

ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

« ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »

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

ΔΙΑΛΕΞΗ 9

Θεμελιώσεις με πασσάλους

Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

21.12.2005

2. Αξονική φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου

2.2 Έγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)

Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)



1.1 Κατά το Γερμανικό DIN 4014

1.2 Κατά τις Αμερικανικές Οδηγίες AASHTO

1.3 Άλλες μέθοδοι

2. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων κατά το DIN 4014 :

Οριακή αντίσταση πασσάλου : $Q_u = Q_{su} + Q_{pu}$

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

Οριακή αντίσταση αιχμής : $Q_{pu} = A_p q_{pu}$

f_{su} = οριακή πλευρική τριβή
 q_{pu} = οριακή μοναδιαία αντίσταση αιχμής

1. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) :

1.1 Σε μή-συνεκτικά εδάφη (q_c = αντοχή αιχμής κώνου στη δοκιμή CPT) :

q_c (MPa)	q_{pu} (MPa)
≤ 10	0 (αμελείται)
10	2
15	3
20	3.5
≥ 25	4

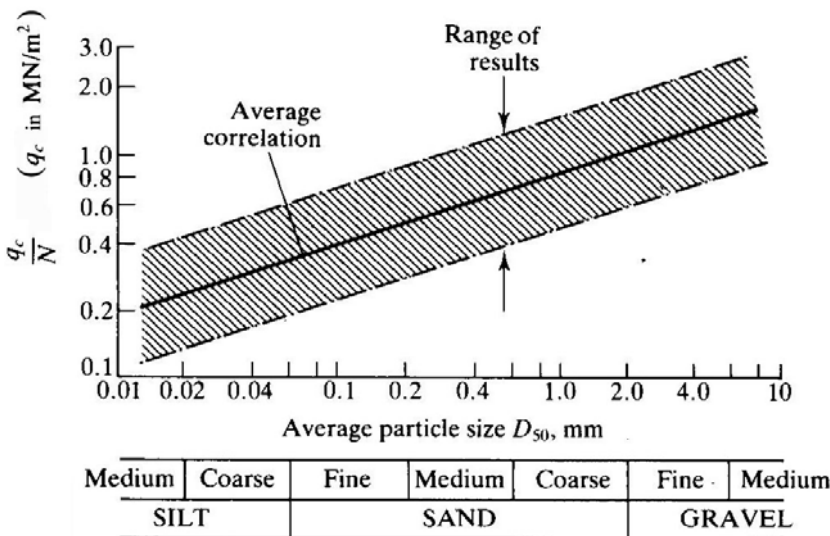
Προσοχή : Απαιτείται ελάχιστη διείσδυση της βάσης του πασσάλου κατά 3D στο φέρον στρώμα

* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

1. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) :

1.1 Σε μή-συνεκτικά εδάφη (q_c = αντοχή αιχμής κώνου στη δοκιμή CPT) :

Εκτίμηση του q_c από αποτελέσματα μετρήσεων του N (δοκιμής SPT)



Συνιστώμενες τιμές του λόγου q_c / N (q_c σε MPa) κατά το DIN 4014

Είδος εδάφους	q_c / N
Ιλυώδης άμμος	0.3 – 0.4
Άμμος έως χαλικώδης άμμος	0.5 – 0.6
Κακώς διαβαθμισμένη άμμος	0.5 – 1.0
Αμμώδεις χάλικες έως χάλικες	0.8 – 1.0

Τιμές του λόγου q_c / N (q_c σε MPa) κατά Burland and Burbridge

1. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) :

1.2. Σε συνεκτικά εδάφη (c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή) :

c_u (kPa)	q_{pu} (MPa)
0	0
100	0.8
≥ 200	1.5

Προσοχή : Απαιτείται ελάχιστη διείσδυση της βάσης του πασσάλου κατά 3D στο φέρον στρώμα

* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

2. Τιμές της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) :

2.1. Σε μή-συνεκτικά εδάφη (q_c = αντοχή αιχμής κώνου στη δοκιμή CPT) :

q_c (MPa)	f_{su} (kPa)
0	0
5	40
10	80
≥ 15	120

* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

2. Τιμές της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) :

2.2. Σε συνεκτικά εδάφη (c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή) :

c_u (kPa)	f_{su} (kPa)
25	25
100	40
≥ 200	60

* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

3. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) και της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) έγχυτων πασσάλων σε βράχους (q_u = μοναξονική αντοχή βράχου) :

q_u (MPa)	f_{su} (kPa)	q_{pu} (MPa)
< 0.5	Υπολογισμός για εδαφικό σχηματισμό	
0.5	80	1.5
5	500	5
20	500	10

Προσοχή : Απαιτείται ελάχιστη διείσδυση της βάσης του πασσάλου κατά D στο βραχώδες στρώμα

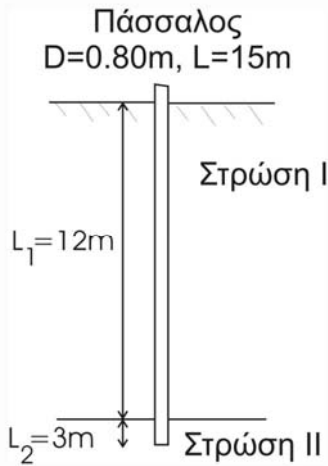
* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων κατά το DIN 4014 :

Παράδειγμα εφαρμογής : 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 $N = 45$



Από τους προηγούμενους πίνακες :

Στρώση I : $f_{su} = 45 \text{ kPa}$

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

$f_{su} = 120 \text{ kPa}$ και $q_{pu} = 3.75 \text{ MPa}$

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

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

Οριακή αντίσταση αιχμής : $Q_{pu} = A_p q_{pu}$

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

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

2. Αξονική φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου

2.2 Έγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)

Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)

1.1 Κατά το Γερμανικό DIN 4014

➡ 1.2 Κατά τις Αμερικανικές Οδηγίες AASHTO (2002)

2. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

Κατά τις Αμερικανικές Οδηγίες AASHTO (2002) :

1. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) :

1.1 Σε μή-συνεκτικά εδάφη : $q_{pu} = 0.0586 N \leq 4.4 \text{ MPa}$

q_{pu} : σε MPa

N = δείκτης της δοκιμής SPT

1.2 Σε συνεκτικά εδάφη : $q_{pu} = N_c c_u \leq 3.9 \text{ MPa}$

c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή

L = μήκος πασσάλου

B = εύρος διατομής (ή διάμετρος)

$$\text{όπου : } N_c = 6 \left[1 + 0.2 \frac{L}{B} \right] \leq 9$$

Κατά τις Αμερικανικές Οδηγίες AASHTO (2002) :

2. Τιμές της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) :

2.1 Σε συνεκτικά εδάφη : $f_{su} = 0.55 c_u \leq 270 \text{ kPa}$

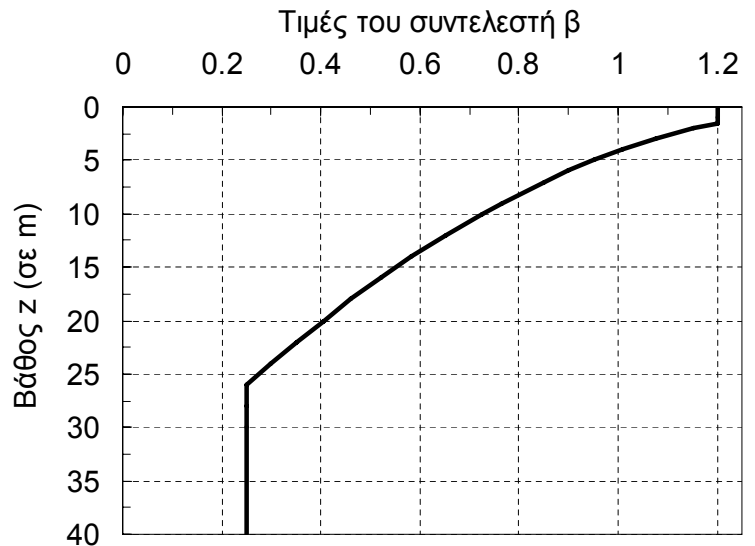
c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή

2.2 Σε μή-συνεκτικά εδάφη & με ανάλυση ενεργών τάσεων σε συνεκτικά εδάφη :

$$f_{su} = \beta \sigma'_v \leq 200 \text{ kPa}$$

σ'_v = κατακόρυφη ενεργός τάση στο βάθος υπολογισμού του f_{su}

Βάθος z (m)	Τιμές του β
0 έως 1.5m	1.20
1.5 έως 26m	$1.5 - 0.245 \sqrt{z}$
$\geq 26\text{m}$	0.25



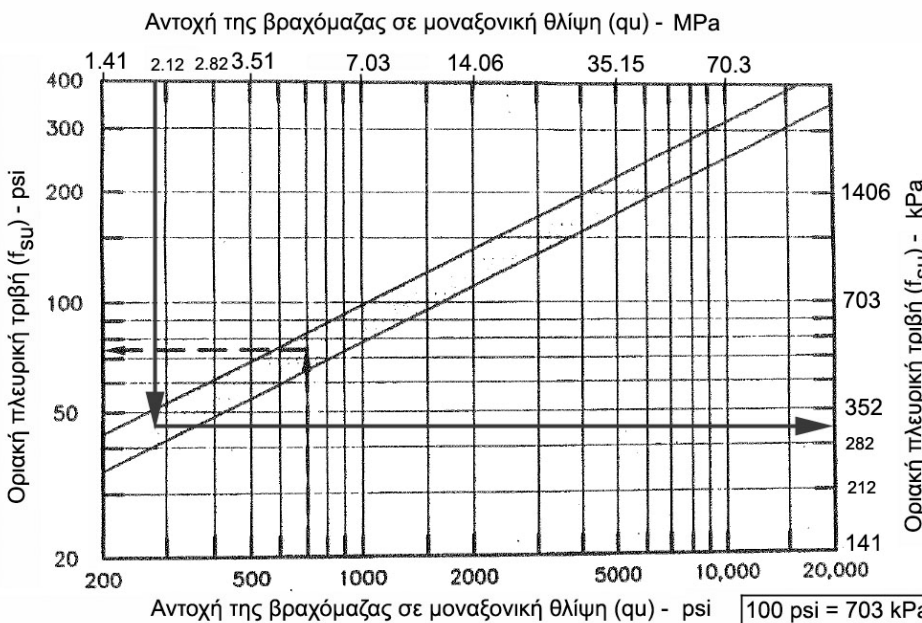
Κατά τις Αμερικανικές Οδηγίες AASHTO (2002) :

3. Τιμές της οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) και της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) έγχυτων πασσάλων σε βράχους (q_u = μοναξονική αντοχή βράχου) :

Οριακή πλευρική τριβή (f_{su}) συναρτήσσει της αντοχής της βραχόμαζας σε μοναξονική θλίψη (q_u)

Οριακή μοναδιαία αντίσταση αιχμής (q_{pu}) :

$$q_{pu} = 3 q_u$$



$$q_u = \frac{\sigma_{ci}}{50} \exp\left(\frac{GSI}{25.5}\right)$$

σ_{ci} = αντοχή του υγιούς βράχου σε μοναξονική θλίψη

GSI = Δείκτης Γεωλογικής Αντοχής ή δείκτης ποιότητας βραχόμαζας RMR

Παράδειγμα : $\sigma_{ci} = 20 \text{ MPa}$, $GSI = 40 \Rightarrow q_u = 1.92 \text{ MPa} \Rightarrow f_{su} = 317 \text{ kPa}$

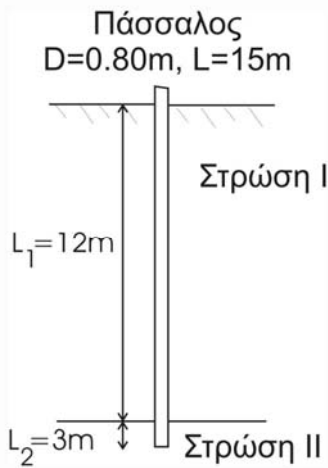
και $q_{pu} = 3 q_u = 3 \times 1.92 \Rightarrow q_{pu} = 5.76 \text{ MPa}$

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων κατά το AASHTO :

Παράδειγμα εφαρμογής : 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



Από τους προηγούμενους πίνακες :

Στρώση I : $f_{su} = 0.55 c_u = 69 \text{ kPa}$

Στρώση II : $f_{su} = \beta \sigma'_v = (1.5 - 0.245\sqrt{z}) \gamma' z$
 $f_{su} = (1.5 - 0.245\sqrt{13.5}) \times (18 \times 12 + 20 \times 1.5)$
 $= 0.60 \times 246 = 147.6 \text{ kPa}$

$q_{pu} = 58.6 \text{ N} = 58.6 \times 45 = 2637 \text{ kPa}$

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

$$Q_{su} = 3.14 \times 0.80 \times (69 \times 12 + 147.6 \times 3) = 2080 + 1112 = 3192 \text{ kN}$$

Οριακή αντίσταση αιχμής : $Q_{pu} = A_p q_{pu}$

$$A_p = 3.14 \times 0.8^2 / 4 = 0.5024 \text{ m}^2 \quad Q_{pu} = 0.5024 \times 2637 = 1325 \text{ kN}$$

Οριακή αντίσταση πασσάλου : $Q_u = Q_{su} + Q_{pu} = 3192 + 1325 = 4517 \text{ kN}$

2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

1. Έγχυτοι πάσσαλοι σε άμμους :

1.1. Οριακή πλευρική τριβή (f_{su}) σε άμμους κατά Touma & Reese (1974) :

$$f_{su} = K \sigma'_v \tan \delta \quad \text{όπου : } K = 0.7 \text{ και } \delta = \varphi$$

Η μειωμένη τιμή του K (σε σύγκριση με τους εμπηγνυόμενους πασσάλους) οφείλεται στη χαλάρωση του εδάφους γύρω από τον πάσσαλο λόγω της εκσκαφής, ενώ η υψηλή τιμή του δ ($= \varphi$) οφείλεται στην ανώμαλη παράπλευρη επιφάνεια των έγχυτων πασσάλων

1.2. Οριακή πλευρική τριβή (f_{su}) σε άμμους κατά Meyerhof (1976) :

$$f_{su} \text{ (έγχυτου πασσάλου)} = (0.33 \div 0.50) f_{su} \text{ (εμπηγνυόμενου πασσάλου)}$$

Η μείωση οφείλεται στην χαλάρωση του εδάφους γύρω από τον πάσσαλο λόγω της εκσκαφής

1.3. Οριακή αντοχή αιχμής (q_{pu}) σε άμμους κατά Meyerhof (1976) :

$$q_{pu} \text{ (έγχυτου πασσάλου)} = (0.33 \div 0.50) q_{pu} \text{ (εμπηγνυόμενου πασσάλου)}$$

Η μείωση οφείλεται στην χαλάρωση του εδάφους κάτω από την αιχμή του πασσάλου λόγω της εκσκαφής

2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

2. Εγχυτοι πάσσαλοι σε συνεκτικά (αργιλικά) εδάφη :

2.1. Οριακή αντοχή αιχμής (q_{pu}) σε συνεκτικά εδάφη κατά Meyerhof (1976) :

Προτείνεται η χρήση της ίδιας σχέσης με τους εμπηγνυόμενους πασσάλους (και με τις ίδιες τιμές των παραμέτρων), επειδή η ενεργοποίηση της οριακής αντοχής αιχμής απαιτεί σημαντική καθίζηση της αιχμής, οπότε η όποια διατάραξη του εδάφους λόγω της εκσκαφής του πασσάλου αναιρείται.

Συνεπώς :

- Ταχεία φόρτιση υπό αστραγγιστες συνθήκες – $\phi = 0$:

$$q_{pu} = (6 \div 9)c_u + \sigma_v$$

- Μακροχρόνια φόρτιση υπό στραγγισμένες συνθήκες – $\phi \neq 0$:

$$q_{pu} = c N'_c + \sigma'_v N'_q$$

2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

2. Εγχυτοι πάσσαλοι σε συνεκτικά (αργιλικά) εδάφη :

2.2. Οριακή πλευρική τριβή σε στιφρές / σκληρές αργίλους (μακροχρόνια φόρτιση – $\phi \neq 0$) κατά Meyerhof (1976) :

$$f_{su} = K \sigma'_v \tan \delta$$

όπου : $K = 0.75 K_o = 0.75(1 - \sin \phi)\sqrt{OCR}$

K_o = συντελεστής ουδέτερης ώθησης

OCR = συντελεστής υπερ-στερεοποίησης της αργίλου

$$\delta = 15^\circ - 20^\circ$$

2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

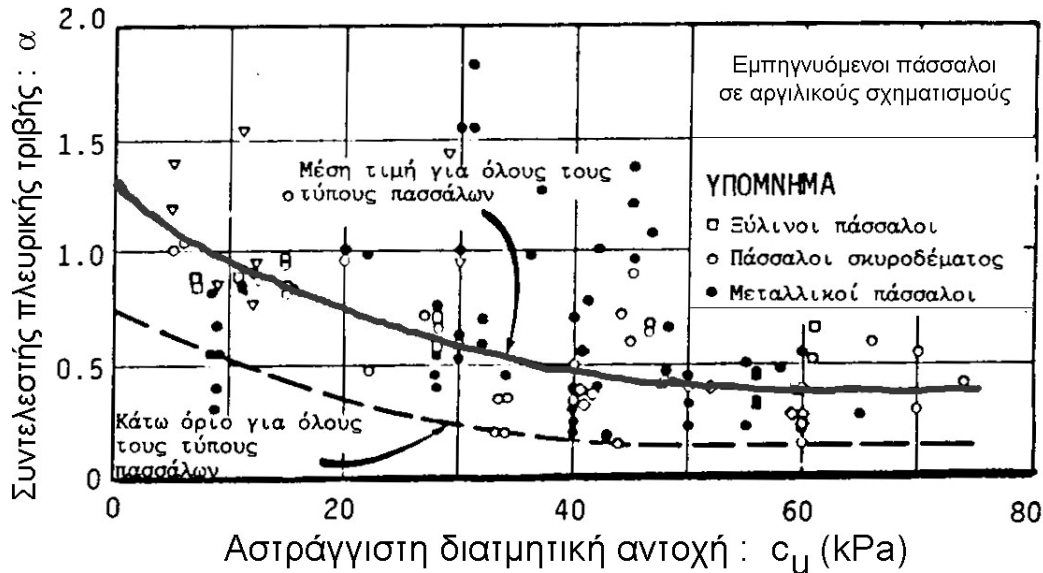
2. Εγχυτοί πάσσαλοι σε συνεκτικά (αργιλικά) εδάφη :

2.3. Οριακή πλευρική τριβή σε μαλακές έως στιφρές αργίλους (ταχεία φόρτιση – $\phi = 0$) κατά Weltman & Healy (1978) :

$$f_{su} = \alpha c_u$$

c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Τιμές του συντελεστή « α » για εμπηγνυόμενους πασσάλους



Οι τιμές του συντελεστή α για έγχυτους πασσάλους είναι μειωμένες κατά 20%

Φέρουσα ικανότητα πασσάλων στην περίπτωση ανάπτυξης και αρνητικής τριβής

Οριακή φέρουσα ικανότητα :

1. Πάσσαλοι κυρίως αιχμής (π.χ. εδραζόμενοι σε βράχο ή σε πολύ ανθεκτική στρώση :

$$Q_u = (Q_{su} + Q_{pu}) - Q_{snu}$$

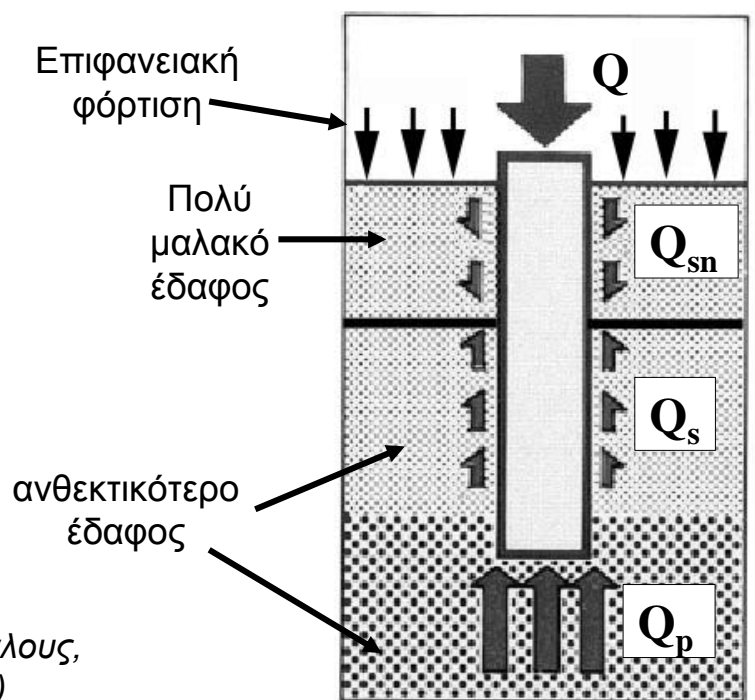
Ενα σημαντικό φορτίο (Q) αναλαμβάνεται με πολύ μικρή καθίζηση (λόγω της αιχμής)

2. Πάσσαλοι κυρίως τριβής («αιωρούμενοι» πάσσαλοι) :

$$Q_u = (Q_{su} + Q_{pu})$$

ΠΡΟΣΟΧΗ : Σε «αιωρούμενους» πασσάλους, για την ανάληψη σημαντικού φορτίου (Q) απαιτείται μεγάλη καθίζηση (προκειμένου να μηδενισθεί η αρνητική τριβή)

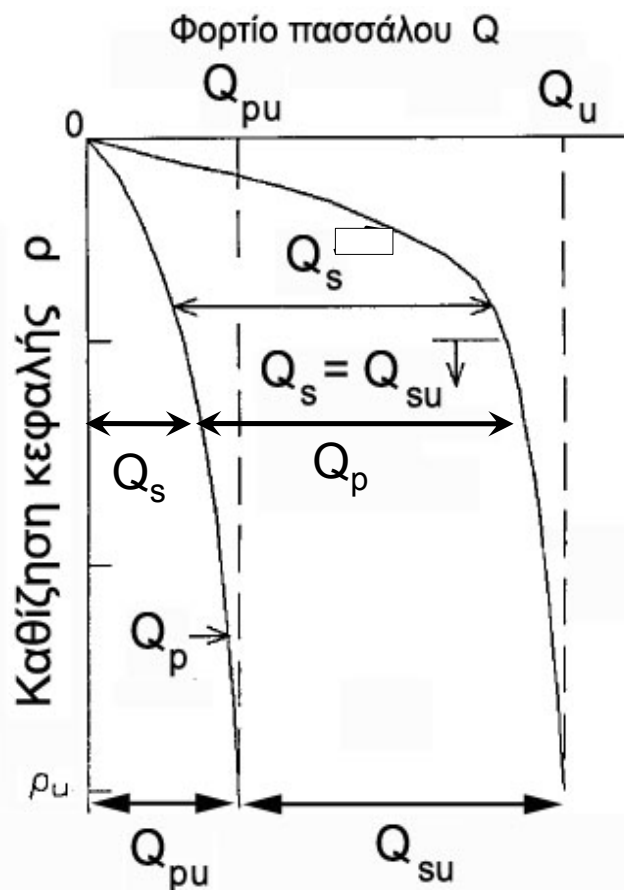
Πάσσαλος με αρνητικές τριβές στο ανώτερο τμήμα του



$$Q + Q_{sn} = Q_s + Q_p$$

Συντελεστής ασφαλείας (FS) πασσάλων έναντι υπέρβασης της αξονικής φέρουσας ικανότητας

Q_u = οριακή φέρουσα ικανότητα



Το μέγιστο φορτίο λειτουργίας του πασσάλου (Q_{max}) πρέπει να είναι αρκετά μικρότερο από το Q_u για τους εξής λόγους :

1. Αβεβαιότητα ως προς τις τιμές των εδαφικών παραμέτρων υπολογισμού
2. Αβεβαιότητα ως προς την ακρίβεια των μεθόδων υπολογισμού
3. Αβεβαιότητα ως προς τον τρόπο κατασκευής (π.χ. λόγω πλημμελούς καθαρισμού της αιχμής φρεατοπασσάλου, η αντίσταση αιχμής μπορεί να είναι πολύ μικρότερη από τη θεωρητική τιμή)
4. Αβεβαιότητα ως προς τα φορτία της κατασκευής

Άρα : $Q_{max} = \frac{Q_u}{FS}$ FS = συντελεστής ασφαλείας (> 1)

ΠΡΟΣΟΧΗ : Απαιτείται και έλεγχος καθιζήσεων

Συντελεστής ασφαλείας (FS) πασσάλων έναντι υπέρβασης της αξονικής φέρουσας ικανότητας

$$Q_{max} = \frac{Q_u}{FS}$$

Συνιστώμενες τιμές του συντελεστή ασφαλείας :

1. Κατά Tomlinson :

Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι : $Q_{max} = \min \left\{ \frac{Q_{su}}{1.5} + \frac{Q_{pu}}{3}, \frac{Q_u}{2.5} \right\}$

Έγχυτοι πάσσαλοι : $Q_{max} = \min \left\{ \frac{Q_{su}}{1} + \frac{Q_{pu}}{3}, \frac{Q_u}{2} \right\}$

2. Κατά τους Γερμανικούς Κανονισμούς :

- Για συνήθεις συνδυασμούς φορτίων (μόνιμα και συνήθη κινητά) : FS = 2
- Για ασυνήθεις συνδυασμούς φορτίων (μόνιμα και σπάνια κινητά) : FS = 1.5
- Για τυχηματικούς συνδυασμούς φορτίων, δηλαδή μόνιμα και συνήθη κινητά και μία τυχηματική φόρτιση (π.χ. σεισμός) : FS = 1.0

3. Τιμές του FS κατά τους Αμερικανικούς Κανονισμούς AASHTO :

	Χωρίς δοκιμή φόρτισης πασσάλου	Με δοκιμή φόρτισης πασσάλου
Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι	2.25 – 3.50 *	2.00
Έγχυτοι πάσσαλοι	2.50	2.00

* αναλόγως του βαθμού γνώσης των εδαφικών συνθηκών