

Εισηγητής: Αλέξανδρος Βαλσαμής



# Θεμελιώσεις

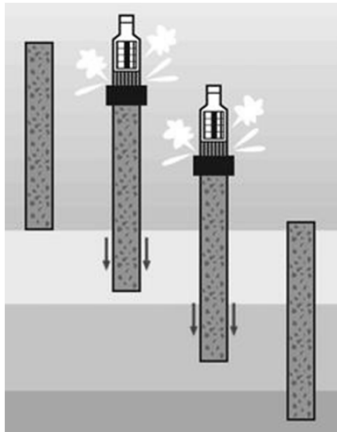
Βαθιές θεμελιώσεις – Πάσσαλοι – Ομάδες Πασσάλων

Γενικά...

Τμήμα των διαφανειών αυτών έχει συνταχθεί σε συμφωνία με τις αντίστοιχες διαφάνειες του καθηγητή του ΕΜΠ κ. Καβαδά Μιχάλη

# Είδη πασσάλων...

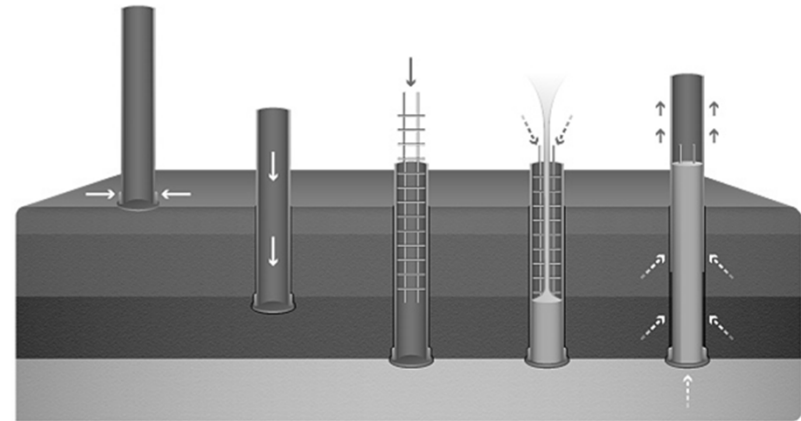
## ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ...



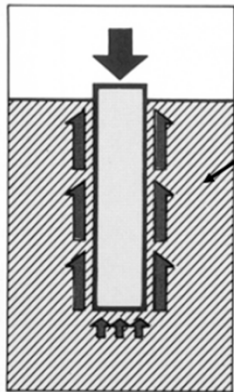
Εμπηγνυόμενοι  
πάσσαλοι



Πάσσαλοι  
δι' εκσκαφής

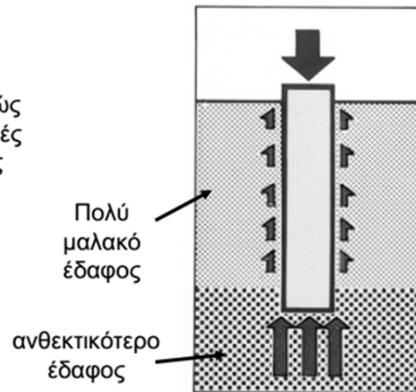


## ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΟΥ (& ΆΛΛΕΣ ΤΑΣΕΙΣ)...



Πρακτικώς  
ομοιογενές  
έδαφος

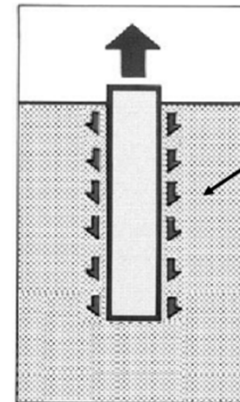
Πάσσαλος τριβής



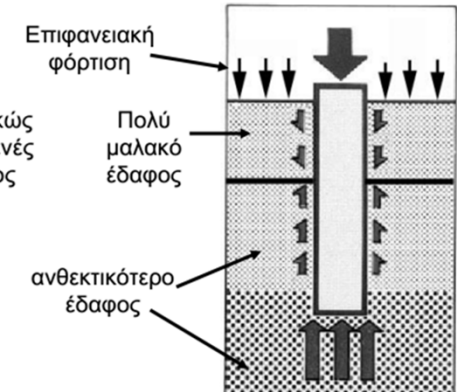
Πολύ  
μαλακό  
έδαφος

ανθεκτικότερο  
έδαφος

Πάσσαλος αιχμής



Εφελκόμενος  
πάσσαλος



Πάσσαλος με αρνητικές τριβές  
στο ανώτερο τμήμα του  
(λόγω της συμπίεσης του πολύ  
μαλακού εδάφους)

Συνήθως, οι πάσσαλοι αναλαμβάνουν φορτία μέσω τριβής ΚΑΙ αιχμής

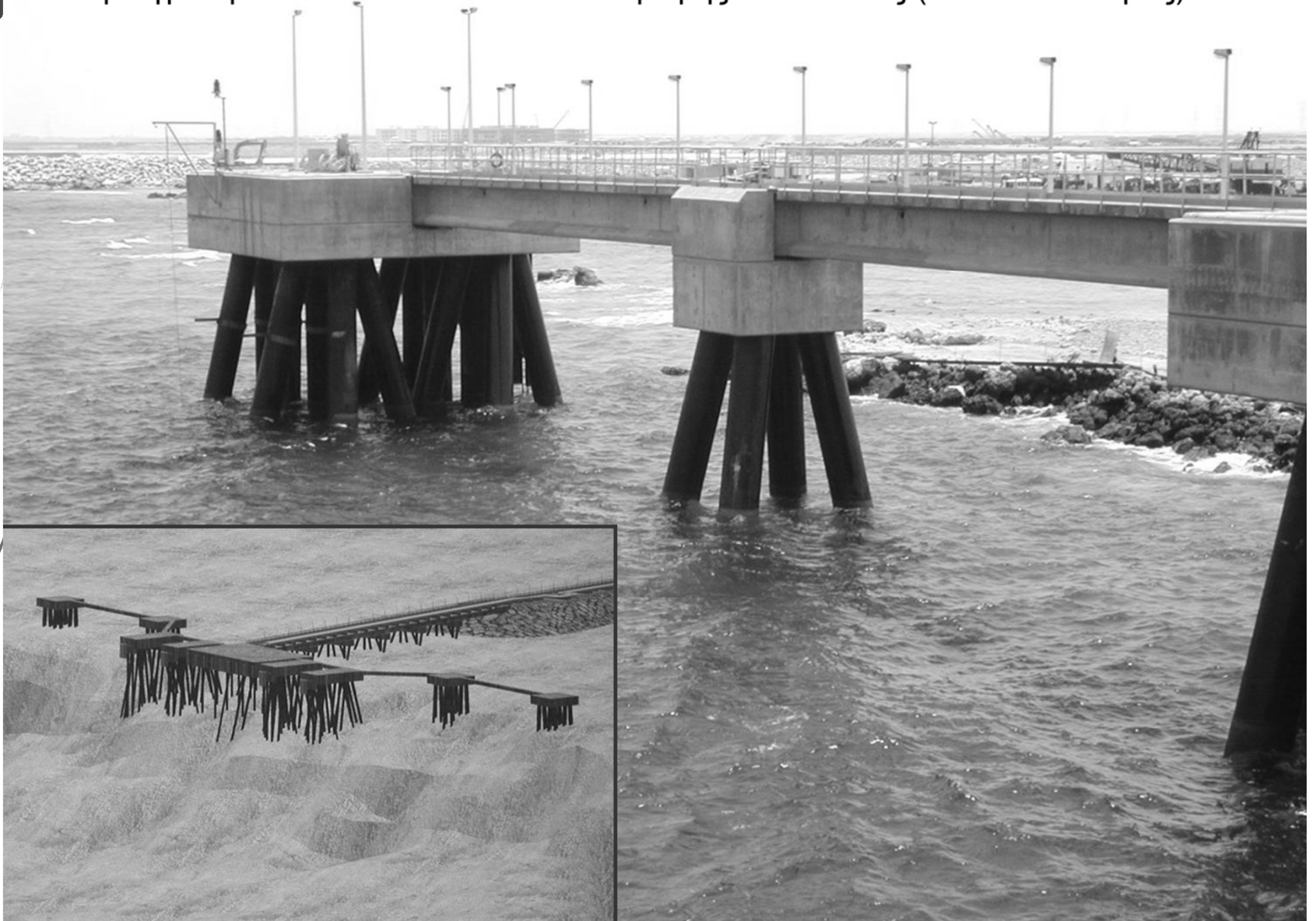
# Φωτογραφίες...

## Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι



# Φωτογραφίες...

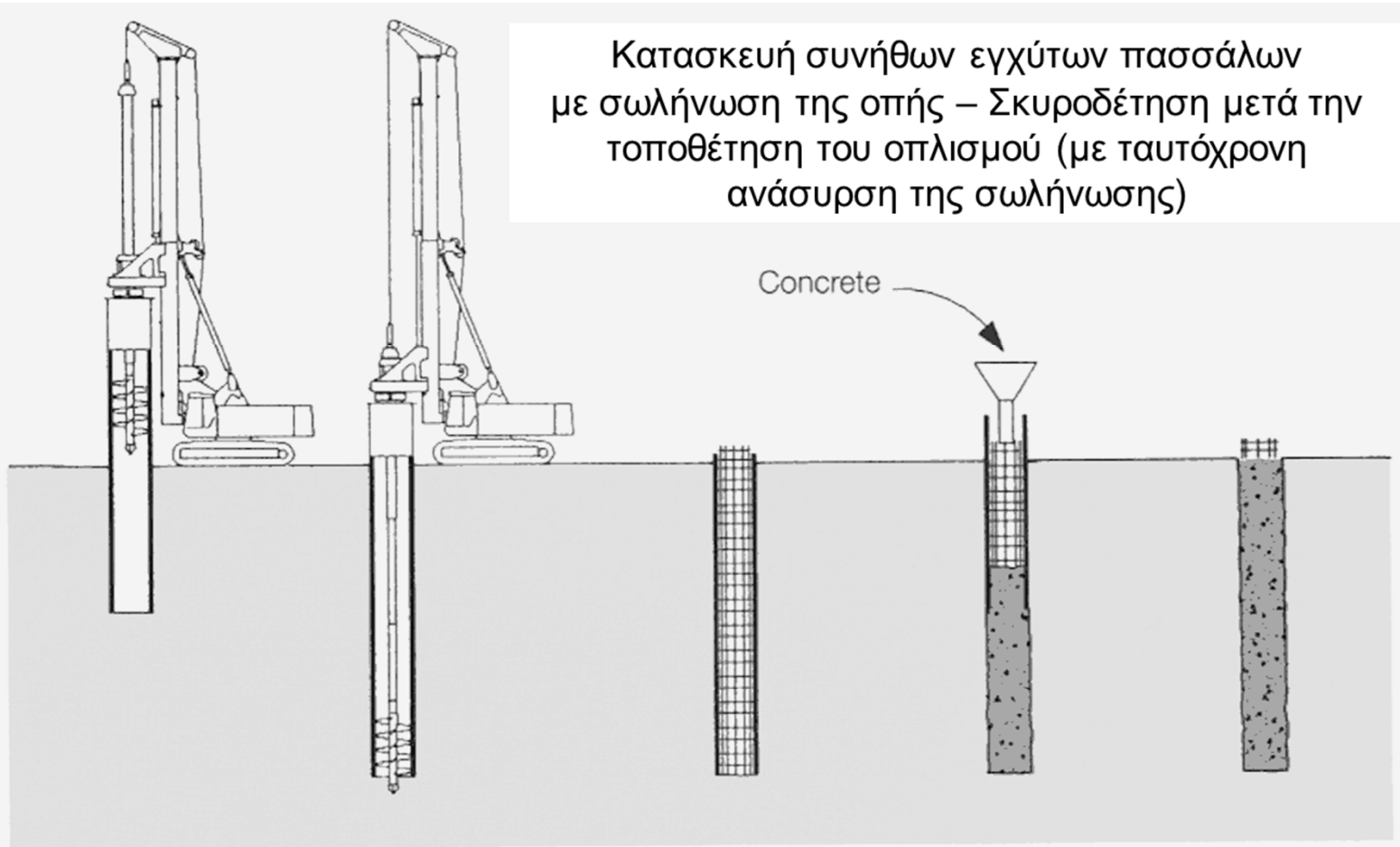
Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι : Πάσσαλοι μικρής εκτοπίσεως (ανοικτοί σωλήνες)



# Φωτογραφίες...

## ΕΓΧΥΤΟΙ ΠΑΣΣΑΛΟΙ (ΦΡΕΑΤΟΠΑΣΣΑΛΟΙ)

Κατασκευή συνήθων εγχύτων πασσάλων με σωλήνωση της οπής – Σκυροδέτηση μετά την τοποθέτηση του οπλισμού (με ταυτόχρονη ανάσχυση της σωλήνωσης)



Install casing tubes by rotating and crowding using rotary drive

Remove spoil with drilling tools attached to Kelly bar with borehole stabilisation by temporary casing

Insert reinforcing cage into borehole

Place concrete by tremie and withdraw casing using rotary drive

Completed pile

# Φωτογραφίες...

Εγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)



# Φωτογραφίες...

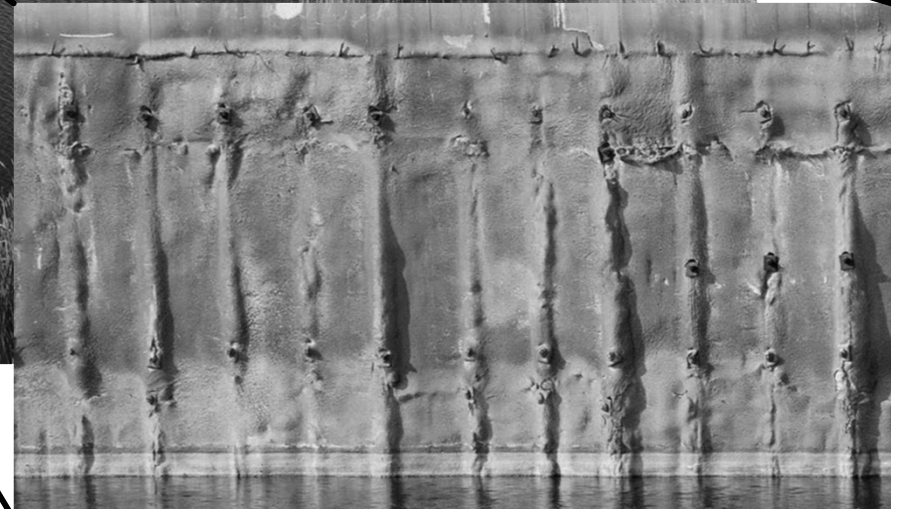


# Φωτογραφίες...

Έγχυτοι Πάσσαλοι (δι' εκσκαφής)



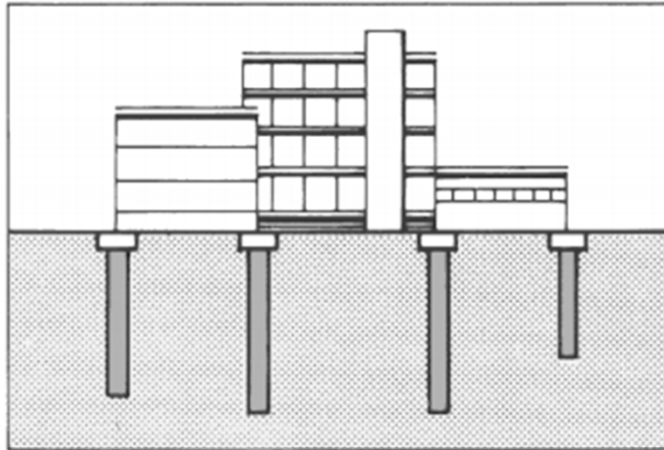
© Giorgos Triantafyllou



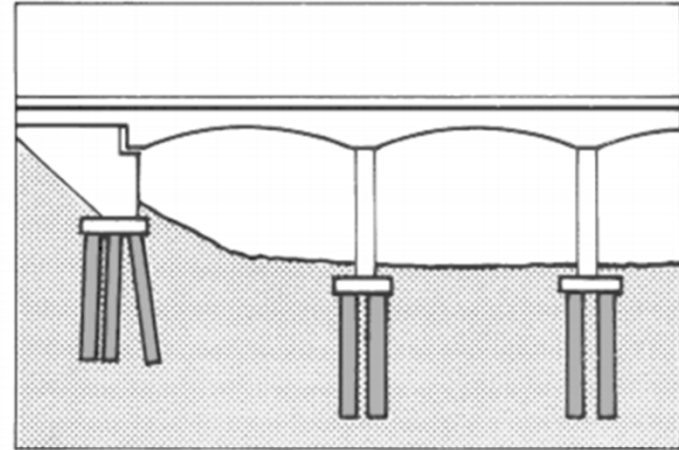


# Γενικά

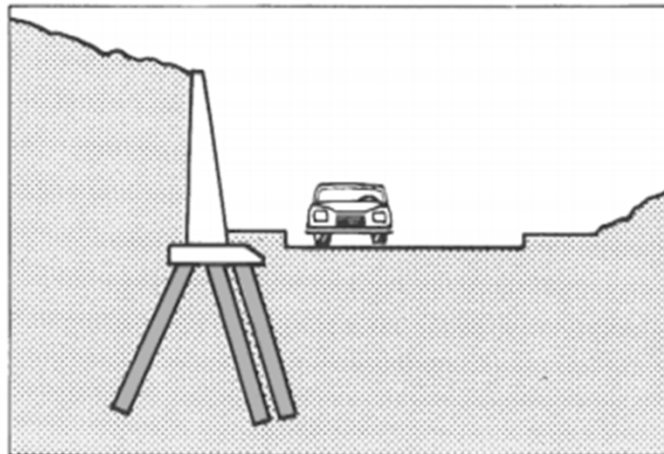
## Τυπικές εφαρμογές των πασσάλων



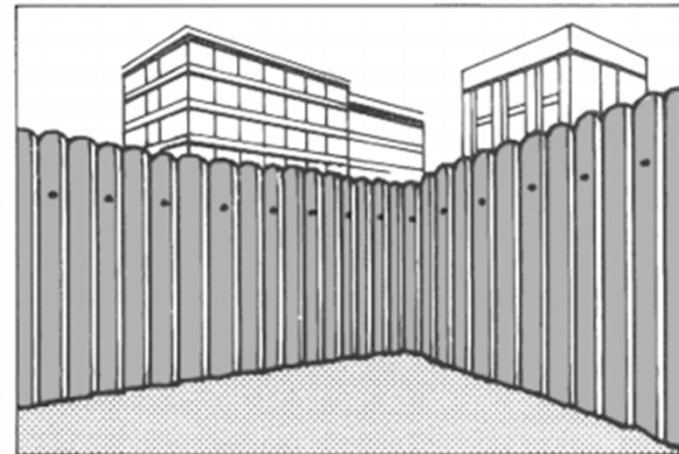
Single piles



Pile groups



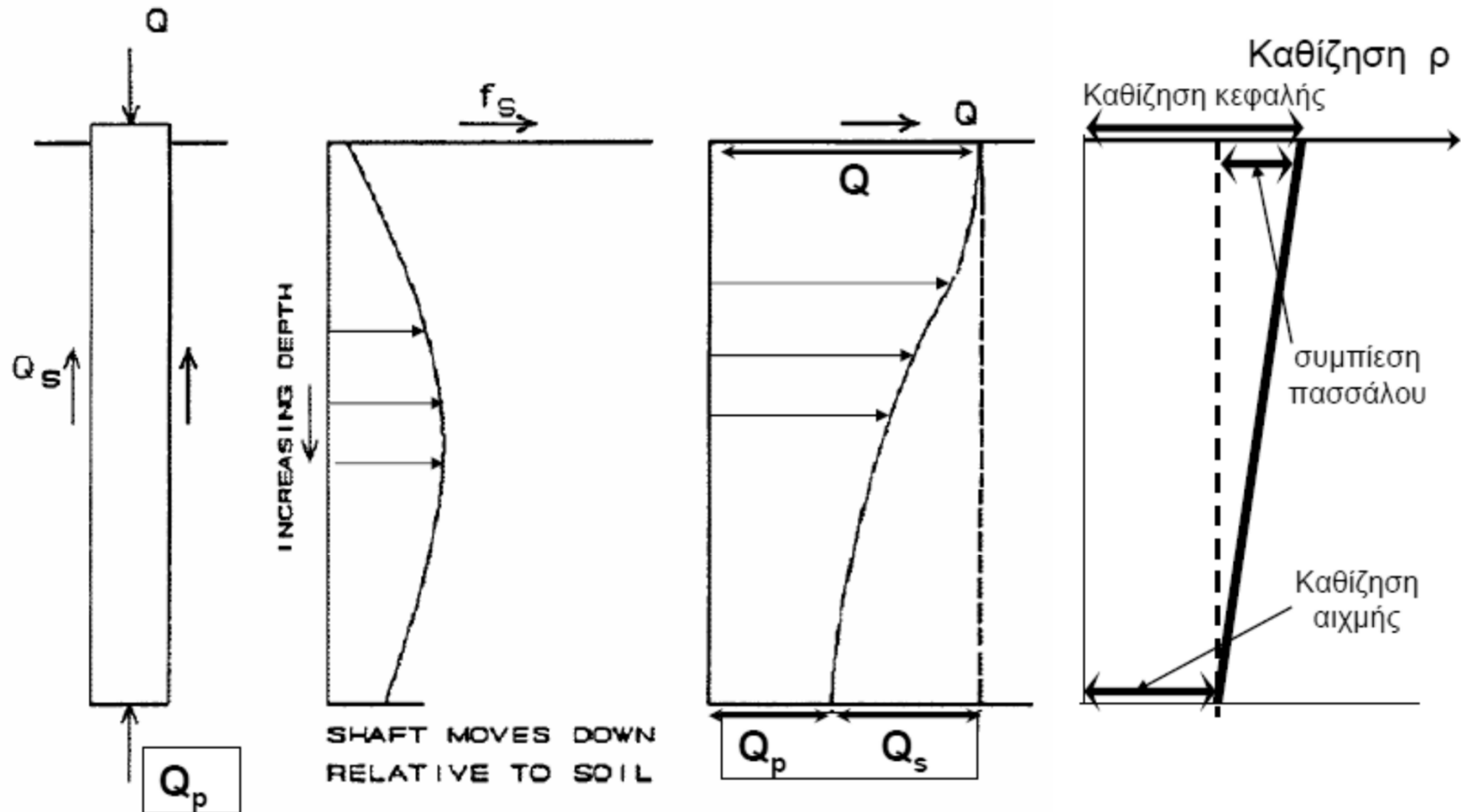
Vertical and raked piles



Piled wall

# Φέρουσα Ικανότητα...

## Σε τι οφείλεται;



# Φέρουσα Ικανότητα

## Οι δύο συνιστώσες - Αργιλικά

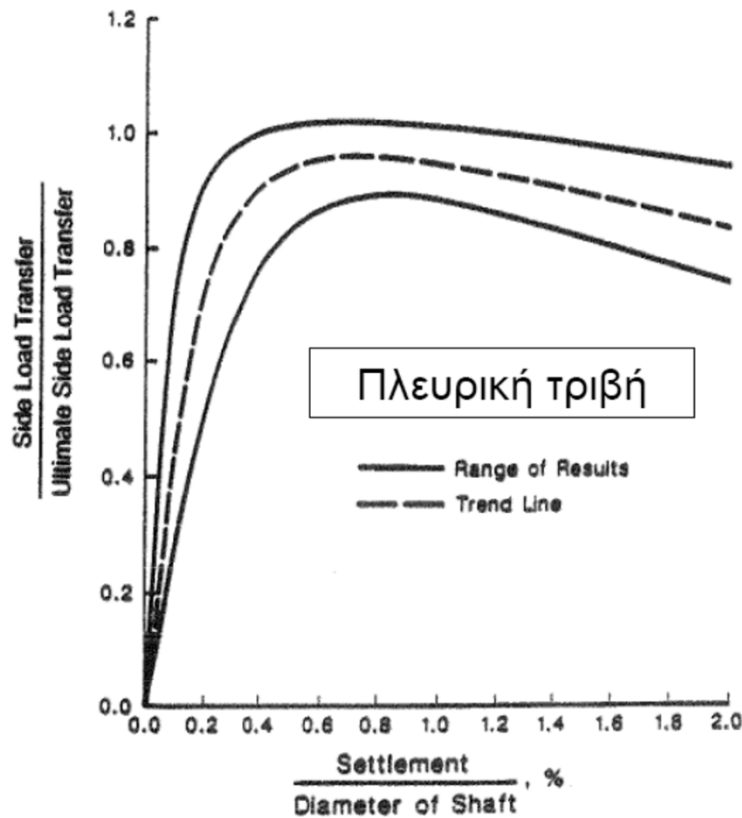


FIGURE 4.6.5.5.1.1A Load Transfer in Side Resistance Versus Settlement Drilled Shafts in Cohesive Soil After Reese and O'Neill (1988)

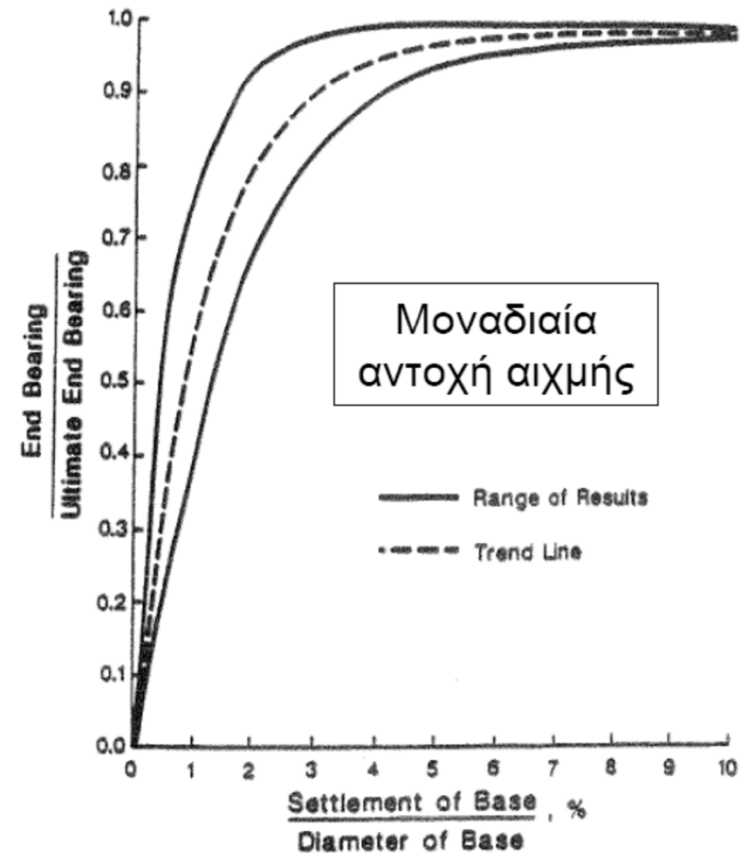


FIGURE 4.6.5.5.1.1B Load Transfer in Tip Bearing Settlement Drilled Shafts in Cohesive Soil After Reese and O'Neill (1988)

# Φέρουσα Ικανότητα

## Οι δύο συνιστώσες - Αμμώδη

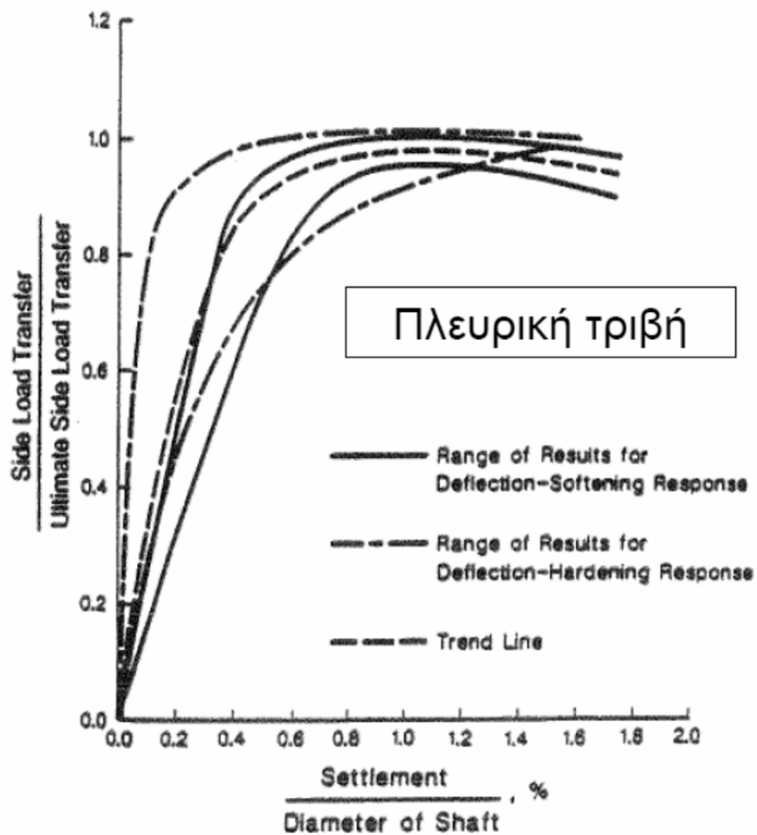


FIGURE 4.6.5.5.1.2A Load Transfer in Side Resistance Versus Settlement Drilled Shafts in Cohesionless Soil After Reese and O'Neill (1988)

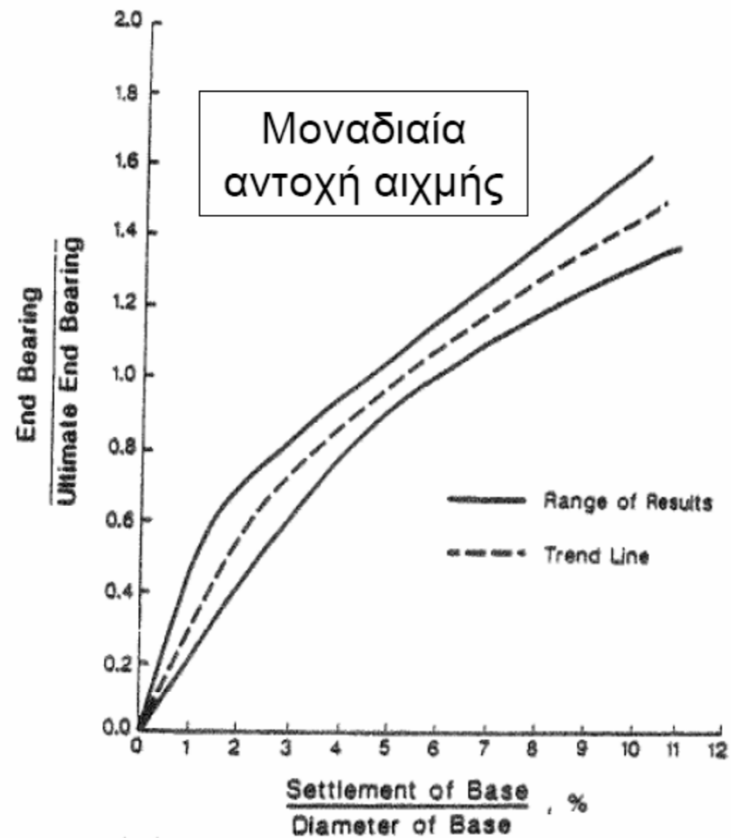


FIGURE 4.6.5.5.1.2B Load Transfer in Tip Bearing Versus Settlement Drilled Shafts in Cohesionless Soil After Reese and O'Neill (1988)

# Φέρουσα Ικανότητα...

## Υπολογισμός-παράγοντες επιρροής

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως με υπολογισμούς

$$Q_u = Q_{su} + Q_{pu} \quad \left\{ \begin{array}{l} Q_{su} = \int_0^L p f_{su} dz = \pi D \int_0^L f_{su} dz = \pi D \sum_i f_{sui} \Delta z_i \\ Q_{pu} = A_p q_{pu} \end{array} \right.$$

$q_{pu}$  = οριακή μοναδιαία αντίσταση αιχμής

$f_{su}$  = οριακή πλευρική τριβή

Παρατηρήσεις :

1. Σε αμμώδεις και αμμοχαλικώδεις σχηματισμούς, η φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως αυξάνει σημαντικά με τον χρόνο μετά την έμπηξη, λόγω ανάπτυξης θιξοτροπικών δεσμών μεταξύ των κόκκων της άμμου (ageing). Σε μεταλλικούς πασσάλους, η αύξηση είναι ακόμη μεγαλύτερη λόγω αύξησης της πρόσφυσης με τον χρόνο (ανάπτυξη επιφανειακής σκωρίας στο τοίχωμα του πασσάλου).
2. Σε αργιλικούς σχηματισμούς (κυρίως μαλακές έως σφιχτές αργίλους), η φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως αυξάνει με τον χρόνο μετά την έμπηξη λόγω στερεοποίησης της αργίλου (αύξηση των οριζόντιων ενεργών τάσεων). Σε σκληρές αργίλους, η αύξηση είναι μικρή έως μηδενική (και ενίοτε αρνητική).

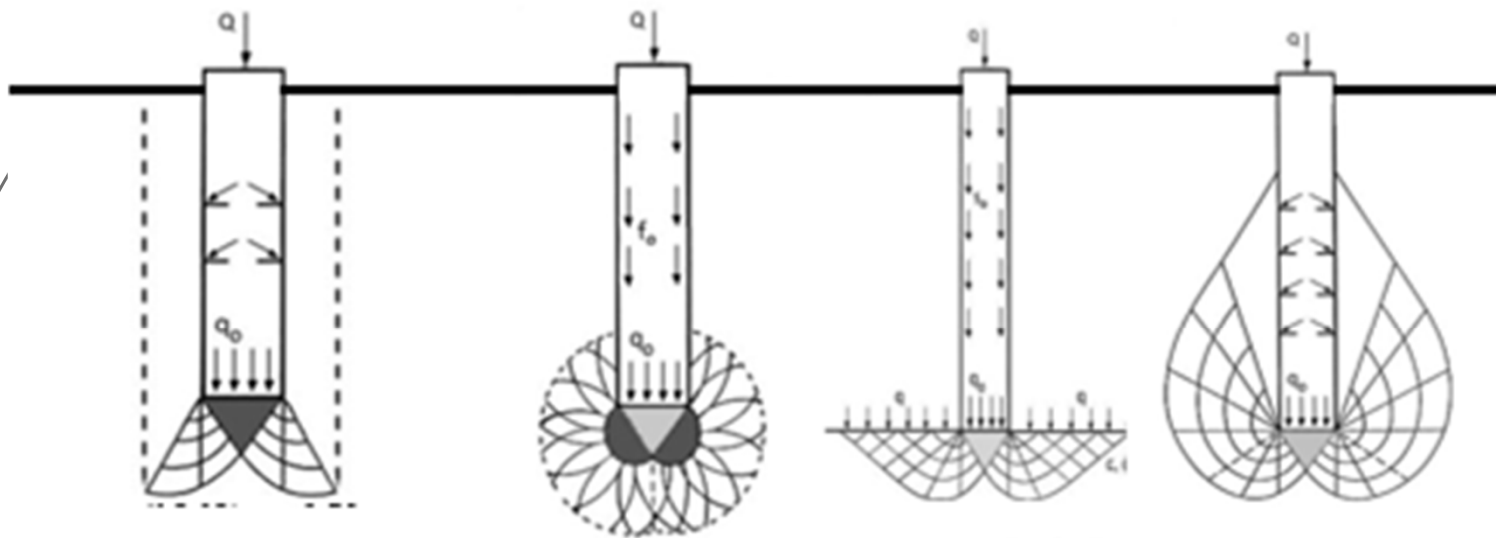
Συνεπώς, κρίσιμη φέρουσα ικανότητα πασσάλων σε αργίλους είναι η βραχυχρόνια (ανάλυση υπό αστραγγιστες συνθήκες :  $\phi = 0$ ,  $c = c_u$  και ολικές τάσεις)

# Φέρουσα Ικανότητα... Αντίσταση αιχμής και τριβής...

Γενική Θεώρηση:

Αντίσταση αιχμής: 
$$p_u = c \cdot N_c \cdot s_c + \sigma'_v \cdot N_q \cdot s_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

Αντίσταση τριβής: 
$$f_{su} = \alpha c_u \quad \text{ή} \quad f_{su} = \alpha c' + K \sigma'_v \tan \delta$$



*Berezantzev in (1962) and Vesic (1963)*

*Skempton et al. in (1953)*

*Terzaghi in (1943)*

*Meyerhof in (1951)*

# Φέρουσα Ικανότητα εμπηγνυόμενων πασσάλων-Αντίσταση αιχμής κατά API

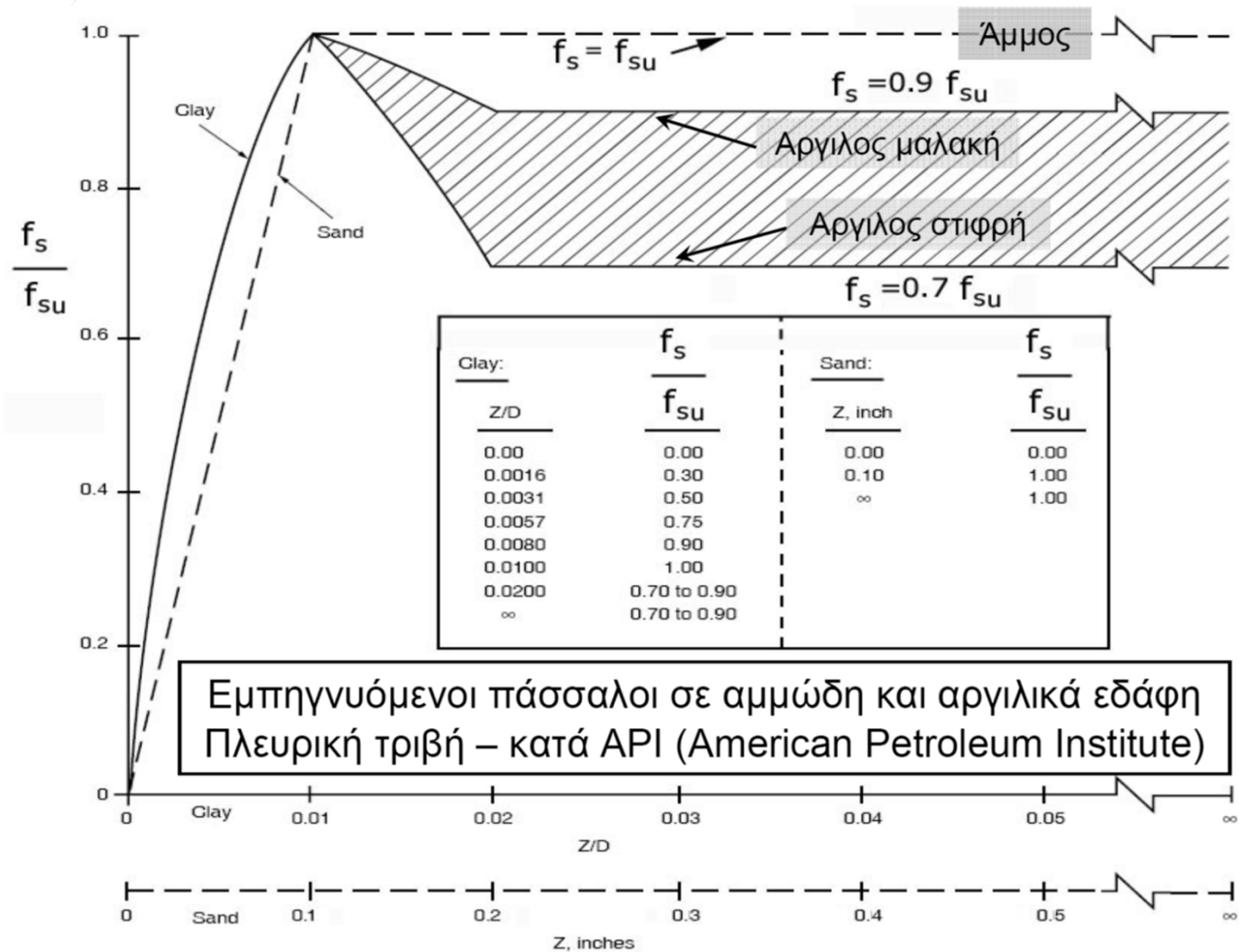
Μη συνεκτικά εδάφη:  $q_{pu} = \sigma'_v N_q \leq q_{pu,max}$

$\sigma'_v$  = κατακόρυφη ενεργός τάση στην αιχμή του πασσάλου

Είδος αμμώδους εδάφους	Συνιστώμενη τιμή του $N_q$	Μέγιστη οριακή μοναδιαία αντίσταση αιχμής $q_{pu,max}$ (MPa)
Πολύ χαλαρή άμμος – Χαλαρή αμμώδης ιλύς	8	1.9
Χαλαρή άμμος – Μέσης πυκνότητας αμμώδης ιλύς	12	2.9
Άμμος μέσης πυκνότητας – Πυκνή αμμώδης ιλύς	20	4.8
Πυκνή άμμος – Πολύ πυκνή αμμώδης ιλύς	40	9.6
Πολύ πυκνή άμμος – Πυκνό αμμοχάλικο	50	12

Συνεκτικά εδάφη:  $q_{pu} = 9 \cdot c_u$

# Φέρουσα Ικανότητα εμπηγνυόμενων πασσάλων-Αντίσταση τριβής κατά API



Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι σε αμμώδη και αργιλικά εδάφη  
Πλευρική τριβή – κατά API (American Petroleum Institute)



# Φέρουσα Ικανότητα εμπηγνυόμενων πασσάλων-Αντίσταση τριβής κατά API

Μη συνεκτικά εδάφη:  $f_{su} = K \sigma'_v \tan \delta$

Είδος αμμώδους εδάφους	Συνιστώμενη τιμή του $\delta$ (°)
Πολύ χαλαρή άμμος – Χαλαρή αμμώδης ιλύς	15
Χαλαρή άμμος – Μέσης πυκνότητας αμμώδης ιλύς	20
Άμμος μέσης πυκνότητας – Πυκνή αμμώδης ιλύς	25
Πυκνή άμμος – Πολύ πυκνή αμμώδης ιλύς	30
Πολύ πυκνή άμμος – πυκνό αμμοχάλικο	35

Συνεκτικά εδάφη:

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

$$\text{Για: } \left( \frac{c_u}{\sigma'_{vo}} \right) \leq 1 \Rightarrow \alpha = \min \left\{ 0.5 \left( \frac{c_u}{\sigma'_{vo}} \right)^{-0.50}, 1.0 \right\}$$

$$\text{Για: } \left( \frac{c_u}{\sigma'_{vo}} \right) > 1 \Rightarrow \alpha = \min \left\{ 0.5 \left( \frac{c_u}{\sigma'_{vo}} \right)^{-0.25}, 1.0 \right\}$$

$$\text{όπου: } \frac{c_u}{\sigma'_{vo}} = (0.2 \div 0.3)(OCR)^{0.78}$$

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

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)
$\leq 10$	0 (αμελείται)
10	2
15	3
20	3.5
$\geq 25$	4

\* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

## ΠΡΟΣΟΧΗ:

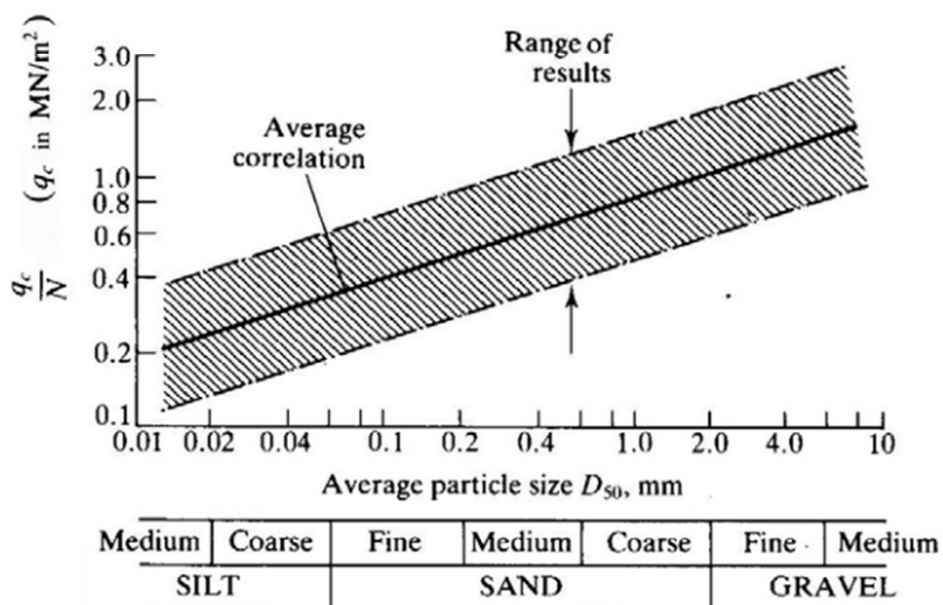
- $q_c$  = αντοχή αιχμής κώνου στην περιοχή της βάσης του πασσάλου
- Απαιτείται ελάχιστη διείσδυση της βάσης του πασσάλου στο φέρον στρώμα κατά 2.5m και το στρώμα να εκτείνεται σε βάθος τουλάχιστον 3D κάτω από την αιχμή (D=διάμετρος)

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

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

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

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
$\geq 200$	1.5

\* 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
$\geq 15$	120

\* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

## Π Ρ Ο Σ Ο Χ Η:

- $c_u$  = αστράγγιστη διατμητική αντοχή στην περιοχή της βάσης του πασσάλου
- Απαιτείται ελάχιστη διείσδυση της βάσης του πασσάλου στο φέρον στρώμα κατά 2.5m και το στρώμα να εκτείνεται σε βάθος τουλάχιστον 3D κάτω από την αιχμή (D=διάμετρος)

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

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
$\geq 200$	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

\* ενδιάμεσες τιμές με γραμμική παρεμβολή

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

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

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

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

## 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  $\delta$  (=  $\varphi$ ) 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*

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

## 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 αστράγγιστες συνθήκες –  $\varphi = 0$  :

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

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

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



# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

## 2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

### **2. Έγχυτοι 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

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

# Φέρουσα Ικανότητα Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

## 2.2 Αξονική φέρουσα ικανότητα έγχυτων πασσάλων

Άλλες μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας έγχυτων πασσάλων :

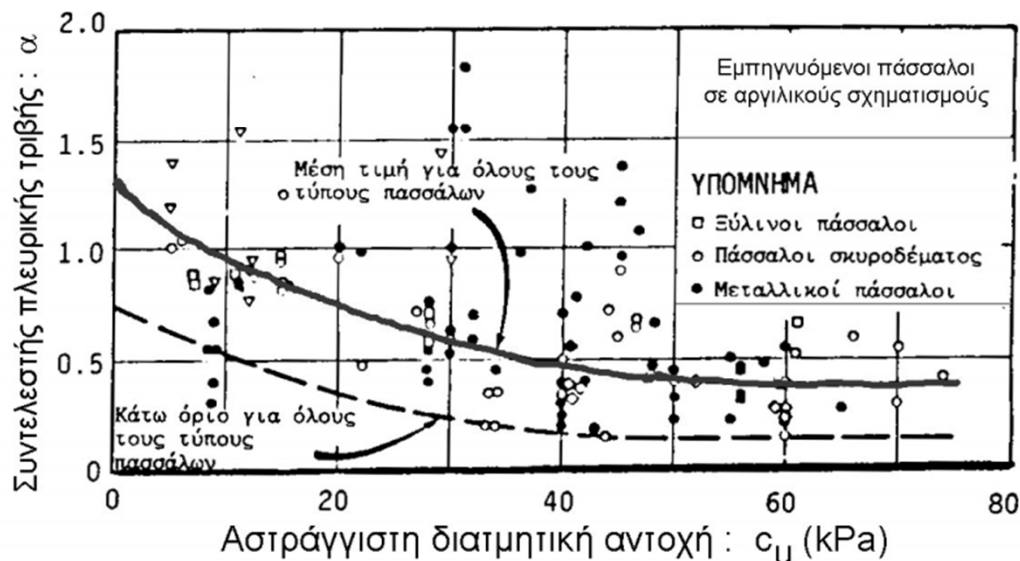
### 2. Εγχυτοί πάσσαλοι σε συνεκτικά (αργίλικά) εδάφη :

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

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

$c_u$  = αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Τιμές του συντελεστή «  $\alpha$  » για εμπηγνυόμενους πασσάλους



Οι τιμές του συντελεστή  $\alpha$  για έγχυτους πασσάλους είναι μειωμένες κατά 20%

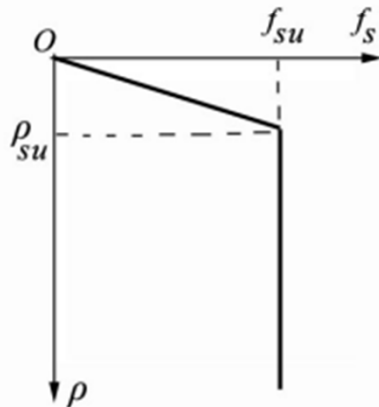
# Καθιζήσεις Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

Καθιζήσεις μεμονωμένου πασσάλου :

Μέθοδος προσδιορισμού της καμπύλης  $Q - \rho$  για έγχυτους πασσάλους, κατά το DIN 4014

Παραδοχή : Ο πάσσαλος θεωρείται ασυμπίεστος αξονικά : δηλαδή  $\rho_{\text{κεφαλής}} = \rho_{\text{αιχμής}}$

1.1 Καμπύλες ανάπτυξης της πλευρικής τριβής ( $f_s$ ) – κάθε είδους εδάφη



$$f_s = \frac{\rho}{\rho_{su}} f_{su} \quad \text{για } \rho \leq \rho_{su}$$

$$f_s = f_{su} \quad \text{για } \rho > \rho_{su}$$

$$\text{όπου : } \rho_{su} = \min\{0.5Q_{su} + 0.5\text{cm} , 3\text{cm}\}$$

$Q_{su}$  = οριακή αντίσταση τριβής σε MN

$\rho_{su}$  = καθίζηση κεφαλής σε cm

# Καθιζήσεις Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

Καθιζήσεις μεμονωμένου πασσάλου

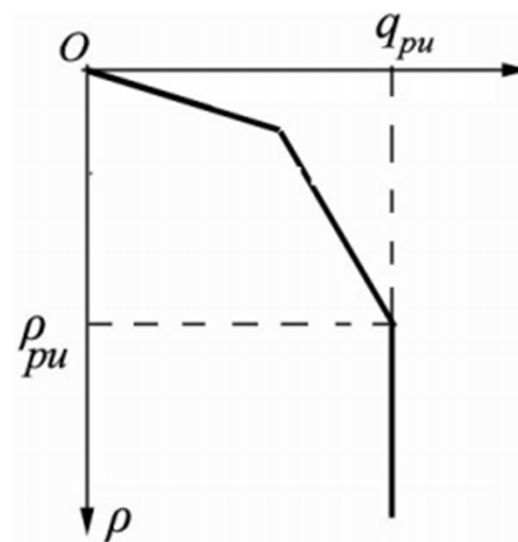
Μέθοδος προσδιορισμού της καμπύλης  $Q - \rho$  για έγχυτους πασσάλους κατά το DIN 4014

1.2 Καμπύλες ανάπτυξης της μοναδιαίας αντίστασης αιχμής ( $q_p$ ) σε MPa

1.2.1 Σε μή-συνεκτικά εδάφη ( $D =$  διάμετρος πασσάλου) :

$\rho / D$	Αντίσταση αιχμής κώνου ( $q_c$ ) δοκιμής CPT – σε MPa			
	10	15	20	25
0	0	0	0	0
0.02	0.7	1.05	1.4	1.75
0.03	0.9	1.35	1.8	2.25
0.10	2.0	3.0	3.5	4.0
> 0.10	2.0	3.0	3.5	4.0

Τιμές του  $q_p$  σε MPa



# Καθιζήσεις Έγχυτων πασσάλων κατά DIN 4014

Καθιζήσεις μεμονωμένου πασσάλου

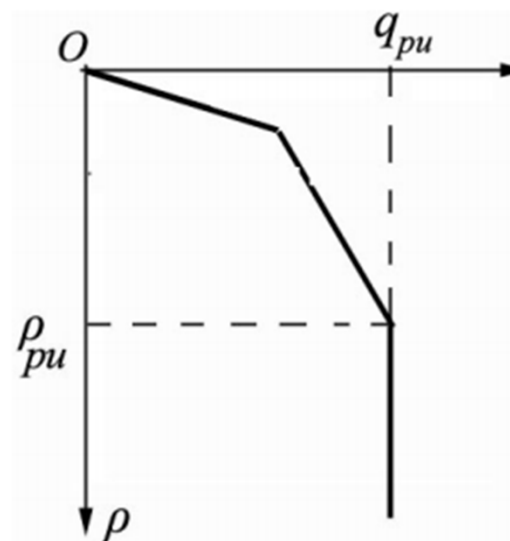
Μέθοδος προσδιορισμού της καμπύλης  $Q - \rho$  για έγχυτους πασσάλους κατά το DIN 4014

1.2 Καμπύλες ανάπτυξης της μοναδιαίας αντίστασης αιχμής ( $q_p$ ) σε MPa

1.2.2 Σε συνεκτικά εδάφη ( $D$  = διάμετρος πασσάλου) :

$\rho / D$	Αστράγγιστη διατμητική αντοχή $c_u$ (kPa)	
	100	200
0	0	0
0.02	0.35	0.9
0.03	0.45	1.1
0.10	0.80	1.5
> 0.10	$0.80 = q_{pu}$	$1.5 = q_{pu}$

Τιμές του  $q_p$  σε MPa



# Μία άσκηση...

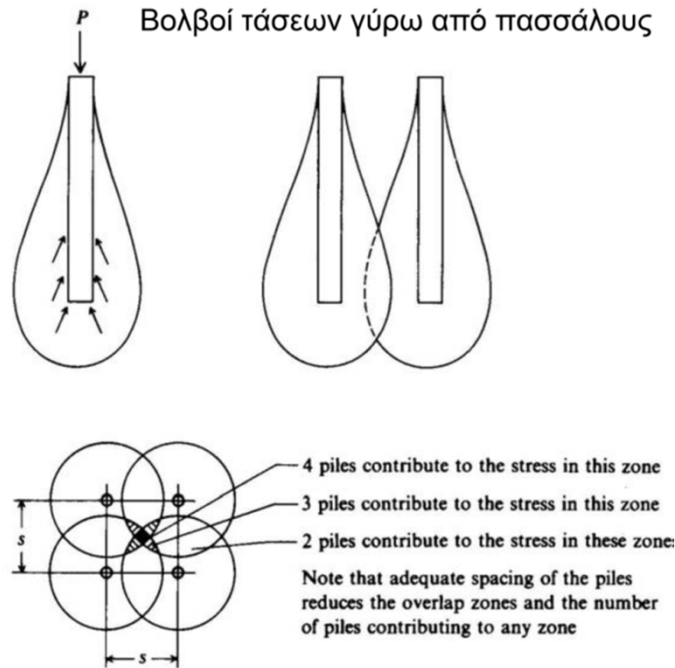
Βάθρο γέφυρας προβλέπεται να θεμελιωθεί επί φρεατοπασσάλων σε θέση με το γεωτεχνικό προφίλ του σχήματος. Υπολογίστηκε ότι κάθε πάσσαλος της θεμελίωσης θα φορτίζεται με αξονικό φορτίο  **$P=2MN$** . Οι πάσσαλοι έχουν διάμετρο  **$D=1.0m$** . Ποιο είναι το απαιτούμενο μήκος των φρεατοπασσάλων ώστε ο συντελεστής ασφαλείας αξονικής φέρουσας ικανότητας να είναι μεγαλύτερος από  **$FS=2.0$** .

Για το τελικό μήκος των πασσάλων να σχεδιαστεί η καμπύλη φορτίου-μετατόπισης και να εκτιμηθούν οι καθιζήσεις για το προβλεπόμενο αξονικό φορτίο.

Μαλακή άργιλος $C_u=25kPa$	-8.0
Χαλαρή άμμος $q_c=5MPa$	-12.0
Στιφρή άργιλος $C_u=160kPa$	-30.0

# Ομάδα πασσάλων Συμπεριφορά σε κατακόρυφη φόρτιση

Βολβοί τάσεων γύρω από πασσάλους



## Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι:

Η ομάδα έχει βελτιωμένη συμπεριφορά έναντι του μεμονωμένου λόγω συμπύκνωσης του εδάφους

## Έγχυτοι πάσσαλοι:

Η αντίσταση πλευρικής τριβής μειώνεται λόγω της αλληλεπίδρασης. Η αντίσταση αιχμής μένει γενικά η ίδια.

Γενικά ισχύει:

$$Q_{su,g} = n \cdot Q_{su}$$

Όπου:  $Q_{su,g}$   
 $Q_{su}$

$n$

η αντίσταση τριβής του κάθε πασσάλου στην ομάδα  
η αντίσταση τριβής ενός μεμονωμένου πασσάλου στις ίδιες εδαφικές συνθήκες  
μειωτικός συντελεστής (=1.0 για αποστάσεις μεταξύ των πασσάλων μεγαλύτερες από 3D).

# Ομάδα πασσάλων

## Συμπεριφορά σε κατακόρυφη φόρτιση

Συνήθεις σχέσεις για τον απομειωτικό συντελεστή  $n$

- Σχέση Converse-Labarre

$$n = 1 - \left[ \frac{(n_1 - 1)n_2 + (n_2 - 1)n_1}{90n_1n_2} \right] \cdot \tan^{-1}(D/d)$$

- Σχέση Los Angeles Group Action

$$n = 1 - \frac{D}{\pi d n_1 n_2} \left[ n_1(n_2 - 1) + n_2(n_1 - 1) + \sqrt{2}(n_1 - 1)(n_2 - 1) \right]$$

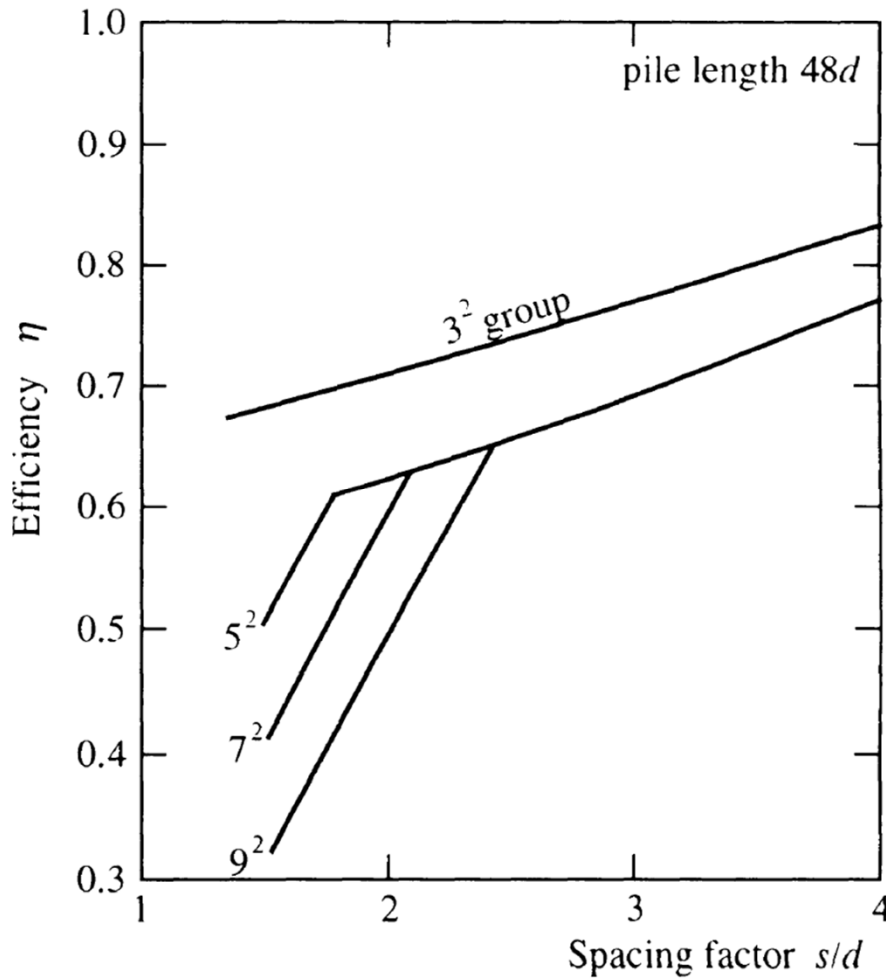
- Seiler-Keeney (1944)

$$n = \left\{ 1 - \left[ \frac{11d}{7(d^2 - 1)} \right] \left[ \frac{n_1 + n_2 - 2}{n_1 + n_2 - 1} \right] \right\} + \frac{0.3}{n_1 + n_2}$$

Όπου:  $n_1 n_2$  ο αριθμός των σειρών και των στηλών της ομάδας  
 $d$  η απόσταση από κέντρο σε κέντρο των πασσάλων  
(Σε πόδια -ft- στην τελευταία σχέση)  
 $D$  η διάμετρος των πασσάλων



# Ομάδα πασσάλων Συμπεριφορά σε κατακόρυφη φόρτιση



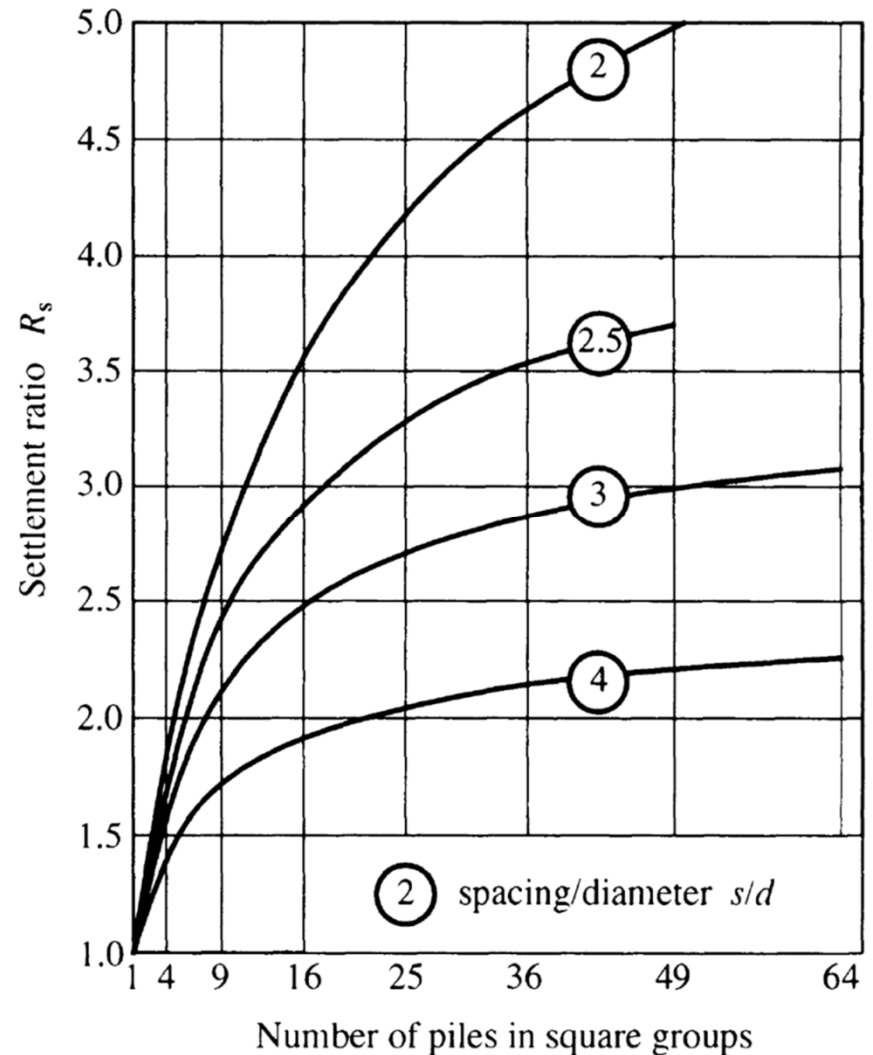
Αποτελεσματικότητα  
ομάδας πασσάλων  
Whitaker (1970)

# Ομάδα πασσάλων Καθιζήσεις...

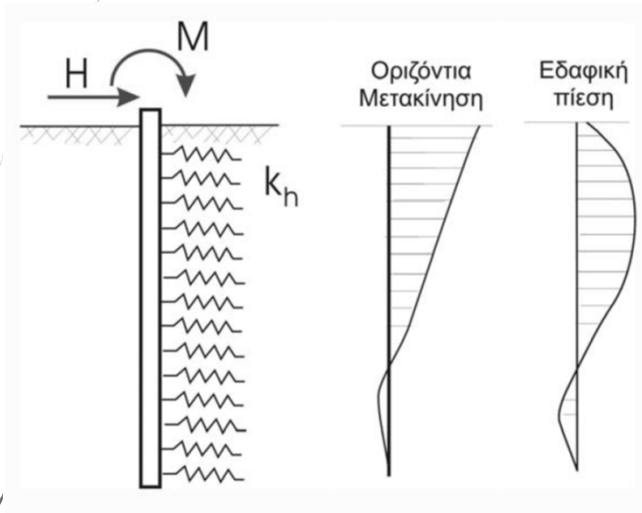
Ο λόγος μεταξύ των καθιζήσεων του μεμονωμένου πασσάλου και της ομάδας πασσάλων (για το ίδιο φορτίο ανά πάσσαλο) συμβολίζεται ως  $R_s$ :

$$R_s = \frac{\rho_{GROUP}}{\rho_{SINGLE.PILE}}$$

Οι Cooke et al. (1980) πρότειναν το διπλανό σχήμα για τον υπολογισμό του λόγου αυτού.

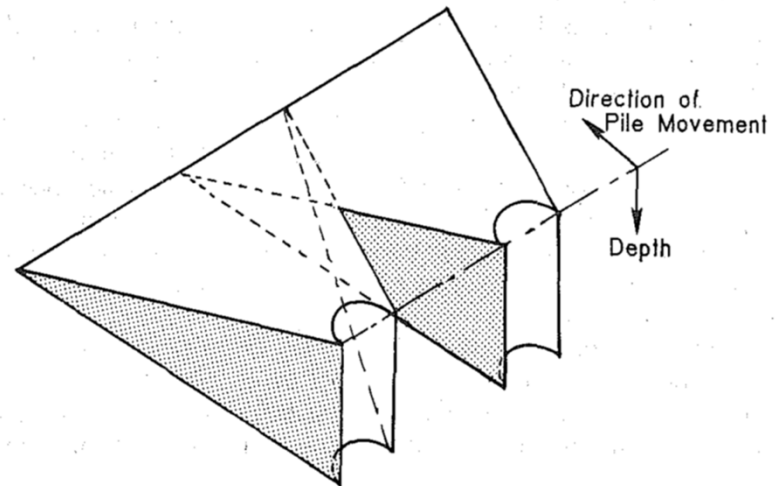


# Ομάδα πασσάλων Συμπεριφορά σε οριζόντια φόρτιση



Μπορεί να αναλυθεί απλά με τη θεωρία ελατηρίων "winkler"

Ακόμα πιο σύνθετη η επίδραση ομάδας στην αντοχή σε οριζόντια φόρτιση



# Ομάδα πασσάλων Συμπεριφορά σε οριζόντια φόρτιση

Π.χ. παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από πειράματα μεγάλης κλίμακας των McVay et al. (1998), οι οποίοι παρατήρησαν διαφοροποιήσεις στα φορτία του κάθε πασσάλου:

- Ανάλογα με τη σειρά του (πρώτη, ενδιάμεσες, τελευταία)
- Ανάλογα με το είδος του εδάφους
- Ανάλογα με το συνολικό μέγεθος της ομάδας

**TABLE 2. Measured Shears from Pile Groups Founded in Medium Dense Sand**

Average single pile (1)	3 × 3 rows (2)	4 × 3 rows (3)	5 × 3 rows (4)	6 × 3 rows (5)	7 × 3 rows (6)	Average (7)
Lead row (kN)	244.6	289.1	293.6	302.5	302.5	286.5
Second row (kN)	177.9	186.8	218.0	209.1	222.4	202.8
Third row (kN)	142.3	146.8	160.1	186.8	182.4	169.0
Fourth row (kN)	—	142.3	145.9	147.7	160.1	151.2
Fifth row (kN)	—	—	146.8	147.7	144.1	145.9
Sixth row (kN)	—	—	—	151.2	146.8	146.8
Seventh row (kN)	—	—	—	—	154.8	147.7
Measured (kN)	1,694.7	2,295.2	2,893.0	3,434.7	3,939.1	—
Predicted (kN)	1,910.9	2,417.9	2,871.6	3,309.3	3,749.7	—
Error (%)	-12.7	-5.3	0.7	3.6	4.8	—

**TABLE 3. Measured Shears from Pile Groups Founded in Loose Sand**

Average single pile (1)	3 × 3 rows (2)	4 × 3 rows (3)	5 × 3 rows (4)	6 × 3 rows (5)	7 × 3 rows (6)	Average (7)
Lead row (kN)	240.2	238.4	240.2	222.4	240.2	236.6
Second row (kN)	151.2	155.7	186.8	162.8	177.9	167.2
Third row (kN)	124.5	124.5	142.3	139.7	142.3	137.0
Fourth row (kN)	—	131.7	124.5	116.5	133.4	124.5
Fifth row (kN)	—	—	133.4	115.6	116.5	116.1
Sixth row (kN)	—	—	—	133.4	116.5	116.5
Seventh row (kN)	—	—	—	—	133.4	131.7
Measured (kN)	1,547.9	1,950.9	2,482.0	2,671.5	3,181.2	—
Predicted (kN)	1,606.5	2,017.6	2,391.2	2,740.9	3,090.5	—
Error (%)	-3.8	-3.4	3.6	-2.6	3.5	—

# Ένα απλό παράδειγμα

Το μεσόβαθρο μίας γέφυρας είναι τετραγωνικό με πλευρά 9.0m και θα θεμελιωθεί σε ομάδα πασσάλων. Ποια είναι η αποδοτικότερη διάταξη ομάδας πασσάλων σε κατακόρυφα φορτία από τις δύο ακόλουθες;

- Ομάδα 4 x 4:  $D=1.00\text{m}$ ,  $d=2.5\text{m}$  (συνολικό μήκος και πλάτος διάταξης 8.5m x 8.5m) ή
- Ομάδα 5 x 5:  $D=0.80\text{m}$ ,  $d=2.0\text{m}$  (συνολικό μήκος και πλάτος διάταξης 8.8m x 8.8m)

Εάν οι πάσσαλοι είναι μήκους 20m σε ένα αργιλικό έδαφος με  $C_v=80\text{kPa}$  ποια από τις δύο διατάξεις φέρει μεγαλύτερο συνολικό φορτίο;

Σε ποια διάταξη αναμένουμε μεγαλύτερες καθιζήσεις για το ίδιο συνολικό κατακόρυφο φορτίο  $P_o$ ;

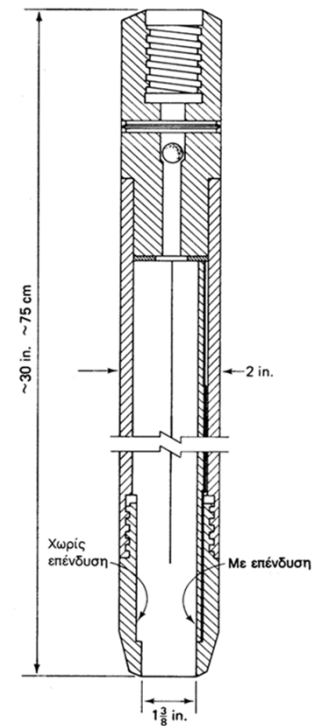
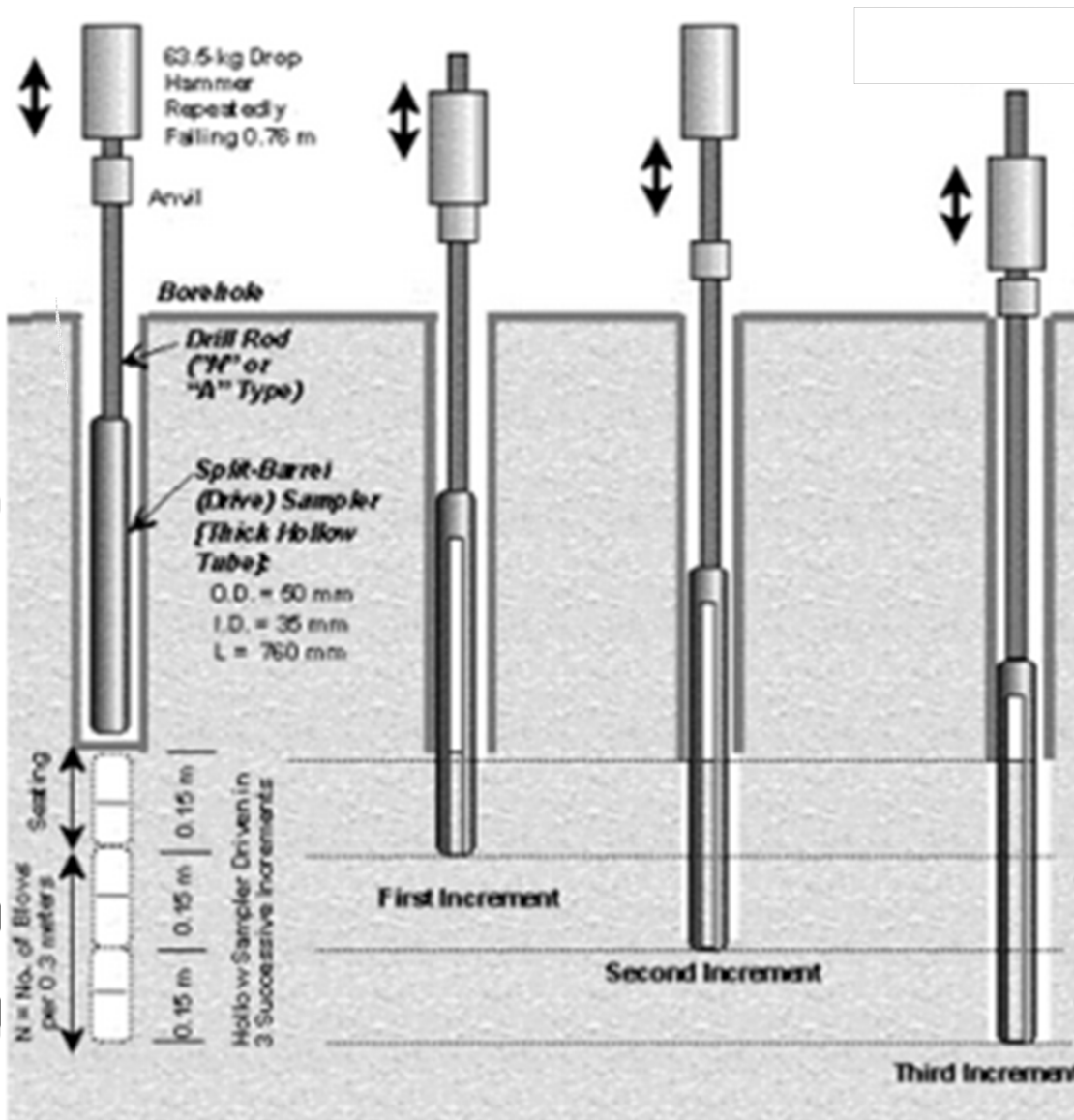
Εισηγητής: Αλέξανδρος Βαλσαμής



# Θεμελιώσεις

Επιτόπου δοκιμές SPT και CPT...

# Πρότυπη Δοκιμή διείσδυσης SPT (Standard Penetration Test)



Η αντοχή SPT, δηλαδή ο αριθμός κρούσεων  $N_{SPT}$ , είναι το άθροισμα των κτύπων που απαιτούνται για να μπει η συσκευή εντός των τελευταίων 30cm της δοκιμής (αφαιρούμε τα πρώτα 15cm)

# Δοκιμή SPT

## Διορθώσεις του αριθμού $N_{SPT}$

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT ανεξαρτήτως πως ακριβώς έχει πραγματοποιηθεί και σε ποιο βάθος αναφερόμαστε, γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις:

- Σε λεπτόκοκκες άμμους (ή αμμώδεις ιλύες) με  $N_{SPT} > 15$ , κάτω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, απαιτείται διόρθωση:

$$N'_{SPT} = 15 + 0.5(N_{SPT} - 15)$$

- $N_{60} = N'_{SPT} C_E C_B C_R C_S$ 
  - $C_E$  διόρθωση **ενέργειας** πύπτοντος βάρους
  - $C_B$  διόρθωση λόγω της **διαμέτρου** της γεώτρησης
  - $C_R$  διόρθωση λόγω του ελεύθερου **μήκους** του στελέχους
  - $C_S$  διόρθωση λόγω **τύπου δειγματολήπτη**
- $N_{1,60} = N'_{SPT} C_E C_B C_R C_S C_N$ 
  - $C_N$  αναγωγή σε **κατακόρυφη ενεργό τάση ίση με 100kPa**.
- $N'$  αναγωγή κατά Terzaghi & Peck σε **σχετική πυκνότητα 100%**.



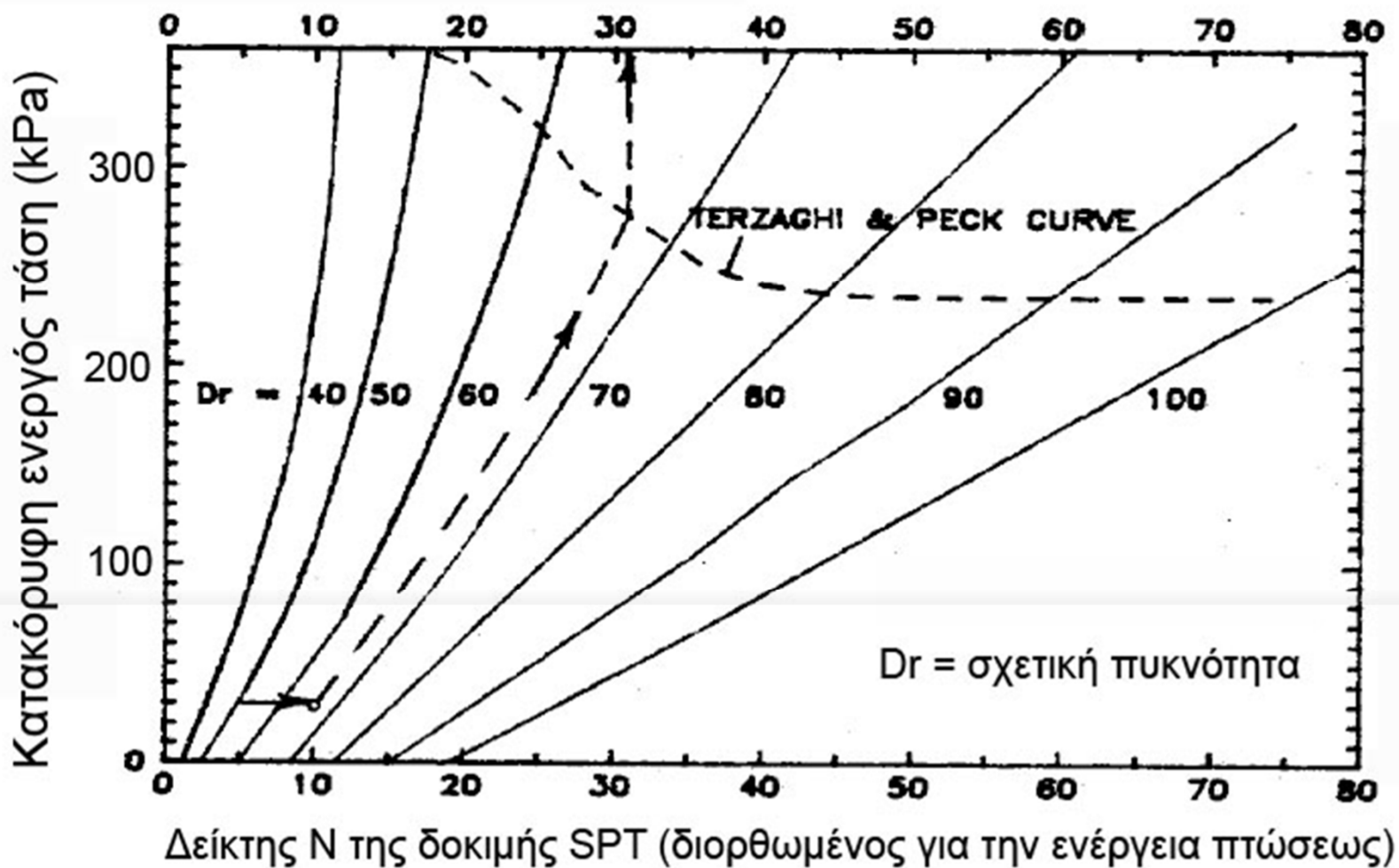
# Διορθώσεις του αριθμού $N_{SPT}$

## 1996 NCEER-1998 NCEER/NSF WORKSHOPS

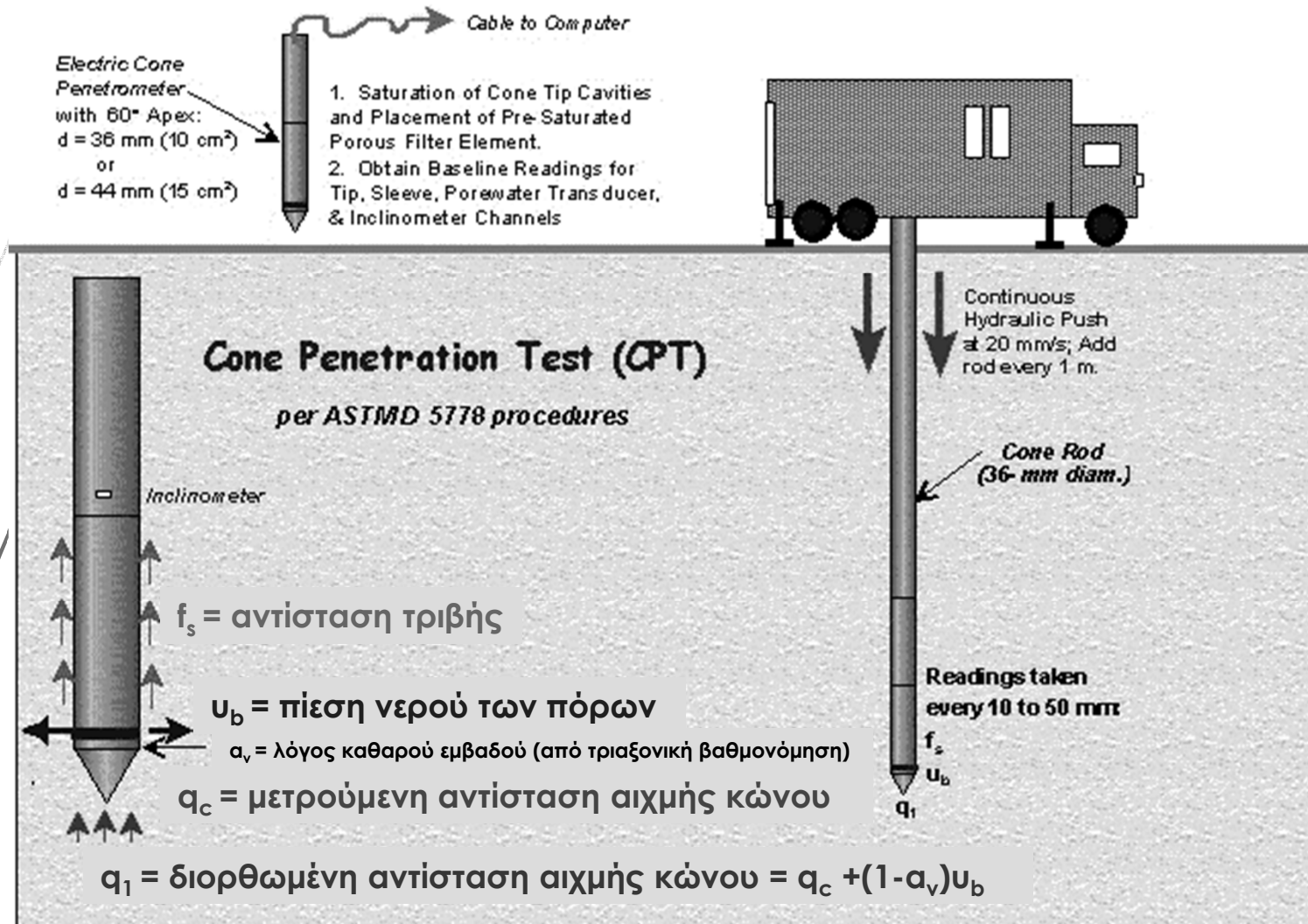
Συντελεστής Διόρθωσης	Σύμβολο	Τύπος	Τιμές
Ενέργεια πίπτοντος βάρους	$C_E$	"Donut hammer"	0.50-1.00
		"Safety hammer"	0.70-1.20
		"Automatic-trip Donut type Hammer"	0.80-1.30
Διάμετρος της γεώτρησης	$C_B$	65-115mm	1.00
		150mm	1.05
		200mm	1.15
Ελεύθερο μήκος του στελέχους	$C_R$	<3m	0.75
		3-4m	0.80
		4-6m	0.85
		6-10m	0.95
		10-30m	1.00
Τύπος δειγματολήπτη	$C_S$	Standard sampler	1.00
		"Sampler without liners"	1.10-1.30
Αναγωγή σε τάση 100kPa	$C_N$	minimum of $(100/\sigma'_{vo})^{0.50}$ and 1.70	

# Διορθώσεις του αριθμού $N_{SPT}$

Αναγωγή κατά Terzaghi & Peck σε σχετική πυκνότητα 100%.



# Δοκιμή Στατικής Πενетроμέτρησης CPT (Cone Penetration Test)



# Διορθώσεις CPT και εκτίμηση για το είδος εδάφους...

Προκειμένου να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα της δοκιμής CPT ανεξαρτήτως σε ποιο βάθος αναφερόμαστε, γίνονται οι ακόλουθες διορθώσεις:

$$q_{c1N} = C_Q(q_c/P_d)$$

$C_Q$  αναγωγή σε **κατακόρυφη ενεργό τάση ίση με 100kPa**, σύμφωνα με την εξίσωση:

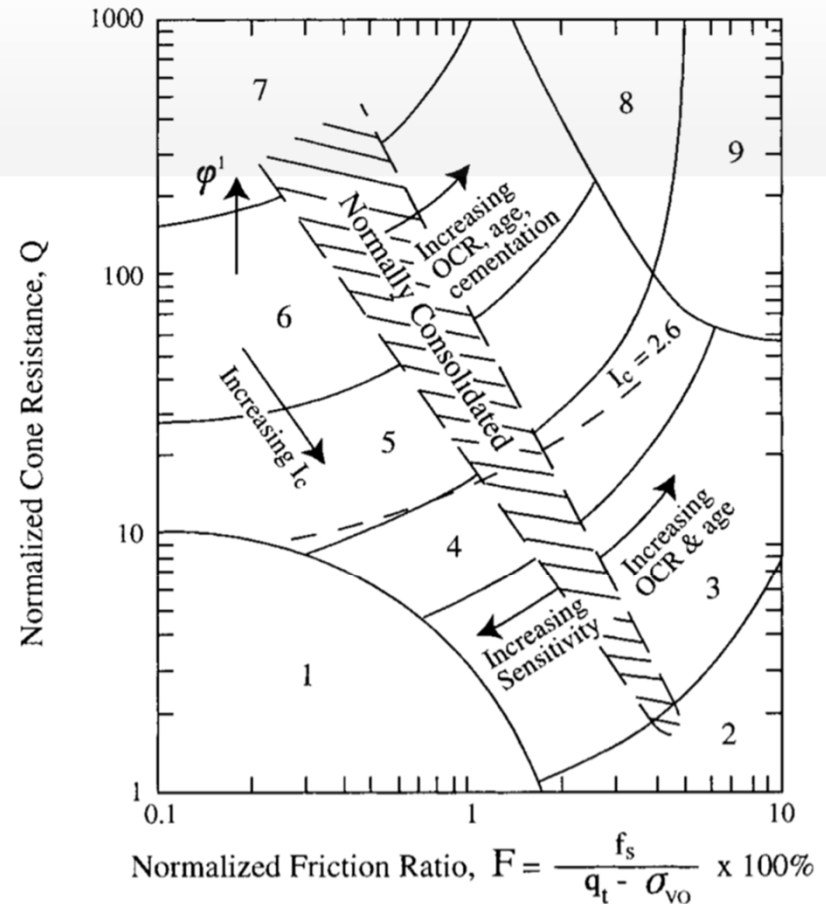
$$C_Q = \min\{(P_d/\sigma'_{vo})^n, 1.7\}$$

όπου  $n=1$  (άργιλοι) έως  $0.5$  (άμμοι)

Το **είδος του εδάφους** δίνεται με επαναληπτική διαδικασία από το διάγραμμα για

$$Q = [(q_c - \sigma_{vo})/P_d] [(P_d/\sigma'_{vo})^n]$$

$$F = [f_s/(q_c - \sigma_{vo})] \times 100\%$$



- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Sensitive, fine grained                   | 6. Sands - clean sand to silty sand |
| 2. Organic soils - peats                     | 7. Gravelly sand to dense sand      |
| 3. Clays - silty clay to clay                | 8. Very stiff sand to clayey sand*  |
| 4. Silt mixtures - clayey silt to silty clay | 9. Very stiff, fine grained*        |
| 5. Sand mixtures - silty sand to sandy silt  |                                     |

\*Heavily overconsolidated or cemented