Sleganje plitkih temelja

1. primer

Pravougaoni temelj dimenzija B/L=2/4m je fundiran na dubini D_f=1m i opterećen jednakopodeljenim opterećenjem q=150kN/m². Teren je debljine H=9m, podzemna voda je na dubini NPV=3.0m, zapreminska težina tla iznad NPV je γ_t=17.5kN/m³, ispod NPV je γ'=11kN/m³, a modul stišljivosti tla je M_v=8.5MN/m². Duž osovine temelja, u tačkama na dubini z=0, 2, 4, 6, 8m sračunati geostatičke efektivne vertikalne napone, priraštaj vertikalnih napona usled opterećenja primenom metode ugla rasprostiranja napona za tanα=0.5, metode Štajnbrenera i metode Kanija, deformacije za priraštaj napona prema metodi ugla rasprostiranja, kao i sleganje analitičkom integracijom deformacija, numeričkom integracijom prema trapeznom pravilu i prema Simpsonovom pravilu.

Temelj $B:=2\ m$ $L:=4\ m$ $D_f:=1\ m$ $q:=150\ \frac{kN}{m^2}$

Tlo $H:=9\ m$ $NPV:=3\ m$ $\gamma_t:=17.5\ \frac{kN}{m^3}$ $\gamma':=11\ \frac{kN}{m^3}$ $M_v:=8.5\ \frac{MN}{m^2}$

Dubine $z_0:=0\ m$ $z_1:=2\ m$ $z_2:=4\ m$ $z_3:=6\ m$ $z_4:=8\ m$

$\Delta z:=2\ m$ $D_f=z_0$ $NPV=z_1$

1) geostatički vertikalni naponi u tlu usled težine tla

$z_0:=0\ m$ $\sigma_{z0}:=\gamma_t \cdot D_f = 17.5\ \frac{kN}{m^2}$

$z_1:=2\ m$ $\sigma_{z1}:=\sigma_{z0}+\gamma_t \cdot \Delta z = 52.5\ \frac{kN}{m^2}$

$z_2:=4\ m$ $\sigma_{z2}:=\sigma_{z1}+\gamma' \cdot \Delta z = 74.5\ \frac{kN}{m^2}$

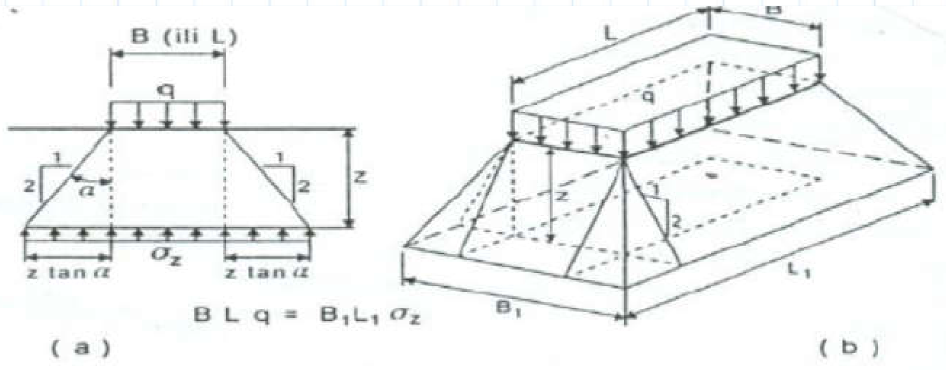
$z_3:=6\ m$ $\sigma_{z3}:=\sigma_{z2}+\gamma' \cdot \Delta z = 96.5\ \frac{kN}{m^2}$

$z_4:=8\ m$ $\sigma_{z4}:=\sigma_{z3}+\gamma' \cdot \Delta z = 118.5\ \frac{kN}{m^2}$

2) priraštaj vertikalnih napona u tlu usled spoljašnjeg opterećenja q

neto kontaktni napon $q_{neto}:=q-\gamma_t \cdot D_f = 132.5\ \frac{kN}{m^2}$

a) metoda ugla rasprostiranja napona tanα=0.5



$$\Delta\sigma_{z.i} = \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{\left(B+2 \cdot z_{.i} \cdot tan(\alpha)\right) \cdot \left(L+2 \cdot z_{.i} \cdot tan(\alpha)\right)}$$

$$\Delta\sigma_{z0} := \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{(B+z_0)\cdot(L+z_0)} = 132.5\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z1} := \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{(B+z_1)\cdot(L+z_1)} = 44.167\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z2} := \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{(B+z_2)\cdot(L+z_2)} = 22.083\ \frac{kN}{m^2}$$

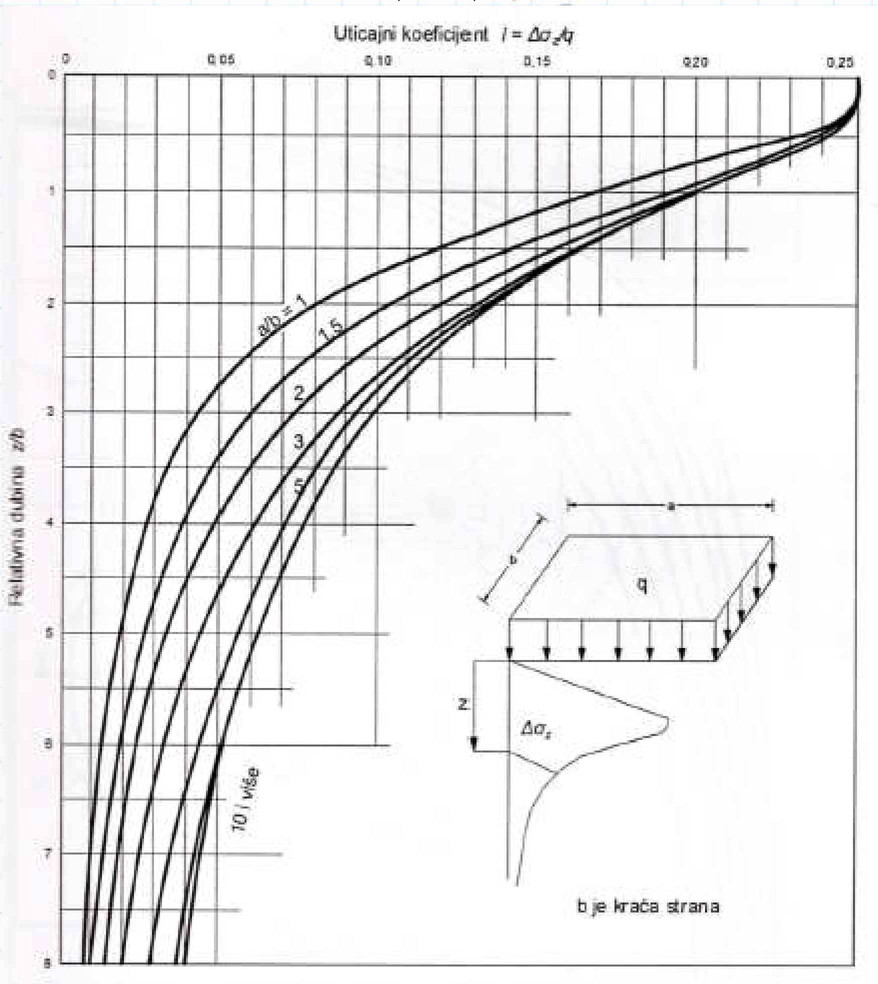
$$\Delta\sigma_{z3} := \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{(B+z_3)\cdot(L+z_3)} = 13.25\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z4} := \frac{B \cdot L \cdot q_{neto}}{(B+z_4)\cdot(L+z_4)} = 8.833\ \frac{kN}{m^2}$$

b) metoda Štajnbrenera

Metodom Štajnbrenera se određuje priraštaj vert. napona ispod ugaone tačke idealno savitljivog pravougaonog temelja a/b, a≥b.
Priraštaj napona se određuje na osnovu izraza:

$\Delta\sigma_{z.i} = I_i \cdot q_{neto}$ $\quad\quad I_i = I_i\left(\frac{a}{b}, \frac{z_i}{b}\right)$ uticajni koef. sa dijagrama



Priraštaj napona ispod središnje tačke temelja se dobija podelom temelja duž ose simetrije na 4 jednaka dela i sabiranjem njihovih uticaja. Određivanje priraštaja naponi ispod nekih drugih tačaka temelja biće prikazano u 2. i 3. primeru.

$a := \frac{L}{2} = 2\ m$ $b := \frac{B}{2} = 1\ m$ $\frac{a}{b} = 2$

$\frac{z_0}{b} = 0$ $I_0 := 0.25$ $\Delta\sigma_{z0.S} := 4 \cdot I_0 \cdot q_{neto} = 132.5\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z0.S} - \Delta\sigma_{z0}}{\Delta\sigma_{z0}} = 0$

$\frac{z_1}{b} = 2$ $I_1 := 0.12$ $\Delta\sigma_{z1.S} := 4 \cdot I_1 \cdot q_{neto} = 63.6\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z1.S} - \Delta\sigma_{z1}}{\Delta\sigma_{z1}} = 0.44$

$\frac{z_2}{b} = 4$ $I_2 := 0.047$ $\Delta\sigma_{z2.S} := 4 \cdot I_2 \cdot q_{neto} = 24.91\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z2.S} - \Delta\sigma_{z2}}{\Delta\sigma_{z2}} = 0.128$

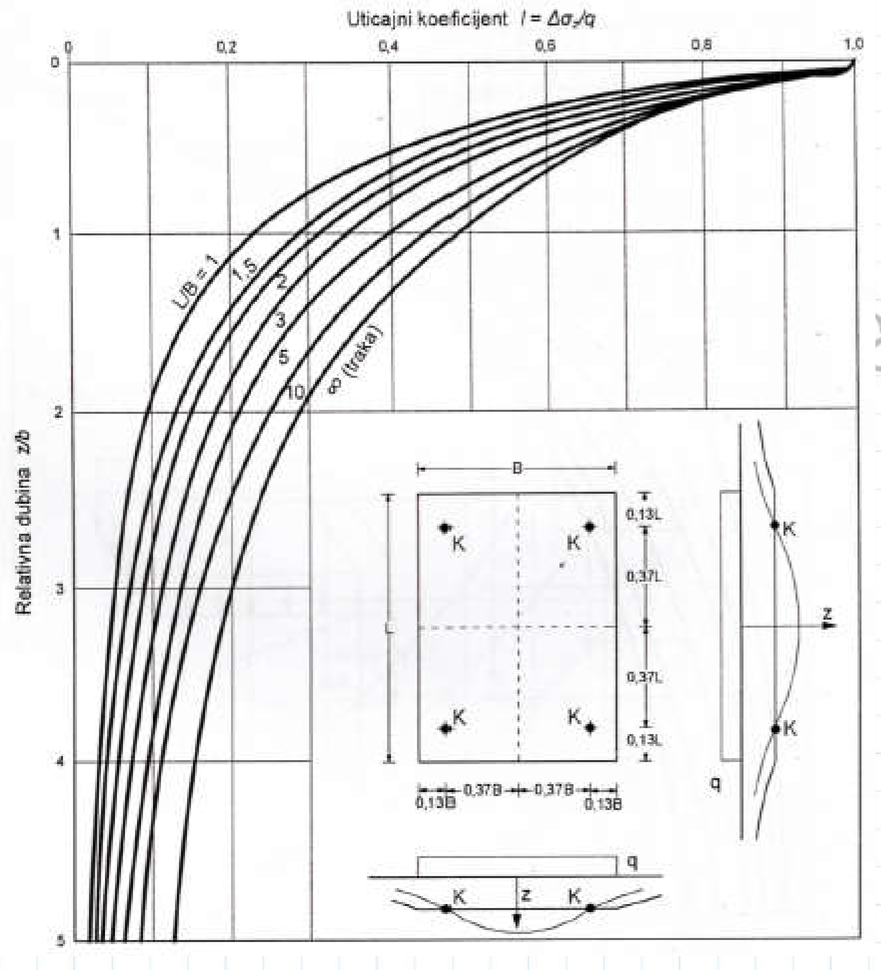
$\frac{z_3}{b} = 6$ $I_3 := 0.024$ $\Delta\sigma_{z3.S} := 4 \cdot I_3 \cdot q_{neto} = 12.72\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z3.S} - \Delta\sigma_{z3}}{\Delta\sigma_{z3}} = -0.04$

$\frac{z_4}{b} = 8$ $I_4 := 0.014$ $\Delta\sigma_{z4.S} := 4 \cdot I_4 \cdot q_{neto} = 7.42\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z4.S} - \Delta\sigma_{z4}}{\Delta\sigma_{z4}} = -0.16$

c) metoda Kanija

Metodom Kanija se određuje priraštaj vert. napona ispod "karakteristične" tačke idealno krutog pravougaonog temelja L/B, L≥B. "Karakteristična" tačka temelja je tačka ispod koje su jednaka sleganja idealno savitljivog i idealno krutog temelja i nalazi se na 0.13L i 0.13B od ugla temelja.
Priraštaj napona se određuje na osnovu izraza:

$\Delta\sigma_{z.i} = I_i \cdot q_{neto}$ $I_i = I_i\left(\frac{L}{B}, \frac{z_i}{B}\right)$ uticajni koef. sa dijagrama



$\frac{L}{B}=2$

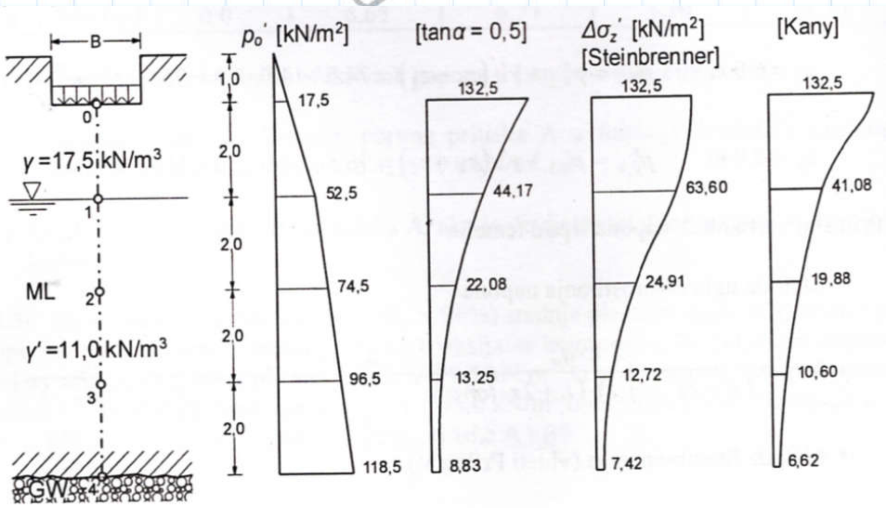
$\frac{z_0}{B}=0$ $I_0:=1$ $\Delta\sigma_{z0.K}:=I_0 \cdot q_{neto}=132.5\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z0.K}-\Delta\sigma_{z0}}{\Delta\sigma_{z0}}=0$

$\frac{z_1}{B}=1$ $I_1:=0.31$ $\Delta\sigma_{z1.K}:=I_1 \cdot q_{neto}=41.075\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z1.K}-\Delta\sigma_{z1}}{\Delta\sigma_{z1}}=-0.07$

$\frac{z_2}{B}=2$ $I_2:=0.15$ $\Delta\sigma_{z2.K}:=I_2 \cdot q_{neto}=19.875\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z2.K}-\Delta\sigma_{z2}}{\Delta\sigma_{z2}}=-0.1$

$\frac{z_3}{B}=3$ $I_3:=0.08$ $\Delta\sigma_{z3.K}:=I_3 \cdot q_{neto}=10.6\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z3.K}-\Delta\sigma_{z3}}{\Delta\sigma_{z3}}=-0.2$

$\frac{z_4}{B}=4$ $I_4:=0.05$ $\Delta\sigma_{z4.K}:=I_4 \cdot q_{neto}=6.625\ \frac{kN}{m^2}$ $\frac{\Delta\sigma_{z4.K}-\Delta\sigma_{z4}}{\Delta\sigma_{z4}}=-0.25$



3) vertikalne deformacije u tlu

Vertikalne deformacije u tlu se određuju za priraštaj napona određen Metodom ugla rasprostiranja napona u tlu, sa koef. proporcionalnosti Mv (modul stišljivosti tla).

$\varepsilon_{z.i}=\frac{\Delta\sigma_{z.i}}{M_v}$

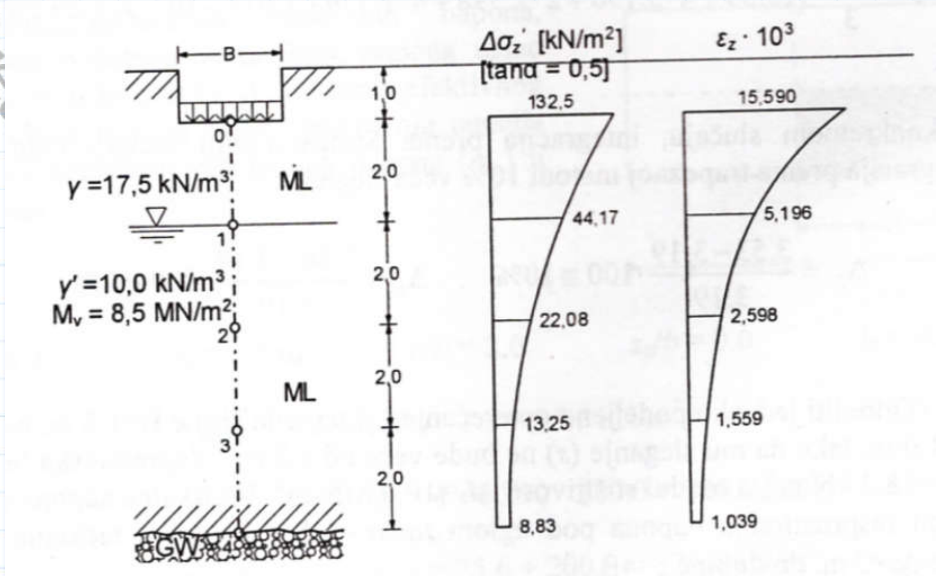
$z_0:=0\ m$ $\Delta\sigma_{z0}=132.5\ \frac{kN}{m^2}$ $\varepsilon_{z0}:=\frac{\Delta\sigma_{z0}}{M_v}=0.01559$

$z_1:=2\ m$ $\Delta\sigma_{z1}=44.167\ \frac{kN}{m^2}$ $\varepsilon_{z1}:=\frac{\Delta\sigma_{z1}}{M_v}=0.0052$

$z_2:=4\ m$ $\Delta\sigma_{z2}=22.083\ \frac{kN}{m^2}$ $\varepsilon_{z2}:=\frac{\Delta\sigma_{z2}}{M_v}=0.0026$

$z_3:=6\ m$ $\Delta\sigma_{z3}=13.25\ \frac{kN}{m^2}$ $\varepsilon_{z3}:=\frac{\Delta\sigma_{z3}}{M_v}=0.00156$

$z_4:=8\ m$ $\Delta\sigma_{z4}=8.833\ \frac{kN}{m^2}$ $\varepsilon_{z4}:=\frac{\Delta\sigma_{z4}}{M_v}=0.00104$



4) sleganja

Sleganje se dobija integracijom vertikalnih deformacija u tlu po dubini tla $s = \int_0^H \varepsilon_z \, \mathrm{d}z = \int_0^H \frac{\Delta\sigma_z}{M_v} \, \mathrm{d}z$

a) analitička integracija $s := \frac{q_{neto} \cdot B \cdot L}{M_v \cdot (L - B)} \cdot \ln\left(\frac{L \cdot (B + z_4)}{B \cdot (L + z_4)}\right) = 3.185 \; cm$

b) numerička integracija - trapezno pravilo

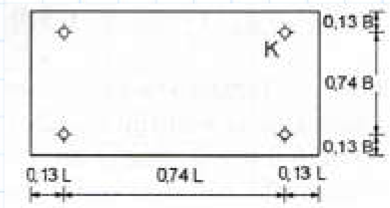
$s_t := \frac{\Delta z}{2} \cdot (\varepsilon_{z0} + 2 \cdot \varepsilon_{z1} + 2 \cdot \varepsilon_{z2} + 2 \cdot \varepsilon_{z3} + \varepsilon_{z4}) = 3.533 \; cm$ $\qquad \frac{s_t - s}{s} = 0.109$

c) numerička integracija - Simpsonovo pravilo

$s_S := \frac{\Delta z}{3} \cdot (\varepsilon_{z0} + 4 \cdot \varepsilon_{z1} + 2 \cdot \varepsilon_{z2} + 4 \cdot \varepsilon_{z3} + \varepsilon_{z4}) = 3.256 \; cm$ $\qquad \frac{s_S - s}{s} = 0.022$

2. primer

Krut pravougaoni temelj dimenzija B/L=2/4m leži na sloju gline debljine H=4m za koju je modul stišljivosti tla M_v=5.0MN/m² . Neto kontaktni napon ispod temelja je q_{neto}=200kN/m². Sračunati priraštaj vertikalnih napona usled opterećenja duž vertikale ispod karakteristične tačke temelja K primenom metode Štajnbrenera i metode Kanija, kao i sleganje temelja na osnovu vertikalne deformacije u sredini sloja.

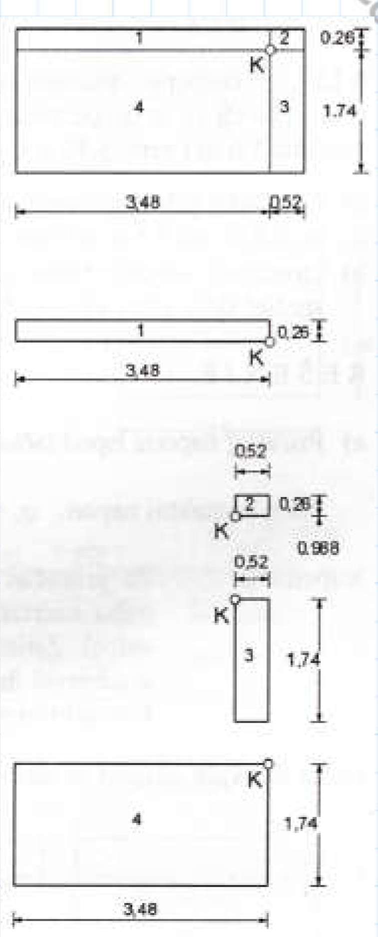


Temelj $B:=2\ m$ $L:=4\ m$ $q_{neto}:=200\ \frac{kN}{m^2}$

Tlo $H:=4\ m$ $M_v:=5\ \frac{MN}{m^2}$

Dubine $z_0:=0\ m$ $z_1:=2\ m$ $z_2:=4\ m$ $\Delta z:=2\ m$

a) metoda Štajnbrenera



$z:=z_1=2\ m$

površina 1 $a_1:=3.48\ m$ $b_1:=0.26\ m$

$\frac{a_1}{b_1}=13.385$ $\frac{z}{b_1}=7.692$ $I_1:=0.040$

površina 2 $a_2:=0.52\ m$ $b_2:=0.26\ m$

$\frac{a_2}{b_2}=2$ $\frac{z}{b_2}=7.692$ $I_2:=0.015$

površina 3 $a_3:=1.74\ m$ $b_3:=0.52\ m$

$\frac{a_3}{b_3}=3.346$ $\frac{z}{b_3}=3.846$ $I_3:=0.066$

površina 4 $a_4:=3.48\ m$ $b_4:=1.74\ m$

$\frac{a_4}{b_4}=2$ $\frac{z}{b_4}=1.149$ $I_4:=0.189$

$$\Delta\sigma_z:=\left(I_1+I_2+I_3+I_4\right)\cdot q_{neto}=62\ \frac{kN}{m^2}$$

$$s:=\frac{\Delta\sigma_z}{M_v}\cdot H=4.96\ cm$$

b) metoda Kanija

$z:=z_1=2\ m$ $\frac{L}{B}=2$ $\frac{z}{B}=1$ $I:=0.31$ $\Delta\sigma_z:=I\cdot q_{neto}=62\ \frac{kN}{m^2}$

$$s:=\frac{\Delta\sigma_z}{M_v}\cdot H=4.96\ cm$$

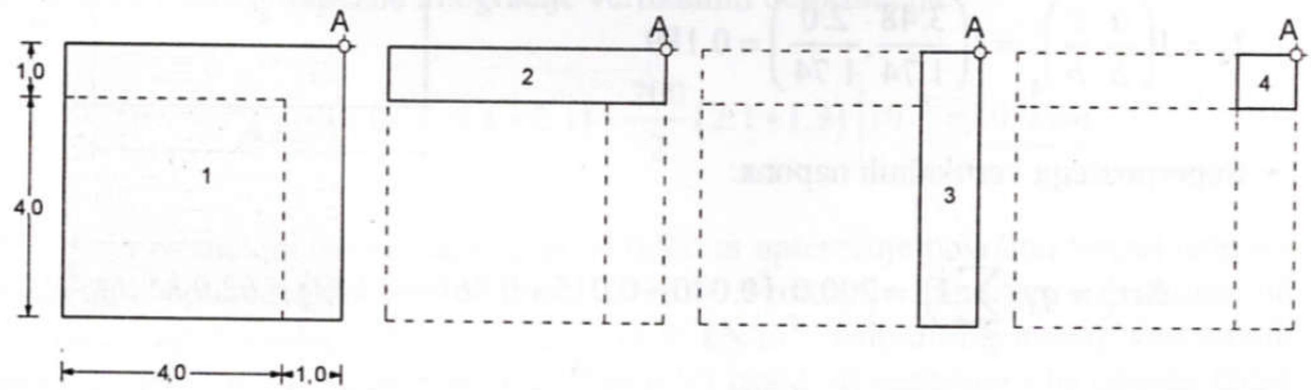
3. primer

Kvadratni temelj dimenzije B=L=4m je fundiran na dubini D_f=0.8m i opterećen centričnim opterećenjem Q=4.24MN. Temelj je u NPV i leži na sloju peska debljine H=5m za koji je zapreminska težina tla ispod NPV γz=18.75kN/m³, a modul stišljivosti tla M_v=4.0MN/m². Sračunati priraštaj vertikalnih napona usled opterećenja na dubini od 2.5m ispod tačke A na odstojanju 1m u pravcu B i u pravcu L od ugla temelja primenom metode Štajnbrenera, kao i sleganje temelja na osnovu vertikalne deformacije u sredini sloja.

Temelj	$B:=4\ m$	$L:=4\ m$	$D_f:=0.8\ m$	$Q:=4.24\ MN$
Tlo	$H:=5\ m$	$NPV:=0.8\ m$	$\gamma_z:=18.75\ \frac{kN}{m^3}$	$M_v:=4\ \frac{MN}{m^2}$
Dubine	$z_0:=0\ m$	$z_1:=2.5\ m$	$z_2:=5\ m$	$\Delta z:=2.5\ m$

neto kontaktni napon $\quad q_{neto}:=\frac{Q}{B\cdot L}-D_f\cdot\gamma_z=250\ \frac{kN}{m^2}$

Uticajne površine za tačku A i temelj



$z:=z_1=2.5\ m$

površina 1	$a_1:=5\ m$	$b_1:=5\ m$	$\frac{a_1}{b_1}=1$	$\frac{z}{b_1}=0.5$	$I_1:=0.232$
površina 2	$a_2:=5\ m$	$b_2:=1\ m$	$\frac{a_2}{b_2}=5$	$\frac{z}{b_2}=2.5$	$I_2:=-0.113$
površina 3	$a_3:=5\ m$	$b_3:=1\ m$	$\frac{a_3}{b_3}=5$	$\frac{z}{b_3}=2.5$	$I_3:=-0.113$
površina 4	$a_4:=1\ m$	$b_4:=1\ m$	$\frac{a_4}{b_4}=1$	$\frac{z}{b_4}=2.5$	$I_4:=0.060$

$$\Delta\sigma_z:=\left(I_1+I_2+I_3+I_4\right)\cdot q_{neto}=16.5\ \frac{kN}{m^2}$$

$$s:=\frac{\Delta\sigma_z}{M_v}\cdot H=2.063\ cm$$