

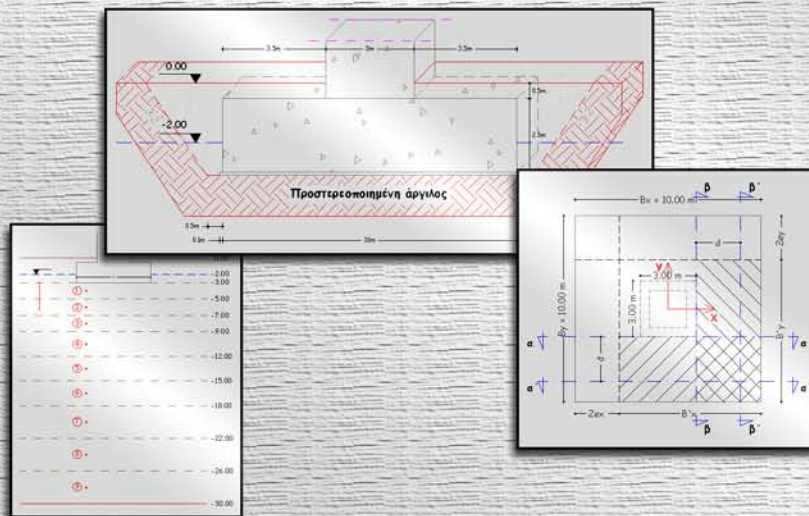
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ  
«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ»

**A.S.T.E.V**

**Αντισεισμικός Σχεδιασμός Θεμελιώσεων,  
Αντιστηρίξεων και Γεωκατασκευών**

Υπεύθυνος:  
Κ. Πιπλάκης

Θέμα:  
Επιφανειακή Θεμελίωση Μεσόβαθρου Γέφυρας



Όνομα φοιτητών:  
**Μουρελάτος Ηλίας**  
**Οικονόμου Θεμιστοκλής**

Δευτέρα, 9 Ιουνίου 2003

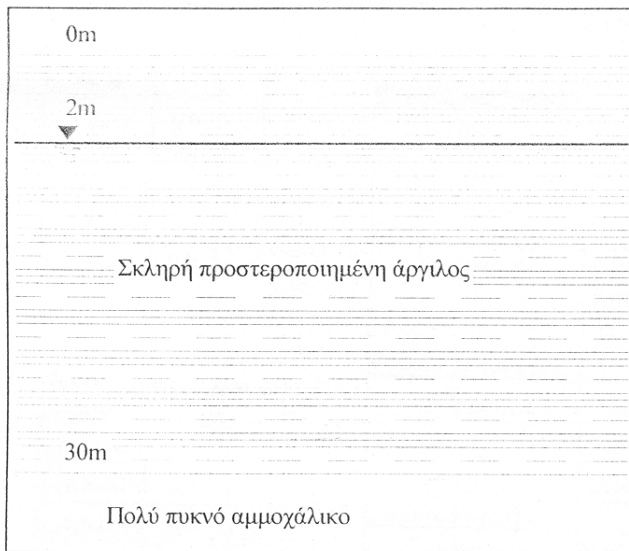
**«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ, ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

**Αντισεισμικός Σχεδιασμός Επιφανειακών Θεμελίωσεων**

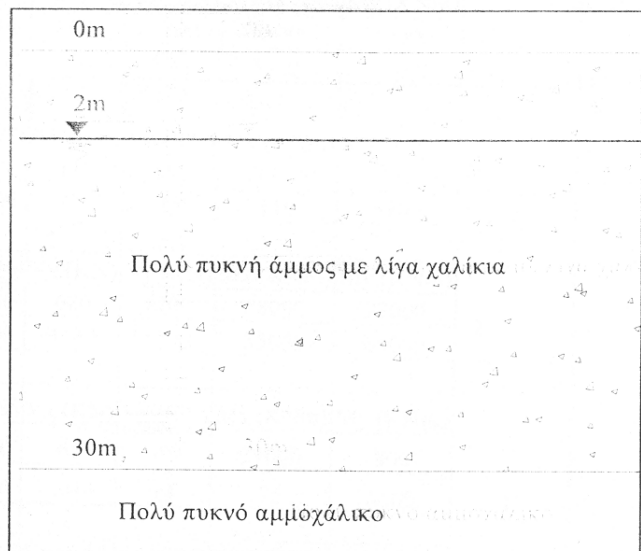
**ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ ΓΕΦΥΡΑΣ**

Ζητείται ο καθορισμός των γεωμετρικών διαστάσεων της επιφανειακής θεμελίωσης του μεσοβάθρου μιας γέφυρας.

Τα δύο εδαφικά προφίλ διαφοροποιούνται ως προς το υλικό του ανώτερου εδαφικού στρώματος σχηματισμού.



Εδαφικό προφίλ α.



Εδαφικό προφίλ β.

Εδαφικό προφίλ α.			
Α		Β	
Βάθος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (m)	Διατμητική αντοχή $c_u$ (KPa)	Βάθος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (m)	Διατμητική αντοχή $c_u$ (KPa)
0,4	195,4	245,8	0,2
0,8	196,7	246,9	0,4
1	197,4	248,0	0,6
1,2	198,0	247,5	0,8
1,5	197,9	248,2	1
1,7	201,0	248,3	1,2
1,9	199,8	248,7	1,5
2	201,4	249,5	1,8
2,25	201,8	249,3	1,9
3	202,6	251,0	2
5	206,4	250,4	2,5
10	217,0	251,5	3
15	225,6	254,9	5
20	228,7	265,3	10
25	246,8	274,5	15
30	251,0	284,1	20
		288,2	25
		299,4	30

Εδαφικό προφίλ β.			
Γ		Δ	
Βάθος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (m)	$N_{SPT}$	Βάθος κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια (m)	$N_{SPT}$
5	40	5	55
12	46	12	53
20	50	20	58
28	58	28	67



**«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ, ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

**Αντισεισμικός Σχεδιασμός Επιφανειακών Θεμελιώσεων**

**Σκληρή  
προστερεοποιημένη  
άργιλος**

γ (KN/m <sup>3</sup> )	21	A
Cc	0,08	
OCR	3	
e <sub>o</sub>	0,7	B
γ (KN/m <sup>3</sup> )	19	
Cc	0,05	
OCR	2	Γ
e <sub>o</sub>	0,6	
γ (KN/m <sup>3</sup> )	20	
Cc	0,05	
OCR	2,5	
e <sub>o</sub>	0,8	

**Πυκνή άμμος με λίγα  
γαλίκια**

γ (KN/m <sup>3</sup> )	21	Δ
γ (KN/m <sup>3</sup> )	19	E
γ (KN/m <sup>3</sup> )	20	Z

<b>ΦΟΡΤΙΑ ΠΟΥ ΕΝΕΡΓΟΥΝ ΣΤΗΝ ΒΑΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΡΟΥ</b>						
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	A
I	23000	70	600	18000	700	
II	20000	180	8	80	7000	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	A
I	18000	700	3700	55000	19000	
II	24000	4500	1300	38000	70000	
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	B
I	21000	110	580	20000	550	
II	18000	220	15	110	8200	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	B
I	23000	680	4200	58000	22000	
II	22500	4480	1500	35000	68000	
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Γ
I	24000	65	650	21000	800	
II	19000	210	18	75	6500	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Γ
I	19500	800	3500	53500	19000	
II	2350	3800	1500	37800	70000	
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Δ
I	30000	140	1000	32000	1100	
II	25000	300	10	250	8500	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Δ
I	22000	1400	45000	75000	25000	
II	30000	8000	2200	42000	89000	
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	E
I	31500	130	880	29500	1200	
II	24800	250	15	280	9400	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	E
I	19500	1580	43000	74000	24800	
II	28500	7200	2500	41000	85000	
<b>Φορτία λειτουργίας</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Z
I	31000	150	1100	33000	1300	
II	23500	280	20	240	9000	
<b>Σεισμικά φορτία</b>						
Συνδυασμός	N (KN)	Vx (KN)	Vy (KN)	Mx (KNm)	My (KNm)	Z
I	23000	13500	4400	75500	26000	
II	31000	7000	1900	41500	86000	

**«ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ, ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ»**

**Αντισεισμικός Σχεδιασμός Επιφανειακών Θεμελιώσεων**

Τα δεδομένα σχετικά με τις εδαφικές ιδιότητες και τους συνδυασμούς φορτίσεων αντιστοιχούν σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα σε έναν συγκεκριμένο αύξων αριθμό των φοιτητών/φοιτητριών του ΑΣΤΕ.

α/α ΑΣΤΕ	Νομογράφημα	Συνδυασμός φορτίων	Υλικό
1	A	A	A
2	B	Δ	B
3	A	B	Γ
4	B	E	Γ
5	A	Γ	B
6	B	Z	Α
7	A	B	Α
8	B	E	B
9	A	Γ	Γ
10	B	Z	Γ
11	Γ	A	Δ
12	Δ	Δ	E
13	Γ	B	Z
14	Δ	E	Z
15	Γ	Γ	E
16	Δ	Z	Δ
17	Γ	B	Δ
18	Δ	E	Z
19	Γ	Γ	E
20	Δ	Z	E

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών  
«Αντισεισμικός Σχεδιασμός Τεχνικών Έργων»

**Μάθημα: «Αντισεισμικός Σχεδιασμός Θεμελιώσεων,  
Αντιστηρίξεων και Γεωκατασκευών»  
(Α.Σ.Τ.Ε. 5)**

**ΘΕΜΑ ΕΞΑΜΗΝΟΥ**

***«Επιφανειακή Θεμελίωση Μεσόβαθρου Γέφυρας»***

**Υπεύθυνος Θέματος:**  
Πιτιλάκης Κυριαζής

**Μεταπτυχιακοί Φοιτητές:**  
Μουρελάτος Ηλίας  
Οικονόμου Θεμιστοκλής

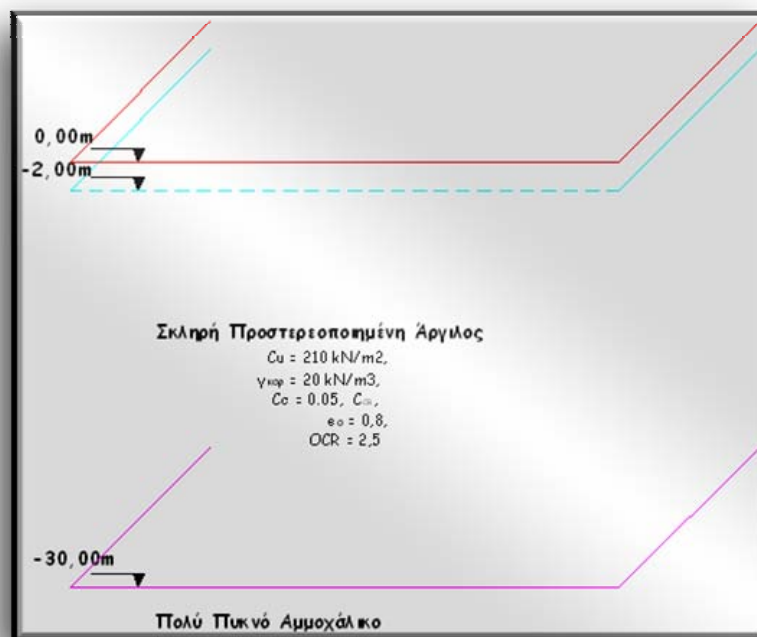
## 1 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.

### 1.1 Φορτία στη στάθμη σύνδεσης βάθρου-θεμελίου.

Φορτία λειτουργίας					
Συνδυασμός	N(kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)
I	24000	65	650	21000	800
II	19000	210	18	75	6500
Σεισμικά φορτία					
Συνδυασμός	N(kN)	V <sub>x</sub> (kN)	V <sub>y</sub> (kN)	M <sub>x</sub> (kNm)	M <sub>y</sub> (kNm)
I	19500	800	3500	53500	19000
II	23500	3800	1500	37800	70000

Φορτία στη στάθμη σύνδεσης βάθρου-θεμελίου.

### 1.2 Στοιχεία εδάφους.



Εδαφική τομή.



Ακολουθούν τα χαρακτηριστικά των υλικών:

Επιφανειακή θεμελίωση	
H(m)	$C_u$ (kPa)
0,40	195,4
0,80	196,7
1,00	197,4
1,20	198,0
1,50	197,9
1,70	201,0
1,90	199,8
2,00	201,4
2,25	201,8
3,00	202,6
5,00	206,4
10,00	217,0
15,00	225,6
20,00	228,7
25,00	246,8
30,00	251,0
M.O.	210

Άργιλος (CL)	
$C_u$ (kN/m <sup>2</sup> )=	210,0
$\gamma_{κορ}$ (kN/m <sup>3</sup> )=	20,0
$C_c$ =	0,050
$C_{cR}$ =	0,005
$e_o$ =	0,80
OCR=	2,50
$E_u$ (kN/m <sup>2</sup> )=	315000
Poisson=	0,5

Επιχώμα - Αμμοχάλικο (SG)	
$\gamma_{κορ}$ (kN/m <sup>3</sup> )=	21,0
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )=	19,0
$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )=	11,0

Θεμελίωση	
B(m)=D <sub>y</sub> =	10,00
L(m)=D <sub>x</sub> =	10,00
b <sub>x</sub> =b <sub>y</sub> (m)=	3,00
h(m)=	2,50
D <sub>r</sub> (m)=	3,00
d <sub>w</sub> (m)=	2,00

C25	$f_{cd}$ (kN/m <sup>2</sup> )=	16666,66667	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )=	25	$\tau_{rd}$ =	300
S500	$f_{yd}$ (kN/m <sup>2</sup> )=	434782,6087				

## 2 ΠΡΟΕΠΙΛΟΓΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ.

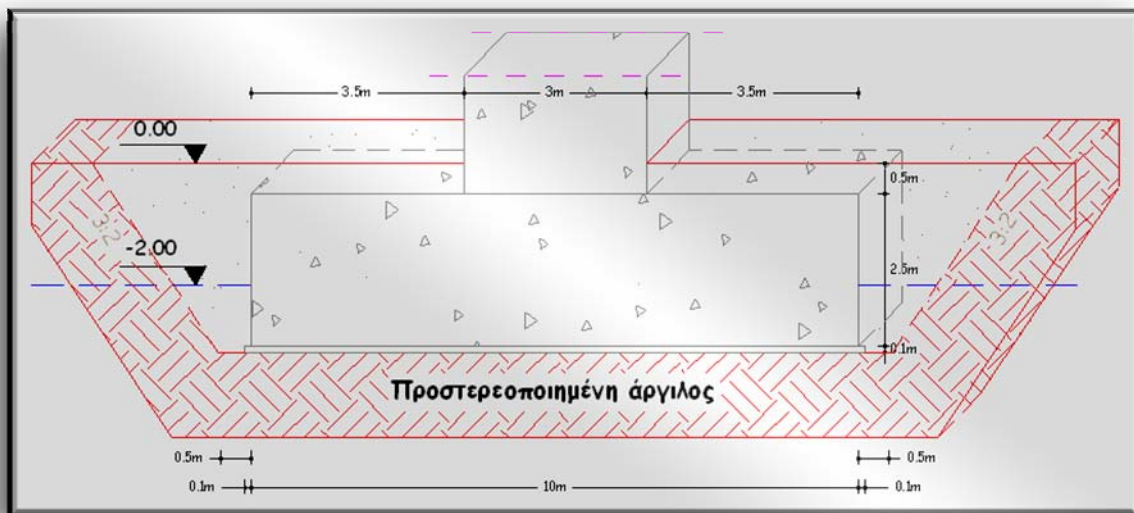
Το επιφανειακό στρώμα προστερεοποιημένης αργίλου κρίνεται ικανοποιητικό τόσο ως προς τη φέρουσα ικανότητά του όσο και ως προς τις αναμενόμενες καθιζήσεις προκειμένου να εφαρμοστεί λύση επιφανειακής θεμελίωσης του μεσοβάθρου.

Στο σχήμα που ακολουθεί δίνονται σε όψη τα προεπιλεγμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του θεμελίου, όπως προέκυψαν από τις απαιτήσεις φέρουσας ικανότητας του εδάφους και τις επιτρεπόμενες καθιζήσεις που προβλέπονται για την ανωδομή. Η διατομή του μεσοβάθρου θεωρείται κοίλη τετραγωνική με εξωτερικές διαστάσεις 3×3 m.

Οι διαστάσεις του πεδίου σε κάτοψη, όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι:

$$B_x = 10,00m$$

$$B_y = 10,00m$$



*Εδαφική τομή.*

Το πάχος του πεδίου επιλέγεται σταθερό και ίσο με:  $h = 2,50m$ .

Η έδραση του πεδίου θα γίνει εντός σκάμματος αμμοχάλικου σε στάθμη 3,00m κάτω από την επιφάνεια του εδάφους επί στρώσης καθαριότητας από σκυρόδεμα πάχους 0,10m.

Οι χαρακτηριστικές τιμές ειδικού βάρους του αμμοχάλικου πλήρωσης του σκάμματος είναι οι ακόλουθες:

Φαινόμενο ειδικό βάρος:  $\gamma = 19kN/m^2$

Κορεσμένο ειδικό βάρος:  $\gamma_{κορ} = 21kN/m^2$

Βυθισμένο ειδικό βάρος:  $\gamma' = 11kN/m^2$



### 3 ΈΛΕΓΧΟΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΛΔΑΦΟΥΣ.

#### 3.1 Έλεγχος φέρουσας ικανότητας υπό σεισμική φόρτιση.

Το συνολικό αξονικό φορτίο και η συνισταμένη ροπή ως προς το κέντρο έδρασης του πεδίου, ανά διεύθυνση, για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτουν:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$M_{x,ολ} = M_x + V_y \times h_{πεδ} = 53500 + 3500 \times 2,5 = 62250 \text{ kNm.}$$

$$M_{y,ολ} = M_y + V_x \times h_{πεδ} = 19000 + 800 \times 2,5 = 21000 \text{ kNm.}$$

$$N_{ολ} = N + B_x \times B_y \times (\gamma_{σκυρ.} \times h_{πεδ} - \gamma_w \times 1,0) = \\ = 19500 + 10 \times 10 \times (25 \times 2,5 - 10 \times 1,0) = 24750 \text{ kN.}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$M_{x,ολ} = M_x + V_y \times h_{πεδ} = 37800 + 1500 \times 2,5 = 41550 \text{ kNm.}$$

$$M_{y,ολ} = M_y + V_x \times h_{πεδ} = 70000 + 3800 \times 2,5 = 79500 \text{ kNm.}$$

$$N_{ολ} = N + B_x \times B_y \times (\gamma_{σκυρ.} \times h_{πεδ} - \gamma_w \times 1,0) = \\ = 23500 + 10 \times 10 \times (25 \times 2,5 - 10 \times 1,0) = 28750 \text{ kN.}$$

Σεισμικά φορτία					
Συνδυασμός	$N_{ολ}$ (kN)	$V_{x,ολ}$ (kN)	$V_{y,ολ}$ (kN)	$M_{x,ολ}$ (kNm)	$M_{y,ολ}$ (kNm)
I	24750	800	3500	62250	21000
II	28750	3800	1500	41550	79500

*Σεισμικά φορτία στο κέντρο έδρασης του πεδίου.*

Οι αντίστοιχες εκκεντρότητες του πεδίου δε θα πρέπει να υπερβαίνουν το 1/3 της αντίστοιχης διάστασης του πεδίου, σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.2000, §5.2.3.2α[4].

Οι εκκεντρότητες αυτές και οι αντίστοιχες ενεργές διαστάσεις του πεδίου προκύπτουν:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$e_x = M_{y,ολ} / N_{ολ} = 21000 / 24750 = 0,848\text{m} < B_x / 3 = 3,33\text{m}$$

$$e_y = M_{x,ολ} / N_{ολ} = 62250 / 24750 = 2,515\text{m} < B_y / 3 = 3,33\text{m}$$

$$B_x' = B_x - 2e_x = 10 - 2 \times 0,848 = 8,303\text{m}$$

$$B_y' = B_y - 2e_y = 10 - 2 \times 2,515 = 4,970\text{m}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$e_x = M_{y,ολ} / N_{ολ} = 79500 / 28750 = 2,765\text{m} < B_x / 3 = 3,33\text{m}$$

$$e_y = M_{x,ολ} / N_{ολ} = 41550 / 28750 = 1,445\text{m} < B_y / 3 = 3,33\text{m}$$

$$B_x' = B_x - 2e_x = 10 - 2 \times 2,765 = 4,470\text{m}$$

$$B_y' = B_y - 2e_y = 10 - 2 \times 1,445 = 7,110 \text{ m}$$

Η μέση τάση που αναπτύσσεται στο έδαφος για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

$$\sigma_I = \frac{N_{ολ}}{B_x' \times B_y'} = \frac{24750}{8,303 \times 4,970} = 599,803 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_{II} = \frac{N_{ολ}}{B_x' \times B_y'} = \frac{28750}{4,470 \times 7,110} = 904,752 \text{ kN / m}^2$$

Η φέρουσα ικανότητα του αργλικού στρώματος υπό αστράγγιστες σεισμικές συνθήκες υπολογίζεται, σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.2000, §Ζ.2[1], από την ακόλουθη σχέση ως συνάρτηση της αστράγγιστης συνοχής του εδαφικού υλικού και του βάθους θεμελίωσης.

$$q_{Rd} = (2 + \pi) \times C_u \times \kappa_c \times i_c + \gamma \times D_f$$

$$\text{όπου: } \kappa_{c,I} = 1 + 0,2 \times (B_y' / B_x') = 1 + 0,2 \times (4,970 / 8,303) = 1,120, (B_x' > B_y')$$

$$\kappa_{c,II} = 1 + 0,2 \times (B_x' / B_y') = 1 + 0,2 \times (4,470 / 7,110) = 1,126, (B_x' < B_y')$$

$$i_{c,I,x} = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_x}{B_x' \times B_y' \times C_u}} \right) = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{800}{8,303 \times 4,970 \times 210}} \right) = 0,976$$

$$i_{c,I,y} = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_y}{B_x' \times B_y' \times C_u}} \right) = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{3500}{8,303 \times 4,970 \times 210}} \right) = 0,886$$

$$\tan \theta_I = V_y / V_x = 3500 / 800 = 4,375 \Rightarrow \theta_I = 77,125^\circ, (B_x' > B_y')$$

$$i_{c,I} = i_{c,I,y} \times (1 - \theta_I / 90) + i_{c,I,x} \times (\theta_I / 90) = 0,963$$

$$i_{c,II,x} = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_x}{B_x' \times B_y' \times C_u}} \right) = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{3800}{4,470 \times 7,110 \times 210}} \right) = 0,828$$

$$i_{c,II,y} = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{V_y}{B_x' \times B_y' \times C_u}} \right) = 0,5 \times \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{1500}{4,470 \times 7,110 \times 210}} \right) = 0,940$$

$$\tan \theta_{II} = V_x / V_y = 3800 / 1500 = 2,533 \Rightarrow \theta_{II} = 68,46^\circ, (B_x' < B_y')$$

$$i_{c,II} = i_{c,II,x} \times (1 - \theta_{II} / 90) + i_{c,II,y} \times (\theta_{II} / 90) = 0,855$$

$D_f = 3,00 \text{ m}$ , το βάθος έδρασης του πεδίου.

$\gamma \times D_f = \gamma \times 2,00 + \gamma' \times 1,00 = 19 \times 2,00 + 11 \times 1,00 = 49 \text{ kN/m}^2$ , η ενεργός τάση στη στάθμη θεμελίωσης λόγω του υπερκείμενου εδάφους.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη συντελεστή ασφαλείας  $SF=1,20$ , η φέρουσα ικανότητα του αργλικού στρώματος υπό αστράγγιστες σεισμικές συνθήκες για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

$$q_{Rd,I} = (2 + \pi) \times 210 \times 1,120 \times 0,96 + 49 = 1213,786 \text{ kN/m}^2 > 1,20 \times \sigma_I = 719,77 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rd,II} = (2 + \pi) \times 210 \times 1,126 \times 0,855 + 49 = 1088,155 \text{ kN/m}^2 > 1,20 \times \sigma_{II} = 1085,702 \text{ kN/m}^2$$

Σεισμικά φορτία							
Συνδυασμός	$e_B$ (m)	$e_L$ (m)	$B'$ (m)	$L'$ (m)	$\kappa_c$	$i_{cB}$	$i_{cL}$
I	2,515	0,848	4,970	8,303	1,120	0,886	0,976
II	1,445	2,765	7,110	4,470	1,126	0,940	0,828
	$< 1/3 \times B$ (m)	$< 1/3 \times L$ (m)	$< 1/9 = 0,11$				
	3,333	3,333	0,097				

Συνδυασμός	$B'$ (m)	$L'$ (m)	$\theta$ (°)	$i_c$	$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{Rd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$SF \times \sigma$
I	4,970	8,303	77,125	0,963	49,0	1213,786	719,764
II	7,110	4,470	68,459	0,855	49,0	1088,155	1085,702

**Φέρουσα ικανότητα υπό σεισμική φόρτιση.**

### 3.2 Έλεγχος φέρουσας ικανότητας υπό στατική φόρτιση.

Ομοίως, το συνολικό αξονικό φορτίο και η συνισταμένη ροπή ως προς το κέντρο έδρασης του πεδίου, ανά διεύθυνση, για τους δύο στατικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτουν:

Στατικός συνδυασμός I:

$$M_{x,ολ} = M_x + V_y \times h_{πεδ} = 21000 + 650 \times 2,5 = 22625 \text{ kNm.}$$

$$M_{y,ολ} = M_y + V_x \times h_{πεδ} = 800 + 65 \times 2,5 = 962,5 \text{ kNm.}$$

$$N_{ολ} = N + B_x \times B_y \times (\gamma_{σκυρ.} \times h_{πεδ} - \gamma_w \times 1,0) = \\ = 24000 + 10 \times 10 \times (25 \times 2,5 - 10 \times 1,0) = 29250 \text{ kN.}$$

Στατικός συνδυασμός II:

$$M_{x,ολ} = M_x + V_y \times h_{πεδ} = 75 + 18 \times 2,5 = 120 \text{ kNm.}$$

$$M_{y,ολ} = M_y + V_x \times h_{πεδ} = 6500 + 210 \times 2,5 = 7025 \text{ kNm.}$$

$$N_{ολ} = N + B_x \times B_y \times (\gamma_{σκυρ.} \times h_{πεδ} - \gamma_w \times 1,0) = \\ = 19000 + 10 \times 10 \times (25 \times 2,5 - 10 \times 1,0) = 24250 \text{ kN.}$$



Φορτία λειτουργίας					
Συνδυασμός	$N_{ολ}$ (kN)	$V_{x,ολ}$ (kN)	$V_{y,ολ}$ (kN)	$M_{x,ολ}$ (kNm)	$M_{y,ολ}$ (kNm)
I	29250	65	650	22625	962,5
II	24250	210	18	120	7025

**Φορτία λειτουργίας στο κέντρο έδρασης του πεδίου.**

Οι αντίστοιχες εκκεντρότητες του πεδίου δε θα πρέπει να υπερβαίνουν το 1/3 της αντίστοιχης διάστασης του πεδίου.

Οι εκκεντρότητες αυτές προκύπτουν και οι αντίστοιχες ενεργές διαστάσεις του πεδίου προκύπτουν:

Στατικός συνδυασμός I:

$$e_x = M_{y,ολ} / N_{ολ} = 962,5 / 29250 = 0,033m < B_x / 3 = 3,33m$$

$$e_y = M_{x,ολ} / N_{ολ} = 22625 / 29250 = 0,774m < B_y / 3 = 3,33m$$

$$B_x' = B_x - 2e_x = 10 - 2 \times 0,033 = 9,933m$$

$$B_y' = B_y - 2e_y = 10 - 2 \times 0,774 = 8,453m$$

Στατικός συνδυασμός II:

$$e_x = M_{y,ολ} / N_{ολ} = 7025 / 24250 = 0,290m < B_x / 3 = 3,33m$$

$$e_y = M_{x,ολ} / N_{ολ} = 120 / 24250 = 0,005m < B_y / 3 = 3,33m$$

$$B_x' = B_x - 2e_x = 10 - 2 \times 0,290 = 9,421m$$

$$B_y' = B_y - 2e_y = 10 - 2 \times 0,005 = 9,990m$$

Η μέση τάση που αναπτύσσεται στο έδαφος για τους δύο στατικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

$$\sigma_I = \frac{N_{ολ}}{B_x' \times B_y'} = \frac{29250}{9,934 \times 8,453} = 348,324 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_{II} = \frac{N_{ολ}}{B_x' \times B_y'} = \frac{24250}{9,421 \times 9,990} = 257,669 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Η θεμελίωση του μεσοβάθρου γίνεται επί του αργλικού εδάφους, εντός του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, οπότε, η φέρουσα ικανότητα του αργλικού εδάφους υπό στατική φόρτιση υπολογίζεται ομοίως για αστράγγιστες συνθήκες από την ακόλουθη σχέση, σύμφωνα με τη μέθοδο *Meyerhof*, ως συνάρτηση της αστράγγιστης συνοχής του:

$$q_{cu} = (s_c \times d_c \times i_c) \times C_u \times N_c + (s_q \times d_q \times i_q) \times \gamma \times D_f \times N_q$$

όπου:  $N_c = 5,14$  (για αργιλικά εδάφη)

$$N_q = e^{\pi \times \tan \varphi} \times \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) = e^{\pi \times \tan 0^\circ} \times \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{0^\circ}{2} \right) = 1,00$$

$$s_c = 1 + 0,20 \times \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \times \frac{B_x}{B_y} = 1 + 0,20 \times \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{0^\circ}{2} \right) \times 1 = 1,2$$

$$s_q = 1,00$$

$$d_c = 1 + 0,20 \times \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \times \frac{D_f}{B} = 1 + 0,20 \times \tan \left( 45^\circ + \frac{0^\circ}{2} \right) \times \frac{3}{10} = 1,06$$

$$d_q = 1 + 0,10 \times \tan \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \times \frac{D_f}{B} = 1 + 0,10 \times \tan \left( 45^\circ + \frac{0^\circ}{2} \right) \times \frac{3}{10} = 1,03$$

$$i_{c,I,x} = i_{q,I,x} = \left( 1 - \frac{\theta_x}{90^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,127^\circ}{90^\circ} \right)^2 = 0,997$$

$$\mu\epsilon \theta_{I,x} = \arctan[V_x / N_{\sigma I}] = \arctan(65 / 29250) = 0,127^\circ$$

$$i_{c,I,y} = i_{q,I,y} = \left( 1 - \frac{\theta_y}{90^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{1,27^\circ}{90^\circ} \right)^2 = 0,972$$

$$\mu\epsilon \theta_{I,y} = \arctan[V_y / N_{\sigma I}] = \arctan(650 / 29250) = 1,27^\circ$$

$$i_{c,I} = i_{q,I} = \min(i_{c/q,I,x}, i_{c/q,I,y}) = 0,972$$

$$i_{c,II,x} = i_{q,II,x} = \left( 1 - \frac{\theta_x}{90^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,50^\circ}{90^\circ} \right)^2 = 0,989$$

$$\mu\epsilon \theta_{II,x} = \arctan[V_x / N_{\sigma II}] = \arctan(210 / 24250) = 0,50^\circ$$

$$i_{c,II,y} = i_{q,II,y} = \left( 1 - \frac{\theta_y}{90^\circ} \right)^2 = \left( 1 - \frac{0,042^\circ}{90^\circ} \right)^2 = 0,999$$

$$\mu\epsilon \theta_{II,y} = \arctan[V_y / N_{\sigma II}] = \arctan(18 / 24250) = 0,042^\circ$$

$$i_{c,II} = i_{q,II} = \min(i_{c/q,II,x}, i_{c/q,II,y}) = 0,989$$

$\gamma \times D_f = 49 \text{ kN/m}^2$ , η ενεργός τάση στη στάθμη θεμελίωσης λόγω του υπερκείμενου εδάφους.

$D_f = 3,00 \text{ m}$ , το βάθος έδρασης του πεδίου.

Επομένως, λαμβάνοντας υπόψη συντελεστή ασφαλείας  $SF=3,9$  η φέρουσα ικανότητα του αργιλικού στρώματος υπό αστράγγιστες στατικές συνθήκες για τους δύο στατικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

$$q_{cu,I} = (1,2 \times 1,06 \times 0,972) \times 210 \times 5,14 + (1,00 \times 1,03 \times 0,972) \times 49,0 \times 1,00 = 1383,482 \text{ kN/m}^2 > 3 \times \sigma_I = 3,9 \times 348,324 = 1358,463 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{cu,II} = (1,2 \times 1,06 \times 0,989) \times 210 \times 5,14 + (1,00 \times 1,03 \times 0,989) \times 49 \times 1,00 =$$

$$= 1407,815 \text{ kN/m}^2 > 3 \times \sigma_{II} = 3,9 \times 257,67 = 1004,910 \text{ kN/m}^2$$

Φορτία λειτουργίας					
Συνδυασμός	$e_B$ (m)	$e_L$ (m)	$B'$ (m)	$L'$ (m)	$N_c$
I	0,774	0,033	8,453	9,934	5,140
II	0,005	0,290	9,990	9,421	5,140
	$< 1/3 \times B$ (m)	$< 1/3 \times L$ (m)	$< 1/9 = 0,11$		
	3,333	3,333	0,006		

Συνδυασμός	$B'$ (m)	$L'$ (m)	$\gamma_A \times D$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{cu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	SF $\times \sigma$
I	8,452991453	9,934188034	49,0	1128,4	1383,482	1358,463
II	9,990103093	9,420618557	49,0	1128,4	1407,815	1004,910

**Φέρουσα ικανότητα υπό στατική φόρτιση.**



#### 4 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ.

Υπό στατικές συνθήκες, ως τιμή του συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης ορίζεται η τιμή 1,50, ενώ υπό σεισμική διέγερση, θεωρείται ικανοποιητική μια τιμή 1,20 για τον συντελεστή ασφαλείας έναντι ολίσθησης.

Η ενδεχόμενη ολίσθηση του πεδύλου μπορεί να προκύψει από υπέρβαση της αντίστασης σε τριβή του εδάφους θεμελίωσης από την τέμνουσα που μεταβιβάζεται στο πέδιλο από την ανωδομή. Με δεδομένο ότι η καταπόνηση του πεδύλου σε τέμνουσα είναι μικρή υπό στατικές συνθήκες σε αντίθεση με τη σεισμική φόρτιση, ο έλεγχος έναντι ολίσθησης θα γίνει μόνο για αστράγγιστες συνθήκες υπό σεισμική διέγερση.

Η συνισταμένη τέμνουσα που μεταβιβάζεται στο πέδιλο για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$V_{I,ολ} = \sqrt{(V_x)^2 + (V_y)^2} = \sqrt{(800)^2 + (3500)^2} = 3590,265 \text{ kN}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$V_{II,ολ} = \sqrt{(V_x)^2 + (V_y)^2} = \sqrt{(3800)^2 + (1500)^2} = 4085,334 \text{ kN}$$

Η αντίσταση σε τριβή του εδάφους θεμελίωσης προκύπτει από την ακόλουθη σχέση, σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ.2000, §5.2.3.2β[2]:

$$R_{sd} = B'_x \times B'_y \times C_u \leq 0,4 \times N_{sd}$$

Επομένως, η αντίσταση σε τριβή του εδάφους θεμελίωσης υπό αστράγγιστες σεισμικές συνθήκες για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει:

$$R_{sd,I} = 8,303 \times 4,970 \times 210 = 8665,344 \text{ kN} (\leq 0,4 \times 24750 = 9900 \text{ kN}) > 1,2 \times V_{I,ολ} = 4308,318 \text{ kN}$$

$$R_{sd,II} = 4,470 \times 7,110 \times 210 = 6673,100 \text{ kN} (\leq 0,4 \times 28750 = 11500 \text{ kN}) > 1,2 \times V_{II,ολ} = 4902,408 \text{ kN}$$

## 5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΠΗ.

Υπό στατικές συνθήκες, ως τιμή του συντελεστή ασφαλείας έναντι ανατροπής ορίζεται η τιμή 1,50, ενώ υπό σεισμική διέγερση, θεωρείται ικανοποιητική μια τιμή της τάξεως 1,20 ~ 1,50 για τον συντελεστή ασφαλείας έναντι ανατροπής. Υπό στατικές συνθήκες, ο έλεγχος σε ανατροπή καλύπτεται από την απαίτηση περιορισμού των εκκεντροτήτων σε τιμές μικρότερες από το 1/3 της αντίστοιχης διάστασης του πεδίου, οπότε ο έλεγχος έναντι ανατροπής θα γίνει μόνο για αστράγγιστες συνθήκες υπό σεισμική διέγερση.

Η συνισταμένη των ροπών που τείνουν να προκαλέσουν ανατροπή του πεδίου αντιστήριξης γύρω από το ένα άκρο του καθώς και των ροπών που τείνουν να αποτρέψουν την ανατροπή αυτή, για τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων, προκύπτουν:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$M_{\text{ευστάθειας}} = N_{\text{ολ}} \times B/2 = 24750 \times 10/2 = 123750 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ανατροπής}} = \max\{M_{x,\text{ολ}}, M_{y,\text{ολ}}\} = 62250 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ευστάθειας}} / M_{\text{ανατροπής}} = 1,988$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$M_{\text{ευστάθειας}} = N_{\text{ολ}} \times B/2 = 28750 \times 10/2 = 143750 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ανατροπής}} = \max\{M_{x,\text{ολ}}, M_{y,\text{ολ}}\} = 79500 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{ευστάθειας}} / M_{\text{ανατροπής}} = 1,808$$

## 6 ΈΛΕΓΧΟΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ.

Η επιτρεπόμενη καθίζηση που θεωρείται για την περίπτωση του μεσοβάθρου προκύπτει από επιτρεπόμενη γωνιακή παραμόρφωση η οποία λαμβάνεται ίση με  $\delta/L = 1/600$ . Αν θεωρηθεί ότι το μήκος του καταστρώματος εκατέρωθεν του μεσοβάθρου δεν υπερβαίνει τα 30m, η καθίζηση που θεωρείται αποδεκτή για το θεμέλιο του μεσοβάθρου προκύπτει:

$$\delta_{\text{ext}} = 30 / 600 = 0,050 \text{ m}$$

Η ίδια παραδοχή θα ισχύσει και στο θέμα βαθιών θεμελιώσεων.

Η άμεση καθίζηση που αναμένεται να εμφανίσει το στρώμα αργιλικού εδάφους πάχους 30m υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta H = \frac{q_o \times B \times (1 - \nu^2) \times I_w}{E_u} = \frac{292,5 \times 10,00 \times (1 - 0,5^2) \times 0,82}{315000} = 0,00571 \text{ m}$$

όπου:

$q_o = N_{oL} / (B_x \times B_y) = 22950 / (10 \times 10) = 292,5 \text{ kN/m}^2$ , η φόρτιση της εδαφικής στρώσης λόγω του τοίχου και της εξυγιαντικής στρώσης ανά μέτρο μήκους.

$E_u = 1500 \times C_u = 1500 \times 210 = 315000 \text{ kPa}$  (σχέση 5.8 από το βιβλίο της εδαφομηχανικής για πολύ σκληρές αργίλους), το ισοδύναμο μέτρο ελαστικότητας του αργιλικού εδάφους υπό αστράγγιστες συνθήκες (λόγος Poisson  $\nu = 0,5$ ).

$I_w = 0,82$ , συντελεστής σχήματος πεδίου για εύκαμπτο τετραγωνικό πέδιλο.

Για τον υπολογισμό της καθίζησης λόγω στερεοποίησης του αργιλικού εδάφους γίνεται διαχωρισμός του αργιλικού στρώματος σε στρώσεις, όπως φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα, και ο υπολογισμός της καθίζησης κάθε στρώματος γίνεται συναρτήσει της εντατικής κατάστασης των σημείων 1,2,3,...,9 στο μέσο του αντίστοιχου στρώματος. Η καθίζηση λόγω στερεοποίησης κάθε στρώματος  $i$  υπολογίζεται στον ακόλουθο πίνακα σύμφωνα με τη σχέση:

$$\Delta H_i = \begin{cases} H_i \times \left( \frac{C_{CR}}{1 + e_o} \right) \times \log \left( \frac{\sigma'_{o,i} + \Delta \sigma_i}{\sigma'_{o,i}} \right) & , \sigma'_{o,i} + \Delta \sigma_i < \sigma'_{OCR,i} \\ H_i \times \left( \frac{C_{CR}}{1 + e_o} \right) \times \log \left( \frac{\sigma'_{OCR,i}}{\sigma'_{o,i}} \right) + H_i \times \left( \frac{C_c}{1 + e_o} \right) \times \log \left( \frac{\sigma'_{o,i} + \Delta \sigma_i}{\sigma'_{OCR}} \right) & , \sigma'_{o,i} + \Delta \sigma_i > \sigma'_{OCR,i} \end{cases}$$

όπου:

$\sigma'_{o,i} = \sigma'_{o,1} + \gamma'_{cl} \cdot (z_i - z_1)$ , η αρχική ενεργός τάση στο σημείο  $i$  ( $i=2,3,\dots,9$ ) συναρτήσει του βάθους  $z_i$  του  $i$ .



$$\sigma'_{o,i} = \gamma \times (D_f - 1) + \gamma' \times (1 + z_i)$$

$\Delta\sigma_i = I \times q_o$ , η αύξηση της ενεργού τάσης στο σημείο  $i$  λόγω της επιφόρτισης  $q_o$ .

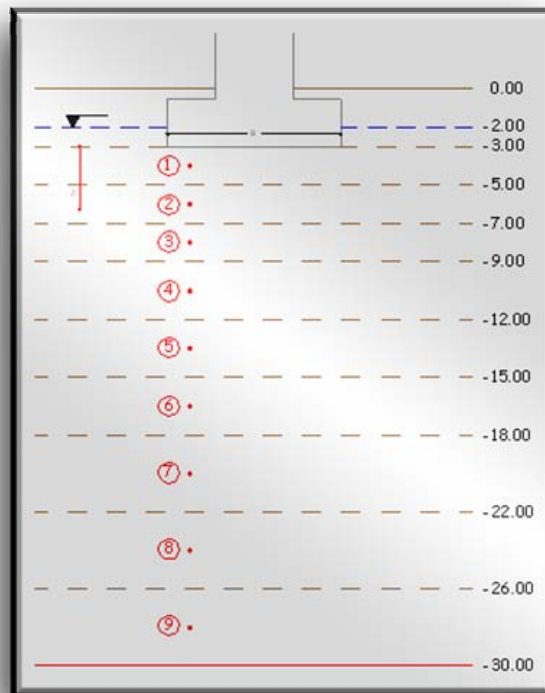
$e_o = 0,8$ , ο δείκτης πόρων της αργίλου.

$C_c = 0,05$ , ο δείκτης συμπίεσότητας της αργίλου.

$C_{CR} = 0,1 \times C_c = 0,005$ , ο δείκτης επανασυμπίεσης της αργίλου.

$\sigma'_{OCR,i} = (OCR) \times \sigma'_{o,i}$ , η τάση προστερεοποίησης του εδάφους.

$OCR = 2,5$ , ο λόγος υπερστερεοποίησης.



**Διακριτοποίηση αργλικού στρώματος.**

Έλεγχος καθιζήσεων						
Στάθμη	Πάχος φέτας	z(m)	z/B	I	p (kN/m <sup>2</sup> )	Δσ (kN/m <sup>2</sup> )
1	2,0	1,00	0,100	0,880	287,50	253,000
2	2,0	3,00	0,300	0,550	287,50	158,125
3	2,0	5,00	0,500	0,400	287,50	115,000
4	3,0	7,50	0,750	0,290	287,50	83,375
5	3,0	10,50	1,050	0,220	287,50	63,250
6	3,0	13,50	1,350	0,160	287,50	46,000
7	4,0	17,00	1,700	0,110	287,50	31,625
8	4,0	21,00	2,100	0,080	287,50	23,000
9	4,0	25,00	2,500	0,060	287,50	17,250

Στάθμη	z(m)	σ' <sub>o</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	σ' <sub>oCR</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	σ' <sub>t</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	ΔH <sub>στ</sub> (m)
1	1,00	60,00	150,000	313,000	0,0200
2	3,00	82,00	205,000	240,125	0,0060
3	5,00	104,00	260,000	219,000	0,0018
4	7,50	131,50	328,750	214,875	0,0018
5	10,50	164,50	411,250	227,750	0,0012
6	13,50	197,50	493,750	243,500	0,0008
7	17,00	236,00	590,000	267,625	0,0006
8	21,00	280,00	700,000	303,000	0,0004
9	25,00	324,00	810,000	341,250	0,0003
I <sub>v</sub> =	0,820	ΔH <sub>αμ</sub> (m) =	0,0057	ΣΔH(m) =	0,0327
				ΣΔH <sub>ολ</sub> (m) =	0,0384

**Υπολογισμός καθιζήσεων λόγω στερεοποίησης.**

Επομένως, η συνολική τελική καθίζηση του τοίχου αντιστήριξης θα είναι:

$$\Delta H_{ολ} = \Sigma \Delta H_{στερ.} + \Delta H_{αμ.} = 0,0327 + 0,0057 = 0,0384\text{m} < \delta_{επ} = 0,050\text{ m.}$$

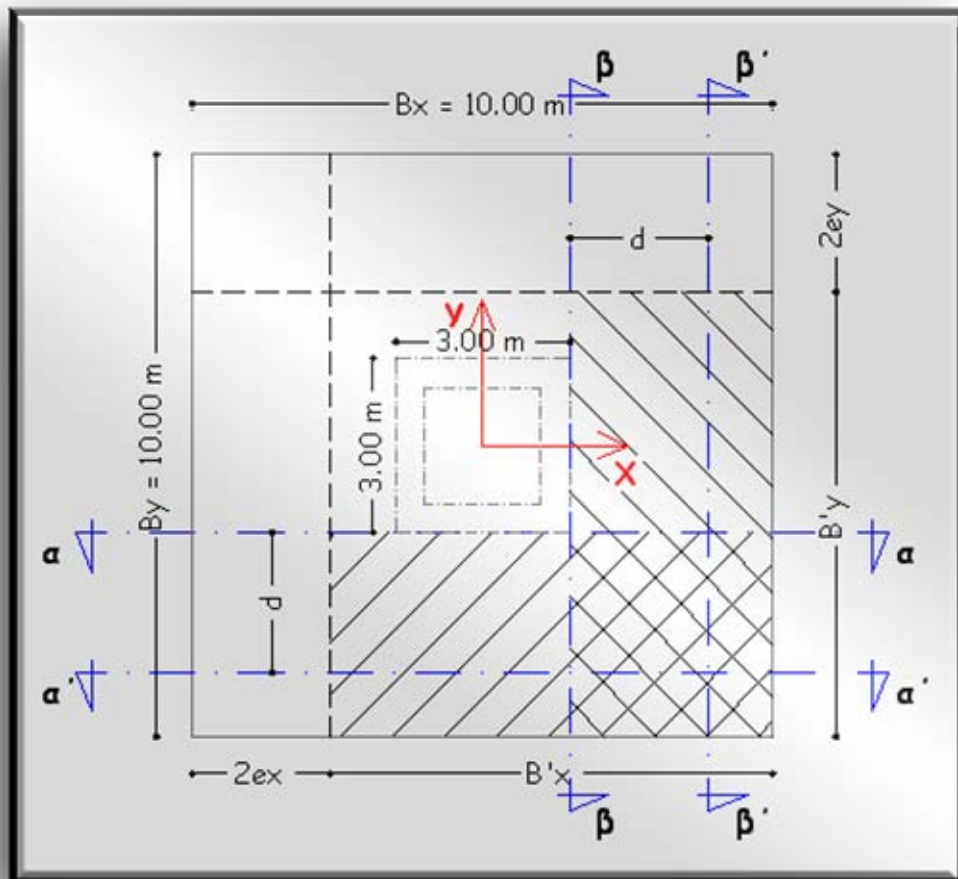
## 7 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ.

Με δεδομένο ότι η καταπόνηση του πεδிலού είναι μικρή υπό στατικές συνθήκες σε σχέση με τη σεισμική φόρτιση, η διαστασιολόγηση του θα γίνει μόνο για τους σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης.

### 7.1 Διαστασιολόγηση σε κάμψη.

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού του πεδிலού γίνεται με τα φορτία διατομής που προκύπτουν από τη μέση τάση που αναπτύσσεται στο έδαφος, στην ενεργό επιφάνεια του πεδிலού, υπό σεισμική διέγερση στις διατομές α-α, β-β, στις παρειές του μεσοβάθρου, όπως φαίνεται στο σχ.1.3.

Δεδομένου ότι οι συνθήκες περιβάλλοντος είναι έντονα διαβρωτικές, η ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού είναι 8cm. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι σκυρόδεμα C25/30 και χάλυβας S500.



*Ενεργά μήκη και πλάτη πεδிலού.*



Οι ροπές κάμψης  $M_x$ ,  $M_y$  που αναπτύσσονται στις διατομές α-α και β-β αντίστοιχα για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$M_{I,x} = \sigma_I \times B_x' \times (B_y - b_x)^2 / 8 = 599,8031 \times 8,303 \times (10 - 3)^2 / 8 = 30503,62 \text{ kNm}$$

$$M_{I,y} = \sigma_I \times B_y' \times (B_x - b_x)^2 / 8 = 599,8031 \times 4,97 \times (10 - 3)^2 / 8 = 18257,264 \text{ kNm}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$M_{II,x} = \sigma_{II} \times B_x' \times (B_y - b_y)^2 / 8 = 904,752 \times 4,470 \times (10 - 3)^2 / 8 = 24768,57 \text{ kNm}$$

$$M_{II,y} = \sigma_{II} \times B_y' \times (B_x - b_y)^2 / 8 = 904,752 \times 7,110 \times (10 - 3)^2 / 8 = 39398,41 \text{ kNm}$$

Με δεδομένο ότι η κατανομή της καμπτικής καταπόνησης κατά διατομών α-α και β-β δεν είναι ομοιόμορφη, ο υπολογισμός και η κατανομή του απαιτούμενου διαμήκη οπλισμού κάμψης θα γίνει με την παραδοχή ότι τα  $1/2$  της συνολικής ροπής καταπονεί το μεσαίο εν τέταρτο του πεδίου, πλάτους ίσο με  $b = B_i/4 = 2,5\text{m}$ , ενώ το υπόλοιπο  $1/2$  της καμπτικής ροπής καταπονεί το υπόλοιπο της διατομής.

Η καμπτική καταπόνηση του πεδίου είναι μεγαλύτερη κατά τη διεύθυνση  $y$ , οπότε το στατικό ύψος του διαμήκη οπλισμού κατά  $y$  είναι  $d_y = 2,50 - 0,08 - \emptyset/2 = 2,4075\text{m}$  για  $\emptyset=25$ , ενώ κατά τη διεύθυνση  $x$ , ο διαμήκης οπλισμός θα τοποθετηθεί σε ανώτερη στάθμη με στατικό ύψος:  $d_x = 2,50 - 0,08 - 3\emptyset/2 = 2,3825\text{m}$  για  $\emptyset=25$ . Παρακάτω λαμβάνεται μια μέση τιμή  $d_{av}=2,395$ .

Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ο.Σ.2000, §18.6.2, ο **ελάχιστος κύριος οπλισμός κάμψης** του πεδίου ( $\min\emptyset=\emptyset12$ ,  $\min s=150\text{mm}$ ) ανά μέτρο μήκους και στις δύο διευθύνσεις είναι:

$$A_{s,\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 \times b \times d / f_{yk} = 0,6 \times 100 \times 239,5 / 500 = 28,74 \text{ cm}^2 / \text{m} \\ 0,0015 \times b \times d = 0,0015 \times 100 \times 239,5 = 35,925 \text{ cm}^2 / \text{m} \end{array} \right\} = 35,925 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Στον πίνακα που ακολουθεί γίνεται ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού κάθε διατομής σύμφωνα με τη σχέση:

$$A_{s,\text{απαιτ.}} = \omega \times b \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}}, \text{ όπου: } \omega = f(\mu_{sd}), \text{ με } \mu_{sd} = \frac{1,05 \times M_{sd}}{b \cdot d^2 \times f_{cd}}$$

Σεισμικά φορτία ( $M_x$ )						
Συνδυασμός	d(m)	$\sigma_{xδ}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$M_{x,sd}$ (kNm)	$\mu_{x,sd}$	$\omega$	$A_{sy}$ (cm <sup>2</sup> )
I	2,3825	599,803	15251,810	0,0564	0,0590	161,65
	2,3825	599,803	15251,810	0,0564	0,0590	
II	2,3825	904,752	12384,284	0,0458	0,0480	161,65
	2,3825	904,752	12384,284	0,0458	0,0480	
Σύνολο						
$A_{sy}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min}$	$A_{s,τοπ}$ (cm <sup>2</sup> )	n	Ø	s	$A_{s,τοποθ.}$
161,65	359,25	181,62	37	25	65,79	37Ø25/66
161,65		190,07	50	22	147,06	2×25Ø22/147
		<b>Σύνολο</b>	<b>371,6896808</b>			

### Διαστασιολόγηση για τα $M_x$ .

Σεισμικά φορτία ( $M_y$ )						
Συνδυασμός	d(m)	$\sigma_{yδ}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$M_{y,sd}$ (kNm)	$\mu_{y,sd}$	$\omega$	$A_{sx}$ (cm <sup>2</sup> )
I	2,4075	599,803	9128,821	0,0338	0,0350	213,18
	2,4075	599,803	9128,821	0,0338	0,0350	
II	2,4075	904,752	19699,204	0,0729	0,0770	213,18
	2,4075	904,752	19699,204	0,0729	0,0770	
Σύνολο						
$A_{sx}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{s,min}$	$A_{s,τοπ}$ (cm <sup>2</sup> )	n	Ø	s	$A_{s,τοποθ.}$
213,18	359,25	220,89	45	25	54,35	45Ø25/54
213,18		226,19	50	24	147,06	2×25Ø24/147
		<b>Σύνολο</b>	<b>447,0879045</b>			

### Διαστασιολόγηση για τα $M_y$ .

Στην άνω παρειά του πεδύλου τοποθετείται και στις δύο διευθύνσεις διαμήκης οπλισμός σε μορφή εσχάρας #Ø20/150.

Επιπλέον, εντός του σώματος του πεδύλου και σε στάθμες ανά 0,5m τοποθετούνται εσχάρες #Ø14/300 ως κατασκευαστικός οπλισμός.

## 7.2 Έλεγχος σε διάτμηση.

Ο υπολογισμός της διατμητικής καταπόνησης του πεδύλου γίνεται με τα φορτία διατομής που προκύπτουν από τη μέση τάση που αναπτύσσεται στο έδαφος, στην ενεργό επιφάνεια του πεδύλου, υπό σεισμική διέγερση στις διατομές α'-α', β'-β', στις παρειές του πεδύλου, όπως φαίνεται στο σχ.1.3.



Οι τέμνουσες δυνάμεις  $V_x$ ,  $V_y$  που αναπτύσσονται στις διατομές  $\alpha'-\alpha'$  και  $\beta'-\beta'$  αντίστοιχα για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτουν από τις ακόλουθες σχέσεις:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$V_{I,x} = \sigma_I \times B_x' \times [(b_y - 3)/2 - d] = 599,803 \times 8,303 \times [(10 - 3)/2 - 2,3825] = 5565,354 \text{ kN}$$

$$V_{I,y} = \sigma_I \times B_y' \times [(b_x - 3)/2 - d] = 599,803 \times 4,97 \times [(10 - 3)/2 - 2,4075] = 3256,567 \text{ kN}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$V_{II,x} = \sigma_{II} \times B_x' \times [(b_y - 3)/2 - d] = 904,752 \times 4,470 \times [(10 - 3)/2 - 2,3825] = 4519,000 \text{ kN}$$

$$V_{II,y} = \sigma_{II} \times B_y' \times [(b_x - 3)/2 - d] = 904,752 \times 7,110 \times [(10 - 3)/2 - 2,4075] = 7027,389 \text{ kN}$$

Σύμφωνα με τον Ε.Κ.Ο.Σ.2000, §11.1.2.1, η διατμητική αντοχή στοιχείου χωρίς οπλισμό διάτμησης δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \times k \times (1,20 + 40 \times \rho_l) + 0,15 \times \sigma_{cp}] \times b \times d$$

όπου:  $\tau_{Rd} = 0,30 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$  (C25), τιμή σχεδιασμού διατμητικής αντοχής.

$k = \max\{(1,6 - d), 1\}$ ,  $d$ (m).

$\rho_l$  : το ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού της διατομής.

$\sigma_{cp} = N_{sd}/(b \times d)$ , η ορθή τάση λόγω αξονικής καταπόνησης της διατομής.

Το ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού των διατομών  $\alpha'-\alpha'$  και  $\beta'-\beta'$  προκύπτει:

$$\rho_{l,\alpha'-\alpha'} = (181,623 + 190,066)/(1000 \times 238,25) = 0,001560$$

$$\rho_{l,\beta'-\beta'} = (220,893 + 226,195)/(1000 \times 240,75) = 0,001857$$

Επομένως, η διατμητική αντοχή του πεδίου στις διατομές  $\alpha'-\alpha'$  και  $\beta'-\beta'$  προκύπτει:

$$V_{Rd1,\alpha'-\alpha'} = [0,30 \times 10^3 \times 1 \times (1,20 + 40 \times 0,001560) + 0,15 \times 0] \times 10 \times 2,3825 = 9023,03 \text{ kN} > \max(V_{I,x}, V_{II,x}) = 5565,354 \text{ kN}$$

$$V_{Rd1,\beta'-\beta'} = [0,30 \times 10^3 \times 1 \times (1,20 + 40 \times 0,001857) + 0,15 \times 0] \times 10 \times 2,4075 = 9203,51 \text{ kN} > \max(V_{I,y}, V_{II,y}) = 7027,389 \text{ kN}$$



Έλεγχος σε διάτμηση					
Σεισμικά φορτία					
Συνδυασμός	$T_{Rd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	k	$\rho_{Ly}$	$V_{Rd1}$ (kN)	$V_{xx,sd}$ (kN)
I	300,0	1,0	0,001560	9023,028	3256,567
II	300,0	1,0	0,001560	9023,028	7027,389
Συνδυασμός	$T_{Rd}$ (kN/m <sup>2</sup> )	1	$\rho_{Lx}$	$V_{Rd1}$ (kN)	$V_{yy,sd}$ (kN)
I	300,0	1,0	0,001857	9203,505	5565,354
II	300,0	1,0	0,001857	9203,505	4519,000

### Έλεγχος διάτμησης.

### 7.3 Έλεγχος σε διάτμηση.

Ο έλεγχος του πεδίου σε διάτμηση γίνεται με τα φορτία διατομής που προκύπτουν από τη μέση τάση που αναπτύσσεται στο έδαφος σε όλη την επιφάνεια του πεδίου, κατά μήκος της κρίσιμης διατομής του πεδίου η οποία ορίζεται σε απόσταση  $h = 2,5m$  από την παρειά του μεσοβάθρου. Το συνολικό μήκος της κρίσιμης διατομής προκύπτει:

$$u = 4 \times b_{\text{μεσοβάθρου}} + 2 \times \pi \times h = 4 \times 3 + 2 \times \pi \times 2,5 = 27,71m$$

Η τέμνουσα σχεδιασμού κατά μήκος της κρίσιμης διατομής για τους δύο σεισμικούς συνδυασμούς φόρτισης προκύπτει από τις ακόλουθες σχέσεις:

Σεισμικός συνδυασμός I:

$$V_{I,sd} = N_{0l} - [N_{0l}/(B_x \times B_y)] \times [(b_{\text{μεσοβάθρου}})^2 + 4 \times b_{\text{μεσοβάθρου}} \times h + \pi \times h^2] =$$

$$= 24750 - [24750/(10 \times 10)] \times [(3)^2 + 4 \times 3 \times 2,5 + \pi \times 2,5^2] = 10237,85 \text{ kN}$$

$$\max V_{I,sd} = V_{I,sd} \times \left[ 1 + 1,5 \times \frac{e_x + e_y}{\sqrt{(b_{\text{μεσοβάθρου}} + 2 \times h) \times (b_{\text{μεσοβάθρου}} + 2 \times h)}} \right] =$$

$$= 10237,85 \times \left[ 1 + 1,5 \times \frac{0,848 + 2,515}{\sqrt{(3 + 2 \times 2,5)^2}} \right] = 16694,67 \text{ kN}$$

$$\max v_{I,sd} = \max V_{I,sd} / u = 16694,67 / 27,71 = 602,52 \text{ kN/m}$$

Σεισμικός συνδυασμός II:

$$V_{II,sd} = N_{0l} - [N_{0l}/(B_x \times B_y)] \times [(b_{\text{μεσοβάθρου}})^2 + 4 \times b_{\text{μεσοβάθρου}} \times h + \pi \times h^2] =$$

$$= 28750 - [28750/(10 \times 10)] \times [(3)^2 + 4 \times 3 \times 2,5 + \pi \times 2,5^2] = 11892,45 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \max V_{II,sd} &= V_{II,sd} \times \left[ 1 + 1,5 \times \frac{e_x + e_y}{\sqrt{(b_{\text{μεσοβάθρου}} + 2 \times h) \times (b_{\text{μεσοβάθρου}} + 2 \times h)}} \right] = \\ &= 11892,45 \times \left[ 1 + 1,5 \times \frac{2,765 + 1,445}{\sqrt{(3 + 2 \times 2,5)^2}} \right] = 21281,02 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\max v_{II,sd} = \max V_{II,sd} / u = 21281,02 / 27,71 = 768,047 \text{ kN/m}$$

Η διατμητική αντοχή πεδίλου χωρίς οπλισμό διάτμησης, ανηγμένη ανά μονάδα μήκους, δίνεται από τη σχέση:

$$v_{Rd1} = \tau_{Rd} \times k \times (1,20 + 40 \times \rho'_{\lambda}) \times d$$

$$\text{όπου: } \rho'_{\lambda} = \sqrt{\rho_{\lambda x} \times \rho_{\lambda y}} = \sqrt{0,001560 \times 0,001857} = 0,001702 \leq 0,015$$

Επομένως, προκύπτει:

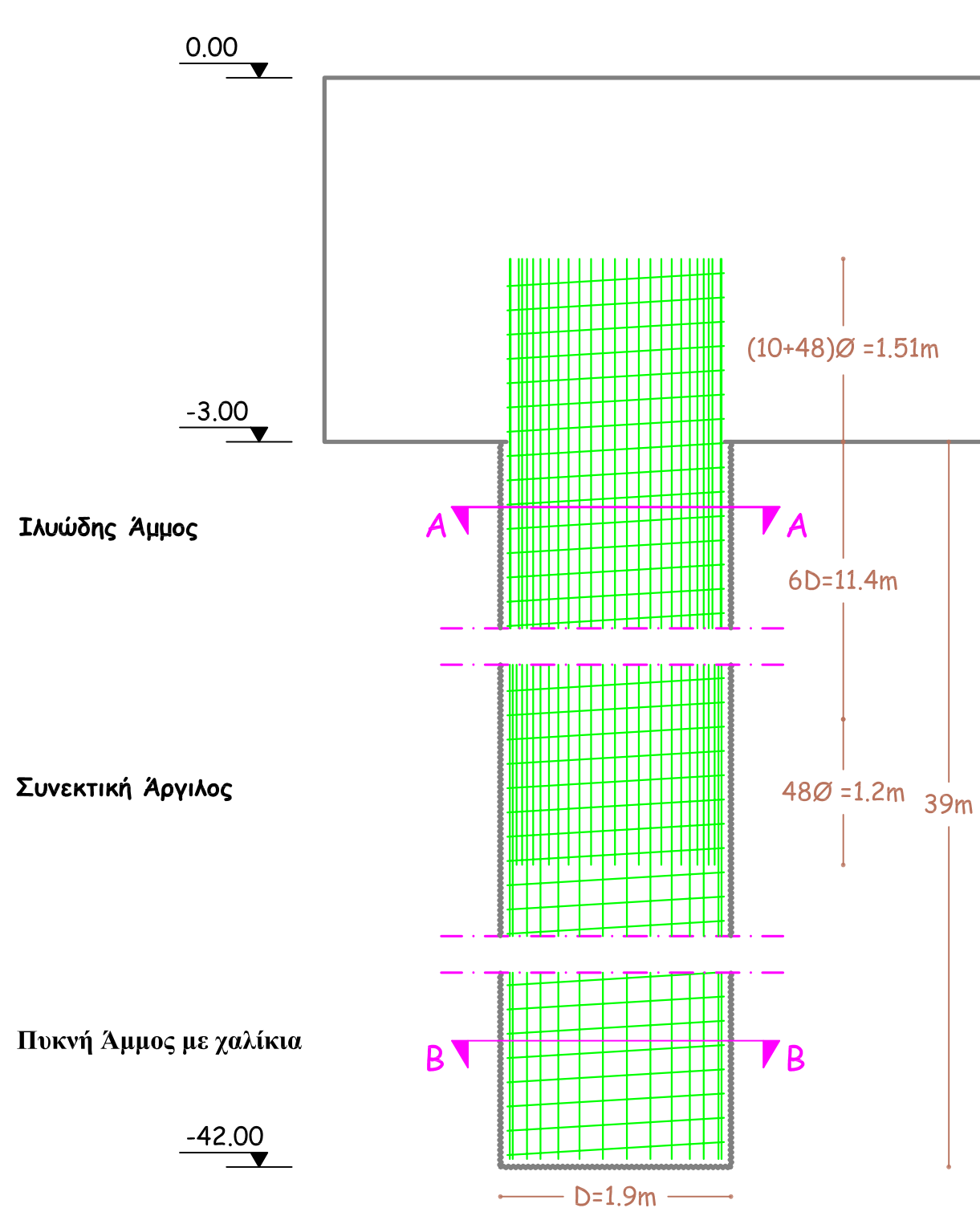
$$\begin{aligned} v_{Rd1} &= 0,30 \times 10^3 \times 1 \times (1,20 + 40 \times 0,001702) \times 2,395 = \\ &= 911,119 \text{ kN/m} > \max(\max v_{I,sd}, \max v_{II,sd}) = 768,047 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Έλεγχος σε διάτμηση						
Σεισμικά φορτία						
Συνδυασμός	$\sigma_{\pm 6}$ (kN/m <sup>2</sup> )	d(m)	u(m)	$V_{sd}$ (kN)	$\max v_{sd}$ (kN/m)	$v_{Rd1}$ (kN/m)
I	599,803	2,395	27,708	10237,849	602,523	911,119
II	904,752	2,395	27,708	11892,451	768,047	911,119

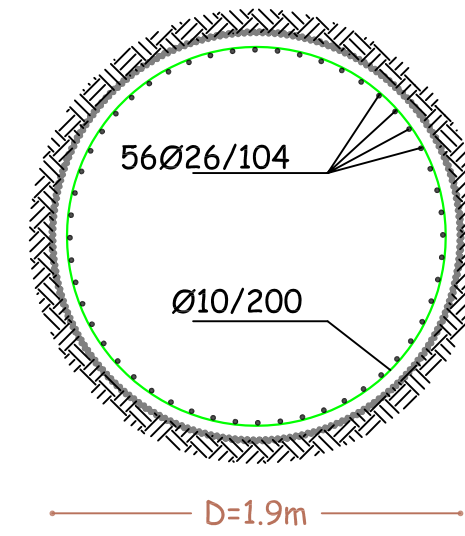
#### Έλεγχος διάτμησης.

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται κατασκευαστικά σχέδια του πεδίλου. Συγκεκριμένα δίνεται σε κάτοψη η διάταξη των κύριων οπλισμών κάμψης και στις δύο διευθύνσεις και η τομή του πεδίλου κάθετα στην διεύθυνση x όπου φαίνονται οι οπλισμοί κάμψης καθώς και βοηθητικοί κατασκευαστικοί και πρόσθετοι διαμήκεις οπλισμοί που τοποθετούνται στην άνω παρειά του πεδίλου.

# ΒΑΘΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ



## ΤΟΜΗ A-A



## ΤΟΜΗ B-B

