

Επιφανειακές Θεμελιώσεις | Ευρωκώδικας 7



Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας | Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Υπολογισμός Φέρουσας Ικανότητας Ευρωκώδικας 7 Αστράγγιστες Συνθήκες

D.3 Undrained conditions

(1) The design bearing resistance may be calculated from:

$$R/A' = (\pi+2) c_u b_c s_c i_c + q$$

with the dimensionless factors for:

— the inclination of the foundation base: $b_c = 1 - 2\alpha / (\pi + 2)$;

— the shape of the foundation:

$$s_c = 1 + 0,2 (B'/L'), \text{ for a rectangular shape;}$$

$$s_c = 1,2, \text{ for a square or circular shape.}$$

— the inclination of the load, caused by a horizontal load H :

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' c_u}} \right)$$

with $H \leq A' c_u$.

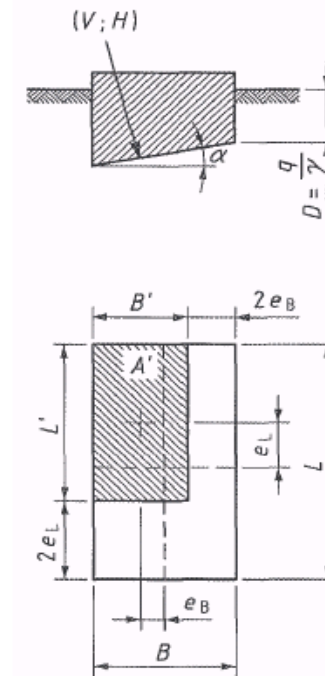
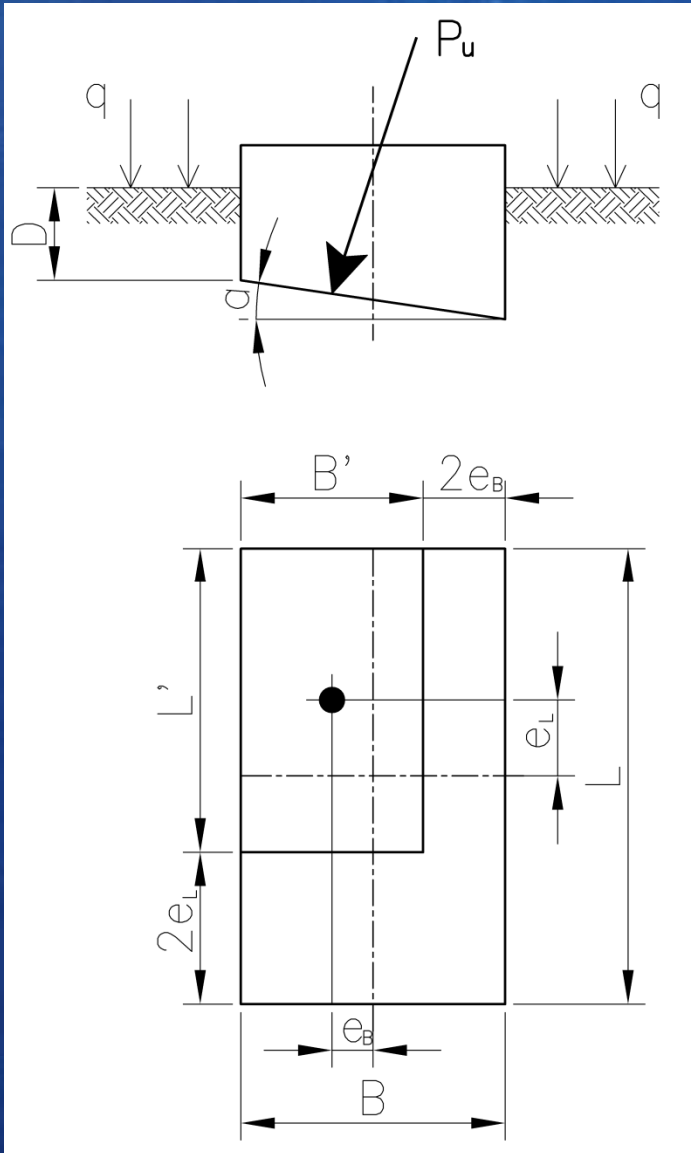


Figure D.1 — Notations

Επιφανειακές Θεμελιώσεις | Ευρωκώδικας 7



$$R_k = A' [5.14 c_u b_c s_c i_c + q]$$

$$A' = B' \times L'$$

όπου:

B' : ενεργό πλάτος: $B' = B - 2e_B$,

e_B : εκκεντρότητα κατά τη κατεύθυνση B: $e_B = M_L / N$,

M_L : χαρακτηριστική τιμή της ροπής περί τον άξονα του μήκους,

N : χαρακτηριστική τιμή της αξονικής δύναμης,

L' : ενεργό πλάτος: $L' = L - 2e_L$,

e_L : εκκεντρότητα κατά τη κατεύθυνση L: $e_L = M_B / N$,

M_B : χαρακτηριστική τιμή της ροπής περί τον άξονα του πλάτους.

$$b_c = 1 - \frac{2\alpha}{\pi + 2} \quad (1.7)$$

$$s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'} \quad (1.8)$$

$$i_c = 0.5 \left[1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' c_u}} \right], \text{ όπου } H \leq A' c_u \quad (1.9)$$

όπου:

α : η κλίση έδρασης του πεδύλου σε ακτίνια,

R_k : χαρακτηριστική τιμή οριακής αντίστασης,

H : οριακή τιμή αναπτυσσόμενης οριζόντιας δύναμης.

Υπολογισμός Φέρουσας Ικανότητας Ευρωκώδικας 7 Στραγγιζόμενες Συνθήκες

D.4 Drained conditions

(1) The design bearing resistance may be calculated from:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

with the design values of dimensionless factors for:

— the bearing resistance:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2 (45 + \phi'/2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \phi', \text{ where } \delta \geq \phi'/2 \text{ (rough base)}$$

— the inclination of the foundation base:

$$b_c = b_q - (1 - b_q)/N_c \times \tan \phi'$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \cdot \tan \phi')^2$$

— the shape of foundation:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \phi', \text{ for a rectangular shape;}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi', \text{ for a square or circular shape;}$$

— $s_\gamma = 1 - 0,3 (B'/L')$, for a rectangular shape;

$s_\gamma = 0,7$, for a square or circular shape

— $s_c = (s_q \cdot N_q - 1)/(N_q - 1)$ for rectangular, square or circular shape;

— the inclination of the load, caused by a horizontal load H :

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/N_c \cdot \tan \phi';$$

$$i_q = [1 - H/(V + A'c' \cot \phi')]^m;$$

$$i_\gamma = [1 - H/(V + A'c' \cot \phi')]^{m+1}.$$

where:

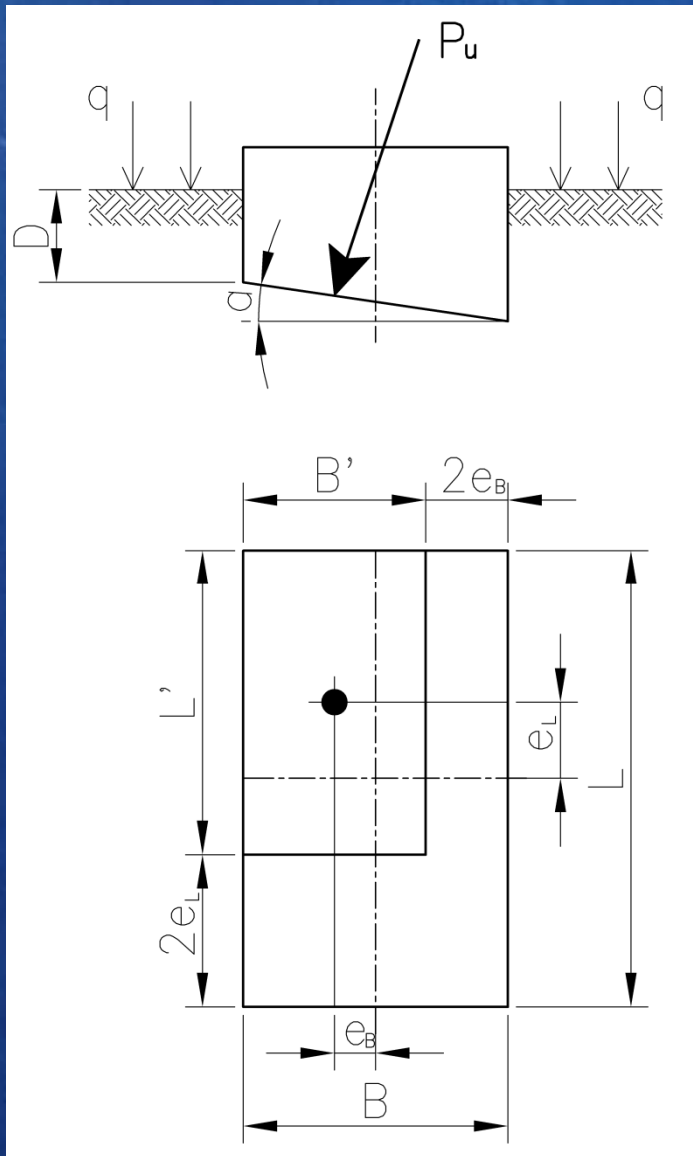
$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \text{ when } H \text{ acts in the direction of } B';$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \text{ when } H \text{ acts in the direction of } L'.$$

In cases where the horizontal load component acts in a direction forming an angle θ with the direction of L' , m may be calculated by:

$$m = m_\theta = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta.$$

Επιφανειακές Θεμελιώσεις | Ευρωκώδικας 7



$$R_k = R_c + R_q + R_\gamma \quad (1.10)$$

όπου:

$$R_c = A' N_c b_c s_c i_c c' \quad (1.11)$$

$$R_q = A' N_q b_q s_q i_q q' \quad (1.12)$$

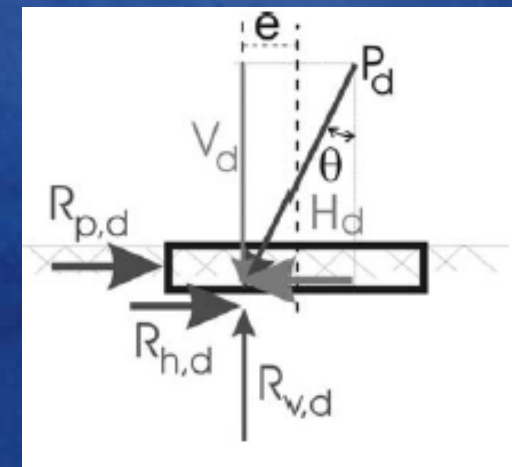
$$R_\gamma = 0.5 A' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \gamma_k B' \quad (1.13)$$

$$A' = B' \times L'$$

Ευρωκώδικας 7: Μέθοδος επιμέρους συντελεστών (partial factors)

Απαιτούμενος έλεγχος (γενικώς $E_d \leq R_d$)

- Έλεγχος φέρουσας ικανότητας $V_d \leq R_{v,d}$
- Έλεγχος ολίσθησης $H_d \leq R_{h,d} + R_{p,d}$



V_d, H_d : Τιμές σχεδιασμού των δράσεων

$R_{v,d}, R_{h,d}$: Τιμές σχεδιασμού της αντίστασης του εδάφους

$R_{p,d}$: Τιμή σχεδιασμού της παθητικής ώθησης πλευρικά του θεμελίου

Ευρωκώδικας 7: Μέθοδος επιμέρους συντελεστών (partial factors)

Δράση	Συμβολισμός	Ομάδα	
		A1	A2
Μόνιμη	Δυσμενής	1.35	1.0
	Ευνοϊκή	1.0	1.0
Μεταβλητή	Δυσμενής	1.5	1.3
	Ευνοϊκή	0	0

Επιμέρους συντελεστές
δράσεων
 γ_E, γ_F

Εδαφική παράμετρος	Συμβολισμός	Ομάδα	
		M1	M2
Γωνία διατμητικής αντοχής*	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Ενεργός συνοχή	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	γ_{cu}	1.0	1.4
Αντοχή ανεμπόδιστης θλίψης	γ_{qu}	1.0	1.4
Ειδικό βάρος	γ_γ	1.0	1.0

*Ο συντελεστής εφαρμόζεται στην τιμή $\tan \phi'$

Επιμέρους συντελεστές
εδαφικού υλικού
 γ_M

Αντίσταση	Συμβολισμός	Ομάδα		
		R1	R2	R3
Φέρουσας Ικανότητας	$\gamma_{R.v}$	1.0	1.4	1.0
Ολίσθησης	$\gamma_{R.h}$	1.0	1.1	1.0

Επιμέρους συντελεστές
αντιστάσεων
 γ_R

Επιφανειακές Θεμελιώσεις | Ευρωκώδικας 7

Έλεγχος επάρκειας έναντι φέρουσας ικανότητας και ολίσθησης | άσκηση

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

$$L = 2.65 \text{ m}$$

$$C_{u,k} = 45 \text{ kPa}$$

$$D = 1.00 \text{ m}$$

$$\gamma = 18.9 \text{ kN/m}^3$$

$$M_{BGk} = 190.2 \text{ kN.m}$$

$$H_{BGk} = 25 \text{ kN}$$

$$M_{LGk} = 56.8 \text{ kN.m}$$

$$H_{LGk} = 60 \text{ kN}$$

$$V_{Gk} = 1500 \text{ kN}$$

$$e_{Bk} = \frac{M_{Lk}}{V_k} = \frac{56.8}{1500} = 0.038 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e_{Bk} = 1.924 \text{ m}$$

$$e_{Lk} = \frac{M_{Bk}}{V_k} = \frac{190.2}{1500} = 0.127 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_{Lk} = 2.396 \text{ m}$$

$$H = \sqrt{H_L^2 + H_B^2} = 65 \text{ kN}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{V}\right) = 2.48^\circ$$

$$s_c = 1 + 0.2\left(\frac{B'}{L'}\right) = 1.161$$

$$b_c = 1 - 2a / (\pi + 2) = 1, \quad (a = 0^\circ)$$

$$i_c = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{A' C_u}} \right)$$

$$\text{όπου } H = V \tan \theta \text{ και } V = p_u B' L'$$

H, V : οριακές τιμές εξαρτώμενες από το p_u
Επομένως ο υπολογισμός του i_c γίνεται με δοκιμές

Επιφανειακές Θεμελιώσεις | Ευρωκώδικας 7

Έλεγχος επάρκειας έναντι φέρουσας ικανότητας και ολίσθησης | άσκηση

Από δοκιμές προκύπτει $i_c = 0.930$, $R_k = 1239kN$ και $H = R_k \tan \theta = 53.7kN$

$$R_d = \frac{R_k}{1.4} = 885kN$$

$$V_d = 1.35 \cdot 1500 = 2025kN$$

Επομένως προκύπτει ανεπάρκεια έναντι φέρουσας ικανότητας

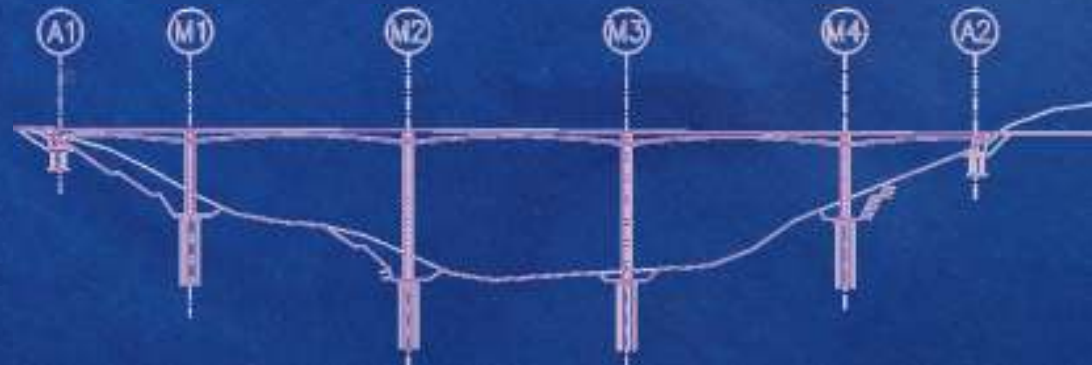
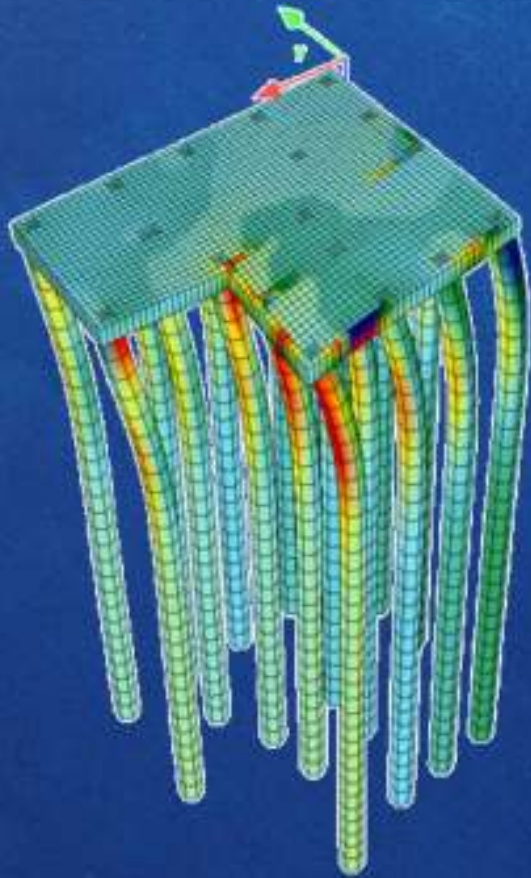
Έλεγχος Ολίσθησης

$$R_d = \frac{A' C_u}{\gamma_R} = \frac{1.924 \cdot 2.396 \cdot 45}{1.1} = 188.6kN (< 0.4V_d = 810kN)$$

$$H_d = 1.35 \cdot 65 = 87.8kN$$

(Επάρκεια έναντι ολίσθησης)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7



**Απόκριση Θεμελιώσεων με Πασάλους
υπό Κατακόρυφη Φόρτιση**

Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας | Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

DIN 1054 (4014)

$$R_{(S)} = R_{b(S)} + R_{s(S)}$$

$$R_{b(S)} = A_b q_{bk(S)}$$

$$R_{s(S)} = \pi D \sum_{i=1,n} q_{sk(S)}^i L_i$$

Χαρακτηριστική τιμή της οριακής αντίστασης (φέρουσα ικανότητα) R_{uk}
αντιστοιχεί στην οριακή καθίζηση $S = S_g = 0.1D$

$$R_{ud} = \frac{1}{\gamma_m} \left[\frac{1}{\gamma_{bR}} A_b q_{bu,k(S_g)} + \frac{1}{\gamma_{sR}} \pi D \sum_{i=1,n} q_{su,k(S_g)}^i L_i \right]$$

Τιμή
σχεδιασμού

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Δράση	Συμβολισμός	Ομάδα	
		A1	A2
Μόνιμη	Δυσμενής	1.35	1.0
	Ευνοϊκή	1.0	1.0
Μεταβλητή	Δυσμενής	1.5	1.3
	Ευνοϊκή	0	0

Πίνακας 2.14. Μερικοί συντελεστές φορτίσεων, γ_G , και αντιδράσεων, γ_Q , κατά Ευρωκώδικα EN 1997-1

Εδαφική παράμετρος	Συμβολισμός	Ομάδα	
		M1	M2
Γωνία διατμητικής αντοχής*	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Ενεργός συνοχή	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή	$\gamma_{\sigma u}$	1.0	1.4
Αντοχή ανεμπόδιστης θλίψης	$\gamma_{q u}$	1.0	1.4
Ειδικό βάρος	γ_{γ}	1.0	1.0

*Ο συντελεστής εφαρμόζεται στην τιμή της $\tan \varphi'$

Πίνακας 2.18. Μερικοί συντελεστές εδαφικών παραμέτρων, γ_M , κατά τον Ευρωκώδικα EN 1997-1

Αντίσταση	Συμβολισμός	Ομάδα			
		R1	R2	R3	R4
Αιχμής	γ_b	1.25	1.1	1.0	1.6
Πλευρική (υπό θλίψη)	γ_s	1.0	1.1	1.0	1.3
Συνολική	γ_t	1.15	1.1	1.0	1.5
Πλευρική (υπό εφελκυσμό)	$\gamma_{s,t}$	1.25	1.15	1.1	1.6

Πίνακας 2.17. Μερικοί συντελεστές αντίστασης, γ_R , για έγχυτους πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα EN 1997-1

Τρόπος ανάλυσης 1

Βασίζεται στις αγγλοσαξονικές και σκανδιναβικές προσεγγίσεις του θέματος και περιλαμβάνει τους ακόλουθους δύο συνδυασμούς:

$$\text{Συνδυασμός 1 : } A1 + M1 + R1$$

$$\text{Συνδυασμός 2 : } A2 + (M1 \text{ ή } M2) + R4$$

Τρόπος ανάλυσης 2

Ακολουθεί πρακτικά τις διατάξεις του γερμανικού κανονισμού DIN 1054 για οριακή κατάσταση GZ1 παρότι οι προτεινόμενες από τον Ευρωκώδικα τιμές μερικών συντελεστών γ διαφέρουν από αυτές του γερμανικού κανονισμού.

$$\text{Συνδυασμός : } A1 + M1 + R2$$

Όλοι οι μερικοί συντελεστές επί των εδαφικών παραμέτρων της ομάδας M1 έχουν μοναδιαία τιμή. Κατά συνέπεια μερικοί συντελεστές ασφαλείας εφαρμόζονται επί των δράσεων και των αντιστάσεων.

Επιτρεπόμενο φορτίο

$$R_{ud} = \frac{1}{\gamma_m} \left[\frac{1}{\gamma_{bR}} A_b q_{bu,k(Sg)} + \frac{1}{\gamma_{sR}} \pi D \sum_{i=1,n} f_{su,k(Sg)}^i L_i \right]$$

Τρόπος Ανάλυσης (D.A.) στην Ελληνική Επικράτεια

A1 + M1 + R2

A1: 1.35 στα μόνιμα φορτία, 1.50 στα κινητά (δυσμενείς δράσεις)

M1: μοναδιαίοι συντελεστές

R2: $\gamma_{bR} = 1.1$ $\gamma_{sR} = 1.1$ (στατικές συνθήκες)

$\gamma_{bR} = 1.0$ $\gamma_{sR} = 1.0$ (σεισμικές συνθήκες)

$\gamma_m = 1.3$ (συντελεστής προσομοίωσης)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Άσκηση

Να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα πασσάλου μήκους 48 m, διαμέτρου 1.20 m, έδαφος αργιλικό με αστράγγιστη διατμητική αντοχή $S_u = 45$ kPa.

Να σχεδιασθεί το διάγραμμα φορτίου – καθίζησης.

Να υπολογισθεί το επιτρεπόμενο φορτίο σε στατικές και σεισμικές συνθήκες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα για την ελληνική επικράτεια (Τρόπος ανάλυσης 2*, συνδυασμός A1+M1+R2)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

ΕΡΓΟ: Απλή άσκηση σε αργιλικό έδαφος

ΑΞΟΝΙΚΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ ΚΑΤΑ DIN 4014 & EN 1997-1

Στρώση Layer	Στάθμη Level (m)	Τύπος εδάφους Soil type	Su kPa	q _c MPa	q _u MPa	τ _{mf}	Επιφάνεια Area m ²	Q _r kN	Κατ/ρυφή Δύναμη kN/m	Οριζόντια Ελατήρια MN/m ²
1	-50.0	2	45			0.029	180.96	5248	109.3	3.0

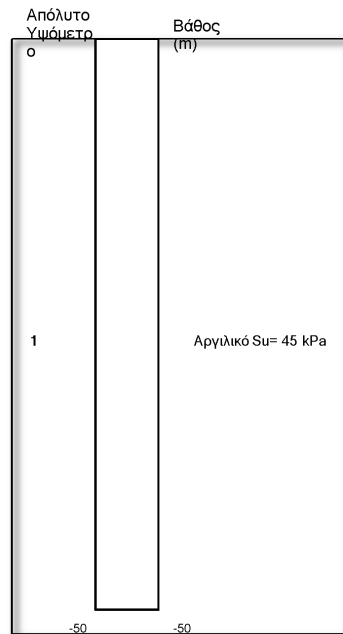
Τύπος εδάφους (Soil type): 1, 2, 3 : Ψαθυρό (Non cohesive), Συνεκτικό (Cohesive), Βραχώδες (Rock)

ΤΑΣΗ ΔΙΧΜΗΣ (MPa) = 0.36

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

Σχετικό Υψόμετρο Εδάφους - Rel Ground Level (m) = 0.00
 Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους - Abs Ground Level (m) = 0.00
 Διάμετρος Πασσάλου - Pile Diameter (m) = 1.20
 Στάθμη Κεφαλής Πασσάλου - Pile top Level (m) = 0.00
 Στάθμη Αγκυής Πασσάλου - Pile base Level (m) = -48.0
 Μήκος Πασσάλου - Pile Length (m) = 48.00
 Βάθος Ενεργου. Τριβής-Level of Q, Mobilization (m) = 0.00
 Στάθμη Υπόγειου νερού - Ground WT Level (m) = -2.00

ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ



S (cm)	Q _r (kN)	Q _s (kN)	Q (kN)	K _v (MN/m)
2.4	4198	178	4376	182.3
3.0	5248	203	5451	181.7
3.6	5248	229	5477	152.1
12.0	5248	407	5655	47.1

DIN 1054 : Επιτρεπόμενα Φορτία Q_{sep}=(Q_r+Q_s)/η

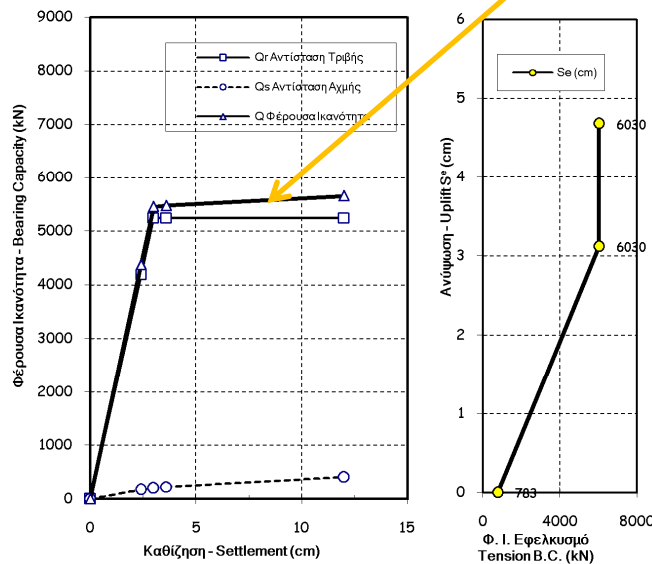
S(cm)	K _v (MN/m)
Q _{sep} = 2827	1.55
Q _{sep} = 4350	2.39

Φόρτιση "1" : n=2 , ne=2 :
 Οδηγία E39/99 : n=1.3

EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού - R_{cd}=(Q_s/γ_b+Q_r/γ_s)/γ_m

R _{cd}	S(cm)	K _v (MN/m)
R _{cd} = 3954	2.17	182.3
R _{cd} = 4350	2.39	182.3
R _{cd} = 4291	2.39	182.3

"DA-2**": γ_b=1.1, γ_s=1.1, γ_m= 1.3
 "DA-2* Ssm": γ_b=1.0, γ_s=1.0, γ_m=1.3
 "DA-1": γ_b=1.6, γ_s=1.3, γ_m= 1.0



Άσκηση

Να υπολογισθεί η **φέρουσα ικανότητα** πασσάλου μήκους 48 m, διαμέτρου 1.20 m, έδαφος αργιλικό με αστράγγιστη διατμητική αντοχή $S_u = 45$ kPa.

Να σχεδιασθεί το **διάγραμμα φορτίου – καθίζησης**.

Να υπολογισθεί το **επιτρεπόμενο φορτίο** σε στατικές και σεισμικές συνθήκες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα για την ελληνική επικράτεια (Τρόπος ανάλυσης 2*, συνδυασμός A1+M1+R2)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Άσκηση

Να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα πασσάλου μήκους 35 m, διαμέτρου 1.00 m, έδαφος αμμώδες με αντίσταση αιχμής στατικού πενετρομέτρου $q_c = 8 \text{ MPa}$.

Να σχεδιασθεί το διάγραμμα φορτίου – καθίζησης.

Να υπολογισθεί το επιτρεπόμενο φορτίο σε στατικές και σεισμικές συνθήκες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα για την ελληνική επικράτεια (Τρόπος ανάλυσης 2*, συνδυασμός A1+M1+R2)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Άσκηση

ΕΡΓΟ: Απλή άσκηση σε αμμώδες έδαφος

ΑΞΙΟΝΙΚΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ ΚΑΤΑ DIN 4014 & EN 1997-1

Στρώση Layer	Στάθμη Level (m)	Τύπος εδάφους Soil type	Su kPa	q _c MPa	q _u MPa	τ _{mf}	Επιφάνεια Area m ²	Q _r kN	Κατ/ρυφή Δύναμη kN/m	Οριζόντια Ελατήρια MN/m ²
1	-40.0	1		8.0		0.064	109.96	7037	201.1	36.0

Τύπος εδάφους (Soil type): 1, 2, 3; Ψαθυρό (Non cohesive), Συνεκτικό (Cohesive), Βραχώδες (Rock)

ΤΑΣΗ ΑΙΧΜΗΣ (MPa) = 1.60

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

Σχετικό Υψόμετρο Εδάφους - Rel Ground Level (m) = 0.00
 Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους - Abs Ground Level (m) = 0.00
 Διάμετρος Πασσάλου - Pile Diameter (m) = 1.00
 Στάθμη Κεφαλής Πασσάλου - Pile top Level (m) = 0.00
 Στάθμη Αιχμής Πασσάλου - Pile base Level (m) = -35.00
 Μήκος Πασσάλου - Pile Length (m) = 35.00
 Βάθος Evergon. Τριβής-Level of Q_s Mobilization (m) = 0.00
 Στάθμη Υπόγειου νερού - Ground WT Level (m) = -2.00

ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Απόλυτο Υψόμετρο (m) vs Βάθος (m)

Αμμώδες q_c = 8 MPa

S (cm)	Q _r (kN)	Q _s (kN)	Q (kN)	K _v (MN/m)
2.0	4691	440	5131	256.6
3.0	7037	565	7602	253.4
3.0	7037	565	7602	253.4
10.0	7037	1256	8293	82.9

DIN 1054 : Επιτρεπόμενα Φορτία Q_{sep}=(Q_r+Q_s)/n

S(cm)	K _v (MN/m)
Q _{sep} = 4147	1.29
Q _{sep} = 6379	1.99

EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού - R_{cd}=(Q_s/γ_{bt}+Q_r/γ_s)/γ_m

R _{cd}	γ _m
5799	1.81
6379	1.99
6192	1.96

Φόρτιση "I" : n=2 , n_e=2 :
 Οδηγία E39/99 : n=1.3
 EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού - R_{cd}=(Q_s/γ_{bt}+Q_r/γ_s)/γ_m
 "DA-2**": γ_b=1.1, γ_s=1.1, γ_m= 1.3
 "DA-2* Ssm": γ_b=1.0, γ_s=1.0, γ_m=1.3
 "DA-1": γ_b=1.6, γ_s=1.3, γ_m= 1.0

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ - ABBREVIATIONS

S_u: Αστράγγιστη διατμ. αντοχή-Undrained shear strength
 q_c: Αντίσταση κώνου CPT-Cone penetration resistance
 σ_c: Αντοχή σε θλίψη-Compressive strength
 τ_{mf}: Πλευρική τριβή πασσάλου-Pile skin friction

Q_s: Αντίσταση αιχμής πασσάλου-Pile point resistance
 S: Καθίζηση κεφαλής πασσάλου-Pile Head Settlement
 D: Διάμετρος πασσάλου-Pile diameter
 K_h: Οριζόντιο μέτρο-Horizontal modulus
 Q_r: Αντοχή πλευρικής τριβής-Skin friction resistance

Q_s: Αντοχή αιχμής-Base resistance
 Q: Αντοχή θλίψης-Compressive capacity
 K_v: Μέτρο-Modulus (=Q/S, static)
 S^o: Ανύψωση-Uplift
 Q^o: Εφελακτική αντοχή-Tensile capacity (includ

Να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα πασσάλου μήκους 35 m, διαμέτρου 1.00 m, έδαφος αμμώδες με αντίσταση αιχμής στατικού πενетроμέτρου q_c = 8 MPa.

Να σχεδιασθεί το διάγραμμα φορτίου – καθίζησης.

Να υπολογισθεί το επιτρεπόμενο φορτίο σε στατικές και σεισμικές συνθήκες σύμφωνα με τις διατάξεις του Ευρωκώδικα για την ελληνική επικράτεια (Τρόπος ανάλυσης 2*, συνδυασμός A1+M1+R2)

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Βάθος				
0,00	Y.O.± 0.00			
sCM:	Καστανή, ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ, μέσης συνεκτικότητας – πλαστικότητας [CL]			
	W_p=26,3	W_L=42,8	PI=16,6	W=37,9
	γ_d=13,0	γ=17,8	G=2,68	N_{SPT}=6
	q_u=97	ε=6,1	C_u=45	C_c=0,299
	C_v=6,5*10⁻⁴	E_{odo}=3,5		
7,00	mcOH: Μελανότεφρη έως κυανοπράσινη, πολύ μαλακή οργανική ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ, υψηλής πλαστικότητας, με σποραδικές εμφανίσεις οστράκων και τύρφης [OH]			
	W_p=40,6	W_L=75,3	PI=34,7	W=101,9
	γ_d=7,2	γ=14,2	G=2,55	N_{SPT}=2
	C_u=15	q_u=18	ε=8,3	C_c=1,109
16,00	sML: Γκριζότεφρη έως μελανότεφρη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή [CL]			
	W_p=21,7	W_L=31,0	PI=9,3	W=41,1
	γ_d=13,2	γ=18,0	N_{SPT}=19	C_u=35
	q_u=59	ε=8,0	C_c=0,057	C_v=2,7*10⁻³
	E_{odo}=15,6			
32,00	SM: Γκριζότεφρη, λεπτόκοκκη – πυκνή ιλυώδης ΑΜΜΟΣ, με λίγους λεπτούς χάλικες [SM]			
	W=26,1	γ_d=15,3	γ=19,3	N_{SPT}=15
	φ=33	q_c=6	E_s=12	
44,00	gS: Πρασινότεφρη, μεσόκοκκη, πολύ πυκνή - συνεκτική ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες [SM]			
	W=18,1	γ_d=18,5	γ=21,6	N_{SPT}=35
	φ=36	q_c=12	E_s=40	

ΥΠΟΜΝΗΜΑ:

W _L	: Όριο υδαρότητας	W _p	: Όριο πλαστικότητας
W	: Φυσική υγρασία (%)	PI	: Δείκτης πλαστικότητας
γ	: Φαινόμενο βάρος (KN/m ³)	q _u	: Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (KPa)
γ _d	: Ξηρό φαινόμενο βάρος (KN/m ³)	G	: Ειδικό βάρος γαιών
ε	: Αξονική παραμόρφωση (%)	N _{SPT}	: Αριθμός χτύπων δοκιμής SPT
C _c	: Δείκτης συμπίεστικότητας	φ	: Γωνία τριβής (°)
C _v	: Συντελεστής στερεοποίησης (cm ² /sec)	c	: Συνοχή (kPa)
c _u	: Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (KPa)	E _s	: Μέτρο συμπίεστικότητας (MPa)
E _{odo}	: Μέτρο συμπίεστικότητας (MPa) δοκιμή στερεοποίησης		

Άσκηση

Η εδαφική τομή σχεδιασμού που δίνεται αντιστοιχεί σε θέση κατασκευής γέφυρας. Από προκαταρκτικές επιλύσεις προέκυψε η ανάγκη επιτρεπόμενου φορτίου πασσάλου 8400 kN. Αν υποθεθεί ότι η διάμετρος του πασσάλου είναι ίση με 1.50 m να προσδιορισθεί το μήκος του πασσάλου. Θεώρηση βάθους ενεργοποίησης τριβής στα -2.00m. Να σχεδιασθούν τα διαγράμματα φορτίου-μετακίνησης για θλιπτικό φορτίο και φορτίο ελκυσμού απουσία Υ.Ο. Ποια είναι η αναμενόμενη καθίζηση για φορτίο 5200 kN και ποια η τιμή της ελατηριακής σταθεράς προσομοίωσης της απόκρισης για το φορτίο αυτό. Όλοι οι σχετικοί υπολογισμοί και η επιλογή παραμέτρων να γίνουν με εφαρμογή του γερμανικού κανονισμού DIN 4014, ενώ οι μερικοί Σ.Α. να ληφθούν σύμφωνα με τον EN1997 όπως εφαρμόζεται στην Ελλάδα.

Στρώση Layer	Στάθμη Level (m)	Τύπος εδάφους Soil type	Su kPa	qc MPa	qu MPa	τ _{mf}	Επιφάνεια Area m ²	Qr kN	Κατ/ρυφη Δύναμη kN/m	Οριζόντια Ελατήρια MN/m ²
1	-7.0	2	45			0.029	23.56	683	136.7	3.0
2	-16.0	2	15			0.015	42.41	636	70.7	1.0
3	-32.0	2	35			0.027	75.40	2036	127.2	2.3
4	-44.0	1		6.0		0.048	56.55	2714	226.2	27.0
5	-50.0	1		12.0		0.096	18.85	1810	452.4	54.0

Τύπος εδάφους (Soil type): 1, 2, 3 ; Ψαθυρό (Non cohesive), Συνεκτικό (Cohesive), Βραχώδες (Rock)

7879

ΤΑΣΗ ΑΙΧΜΗΣ (MPa) = 2.40

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

Σχετικό Υψόμετρο Εδάφους - Rel Ground Level (m)= 0.00

Απόλυτο Υψόμετρο Εδάφους - Abs Ground Level (m)= 0.00

Διάμετρος Πασσάλου - Pile Diameter (m)= 1.50

Στάθμη Κεφαλής Πασσάλου - Pile top Level (m)= 0.00

Στάθμη Αιχμής Πασσάλου - Pile base Level (m)= -48.0

Μήκος Πασσάλου - Pile Length (m)= 48.00

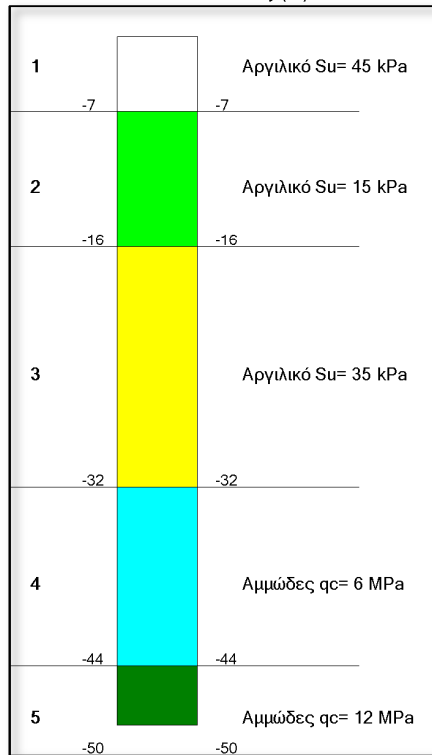
Βάθος Ενεργον. Τριβής-Level of Q_r Mobilization (m)= -2.00

Στάθμη Υπόγειου νερού - Ground WT Level (m)= -50.00

ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Απόλυτο

Βάθος (m)



S (cm)	Q _r (kN)	Q _s (kN)	Q (kN)	K _v (MN/m)
3.0	7879	1484	9363	312.1
3.0	7879	1484	9363	312.1
4.5	7879	1908	9787	217.5
15.0	7879	4239	12118	80.8

DIN 1054 : Επιτρεπόμενα Φορτία Q_{επ}=(Q_r+Q_s)/n

Φόρτιση "1" : n=2 , n_e=2 :

Οδηγία E39/99 : n=1.3

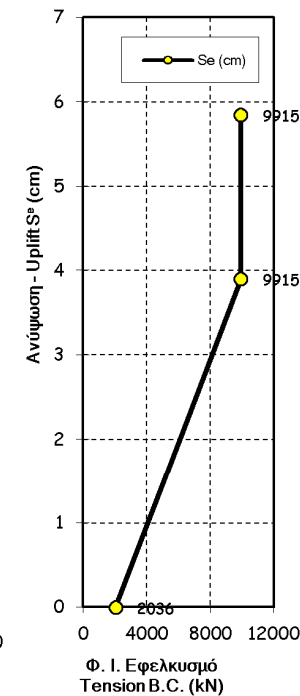
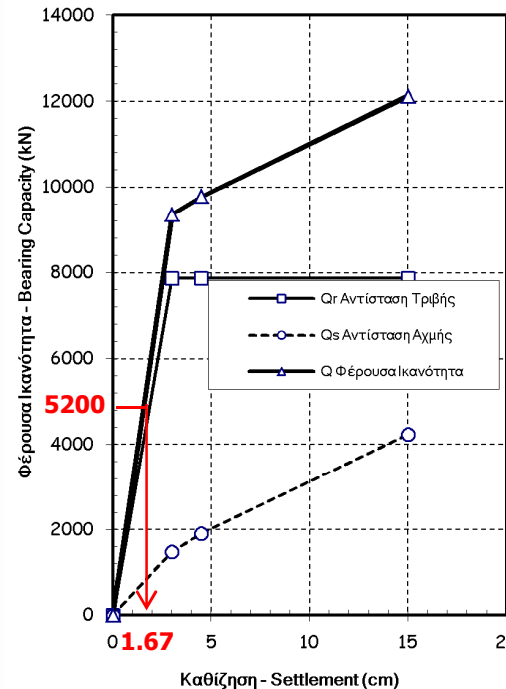
EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού - Rcd=(Q_s/γ_b+Q_r/γ_s)/γ_m

"DA-2*": γ_b=1.1, γ_s=1.1, γ_m=1.3

"DA-2* Ssm": γ_b=1.0, γ_s=1.0, γ_m=1.3

"DA-1": γ_b=1.6, γ_s=1.3, γ_m=1.0

Q _{επ}	S(cm)	K _v (MN/m)
6059	1.94	312.1
9322	2.99	312.1
Rcd= 8474	2.72	312.1
Rcd= 9322	2.99	312.1
Rcd= 8710	2.79	312.1



8474 > 8400 ✓

K_v = 5200 kN / 1.667 cm =
 (= 9363 kN / 3.0 cm =)
 = 312.1 MN/m

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Βάθος	Περιγραφή	W _P	W _L	PI	W
0,00	sCM: Καστανή, ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ , μέσης συνεκτικότητας – πλαστικότητας [CL]	26,3	42,8	16,6	37,9
		γ _d =13,0	γ=17,8	G=2,68	N _{SPT} =6
		q _u =97	ε=6,1	C_u=35	C _c =0,299
		C _v =6,5*10 ⁻⁴	E _{odo} =3,5		
4,00	mcOH: Μελανότεφρη έως κυανοπράσινη, πολύ μαλακή οργανική ιλυώδης ΑΡΓΙΛΟΣ , υψηλής πλαστικότητας, με σποραδικές εμφανίσεις οστράκων και τύρφης [OH]	40,6	75,3	34,7	101,9
		γ _d =7,2	γ=14,2	G=2,55	N _{SPT} =2
		C_u=25	q _u =18	ε=8,3	C _c =1,109
12,00	sML: Γκριζότεφρη έως μελανότεφρη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ , μέσης συνεκτικότητας έως στιφρή [CL]	21,7	31,0	9,3	41,1
		γ _d =13,2	γ=18,0	N _{SPT} =19	C_u=32
		q _u =59	ε=8,0	C _c =0,057	C _v =2,7*10 ⁻³
		E _{odo} =15,62			
25,00	SM: Γκριζότεφρη, λεπτόκοκκη – πυκνή ιλυώδης ΑΜΜΟΣ , με λίγους λεπτούς χάλικες [SM]	26,1	γ _d =15,3	γ=19,3	N _{SPT} =15
		φ=33	q_s=8	E _s =12	
34,00	gS: Πρασινότεφρη, μεσόκοκκη, πολύ πυκνή - συνεκτική ιλυώδης ΑΜΜΟΣ με χάλικες [SM]	18,1	γ _d =18,5	γ=21,6	N _{SPT} =35
		φ=36	q_s=14	E _s =40	

Φορτία

Στατικές συνθήκες

$$A = 1.35 \cdot 3800 + 1.5 \cdot 2900 = 9480 \text{ kN}$$

Σεισμική δράση

$$A = 11025 \text{ kN}$$

$$D = 1.50 \text{ m}$$

$$\text{κεφαλόδεσμος } 2.5 \text{ m}$$

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Φορτία

Στατικές συνθήκες

$$A = 1.35 \cdot 3800 + 1.5 \cdot 2900 = 9480 \text{ kN}$$

Σεισμική δράση

$$A = 11025 \text{ kN}$$

$$D = 1.50 \text{ m}$$

κεφαλόδεσμος 2.5 m

$$L5 = 9.95 \text{ m}, L = 43.95 \text{ m}$$

Στρώση Layer	Στάθμη Level (m)	Τύπος εδάφους Soil type	Su kPa	qc MPa	qu MPa	τ _{mf}	Επιφάνεια Area m ²	Qr kN	QR/1.1/1.3	9480
1	-4.0	2	65			0.033	7.07	233	163.1	9316.9
2	-12.0	2	37			0.027	37.70	1033	722.3	8594.5
3	-25.0	2	28			0.026	61.26	1568	1096.7	7497.8
4	-34.0	1		8.0		0.064	42.41	2714	1898.1	5599.7
5	-60.0	1		11.0		0.088	46.89	4126	2882.4	
								9675		

Τύπος εδάφους (Soil type): 1, 2, 3; Ψαθυρό (Non cohesive), Συνεκτικό (Cohesive), Βραχώδες (Rock)

$$\text{ΤΑΣΗ ΑΙΧΜΗΣ (MPa)} = 2.20$$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

2717

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

S (cm)	Q _r (kN)	Q _s (kN)	Q (kN)	K _v (MN/m)
3.0	9675	1360	11035	367.8
3.0	9675	1360	11035	367.8
4.5	9675	1749	11424	253.9
15.0	9675	3886	13561	90.4

DIN 1054 : Επιτρεπόμενα Φορτία $Q_{\text{επ}}=(Q_r+Q_s)/n$ S(cm) K_v(MN/m)

Φόρτιση "1" : n=2 , n_e=2 :

$Q_{\text{επ}}= 6780$ 1.84 367.7

Οδηγία E39/99 : n=1.3

$Q_{\text{επ}}= 10431$ 2.84 367.7

EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού - $R_{\text{cd}}=(Q_s/\gamma_b+Q_r/\gamma_s)/\gamma_m$

"DA-2*": $\gamma_b=1.1, \gamma_s=1.1, \gamma_m= 1.3$

$R_{\text{cd}}= 9483$ 2.58 367.7

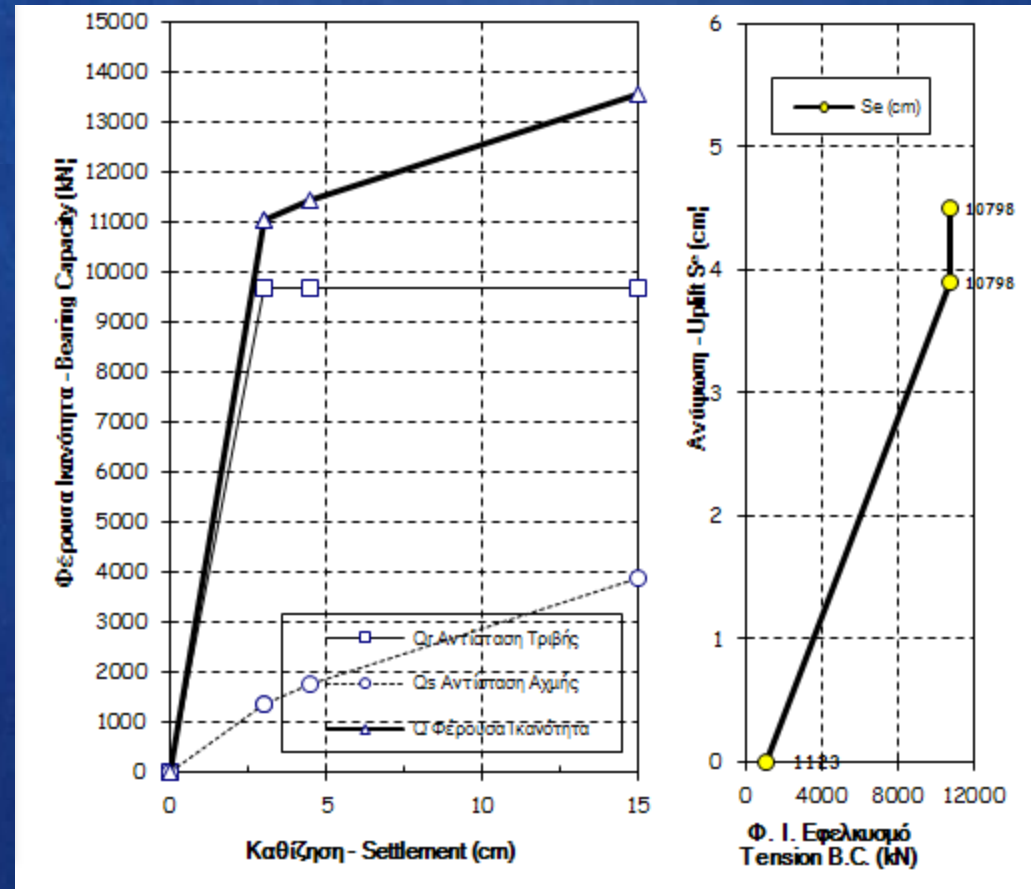
"DA-2* Ssm": $\gamma_b=1.0, \gamma_s=1.0, \gamma_m=1.3$

$R_{\text{cd}}= 10431$ 2.84 367.7

"DA-1": $\gamma_b=1.6, \gamma_s=1.3, \gamma_m= 1.0$

$R_{\text{cd}}= 9871$ 2.68 367.7

9483 kN > 9480 kN ✓
 10431 kN < 11025 kN ?
 Επομένως απαιτείται
 μεγαλύτερο μήκος πασσάλου



Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

Φορτία

Στατικές συνθήκες

$$A = 1.35 \cdot 3800 + 1.5 \cdot 2900 = 9480 \text{ kN}$$

Σεισμική δράση

$$A = 11025 \text{ kN}$$

$$D = 1.50 \text{ m}$$

κεφαλόδεσμος 2.5 m

$$L5 = 11.80 \text{ m}, L = 45.80 \text{ m}$$

Στρώση Layer	Στάθμη Level (m)	Τύπος εδάφους Soil type	Su kPa	q _c MPa	q _u MPa	τ _{mf}	Επιφάνεια Area m ²	Qr kN	QR/1.0/1.3	11025
1	-4.0	2	65			0.033	7.07	233	179.4	10845.6
2	-12.0	2	37			0.027	37.70	1033	794.6	10051.0
3	-25.0	2	28			0.026	61.26	1568	1206.4	8844.6
4	-34.0	1		8.0		0.064	42.41	2714	2088.0	6756.7
5	-60.0	1		11.0		0.088	55.61	4893	3767.6	

Τύπος εδάφους (Soil type): 1, 2, 3 ; Ψαθυρό (Non cohesive), Συνεκτικό (Cohesive), Βραχώδες (Rock)

10442

$$\text{TΑΣΗ ΑΙΧΜΗΣ (MPa)} = 2.20$$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΠΑΣΣΑΛΟΥ

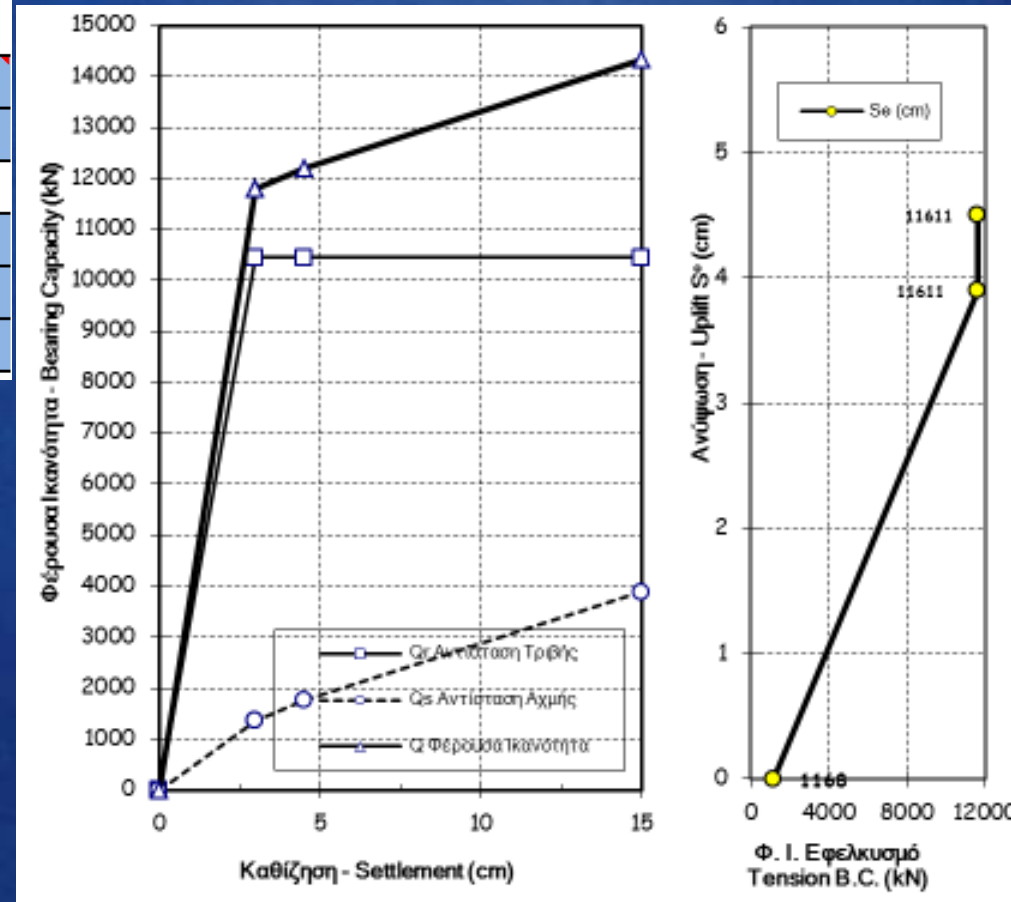
2989

Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7

S (cm)	Q _r (kN)	Q _s (kN)	Q (kN)	K _v (MN/m)
3.0	10442	1360	11802	393.4
3.0	10442	1360	11802	393.4
4.5	10442	1749	12191	270.9
15.0	10442	3886	14328	95.5

DIN 1054 : Επιτρεπόμενα Φορτία	Q _{επ} =(Q _r +Q _s)/n	S(cm)	K _v (MN/m)
Φόρτιση "1" : n=2 , n _e =2 :	Q _{επ} = 7164	1.82	393.9
Οδηγία E39/99 : n=1.3	Q _{επ} = 11021	2.80	393.9
EN 1997-1 : Αντοχές σχεδιασμού -	R _{cd} =(Q _s /γ _b +Q _r /γ _s)/γ _m		
"DA-2*": γ _b =1.1, γ _s =1.1, γ _m = 1.3	R _{cd} = 10020	2.54	393.9
"DA-2* Ssm": γ _b =1.0, γ _s =1.0, γ _m =1.3	R _{cd} = 11021	2.80	393.9
"DA-1": γ _b =1.6, γ _s =1.3, γ _m = 1.0	R _{cd} = 10461	2.66	393.8

10020 kN > 9480 kN ✓
 11021 kN < 11025 kN ✓
 Επομένως το μήκος πασσάλου επαρκεί.



Βαθιές Θεμελιώσεις | DIN 4014 – Ευρωκώδικας 7



τέλος

Αιμίλιος Κωμοδρόμος, Καθηγητής, Εργαστήριο Υ.Γ.Μ.
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας | Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών