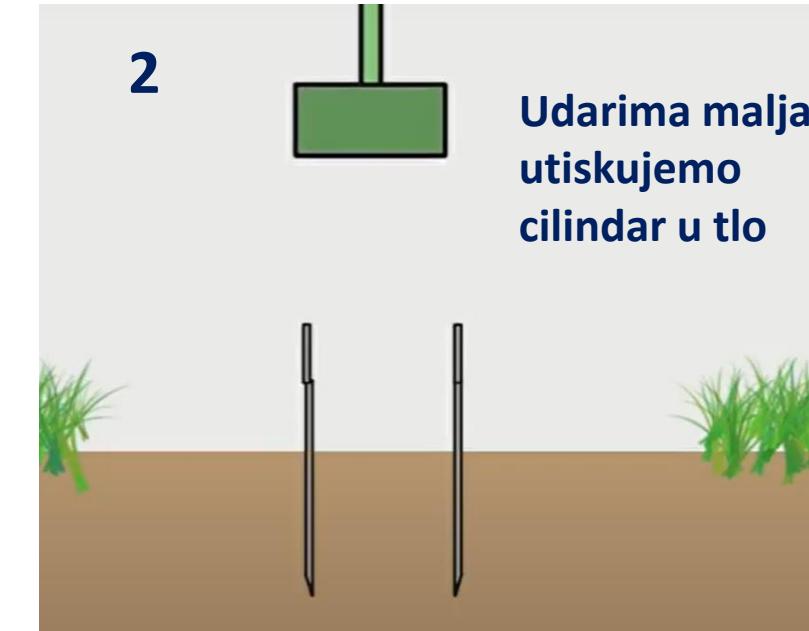
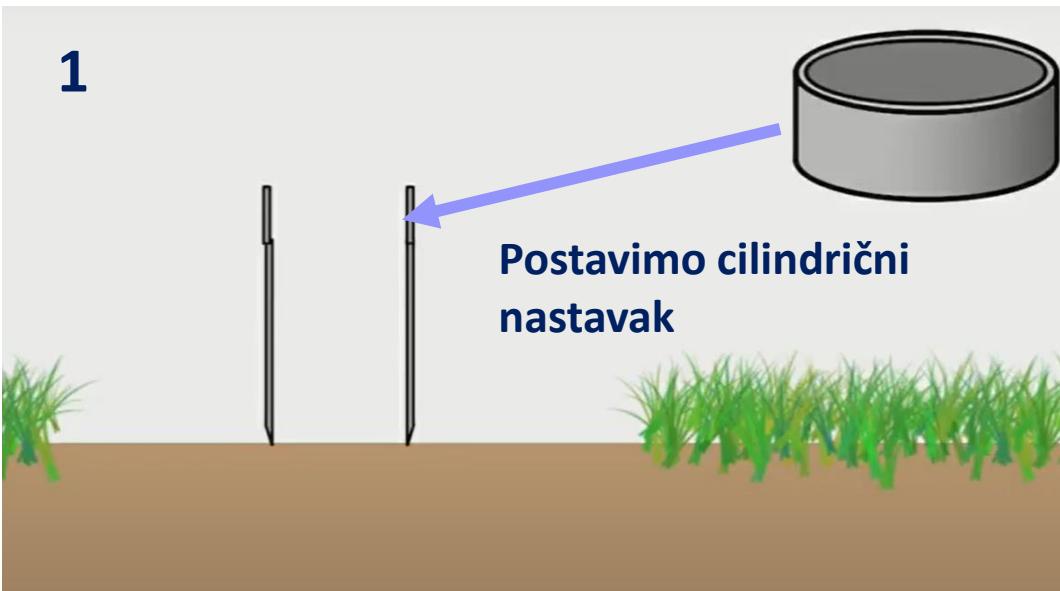
a) Izmerimo zapreminu V i masu cilindra M<sub>1</sub>



# ODREĐIVANJE ZAPREMINSKЕ TEŽINE TLA

Metoda cilindra poznate zapremine

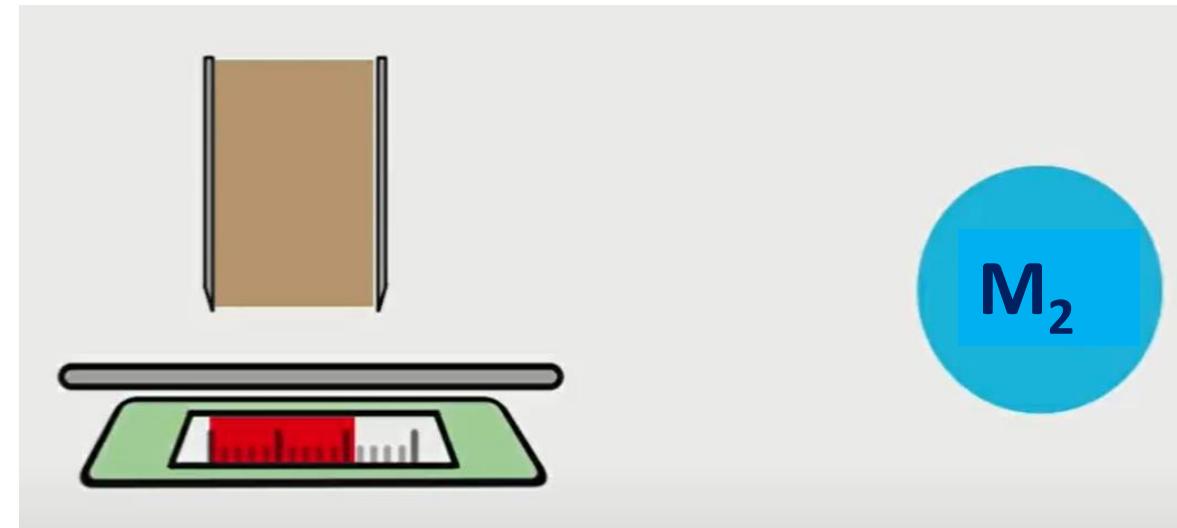
## b) Utiskujemo cilindar u tlo



# ODREĐIVANJE ZAPREMINSKЕ TEŽINE TLA

Metoda cilindra poznate zapremine

c) Merimo masu cilindra i tla  $M_2$



d) Računamo zapreminsку težinu tla:

$$\gamma = \frac{M}{V} \cdot 9.807 = \frac{M_2 - M_1}{V} \cdot 9.807 \quad [ \text{kN} / \text{m}^3 ]$$

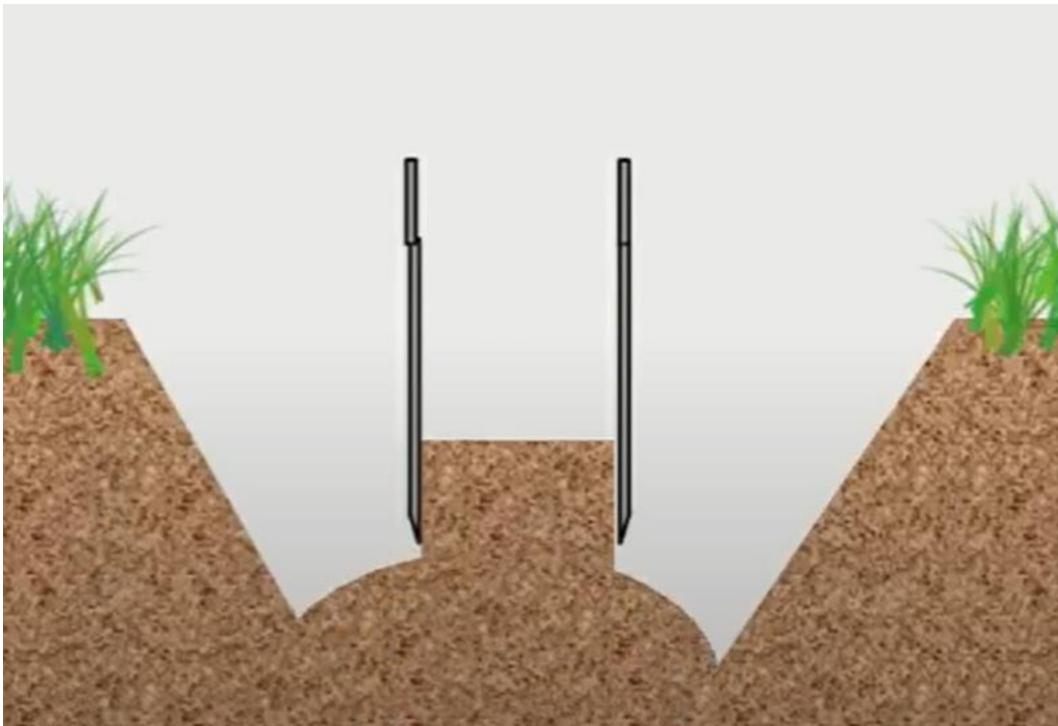
- Treba imati u vidu da se kod laboratorijskih merenja masa meri u gramima i zapremina u  $\text{cm}^3$ , a sve zapreminske težine izražavaju u jedinicama sile po jedinici zapremine u  $\text{kN/m}^3$ .
- Za laku konverziju rezultata  $1 \text{ g/cm}^3 = 9.807 \text{ kN/m}^3$

# ODREĐIVANJE ZAPREMINSKЕ TEŽINE TLA

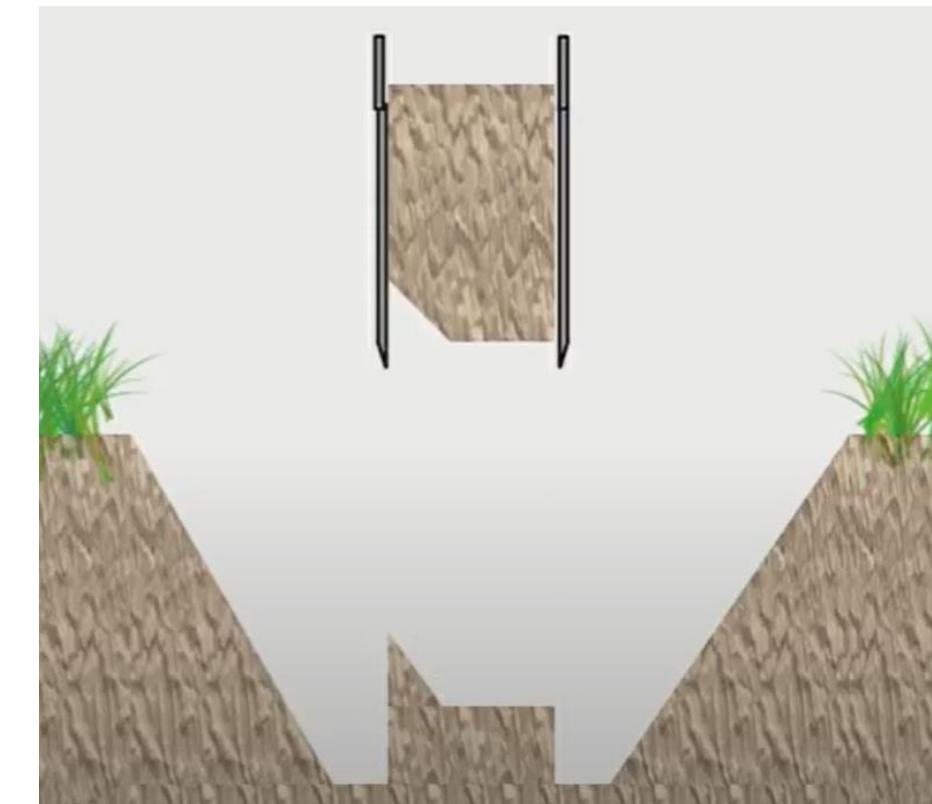
## Metoda cilindra poznate zapremine

- Metoda se ne može primeniti na krupnozrno tlo, a u veoma tvrdom tlu može doći do oštećenja uzorka

### Krupnozrno tlo



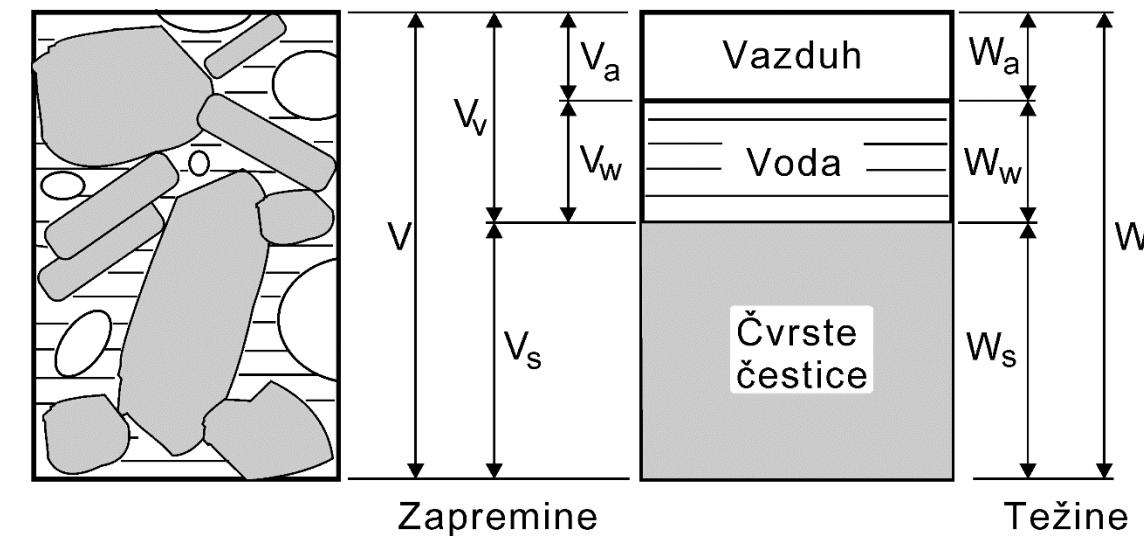
### Tvrdo prekonsolidovano tlo



## ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI TLA

- **Vlažnost** je odnos težine vode i težine čvrstih čestica u uzorku.

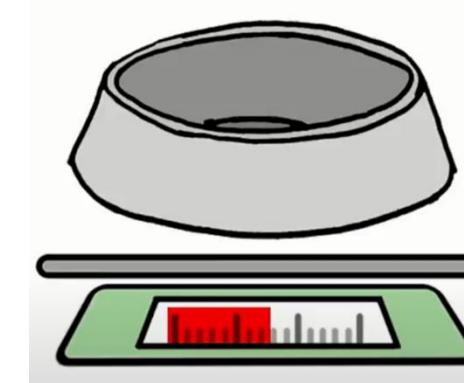
$$w = \frac{W_w}{W_s} = \frac{M_w}{M_s} \quad (\cdot 100) \text{ [%]}$$



- Određivanje:
  - laboratorijskim postupkom
  - brze terenske metode (metoda sa vagom, indirektna metoda sa karbidom SPEEDY)

## ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI TLA

a) Izmerimo masu posude (tare)  $M_1$



$M_1$

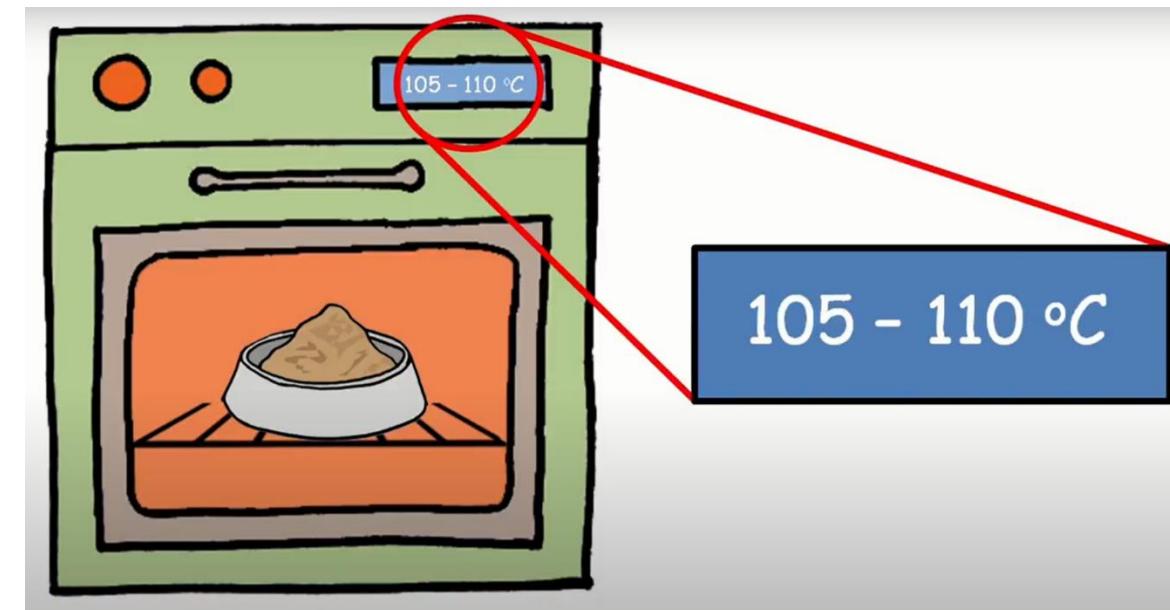
b) Uzorak vlažnog tla stavljamo u posudu  
i merimo masu uzorka sa posudom  $M_2$



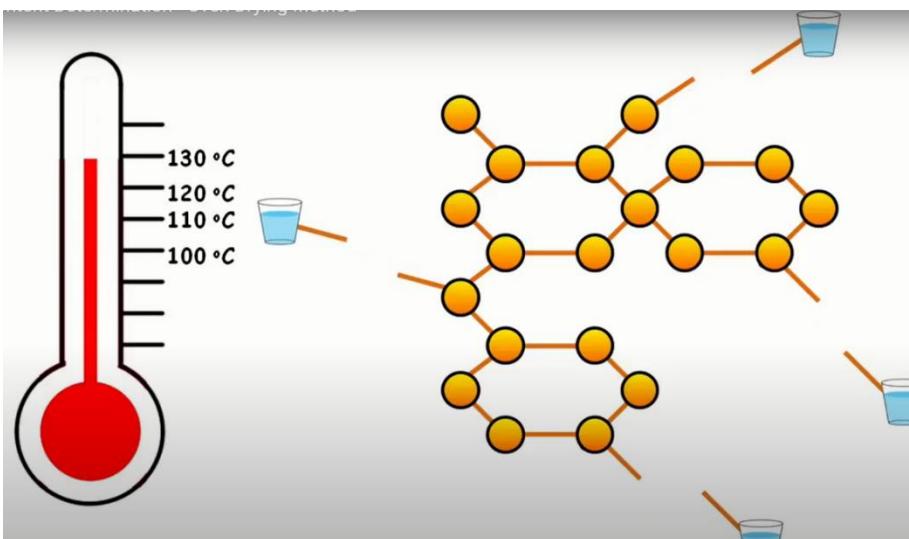
$M_2$

## ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI TLA

c) Uzorak se sa posudom stavlja u sušnicu i suši (obično) na temperaturi  $105-110\text{ }^{\circ}\text{C}$  do konstantne mase

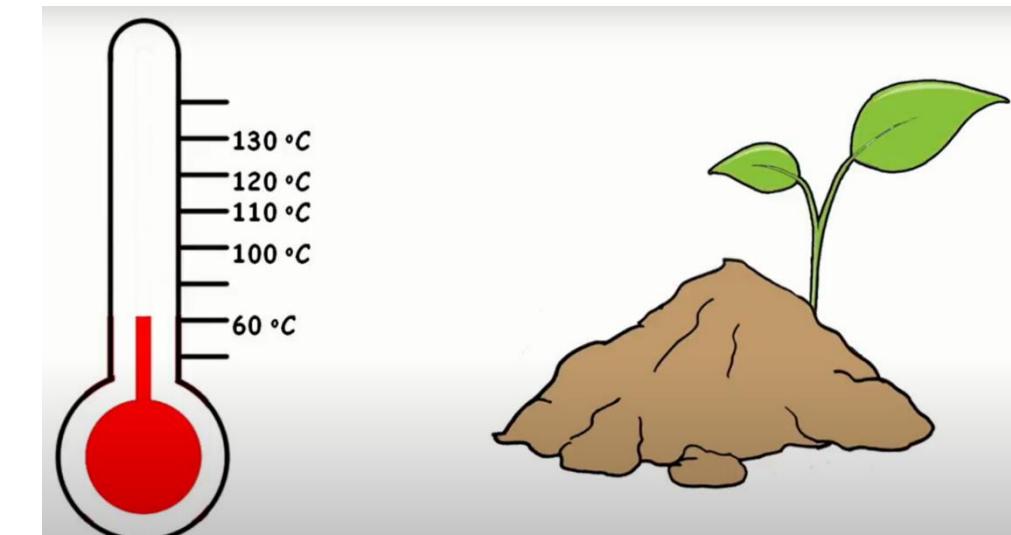


Ako bi se uzorak sušio na višoj temperaturi, došlo bi do oslabadanja fizički i hemijski vezane vode



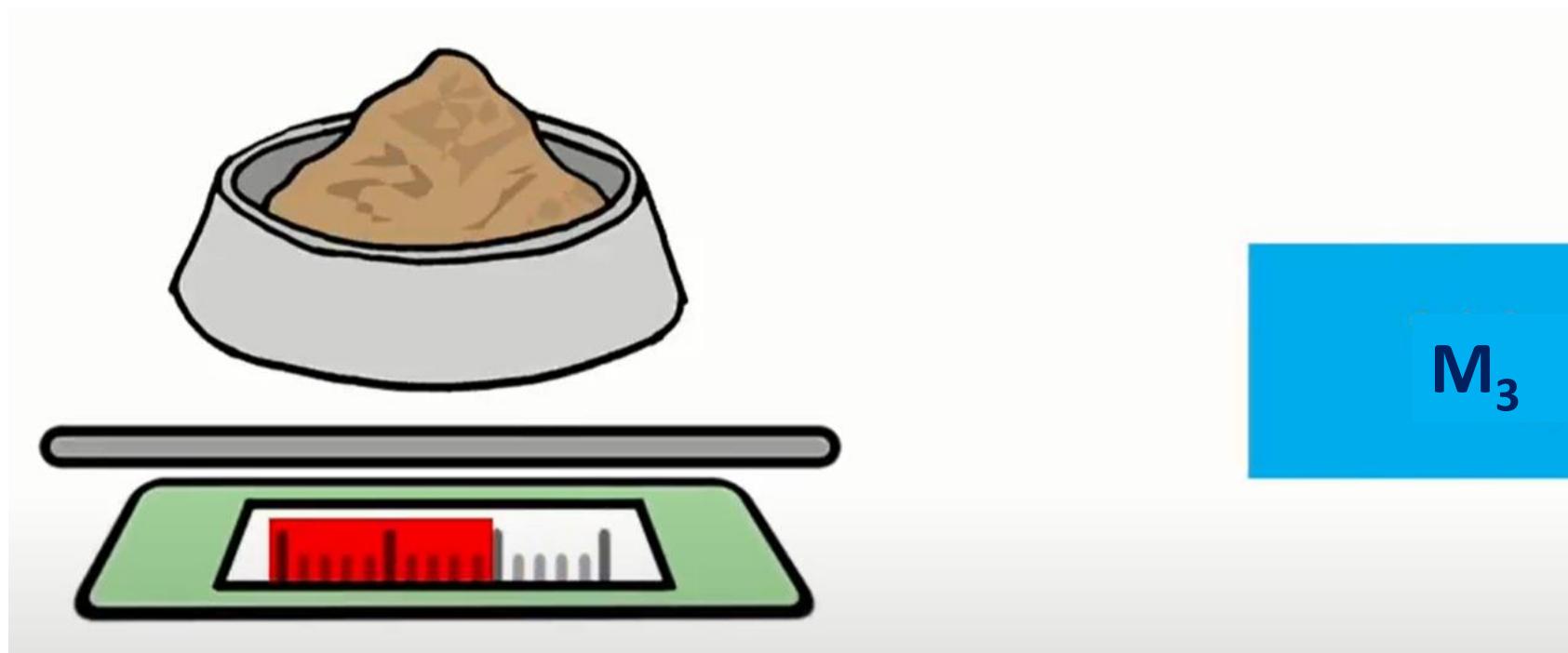
**Fizički vezane vode** se javljaju u vidu tankih opni koje obavijaju čvrstu česticu zrna tla, ili popunjavaju veoma uzane pore tla i stena.  
**Hemijski vezane vode** nalaze se u mineralima od kojih je tlo sačinjeno.

Organska tla se suše na temperaturi max  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$



## ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI TLA

d) Izmerimo masu suvog uzorka sa posudom  $M_3$



## ODREĐIVANJE VLAŽNOSTI TLA

1. Masa posude  $M_1$
2. Masa posude i vlažnog uzorka  $M_2$
3. Masa posude i suvog uzorka  $M_3$

$$\text{VLAŽNOST} = \frac{\text{MASA VODE}}{\text{MASA SUVOG UZORKA}} = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \times 100 \%$$

**NAPOMENA: VLAŽNOST MOŽE BITI VEĆA OD 100%**



# VEZE IZMEĐU PARAMETARA

$$\gamma = (1+w) \gamma_d$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1+e} = (1-n) \gamma_s = (1-n) G_s \gamma_w$$

$$\gamma = \frac{G_s (1+w)}{1+e} \gamma_w = \frac{S_r e + G_s}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma' = \gamma_z - \gamma_w$$

$$\gamma_z = (1+w_z) \gamma_d$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{n}{1-n}$$

$$\gamma_z = [(1-n)G_s + n] \gamma_w = \gamma_d + n \gamma_w$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = \frac{e}{1+e}$$

$$\gamma_z = \frac{G_s + e}{1+e} \gamma_w \quad (za S_r = 1)$$

$$S_r = \frac{w \cdot G_s}{e}$$

**ZADATAK 1**

Ako je specifična težina tla  $G_s = 2.68$ , zapreminska težina  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$  i vlažnost  $w = 18.0\%$  odrediti:  
 $\gamma_s, \gamma_d, n, e, \gamma_z, w_z, \gamma', S_r$

$$\gamma_s = G_s \cdot \gamma_w = 2.68 \cdot 9.807 = 26.3 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} = \frac{20}{1 + 0.18} = 16.9 \text{ kN/m}^3$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} = 0.357$$

$$e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{n}{1 - n} = 0.555$$

$$w_z = \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \gamma_w \cdot 100 = \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) 9.807 \cdot 100 = 20.7\%$$

$$\gamma_z = (1 + w_z) \gamma_d = 20.4 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_z - \gamma_w = 20.4 - 9.807 = 10.6 \text{ kN/m}^3$$

$$S_r = \frac{w \cdot G_s}{e} \cdot 100 = 86.9\%$$

$$S_r = \frac{w}{w_z} \cdot 100 = \frac{0.180}{0.207} \cdot 100 = 86.9\%$$

# Zbijenost tla



## ZBIJENOST TLA

- Stanje zbijenosti se opisuje jediničnom težinom tla u suvom stanju. Ako je zapreminska težina vlažnog tla  $\gamma$  i vlažnost  $w$ , zapreminska težina u suvom stanju je:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

- Zapreminska težina u suvom stanju  $\gamma_d$  dobijena zbijanjem zavisi od vlažnosti  $w$  i primjenjene energije zbijanja
- Za datu energiju zbijanja postoji OPTIMALNA VLAŽNOST koja odgovara maksimalnoj zbijenosti

- OPTIMALNA VLAŽNOST se određuje PROKTOROVIM OPITOM



## ZBIJENOST TLA – Proktorov opit

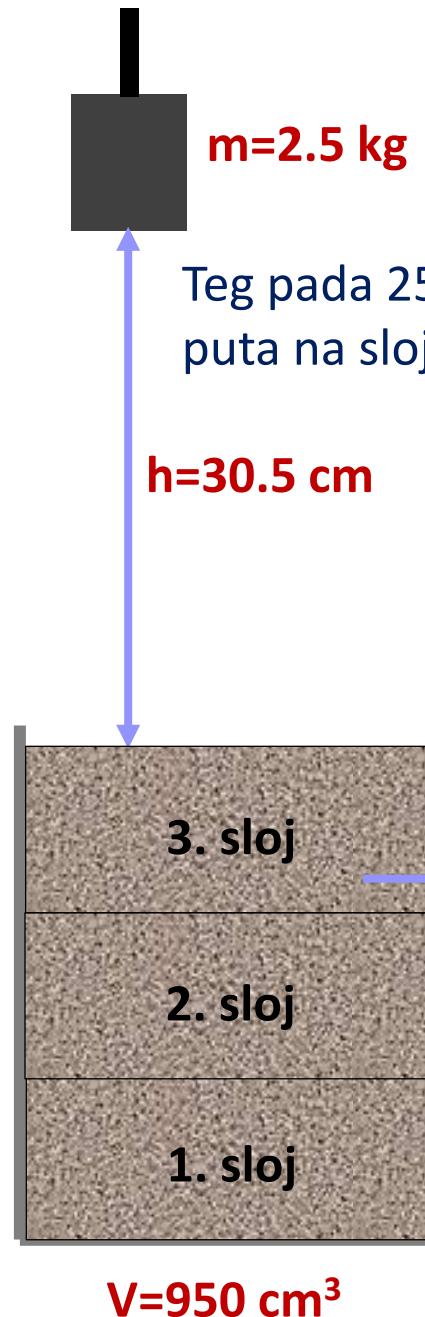
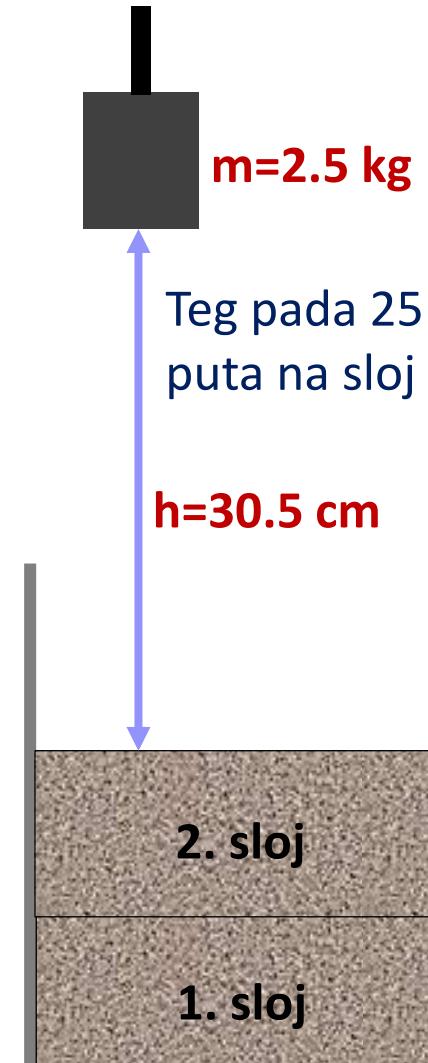
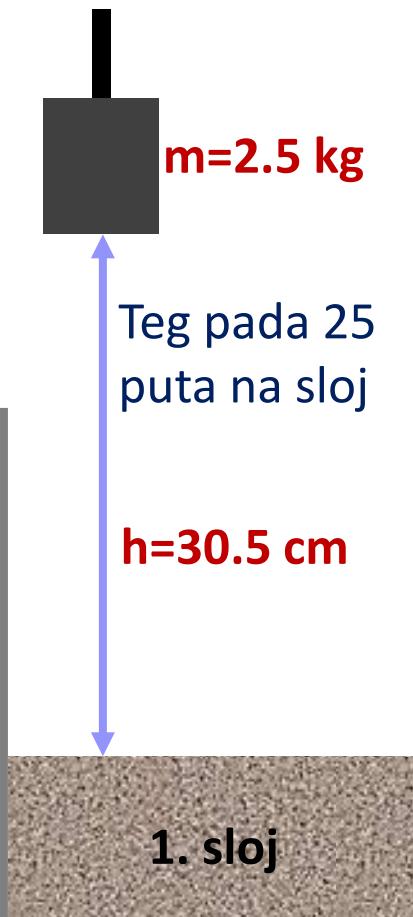
- Tlo se zbijja nabijanjem u cilindričnom kalupu primenom određene energije zbijanja.
- Standardni Proktorov opit
- Modifikovani Proktorov opit
- **Standardna i modifikovana energija zbijanja** se postižu u skladu sa podacima u Tabeli:

Opit	broj udaraca	broj slojeva	masa malja (kg)	visina pada (cm)	energija zbijanja (kJ/m <sup>3</sup> )	zapremina cilindra (cm <sup>3</sup> )
<b>Standardni</b>	3 x 25	3	2.5	30.5	590	950
<b>Modifikovani</b>	5 x 25	5	4.5	46.0	2671	950

Napomena: u tabeli je prikazan jedan način za postizanje zahtevane energije zbijanja

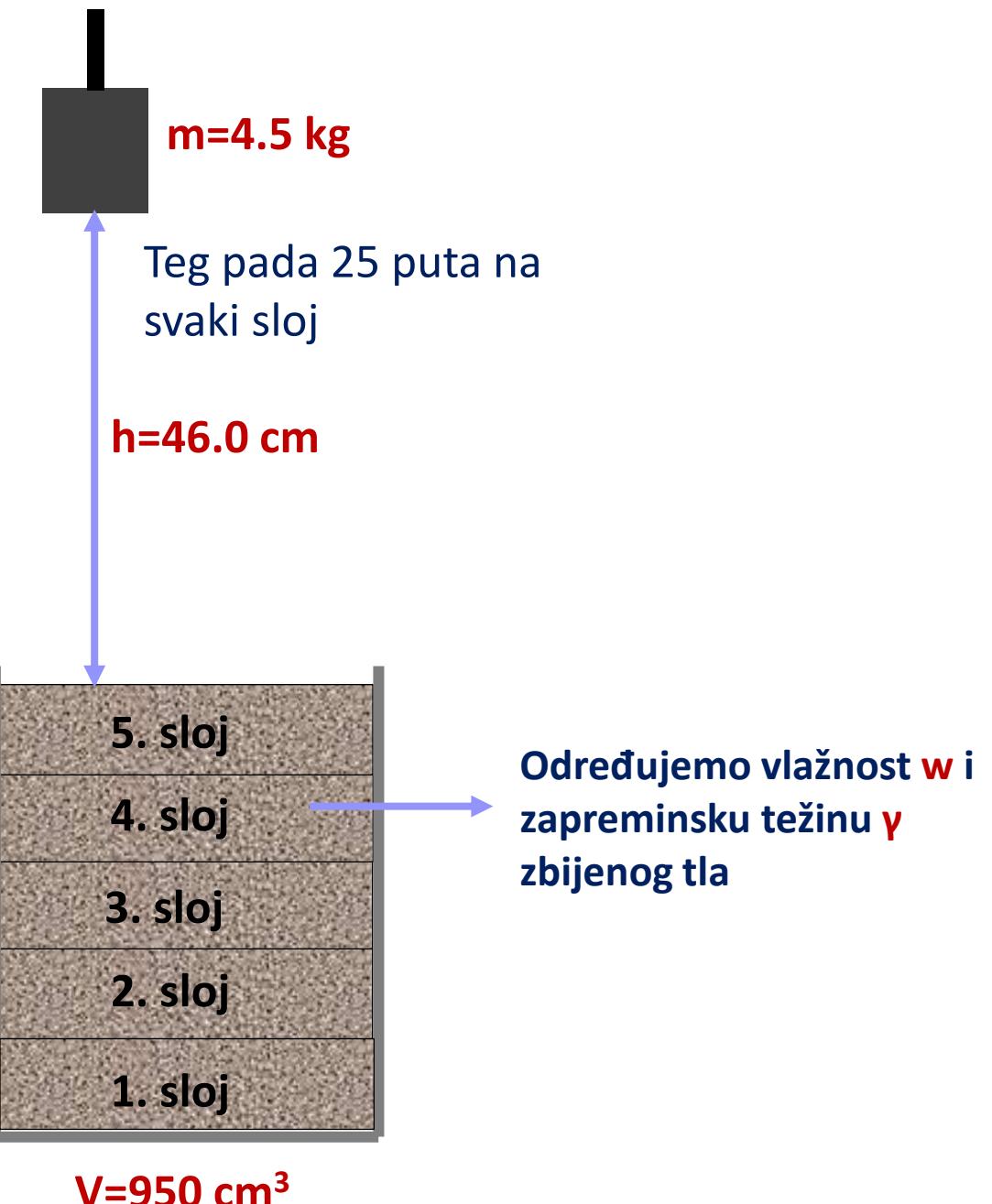


## ZBIJENOST TLA – Standardni Proktorov opit



## ZBIJENOST TLA – Modifikovani Proktorov opit

- Razlika u odnosu na Standardni Proktorov opit je samo u energiji zbijanja
- Energija zbijanja je veća oko 4.5 puta



## ZBIJENOST TLA – Proktorov opit



## ZBIJENOST TLA – Proktorov opit

- Opit se ponavlja pet puta
- Menja se samo sadržaj vode u uzorku tla
- Rezultat opita:

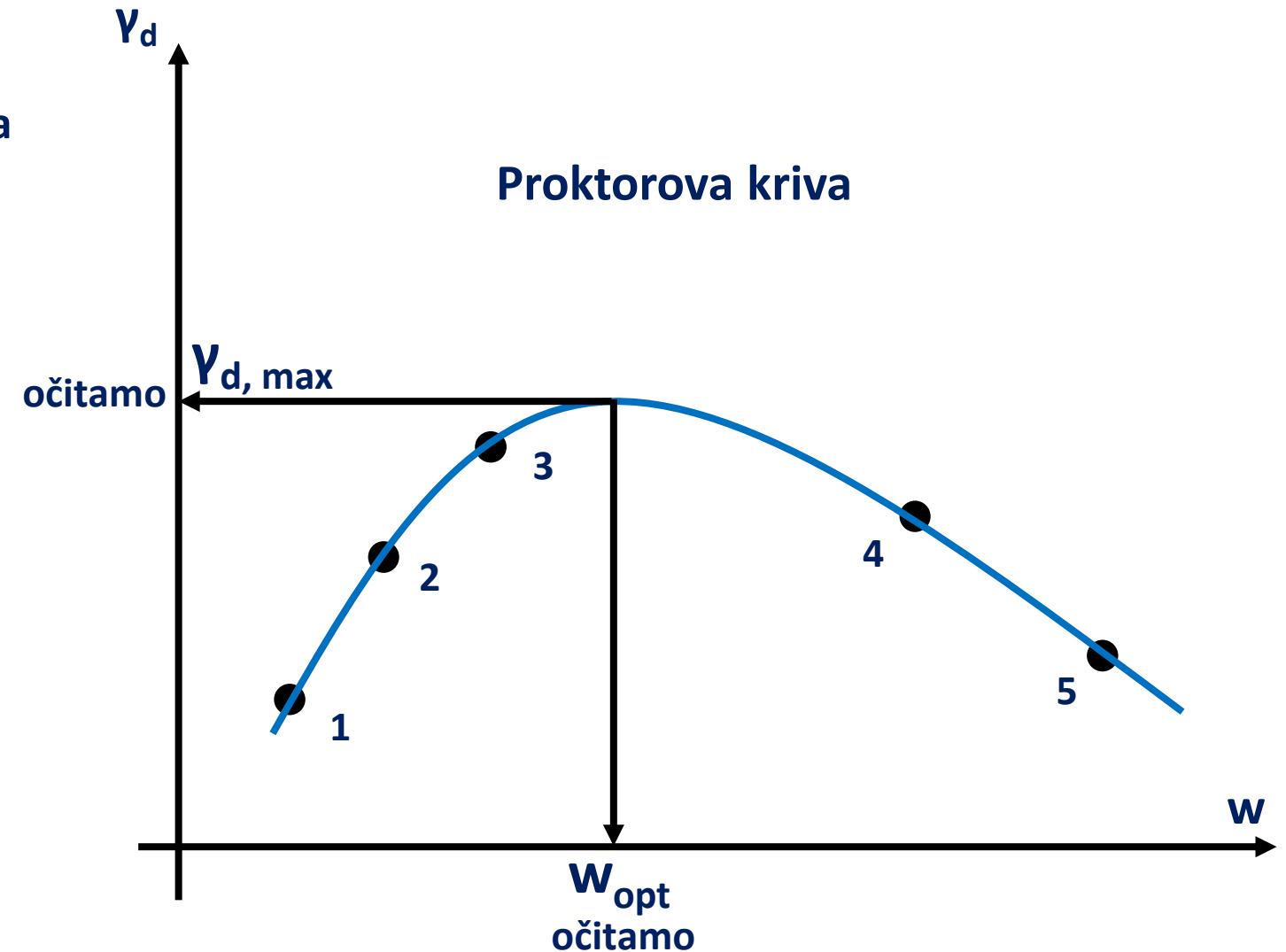
1.  $(w_1, \gamma_1)$  računamo  $\gamma_{d1} = \gamma_1 / (1+w_1)$

2.  $(w_2, \gamma_2)$  računamo  $\gamma_{d2} = \gamma_2 / (1+w_2)$

3.  $(w_3, \gamma_3)$  računamo  $\gamma_{d3} = \gamma_3 / (1+w_3)$

4.  $(w_4, \gamma_4)$  računamo  $\gamma_{d4} = \gamma_4 / (1+w_4)$

5.  $(w_5, \gamma_5)$  računamo  $\gamma_{d5} = \gamma_5 / (1+w_5)$

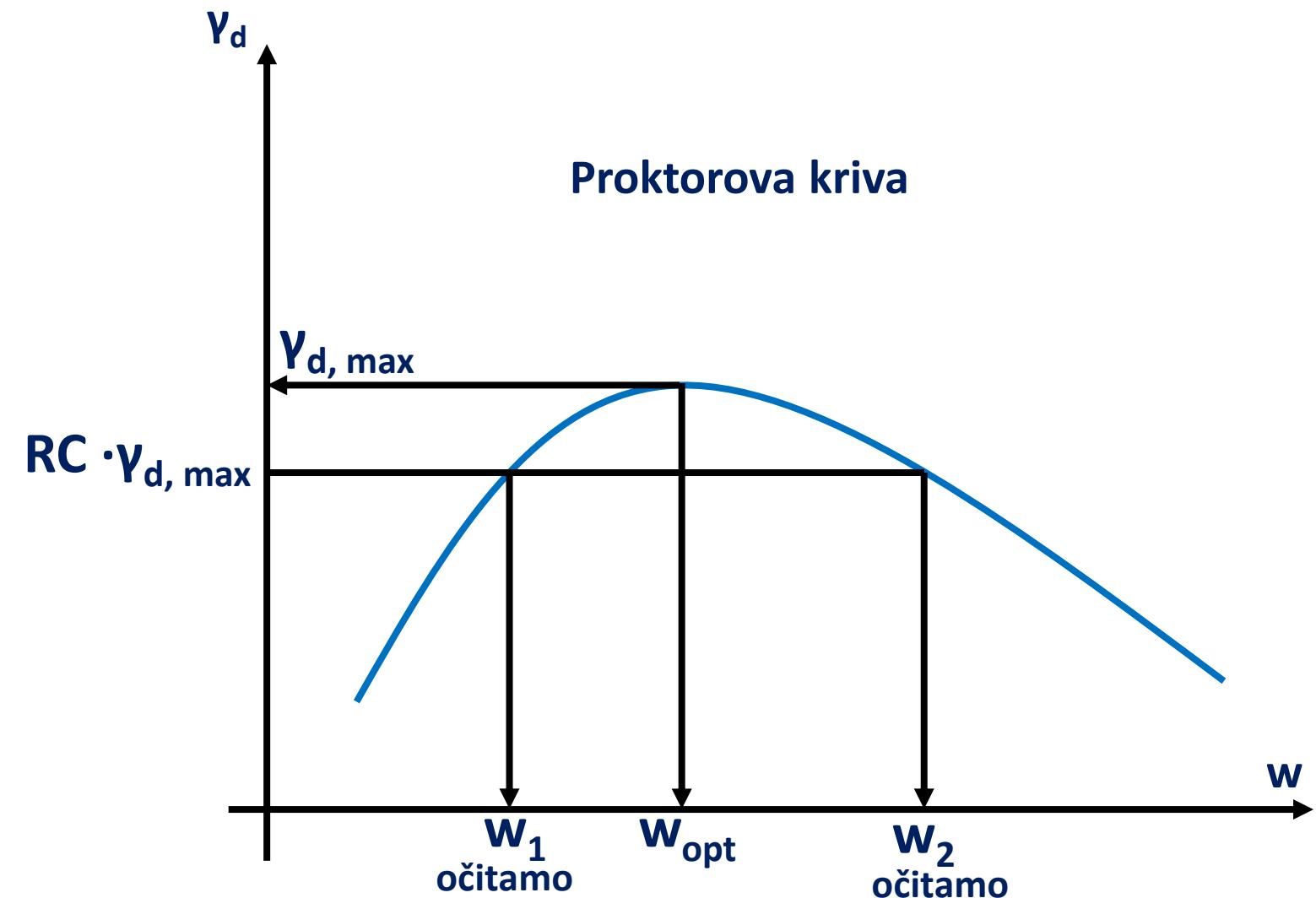


## ZBIJENOST TLA – Proktorov opit

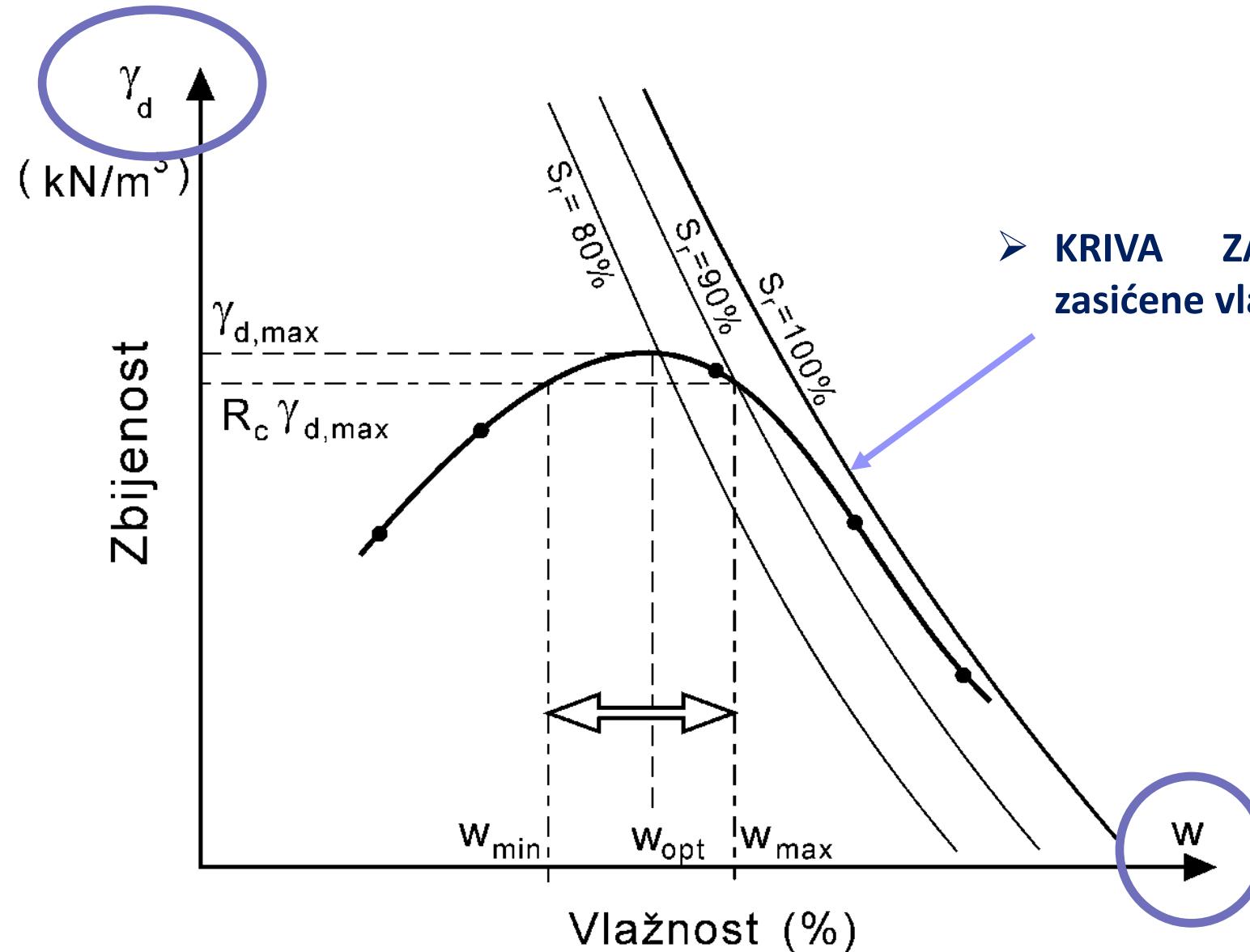
- Pokazatelj koji služi kao kriterijum za postignut efekat zbijanja - **STEPEN ZBIJENOSTI:**

$$RC = \frac{\gamma_d}{\gamma_{d \text{ max}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

- Pri maksimalnoj zbijenosti  $RC=100\%$
- $(w_1, w_2)$  interval vlažnosti u kojem je moguće postići zahtevani stepen zbijenosti



## ZBIJENOST TLA – Proktorov opit



➤ KRIVA ZASIĆENJA predstavlja zavisnost zasićene vlažnosti i suve zapreminske težine

## ZADATAK 1

Standardnim Proktorovim opitom zbijanja dobijena je zavisnost između vlažnosti i zapreminske težine tla u vlažnom stanju. Rezultati opita prikazani su u sledećoj tabeli:

Uzorak	1	2	3	4	5
w [%]	6.4	8.8	11.0	14.0	16.0
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17.6	19.1	20.8	21.5	20.7

Specifična težina tla iznosi  $G_s = 2.72$ .

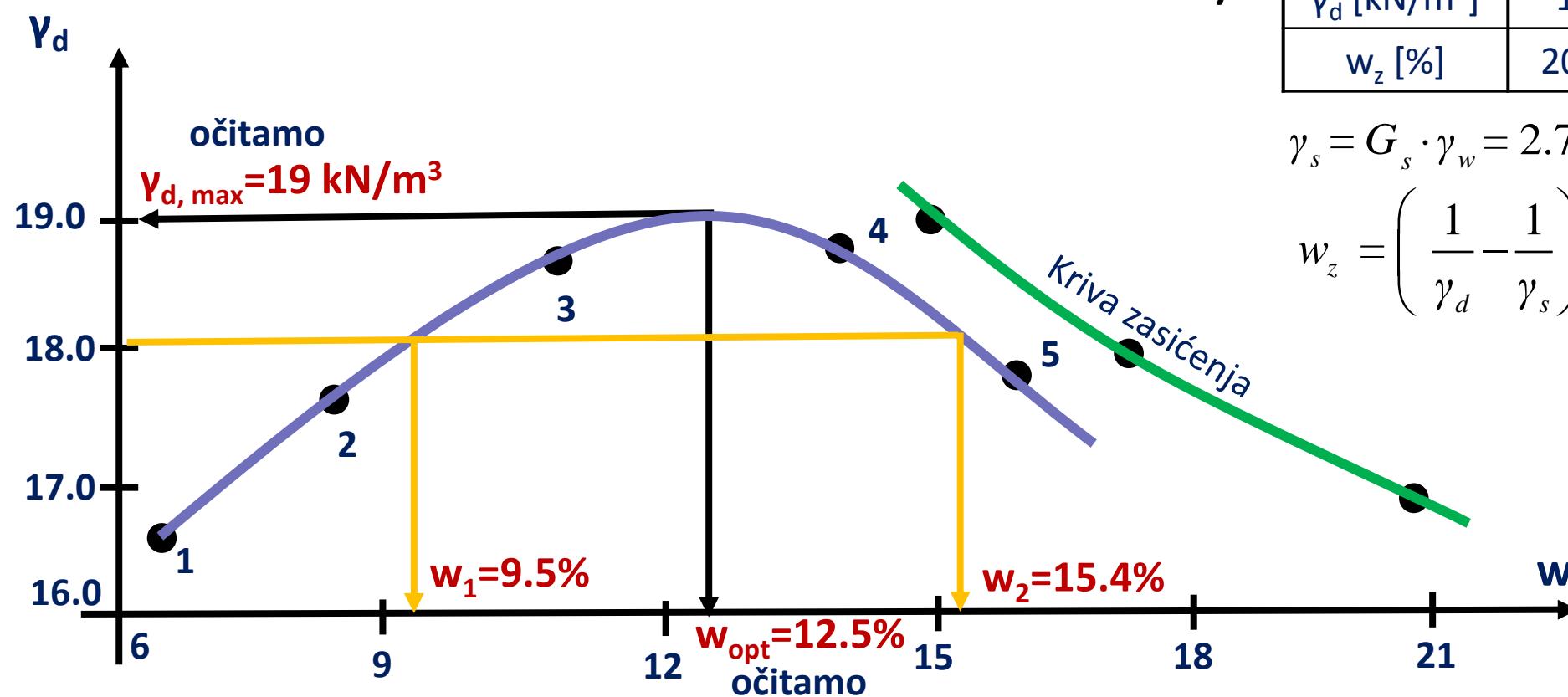
- Odrediti optimalnu vlažnost i maksimalnu zapreminsku težinu tla u suvom stanju
- Nacrtati krivu zasićenja tla u intervalu  $\gamma_d$  od 17.0-19.0 kN/m<sup>3</sup>
- Odrediti interval vlažnosti u kojem je stepen zbijenosti tla veći od 95%

## ZADATAK 1

Uzorak	1	2	3	4	5
w [%]	6.4	8.8	11.0	14.0	16.0
$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17.6	19.1	20.8	21.5	20.7
$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	16.5	17.6	18.7	18.9	17.8

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$$

a)



b)

$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	17	18	19
$w_z$ [%]	20.9	17.7	14.8

$$\gamma_s = G_s \cdot \gamma_w = 2.72 \cdot 9.807 = 26.67 \text{ kN/m}^3$$

$$w_z = \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) \gamma_w = \left( \frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s} \right) 9.807$$

c)  $RC \geq 95\%$ 

$$\gamma_d = 0.95 \cdot 19 = 18.05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$



HVALA NA PAŽNJI