

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

« ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »

7ο ΕΞ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Έτος 2005 - 06

ΔΙΑΛΕΞΗ 10

Θεμελιώσεις με πασσάλους :

Ανάλυση φέρουσας ικανότητας κατά τον Ευρωκώδικα 7

21.12.2005

ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΜΕ ΠΑΣΣΑΛΟΥΣ

1. Κατηγορίες πασσάλων
2. Αξονική φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου
 - 2.1 Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι (πάσσαλοι εκτοπίσεως)
 - 2.2 Εγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)
 - ➡ 2.3 Ανάλυση της επάρκειας πασσάλων κατά τον Ευρωκώδικα 7
3. Καθιζήσεις μεμονωμένου πασσάλου
4. Ομάδες πασσάλων
 - 4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας
 - 4.2 Κατανομή των φορτίων της ομάδας στους πασσάλους
 - 4.3 Καθιζήσεις ομάδας πασσάλων
5. Εγκάρσια φόρτιση πασσάλων

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων
(θλίψη και εφελκυσμός)

Ορισμοί :

Δράσεις (actions : F) : Φορτία εκ της ανωδομής και λοιπές επιπονήσεις (π.χ. υποχώρηση στήριξης, θερμοκρασιακή μεταβολή).

Γεωτεχνικές δράσεις (G) : Δράσεις που προέρχονται από το έδαφος (π.χ. αρνητική τριβή σε πάσσαλο)

Αποτελέσματα των δράσεων (action effects : E) : Συνιστάμενες δράσεις (π.χ. συνολικό φορτίο πασσάλου) και εντατικά μεγέθη (π.χ. αξονική δύναμη πασσάλου)

$$E = \sum F + \sum G$$

Εδαφικές παράμετροι (X) : π.χ. γωνία τριβής, συνοχή, ειδικό βάρος.

Αντιστάσεις (Resistances : R) : Αντιστάσεις στα αποτελέσματα των δράσεων (π.χ. φέρουσα ικανότητα πασσάλου, αντίσταση πλευρικής τριβής, αντίσταση αιχμής).

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Ορισμοί (συνέχεια) :

Χαρακτηριστικές τιμές δράσεων (F_k) και εδαφικών παραμέτρων (X_k) : συντηρητικές εκτιμήσεις των τιμών τους (5% πιθανότητα υπέρβασης)

Χαρακτηριστικές τιμές γεωτεχνικών δράσεων (G_k), αποτελεσμάτων δράσεων (E_k) και αντιστάσεων (R_k) : Συνήθως υπολογίζονται μέσω των χαρακτηριστικών τιμών των μεγεθών που τις επηρεάζουν :

$$G_k = G(X_k) \quad E_k = E(F_k, G_k, X_k) \quad R_k = R(X_k)$$

Τιμές σχεδιασμού δράσεων (F_d) : τιμές που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές τιμές των δράσεων (F_k) με εφαρμογή των αντίστοιχων επιμέρους συντελεστών δράσεων ($\gamma_F \geq 1$) και των συντελεστών συνδυασμού δράσεων ($\psi \leq 1$) :

$$F_d = \psi \gamma_F F_k$$

Τιμές σχεδιασμού εδαφικών παραμέτρων (X_d) : τιμές που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές τιμές εδαφικών παραμέτρων (X_k) με εφαρμογή των αντίστοιχων επιμέρους συντελεστών ($\gamma_M \geq 1$) :

$$X_d = X_k / \gamma_M$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Ορισμοί (συνέχεια) :

Τιμές σχεδιασμού γεωτεχνικών δράσεων (G_d) : τιμές που προκύπτουν με εφαρμογή των εναλλακτικών σχέσεων :

$$G_d = \psi \gamma_F G_k \quad (\text{τύπος I})$$

$$G_d = \psi G(X_d) \quad (\text{τύπος II})$$

Τιμές σχεδιασμού αποτελεσμάτων δράσεων (E_d) : τιμές που προκύπτουν με εφαρμογή των εναλλακτικών σχέσεων :

$$E_d = \gamma_E \left\{ \sum \psi F_k + \sum \psi G_k \right\} \quad (\text{τύπος I})$$

$$E_d = \sum F_d + \sum G_d \quad (\text{τύπος II})$$

όπου : γ_E = επιμέρους συντελεστής αποτελεσμάτων δράσεων (συνήθως = γ_F)

Τιμές σχεδιασμού αντιστάσεων (R_d) : τιμές που συνήθως προκύπτουν με εφαρμογή των εναλλακτικών σχέσεων :

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R(X_k) \quad R_d = R(X_d)$$

(τύπος I – μέσω της χαρακτηριστικής τιμής)

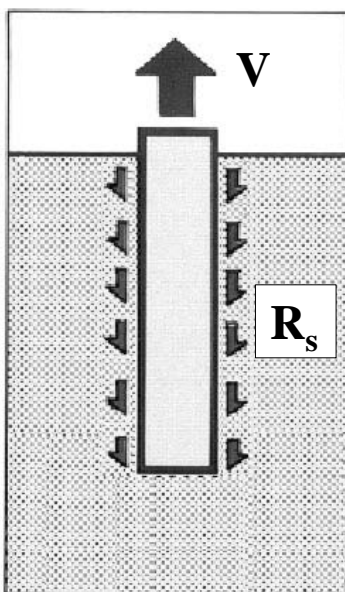
(τύπος II)

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Ελεγχος επάρκειας έναντι υπέρβασης της φέρουσας ικανότητας : $F_d \leq R_{u,d}$

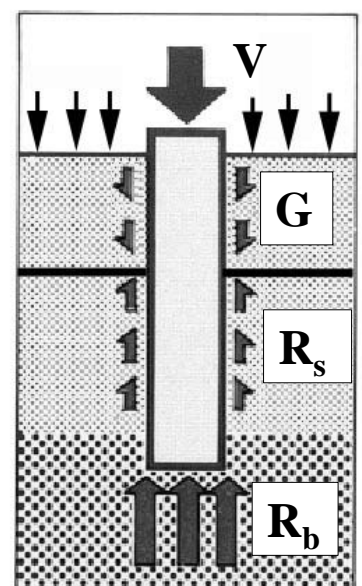
F_d = Τιμή σχεδιασμού (design value) των θλιπτικών ή εφελκυστικών δράσεων του πασσάλου. Μπορεί να είναι φορτία εκ της ανωδομής (V) ή/και γεωτεχνικές δράσεις (G), π.χ. αρνητική τριβή.

$R_{u,d}$ = Τιμή σχεδιασμού της οριακής αντίστασης του εδάφους (φέρουσα ικανότητα) σε θλίψη ή εφελκυσμό. Συνήθως είναι η πλευρική τριβή (R_s) και η αντίσταση αιχμής (R_b) (μόνον στη θλίψη).



Σε εφελκυσμό :

$$V_d \leq R_{sd}$$



Σε θλίψη :

$$V_d + G_d \leq R_{sd} + R_{bd}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

1. Υπολογισμός των τιμών σχεδιασμού των δράσεων (Μέθοδος Δ1) :

$$F_d = \sum \psi \gamma_F V_k + \sum G_d$$

όπου : $G_d = \psi \gamma_F G(c_k, \tan \phi_k)$ (τύπος I) ή : $G_d = \psi G\left(\frac{c_k}{\gamma_M}, \frac{\tan \phi_k}{\gamma_M}\right)$ (τύπος II)

V_k = χαρακτηριστική τιμή των φορτίων εκ της ανωδομής

G = γεωτεχνική δράση επί του πασσάλου (π.χ. αρνητική τριβή)

ψ = συντελεστής συνδυασμού δράσεων (≤ 1)

γ_F = επιμέρους συντελεστής δράσεων

c_k, ϕ_k = χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων αντοχής

γ_M = επιμέρους συντελεστής αντοχής υλικών

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

1. Υπολογισμός των τιμών σχεδιασμού των δράσεων (Μέθοδος Δ2) :

$$F_d = \gamma_E \left\{ \sum \psi V_k + \sum \psi G_k \right\}$$

όπου : $G_k = G(c_k, \tan \phi_k)$

V_k = χαρακτηριστική τιμή των φορτίων εκ της ανωδομής

ψ = συντελεστής συνδυασμού δράσεων (≤ 1)

γ_F = επιμέρους συντελεστής δράσεων

c_k, ϕ_k = χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων αντοχής

G_k = χαρακτηριστική τιμή της γεωτεχνικής δράσης επί του πασσάλου (π.χ. αρνητική τριβή)

γ_E = επιμέρους συντελεστής συνιστάμενης δράσης (συνήθως = γ_F)

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

2. Υπολογισμός της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$) :

Ο Ευρωκώδικας 7 εισάγει μια νέα λογική στον υπολογισμό της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης πασσάλων, μέσω των συντελεστών συσχέτισης (ξ) οι οποίοι εξαρτώνται από τον αριθμό (n) των διαθέσιμων στατικών ή δυναμικών φορτίσεων πασσάλων ή τον αριθμό (n) των διαθέσιμων γεωτεχνικών προφίλ (π.χ γεωτρήσεων ή επιτόπου δοκιμών).

Διατίθενται τέσσερις μέθοδοι υπολογισμού του $R_{u,k}$:

1. Μέσω ενός αριθμού (n) γεωτεχνικών προφίλ (π.χ. γεωτρήσεων ή επιτόπου δοκιμών) από τις οποίες εκτιμώνται η πλευρική τριβή και η αντίσταση αιχμής
2. Μέσω ενός αριθμού (n) στατικών δοκιμαστικών φορτίσεων πασσάλων
3. Μέσω ενός αριθμού (n) δυναμικών δοκιμαστικών φορτίσεων πασσάλων
4. Μέσω των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων από τις οποίες εκτιμώνται η πλευρική τριβή και η αντίσταση αιχμής

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : Η τελευταία μέθοδος (4) δεν χρησιμοποιεί τους συντελεστές συσχέτισης (ξ). Αντ' αυτών, χρησιμοποιείται ένας συντελεστής προσομοίωσης (γ_m) ώστε η μέθοδος (4) να είναι συμβατή με τις προηγούμενες τρεις.

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 1 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Αναλύονται (n) γεωτεχνικά προφίλ* (π.χ. γεωτρήσεις ή επιτόπου δοκιμές). Από καθένα εκτιμάται ένα προφίλ “αντιπροσωπευτικών τιμών” των γεωτεχνικών παραμέτρων (π.χ. c_u ή q_c) μέσω των οποίων υπολογίζεται ένα προφίλ των οριακών τιμών πλευρικής τριβής (f_{su}) και αντοχής αιχμής (q_{bu}). Από τις τιμές αυτές υπολογίζεται η οριακή αντίσταση του πασσάλου R_u . Έτσι προκύπτουν (n) τιμές του R_u .

* προφίλ = κατανομή με το βάθος

$$\text{Προφίλ } i \text{ (} i = 1, 2, \dots, n \text{)} : \Rightarrow (f_{su}, q_{bu}) \Rightarrow \begin{cases} R_{su} = \pi D \sum f_{su} \Delta z \\ R_{bu} = A_b q_{bu} \\ R_u = R_{su} + R_{bu} \end{cases}$$

Υπολογισμός του μέσου όρου ($R_{u,mean}$) και της ελάχιστης τιμής ($R_{u,min}$) της αντίστασης (μεταξύ των ανωτέρω τιμών) :

$$R_{u,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_u \qquad R_{u,min} = \min\{R_u\}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 1 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης :
$$R_{u,k} = \min \left\{ \frac{R_{u,mean}}{\xi_3}, \frac{R_{u,min}}{\xi_4} \right\}$$

όπου, ξ_3 και ξ_4 είναι συντελεστές συσχέτισης που εξαρτώνται από τον αριθμό "n" των εδαφικών προφίλ που αναλύονται :

Table A.10 - Correlation factors ξ to derive characteristic values from ground test results (n - the number of profiles of tests)

ξ for n =	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,40	1,35	1,33	1,31	1,29	1,27	1,25
ξ_4	1,40	1,27	1,23	1,20	1,15	1,12	1,08

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 1 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Εναλλακτικός (ισοδύναμος) τρόπος :
 Προφίλ i (i = 1,2, ...n) : $\Rightarrow (f_{su}, q_{bu}) \Rightarrow$

$$\begin{cases} R_{su} = \pi D \sum f_{su} \Delta z \\ R_{bu} = A_b q_{bu} \end{cases}$$

Υπολογισμός του μέσου όρου και της ελάχιστης τιμής της αντίστασης (μεταξύ των ανωτέρω τιμών) :

$$R_{su,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{su} \quad R_{su,min} = \min\{R_{su}\}$$

$$R_{bu,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{bu} \quad R_{bu,min} = \min\{R_{bu}\}$$

Χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης πλευρικής τριβής και αιχμής :

$$R_{su,k} = \min \left\{ \frac{R_{su,mean}}{\xi_3}, \frac{R_{su,min}}{\xi_4} \right\} \quad R_{bu,k} = \min \left\{ \frac{R_{bu,mean}}{\xi_3}, \frac{R_{bu,min}}{\xi_4} \right\}$$

οπότε :
$$R_{u,k} = R_{su,k} + R_{bu,k}$$

Μέθοδος 2 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Μέσω αποτελεσμάτων στατικών δοκιμαστικών φορτίσεων σε πασσάλους. Εάν διατίθενται «n» δοκιμαστικές φορτίσεις με μετρηθείσα οριακή αντίσταση εκάστης R_u :

Υπολογισμός του μέσου όρου ($R_{u,mean}$) και της ελάχιστης τιμής ($R_{u,min}$) της αντίστασης (μεταξύ των ανωτέρω τιμών) :

$$R_{u,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_u \quad R_{u,min} = \min\{R_u\}$$

Χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης :

$$R_{u,k} = \min\left\{\frac{R_{u,mean}}{\xi_1}, \frac{R_{u,min}}{\xi_2}\right\}$$

όπου, ξ_1 και ξ_2 είναι συντελεστές συσχέτισεως που εξαρτώνται από τον αριθμό "n" των στατικών δοκιμαστικών φορτίσεων :

Table A.9 - Correlation factors ξ to derive characteristic values from static pile load tests (n - number of tested piles)

ξ for n =	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

Σε περίπτωση ομάδας θλιβόμενων πασσάλων με άκαμπτο κεφαλόδεσμο, οι συντελεστές «ξ» μπορούν να μειωθούν κατά 10% (αλλά $\xi \geq 1$)

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 3 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Η μέθοδος εφαρμόζεται όταν διατίθενται αποτελέσματα δυναμικών δοκιμών σε εμπηγνυόμενους πασσάλους (π.χ. από κυματική ανάλυση – wave equation – ή δυναμικούς τύπους – Hiley formula).

Εάν διατίθενται «n» δοκιμές με μετρηθείσα οριακή αντίσταση εκάστης R_u , τότε :

Υπολογισμός του μέσου όρου ($R_{u,mean}$) και της ελάχιστης τιμής ($R_{u,min}$) της αντίστασης (μεταξύ των ανωτέρω τιμών) :

$$R_{u,mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_u \quad R_{u,min} = \min\{R_u\}$$

Χαρακτηριστική τιμή της αντίστασης :

$$R_{u,k} = \min\left\{\frac{R_{u,mean}}{\xi_5}, \frac{R_{u,min}}{\xi_6}\right\}$$

όπου, ξ_5 και ξ_6 είναι συντελεστές συσχέτισεως που εξαρτώνται από τον αριθμό "n" των δυναμικών δοκιμών :

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 3 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

ξ_5 , ξ_6 : συντελεστές συσχέτισης - εξαρτώνται από τον αριθμό "n" των δυναμικών δοκιμών

Table A.11 - Correlation factors ξ to derive characteristic values from dynamic impact tests^{a, b, c, d, e} (n - number of tested piles)

ξ for $n =$	≥ 2	≥ 5	≥ 10	≥ 15	≥ 20
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

^a The ξ -values in the table are valid for dynamic impact tests.

^b The ξ -values may be multiplied with a model factor of 0,85 when using dynamic impact tests with signal matching.

^c The ξ - values should be multiplied with a model factor of 1,10 when using a pile driving formula with measurement of the quasi-elastic pile head displacement during the impact.

^d The ξ -values shall be multiplied with a model factor of 1,20 when using a pile driving formula without measurement of the quasi-elastic pile head displacement during the impact.

^e If different piles exist in the foundation, groups of similar piles should be considered separately when selecting the number n of test piles.

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 4 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Πρόκειται για την κλασσική μέθοδο : Με βάση τα αποτελέσματα επιτόπου δοκιμών (π.χ. SPT, CPT, PMT) ή/και εργαστηριακών δοκιμών (π.χ. UU, CU, DS) προκύπτει ένα αντιπροσωπευτικό γεωτεχνικό προφίλ των χαρακτηριστικών τιμών των εδαφικών παραμέτρων (π.χ c_u , q_c , N) από τις οποίες υπολογίζεται ένα προφίλ χαρακτηριστικών τιμών πλευρικής τριβής ($f_{su,k}$) και αντοχής αιχμής ($q_{bu,k}$). Από τις τιμές αυτές υπολογίζεται η χαρακτηριστική τιμή της οριακής αντίστασης του πασσάλου :

$$R_{u,k} = R_{su,k} + R_{bu,k}$$

όπου :

$$R_{su,k} = \pi D \sum f_{su,k} \Delta z \quad \text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής}$$

$$R_{bu,k} = A_b q_{bu,k} \quad \text{Οριακή αντίσταση αιχμής}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Μέθοδος 4 : υπολογισμού της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης ($R_{u,k}$)

Οι Μέθοδοι 1, 2, 3 υπολογισμού των χαρακτηριστικών τιμών των αντιστάσεων ($R_{su,k}$ και $R_{bu,k}$) χρησιμοποιούν συντελεστές συσχέτισης (ξ) οι οποίοι εξαρτώνται από το πλήθος των διαθέσιμων στοιχείων (αριθμός επιτόπου δοκιμών, γεωτρήσεων κλπ).

Αντιθέτως, η Μέθοδος 4 υπολογίζει τα $R_{su,k}$ και $R_{pu,k}$ μέσω των χαρακτηριστικών τιμών των μοναδιαίων αντιστάσεων ($f_{su,k}$ και $q_{pu,k}$) χωρίς τη χρήση συντελεστών συσχέτισης (ξ).

Για τον λόγο αυτό, οι τιμές των $R_{su,k}$ και $R_{pu,k}$ που υπολογίζονται με τη Μέθοδο 4 είναι συνήθως μεγαλύτερες κατά 30% (περίπου) των αντίστοιχων τιμών που υπολογίζονται με τις Μεθόδους 1, 2, και 3. Συνεπώς, οι τιμές των $R_{su,k}$ και $R_{pu,k}$ που υπολογίζονται με τη Μέθοδο 4 θα πρέπει να διαιρούνται με ένα συντελεστή προσομοίωσης (model factor) $\gamma_m = 1.30$, δηλαδή :

$$R_{su,k} = \frac{1}{\gamma_m} \pi D \sum f_{su,k} \Delta z \qquad R_{bu,k} = \frac{1}{\gamma_m} A_b q_{bu,k}$$

Με τον τρόπο αυτό, ο βαθμός ασφάλειας πασσάλων που σχεδιάζονται με τη Μέθοδο 4 (του Ευρωκώδικα 7) είναι ανάλογος του βαθμού ασφάλειας της κλασσικής μεθόδου (συντελεστής ασφαλείας περίπου FS=2).

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

3. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της οριακής αντίστασης ($R_{u,d}$) :

Τύπος	Τύπος υπολογισμού	Εφαρμογή σε Μέθοδο
(T1)	$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_R} R_{u,k}$	1, 4, 2, 3
(T2)	$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_R} [R_{su,k} + R_{bu,k}]$	1, 4
(T3)	$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_R} [R_{su}(X_d) + R_{bu}(X_d)] = \frac{1}{\gamma_R} [R_{su,d} + R_{bu,d}]$	4
(T4)	$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{bu,k} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,k}$	1, 4
(T5)	$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su}(X_d) + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu}(X_d) = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su,d} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,d}$	4

Σε εφελκόμενους πασσάλους λαμβάνεται υπόψη MONON η πλευρική τριβή

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

3. Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της οριακής αντίστασης ($R_{u,d}$) :

$$X_d = \text{τιμές σχεδιασμού των εδαφικών παραμέτρων} : X_d = \frac{1}{\gamma_M} X_k$$

c_k, φ_k = χαρακτηριστικές τιμές των εδαφικών παραμέτρων αντοχής

γ_M = επιμέρους συντελεστής αντοχής υλικών

R_{su}, R_{bu} = οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής και αντίσταση αιχμής

$R_{su,k}, R_{bu,k}$ = χαρακτηριστική τιμή της οριακής αντίστασης πλευρικής τριβής και αντίστασης αιχμής

$R_{su,d}, R_{bu,d}$ = τιμή σχεδιασμού της οριακής αντίστασης πλευρικής τριβής και αντίστασης αιχμής

γ_R = επιμέρους συντελεστής επί της συνολικής αντιστάσεως

γ_{sR} = επιμέρους συντελεστής επί της αντιστάσεως πλευρικής τριβής

γ_{bR} = επιμέρους συντελεστής επί της αντιστάσεως αιχμής

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Τιμές των επιμέρους συντελεστών A: γ_F, γ_E , M: γ_M , R: $\gamma_R, \gamma_{sR}, \gamma_{bR}$

Τρόπος Ανάλυσης (Τ.Α.)	Τιμές των επιμέρους συντελεστών (από τους πίνακες που ακολουθούν και περιλαμβάνουν τα A_i, M_i, R_i)		
	Δράσεις εκ της ανωδομής (γ_F, γ_E)	Γεωτεχνικές δράσεις γ_M και (γ_F, γ_E)	Αντιστάσεις γ_M και ($\gamma_R, \gamma_{sR}, \gamma_{bR}$) και τύπος υπολογισμού (T)
1 – Συνδ. 1	(A1)	(M1) + (A1)	(M1) + (R1) , (T1,T2 ή T4)
1 – Συνδ. 2	(A2)	(M2) + (A2)	(M1) + (R4) , (T1,T2 ή T4)
2	(A1)	(M1) + (A1)	(M1) + (R2) , (T1,T2 ή T4)
3	(A1)	(M2) + (A2)	(M2) + (R3) , (T3 ή T5)

Παρατηρήσεις :

1. Η επιλογή ενός εκ των τριών Τρόπων Ανάλυσης γίνεται σε Εθνικό επίπεδο. Στην Ελλάδα εφαρμόζεται ο Τρόπος Ανάλυσης 2.
2. Ο υπολογισμός των δράσεων γίνεται με τις Μεθόδους Δ1 ή Δ2 (εναλλακτικά)
3. Στον Τ.Α. 1, εφαρμόζεται ο δυσμενέστερος εκ των Συνδυασμών 1 & 2
4. Στον Τ.Α. 3 εφαρμόζεται μόνον η Μέθοδος 4 στον υπολογισμό της αντίστασης (R)

Ανάλυση της επάρκειας
θεμελιώσεων με
πασσάλους κατά τον
Ευρωκώδικα 7

Επιμέρους
συντελεστές
δράσεων (γ_F και γ_E)

Για μόνιμες και
παροδικές φορτίσεις

Επιμέρους
συντελεστές
εδαφικού υλικού (γ_M)

Table A.3 - Partial factors on actions (γ_F) or the effects of actions (γ_E)

Action		Symbol	Set	
			A1	A2
Permanent	Unfavourable	γ_G	1,35	1,0
	Favourable		1,0	1,0
Variable	Unfavourable	γ_Q	1,5	1,3
	Favourable		0	0

γ_G on permanent unfavourable or favourable actions

γ_Q on variable unfavourable or favourable actions.

Table A.4 - Partial factors for soil parameters (γ_M)

Soil parameter	Symbol	Set	
		M1	M2
Angle of shearing resistance ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Effective cohesion	γ_c	1,0	1,25
Undrained shear strength	γ_{cu}	1,0	1,4
Unconfined strength	γ_{qu}	1,0	1,4
Weight density	γ_r	1,0	1,0
^a This factor is applied to $\tan \phi'$			

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Επιμέρους συντελεστές αντιστάσεων (γ_R) για εμπηγνυόμενους πασσάλους

Table A.6- Partial resistance factors (γ_R) for driven piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Αντίσταση αιχμής	γ_{bR}	1,0	1,1	1,0	1,3
Αντίσταση πλευρικής τριβής (θλίψη)	γ_{sR}	1,0	1,1	1,0	1,3
Συνολική αντίσταση	γ_R	1,0	1,1	1,0	1,3
Αντίσταση πλευρικής τριβής (εφελκυσμός)	γ_{sR}	1,25	1,15	1,1	1,6

Για μόνιμες και παροδικές φορτίσεις

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Επιμέρους συντελεστές αντιστάσεων (γ_R) για έγχυτους πασσάλους

Table A.7 - Partial resistance factors (γ_R) for bored piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Αντίσταση αιχμής	γ_{bR}	1,25	1,1	1,0	1,6
Αντίσταση πλευρικής τριβής (θλίψη)	γ_{sR}	1,0	1,1	1,0	1,3
Συνολική αντίσταση	γ_R	1,15	1,1	1,0	1,5
Αντίσταση πλευρικής τριβής (εφελκυσμός)	γ_{sR}	1,25	1,15	1,1	1,6

Για μόνιμες και παροδικές φορτίσεις

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Επιμέρους συντελεστές αντιστάσεων (γ_R) για πασσάλους ελικοειδούς διάτρησης (Continuous Flight Auger – CFA)

Table A.8 - Partial resistance factors (γ_R) for continuous flight auger (CFA) piles

Resistance	Symbol	Set			
		R1	R2	R3	R4
Αντίσταση αιχμής	γ_{bR}	1,1	1,1	1,0	1,45
Αντίσταση πλευρικής τριβής (θλίψη)	γ_{sR}	1,0	1,1	1,0	1,3
Συνολική αντίσταση	γ_R	1,1	1,1	1,0	1,4
Αντίσταση πλευρικής τριβής (εφελκυσμός)	γ_{sR}	1,25	1,15	1,1	1,6

Για μόνιμες και παροδικές φορτίσεις

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Σεισμικές φορτίσεις (Συστάσεις του Ευρωκώδικα 8) :

Επιμέρους συντελεστές δράσεων, εδαφικών παραμέτρων και αντιστάσεων :

1. Συνήθεις σεισμικές φορτίσεις (Operational Basis Earthquake – OBE)

Επιμέρους συντελεστές δράσεων : $\gamma_F = \gamma_E = 1.0$

Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων και αντιστάσεων :

γ_M και γ_R : όπως και στις μόνιμες και παροδικές φορτίσεις

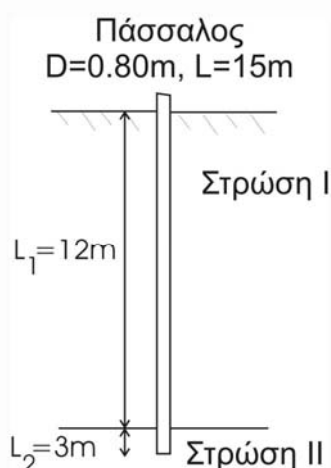
2. Σπάνιες (πολύ ισχυρές) σεισμικές φορτίσεις (Safe Shutdown Earthquake – SSE)

Επιμέρους συντελεστές δράσεων : $\gamma_F = \gamma_E = 1.0$

Επιμέρους συντελεστές εδαφικών παραμέτρων και αντιστάσεων : $\gamma_M = \gamma_R = 1.0$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7 Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :



Έγχυτος πάσσαλος. Διάμετρος $D=0.8\text{m}$, μήκος $L=15\text{m}$.

Θα υπολογισθεί η χαρακτηριστική τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου αξονικού θλιπτικού φορτίου (V_k) του πασσάλου. Θεωρείται ότι το φορτίο του πασσάλου είναι κατά 80% μόνιμο (permanent) και κατά 20% πρόσκαιρο (transient).

Στρώση I : Στιφρή άργιλος, $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

Αστράγγιστη διατμητική αντοχή : $c_u = 125 \text{ kPa}$

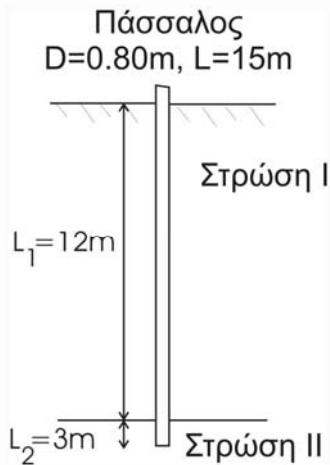
Στρώση II : Πυκνή άμμος, $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ με SPT $N = 45$

Κατά τον Ευρωκώδικα 7, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε μέθοδος υπολογισμού των f_{su} και q_{pu} . Επιλέγεται η μέθοδος του DIN 4014.

Θα χρησιμοποιηθεί η Μέθοδος 4 για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών των αντιστάσεων με συντελεστή προσομοίωσης : $\gamma_m = 1.30$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :



Στους πίνακες του DIN 4014 δίνονται οι «αντιπροσωπευτικές» τιμές της πλευρικής τριβής και αντοχής αιχμής :

Στρώση I : $f_{su} = 45 \text{ kPa}$

Στρώση II : $q_c = 0.5 N = 0.5 \times 45 = 22.5 \text{ MPa}$.

Αρα : $f_{su} = 120 \text{ kPa}$ και $q_{bu} = 3.75 \text{ MPa}$

Επειδή χρησιμοποιείται η Μέθοδος 4 για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών τιμών των αντιστάσεων, θα εφαρμοσθεί συντελεστής προσομοίωσης $\gamma_m = 1.30$. Συνεπώς :

Στρώση I :

$$f_{su,k} = f_{su} / \gamma_m = 45 / 1.30 = 34.6 \text{ kPa}$$

Στρώση II :

$$f_{su,k} = f_{su} / \gamma_m = 120 / 1.30 = 92.3 \text{ kPa}$$

$$q_{bu,k} = q_{bu} / \gamma_m = 3.75 / 1.30 = 2.88 \text{ MPa}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

1. Ανάλυση με την μέθοδο του συνολικού συντελεστή ασφαλείας (FS=2) :

$$\text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής : } Q_{su} = \pi D \sum f_{su} \Delta z$$

$$Q_{su} = 3.14 \times 0.80 \times (45 \times 12 + 120 \times 3) = 1356.5 + 904.3 = 2261 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση αιχμής : } Q_{bu} = A_b q_{bu}$$

$$A_b = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2 \quad Q_{bu} = 0.5024 \times 3750 = 1884 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση πασσάλου : } Q_u = Q_{su} + Q_{bu} = 2261 + 1884 = 4145 \text{ kN}$$

Συνολικός συντελεστής ασφαλείας έναντι φέρουσας ικανότητας : FS=2

$$\text{Φορτίο λειτουργίας πασσάλου : } Q_{all} / FS = 4145 / 2 = 2072 \text{ kN}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής : Θα εφαρμοσθούν όλοι οι Τρόποι Ανάλυσης του Ευρωκώδικα 7

Τρόπος Ανάλυσης 1 – Συνδυασμός 1 :

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της δράσης :

$$F_d = \gamma_G P_k + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (0.8 V_k) + 1.50 \times (0.2 V_k) = 1.38 V_k$$

Υπολογισμός της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης :

$$\text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής : } R_{su,k} = \pi D \sum f_{su,k} \Delta z$$

$$R_{su,k} = 3.14 \times 0.80 \times (34.6 \times 12 + 92.3 \times 3) = 1043.5 + 695.6 = 1739 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση αιχμής : } R_{bu,k} = A_b q_{bu,k}$$

$$A_b = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2 \quad R_{bu,k} = 0.5024 \times 2880 = 1449 \text{ kN}$$

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (Συντελεστές R1, Τύπος T4):

$$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su,k} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,k} = \frac{1}{1.0} 1739 + \frac{1}{1.25} 1449 \Rightarrow R_{u,d} = 2898 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος επάρκειας : } F_d \leq R_{u,d} \Rightarrow 1.38 V_k \leq 2898 \Rightarrow V_k \leq 2100 \text{ kN}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Τρόπος Ανάλυσης 1 – Συνδυασμός 2 :

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της δράσης :

$$F_d = \gamma_G P_k + \gamma_Q Q_k = 1.0 \times (0.8 V_k) + 1.3 \times (0.2 V_k) = 1.06 V_k$$

Υπολογισμός της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης :

$$\text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής : } R_{su,k} = \pi D \sum f_{su,k} \Delta z$$

$$R_{su,k} = 3.14 \times 0.80 \times (34.6 \times 12 + 92.3 \times 3) = 1043.5 + 695.6 = 1739 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση αιχμής : } R_{bu,k} = A_b q_{bu,k}$$

$$A_b = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2 \quad R_{bu,k} = 0.5024 \times 2880 = 1449 \text{ kN}$$

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (Συντελεστές R4, Τύπος T4):

$$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su,k} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,k} = \frac{1}{1.3} 1739 + \frac{1}{1.6} 1449 \Rightarrow R_{u,d} = 2243 \text{ kN}$$

$$\text{Έλεγχος επάρκειας : } F_d \leq R_{u,d} \Rightarrow 1.06 V_k \leq 2243 \Rightarrow V_k \leq 2116 \text{ kN}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7

Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Αρα, στον Τρόπο Ανάλυσης 1 : $V_k = \min (2100, 2116) = 2100 \text{ kN}$

Σημείωση : Κρίσιμος ήταν ο Συνδυασμός 1

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7

Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Τρόπος Ανάλυσης 2 :

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της δράσης :

$$F_d = \gamma_G P_k + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (0.8 V_k) + 1.50 \times (0.2 V_k) = 1.38 V_k$$

Υπολογισμός της χαρακτηριστικής τιμής της αντίστασης :

$$\text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής : } R_{su,k} = \pi D \sum f_{su,k} \Delta z$$

$$R_{su,k} = 3.14 \times 0.80 \times (34.6 \times 12 + 92.3 \times 3) = 1043.5 + 695.6 = 1739 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση αιχμής : } R_{bu,k} = A_b q_{bu,k}$$

$$A_b = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2 \quad R_{bu,k} = 0.5024 \times 2880 = 1449 \text{ kN}$$

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (Συντελεστες R2, Τύπος T4):

$$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su,k} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,k} = \frac{1}{1.1} 1739 + \frac{1}{1.1} 1449 \Rightarrow R_{u,d} = 2898 \text{ kN}$$

$$\text{Ελεγχος επάρκειας : } F_d \leq R_{u,d} \Rightarrow 1.38 V_k \leq 2898 \Rightarrow V_k \leq 2100 \text{ kN}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Τρόπος Ανάλυσης 3 :

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της δράσης :

$$F_d = \gamma_G P_k + \gamma_Q Q_k = 1.35 \times (0.8 V_k) + 1.50 \times (0.2 V_k) = 1.38 V_k$$

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (Τύπος T5) :

$$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su} \left(\frac{c_k}{\gamma_M}, \frac{\tan \phi_k}{\gamma_M} \right) + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu} \left(\frac{c_k}{\gamma_M}, \frac{\tan \phi_k}{\gamma_M} \right)$$

Τιμές σχεδιασμού εδαφικών παραμέτρων (M2) :

$$\text{Στρώση I : } f_{su,k} = 45 / 1.3 = 34.6 \text{ kPa} \Rightarrow f_{su,d} = \frac{f_{su,k}}{\gamma_M} = \frac{34.6}{1.40} = 24.7 \text{ kPa}$$

Ο επιμέρους συντελεστής γ_M ισούται με 1.40 επειδή το f_{su} προκύπτει μέσω της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (c_u). Ο συντελεστής 1.3 είναι συντελεστής προσομοίωσης (γ_m)

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Τρόπος Ανάλυσης 3 :

$$\text{Στρώση II : } f_{su,k} = 120 / 1.3 = 92.3 \text{ kPa}$$

$$q_{pu,k} = 3.75 / 1.3 = 2.88 \text{ MPa}$$



$$f_{su,d} = \frac{f_{su,k}}{\gamma_M} = \frac{92.3}{1.25} = 73.8 \text{ kPa}$$

$$q_{pu,d} = \frac{q_{pu,k}}{\gamma_M} = \frac{2.88}{1.25} = 2.3 \text{ MPa}$$

Ο επιμέρους συντελεστής γ_M ισούται με 1.25 επειδή τα f_{su} και q_{pu} προκύπτουν μέσω ενεργών τάσεων (δηλαδή της γωνίας τριβής). Ο συντελεστής 1.3 είναι συντελεστής προσομοίωσης (γ_m)

$$\text{Οριακή αντίσταση πλευρικής τριβής : } R_{su,d} = \pi D \sum f_{su,d} \Delta z$$

$$R_{su,d} = 3.14 \times 0.80 \times (24.7 \times 12 + 73.8 \times 3) = 744.6 + 556.2 = 1300.7 \text{ kN}$$

$$\text{Οριακή αντίσταση αιχμής : } R_{bu,d} = A_b q_{bu,d}$$

$$A_b = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2$$

$$R_{bu,d} = 0.5024 \times 2300 = 1155.5 \text{ kN}$$

Ανάλυση της επάρκειας θεμελιώσεων με πασσάλους κατά τον Ευρωκώδικα 7
Ανάλυση της επάρκειας έναντι αξονικών δράσεων

Παράδειγμα εφαρμογής :

Τρόπος Ανάλυσης 3 :

Υπολογισμός της τιμής σχεδιασμού της αντίστασης (Συντελεστές R3, Τύπος T5) :

$$R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su} \left(\frac{c_k}{\gamma_M}, \frac{\tan \phi_k}{\gamma_M} \right) + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu} \left(\frac{c_k}{\gamma_M}, \frac{\tan \phi_k}{\gamma_M} \right)$$

$$\text{δηλαδή : } R_{u,d} = \frac{1}{\gamma_{sR}} R_{su,d} + \frac{1}{\gamma_{bR}} R_{bu,d} = \frac{1}{1.0} 1300.7 + \frac{1}{1.0} 1155.5 = 2456 \text{ kN}$$

$$\text{Ελεγχος επάρκειας : } F_d \leq R_{u,d} \Rightarrow 1.38 V_k \leq 2456 \Rightarrow V_k \leq 1780 \text{ kN}$$

Σύγκριση των αποτελεσμάτων των τριών Τρόπων Ανάλυσης :

Τρόπος Ανάλυσης	Χαρακτηριστική τιμή του φορτίου κεφαλής του πασσάλου V_k (kN)
EC-7 : Τρόπος 1	2100
EC-7 : Τρόπος 2	2100
EC-7 : Τρόπος 3	1780
Μέθοδος συνολικού συντελεστή ασφαλείας (FS=2)	2072