

## 2 Promjena režima podzemnih voda u horizontalno uslojenom tlu.

Na lokaciji tlo se može smatrati horizontalno uslojenim: granice između slojeva su horizontalne ravnine. Površinski je sloj pijesak dobre graduiranosti, slijedi sloj gline srednje plastičnosti, te sloj šljunka jednolike graduiranosti.

Razina podzemne vode je u površinskom sloju pijeska, ali ispod slabo propusnog sloja gline, u šljunku, mijenja se ukupni potencijal – vezano na visinu vode u vodotoku odakle se taj sloj prihranjuje.

Prvo promotrimo situaciju u kojoj **nema strujanja**, ukupni potencijal jednak je po dubini.

U drugoj situaciji ukupni potencijal povećava se u donjem jako propusnom sloju – dok razina podzemne vode ostaje na istoj dubini – tako da dolazi do **strujanja vertikalno prema gore** kroz jako slabo propusni sloj. Totalna se naprezanja ne mijenjaju, ali se povećava tlak porne vode i smanjuju se efektivna naprezanja. Ako je porast potencijala u donjem sloju velik, može doći do potpunog smanjivanja efektivnih naprezanja i hidrauličkog sloma (provjerite u zadatku koje su dubine kritične).

U trećoj situaciji ukupni potencijal smanji se u donjem jako propusnom sloju – dok razina podzemne vode ostaje na istoj dubini – tako da dolazi do strujanja **vertikalno prema dolje** kroz jako slabo propusni sloj. Totalna se naprezanja ne mijenjaju, ali se smanjuje tlak porne vode i povećavaju se efektivna naprezanja.

Podaci o tlu odgovaraju onima iz prošlog zadatka, prije iskopa. Ukupni potencijal podigne se u donjem sloju za 8 m tj. spusti za 5 m.

### 1. situacija, bez strujanja

Naprezanja u tlu odgovaraju onima iz prošlog zadatka. Za referentnu ravninu bira se horizontala na dubini od **20 m**.

### 2. situacija, podizanje ukupnog potencijala u donjem sloju za 8 m

U piezometru spušenom u sloj šljunka očitava se podizanje ukupnog potencijala od 8 m, tj. podizanje vode u piezometru za 8 m iznad razine podzemne vode.

Budući da je propusnost sloja gline bitno manja od propusnosti susjednih slojeva pijeska i šljunka, promjena ukupnog potencijala tj. strujanje koncentrirani su na posve slabo propusni sloj gline. Ako je taj sloj homogen, promjene potencijala su linearne.

U gornjem sloju, sloju pijeska, ukupni potencijal ostaje jednak,  $h(2\text{m})=h(4\text{m})=20\text{m}-2\text{m}=18\text{m}$ .

U donjem sloju, sloju šljunka, ukupni potencijal viši je za 8 m,  $h(10\text{m})=h(20\text{m})=18\text{m}+8\text{m}=26\text{m}$ .

Između 4 m i 10 m dubine, ukupni potencijal mijenja se linearno između te dvije vrijednosti.

Razlika potencijala je  $\Delta h = 8\text{m}$ , duljina puta strujanja je  $\Delta l = 10\text{m} - 4\text{m} = 6\text{m}$ .

Hidraulički gradijent jednak je

$$i = -\Delta h / \Delta l = -8\text{m} / 6\text{m} = -1,33.$$

Ako je propusnost gline oko  $k \approx 10^{-7}$  cm/s, onda je Darcy-eva brzina jednaka  $v = i \cdot k \approx 1,33 \cdot 10^{-7}$  cm/s, što znači da kroz horizontalnu plohu jedinične površine prolazi  $1,33 \cdot 10^{-7}$  cm/s =  $1,33 \cdot 10^{-9}$  m/s, tj. kroz horizontalnu plohu površine 1m<sup>2</sup> u 1s prođe  $10^{-9}$  m<sup>3</sup> vode tj. protoka je

$$q = 1,3 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s} = 10^9 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s} \cdot (10^3/\text{m}^3) \cdot (3600\text{s}/\text{h}) = 5 \cdot 10^3 \text{ l} / \text{m}^3/\text{h}$$

Piezometarsku visinu dobijemo kao razliku ukupne visine,  $h$ , i geodetske visine,  $h_g$ , koja je određena referentnom visinom. Iz toga izračunamo tlak porne vode,  $u$ .

Jedinična efektivna težina toga tla uslijed strujanja smanji se na

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w + i \gamma_w = (19 - 10 - 1,33 \times 10) \text{ kN/m}^3 = -4,3 \text{ kN/m}^3.$$

Međutim, efektivna vertikalna naprezanja nisu manja od nule zbog težine gornjeg sloja, sloja pijeska.

Efektivna naprezanja možemo naći na dva načina: kao razliku totalnih naprezanja i porne tlaka:

$$\sigma'_v(10\text{m}) = \sigma_v(10\text{m}) - u(10\text{m}) = 186\text{kPa} - 160\text{kPa} = 26\text{kPa}$$

$$\sigma'_v(20\text{m}) = \sigma_v(20\text{m}) - u(20\text{m}) = 386\text{kPa} - 260\text{kPa} = 126\text{kPa}$$

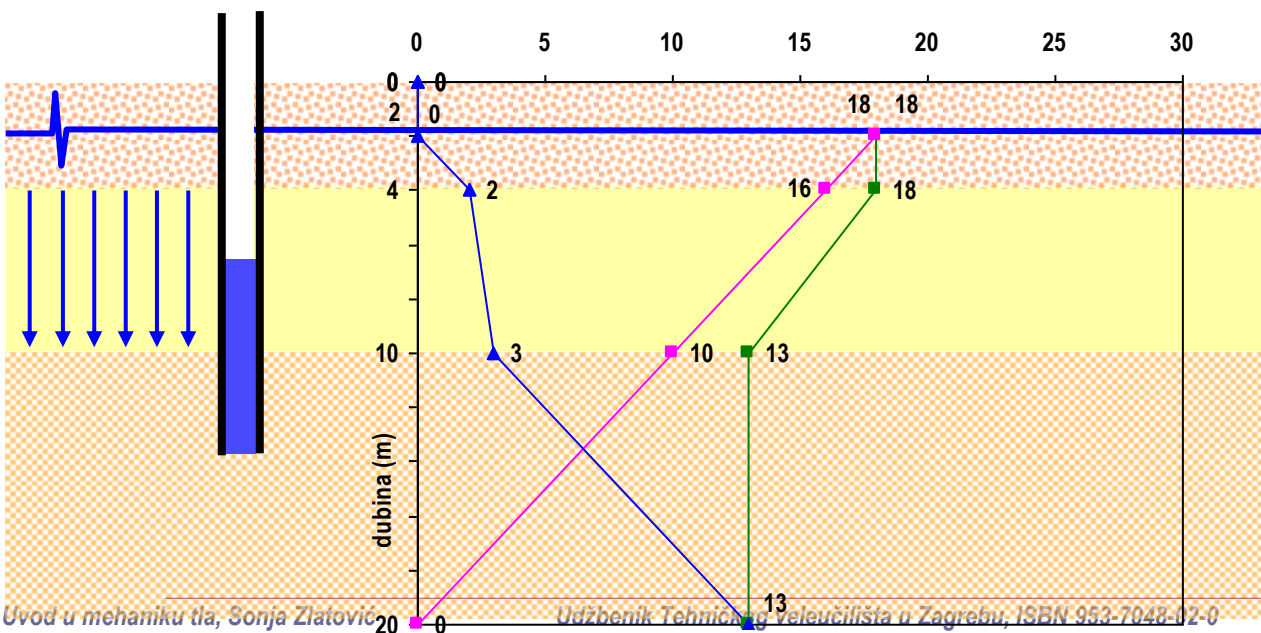
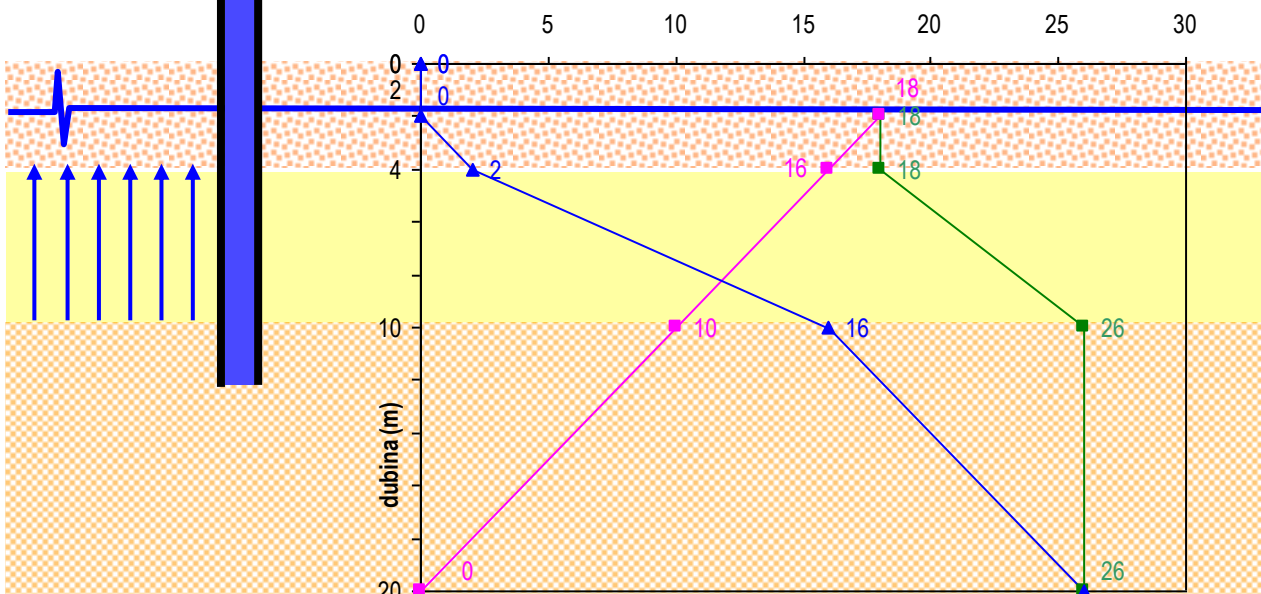
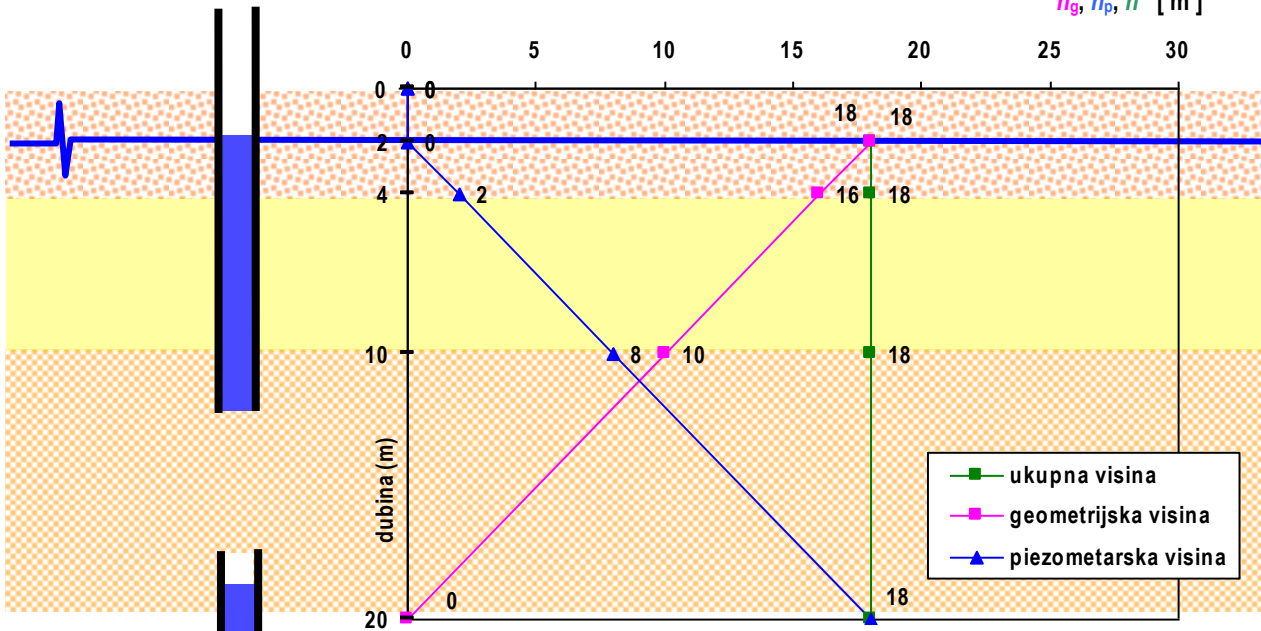
ili zbrajanjem efektivnih jediničnih težina

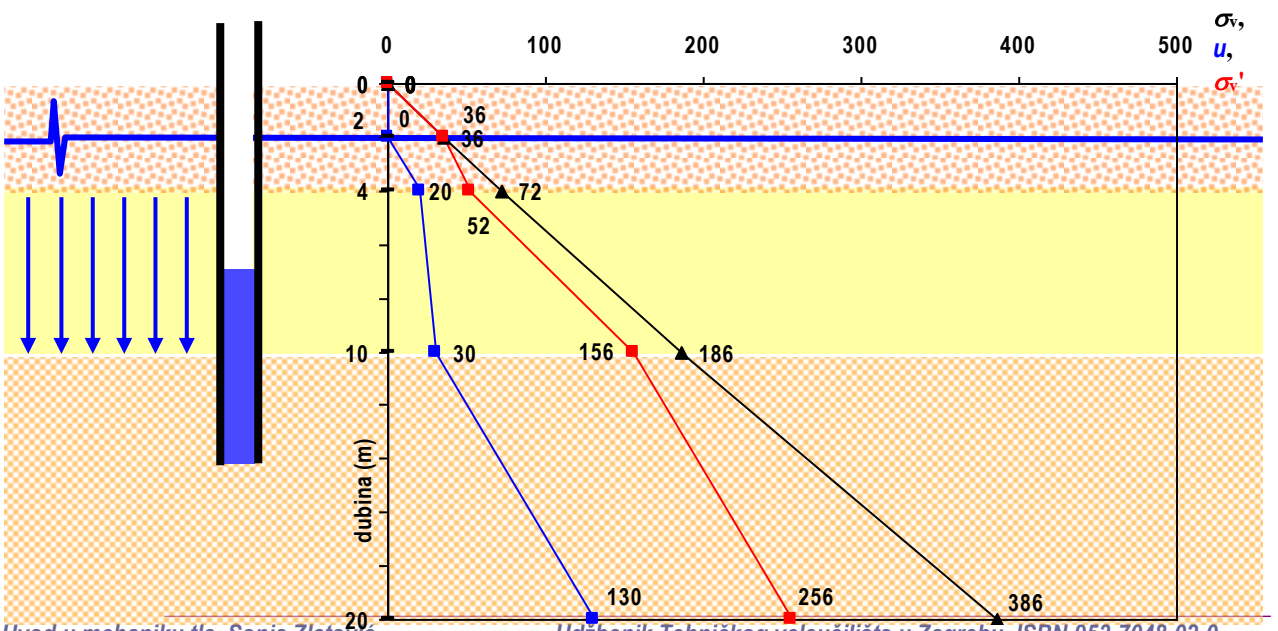
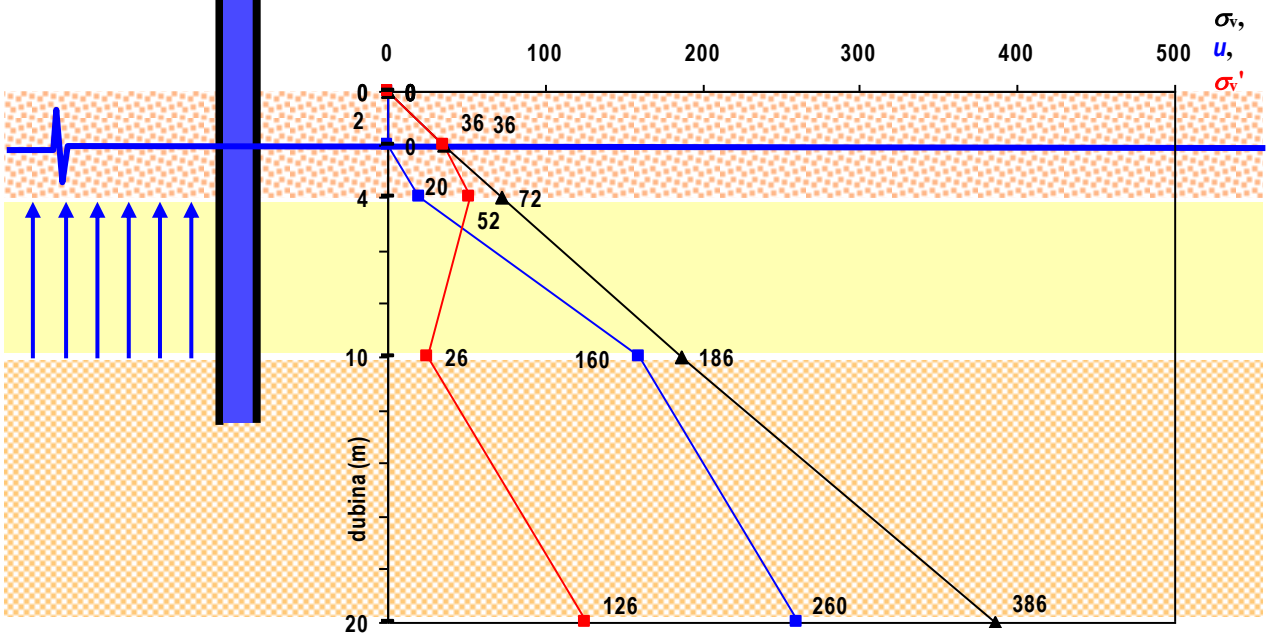
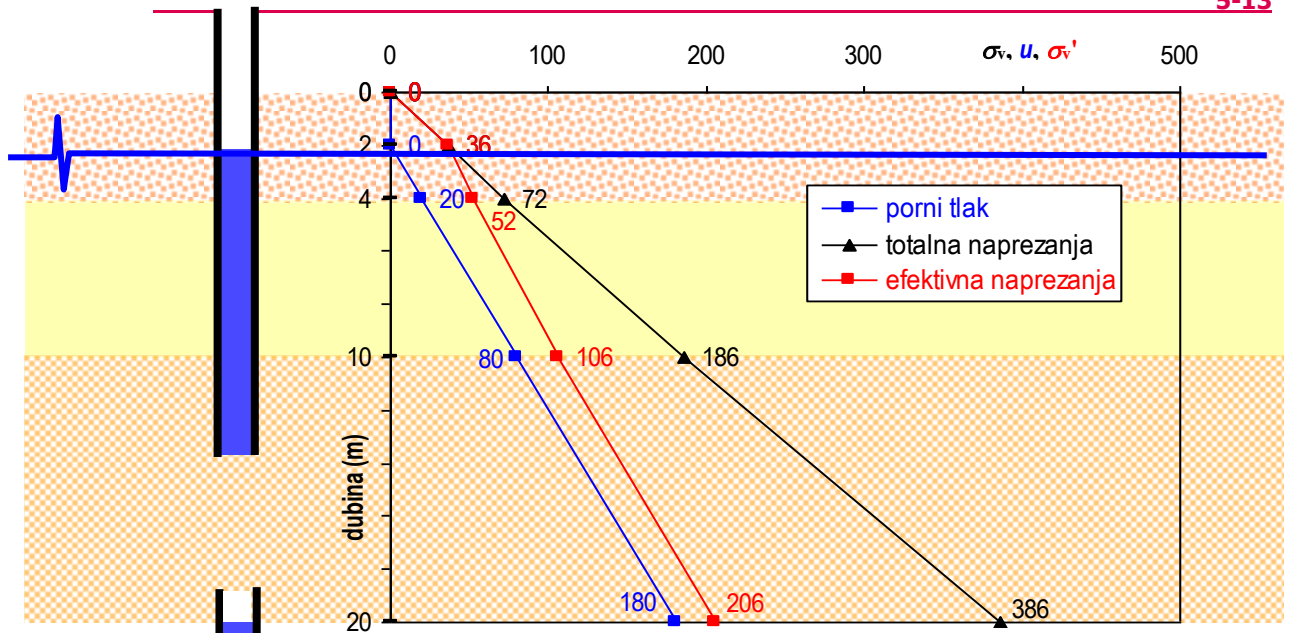
$$\sigma'_v(10\text{m}) = \sigma'_v(4\text{m}) + (-4,3) \text{ kN/m}^3 \times (10\text{m} - 4\text{m}) = 26\text{kPa}$$

$$\sigma'_v(20\text{m}) = 26\text{kPa} + (20 - 10) \text{ kN/m}^3 \times 10\text{m} = 126\text{kPa}$$

Vertikalna efektivna naprezanja na isti način izračunamo – ili očitamo iz dijagrama – i za svaku drugu dubinu.

$h_g, h_p, h$  [m]





**3. situacija, spuštavanje ukupnog potencijala u donjem sloju za 5 m**

U piezometru spuštenom u sloj šljunka očitava se smanjivanje ukupnog potencijala od 5 m, tj. spuštavanje vode u piezometru za 5 m ispod razine podzemne vode.

Strujanje je opet koncentrirano na bitno manje propustan sloj između susjednih slojeva velike propusnosti.

U gornjem sloju, sloju pijeska, ukupni potencijal ostaje jednak,

$$h(2\text{m})=h(4\text{m})=20\text{m}-2\text{m}=18\text{m}.$$

U donjem sloju, sloju šljunka, ukupni potencijal manji je za 5 m,

$$h(10\text{m})=h(20\text{m})=18\text{m}-5\text{m}=13\text{m}.$$

Između dubina 4 m i 10 m, ukupni potencijal mijenja se linearno između te dvije vrijednosti.

Razlika potencijala je  $\Delta h=5\text{m}$ , duljina puta strujanja je  $\Delta l=10\text{m}-4\text{m}=6\text{m}$ .

Hidraulički gradijent jednak je

$$i = - \Delta h / \Delta l = 5\text{m}/6\text{m}=0,83.$$

Protoka se bitno ne mijenja.

Piezometarsku visinu dobijemo kao razliku ukupne visine,  $h$ , i geodetske visine,  $h_g$ , koja je određena referentnom visinom.

Jedinična efektivna težina toga tla uslijed strujanja povećava se na

$$\gamma' = \gamma - \gamma_w + i\gamma_w = (19 - 10 + 0,83 \times 10) \text{kN/m}^3 = 17,3 \text{kN/m}^3.$$

Efektivna naprezanja možemo naći na dva načina: kao razliku totalnih naprezanja i pornog tlaka:

$$\begin{aligned} \sigma'_v(10\text{m}) &= \sigma_v(10\text{m}) - u(10\text{m}) = \\ &= 186 \text{kPa} - 30 \text{kPa} = 156 \text{kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma'_v(20\text{m}) &= \sigma_v(20\text{m}) - u(20\text{m}) = \\ &= 386 \text{kPa} - 130 \text{kPa} = 256 \text{kPa} \end{aligned}$$

ili zbrajanjem efektivnih jediničnih težina

$$\sigma'_v(10\text{m}) = \sigma'_v(4\text{m}) + 17,3 \text{kN/m}^3 \times (10\text{m} - 4\text{m}) = 156 \text{kPa}$$

$$\sigma'_v(20\text{m}) = 156 \text{kPa} + (20 - 10) \text{kN/m}^3 \times 10\text{m} = 256 \text{kPa}$$