Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

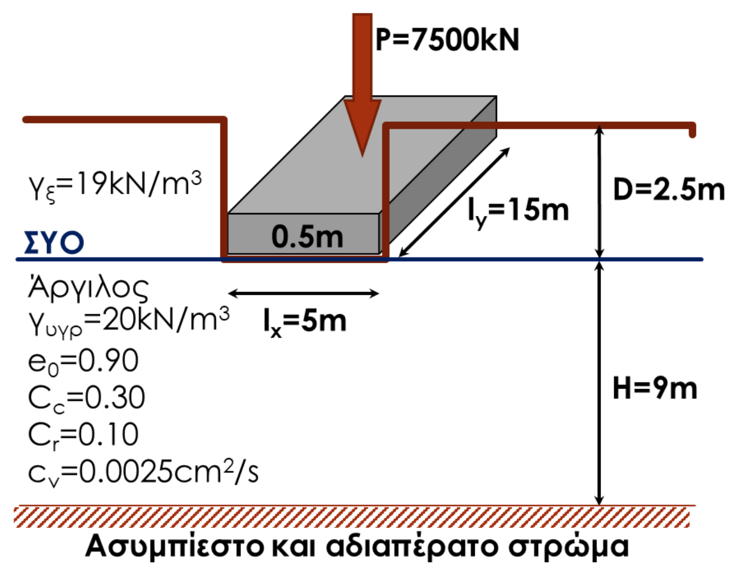
ΜΑΘΗΜΑ: ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ **6^{Ο} ΕΞΑΜΗΝΟ**

ΔΙΔΑΣΚΩΝ: Α. Βαλσαμής

ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Να υπολογιστούν οι μακροχρόνιες καθιζήσεις στο ορθογωνικό πέδιλο του σχήματος, με βάση τη θεωρία του Terzaghi (Στρώσεις 3.0μ). Πόσο χρόνο θέλει για να ολοκληρωθούν (90% στερεοποίηση);



Σχήμα 1.

Επίλυση

Υπολογισμός του πρόσθετου φορτίου που δημιουργεί καθιζήσεις:

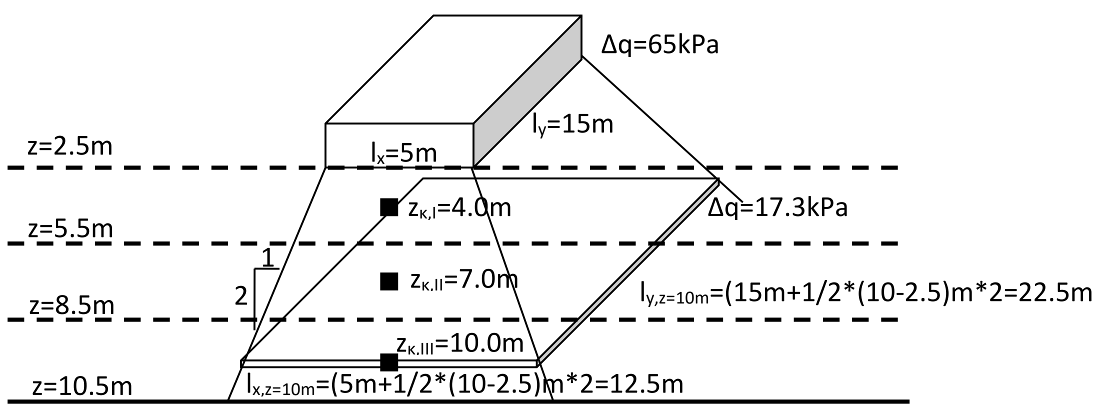
$\Delta q = q_{επιβαλλόμενο} - g_{αφαιρούμενου\ εδάφους} + g_{θεμελίου} =$

$= 7500kN/5m/15m – 19kN/m^3 * 2.5m + 25kN/m^3 * 0.5m =$

$=65kPa$

Χωρίζουμε το έδαφος σε στρώσεις των 3.0μ και υπολογίζουμε τις αρχικές τάσεις, τις πρόσθετες τάσεις με βάση την κατανομή 2:1 για το κέντρο της κάθε στρώσης (δηλαδή το πιο αντιπροσωπευτικό σημείο της στρώσης), τις κατακόρυφες παραμορφώσεις σύμφωνα με τη θεωρία του Terzaghi και τελικά τη καθίζηση κάθε στρώσης, πολλαπλασιάζοντας την παραμόρφωση με το πάχος της στρώσης.

α/α	**Βάθη στρώσης (m)**	**Βάθος μέσου (m)**	**σ'_o (kPa)**	**Δq (kPa)**	**$\Delta\varepsilon_v$ (%)**	**ρ (cm)**
1	2.5-5.5	4.0	=2.5m*19kN/m^3 +(4-2.5)*20kN/m^3 +(4-2.5)*10kN/m^3 =62.5kPa	=65kPa*(5m*15m) /[(5m+1/2*(4-2.5)m*2)* (15m+1/2*(4-2.5)m*2)]= 45.5kPa	=0.30/(1+0.9)* log[(62.5+45.5)/62.5]= 3.75%	=3.75%* 300cm= 11.25cm
2	5.5-8.5	7.0	=2.5m*19kN/m^3 +(7-2.5)*20kN/m^3 +(7-2.5)*10kN/m^3 =92.5kPa	=65kPa*(5m*15m) /[(5m+1/2*(7-2.5)m*2)* (15m+1/2*(7-2.5)m*2)]= 26.3kPa	=0.30/(1+0.9)* log[(92.5+26.3)/92.5]= 1.72%	=1.72%* 300cm= 5.16cm
3	8.5-11.5	10.0	=2.5m*19kN/m^3 +(10-2.5)*20kN/m^3 +(10-2.5)*10kN/m^3 =122.5kPa	=65kPa*(5m*15m) /[(5m+1/2*(10-2.5)m*2)* (15m+1/2*(10-2.5)m*2)]= 17.3kPa	=0.30/(1+0.9)* log[(122.5+17.3)/122.5] = 0.91%	=0.91%* 300cm= 2.73cm
					$\rho_{Συνολικό}$=	**19.14cm**

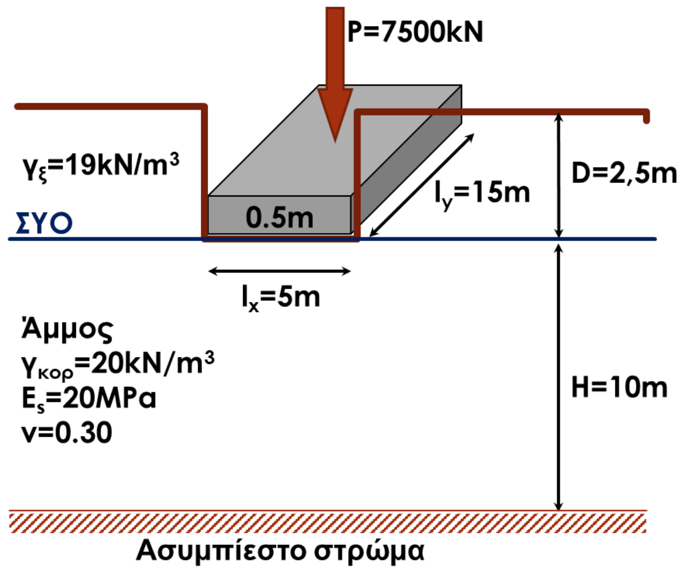


Οι συνολικές καθιζήσεις είναι το άθροισμα των καθιζήσεων από την κάθε στρώση, δηλαδή **19.14cm.** Για να ολοκληρωθούν οι καθιζήσεις πρέπει ο μέσος βαθμός στερεοποίησης να είναι 90%, δηλαδή σύμφωνα με το σχετικό διάγραμμα ο χρονικός παράγοντας να είναι T_v=0.85. Εφόσον το κατώτερο στρώμα είναι αδιαπέρατο, το H_d είναι ίσο με το πάχος του στρώματος, δηλαδή 9m και ο απαιτούμενος χρόνος t υπολογίζεται ως:

$$T_v = \frac{C_v t}{H_d^2} \rightarrow t = T_v \frac{H_d^2}{C_v} = 0.85 \frac{81m^2}{0.0025\ 10^{-4} m^2/s} = 275400000s = 8.73years$$

ΑΣΚΗΣΗ 2

Για την άκαμπτη πεδιλοδοκό του σχήματος να υπολογιστεί η καθίζηση και ο δείκτης εδάφους. Ο υπολογισμός να γίνει με τρεις τρόπους: εκτίμηση των καθιζήσεων (α) με τη μέθοδο Steinbrenner και (b) με τη μέθοδο Kany και στη συνέχεια εκτίμηση του δείκτη εδάφους μέσω του λόγου p/δ.



Σχήμα 2.

Υπολογισμός του πρόσθετου φορτίου που δημιουργεί καθιζήσεις:

$\Delta q = q_{\text{επιβαλλόμενο}} - g_{\text{αφαιρούμενου εδάφους}} + g_{\text{θεμελίου}} =$

$= 7500\text{kN}/5\text{m}/15\text{m} - 19\text{kN/m}^3 * 2.5\text{m} + 25\text{kN/m}^3 * 0.5\text{m} =$

$=65\text{kPa}$

(α) Μέθοδος Steinbrenner.

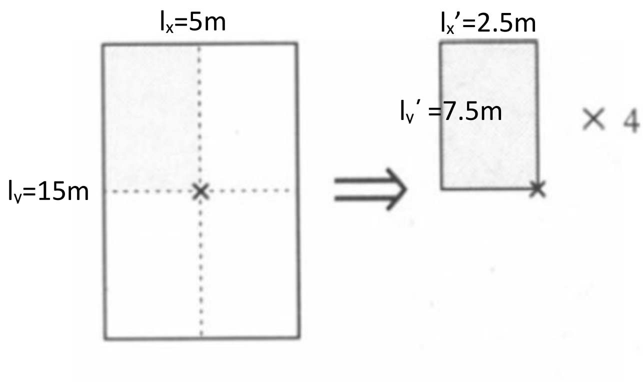
Η μέθοδος δίνει τη καθίζηση στη γωνία εύκαμπτης θεμελίωσης. Άρα για να δούμε τι συμβαίνει στο κέντρο χωρίζουμε τη θεμελίωση σε 4 ορθογώνια που η γωνία τους να είναι στο κέντρο και υπολογίζουμε την καθίζηση ως το άθροισμα των καθιζήσεων που δημιουργούν αυτά στη γωνία τους (βλ. και σχήμα που ακολουθεί). Το πλάτος λοιπόν του μικρού αυτού θεμελίου είναι 2.5m. Επίσης, το μέτρο Ελαστικότητας Ε είναι ίσο με $0.74E_s$ δηλαδή 14.8MPa.

Επειδή το v=0.30 παίρνω τον απλοποιημένο τύπο:

$$\rho_1 = \frac{\Delta q \cdot B}{E} f \cdot I_D = \frac{65kPa \cdot 2.5m}{14800kPa} 0.5 \cdot 0.85 = 0.0047m = 0.47cm$$

Όπου f = 0.5 εφόσον H/B = 10/2.5 = 4 και L/B = 3.

Για το I_D το σωστό είναι να λαμβάνεται το B του συνολικού θεμελίου (Ix και όχι Ix’) άρα: D/B=2.5/5=0.5, άρα I_D≈0.85 με γραμμική παρεμβολή στο διάγραμμα.



Άρα η καθίζηση στο κέντρο της εύκαμπτης θεμελίωσης: $\rho=4\rho_1$=1.87cm.

Η θεμελίωση είναι άκαμπτη, άρα: $\rho_{ΑΚΑΜΠΤΗΣ}$ = (2/3 έως 3/4) $\rho_{ΕΥΚΑΜΠΤΗΣ,Κέντρο}$ =1.25~1.40cm.

(β) Μέθοδος Kany.

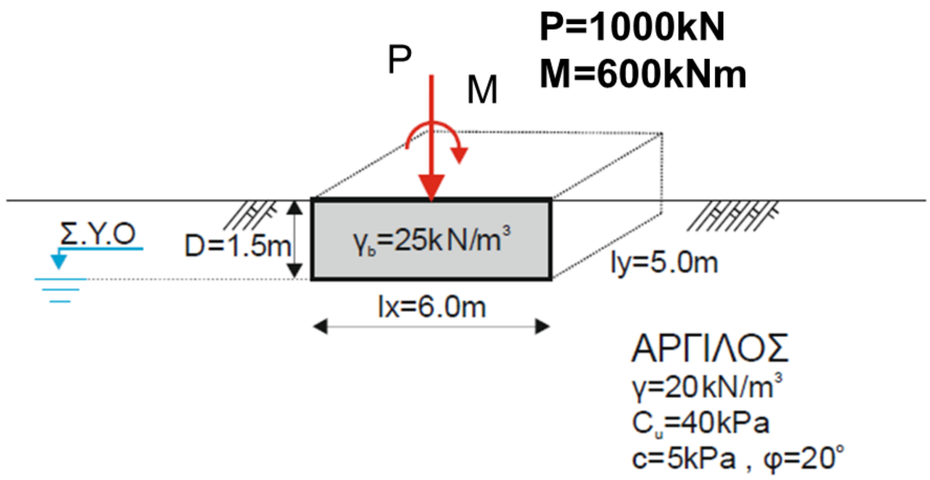
Η μέθοδος αναφέρεται σε άκαμπτες θεμελιώσεις κατά συνέπεια εφαρμόζεται απευθείας για το συνολικό θεμέλιο (εφόσον θα καθιζάνει παντού σταθερά):

$$\rho = f\,\frac{\Delta q \cdot B}{E_s} = 1.1\frac{65kPa \cdot 5m}{20000kPa} = 0.0179m = 1.79cm$$

όπου f = 1.1 για H/B = 20/5 = 4 και L/B=3

ΑΣΚΗΣΗ 3

Για το ορθογωνικό θεμέλιο lx x ly (6m x 5m) του Σχήματος 1, που εδράζεται σε αργιλικό σχηματισμό, να υπολογιστεί η καθίζηση και η στροφή σύμφωνα με τη μεθοδολογία των ισοδύναμων ελατηρίων. Θεωρήστε ελαστικές παραμέτρους του προβλήματος (E_s, ν) έπειτα από εύλογες παραδοχές.



Σχήμα 3.

Επίλυση:

P=1000kN, Mx=600kNm

$$G_{\theta\varepsilon\mu} = \left(l_x \cdot l_y \cdot D\right) \cdot \gamma_b = \left(6 \cdot 5 \cdot 1,5\right) m^3 \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 1125 kN$$

$$\Sigma V = P + G_{\theta\varepsilon\mu} = 1000 kN + 1125 kN = 2125 kN$$

$$\Sigma V_{\text{ΚΑΘΙΖ}} = \Sigma V - G_{\text{ΕΔΑΦΟΥΣ}} = \Sigma V - \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot l_x l_y D = 2125 kN - 20 \cdot 6 \cdot 5 \cdot 1.5 kN = 1225 kN$$

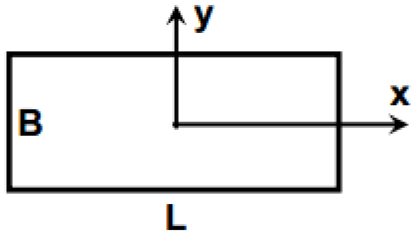
Για τον αργιλικό σχηματισμό του προβλήματος γίνονται οι παραδοχές ότι:

- E_s = 300*c_u = 300*40kPa = 12000kPa = 12MPa
- v=0.30

Συνεπώς: $E = \frac{(1+v)\cdot(1-2v)}{(1-v)} \cdot E_s \overset{v=0.30}{=} 0,74 E_s = 0,74 \cdot 12 = 8,88 MPa$

Για τον υπολογισμό της καθίζησης απαιτείται ο υπολογισμός της σταθεράς του κατακόρυφου ελατηρίου K_v.

ΠΡΟΣΟΧΗ!: Οι σχέσεις υπολογισμού της δυσκαμψίας των ισοδύναμων ελατηρίων θεωρούν B < L. Συνεπώς εδώ $B=l_y=5m$ και $L=l_x=6m$. Επίσης προϋποθέτουν την τοποθέτηση των αξόνων x και y σύμφωνα με το ακόλουθο σχήμα ώστε να ισχύουν οι υπολογισμοί των στροφών περί τους αντίστοιχους άξονες.



$$K_v = \frac{E \cdot L}{2 \cdot \left(1-v^2\right)} \cdot \left[0,73+1,54\left(\frac{B}{L}\right)^{0.75}\right] = \frac{8,88MPa \cdot 6m}{2 \cdot \left(1-0.3^2\right)} \cdot \left[0,73+1,54\left(\frac{5m}{6m}\right)^{0.75}\right] = 60,64\,MN/m$$

$$K_v = \frac{\Sigma V_{\text{ΚΑΘΙΖ}}}{u_z} \Rightarrow u_z = \frac{\Sigma V_{\text{ΚΑΘΙΖ}}}{K_v} = \frac{1.225MN}{60.64\,MN/m} = 0.020m = 2.0cm$$

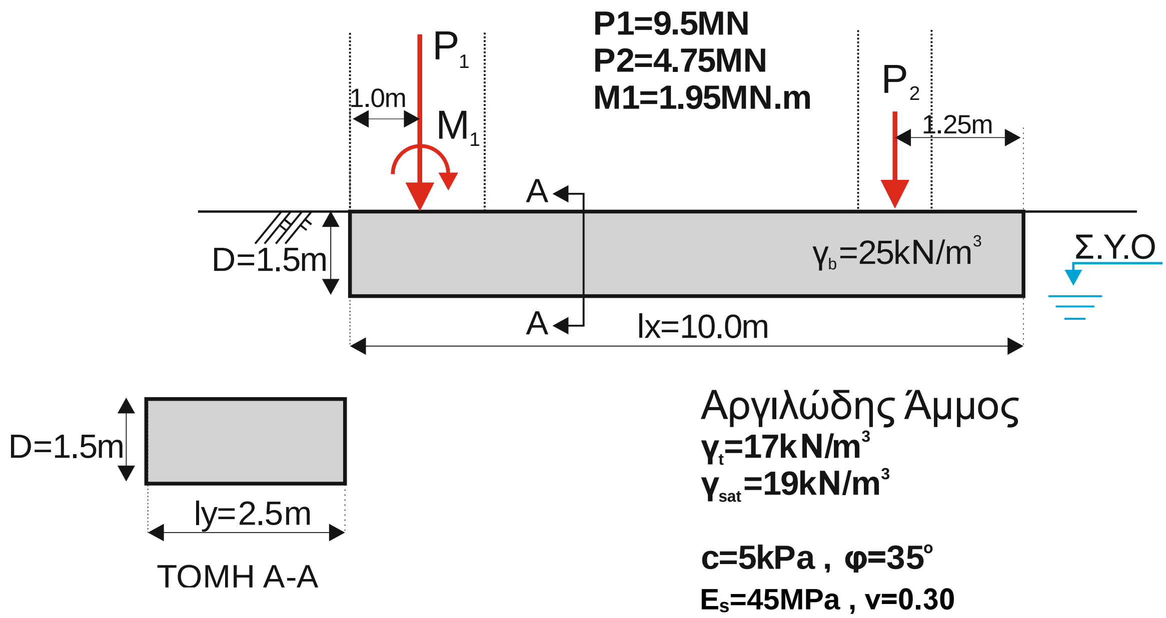
Για τον υπολογισμό της στροφής περί τον άξονα y λόγω της ροπής M απαιτείται ο υπολογισμός του στροφικού ελατηρίου K_{My}.

$$K_{My} = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{0.225 \cdot E}{\left(1-v^2\right)} L^{2.10} \cdot B^{0.90} = \frac{0.225 \cdot 8,88MPa}{\left(1-0.3^2\right)} 6m^{2.10} \cdot 5m^{0.90} = 404\ MNm/rad$$

$$K_{My} = \frac{\Sigma M}{\theta_y} \Rightarrow \theta_y = \frac{\Sigma M}{K_{My}} = \frac{0,6MNm}{404\,MNm/rad} = 0,00156\ rad \approx 0,1^{\circ}$$

<u>ΑΣΚΗΣΗ 4</u>

Για την άκαμπτη πεδιλοδοκό διαστάσεων l_x x l_y (10m x 2.5m) από οπλισμένο σκυρόδεμα (E_b=30GPa), η οποία φέρει φορτία από την ανωδομή όπως δίνονται στο Σχήμα 2 και εδράζεται σε αργιλώδη άμμο με συνοχή c=5kPa, γωνία εσωτερικής τριβής φ=35° και μέτρο μονοδιάστατης συμπίεσης E_s=45MPa να σχεδιαστεί η κατανομή των πιέσεων επαφής και των καθιζήσεων κατά μήκος της θεμελίωσης.



Σχήμα 4.

Επίλυση:

Για τη συγκεκριμένη πεδιλοδοκό από την Άσκηση 2 της φέρουσας ικανότητας επιφανειακών θεμελιώσεων, έχει υπολογιστεί ότι e_x=1,20m, ΣV=15,19MN και ΣM_x=18,35MNm.

$$\Sigma V_{\text{ΚΑΘΙΖ}} = \Sigma V - G_{\text{ΕΔΑΦΟΥΣ}} = \Sigma V - \gamma_{\varepsilon\delta} \cdot l_x l_y D = 15.19MN - 17 \cdot 10 \cdot 2.5 \cdot 1.5kN = 14.55MN$$

$e_x = 1,20m < \dfrac{l_x}{6} = 1,67m \Rightarrow$ **Μικρή εκκεντρότητα**

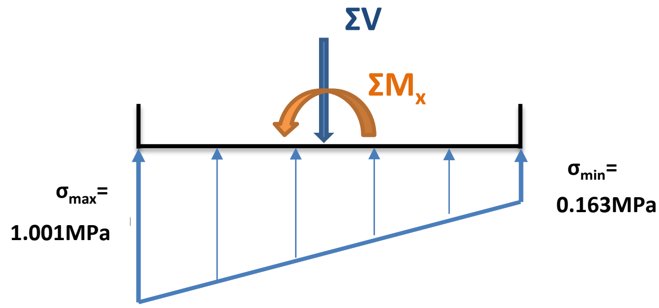
ΠΡΟΣΟΧΗ!: Στην εκτίμηση καθιζήσεων άκαμπτης θεμελίωσης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο ΚΑΙ η φορά της συνισταμένης των ροπών ΣΜ στο κέντρο βάρους της πεδιλοδοκού. Στην προκειμένη περίπτωση η ΣM_x είναι αριστερόστροφη.

Μέση τάση: $\sigma = \dfrac{\Sigma V}{l_x \cdot l_y} = \dfrac{14550kN}{10m \cdot 2.5m} = 582.1kPa$

Ελάχιστη τάση: $\sigma_{\min} = \sigma\left(1 - 6 \cdot \dfrac{e}{l_x}\right) = 582.1kPa\left(1 - 6 \cdot \dfrac{1.2m}{10.0m}\right) = 163kPa = 0.163MPa$

Μέγιστη τάση: $\sigma_{\max} = \sigma\left(1 + 6 \cdot \dfrac{e}{l_x}\right) = 582.1kPa\left(1 + 6 \cdot \dfrac{1.2m}{10.0m}\right) = 1001kPa = 1.001MPa$

Ακολούθως απεικονίζεται η κατανομή των πιέσεων επαφής κατά μήκος της διάστασης l_x:



Για τον υπολογισμό του δείκτη εδάφους θεμελιολωρίδας **k** κατά Vesic (1961) έχουμε:

$$B = l_y = 2,5m \ , \ E_s = 45000MPa \ , \ E \overset{v=0.30}{=} 0.74E_s = 0.74 \cdot 45MPa = 33.3MPa$$

$$I = \frac{B \cdot H^3}{12} = \frac{2.5m \cdot (1.5m)^3}{12} = 0.703m^4$$

$$k = \frac{0.65}{1-v^2}\left(\frac{E \cdot B^4}{E_b \cdot I}\right)^{1/12}\frac{E}{B} = \frac{0.65}{1-0.3^2}\left(\frac{33.3MPa \cdot (2.5m)^4}{30000MPa \cdot 0.703m^4}\right)^{1/12}\frac{33.3MPa}{2.5m} = 7.57\,MN/m^3$$

Ελάχιστη καθίζηση: $\rho_{\min} = \dfrac{\sigma_{\min}}{k_{Vesic}} = \dfrac{0.163MPa}{7.57MN/m^3} = 0.022m = 2.2cm$

Μέγιστη καθίζηση: $\rho_{\max} = \dfrac{\sigma_{\max}}{k_{Vesic}} = \dfrac{1.001MPa}{7.57MN/m^3} = 0.132m = 13.2cm$

Στροφή: $\theta = \dfrac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{l_x} = \dfrac{0.132m - 0.022m}{10m} = 0,011rad$

Ακολούθως απεικονίζεται η κατανομή των καθιζήσεων κατά μήκος της διάστασης l_x: