



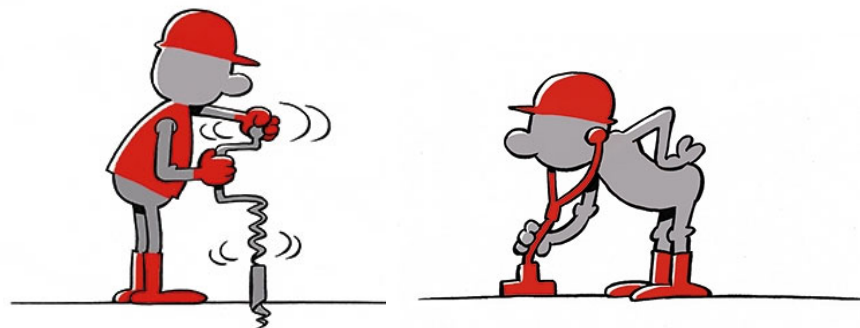
Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet  
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program:	<b>GRAĐEVINARSTVO</b>
Modul:	<b>Zajedničke osnove</b>
Godina/Semestar:	<b>2. godina / 4. semestar</b>
Naziv predmeta (šifra):	<b>MEHANIKA TLA (B3O2MT)</b>
Asistent:	<b>Milena Raković</b>
Naslov vežbi:	<b>RASPODELA NAPONA I PRORAČUN SLEGANJA</b>
Datum:	<b>22-26.4.2024.</b>

*Beograd, 2024.*

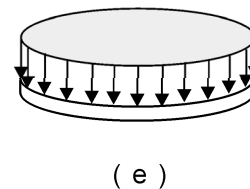
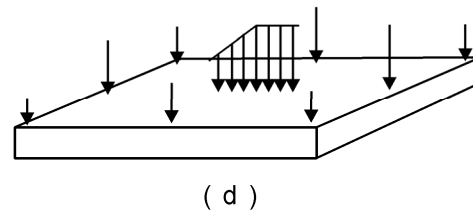
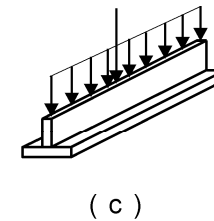
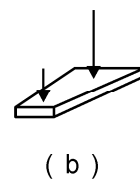
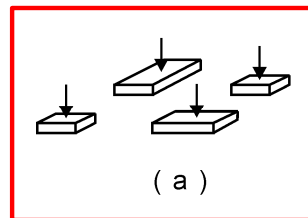
*Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2023/2024. i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.*

# RASPODELA NAPONA I PRORAČUN SLEGANJA



# TEMELJI

- Temelji su delovi građevinske konstrukcije koji prenose opterećenja objekta na podlogu, koja može biti tlo ili stena.
- Konstruktivni oblici temelja prikazani na Slici zavise od vrste opterećenja i karakteristika temeljnog tla.
- Prema načinu prenošenja opterećenja razlikujemo PLITKE i DUBOKE temelje.
- Plitki temelji opterećenje sa objekta prenose na podlogu preko naležuće površine temelja – temeljne spojnice, koja je najčešće oblika pravougaonika ili kvadrata ( $B \times L$ )
- Rastojanje od kote terena do kote temeljne spojnice naziva se dubina fundiranja ( $D_f$ )



# TEMELJI

## Plitko fundiranje



## SLEGANJE TEMELJA

Proračun sleganja temelja, koji prenose gravitaciona opterećenja građevinskih objekata na tlo, sastoji se od tri sledeća zadatka:

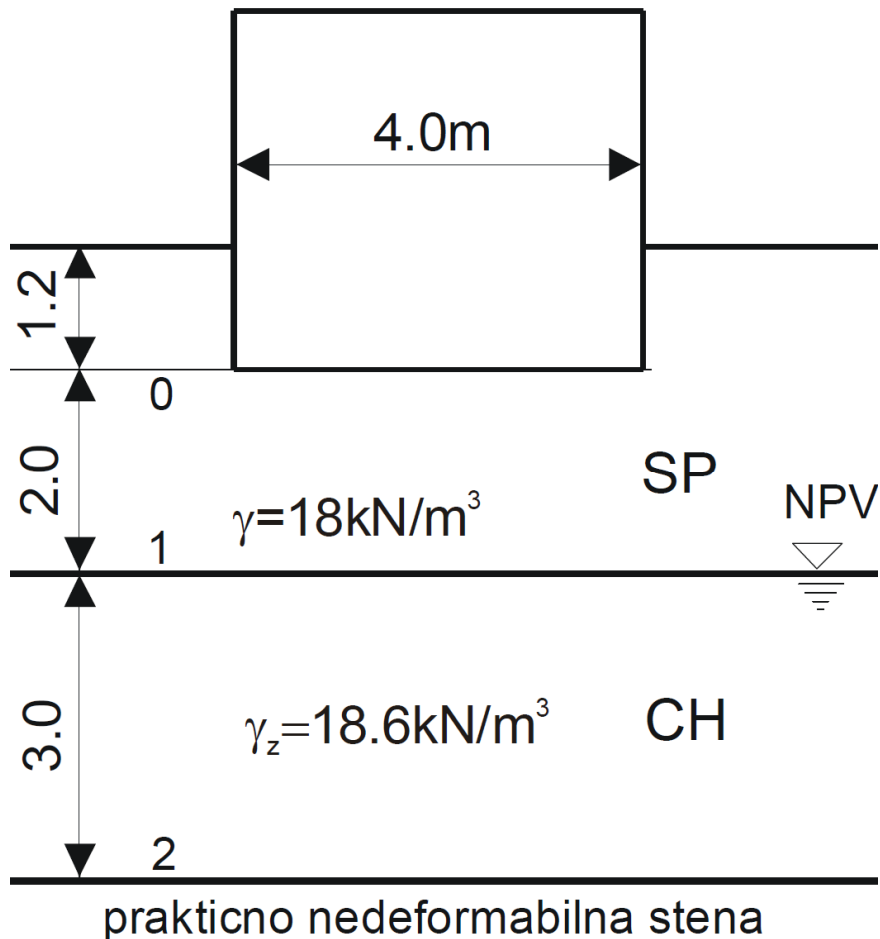
**1. ODREDITI RASPODELU NAPONA U TLU**

**2. ODREDITI VELIČINE DEFORMACIJA**

**3. INTEGRISATI DEFORMACIJE DA BI SE DOBILA POMERANJA, TJ. SLEGANJE TEMELJA**



# 1. ZADATAK

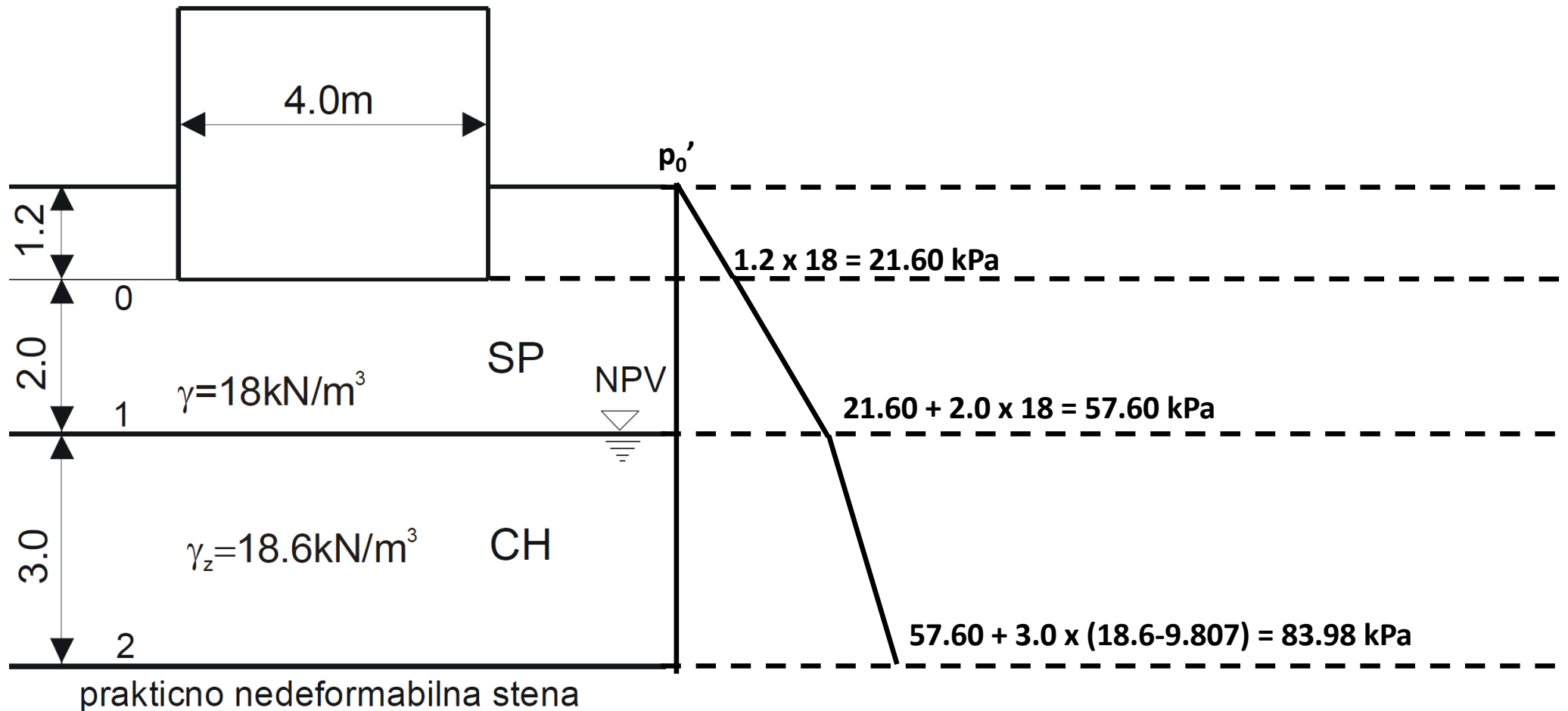


- **Fleksibilna temeljna stopa** dimenzija 4x6m, kao na skici, opterećena je koncentrisanom silom  **$Q=3600 \text{ kN}$** .
- **Izračunati:**
  - Naprezanja od sopstvene težine tla u tačkama 0, 1 i 2
  - Naprezanja od objekta u tačkama 0, 1 i 2 na vertikali kroz centralnu tačku
  - Specifične deformacije  $\epsilon$  u tačkama 0, 1 i 2.
  - **Veličinu sleganja središnje tačke** temeljne stope približnom integracijom specifičnih deformacija  $\epsilon$
- **Nacrtati dijagrame** promene napona i deformacija po dubini u tačkama 0, 1 i 2.
- **Parametri stišljivosti:**
  - SP:  $M_v=15000 \text{ kN/m}^2$
  - CH:  $M_v=4500 \text{ kN/m}^2$

## 1. ZADATAK

- Proračun napona i deformacija se vrši u određenom broju tačaka po dubini. U praksi se za ovakve proračune koriste računarski programi koji omogućavaju proračun u velikom broju tačaka po dubini
- U slučaju ispitnih zadataka, radi uštede vremena, proračun se vrši u manjem broju tačaka – **karakterističnim tačkama**
  - **Karakteristične tačke su, po pravilu, tačka u nivou temeljne spojnice (0) i na granicama slojeva (1, 2)**
  - Na ispitu se može tražiti i proračun u još nekoliko tačaka (npr. u sredini sloja)
- Rezultati proračuna prikazuju se odgovarajućim dijagramima napona i deformacija po dubini

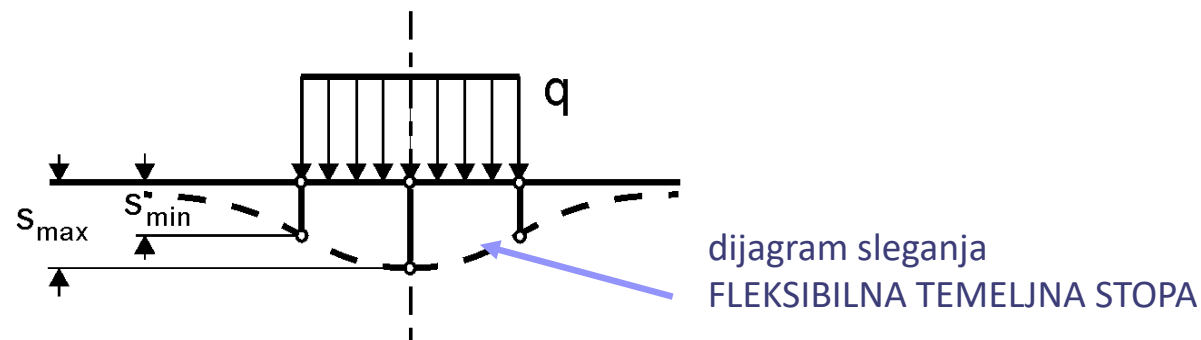
## 1.1. Proračun geostatičkih efektivnih napona





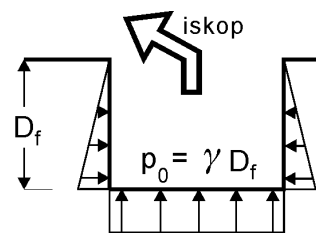
## 1.2. Proračun priraštaja vertikalnih napona (naprezanja od objekta)

- Proračun sleganja se može izvršiti za različite tačke u osnovi temelja, kao i za tačke izvan osnove temelja. U praksi se za ovakve proračune koriste računarski programi koji omogućavaju proračun za veći broj tačaka
- Na ispitu, radi uštede vremena, proračun se vrši najčešće u jednoj tački u osnovi temelja
  - U ovom zadatku proračun vršimo u centralnoj tački temelja. Za slučaj fleksibilne temeljne spojnice, sleganje temelja je najveće upravo u centralnoj tački
- Prvi korak proračuna je određivanje neto kontaktnog napona  $q_n$ .

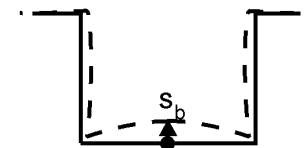


## 1.2.1 Određivanje neto kontaktnog napona $q_n$ (podsećanje – PREDAVANJA)

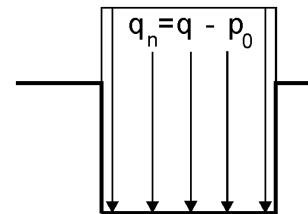
- S obzirom da se opterećenje građevinskim objektom izuzetno retko izvodi na samoj površini terena, uobičajeno izvođenje temelja počinje izvođenjem iskopa. Tlo iz područja temeljne jame se uklanja i dolazi do rasterećenja tla ispod budućeg temelja sa promenom kontaktnih opterećenja prikazanih na Slici.
- Usled smanjenja normalnih napona u centralnom području ispod budućeg temelja dolazi do deformacija bubrenja u elastičnoj oblasti rasterećenja, tako da tlo može bubriti u veličini  $s_b$  (Slika b).
- Nakon završenog uklanjanja tla, dno iskopa se počinje opterećivati temeljnom konstrukcijom, proces bubrenja se zaustavlja, počinju pomeranja na niže, tako da kada opterećenje dostigne raniji geostatički nivo napona  $p'_v = p'_0$ , svi efekti bubrenja se anuliraju i nakon povećavanja napona iznad geostatičkog, počinju stvarna sleganja, Slika d.



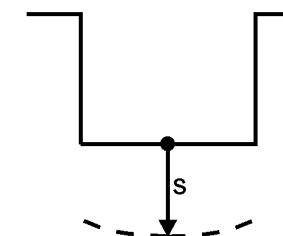
( a )



( b )



( c )



( d )

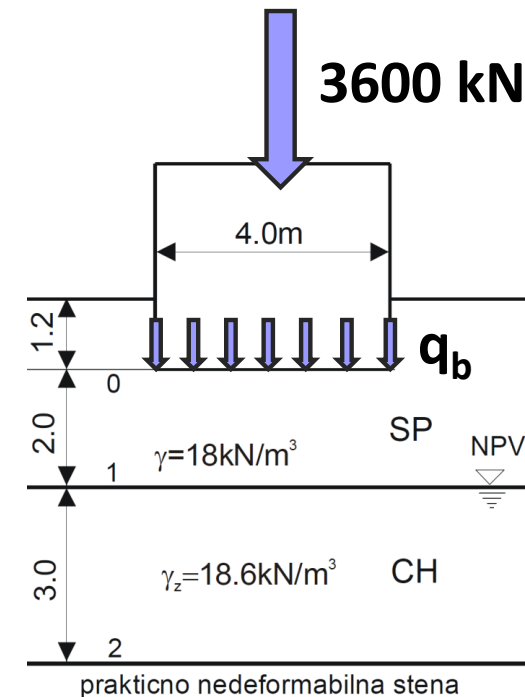
## 1.2.1 Određivanje neto kontaktnog napona $q_n$

- U proračunu sleganja priraštaj vertikalnih napona određuje se nanošenjem neto kontaktnog napona  $q_n$ , koji predstavlja razliku bruto kontaktnog napona  $q_b$  i geostatičkog vertikalnog efektivnog napona na nivou temeljne spojnice  $p'_0$ .

$$q_n = q_b - p'_0$$

$$q_n = q_b - p'_0 = \frac{Q}{BL} - \gamma D_f$$

$$q_n = \frac{3600}{4 \cdot 6} - 18 \cdot 1.2 = 128.4 \text{ kPa}$$

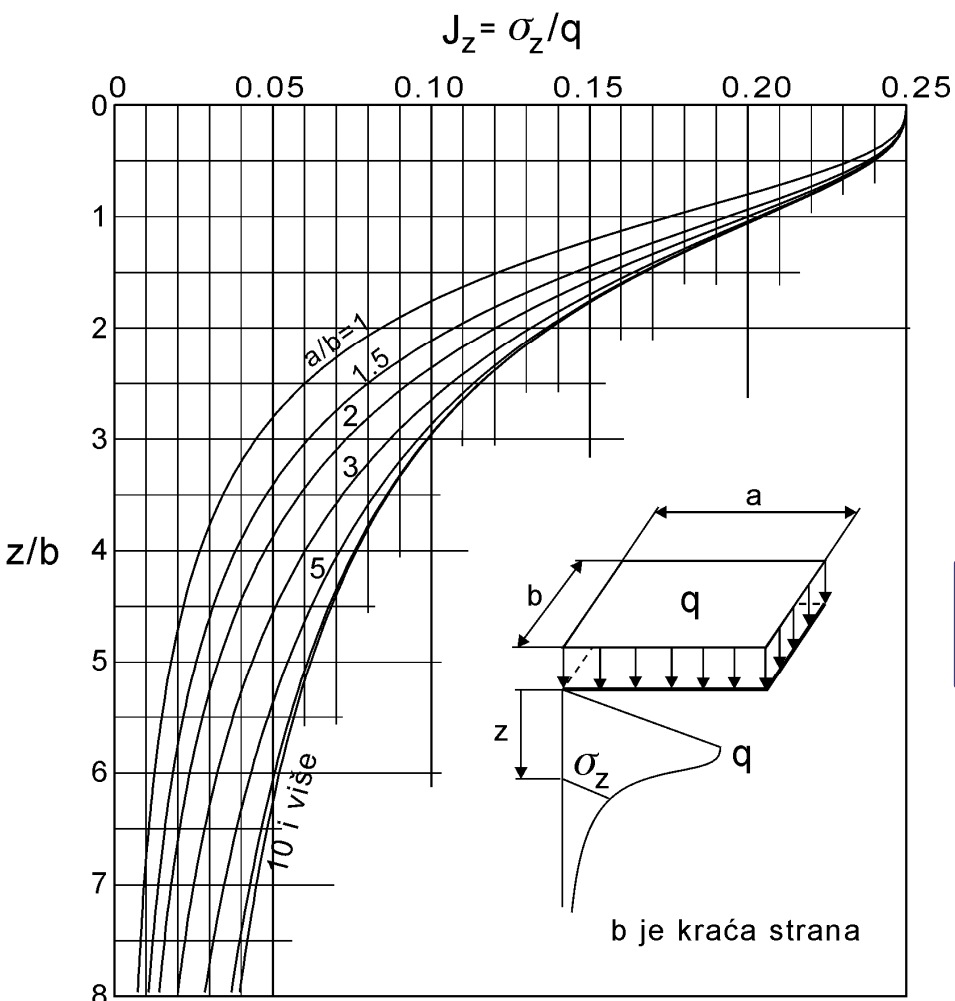




## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

- Raspodelu vertikalnih napona po dubini, za fleksibilnu temeljnu stopu, možemo odrediti metodom Štajnbrenera.
- Štajnbrenerovo rešenje daje raspodelu napona ispod ugaone tačke pravougaonog temelja, opterećenog jednakopodeljenim opterećenjem
- U slučaju ispitnih zadataka, radi uštede vremena, proračun se vrši primenom Štajnbrenerovog dijagrama u bezdimenzionalnom obliku

## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini



$$\sigma_z = q J_z$$

(Steinbrenner, 1926)



$J_z$  je uticajni koeficijent koji zavisi od proporcija  $a/b$  pravougaone opterećene površine i dubine  $z$  prikazan dijagramom u bezdimenzionalnom obliku

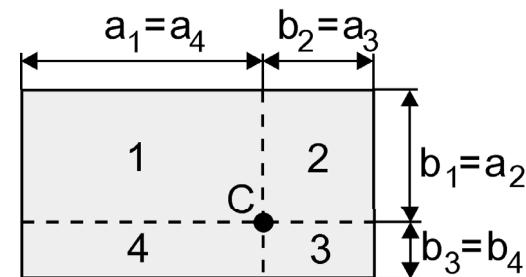
$a, b$  – dimenzije temelja

$b$  – kraća dimenzija temelja!!!

Navedeni izraz važi za raspodelu vertikalnih napona na vertikalnoj liniji koja prolazi kroz ugao pravougaonika.

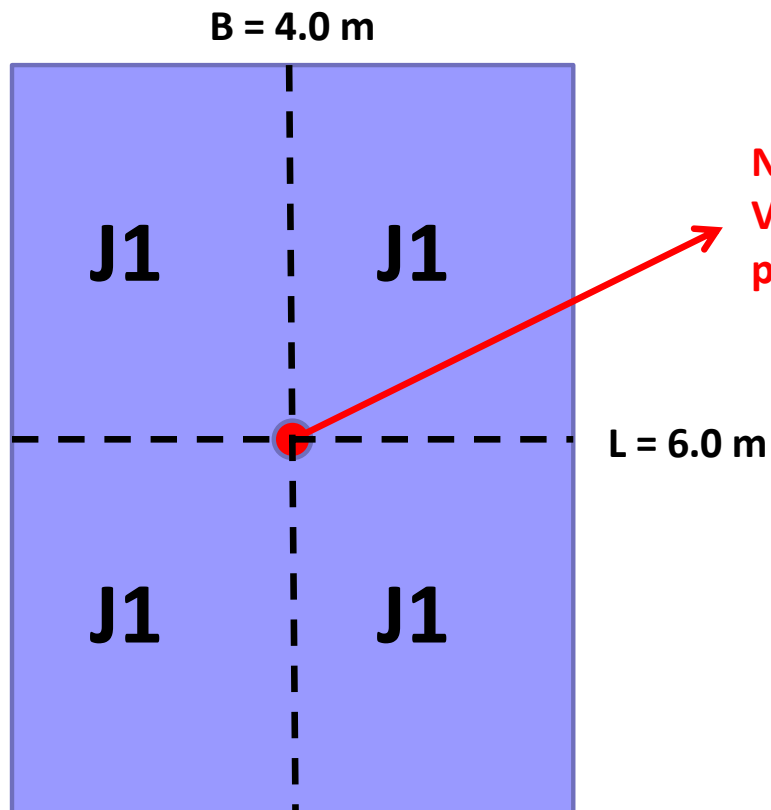
## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

- Ukoliko je potrebno odrediti napon u nekoj drugoj tački osim ugaone tačke pravougaonika, primenjuje se princip superpozicije
- Opterećeno područje se izdela na elementarne pravougaonike za koje je tačka ispod koje određujemo raspodelu vertikalnih napona **ugaona tačka**
- Za svaki elementarni pravougaonik stranica  $b$  je uvek kraća stranica elementarnog pravougaonika koji se koristi u izračunavanju bezdimenzionih odnosa  $a/b$  i  $z/b$  radi očitavanja uticajnog koeficijenta  $J_z$  za odgovarajući elementarni pravougaonik.



$$J_C = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$$

## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini



Nije u uglu pravougaonika!  
Vršimo podelu na elementarne pravougaonike i primenjujemo  
princip superpozicije

$$J = 4 J_1$$

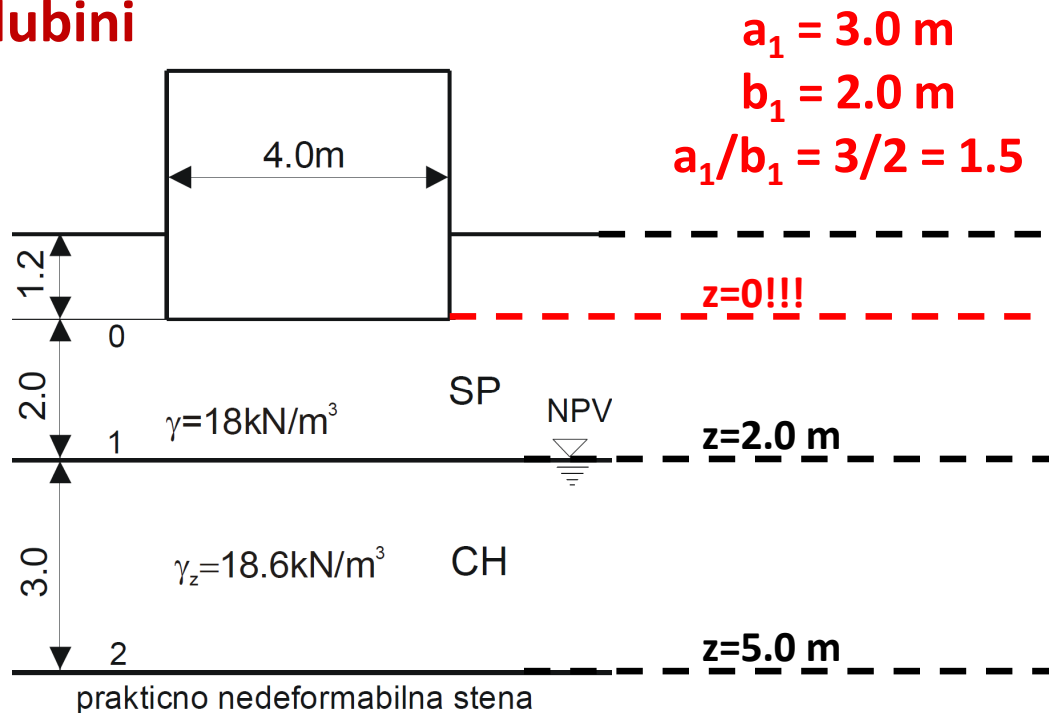
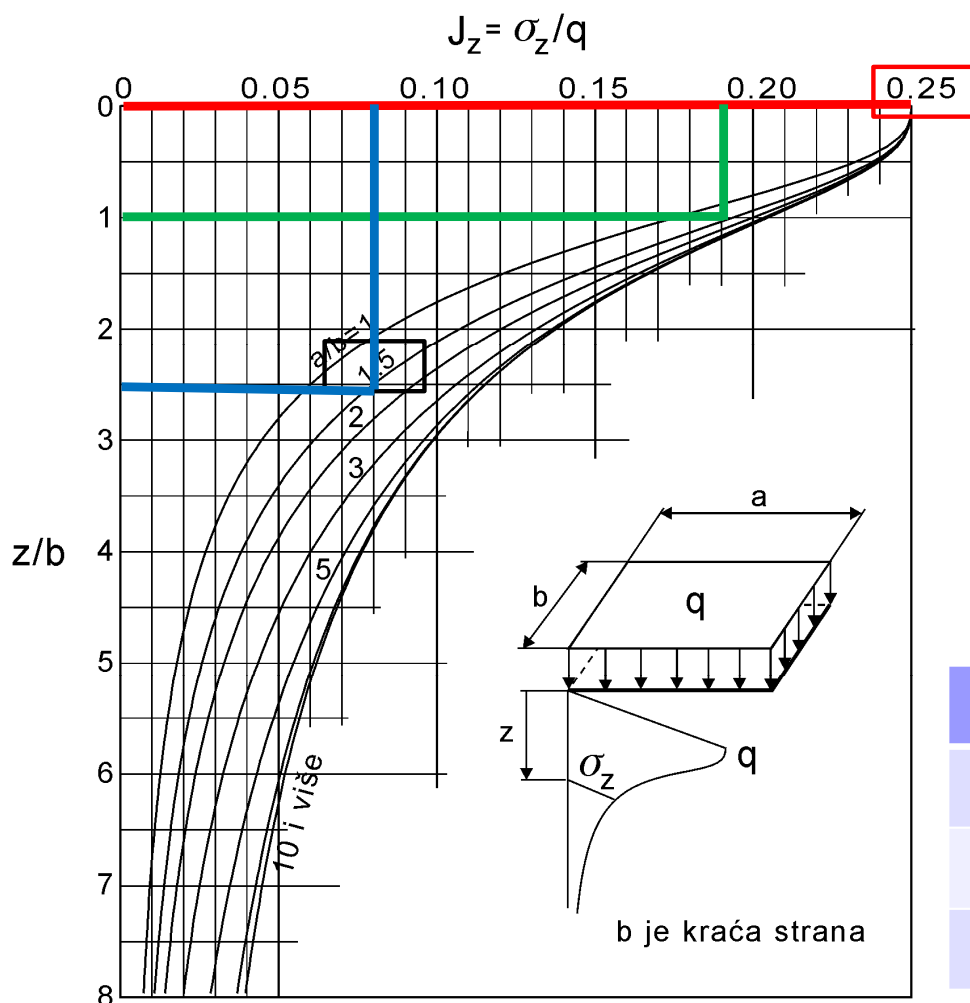
Određivanje  $J_1$ :

$$a_1 = 3.0 \text{ m}$$

$$b_1 = 2.0 \text{ m}$$

$$a_1/b_1 = 3/2 = 1.5$$

## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

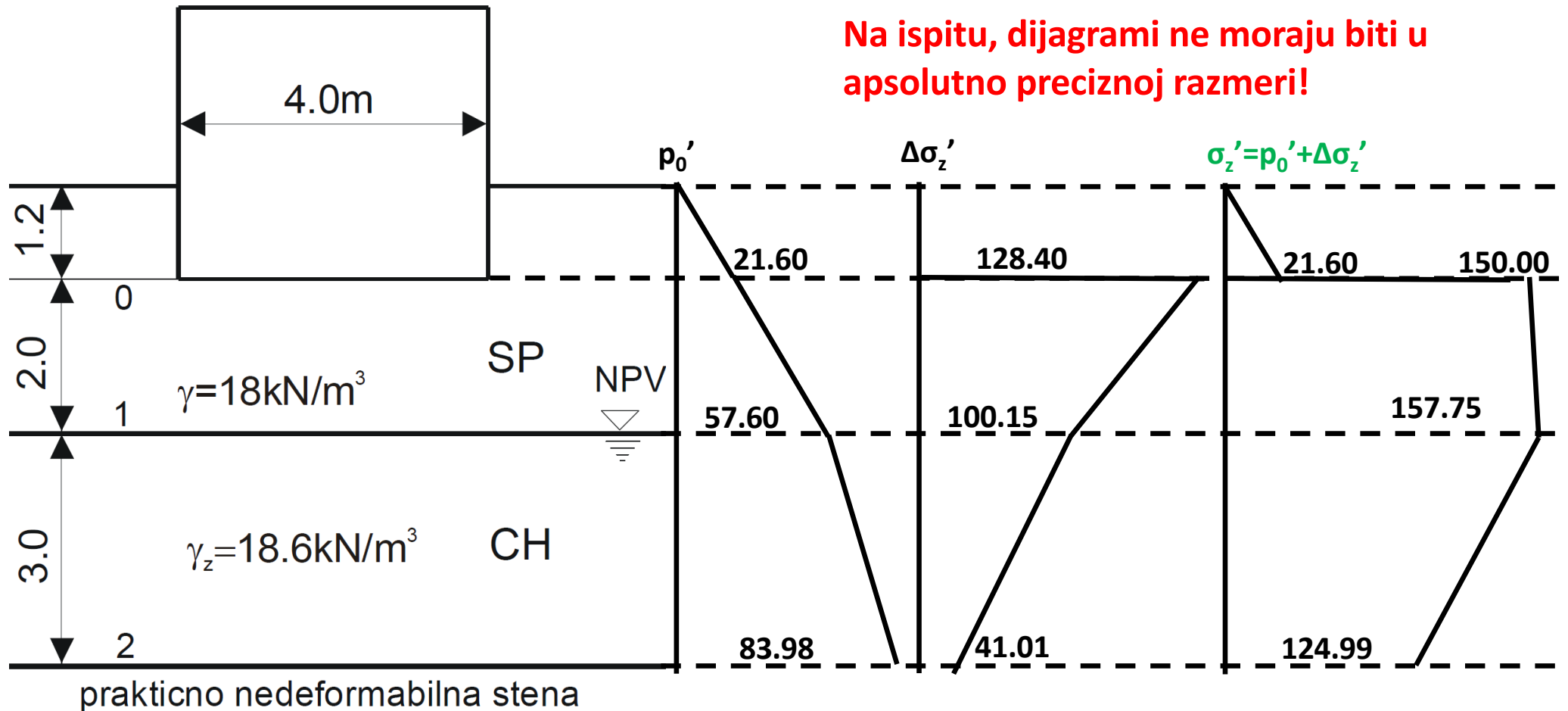


Tačka	$z$ [m]	$z/b_1$	$J_1$	$J=4J_1$	$\Delta\sigma_z=q_n J$
0	0	0	0.250	1.00	128.40
1	2	1	0.195	0.78	100.15
2	5	2.5	0.080	0.32	41.01



## 1.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

Na ispitu, dijagrami ne moraju biti u apsolutno preciznoj razmeri!



## 1.3. Proračun specifičnih deformacija

- Proračun specifičnih deformacija po dubini vršimo pod pretpostavkom da se stub tla ispod opterećene površine deformiše isto kao i uzorak u edometru
  - Bočne deformacije su jednake nuli, i postoji samo vertikalna deformacija  $\epsilon_z$
- Deformacije u tlu koje su posledica priraštaja napona računamo koristeći parametre deformabilnosti tla. Parametri deformabilnosti tla su bili tema Predavanja broj 4.
- Važno je napomenuti da se pri proračunu sleganja tla računaju deformacije usled PRIRAŠTAJA VERTIKALNIH NAPONA, dok se smatra da su se deformacije tla usled sopstvene težine već desile i geostatičko stanje napona predstavlja početno naponsko stanje u tlu!
- **U zavisnosti od toga koji parametri deformabilnosti su zadati, vršimo odabir izraza za proračun specifičnih deformacija**

## 1.3. Proračun specifičnih deformacija

### PODSEĆANJE – PREDAVANJE 4

1. MODUL STIŠLJIVOSTI:

$$M_v = \frac{\Delta\sigma'_z}{\Delta\varepsilon_z}$$

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma'_z}{M_v}$$

2. KOEFICIJENT ZAPREMINSKE STIŠLJIVOSTI:

$$m_v = \frac{\Delta\varepsilon_z}{\Delta\sigma'_z} \quad \text{tako da je} \quad m_v = \frac{1}{M_v}$$

3. KONSTANTA STIŠLJIVOSTI:

$$C = \frac{\ln\left(\frac{p'_0 + \Delta\sigma'_z}{p'_0}\right)}{\Delta\varepsilon_z}$$

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{1}{C} \ln\left(\frac{p'_0 + \Delta\sigma'_z}{p'_0}\right)$$

## 1.3. Proračun specifičnih deformacija

### PODSEĆANJE – PREDAVANJE 4

#### 4. INDEKS STIŠLJIVOSTI (NC tlo)

$$C_c = - \frac{\Delta e}{\log \left[ \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right]}$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{C_c}{1 + e_0} \log \left( \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right)$$

#### 5. INDEKS BUBRENJA (INDEKS REKOMPRESIJE)

$$C_r = - \frac{\Delta e}{\log(p'_c / p'_0)} \approx C_s$$

##### OC tlo

Ako je:

$$p'_0 + \sigma'_z < p'_c$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{C_r}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0}$$

Ako je:

$$p'_0 + \sigma'_z > p'_c$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{C_r}{1 + e_0} \log \frac{p'_c}{p'_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_c}$$

### 1.3. Proračun specifičnih deformacija

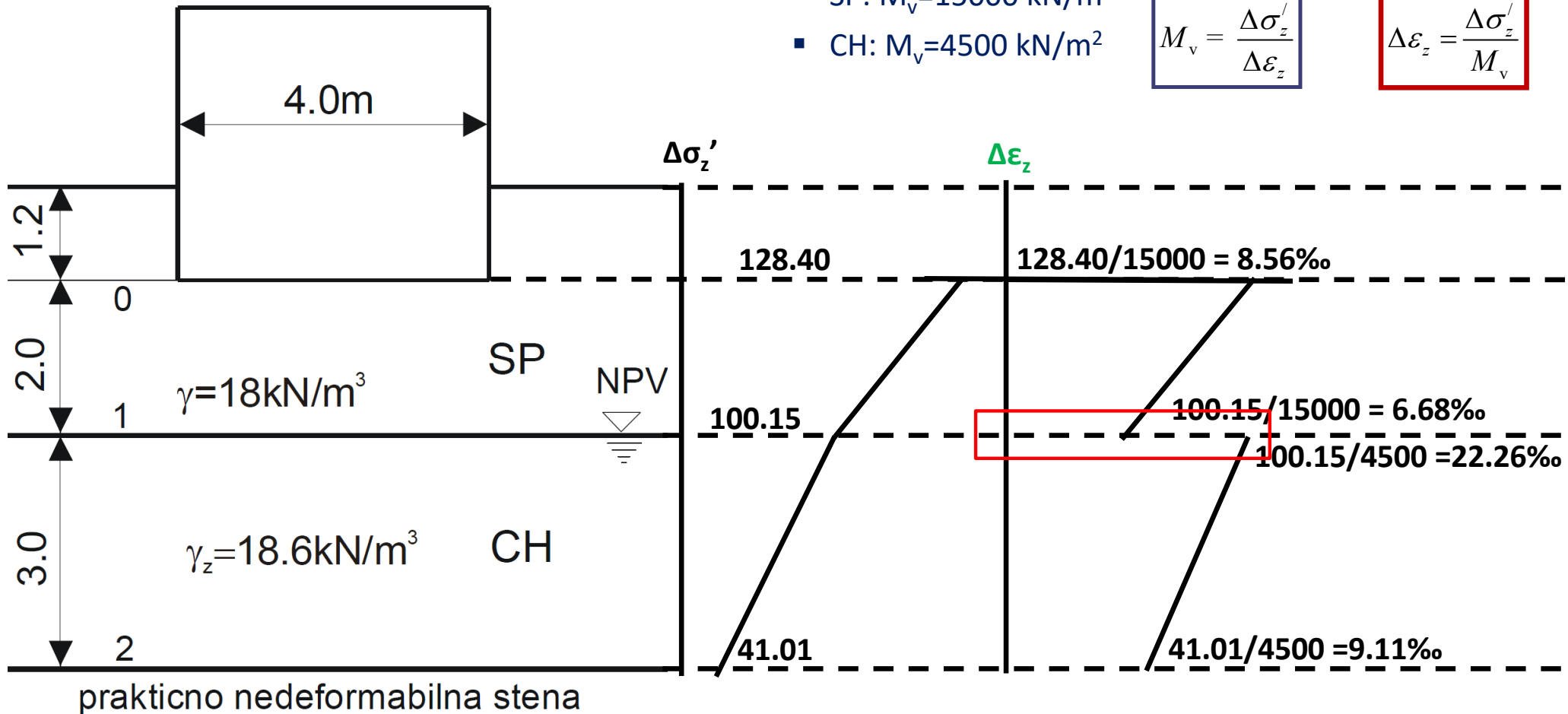
Parametri stišljivosti:

- SP:  $M_v = 15000 \text{ kN/m}^2$
- CH:  $M_v = 4500 \text{ kN/m}^2$

1. MODUL STIŠLJIVOSTI:

$$M_v = \frac{\Delta \sigma'_z}{\Delta \varepsilon_z}$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{\Delta \sigma'_z}{M_v}$$



### 1.3. Proračun specifičnih deformacija

$$\Delta\varepsilon_z^0 = \frac{\Delta\sigma_z^{10}}{M_v^{SP}} = \frac{128.40}{15000} = 0.00856 = 8.56\text{‰}$$

$$\Delta\varepsilon_z^{1G} = \frac{\Delta\sigma_z^{11G}}{M_v^{SP}} = \frac{100.15}{15000} = 0.00668 = 6.68\text{‰}$$

$$\Delta\varepsilon_z^{1D} = \frac{\Delta\sigma_z^{11D}}{M_v^{CH}} = \frac{100.15}{4500} = 0.02226 = 22.26\text{‰}$$

$$\Delta\varepsilon_z^2 = \frac{\Delta\sigma_z^{12}}{M_v^{CH}} = \frac{41.01}{4500} = 0.00911 = 9.11\text{‰}$$

## 1.4. Proračun sleganja

- Vertikalno pomeranje, sleganje tačke na površini elastičnog poluprostora, može se dobiti integriranjem vertikalnih deformacija po dubini:

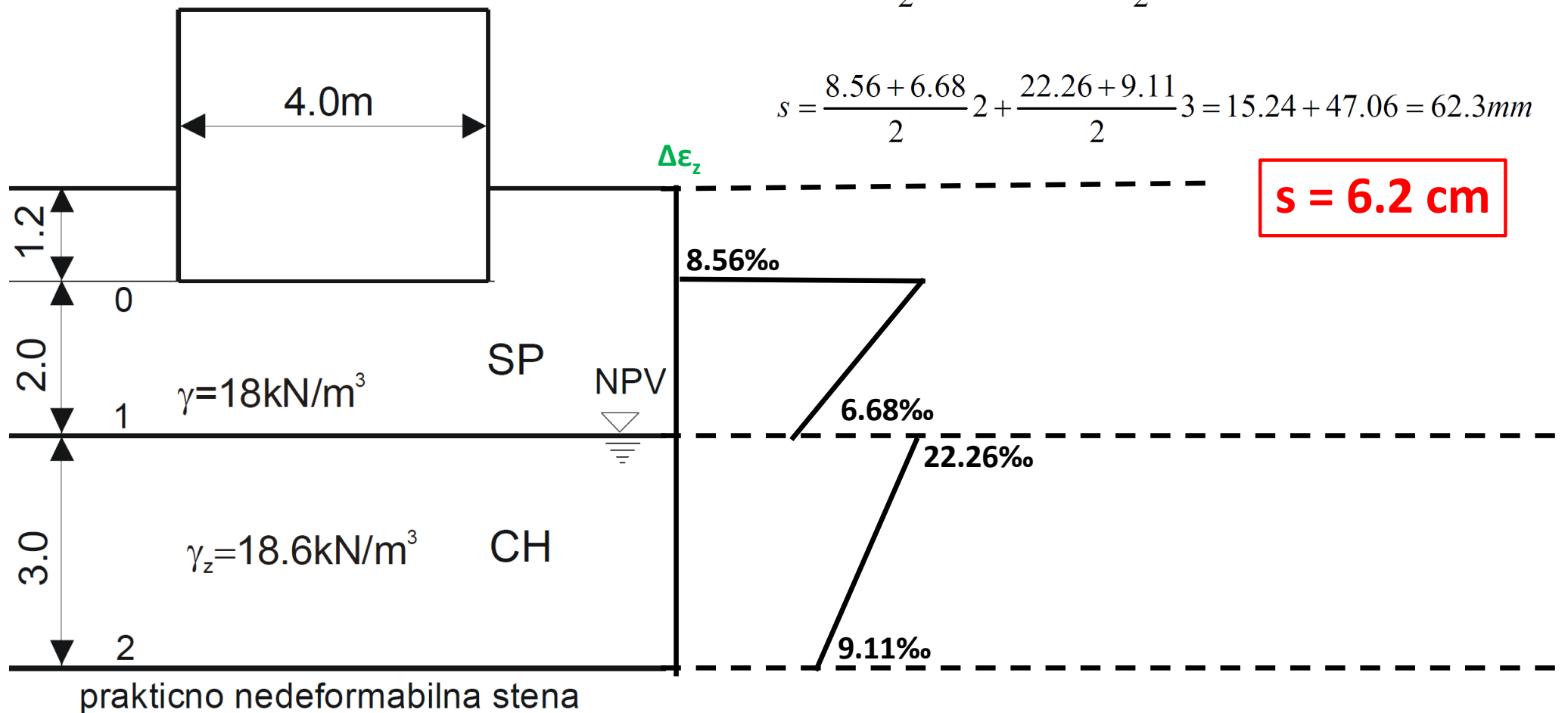
$$s = \int_0^z \varepsilon_z dz$$

- Proračun se svodi na određivanje površine dijagrama vertikalnih deformacija, tj. površine trapeza (trapezno pravilo)

## 1.4. Proračun sleganja

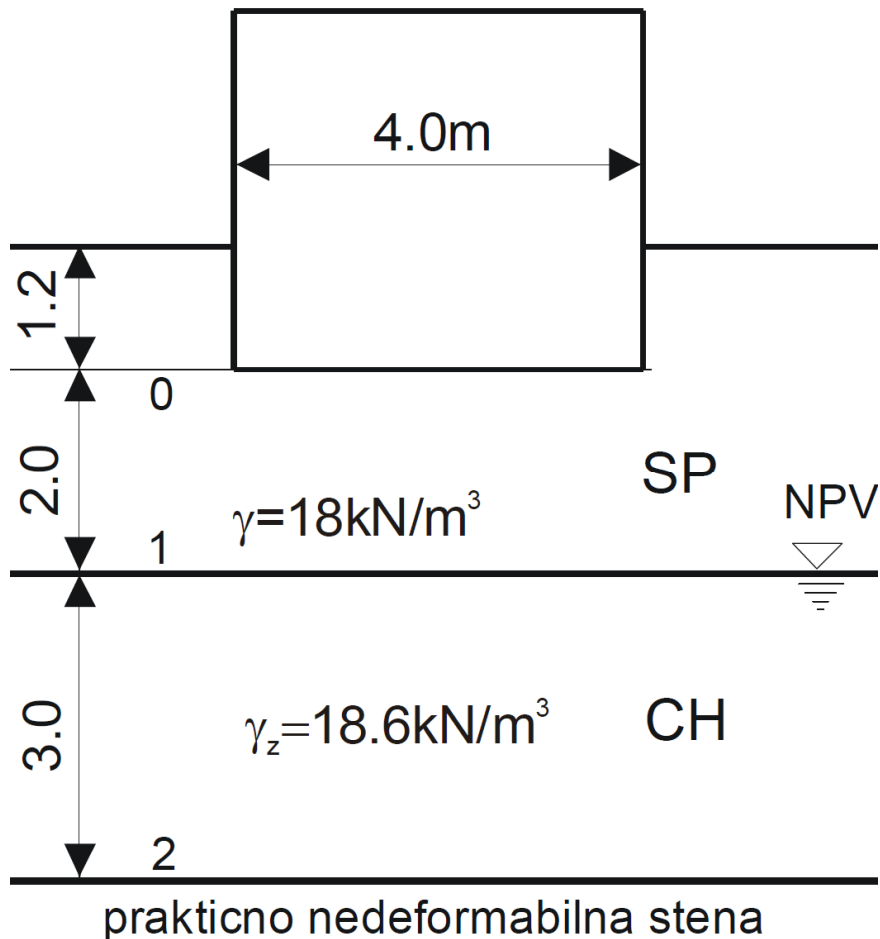
$$s = \frac{\Delta\varepsilon_z^0 + \Delta\varepsilon_z^{1G}}{2} H_1 + \frac{\Delta\varepsilon_z^{1D} + \Delta\varepsilon_z^2}{2} H_2$$

$$s = \frac{8.56 + 6.68}{2} \cdot 2 + \frac{22.26 + 9.11}{2} \cdot 3 = 15.24 + 47.06 = 62.3 \text{ mm}$$



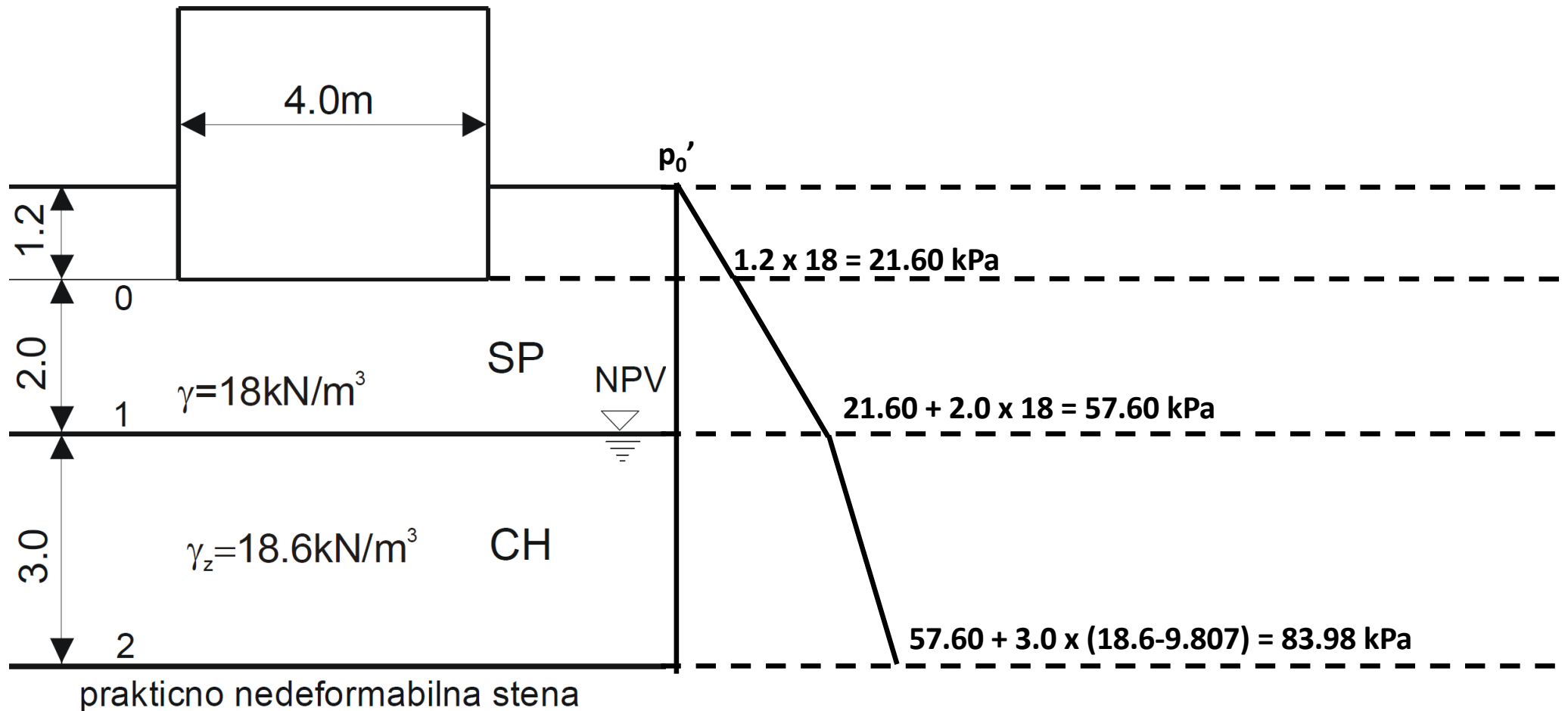


## 2. ZADATAK



- **Kruta temeljna stopa** dimenzija 4x6m, kao na skici, opterećena je koncentrisanom silom  $Q=3600 \text{ kN}$ . Izračunati sleganje ekvivalentne tačke.
- **Parametri stišljivosti:**
  - SP:
    - $z=0$   $q_c=3000 \text{ kN/m}^2$
    - $z=H_1$   $q_c=5000 \text{ kN/m}^2$
  - CH:
    - $C_c = 0.45$
    - $C_r = C_c/5$
    - $G_s = 2.7$
- **Imati u vidu da je teren pre građenja objekta bio opterećen širokim peščanim nasipom visine 2 m i  $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$**

## 2.1. Proračun geostatičkih efektivnih napona



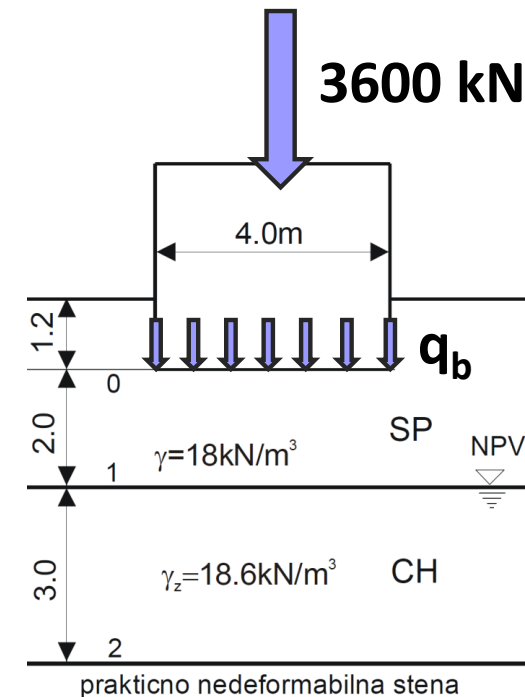
## 2.2.1 Određivanje neto kontaktnog napona $q_n$

- U proračunu sleganja priraštaj vertikalnih napona određuje nanošenjem neto kontaktnog napona  $q_n$ , koji predstavlja razliku bruto kontaktnog napona  $q_b$  i geostatičkog vertikalnog efektivnog napona na nivou temeljne spojnice  $p'_0$ .

$$q_n = q_b - p'_0$$

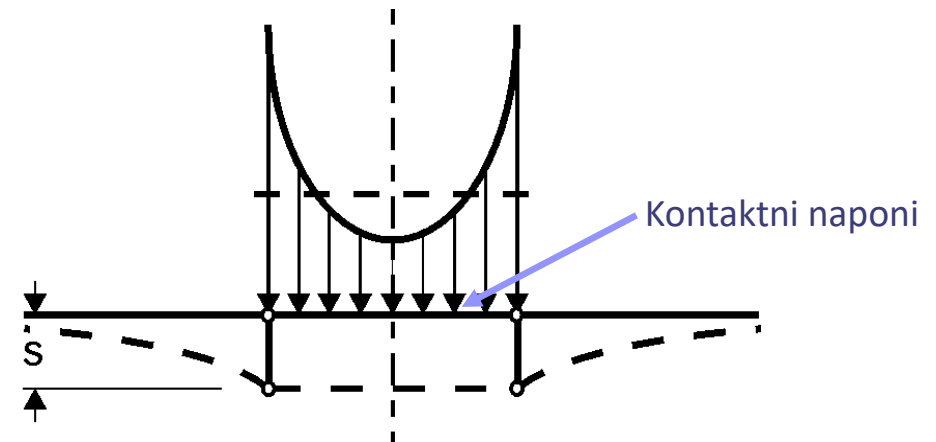
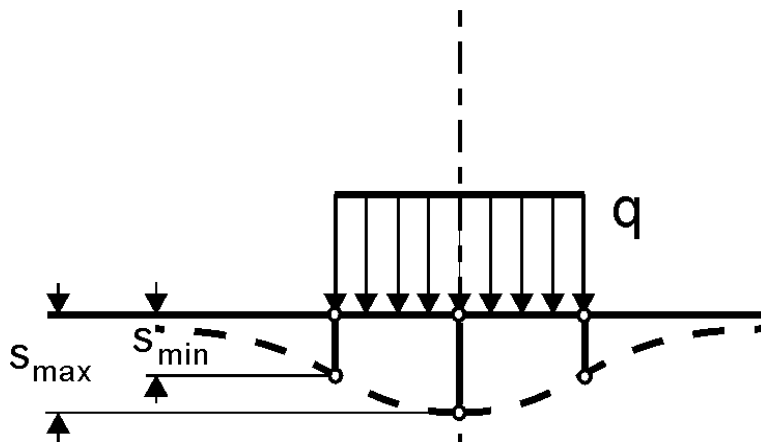
$$q_n = q_b - p'_0 = \frac{Q}{BL} - \gamma D_f$$

$$q_n = \frac{3600}{4 \cdot 6} - 18 \cdot 1.2 = 128.4 \text{ kPa}$$



## 2.2.2. Proračun priraštaja vertikalnih napona (naprezanja od objekta)

- Kod krute temeljne stope, sleganja svih tačaka temeljne spojnice biće jednaka.
- Da bi se izazvala jednaka sleganja krutog temelja po celoj opterećenoj površini mora doći do preraspodele kontaktnih napona tako da bi se naponi povećali prema ivicama i smanjili u centralnom delu pod uslovom da je poluprostor elastičan.
- Prema tome, raspodela napona po kontaktu krutog temelja će se razlikovati od konstantne raspodele za idealizovanu fleksibilnu stopu.

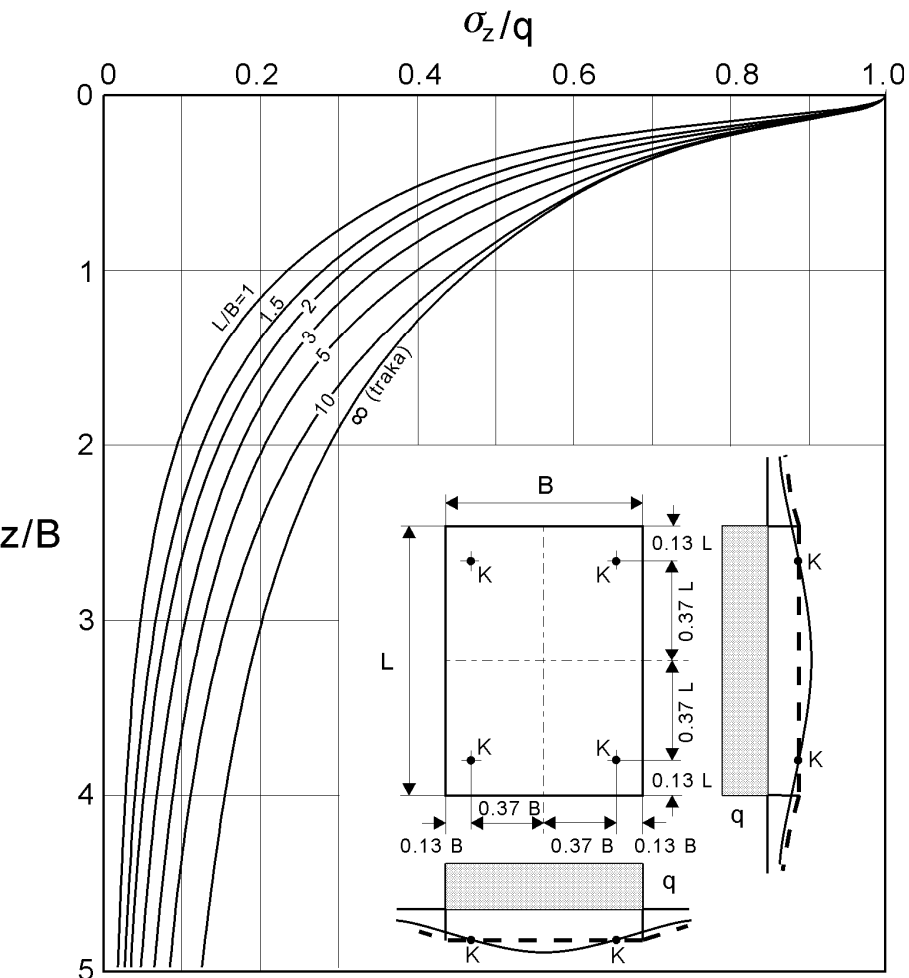




## 2.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

- Raspodelu vertikalnih napona po dubini, za krutu temeljnu stopu, možemo takođe odrediti metodom Štajnbrenera.
- Rešenje navedenog problema za pravougaoni temelj svodi se na određivanje položaja ekvivalentne tačke, za koju je sleganje krutog i fleksibilnog temelja isto
- Položaj ekvivalentne tačke sa raspodelom vertikalnih napona po dubini predložio je Kany (1959)
- U slučaju ispitnih zadataka, radi uštede vremena, proračun se vrši primenom Kany-jevog dijagrama u bezdimenzionalnom obliku

## 2.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

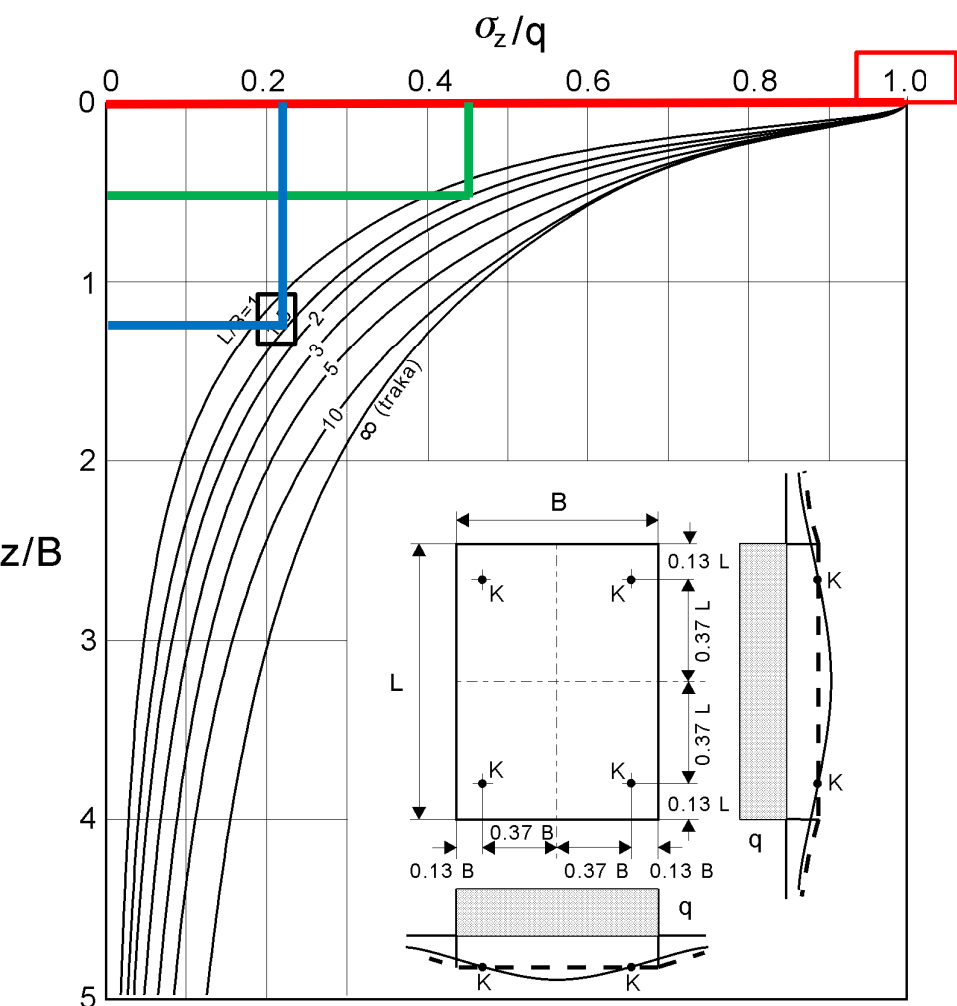


- Može se izračunati raspodela vertikalnih napona ispod ekvivalentne tačke K za razne proporcije opterećene površine odgovarajućom superpozicijom Štajnbrenerovog rešenja.
- Kao i Štajnbrenerov dijagram, Kanijev dijagram se koristi za očitavanje uticajnog koeficijenta  $J_z$  koji se koristi za proračun priraštaja napona

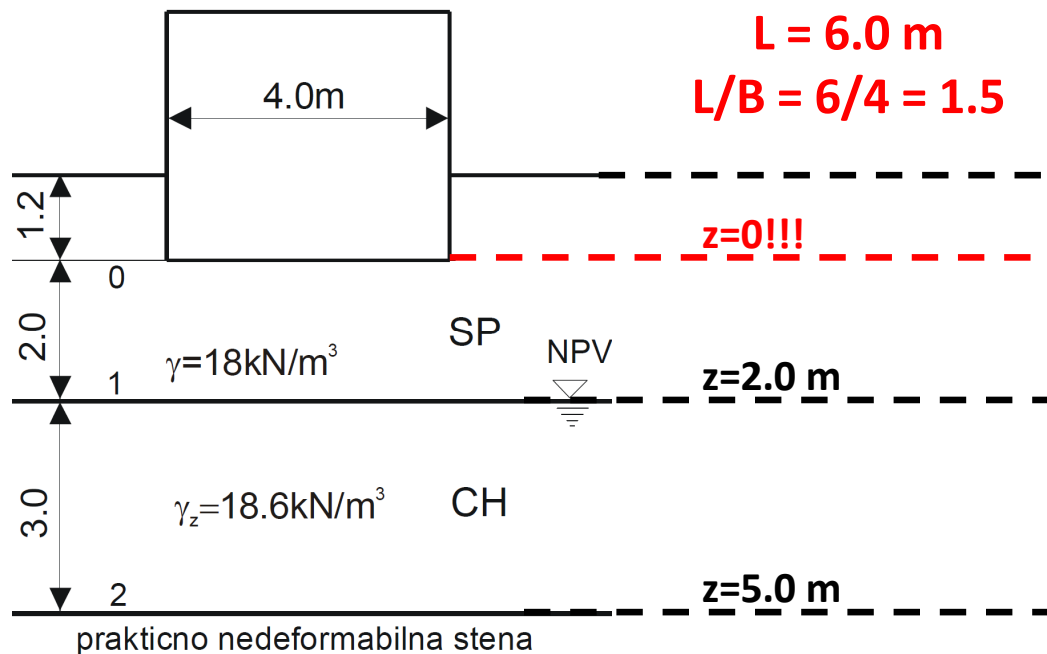
$$\sigma_z = q J_z$$



## 2.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini



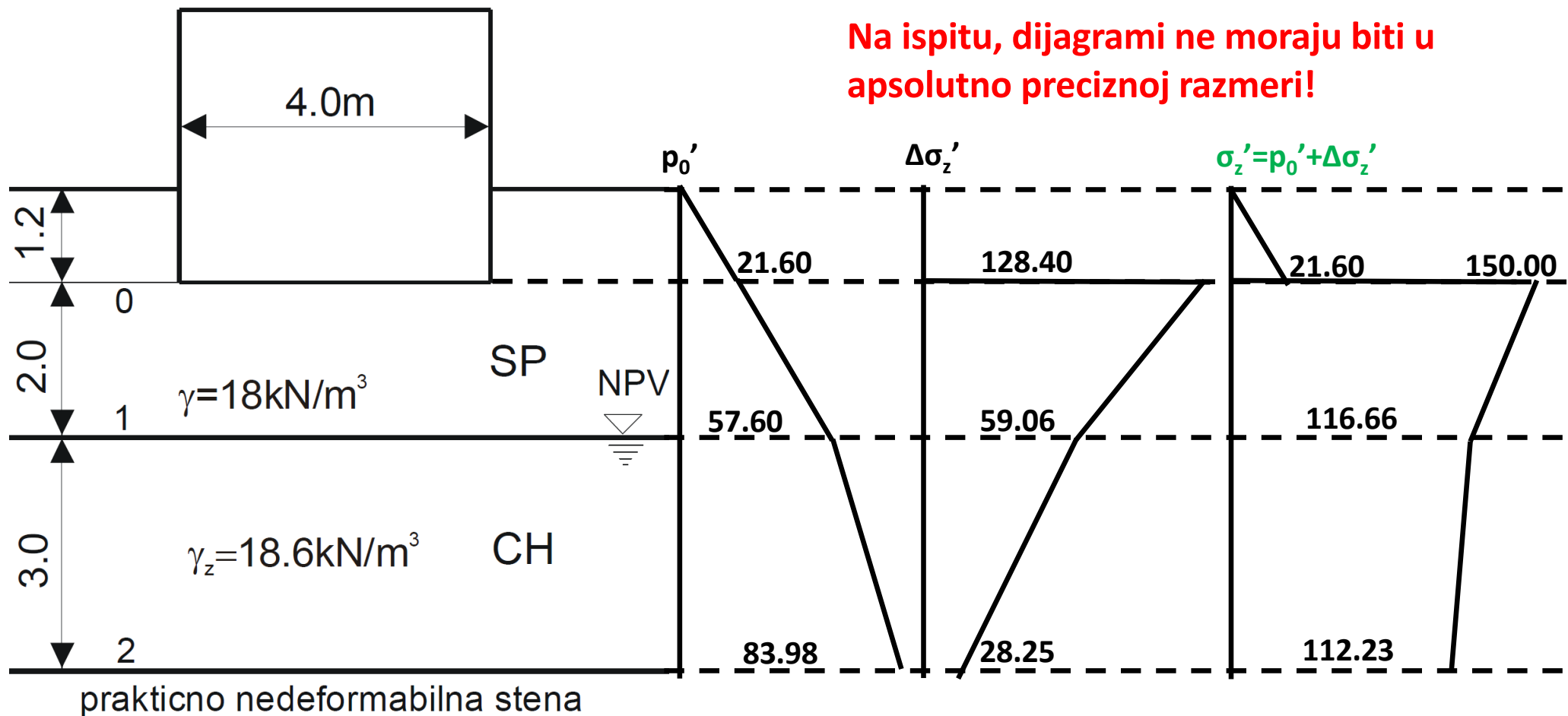
$B = 4.0 \text{ m}$   
 $L = 6.0 \text{ m}$   
 $L/B = 6/4 = 1.5$



Tačka	$z$ [m]	$z/B$	$J_1$	$\Delta\sigma_z = q_n J$
0	0	0	1.00	128.40
1	2	0.50	0.46	59.06
2	5	1.25	0.22	28.25

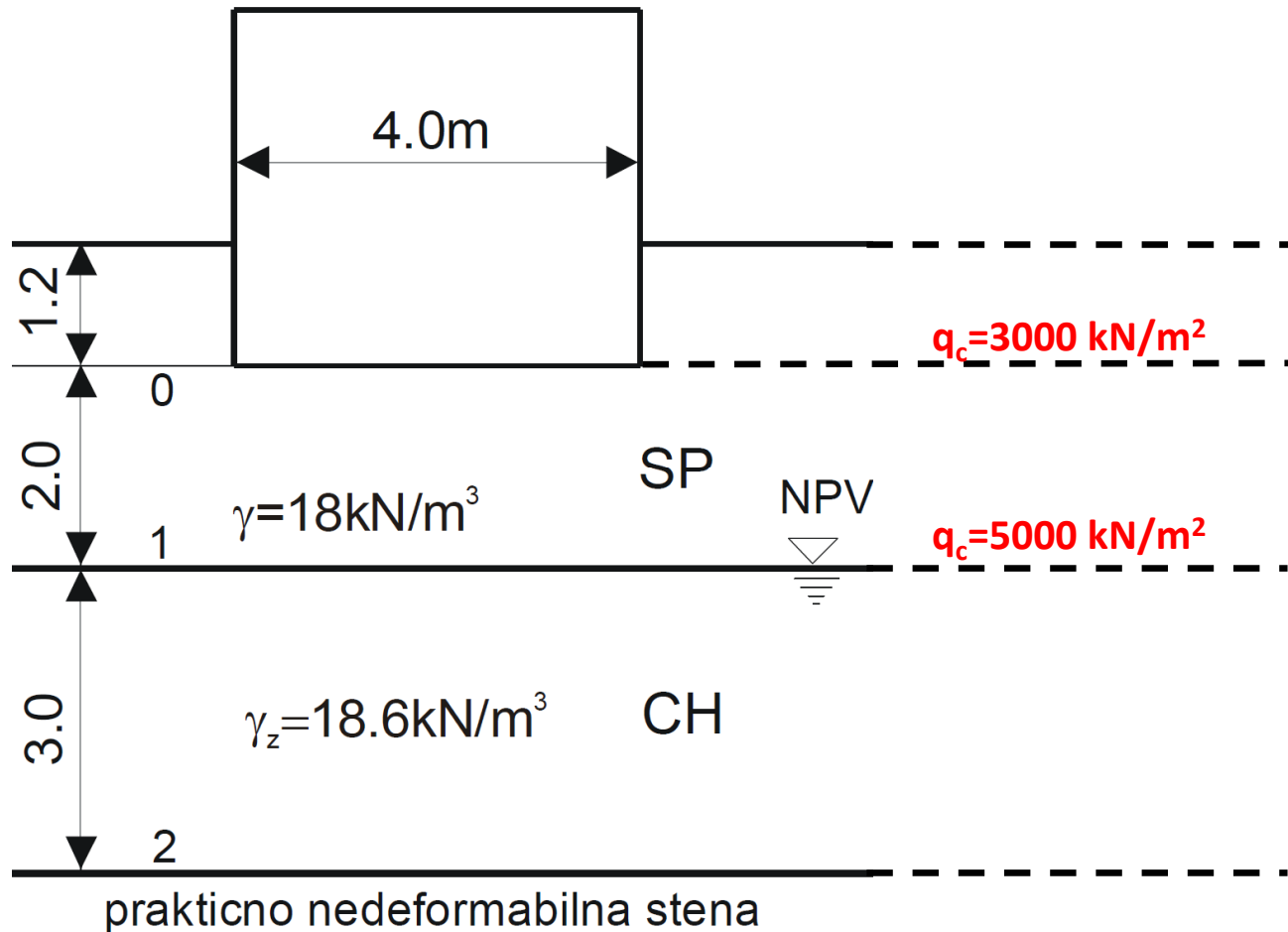
## 2.2.2. Raspodela vertikalnih napona po dubini

Na ispitu, dijagrami ne moraju biti u apsolutno preciznoj razmeri!





## 2.3. Proračun specifičnih deformacija - SP



### Parametri stišljivosti:

#### SP:

- $z=0$   $q_c = 3000 \text{ kN/m}^2$
- $z=H_1$   $q_c = 5000 \text{ kN/m}^2$

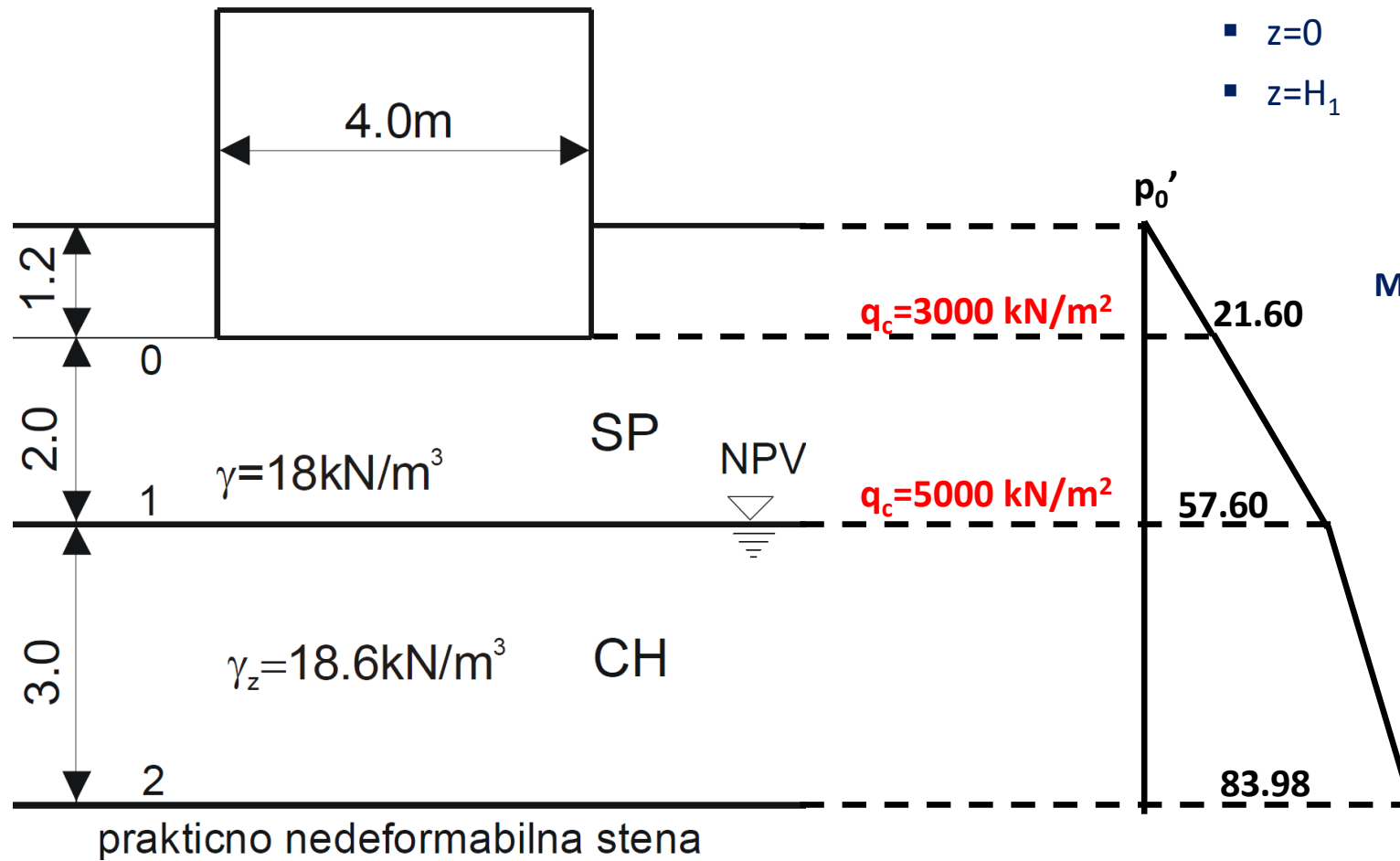
### Metoda De Bera i Martensa (1957)

$$C = 1.5 \frac{q_c}{p'_0}$$

$$C = \frac{\ln \left( \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right)}{\Delta \varepsilon_z}$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{1}{C} \ln \left( \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right)$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija - SP



### Parametri stišljivosti:

- SP:
  - $z=0$   $q_c=3000 \text{ kN/m}^2$
  - $z=H_1$   $q_c=5000 \text{ kN/m}^2$

### Metoda De Bera i Martensa (1957)

$$C = 1.5 \frac{q_c}{p'_0}$$

$$C = \frac{\ln \left( \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right)}{\Delta \varepsilon_z}$$

$$\Delta \varepsilon_z = \frac{1}{C} \ln \left( \frac{p'_0 + \Delta \sigma'_z}{p'_0} \right)$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija - SP

*Tačka 0:*

$$q_c^0 = 3000 \text{ kPa} \rightarrow C^0 = 1.5 \frac{q_c^0}{p_0^0} = 1.5 \frac{3000}{21.60} = 208.33$$

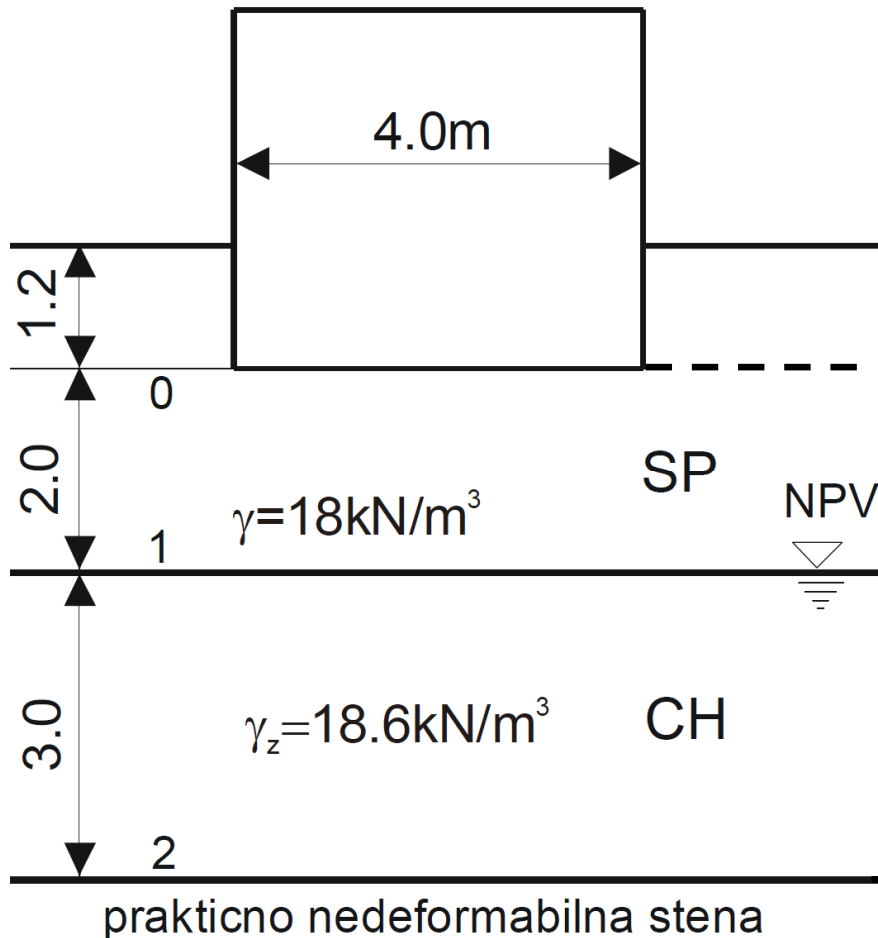
$$\Delta \varepsilon_z^0 = \frac{1}{C^0} \ln \left( \frac{p_0^0 + \Delta \sigma_z^0}{p_0^0} \right) = \frac{1}{208.33} \ln \left( \frac{21.60 + 128.40}{21.60} \right) = 9.30 \text{ ‰}$$

*Tačka 1 (gore):*

$$q_c^{1G} = 5000 \text{ kPa} \rightarrow C^{1G} = 1.5 \frac{q_c^{1G}}{p_0^{1G}} = 1.5 \frac{5000}{57.60} = 130.21$$

$$\Delta \varepsilon_z^{1G} = \frac{1}{C^{1G}} \ln \left( \frac{p_0^{1G} + \Delta \sigma_z^{1G}}{p_0^{1G}} \right) = \frac{1}{130.21} \ln \left( \frac{57.60 + 59.06}{57.60} \right) = 5.42 \text{ ‰}$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH



### Parametri stišljivosti:

#### CH:

- $C_c = 0.45$
- $C_r = C_c/5 = 0.09$
- $G_s = 2.7$

- Imati u vidu da je teren pre građenja objekta bio opterećen širokim peščanim nasipom visine 2 m i  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

- Prilikom proračuna specifične deformacije preko indeksa stišljivosti i indeksa bubrenja, neophodni podaci su:

- Početni koeficijent poroznosti  $e_0$
- Napon prekonsolidacije  $p_c'$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH

- Određivanje početnog koeficijenta poroznosti:

$$\frac{G_s + e_0}{1 + e_0} \gamma_w = \gamma_z \Leftrightarrow e_0 = \frac{G_s \gamma_w - \gamma_z}{\gamma_z - \gamma_w} = \frac{\gamma_s - \gamma_z}{\gamma'}$$

$$e_0 = \frac{G_s \gamma_w - \gamma_z}{\gamma_z - \gamma_w} = \frac{2.7 \cdot 9.807 - 18.6}{18.6 - 9.807} = 0.896$$

$$e_0 = 0.896$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH

- Određivanje napona prekonsolidacije  $p_c'$ :
- Napon prekonsolidacije određujemo iz sledećeg uslova zadatka:  
*“Imati u vidu da je teren pre građenja objekta bio opterećen širokim peščanim nasipom visine 2 m i  $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$ ”*
- Po definiciji, napon prekonsolidacije je maksimalni napon koji je na tlo delovao u njegovoj istoriji naprezanja. Iz navedenog uslova zadatka možemo zaključiti da je na razmatrano tlo u prošlosti delovalo dodatno opterećenje od širokog peščanog nasipa. U ovoj situaciji napon prekonsolidacije definisan je sledećim izrazom:

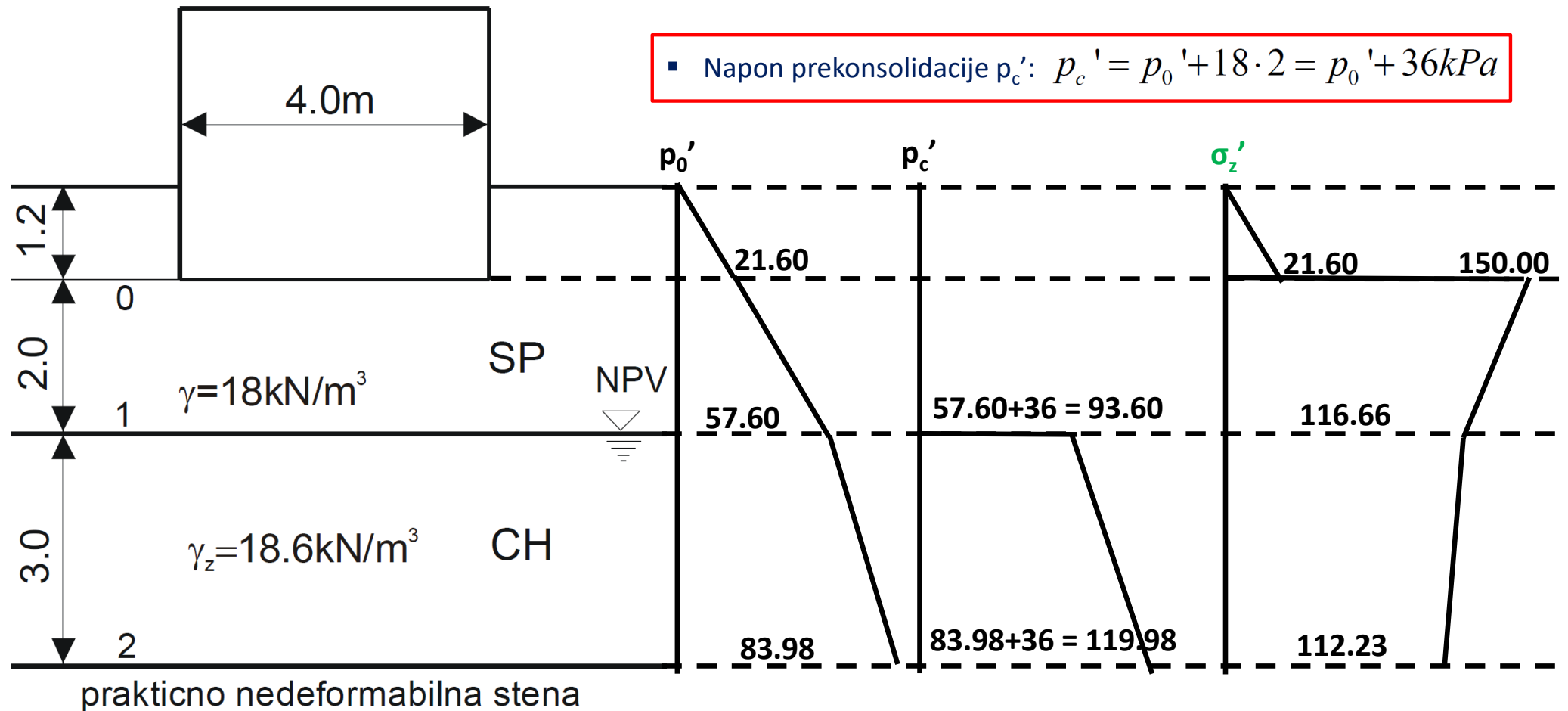
$$p_c' = p_0' + \Delta q$$

Geostatički naponi

Opterećenje od nasipa (iz prošlosti)  
 $\Delta q = \gamma_N \times H_N$

$$p_c' = p_0' + 18 \cdot 2 = p_0' + 36 \text{ kPa}$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH



## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH

- Za poznate vrednosti koeficijenta poroznosti i napona prekonsolidacije možemo odrediti vrednosti specifičnih deformacija u sloju gline:

### OC tlo

Ako je:

$$p'_0 + \sigma'_z < p'_c$$

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta\sigma'_z}{p'_0}$$

Ako je:

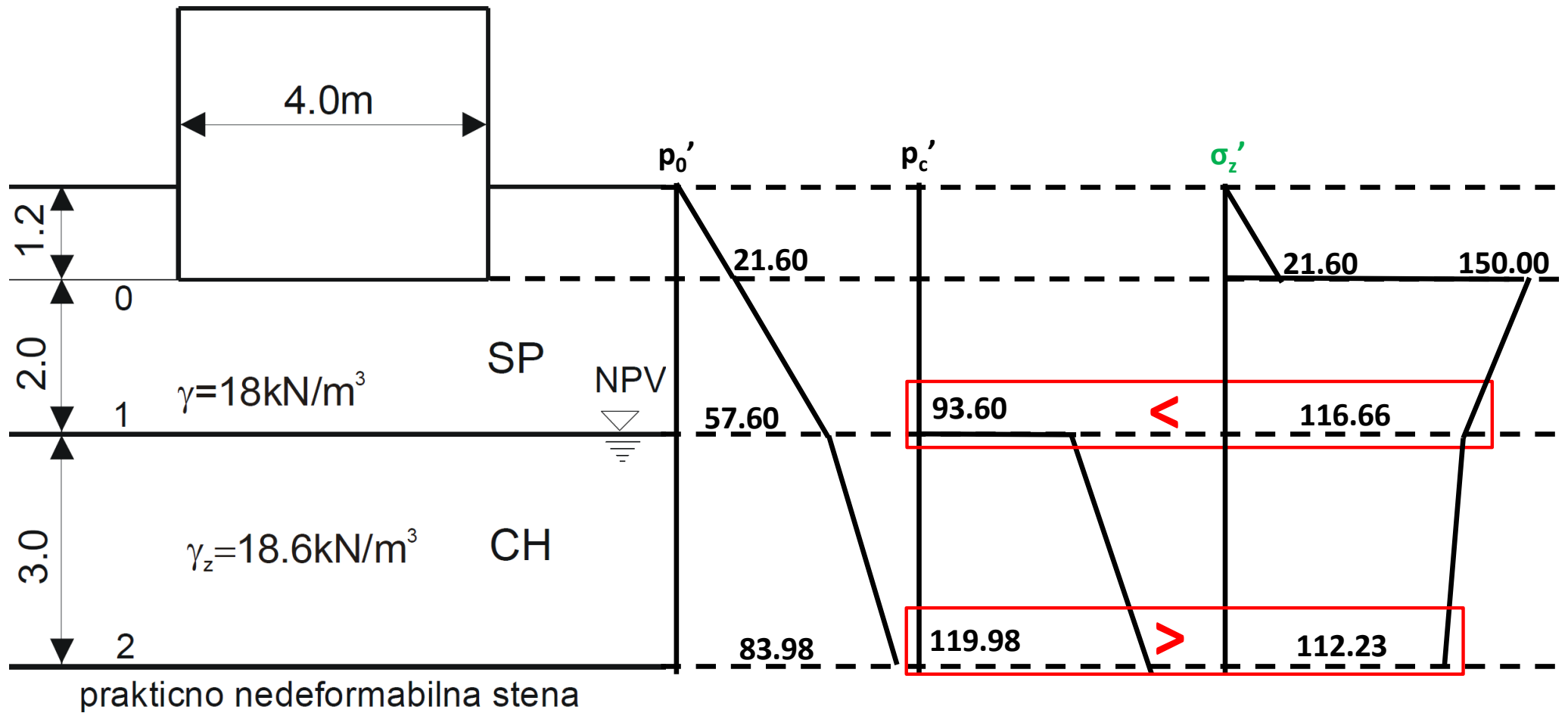
$$p'_0 + \sigma'_z > p'_c$$

$$\Delta\varepsilon_z = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p'_c}{p'_0} + \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{p'_0 + \Delta\sigma'_z}{p'_c}$$

- Prilikom svakog proračuna potrebno je proveriti da li je ukupni vertikalni napon veći ili manji od napona prekonsolidacije.



## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH



## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH

*Tačka 1 (dole):*

$$p_c'^{1D} = p_0'^{1D} + 36 = 57.6 + 36 = 93.6 \text{ kPa}$$

$$p_0'^{1D} + \Delta\sigma_z'^{1D} = 57.6 + 59.06 = 116.66 > p_c'^{1D} \rightarrow \varepsilon_z = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p_c'}{p_0'} + \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{p_0' + \Delta\sigma_z'}{p_c'}$$

$$\varepsilon_z^{1D} = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p_c'^{1D}}{p_0'^{1D}} + \frac{C_c}{1+e_0} \log \frac{p_0'^{1D} + \Delta\sigma_z'^{1D}}{p_c'^{1D}} = \frac{0.09}{1+0.896} \log \frac{93.6}{57.6} + \frac{0.45}{1+0.896} \log \frac{116.66}{93.6}$$

$$\varepsilon_z^{1D} = 0.01000 + 0.02270 = 0.03270 = \boxed{32.70\%}$$

## 2.3. Proračun specifičnih deformacija – CH

*Tačka 2:*

$$p_c'^2 = p_0'^2 + 36 = 83.98 + 36 = 119.98 \text{ kPa}$$

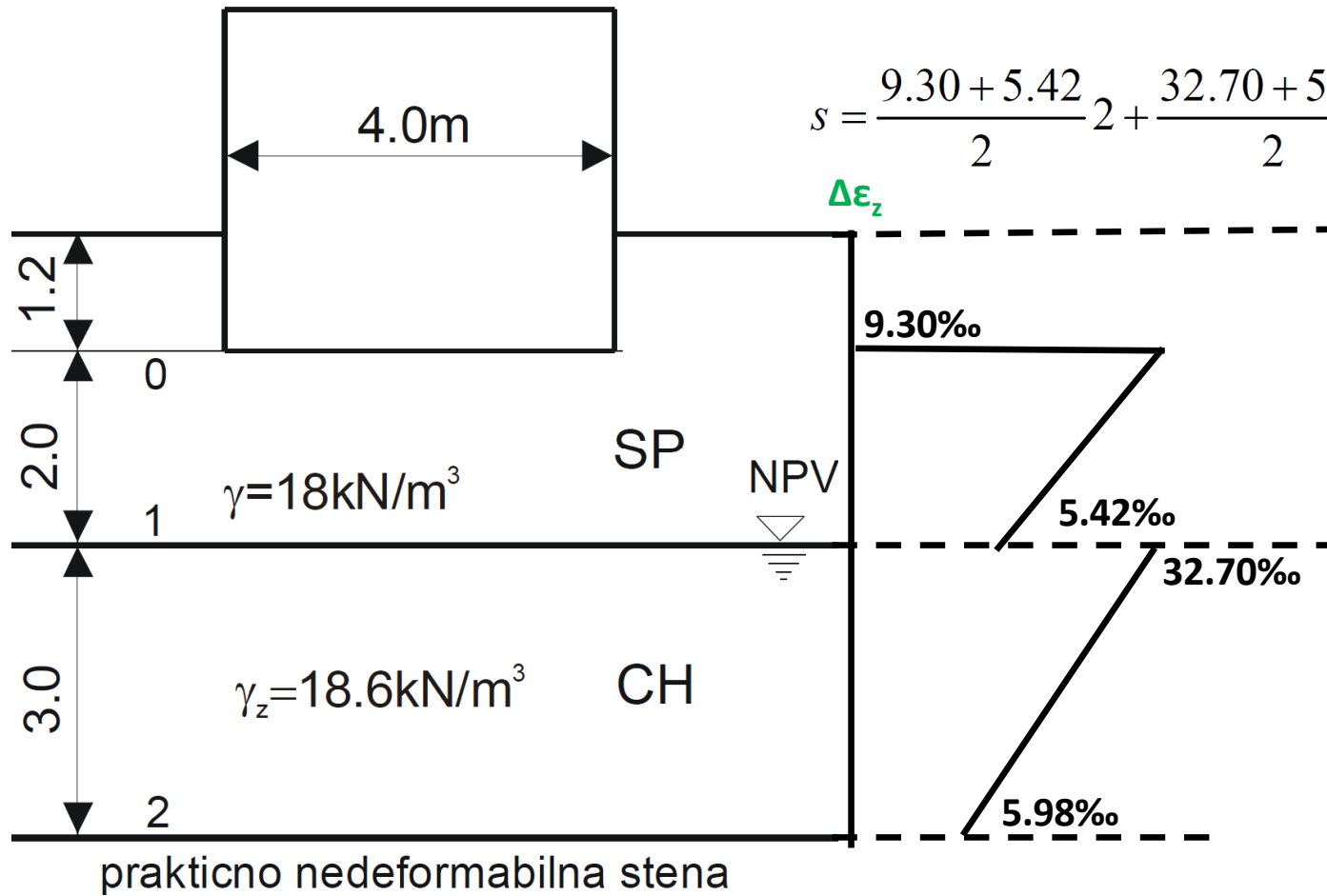
$$p_0'^2 + \Delta\sigma_z'^2 = 83.98 + 28.25 = 112.23 < p_c'^2 \rightarrow \varepsilon_z = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p_0' + \Delta\sigma_z'}{p_0'}$$

$$\varepsilon_z^2 = \frac{C_r}{1+e_0} \log \frac{p_0'^2 + \Delta\sigma_z'^2}{p_0'^2} = \frac{0.09}{1+0.896} \log \frac{112.23}{83.98} = 0.00598 = \boxed{5.98\text{‰}}$$

## 2.4. Proračun sleganja

$$s = \frac{\Delta\varepsilon_z^0 + \Delta\varepsilon_z^{1G}}{2} H_1 + \frac{\Delta\varepsilon_z^{1D} + \Delta\varepsilon_z^2}{2} H_2$$

$$s = \frac{9.30 + 5.42}{2} 2 + \frac{32.70 + 5.98}{2} 3 = 14.72 + 58.02 = 72.74 \text{ mm}$$



**s = 7.3 cm**



**HVALA NA PAŽNJI**