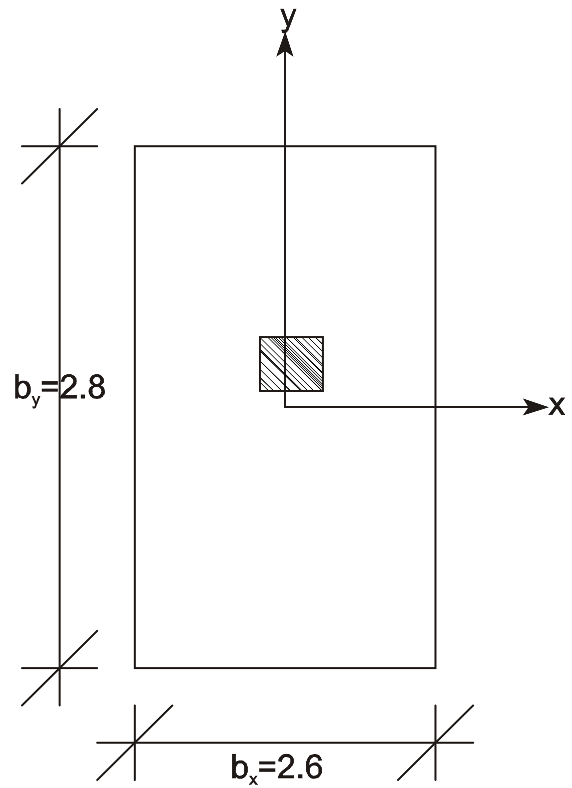
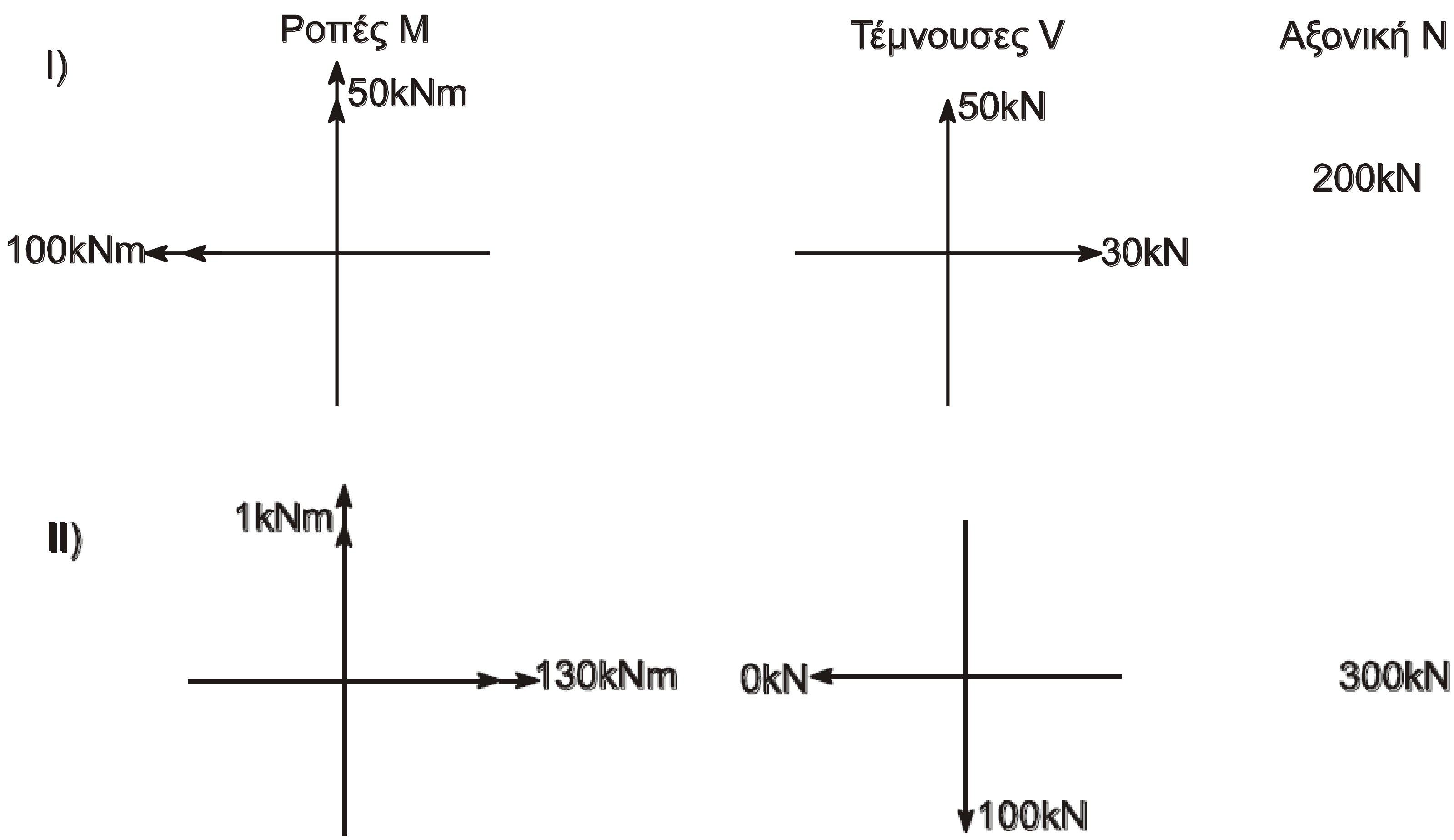
Εκφώνηση – Μέρος 1

- Διαστάσεις πεδίλου: b_x=2.6m, b_y=2.8m, h=0.70m (σταθερό).
- Υποστύλωμα 30/30, έκκεντρα τοποθετημένο ως προς το κέντρο βάρους του πεδίλου, κατά a_x=0.05m και a_y=0.20m.
- Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στη βάση του υποστυλώματος όπως στο σχήμα (περιλαμβάνουν και την επιρροή των συνδετηρίων δοκών).
- Βάθος θεμελίωσης 1.5m, έδαφος: άμμος με $\gamma_{\varepsilon\delta}=\gamma'=20kN/m^3$, tanφ'=0.7 και c'=0
- Να ληφθεί συντελεστής ασφαλείας συντελεστή εσωτερικής τριβής, γ_M=1.25 ($\tan\phi_d=\tan\phi'/\gamma_M$)



Ζητείται: Ο έλεγχος της φέρουσας ικανότητας του εδάφους κάτω από το πέδιλο για τους παρακάτω συνδυασμούς εντατικών μεγεθών.

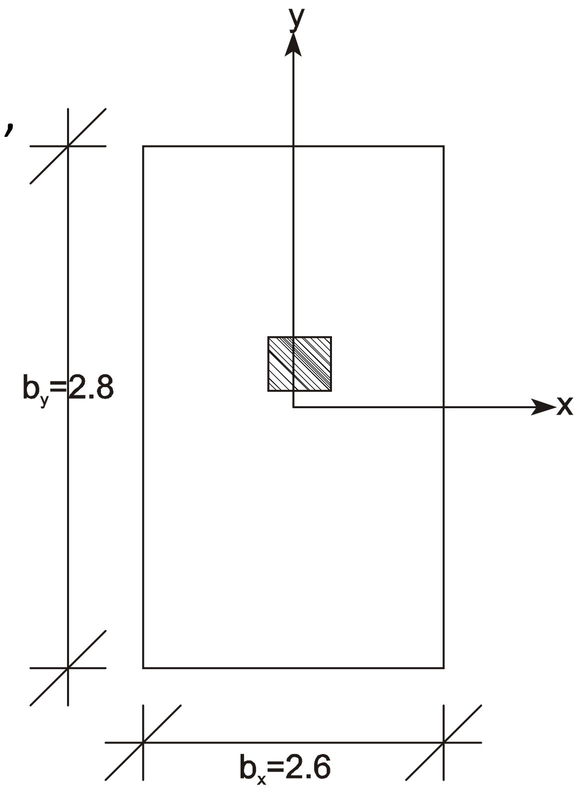
Εκφώνηση – Μέρος 1



Εκφώνηση – Μέρος 2

Να γίνει διαστασιολόγηση του πεδίλου σε διάτμηση, διάτρηση και κάμψη.

Υλικά: C16/20, S500

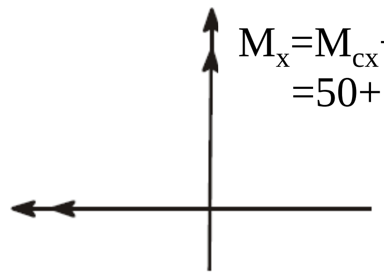


Επίλυση – Μέρος 1

1. Αναγωγή εντατικών μεγεθών στο κέντρο της βάσης του πεδίλου

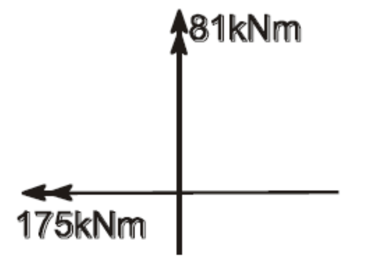
Η ροπή στο κέντρο βάρους της βάσης του πεδίλου σε κάτοψη ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα της ροπής στην κορυφή του πεδίλου, της αντίστοιχης τέμνουσας (δηλ. αυτής με διάνυσμα κάθετο σ' αυτό της ροπής) επί το ύψος του πεδίλου και της αξονικής του υποστυλώματος επί την εκκεντρότητά της από το κέντρο του πεδίλου στη διεύθυνση την κάθετη στο διάνυσμα της ροπής. Ετσι στην προκειμένη περίπτωση έχομε:

I)



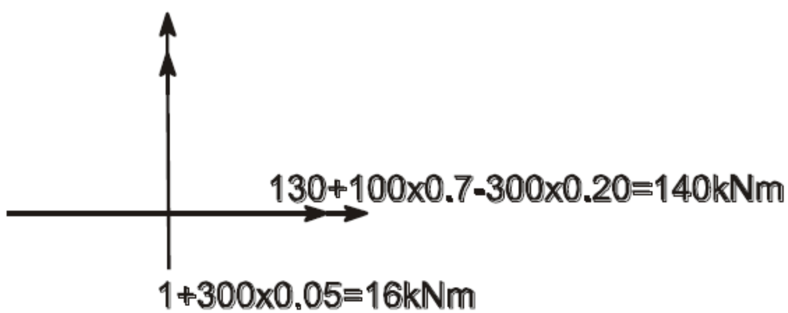
$$M_x=M_{cx}+V_xh+a_xN=$$
$$=50+30*0.7+0.05*200=81kNm$$

=

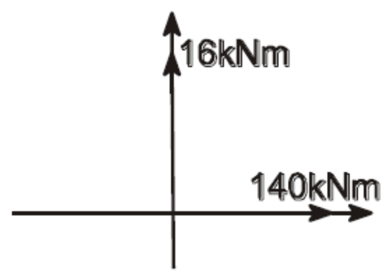


$$M_y=M_{cy}+V_yh+a_yN=100+50*0.7+0.20*200=175kNm$$

II)



=



M_{cx}, M_{cy}: ροπές στη βάση του υποστυλώματος

Επίλυση – Μέρος 1

2. Υπολογισμός συνολικής κατακόρυφης δύναμης N_{tot} και εκκεντροτήτων της, e_x, e_y:

Είναι $N_{tot}=N+(\gamma_{\sigma\kappa}h+\gamma_{\varepsilon\delta}(t-h))A_f$

όπου h και t το ύψος του πεδίλου και το βάθος θεμελίωσης αντίστοιχα, και A_f η επιφάνεια του πεδίλου σε κάτοψη. Αρα:

I) $N_{tot}=200+(25x0.7+20x0.8)x2.6x2.8=444kN$

$e_x= M_x/N_{tot} = 81/444 = 0.182m$

$e_y= M_y/N_{tot} = 175/444=0.394m$

II) $N_{tot}=300+(25x0.7+20x0.8)x2.6x2.8=544kN$

$e_x=16/544=0.029m$

$e_y=-140/544=-0.257m$ (αρνητική, επειδή προκαλεί εφελκυσμό στο 1ο τεταρτημόριο της κάτοψης)

3. Ελεγχος εκκεντρότητας και φέρουσας ικανότητας εδάφους.

I) $$\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2+\left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2=\left(\frac{0.182}{2.6}\right)^2+\left(\frac{0.394}{2.8}\right)^2=0.0688<\frac{1}{9}$$

Επίλυση – Μέρος 1

Οι διαστάσεις του μειωμένου πεδίλου για τον έλεγχο της φέρουσας ικανότητας είναι:

$b_x' = b_x - 2|e_x| = 2.6 - 2x0.182 = 2.236m$

$b_y' = b_y - 2|e_y| = 2.8 - 2x0.394 = 2.012m$

Επειδή ως b_x' ορίζεται η μικρότερη από τις δύο πλευρές, λαμβάνεται $b_x'=2.012m$, $b_y'=2.236m$.

Επειδή η V_x είναι παράλληλη της b_x', η οποία προέκυψε από την b_y, η V_x είναι η οριζόντια δύναμη η παράλληλη στη b_y, δηλ. $V_x=50kN$. Ομοίως $V_y=30kN$

Φόρτιση q λόγω βάρους υπερκειμένου εδάφους: $q=\gamma_{\varepsilon\delta}t=20x1.5=30kN/m^2$

Τιμές σχεδιασμού: $\tan\varphi_d=\tan\varphi'/\gamma_M=0.7/1.25=0.56 \Rightarrow \varphi_d=29.25^o$, $c_d=0$

$N_q=16.9$, $N_c=28.4$, $N_\gamma=17.8$, $s_q=1.44$, $s_\gamma=0.73$

$m=1.512$

$$i_q = (1 - \sqrt{30^2+50^2}/444)^{1.512} = 0.808$$

$$i_\gamma = (1 - \sqrt{30^2+50^2}/444)^{2.512} = 0.702$$

Εφαρμογή Εξ.(3)-(13) της παρουσίασης “Στοιχεία θεμελίωσης - Μέρος 2”

Φέρουσα ικανότητα πεδίλου:

$R_N = 2.012x2.236x(30x16.9x1.44x0.808+0.5x20x17.8x2.012x0.73x0.702)=3480>>444kN$

Έχουμε δηλαδή $R_N >> N_{tot}$ άρα ok ο έλεγχος (φέρουσα ικανότητα πολύ μεγαλύτερη απ’ την συνολική κατακόρυφη δύναμη)

Επίλυση – Μέρος 1

II) $\left(\frac{e_x}{b_x}\right)^2 + \left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2 = \left(\frac{0.029}{2.6}\right)^2 + \left(\frac{0.257}{2.8}\right)^2 = 0.0085 < \frac{1}{9}$

Δεν υπάρχει αδρανής περιοχή.

b_x'=2.6-2x0.029=2.542m

b_y'=2.8-2x0.257=2.286m

Και πάλι αλλάζει ο ρόλος των b_x', b_y': b_x'=2.286m, b_y'=2.542m

V_x=100kN, V_y=0

m=1.473

i_q=0,741, i_γ=0.605

Φέρουσα ικανότητα πεδίλου:

R_N=2.286x2.542x(30x16.92x1.44x0.741+0.5x20x17.84x2.286x0.73x0.605)=4191kN>>544kN

και πάλι R_N >> N_{tot} άρα ok ο έλεγχος φέρουσας ικανότητας

Επίλυση – Μέρος 2

4. Ελεγχος επάρκειας ύψους πεδίλου με βάση την οριακή κατάσταση αστοχίας σε διάτμηση χωρίς οπλισμό διάτμησης.

Λαμβάνεται, χάριν απλότητας, το ίδιο στατικό ύψος και στις δύο διευθύνσεις, ίσο με $d=h-0.05=0.65m$.

Οι κρίσιμες σε διάτμηση διατομές για τον έλεγχο απαίτησης οπλισμού είναι οι εξής:

α) Οι κάθετες στον άξονα x:

Επειδή και οι δύο συνδυασμοί I και II έχουν θετική εκκεντρότητα e_x, προκαλούν τη μέγιστη θλιπτική τάση στην πλευρά του πεδίλου προς το θετικό ημιάξονα x.

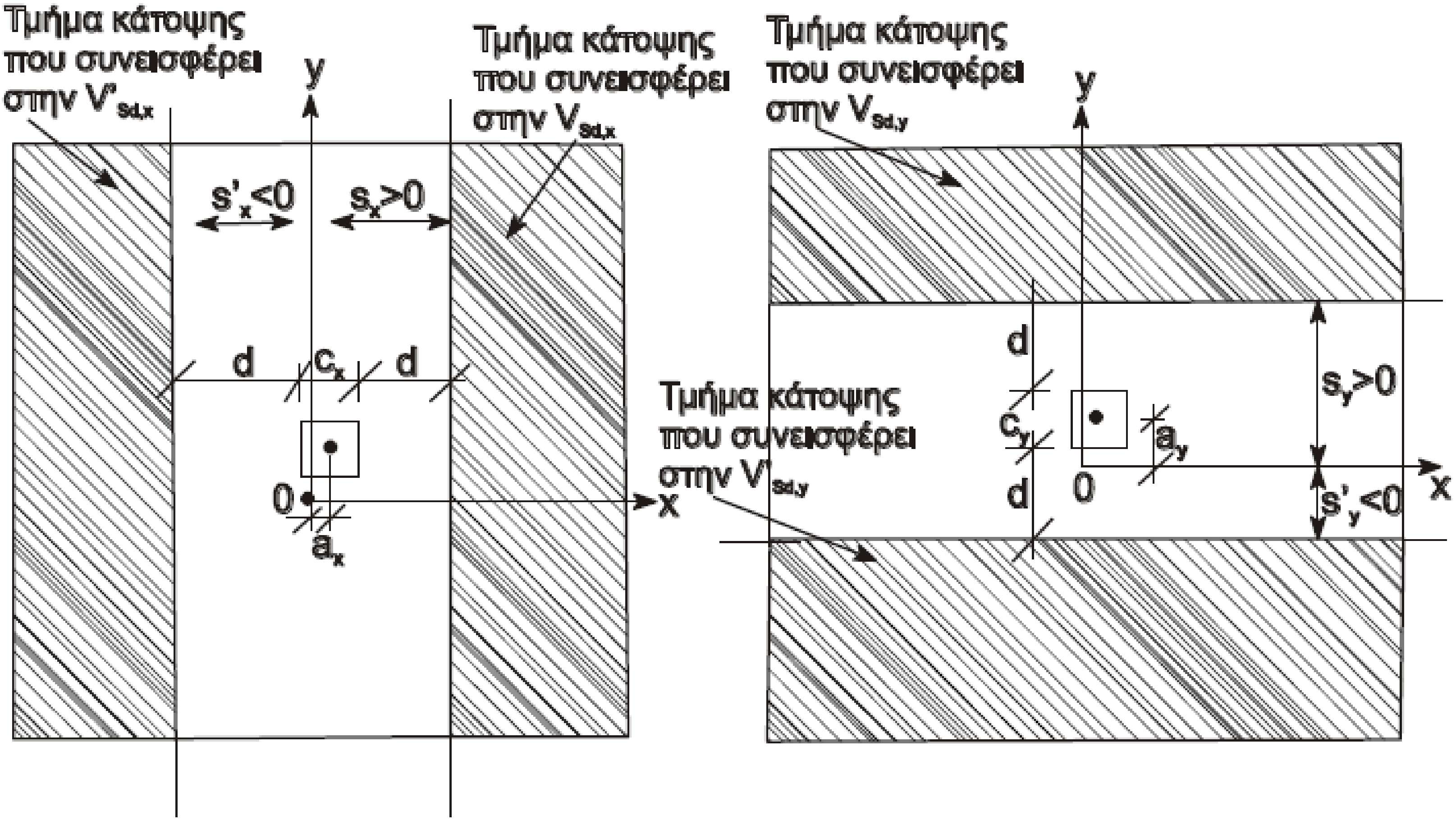
Η κρίσιμη σε διάτμηση διατομή που βρίσκεται μεταξύ υποστυλώματος και πλευράς όπου αναπτύσσεται η μέγιστη τάση εδάφους κάτω από το πέδιλο, απέχει από το κέντρο του πεδίλου απόσταση:

$$s_x=d+0.5c_x+a_x=0.65+0.5x0.3+0.05=0.85m$$

Ενώ αυτή που βρίσκεται από την άλλη πλευρά της κάτοψης σε σχέση με το υποστύλωμα από αυτήν όπου αναπτύσσεται η μέγιστη τάση εδάφους, απέχει από το κέντρο του πεδίλου:

$$s'_x=-d-0.5c_x+a_x=-0.65-0.5x0.3+0.05=-0.75m$$

Επίλυση – Μέρος 2



Επίλυση – Μέρος 2

Λόγω θετικής εκκεντρότητας e_y

β) Οι κάθετες στον άξονα y:

Ο συνδυασμός Ι προκαλεί μέγιστη τάση εδάφους στην πλευρά του πεδίλου προς το θετικό ημιάξονα y. Αρα η κρίσιμη σε διάτμηση διατομή που βρίσκεται μεταξύ της ανωτέρω πλευράς και του υποστυλώματος απέχει από το κέντρο του πεδίλου απόσταση:

$s_y = d + 0.5c_y + a_y = 0.65 + 0.5x0.3 + 0.20 = 1.0m$

ενώ αυτή που βρίσκεται στην αντίθετη πλευρά από αυτήν στην οποία αναπτύσσεται η μέγιστη τάση εδάφους απέχει από το κέντρο:

$s'_y = -d - 0.5c_y + a_y = -0.65 - 0.5x0.3 + 0.20 = -0.60m$

Επειδή ο συνδυασμός ΙΙ προκαλεί τη μέγιστη τάση εδάφους προς την πλευρά του αρνητικού ημιάξονα y, η κρίσιμη σε διάτμηση διατομή που βρίσκεται προς την πλευρά όπου ο συνδυασμός Ι προκαλεί τη μέγιστη τάση θλίψης, βρίσκεται επίσης προς την πλευρά όπου ο συνδυασμός ΙΙ προκαλεί την ελάχιστη τάση θλίψης. Αρα, το s_y του συνδυασμού Ι ισούται με το $-s'_y$ του συνδυασμού ΙΙ, και το $-s'_y$ του Ι είναι το s_y του ΙΙ. Ετσι, στο συνδυασμό ΙΙ είναι:

$s_y = 0.60m$

$s'_y = -1.0m$

Επίλυση – Μέρος 2

Ο υπολογισμός των τεμνουσών σχεδιασμού $V_{Ed,x}$, $V'_{Ed,x}$, $V_{Ed,y}$ και $V'_{Ed,y}$ για τις ανωτέρω διατομές σε απόσταση s_x, s'_x, s_y και s'_y από το κέντρο του πεδίλου γίνεται με θεώρηση της αντίστοιχης μονοαξονικής εκκεντρότητας, δηλ. της e_x για τις $V_{Ed,x}$, $V'_{Ed,x}$, αγνοώντας την επιρροή της e_y, και της e_y για τις $V_{Ed,y}$, $V'_{Ed,y}$, αγνοώντας την επιρροή της e_x.

Ετσι είναι:

α) Για το συνδυασμό Ι: (e_x = 0.182m, b_x = 2.6m, e_y = 0.394m, b_y = 2.8m)

$|e_x|/b_x=0.07<1/6$, $|e_y|/b_y=0.141<1/6$

Αρα χρησιμοποιούνται οι τύποι της περίπτωσης χωρίς αδρανή περιοχή (παρόλο που στην πραγματικότητα, λόγω της ταυτόχρονης δράσης των δύο εκκεντροτήτων, αναπτύσσεται αδρανής περιοχή):

Επίλυση – Μέρος 2

$$V_{Ed,x} = N_{tot}\ [1+\frac{3|e_x|}{b_x}(1+\frac{2s_x}{b_x})](0.5-\frac{s_x}{b_x})-(N_{tot}-N)(0.5-\frac{s_x}{b_x}) =$$

$$= 444[1+3x0.07(1+2x\frac{0.85}{2.6})](0.5-\frac{0.85}{2.6})-(444-200)(0.5-\frac{0.85}{2.6}) = 103.5-42.2 = 61.3kN$$

$$V'_{Ed,x} = N_{tot}\ [1-\frac{3|e_x|}{b_x}(1-\frac{2s'_x}{b_x})](0.5+\frac{s'_x}{b_x})-(N_{tot}-N)(0.5+\frac{s'_x}{b_x}) =$$

$$= 444[1-3x0.07(1+2x\frac{0.75}{2.6})](0.5-\frac{0.75}{2.6})-(444-200)(0.5-\frac{0.75}{2.6}) = 62.8-51.6 = 11.2kN$$

$$V_{Ed,y} = N_{tot}\ [1+\frac{3|e_y|}{b_y}(1+\frac{2s_y}{b_y})](0.5-\frac{s_y}{b_y})-(N_{tot}-N)(0.5-\frac{s_y}{b_y}) =$$

$$= 444[1+3x0.141(1+2x\frac{1.0}{2.8})](0.5-\frac{1.0}{2.8})-(444-200)(0.5-\frac{1.0}{2.8}) = 109.4-34,86 = 74.54kN$$

$$V'_{Ed,y} = N_{tot}\ [1-\frac{3|e_y|}{b_y}(1-\frac{2s'_y}{b_y})](0.5+\frac{s'_y}{b_y})-(N_{tot}-N)(0.5+\frac{s'_y}{b_y}) =$$

$$= 444[1-3x0.141(1+2x\frac{0.6}{2.8})](0.5-\frac{0.6}{2.8})-(444-200)(0.5-\frac{0.6}{2.8}) = 50.2-69.7 = -19.5kN$$

Επίλυση – Μέρος 2

Το αρνητικό πρόσημο της $V'_{Ed,y}$ σημαίνει ότι προς την πλευρά του πεδίλου όπου αναπτύσσονται οι μικρότερες τάσεις εδάφους η συνισταμένη των τελευταίων υπολείπεται του αντίστοιχου βάρους πεδίλου και εδάφους. Αρα τμήμα του τελευταίου χρειάζεται να μεταφερθεί προς το υποστύλωμα με τέμνουσα δύναμη με φορά αντίθετη από τη συνήθη (δηλ. από πάνω προς τα κάτω αντί από κάτω προς τα πάνω). Η αρνητική τέμνουσα δεν σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να γίνει έλεγχος σε διάτμηση. Αντίθετα ο έλεγχος χρειάζεται να γίνει με την απόλυτη τιμή της $V'_{Ed,y}$.

β) Για το συνδυασμό ΙΙ:

$|e_x|/b_x=0.011<1/6,$ $|e_y|/b_y=0.092<1/6$

Χρησιμοποιούνται και πάλι οι τύποι χωρίς αδρανή περιοχή. (Στην προκειμένη περίπτωση όντως δεν αναπτύσσεται αδρανής περιοχή).

$$V_{Ed,x}=544x[1+3x0.011x(1+2x\frac{0.85}{2.6})](0.5-\frac{0.85}{2.6})-(544-300)(0.5-\frac{0.85}{2.6})=99.3-42.2=57.1kN$$

$$V'_{Ed,x}=544x[1-3x0.011x(1+2x\frac{0.75}{2.6})](0.5-\frac{0.75}{2.6})-(544-300)(0.5-\frac{0.75}{2.6})=109.1-51.6=57.5kN$$

$$V_{Ed,y}=544x[1+3x0.092x(1+2x\frac{0.60}{2.8})](0.5-\frac{0.6}{2.8})-(544-300)(0.5-\frac{0.6}{2.8})=216.7-69.7=147kN$$

$$V'_{Ed,y}=544x[1-3x0.092x(1+\frac{2x1.0}{2.8})]x(0.5-\frac{1.0}{2.8})-(544-300)x(0.5-\frac{1.0}{2.8})=40.9-34.9=6kN$$

Επίλυση – Μέρος 2

Οι κάθετες στον άξονα x διατομές του πεδίλου ελέγχονται με τη μεγαλύτερη από τις $V_{Ed,x}$, $V'_{Ed,x}$ (απόλυτες τιμές) για τους συνδυασμούς I και II, δηλ. με την $V_{Ed,x}$ του I: $V_{Ed,x}$=61.3kN. Η τιμή αυτή της V_{Ed} πρέπει να είναι μικρότερη της $V_{Rd1,x}$ μιάς διατομής του πεδίλου κάθετης στον άξονα x: (Παρόμοια για την $V_{Rd1,y}$)

$$V_{Rd1,x}=\left\{\max\left[120\left(100\rho_{1,x}\right)^{1/3},\ 35\sqrt{1+\sqrt{\frac{0.2}{d}}\,f_{ck}^{1/6}}\right]\left(1+\sqrt{\frac{0.2}{d}}\right)f_{ck}^{1/3}\right\}b_y d$$

Το ποσοστό του διαμήκους οπλισμού $\rho_{l,x}$ προσδιορίζεται στην παρούσα φάση με βάση τον κατασκευαστικά ελάχιστο οπλισμό πεδίλων, κατά Ευρωκώδικα 2: ρ=0.26x1.9/500=0.1%<0.13%, άρα ρ=0.0013. Αρα: ($\rho_{min} = 0.26 f_{ctm}/f_{yk} \geq 0.13\%$)

$$V_{Rd1,y}=\left[max\left(\frac{180}{1.5}0.13^{1/3},35\sqrt{1+\sqrt{\frac{0.2}{0.65}}\cdot 16^{1/6}}\right)\left(1+\sqrt{\frac{0.2}{0.65}}\right)\cdot 16^{1/3}\right]2.6\cdot 0.65=458.7kN>V_{Ed,y}=147kN$$

Επίλυση – Μέρος 2

Το συμπέρασμα είναι ότι υπάρχει πολύ μεγάλο περιθώριο ασφαλείας σε διάτμηση (Τέμνουσα πάνω από 2 φορές μικρότερη της αντοχής χωρίς οπλισμό διάτμησης), παρά το ότι το πέδιλο είναι σχετικά μικρού ύψους σε σχέση με τις διαστάσεις του σε κάτοψη. (Είναι χαρακτηριστικό ότι το πέδιλο προεξέχει από το υποστύλωμα προς όλες τις κατευθύνσεις σχεδόν κατά το μέγιστο μήκος, 2h, που συνιστά ο Κανονισμός). Το περιθώριο ασφάλειας οφείλεται εν μέρει στη μικρή επιβάρυνση του πεδίλου από το υποστύλωμα, όπως αυτή αντικατοπτρίζεται στην σχετικά μικρή τιμή της μέγιστης τάσης εδάφους ($140 kN/m^2$). Αλλά ακόμα και διπλάσια να ήταν η επιβάρυνση του πεδίλου, φθάνοντας σε τάσεις εδάφους κοντά στα $300 kN/m^2$, τιμή που είναι από τις μεγαλύτερες που συνηθίζονται στην πράξη, και πάλι το ύψος του πεδίλου θα έφθανε άνετα για την αποφυγή τοποθέτησης οπλισμού διάτμησης.

Το αποτέλεσμα του παρόντος παραδείγματος μπορεί να γενικευθεί, με κάποια επιφύλαξη, στο συμπέρασμα ότι πέδιλα που προεξέχουν οριζόντια από το υποστύλωμα το πολύ κατά 2h δεν έχουν πρόβλημα επάρκειας ύψους για τη διάτμηση.

Επίλυση – Μέρος 2

Έλεγχος διάτρησης

Πρόβολοι πεδίλου:

$L_{πρ,+x} = b_x/2 - c_x/2 - a_x = 2.6/2 - 0.3/2 - 0.05 = 1.1m$

$L_{πρ,-x} = b_x/2 - c_x/2 + a_x = 2.6/2 - 0.3/2 + 0.05 = 1.2m$

$L_{πρ,+y} = b_y/2 - c_y/2 - a_y = 2.8/2 - 0.3/2 - 0.2 = 1.05m$

$L_{πρ,-y} = b_y/2 - c_y/2 + a_y = 2.8/2 - 0.3/2 + 0.2 = 1.45m$

Εξισώσεις:

$u(a) = 2(\pi a+c_x+c_y)$

$$A' = \pi a^2 + c_x c_y + 2a(c_x + c_y)$$

$$V_{Ed,red}(a) = \left(1 - \frac{A'}{b_x b_y}\right)(R_N - W_f) - \frac{12A'}{b_x b_y}\left(\frac{a_x e_x}{b_x^2} + \frac{a_y e_y}{b_y^2}\right)R_N$$

$$I_x' = \frac{\pi a^2 (c_x^2 + a^2)}{4} + \frac{a c_x^3}{6} + \frac{c_y\left(2a + c_x\right)^3}{12}$$

$$M_{Edx,red}(a) = e_x R_N - \frac{A'}{b_x b_y} a_x (R_N - W_f) - \frac{12R_N}{b_x b_y}\left(\frac{\left(I_x' + a_x^2 A'\right)e_x}{b_x^2} + \frac{\left(a_x a_y A'\right)e_y}{b_y^2}\right) + \sum_{tie-beams}\left(M_{tie-beam,x} + V_{tie-beam}(x_{tie-beam} - a_x)\right)$$

Επίλυση – Μέρος 2

Εξισώσεις (συνέχεια):

$e_{x,red}(a) = M_{Edx,red}(a)/V_{Ed,red}(a)$

$e_{y,red}(a) = M_{Edy,red}(a)/V_{Ed,red}(a)$

$$\beta(a) \approx 1 + 1.8\sqrt{\left(\frac{e_{x,red}(a)}{c_y + 2a}\right)^2 + \left(\frac{e_{y,red}(a)}{c_x + 2a}\right)^2}$$

$$\max v_{Ed}(a) = \beta(a)\frac{V_{Ed,red}(a)}{u(a)d}$$

$$v_{Rd,c}(a) = \left\{\max\left[\frac{0.18}{\gamma_c}(100\rho_1)^{1/3}; 0.035\sqrt{1+\sqrt{\frac{0.2}{d}}}\, f_{ck}^{1/6}\right]\left(1+\sqrt{\frac{0.2}{d}}\right) f_{ck}^{1/3}\right\}\frac{2d}{a} \le 0.3\left(1-\frac{f_{ck}(MPa)}{250}\right) f_{cd}$$

Επίλυση – Μέρος 2

Για $c_y = c_x$ έχουμε $I_y' = I_x'$

0<a<2d [m]	κρίσιμη διατομή εντός πεδ. (?)	u(a) [m]	A'(a) [m2]	Ved,red(a) [kN]	Ix'(a) [m4]	Iy'(a) [m4]	Medx,red(a) [kNm]	Medy,red(a) [kNm]
0,1	OK	1,828	0,241	191,47	0,00436	0,00436	80,72	174,78
0,2	OK	2,457	0,456	183,79	0,01356	0,01356	80,54	174,44
0,23	OK	2,645	0,532	181,05	0,01795	0,01795	80,45	174,28
0,3	OK	3,085	0,733	173,87	0,03230	0,03230	80,17	173,75
0,4	OK	3,713	1,073	161,69	0,06649	0,06649	79,50	172,49
0,5	OK	4,342	1,475	147,26	0,12393	0,12393	78,37	170,38
0,6	OK	4,970	1,941	130,57	0,21431	0,21431	76,59	167,05
0,7	OK	5,598	2,469	111,64	0,34919	0,34919	73,93	162,09
0,8	OK	6,227	3,061	90,46	0,54201	0,54201	70,13	155,00
0,9	OK	6,855	3,715	67,02	0,80813	0,80813	64,88	145,21
1	OK	7,483	4,432	41,33	1,16476	1,16476	57,86	132,10
1,1	X	8,112	5,211	13,40	1,63101	1,63101	48,67	114,95
1,2	X	8,740	6,054	-16,79	2,22786	2,22786	36,91	92,99
1,3	X	9,368	6,959	-49,23	2,97821	2,97821	22,12	65,40

συνεχίζεται....

Επίλυση – Μέρος 2

συνέχεια

Σύγκριση αντοχής με καταπόνηση

0<a<2d [m]	κρίσιμη διατομή εντός πεδ. (?)	ex,red(a) [m]	ey,red(a)	β(α)	καταπόνηση maxvEd(a) [kPa]	αντοχή vRd,c(a) [kPa]	έλεγχος σε διάτρηση	αντοχή/καταπόνηση vRd,c(a)/maxvEd(a)
0,1	OK	0,422	0,913	4,620	744,30	3528,10	ok	4,74
0,2	OK	0,438	0,949	3,688	424,50	1764,05	ok	4,16
0,23	OK	0,444	0,963	3,511	369,72	1533,96	ok	4,15
0,3	OK	0,461	0,999	3,201	277,56	1176,03	ok	4,24
0,4	OK	0,492	1,067	2,922	195,75	882,03	ok	4,51
0,5	OK	0,532	1,157	2,763	144,19	705,62	ok	4,89
0,6	OK	0,587	1,279	2,689	108,69	588,02	ok	5,41
0,7	OK	0,662	1,452	2,690	82,52	504,01	ok	6,11
0,8	OK	0,775	1,714	2,782	62,17	441,01	ok	7,09
0,9	OK	0,968	2,167	3,034	45,64	392,01	ok	8,59
1	OK	1,400	3,196	3,730	31,70	352,81	ok	11,13
1,1	X	3,633	8,580	7,709	19,59	320,74	ok	16,37
1,2	X	-2,198	-5,538	4,972	-14,70	294,01	ok	-20,00
1,3	X	-0,449	-1,328	1,870	-15,12	271,39	ok	-17,95

Επίλυση – Μέρος 2

5. Υπολογισμός οριζοντίων οπλισμών πεδίλου με βάση την οριακή κατάσταση αστοχίας του σε κάμψη.

Οι κρίσιμες σε κάμψη διατομές του πεδίλου είναι οι κατακόρυφες δια των τεσσάρων πλευρών του υποστυλώματος. Οι αποστάσεις τους από το κέντρο του πεδίλου σε κάτοψη υπολογίζονται όπως και οι αντίστοιχες των τεσσάρων κρισίμων σε διάτμηση διατομών, με παράλειψη του όρου d από τον αντίστοιχο υπολογισμό. Ετσι έχομε:

α) Για τις κάθετες στον άξονα x διατομές: $s_x = 0.5c_x + a_x = 0.5x0.3 + 0.05 = 0.20m$

$s'_x = -0.5x0.3 + 0.05 = -0.10m$ $(s'_x = -0.5c_x + a_x)$

β) Για τις κάθετες στον άξονα y διατομές:

$s_y = 0.5x0.3 + 0.20 = 0.35m$ $(s_y = 0.5c_y + a_y)$

$s'_y = -0.5x0.3 + 0.20 = 0.05m$ $(s'_y = -0.5c_y + a_y)$

Οπως και στον υπολογισμό σε διάτμηση, για το συνδυασμό ΙΙ θα ληφθεί σαν s_y το $-s'_y$ και σαν s'_y το $-s_y$, δηλ. για το συνδυασμό ΙΙ:

$s_y = -0.05m$

$s'_y = -0.35m$

Ο υπολογισμός των ροπών σχεδιασμών $M_{Ed,x}$, $M'_{Ed,x}$, $M_{Ed,y}$ και $M'_{Ed,y}$ για τις κρίσιμες σε κάμψη διατομές γίνεται με θεώρηση της αντίστοιχης μονοαξονικής εκκεντρότητας, δηλ. της e_x για τις $M_{Ed,x}$, $M'_{Ed,x}$ (αγνοώντας την e_y) και της e_y για τις $M_{Ed,y}$, $M'_{Ed,y}$ (αγνοώντας την e_x).

Επίλυση – Μέρος 2

α) Για το συνδυασμό Ι:

Επειδή τα $|e_x|/b_x=0.07$ και $|e_y|/b_y=0.141$ είναι μικρότερα του 1/6, χρησιμοποιούνται οι εκφράσεις της περίπτωσης χωρίς αδρανή περιοχή:

$$M_{Ed,x} = N_{tot} b_x [0.5 + \frac{2|e_x|}{b_x}(1 + \frac{s_x}{b_x})](0.5 - \frac{s_x}{b_x})^2 - 0.5(N_{tot} - N) b_x (0.5 - \frac{s_x}{b_x})^2 =$$

$$= 444x2.6x[0.5 + 2x0.07x(1 + \frac{0.2}{2.6})](0.5 - \frac{0.2}{2.6})^2 - 0.5x244x2.6x(0.5 - \frac{0.2}{2.6})^2 = 134.5 - 56.8 = 77.7kN$$

$$M'_{Ed,x} = N_{tot} b_x [0.5 - \frac{2|e_x|}{b_x}(1 - \frac{s_x'}{b_x})](0.5 + \frac{s_x'}{b_x})^2 - 0.5(N_{tot} - N) b_x (0.5 + \frac{s_x'}{b_x})^2 =$$

$$= 444x2.6x[0.5 - 2x0.07x(1 + \frac{0.1}{2.6})](0.5 - \frac{0.1}{2.6})^2 - 0.5x244x2.6x(0.5 - \frac{0.1}{2.6})^2 = 87.2 - 67.6 = 19.6kNm$$

$$M_{Ed,y} = N_{tot} b_y [0.5 + \frac{2|e_y|}{b_y}(1 + \frac{s_y}{b_y})](0.5 - \frac{s_y}{b_y})^2 - 0.5(N_{tot} - N) b_y (0.5 - \frac{s_y}{b_y})^2 =$$

$$= 444x2.8x[0.5 + 2x0.141x(1 + \frac{0.35}{2.8})](0.5 - \frac{0.35}{2.8})^2 - 0.5x244x2.8x(0.5 - \frac{0.35}{2.8})^2 = 142.9 - 48 = 94.9kN$$

$$M'_{Ed,y} = N_{tot} b_y [0.5 - \frac{2|e_y|}{b_y}(1 - \frac{s_y'}{b_y})](0.5 + \frac{s_y'}{b_y})^2 - 0.5(N_{tot} - N) b_y (0.5 + \frac{s_y'}{b_y})^2 =$$

$$= 444x2.8x[0.5 - 2x0.141x(1 - \frac{0.05}{2.8})](0.5 + \frac{0.05}{2.8})^2 - 0.5x244x2.8x(0.5 + \frac{0.05}{2.8})^2 = 74.4 - 91.6 = -17.2$$

Εφελκυσμός στην πάνω επιφάνεια

Επίλυση

β) Για το συνδυασμό ΙΙ, για τον οποίο είναι $|e_x|/b_x=0.011$ και $|e_y|/b_y=0.092$:

$$M_{Ed,x} = 544x2.6x(0.5+2x0.011x(1+\frac{0.2}{2.6})]x(0.5-\frac{0.2}{2.6})^2 - 0.5x244x2.6(0.5-\frac{0.2}{2.6})^2$$

$$= 132.6 - 56.8 = 75.8kNm$$

$$M'_{Ed,x} = 544x2.6x(0.5-2x0.011x(1+\frac{0.1}{2.6})]x(0.5-\frac{0.1}{2.6})^2 - 0.5x244x2.6(0.5-\frac{0.1}{2.6})^2$$

$$= 143.8 - 67.6 = 76.2kNm$$

$$M_{Ed,y} = 544x2.8x[(0.5+2x0.092x(1-\frac{0.05}{2.8})]x(0.5+\frac{0.05}{2.8})^2 - 0.5x244x2.8(0.5+\frac{0.05}{2.8})^2$$

$$= 278 - 91.6 = 186.4kNm$$

$$M'_{Ed,y} = 544x2.8x[(0.5-2x0.092x(1+\frac{0.35}{2.8})]x(0.5-\frac{0.35}{2.8})^2 - 0.5x244x2.8(0.5-\frac{0.35}{2.8})^2$$

$$= 62.8 - 48 = 14.7kNm$$

Η μεγαλύτερη ροπή στη διεύθυνση x ισούται με 77.7kNm, και στη διεύθυνση y με 186.4kNm. Αυτή η τελευταία αντιστοιχεί ροπή ανά m πλάτους του πεδίλου 186.4/2.6=71.7kNm/m και σε λειτουργία του πεδίλου σαν κανονικού προβόλου και όχι σαν κοντού (το αντίστοιχο μήκος προβόλου ισούται με $0.5b_y-s_y$=0.5x2.8+0.05=1.45m, και ξεπερνά το διπλάσιο του στατικού ύψους d). Αρα ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού γίνεται όπως στα γραμμικά μέλη:

Επίλυση – Μέρος 2

μ_{sd}=71.7/(0.65^{2}x16000/1.5)=0.016, ω=0.0162,

A_s=0.0162x650x1000x16x1.15/(500x1.5)=258mm^2/m (As = ρ_{min}bd)

Αρκούν οι ελάχιστοι κατασκευαστικοί οπλισμοί: A_s=0.0013x1000x65=845m^2/m. Μπαίνουν Φ14/150 (1026mm^2/m).

Στην διεύθυνση x, στην οποία η ανά m πλάτους ροπή ισούται με 77.7/2.8=27.7kNm/m, υπερεπαρκεί επίσης ο οπλισμός των Φ14/150.

Η αρνητική ροπή $M'_{Ed,y}$=-17.2kNm προκαλεί εφελκυσμό στην πάνω επιφάνεια του πεδίλου, αλλά λόγω μικρού μεγέθους αγνοείται (δεν προκαλεί ρηγμάτωση του σκυροδέματος).