



Studijski program:

**GRAĐEVINARSTVO**

Modul:

**Zajedničke osnove**

Godina/Semestar:

**2. godina / 4. semestar**

Naziv predmeta (šifra):

**MEHANIKA TLA (B3O2MT)**

Asistent:

**Milena Raković**

Naslov vežbi:

**VODA U TLU**

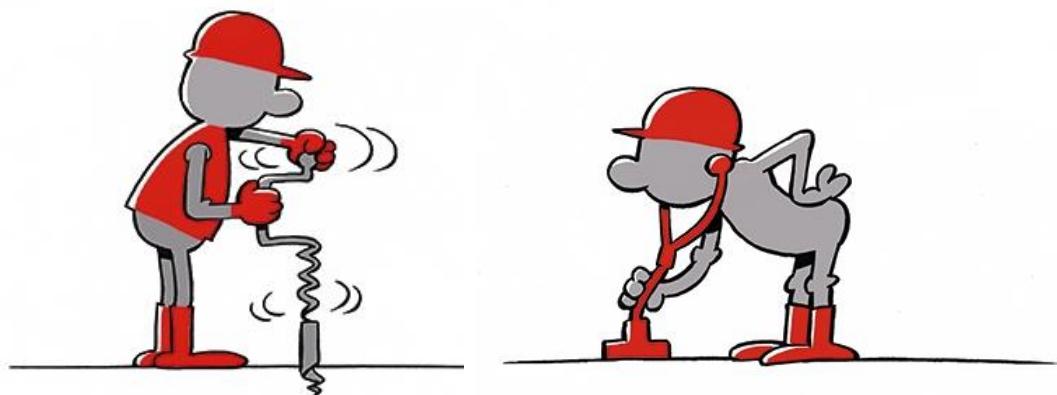
**EFEKTIVNI NAPONI U TLU**

Datum:

**18-22.3.2024.**

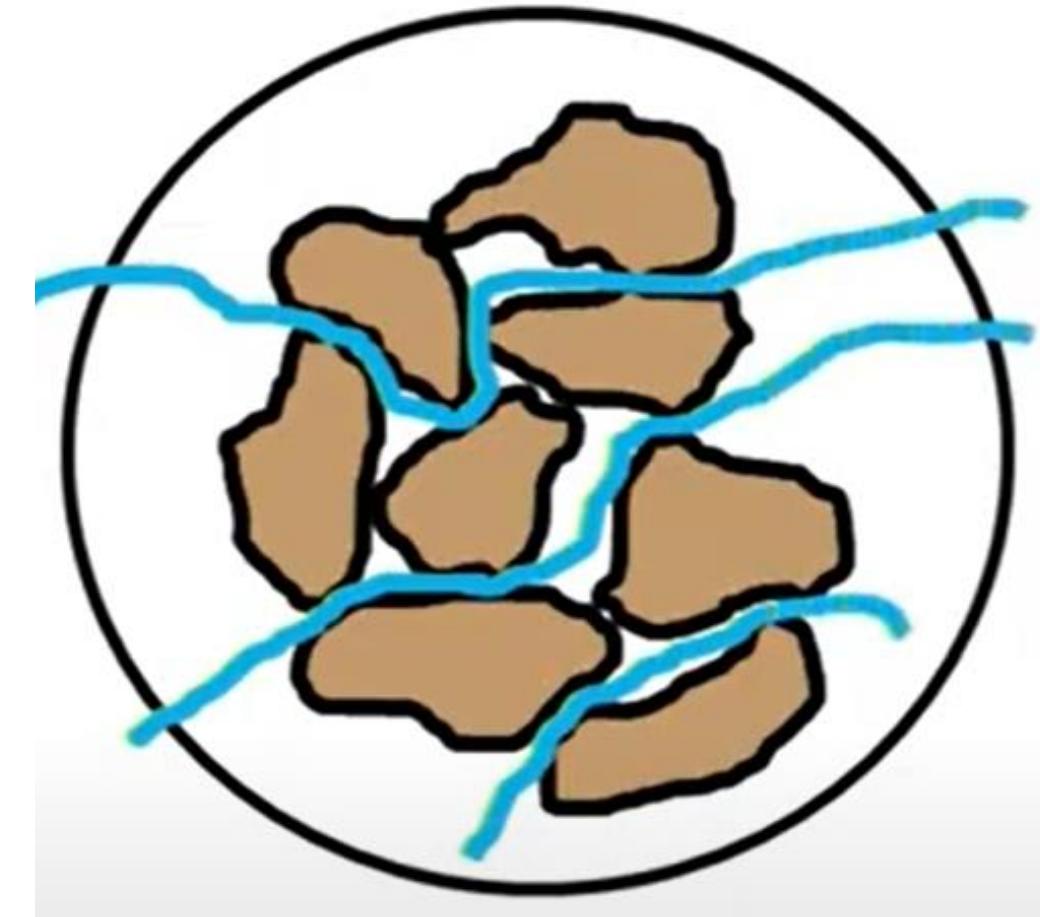
*Beograd, 2024.*

# VODA U TLU EFEKTIVNI NAPONI U TLU



## VODA U TLU

- Sva tla su vodopropusna, jer voda može da se kreće kroz prostor međusobno povezanih pora između čvrstih čestica.
- **Količina, raspored vode u tlu i raspored pritisaka u vodi** imaju veoma veliki uticaj na svojstva tla i na njegovo ponašanje pod opterećenjem
- Kada ne bi bilo vode, mehanika tla bi bila znatno jednostavnija, ali i manje interesantna!!!

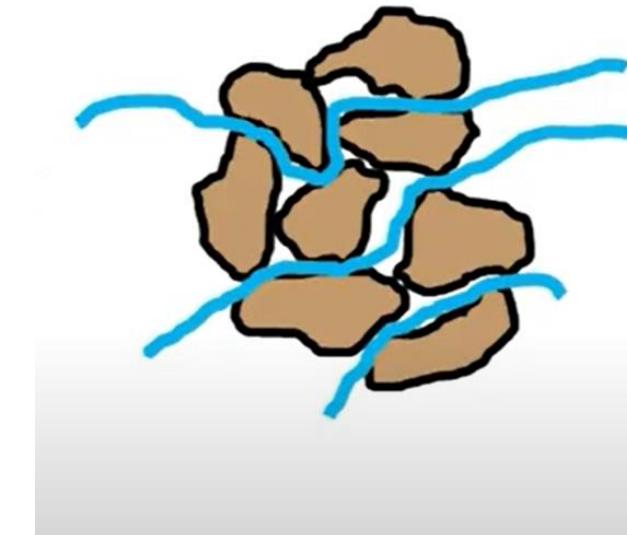


## KRETANJE VODE KROZ TLO

### KRUPNOZRNA TLA:

- Veliki prečnik zrna
- Velika zapremina pora između zrna
- Dobra povezanost pora

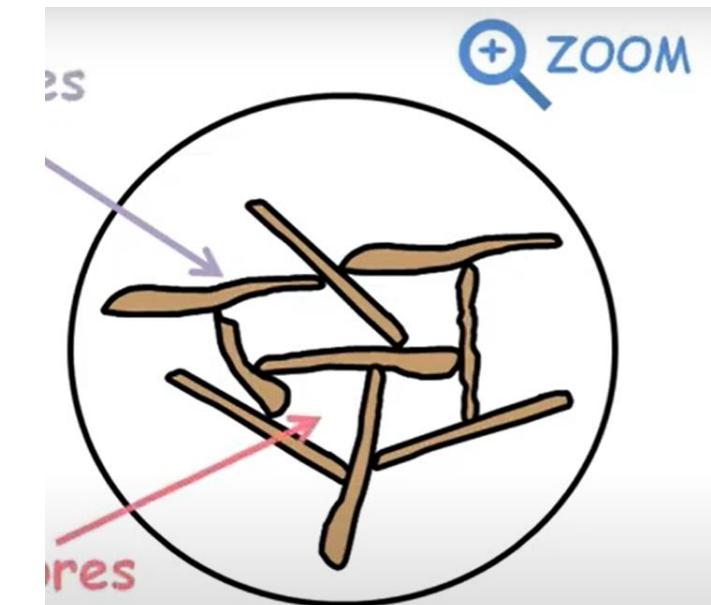
**VELIKA  
VODOPROPUSNOST**



### SITNOZRNA TLA:

- Mali prečnik zrna
- Velika zapremina pora između zrna
- Loša povezanost pora

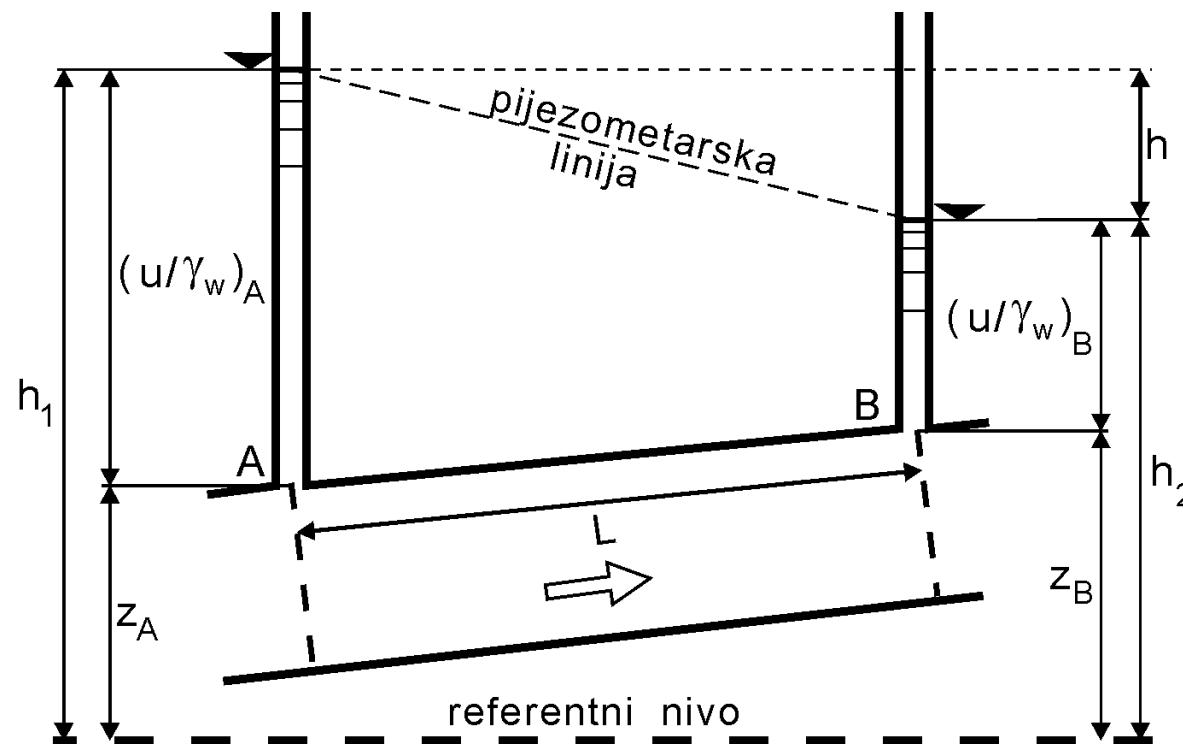
**MALA  
VODOPROPUSNOST**



# KRETANJE VODE KROZ TLO

## DARSIJEV ZAKON FILTRACIJE

- Kada postoji razlika pijezometarskih nivoa između dve tačke, voda se kreće, teče, od tačke sa višim nivoom  $h_1$  ka tački sa nižim pijezometarskim nivoom  $h_2$ .



- Hidraulički gradijent:  $i = \frac{h_1 - h_2}{L}$
- Prema **Darsijevom zakonu**, (Darcy 1856), koji važi za strujanje u zasićenoj poroznoj sredini, količina vode koja protekne kroz presek sa površinom  $A$ , ili jednostavno protok  $Q$ , proporcionalan je hidrauličkom gradijentu:

$$Q = k i A = k \frac{h_1 - h_2}{L} A$$

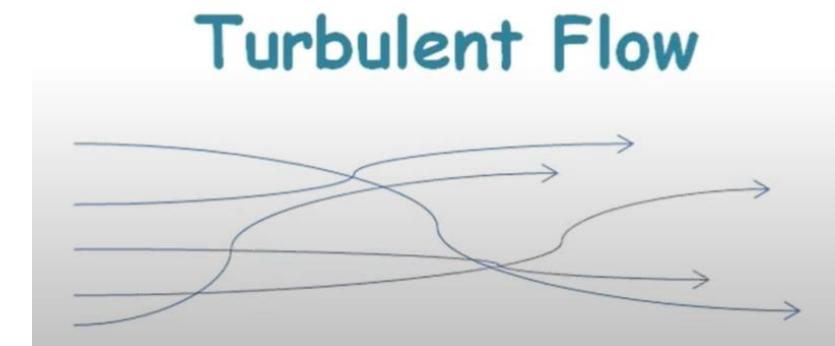
$k$  - konstanta proporcionalnosti koja ima dimenziju brzine

## KRETANJE VODE KROZ TLO

- Konstanta  $k$  se naziva **koeficijentom vodopropusnosti** ili **koeficijentom filtracije**, a određuje se eksperimentom, merenjem za razmatrano tlo!!!
- Veličina  $Q$  se izražava zapreminom u jedinici vremena. Ako se ova veličina izrazi zapreminom vode koja u jedinici vremena protekne kroz presek jedinične površine, Darsijev zakon se izražava brzinom:

$$v = \frac{Q}{A} = k \cdot i$$

- Darsijev zakon filtracije važi za laminarno strujanje vode



# METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

## ➤ Indirektne metode

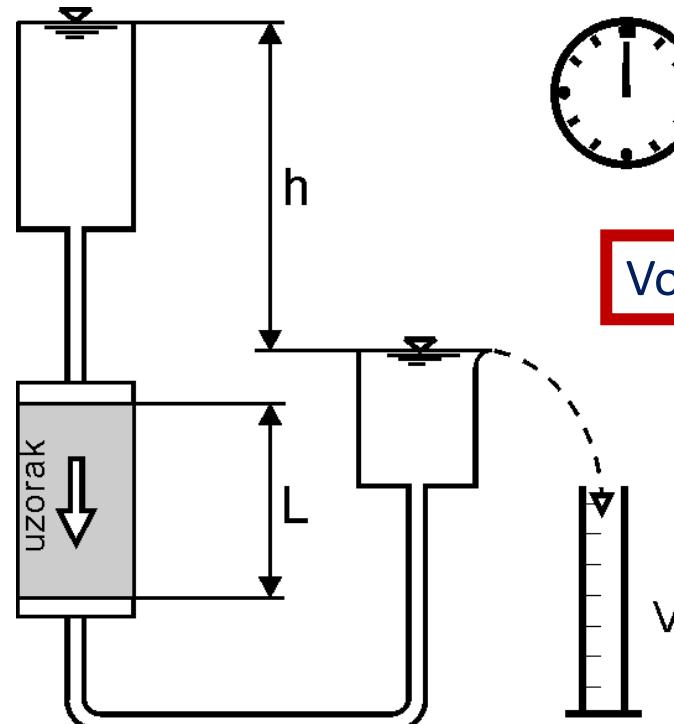
- empirijske formule
- iz konsolidacionog sleganja tla (vidi edometarski opit)

## ➤ Direktne metode

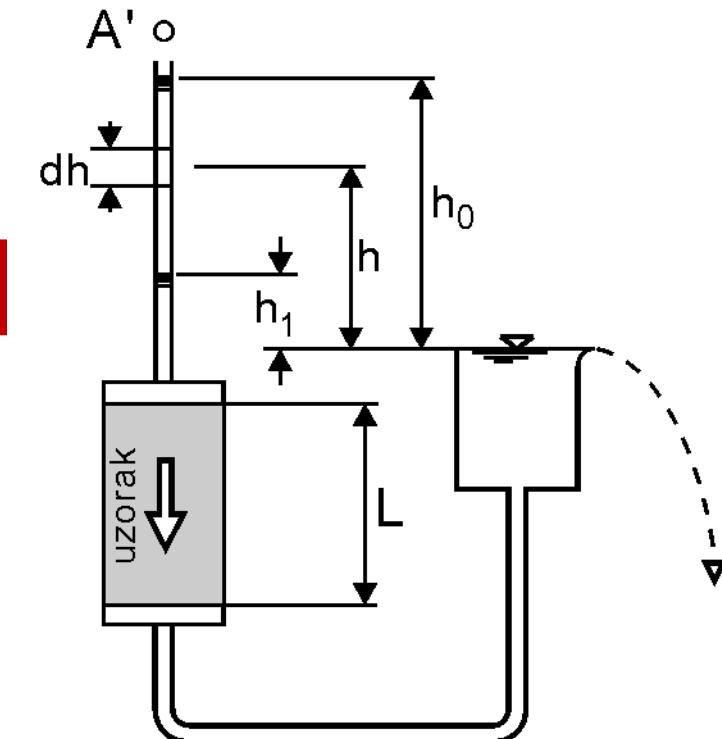
- terenski opiti:
  - metoda crpljenja,
  - metoda nalivanja
- laboratorijski opiti:
  - opit sa konstantnim pritiskom (za krupnozrna tla)
  - opit sa opadajućim pritiskom (za sitnozrna tla)

## METODE ZA ODREĐIVANJE VODOPROPUSNOSTI TLA

SA KONSTANTNIM PRITISKOM za krupnozrno tlo



SA OPADAJUĆIM PRITISKOM za sitnozrno tlo



Merimo količinu protekle vode kroz uzorak poprečnog preseka A (zapreminu vode V) za neko vreme t!!!

$$k = \frac{V L}{A h t}$$

NA LABORATORIJSKIM VEŽBAMA!!!

$$k = \frac{A' L}{A t} \ln \frac{h_0}{h_1}$$



## PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA

Princip efektivnih napona je najvažniji fundamentalni princip mehanike tla Terzaghi (1936)

Stav I:

Efektivni normalni napon  $\sigma'_n$  jednak je razlici totalnog normalnog napona  $\sigma_n$  i pornog pritiska  $u$ , ili  $\sigma'_n = \sigma_n - u$ .



## PRINCIP EFEKTIVNIH NAPONA

Stav II:

Svi merljivi efekti promene napona, kao što su promene zapremine, promene oblika i promena smičuće čvrstoće zavise isključivo od efektivnih napona.

Dva osnovna oblika ponašanja tla od interesa za prenošenje opterećenja i napona, čvrstoća i stišljivost, zavise od efektivnih normalnih napona:

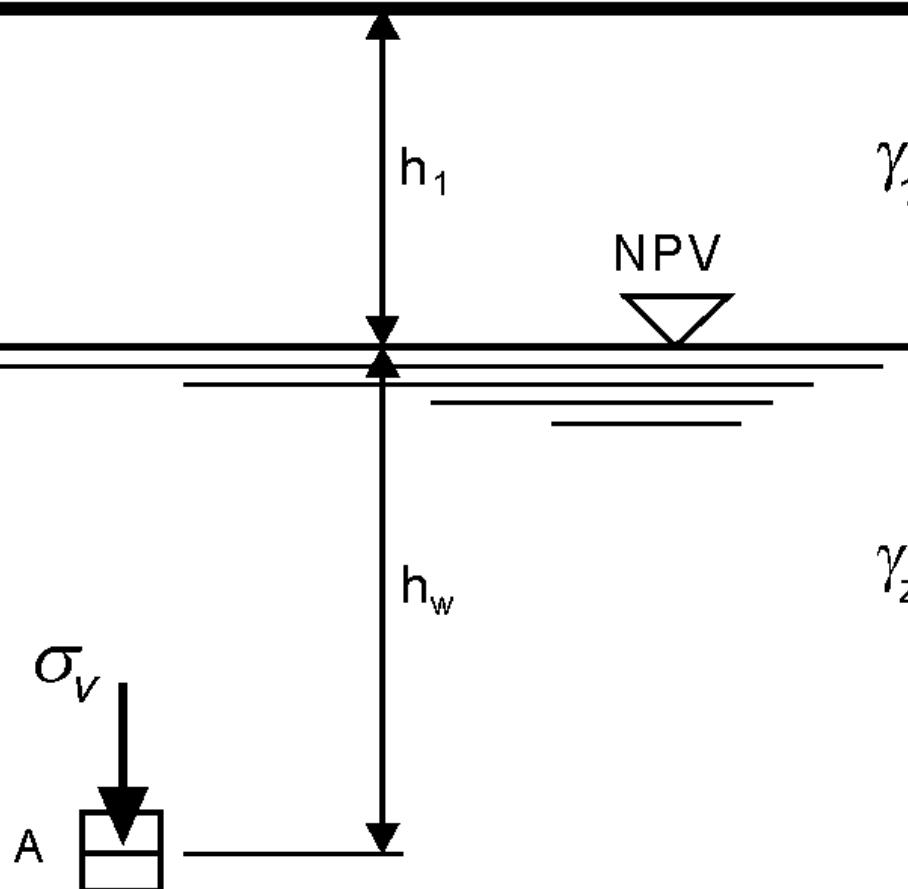
$$\text{promena zapremine} = f_1(\sigma')$$

$$\text{smičuća čvrstoća} = f_2(\sigma')$$

## VERTIKALNI EFEKTIVNI NAPON "IN SITU"



POVRŠINA TERENA



Veličina vertikalnog totalnog napona  $\sigma_v$  je jednaka težini stuba tla i vode jediničnog poprečnog preseka iznad posmatrane tačke!!!

$$\sigma_v = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma_z$$

$$u = h_w \gamma_w$$

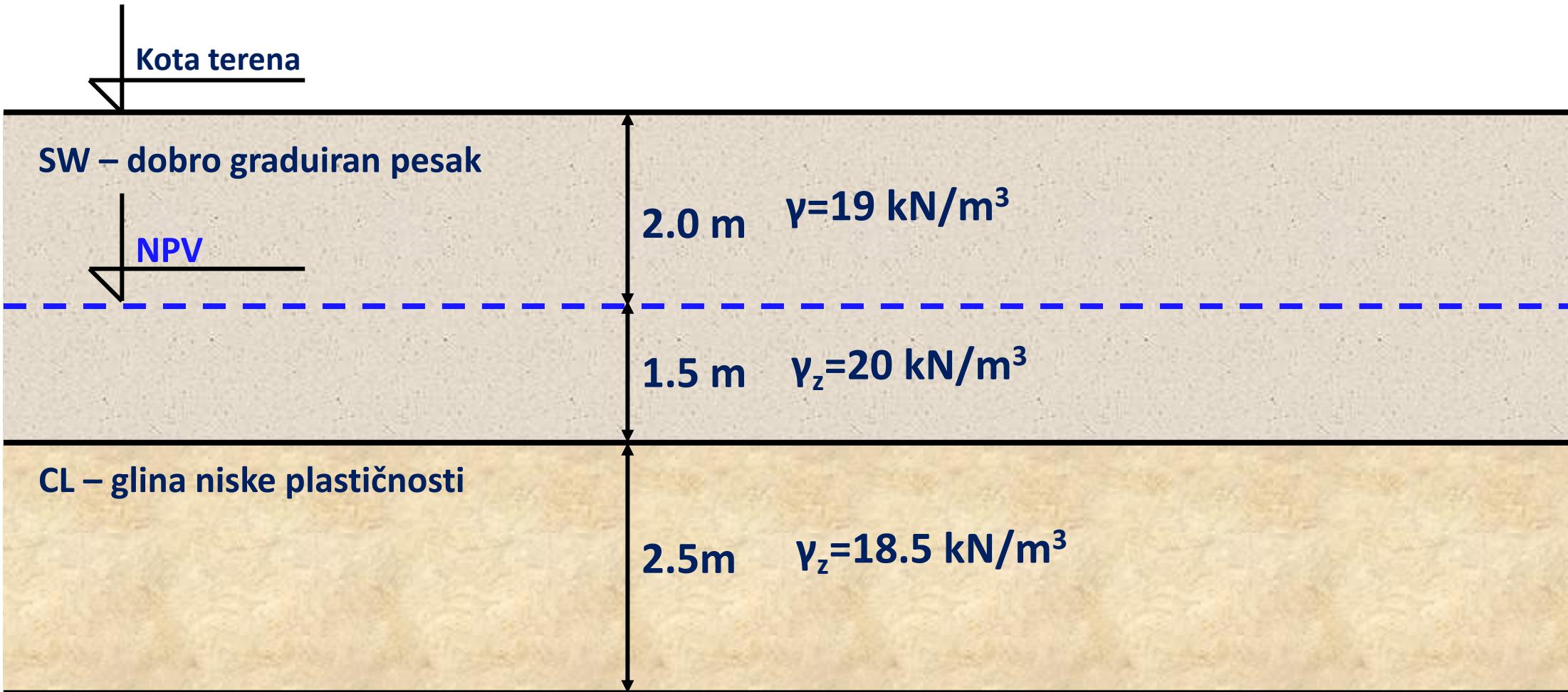
$$\sigma'_v = \sigma_v - u = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma_z - h_w \gamma_w = h_1 \gamma_1 + h_w \gamma'$$

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

Ovi naponi se nazivaju i geostatički naponi (naponi usled sopstvene težine)

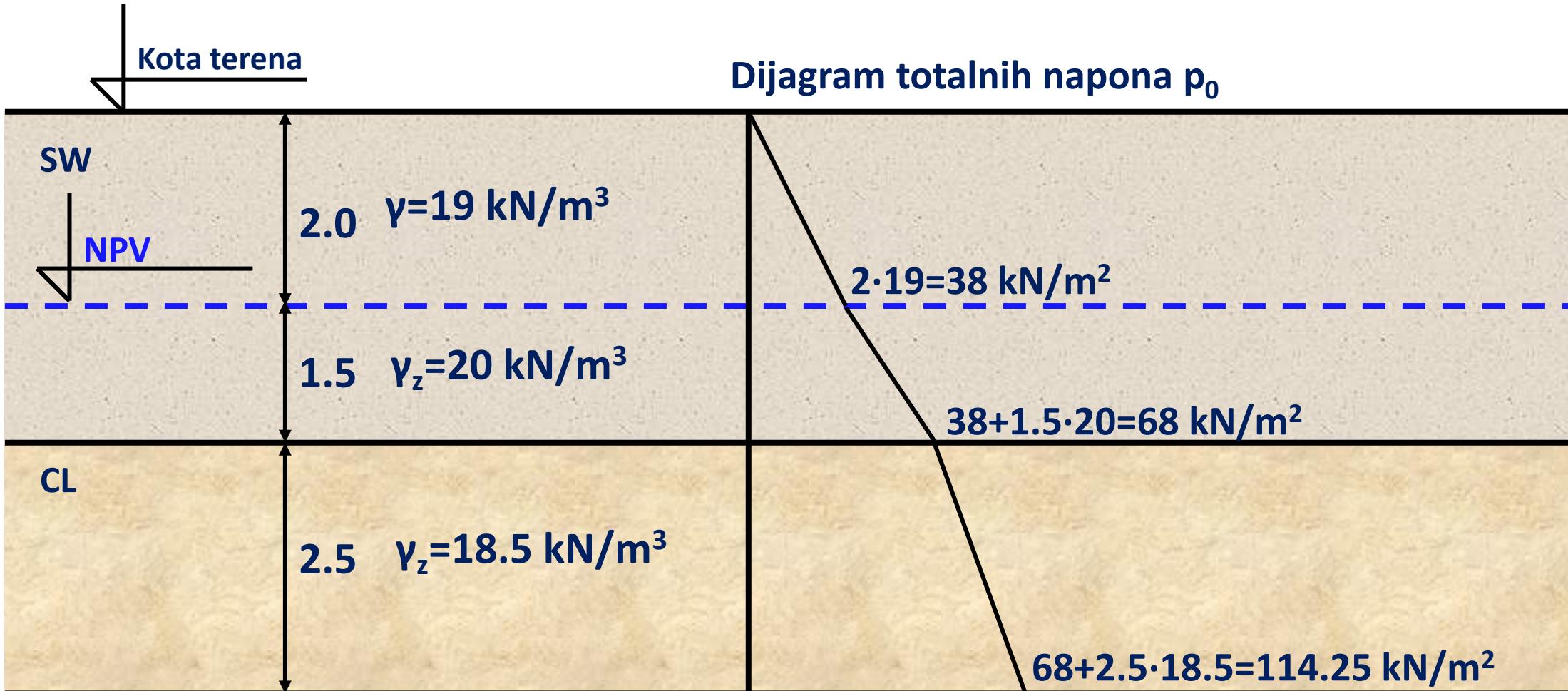
## ZADATAK 1

Za dati profil terena nacrtati dijagrame totalnih napona, efektivnih napona i pornih pritisaka



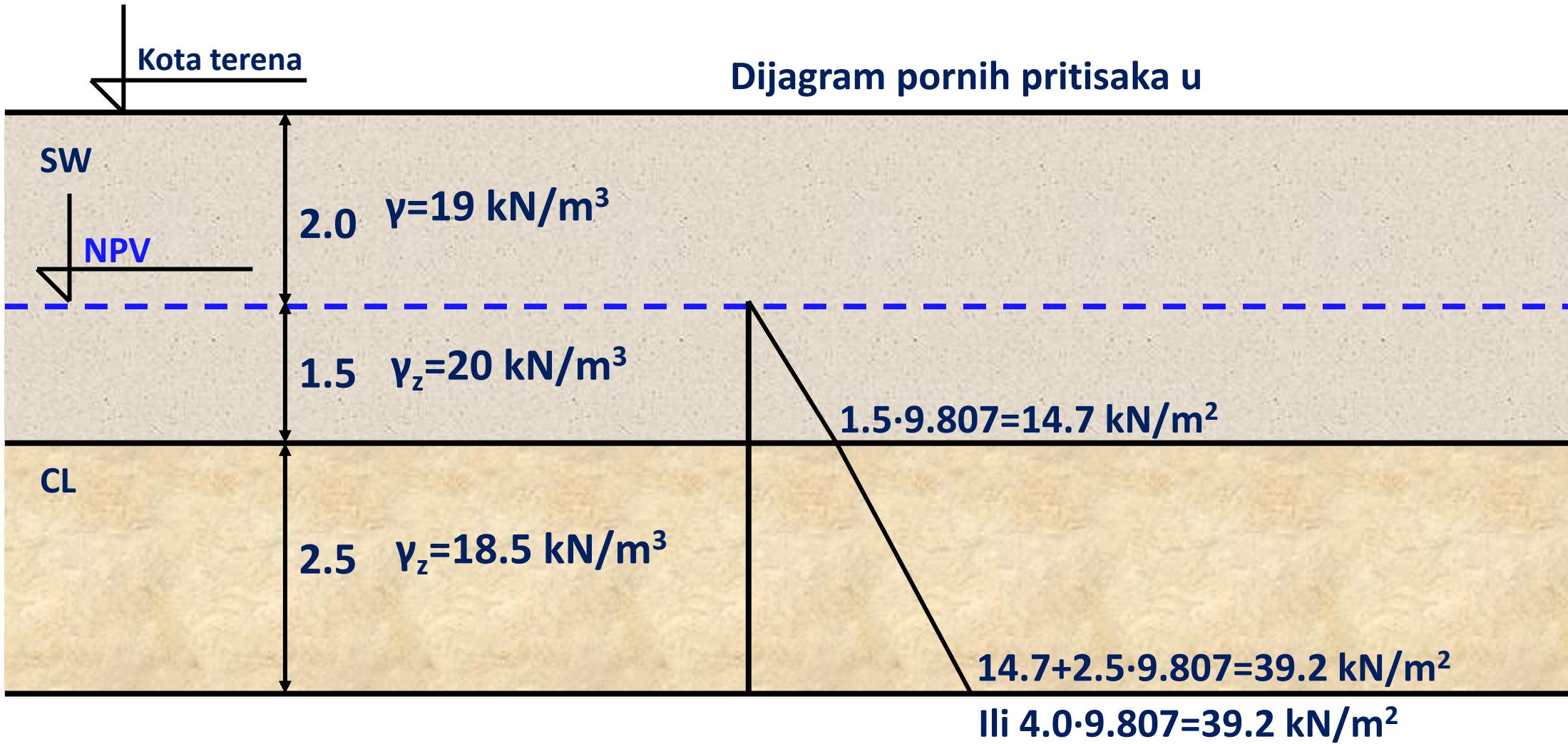
## ZADATAK 1

Za dati profil terena nacrtati dijagrame totalnih napona, efektivnih napona i pornih pritisaka



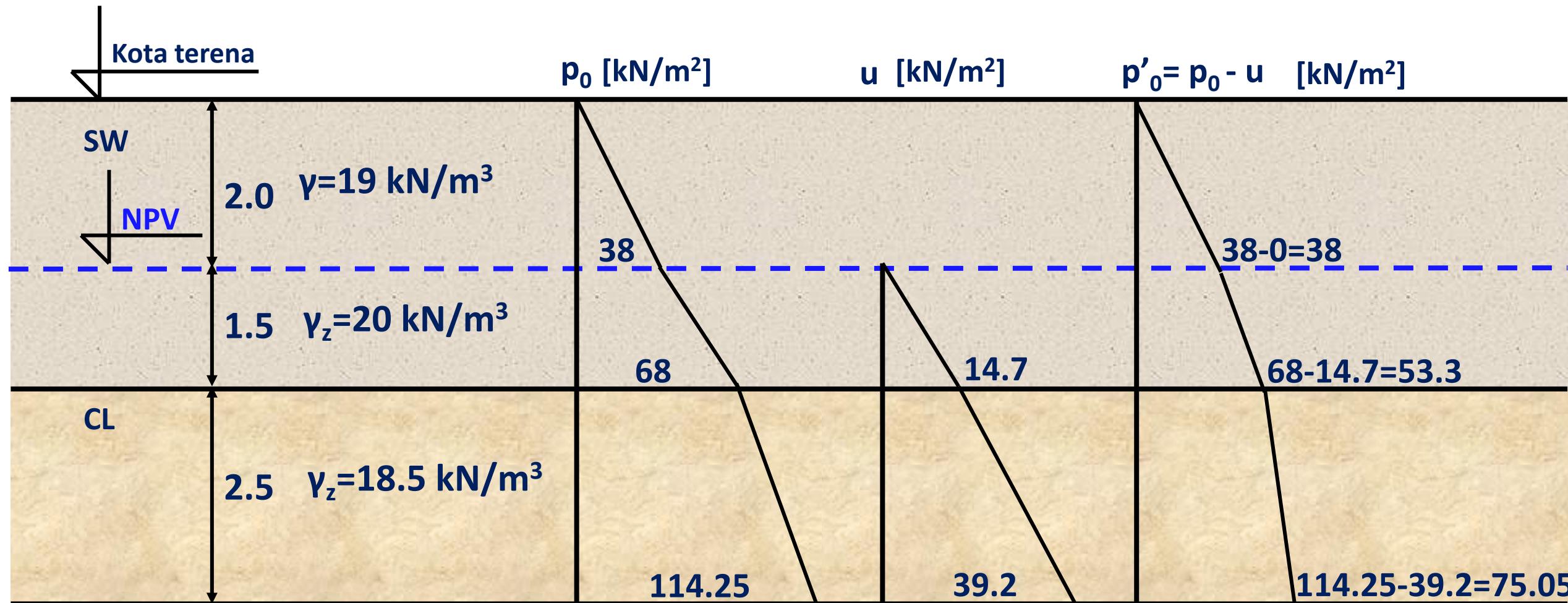
## ZADATAK 1

Za dati profil terena nacrtati dijagrame totalnih napona, efektivnih napona i pornih pritisaka



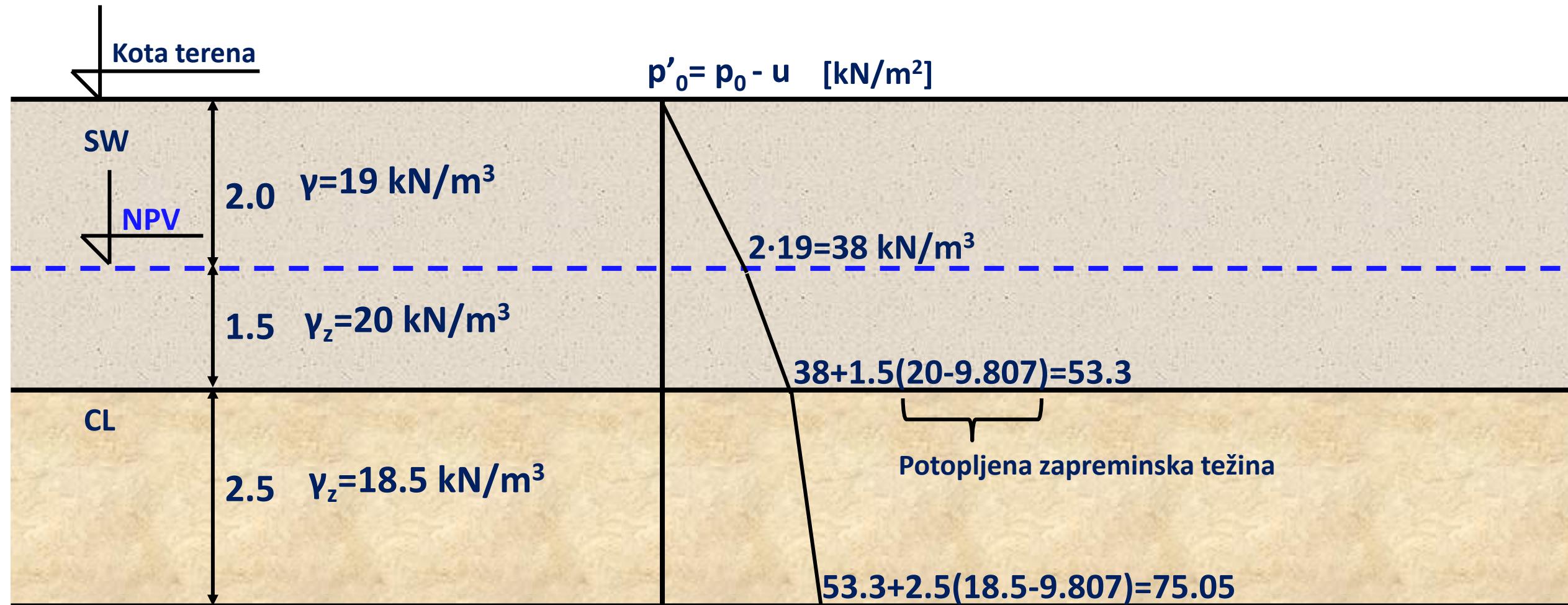
## ZADATAK 1

Za dati profil terena nacrtati dijagrame totalnih napona, efektivnih napona i pornih pritisaka



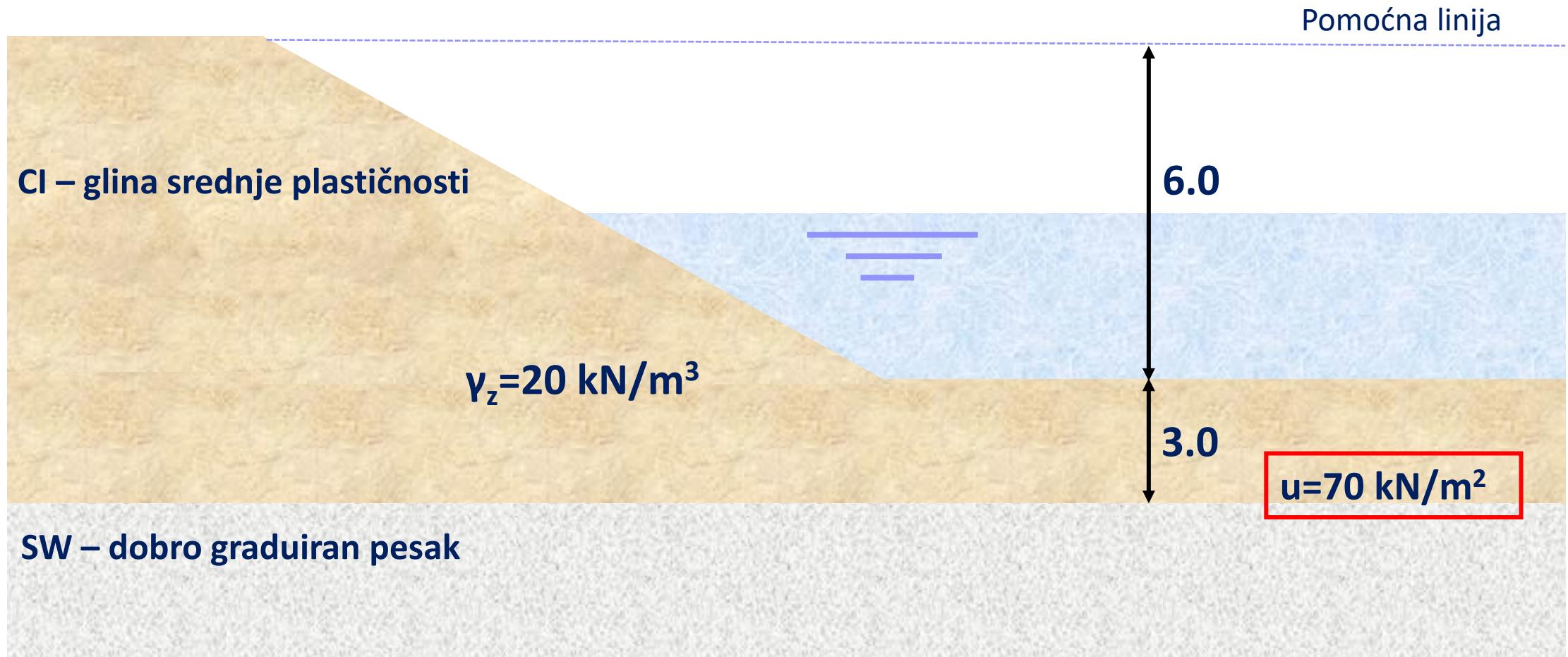
## ZADATAK 1

ILI  
Dijagram efektivnih napona



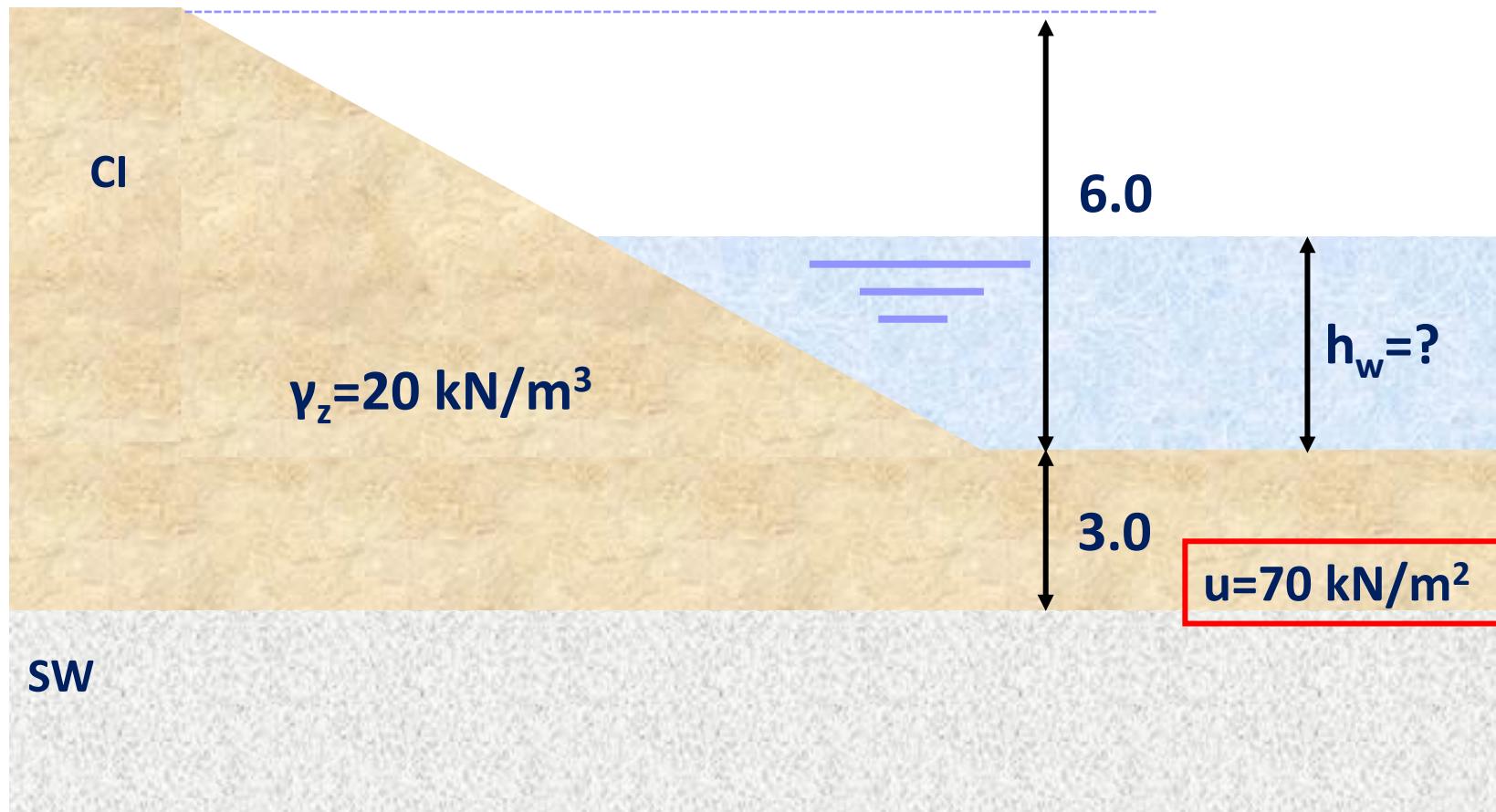
## ZADATAK 2

U sloju gline (CI) koja leži preko sloja peska (SW), iskopan je kanal prema skici. Porni pritisak na kontaktu peska i gline iznosi  $70 \text{ kN/m}^2$



**ZADATAK 2**

a) Izračunati graničnu dubinu vode  $h_w$  u kanalu pri kojoj nastaje hidraulički prolom dna kanala



Hidraulički prolom dna kanala nastaje kada je efektivni napon na dnu kanala jednak nuli

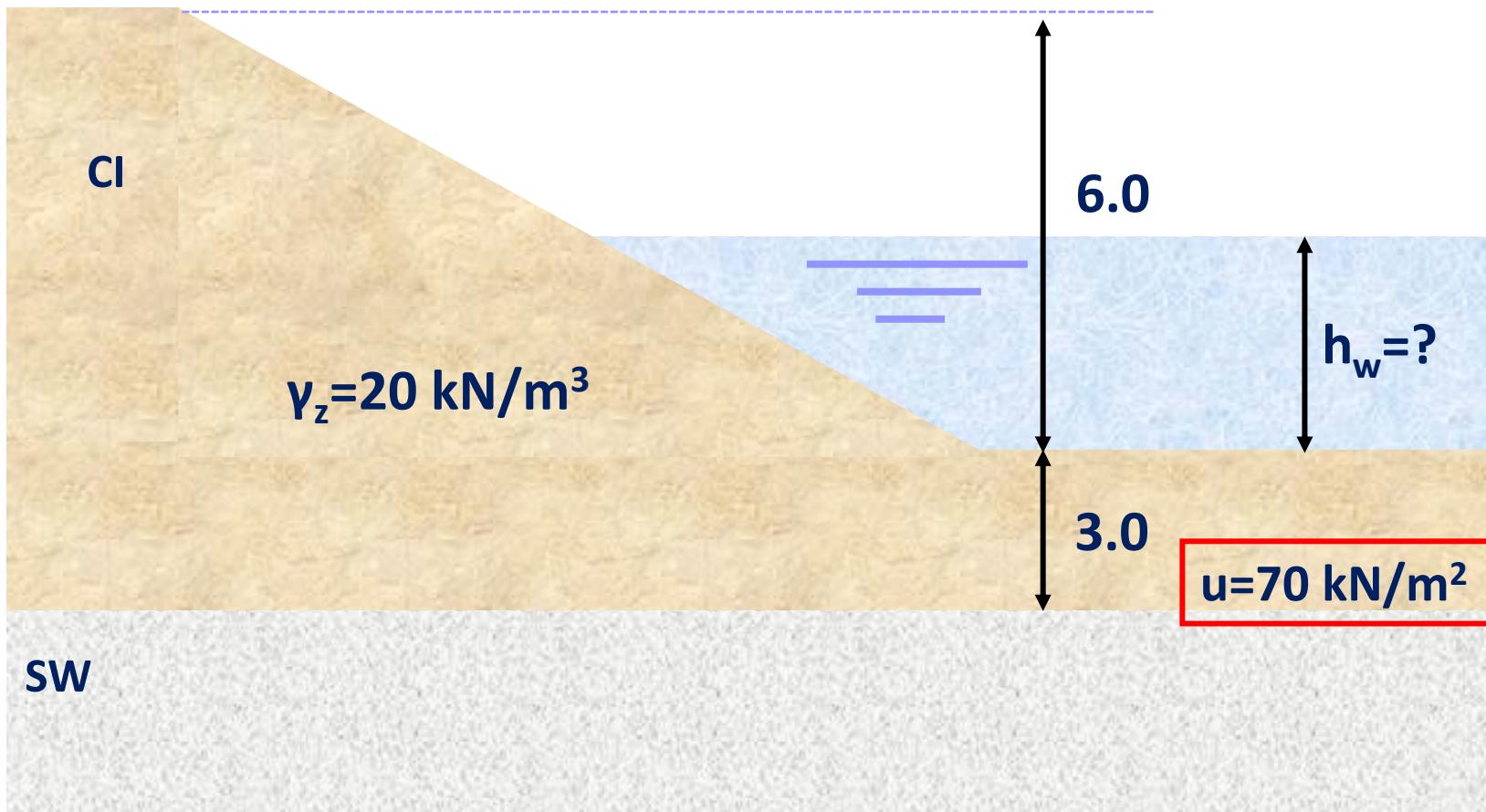
$$p'_0 = p_0 - u = 0$$

$$p'_0 = h_w \cdot 9.807 + 3 \cdot 20 - 70 = 0$$

$$h_w = 10 / 9.807 = 1.0 \text{ m}$$

**ZADATAK 2**

b) Izračunati dubinu vode u kanalu pri kojoj je faktor sigurnosti protiv proloma dna  $F_s=1.5$ .



Faktor sigurnosti protiv proloma dna se definiše kao odnos totalnog napona i pornog pritiska:

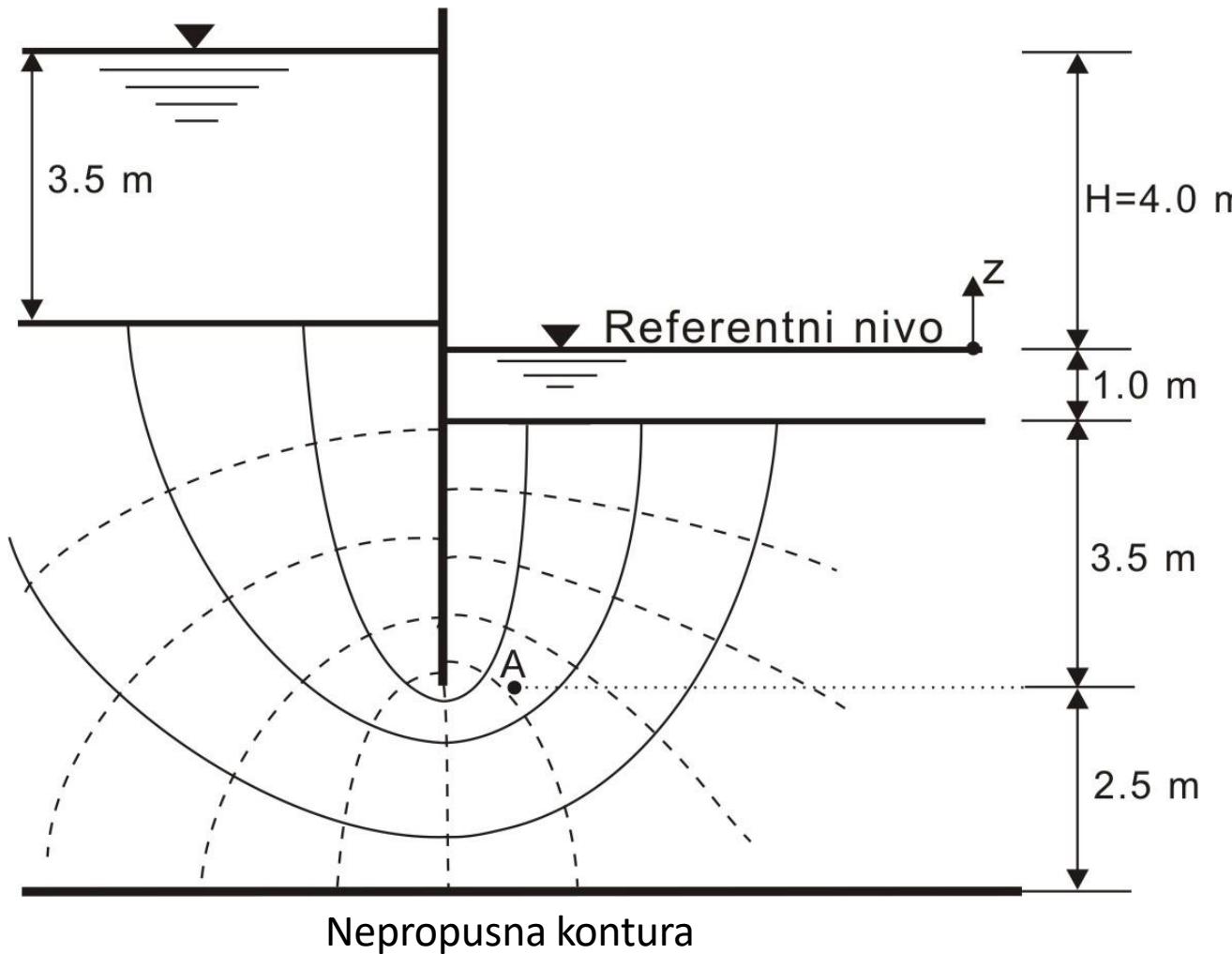
$$F_s = p_0 / u$$

$$1.5 = (h_w \cdot 9.807 + 3 \cdot 20) / 70$$

$$h_w = (70 \cdot 1.5 - 60) / 9.807 = 4.5 \text{ m}$$

**ZADATAK 3**

Za datu strujnu mrežu:

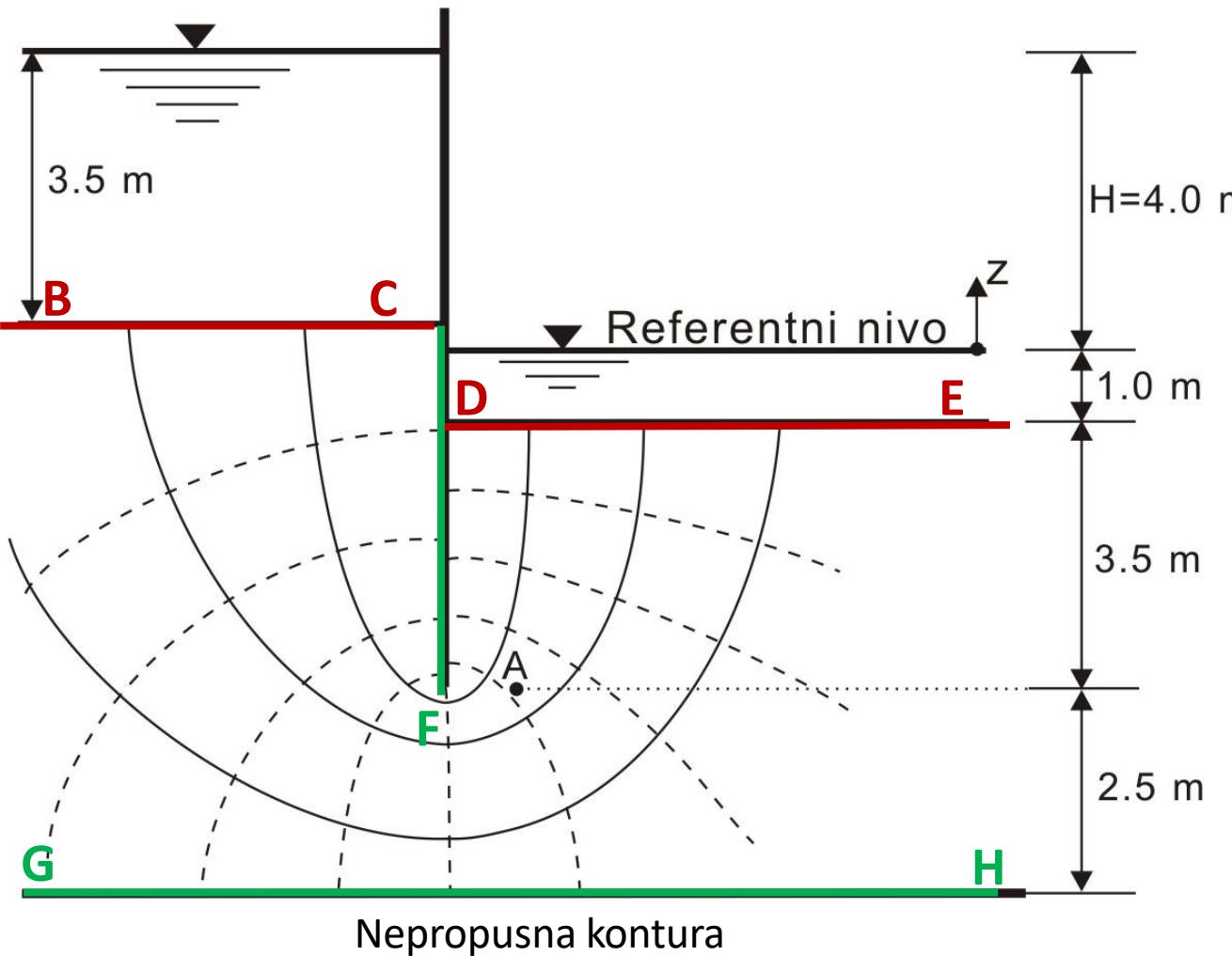


- a) Odrediti protok vode po m' jedne strane pribroja u  $m^3/\text{dan}$ .
- b) Odrediti vrednost pornog pritiska u tački A.
- c) Proceniti izlazni gradijent u području dna temeljne jame.
- d) Odrediti faktor sigurnosti protiv ključanja dna temeljne jame.

Koeficijent vodopropustnosti tla:  $k = 6 \cdot 10^{-5} \text{ cm/sec}$

Zapreminska težina  $\gamma_z = 21.0 \text{ kN/m}^3$

## ZADATAK 3



### GRANIČNI USLOVI:

- u svakoj tački na konturama **BC** u **DE** piyezometarska visina je konstanta)

**BC ekvipotencijala**

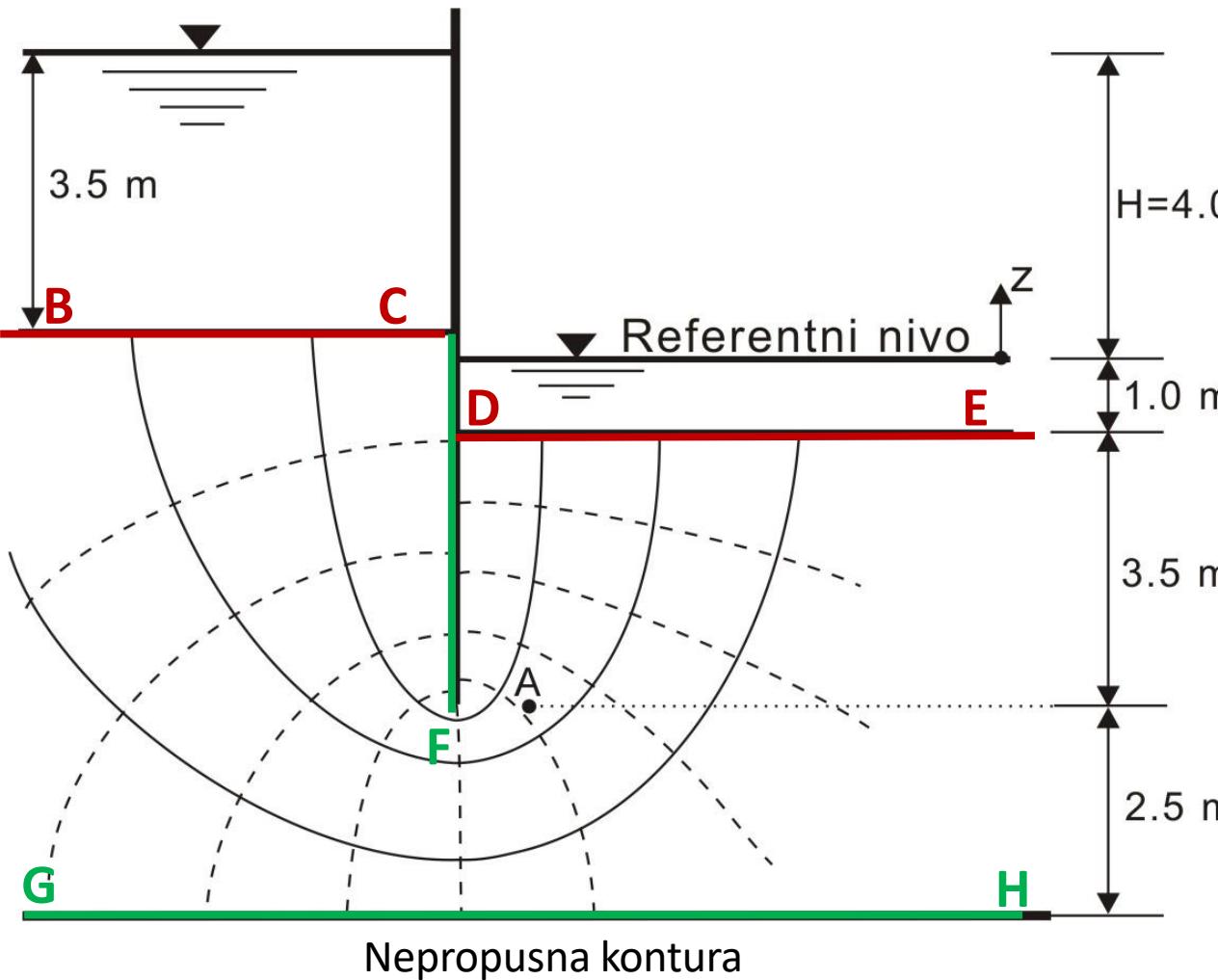
**DE ekvipotencijala**

- Iz tačke **C** voda teče naniže, duž uzvodne konture pribroja **CF**, oko vrha pribroja **F**, a zatim naviše duž nizvodne konture pribroja **FD**.
- Iz tačke **G** tok se odvija duž nepropusne konture **GH**.

**CF strujnica**

**GH strujnica**

## ZADATAK 3



- Strujna mreža se sastoji od:

$$N_f = 3.8 \text{ strujnih kanala}$$

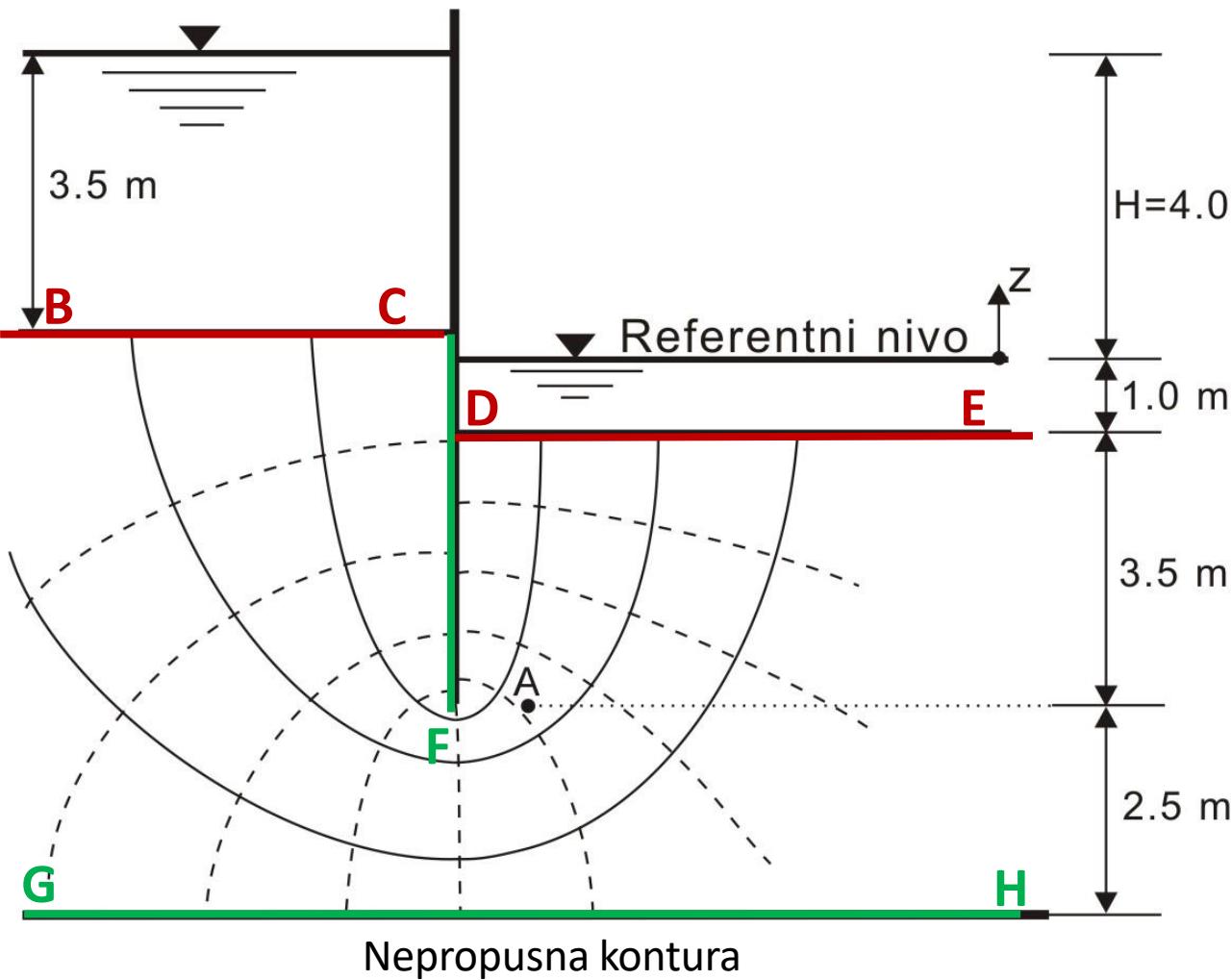
$$N_e = 10 \text{ padova između ekvipotencijala}$$

- Totalni pad pijeziometarske visine između dve susedne ekvipotencijale je:

$$\Delta h = \frac{H}{N_e} = \frac{4}{10} = 0.4 \text{ m}$$

- a) **Ukupan protok vode ispod pribroja u jedinici vremena i na jediničnu dužinu pribroja je:**

$$q = kH \frac{N_f}{N_e} = 6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-2} \cdot 4 \cdot \frac{3.8}{10} \cdot 86400 = \\ = 0.0788 \text{ } m^3 / \text{dan} / \text{m'}$$

**ZADATAK 3****b) Vrednost pornog pritiska u tački A:**

$$h_{B-C} = z_{B-C} + \left( \frac{u}{\gamma_w} \right)_{B-C} = 0.5 + \frac{3.5 \cdot 9.807}{9.807} = 4.0 \text{ m}$$

$$h_{D-E} = z_{D-E} + \left( \frac{u}{\gamma_w} \right)_{D-E} = -1.0 + \frac{1.0 \cdot 9.807}{9.807} = 0$$

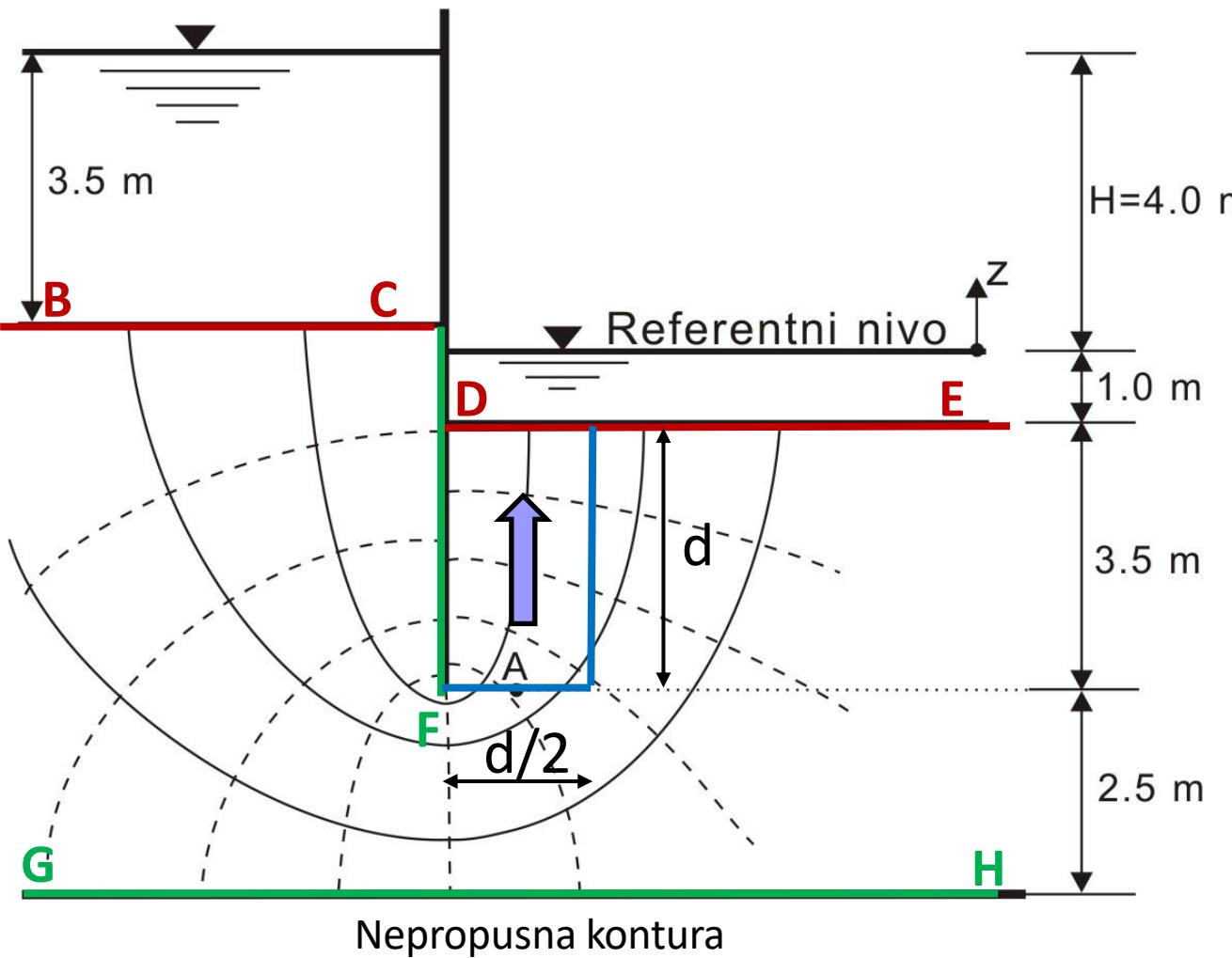
$$h_A = h_{D-E} + n_1 \Delta h = 0 + 3.8 \cdot 0.4 = 1.52 \text{ m}$$

$$h_A = h_{B-C} - n_2 \Delta h = 4 - 6.2 \cdot 0.4 = 1.52 \text{ m}$$

$$u_A = (h_A - z_A) \gamma_w = (1.52 - (-4.5)) \cdot 9.807 = 59.04 \text{ kPa}$$

## ZADATAK 3

## c) Izlazni gradijent u području dna temeljne jame:

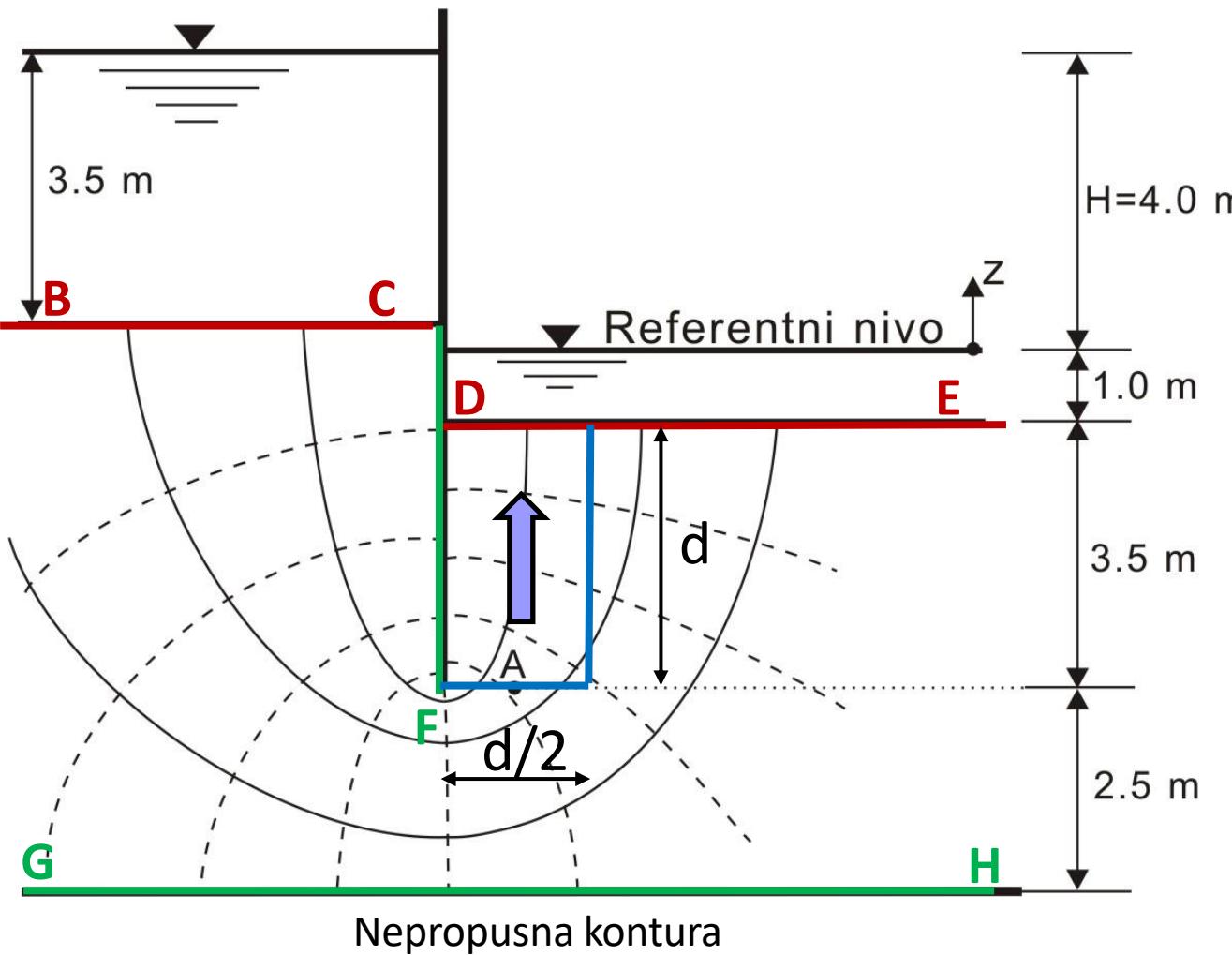


- U tlu neposredno desno od pribroja, duž poteza **FD**, pravac filtracije je praktično vertikalni, naviše.
- Modelskim ispitivanjima je utvrđeno da deo domena koji ograničava deo mase tla uz pribor približnih dimenzija **d x d/2** može postati nestabilan.
- Izlazni gradijent:

$$i = \frac{h_A - h_{D-E}}{d} = \frac{1.52 - 0}{3.5} = 0.434$$

## ZADATAK 3

d) Faktor sigurnosti protiv ključanja dna temeljne jame:



$$F_S = \frac{i_{cr}}{i}$$

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{21 - 9.807}{9.807} = 1.14$$

$$F_S = \frac{1.14}{0.434} = 2.63$$



HVALA NA PAŽNJI