ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
« ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »
7ο Εξ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Ετος 2005 - 06

ΔΙΑΛΕΞΗ 8γ

Θεμελιώσεις με πασσάλους

Υπολογισμός αξονικής φέρουσας ικανότητας μέσω :

- Αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών
- Αξιοποίησης των χαρακτηριστικών έμπηξης
- Δοκιμαστικών φορτίσεων

20.05.2005

2.1 Αξονική φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)
2. Μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών (SPT, CPT, PMT)
3. Με αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της έμπηξης (δυσχέρεια προχώρησης)
   3.1 Δυναμικοί τύποι (Dynamic Formulae)
   3.2 Κυματική ανάλυση (Wave equation analysis)
4. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενων) μέσω των αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών

1. Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)
2. Μέσω επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)
3. Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT)

1. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) πασσάλων εκτοπίσεως κατά Meyerhof (1976):

Σε κοκκώδη εδάφη (άμμοι) : $$q_{pu} = (0.04\,N)\frac{L_b}{B} \le 0.4\,N$$ (σε MPa)

Σε μή-πλαστικές ιλείς : $$q_{pu} = (0.03\,N)\frac{L_b}{B} \le 0.3\,N$$ (σε MPa)

N = μέσος δείκτης SPT σε μία ζώνη ύψους 7B (από 4B πάνω από την αιχμή έως 3B κάτω από την αιχμή)

B = εύρος (διάμετρος) βάσης πασσάλου

L_b = βάθος της αιχμής του πασσάλου εντός του φέροντος στρώματος.
Οι ανωτέρω σχέσεις θεωρούν ότι εάν η διείσδυση L_b υπερβεί το 10 B, η αντίσταση αιχμής δεν αυξάνει περαιτέρω.

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως μέσω επιτόπου δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)

2. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) κατά Decourt (1982):

$$q_{pu} = k_1\ N \le 50\,k_1$$ (σε MPa)

Παρατήρηση : Για τιμές του N>50, στον ανωτέρω τύπο τίθεται N=50

Προτεινόμενες τιμές του k_1 :

Αργιλοι : k_1 = 0.12 , Αργιλο-ιλείς : k_1 = 0.20
Αμμο-ιλείς : k_1 = 0.25 , Αμμοι : k_1 = 0.40

3. Εκτίμηση οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) κατά Decourt (1982):

$$f_{su} = 10 + 3.3\,N \le 175\ kPa$$ (σε kPa)

Παρατήρηση : Για τιμές του N>50, στον ανωτέρω τύπο τίθεται N=50

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως μέσω επιτόπου δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)

4. Εκτίμηση οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) πασσάλων εκτοπίσεως σε αμμώδη εδάφη κατά Meyerhof (1976):

$$f_{su} = \chi_m N \qquad \text{(σε kPa)}$$

N = μέσος δείκτης SPT στο στρώμα εντός του οποίου υπολογίζεται το f_{su}

χ_m = 2 (πάσσαλοι μεγάλης εκτόπισης)

χ_m = 1 (πάσσαλοι μικρής εκτόπισης – π.χ. ανοικτοί σωλήνες)

Παρατήρηση : Για τιμές του N>50, στον ανωτέρω τύπο τίθεται N=50

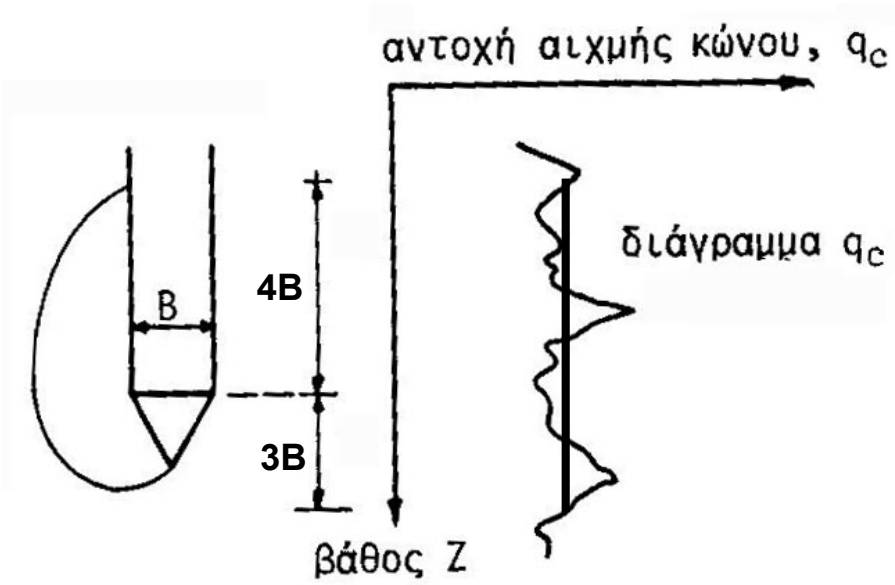
Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω των αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών

1. Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)
2. Μέσω επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)
3. Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT)

1. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) εμπηγνυόμενων πασσάλων σε άμμους κατά Meyerhof (1976) :

$$q_{pu} = q_c$$

q_c = μέση αντοχή αιχμής του κώνου CPT σε μία ζώνη ύψους 7B (από 4B πάνω από την αιχμή έως 3B κάτω από την αιχμή)



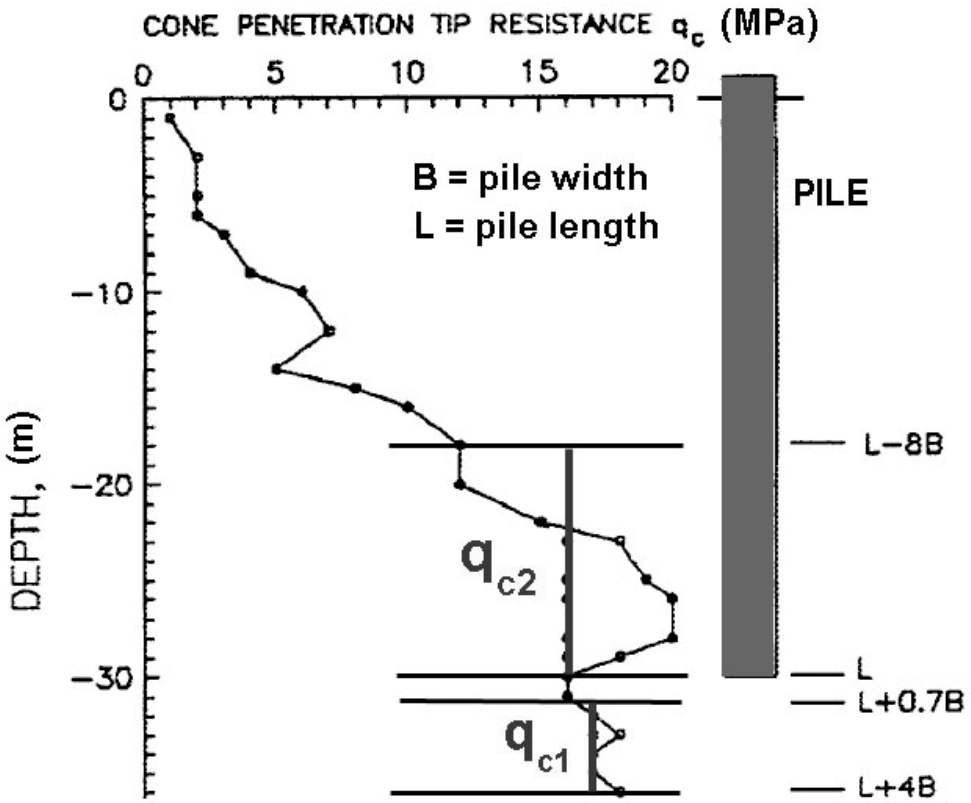
Απομείωση του q_{pu} για μικρή διείσδυση (L_b) στο φέρον στρώμα L_b < 10 B :

$$q_{pu} = q_c \frac{L_b}{10B}$$

Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση συντελεστή ασφαλείας : FS = 3 στην αντοχή αιχμής

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)

1. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) εμπηγνυόμενων πασσάλων σε άμμους κατά Schmertmann (Αμερικανικές Οδηγίες FHWA-1978) :



$$q_{pu} = \frac{1}{2}\left(q_{c1} + q_{c2}\right)$$

q_{c1} , q_{c2} = μέση αντοχή αιχμής του κώνου CPT σε μία ζώνη περί την αιχμή του πασσάλου ως παραπλεύρως

Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση συντελεστή ασφαλείας : FS = 2 στην αντοχή αιχμής

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)

1. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) πασσάλων κατά τους Γαλλικούς κανονισμούς (AFNOR 1993) :

$$q_{pu} = k_c\left(q_c - \sigma_v\right)$$

SOIL	TYPE		q_c MPa	k_c ND	k_c D
Clay Silt	A	soft	<3	0.40	0.55
	B	stiff	3-6		
	C	hard(clay)	>6		
Sand Gravel	A	loose	<5	0.15	0.50
	B	medium	8-15		
	C	dense	>20		
Chalk	A	soft	<5	0.20	0.30
	B	weathered	>5	0.30	0.45
	C	dense	-	-	-

q_c = μέση αντοχή αιχμής του κώνου CPT σε μία ζώνη ύψους 7B (από 4B πάνω από την αιχμή έως 3B κάτω από την αιχμή)

σ_v = κατακόρυφη ολική τάση στο βάθος της αιχμής του πασσάλου

ND = πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση (έγχυτοι)

D = πάσσαλοι εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση των ακόλουθων συντελεστών ασφαλείας στην αντίσταση αιχμής (μειωμένοι συντελεστές ασφαλείας λόγω μεγάλης εμπειρίας) :

Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι : FS = 1.5

Εγχυτοι πάσσαλοι : FS = 2

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)

2. Εκτίμηση οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) πασσάλων εκτοπίσεως σε άμμους, κατά Meyerhof (1976) :

$$f_{su} = 0.005\, q_c \qquad \text{ή :} \qquad f_{su} = \lambda\, f_c$$

q_c = μέση αντοχή αιχμής της δοκιμής CPT στο στρώμα εντός του οποίου υπολογίζεται το f_{su}

f_c = μέση πλευρική τριβή της δοκιμής CPT στο στρώμα εντός του οποίου υπολογίζεται το f_{su}

λ = 1.5 - 2 : πάσσαλοι μεγάλης εκτόπισης

λ = 1 : πάσσαλοι μικρής εκτόπισης – π.χ. ανοικτοί σωλήνες

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)

2. Εκτίμηση οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) πασσάλων κατά τους Γαλλικούς κανονισμούς (AFNOR 1993) :

$$f_{su} = \frac{q_c}{\beta} \le q_{s,\max}$$

Type of pile		CLAY & SILT					SAND & GRAVEL			CHALK	
		A	B		C		A	B	C	A	B
Drilled	β	-	-	(1) 75	-	-	200	200	200	125	80
	q_{smax} (kPa)	15	40	80	40	80	-	-	120	40	120
Drilled removed casing	β	-	100	(2) 100	-	(2) 100	250	250	300	125	100
	q_{smax} (kPa)	15	40	60	40	80	-	40	120	40	80
Steel driven closed-ended	β	-	120		150		300	300	300	(3)	
	q_{smax} (kPa)	15	40		80		-	-	120		
Driven concrete	β	-	75		-		150	150	150	(3)	
	q_{smax} (kPa)	15	80		80		-	-	120		

(1) trimmed and grooved at the end of drilling
(2) dry excavation, no rotation of casing
(3) in chalk, q_s can be very low for some types of piles ; a specific study is needed.

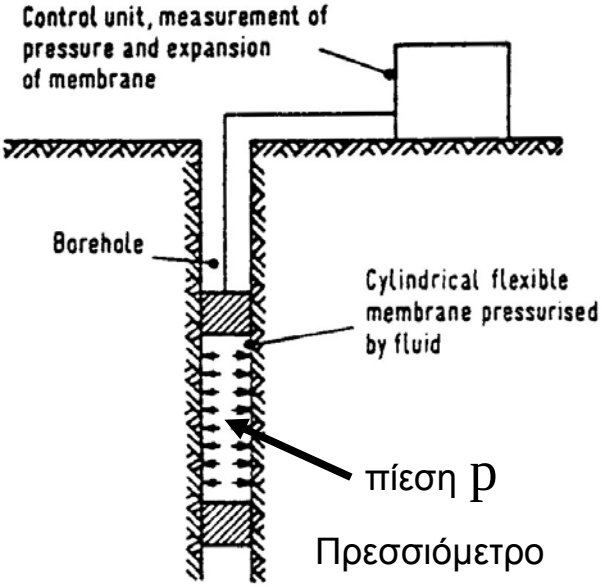
Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση συντελεστή ασφαλείας : FS = 1.5 στην πλευρική τριβή

SOIL		TYPE
Clay Silt	A	soft
	B	stiff
	C	hard(clay)
Sand Gravel	A	loose
	B	medium
	C	dense
Chalk	A	soft
	B	weathered
	C	dense

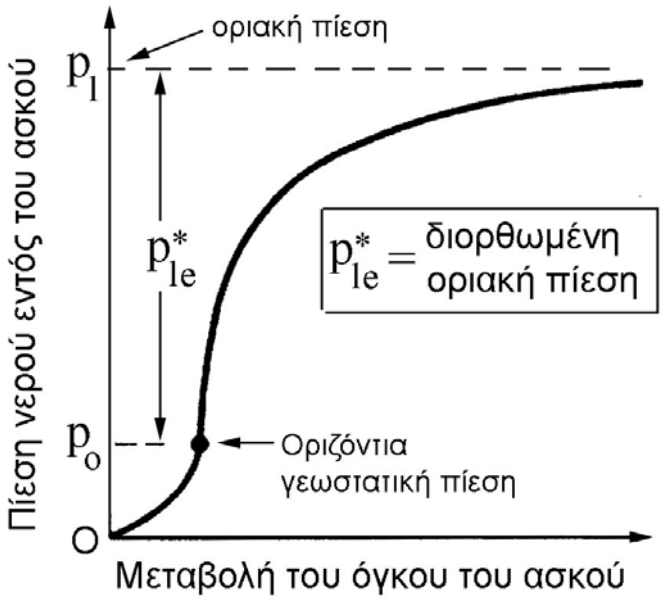
Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων εκτοπίσεως μέσω των αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών

1. Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρότυπης Διείσδυσης (SPT)
2. Μέσω επιτόπου δοκιμών Διείσδυσης Κώνου (CPT)
3. ⇨ Μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT)

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT)



Διόγκωση κυλινδρικού ασκού εντός γεώτρησης



Ορισμός της διορθωμένης οριακής πίεσης

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT) – Γαλλικοί Κανονισμοί AFNOR, 1993

1. Εκτίμηση οριακής μοναδιαίας αντίστασης αιχμής (q_{pu}) : $$q_{pu} = k_p \, p^*_{le}$$

p^*_{le} = διορθωμένη οριακή πίεση του πρεσσιομέτρου στην περιοχή της αιχμής του πασσάλου (μέσος όρος σε ζώνη ύψους περίπου 7B, από 4B πάνω από την αιχμή έως 3B κάτω από την αιχμή)

k_p = συντελεστής φέρουσας ικανότητας. Εξαρτάται από το έδαφος και τον τύπο του πασσάλου

SOIL	TYPE		p_l MPa	k_p ND	k_p D
Clay Silt	A	soft	<0.7	1.1	1.4
	B	stiff	1.2-2	1.2	1.5
	C	hard(clay)	>2.5	1.3	1.6
Sand Gravel	A	loose	<0.5	1	4.2
	B	medium	1-2	1.1	3.7
	C	dense	>2.5	1.2	3.2
Chalk	A	soft	<0.7	1.1	1.6
	B	weathered	1-2.5	1.4	2.2
	C	dense	>3	1.8	2.6
Marl Calcareous marl	A	soft	1.5-4		
	B	dense	>4.5	1.8	2.6
Rock	A	weathered (1)	2.5-4	1.1 to 1.8	1.8 to 3.2
	B	fragmented	>4.5	-	-

(1) use the value of the most similar soil.

p_l = οριακή πίεση κατά την δοκιμή πρεσσιομέτρου

ND = πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση (έγχυτοι)

D = πάσσαλοι εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

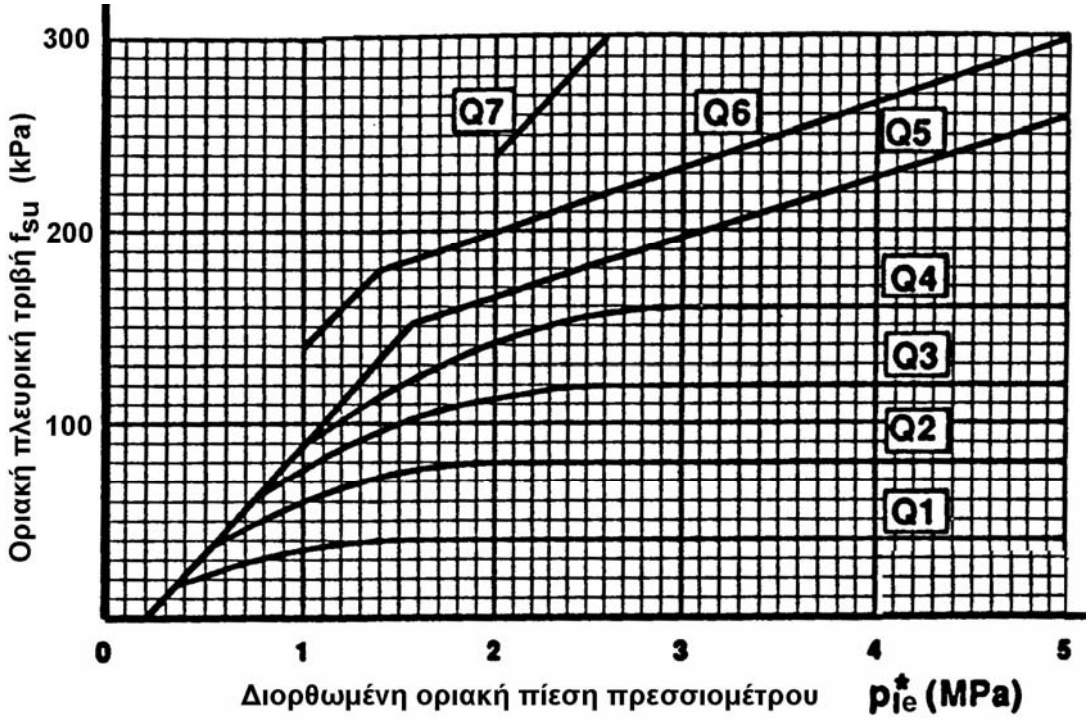
Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση των ακόλουθων συντελεστών ασφαλείας στην αντίσταση αιχμής (μειωμένοι συντελεστές ασφαλείας λόγω μεγάλης εμπειρίας) :

Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι : FS = 1.5

Εγχυτοι πάσσαλοι : FS = 2

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT) – Γαλλικοί Κανονισμοί AFNOR, 1993

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



Η τιμή της οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) εξαρτάται από την διορθωμένη οριακή πίεση της δοκιμής πρεσσιομέτρου (p^*_{le}) και την κατηγορία Q1-Q7 (συνδυασμός είδους εδάφους και τύπου πασσάλου)

Σημείωση : Η μέθοδος απαιτεί τη χρήση συντελεστή ασφαλείας : FS = 1.5 στην πλευρική τριβή

Οι κατηγορίες Q1 – Q7 εξαρτώνται από το είδος του εδάφους και τον τύπο του πασσάλου (βλέπε Σχήμα επόμενης σελίδας)

Εκτίμηση της φέρουσας ικανότητας πασσάλων μέσω επιτόπου δοκιμών Πρεσσιομέτρου (PMT) – Γαλλικοί Κανονισμοί AFNOR, 1993

2. Εκτίμηση οριακής πλευρικής τριβής (f_{su}) : Κατηγορίες Q1 – Q7

Type of pile	CLAY & SILT			SAND & GRAVEL			CHALK			MARL		ROCK
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Drilled no mud	Q_1	Q_1 Q_2(1)	Q_2 Q_3(1)	-			Q_1	Q_3	Q_4 Q_5(1)	Q_3	Q_4 Q_5(1)	Q_6
Drilled with mud	Q_1	Q_1 Q_2(1)		Q_1	Q_2 Q_1(2)	Q_3 Q_2(2)	Q_1	Q_3	Q_4 Q_5(1)	Q_3	Q_4 Q_5(1)	Q_6
Drilled, removed casing	Q_1	Q_1 Q_2(3)		Q_1	Q_2 Q_1(2)	Q_3 Q_2(2)	Q_1	Q_2	Q_3 Q_4(3)	Q_3	Q_4	-
Drilled, permanent casing	Q_1			Q_1		Q_2	(4)			Q_2	Q_3	-
Piers (5)	Q_1	Q_2	Q_3	-			Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
Steel driven closed-ended	Q_1	Q_2		Q_2		Q_3	(4)			Q_3	Q_4	Q_4
Driven concrete	Q_1	Q_2		Q_3			(4)			Q_3	Q_4	Q_4
Driven moulded	Q_1	Q_2		Q_2		Q_3	Q_1	Q_2	Q_3	Q_3	Q_4	-
Driven coated	Q_1	Q_2		Q_3		Q_4	(4)			Q_3	Q_4	-
Low pressure injected	Q_1	Q_2		Q_3			Q_2	Q_3	Q_4	Q_5		-
High pressure injected (6)	-	Q_4	Q_5	Q_5		Q_6	-	Q_5	Q_6	Q_6		Q_7(7)

(1) trimmed and grooved at the end of drilling
(2) for long piles (longer than 30 m)
(3) dry excavation, no rotation of casing
(4) in chalk, q_s can be very low for some types of piles ; a specific study is needed
(5) without permanent casing (rough pile walls)
(6) low rate injection and repeated grouting at selected depths
(7) (6) plus preliminary treatment of fissured or fractured masses and filling of cavities.

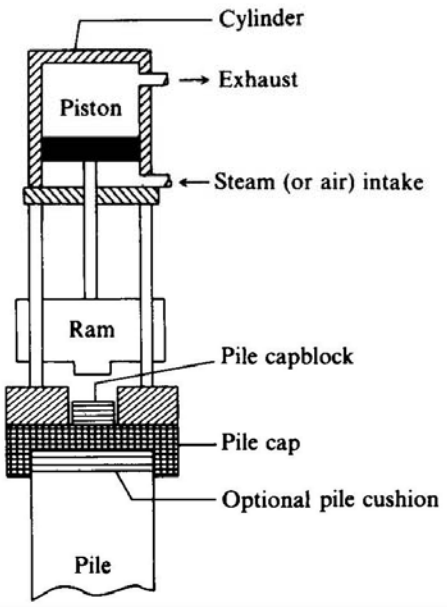
SOIL		TYPE
Clay Silt	A	soft
	B	stiff
	C	hard(clay)
Sand Gravel	A	loose
	B	medium
	C	dense
Chalk	A	soft
	B	weathered
	C	dense
Marl Calcareous marl	A	soft
	B	dense
Rock	A	weathered (1)
	B	fragmented

2.1 Αξονική φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

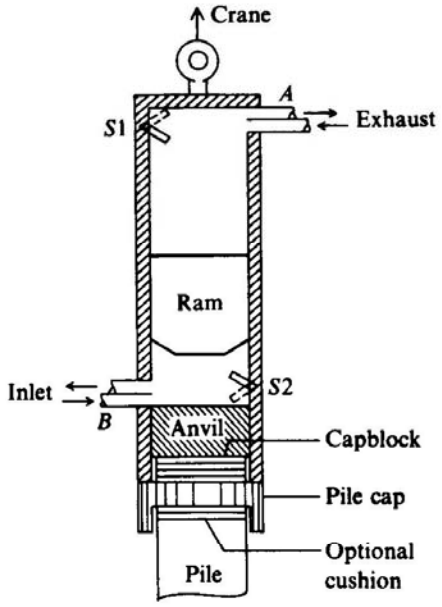
Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)
2. Μέσω αποτελεσμάτων επιτόπου δοκιμών
3. Με αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της έμπηξης (δυσχέρεια προχώρησης)
   - 3.1 Δυναμικοί τύποι (Dynamic Formulae)
   - 3.2 Κυματική ανάλυση (Wave equation analysis)
4. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

Εμπηξη πασσάλων με σφύρες



(*a*) Single-acting hammer. At bottom of stroke, intake opens with steam pressure raising ram. At top of lift steam is shut off and intake becomes exhaust, allowing ram to fall.

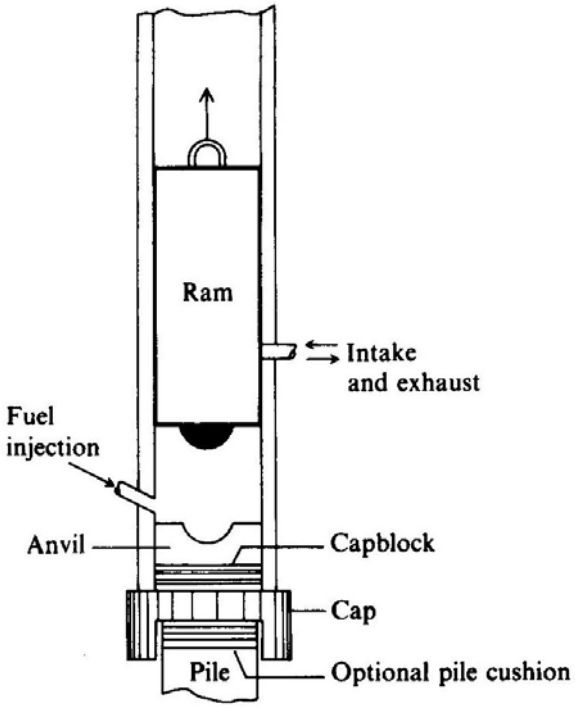


(*b*) Double-acting hammer. Ram in down position trips *S*2, which opens inlet and closes exhaust valves at *B* and shuts inlet and opens exhaust at *A*; hammer then raises from steam pressure at *B*. Ram in up position trips *S*1, which shuts inlet *B* and opens exhaust; valve *A* exhaust closes; steam enters and accelerates ram downward.

Σφύρα απλής δράσης

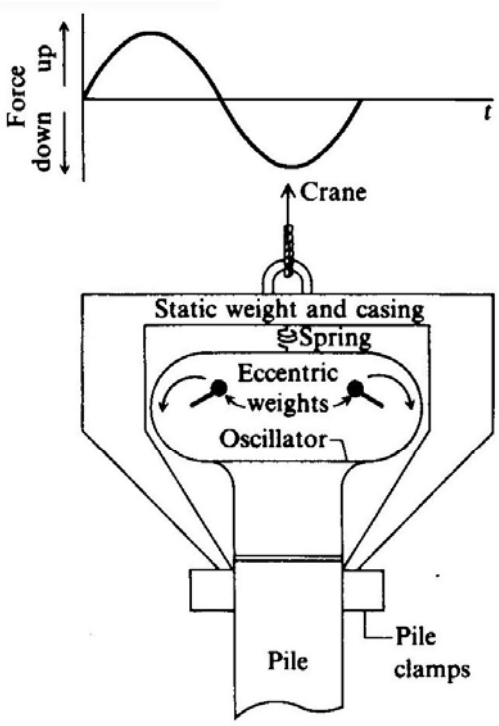
Σφύρα διπλής δράσης

Εμπηξη πασσάλων με σφύρες



(*c*) Diesel hammer. Crane initially lifts ram. Ram is released and falls; at select point fuel is injected. Ram collides with anvil, igniting fuel. Resulting explosion drives pile and lifts ram for next cycle.

Σφύρα Diesel απλής δράσης



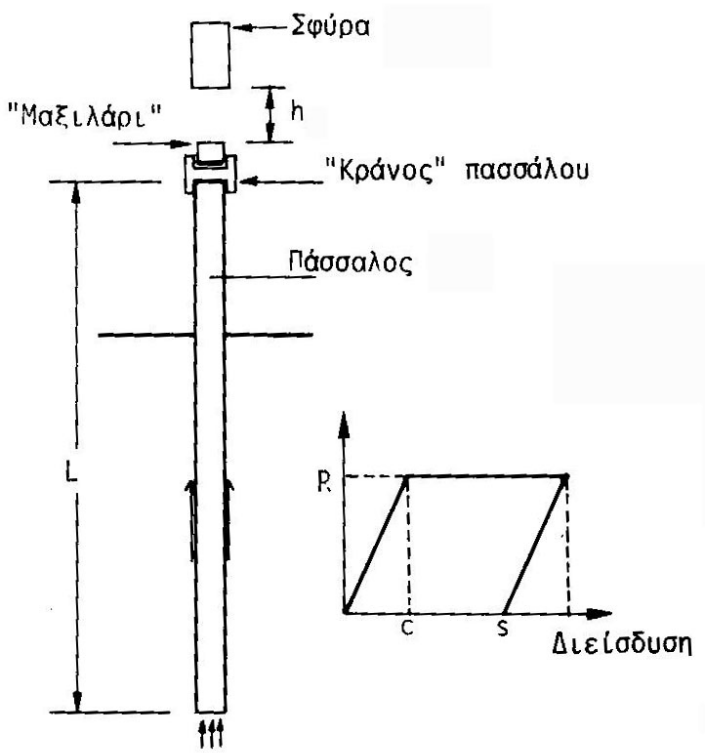
(*d*) Vibratory hammer. External power source (electric motor or electric-driven hydraulic pump) rotates eccentric weights in relative directions shown. Horizontal force components cancel—vertical force components add.

Δονητική σφύρα

Δυναμικοί τύποι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας εμπηγνυόμενων πασσάλων

Δυναμικός τύπος Hiley :

$$R_u = \frac{f\,E_o}{s + 0.5\cdot\left(C_p + C_q + C_c\right)}\left(\frac{W + e^2\cdot P}{W + P}\right)$$



W = βάρος της σφύρας
P = βάρος του πασσάλου και της κεφαλής πρόσκρουσης (cap-block)
s = διείσδυση πασσάλου σε μία πτώση της σφύρας
R_u = δυναμική αντίσταση του πασσάλου

Δυναμικοί τύποι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας εμπηγνυόμενων πασσάλων

Δυναμικός τύπος Hiley :

1. Ενέργεια κρούσης της σφύρας : E_n

   Συνήθως γράφεται ως : $E_n = f\ E_o$

   όπου E_o είναι η ονομαστική ενέργεια της σφύρας και «f» είναι ο συντελεστής απόδοσης

2. Εργο προχώρησης του πασσάλου : $R_u\ s$

   όπου R_u είναι η δυναμική αντίσταση του πασσάλου και «s» είναι η προχώρηση του πασσάλου με μία κρούση της σφύρας

3. Απώλεια ενέργειας κατά την πρόσκρουση της σφύρας στον πάσσαλο : $E_n\left(\frac{\left(1-e^2\right)P}{W+P}\right)$

   όπου W είναι το βάρος της σφύρας, P είναι το βάρος του πασσάλου και της κεφαλής πρόσκρουσης (cap-block) και «e» είναι ο συντελεστής κρούσης : e = 0.32 – 0.80 αναλόγως του είδους του παρενθέματος κρούσης (συνήθως e = 0.50)

4. Απώλεια ενέργειας κατά μήκος του πασσάλου (p), στο περιβάλλον έδαφος (q) και στην κεφαλή πρόσκρουσης (c = cap-block) : $\frac{1}{2}R_u\left(C_p+C_q+C_c\right)$

   C_p = ελαστική βράχυνση πασσάλου, C_q = ελαστική συμπίεση του εδάφους (quake), C_c = ελαστική βράχυνση της κεφαλής πρόσκρουσης

Δυναμικοί τύποι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας εμπηγνυόμενων πασσάλων

Δυναμικός τύπος Hiley :

Διατήρηση ενέργειας : $$f\ E_o = R_u\ s + E_n\left(\frac{\left(1-e^2\right)P}{W+P}\right) + \frac{1}{2}R_u\left(C_p+C_q+C_c\right)$$

Επίλυση ως προς την δυναμική αντίσταση του πασσάλου : $$R_u = \frac{f\ E_o}{s+0.5\cdot\left(C_p+C_q+C_c\right)}\left(\frac{W+e^2\cdot P}{W+P}\right)$$

Παράδειγμα εφαρμογής :

Σφύρα Diesel HERA 7500 : E_o = 210 kNm (ανά κρούση), f = 0.70

Μάζα σφύρας W = 7500 kg , Μάζα κεφαλής πρόσκρουσης : M_c = 750 kg

Συντελεστής πρόσκρουσης : e = 0.50

Πάσσαλος : Σωλήνας μήκους L=35m, Μάζα πασσάλου M_p = 35m x 250 kg/m = 8750 kg

P = M_c + M_p = 750 + 8750 = 9500 kg

Στο τέλος της διείσδυσης, ο πάσσαλος προχωρούσε 25cm με 125 κτύπους.

Αρα s = 250 mm / 125 = 2mm = 0.002m

Συντελεστές C : C_p = 0.03m , C_q = 0.004m, C_c = 0.004m

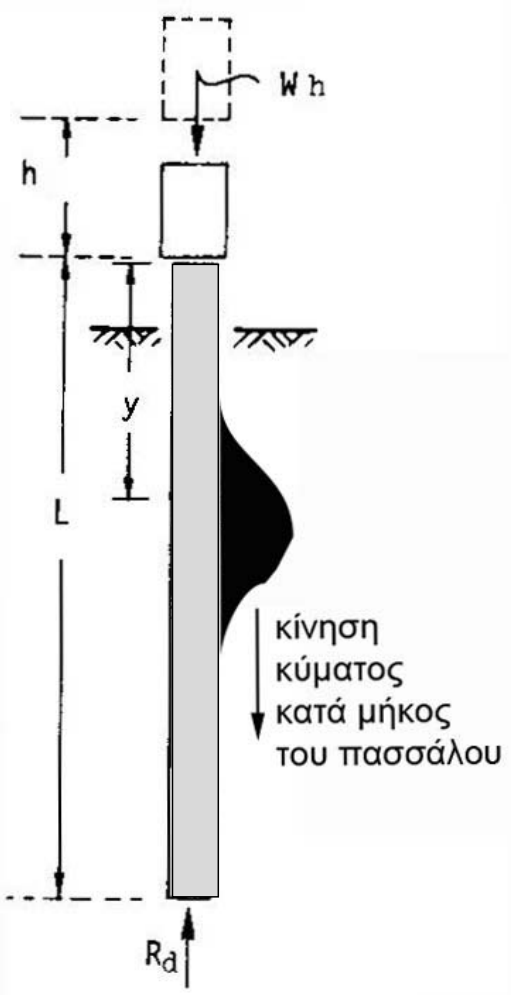
$$R_u = \frac{0.7\times 210}{0.002+0.5\times\left(0.03+0.004+0.004\right)}\left(\frac{7500+0.50^2\times 9500}{7500+9500}\right) = 4066\ \text{kN}$$

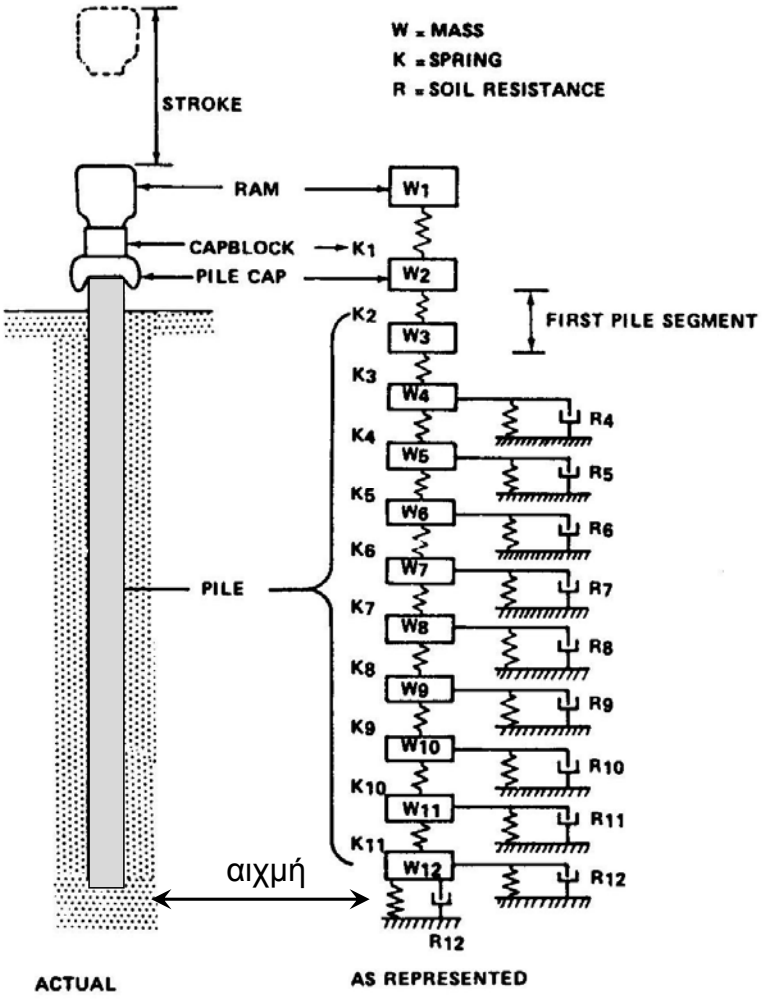
2.1 Αξονική φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)
2. Με αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της έμπηξης (δυσχέρεια προχώρησης)
   - 2.1 Δυναμικοί τύποι (Dynamic Formulae)
   - ⇨ 2.2 Κυματική ανάλυση (Wave equation analysis)
3. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

Κυματική ανάλυση της φέρουσας ικανότητας εμπηγνυόμενων πασσάλων





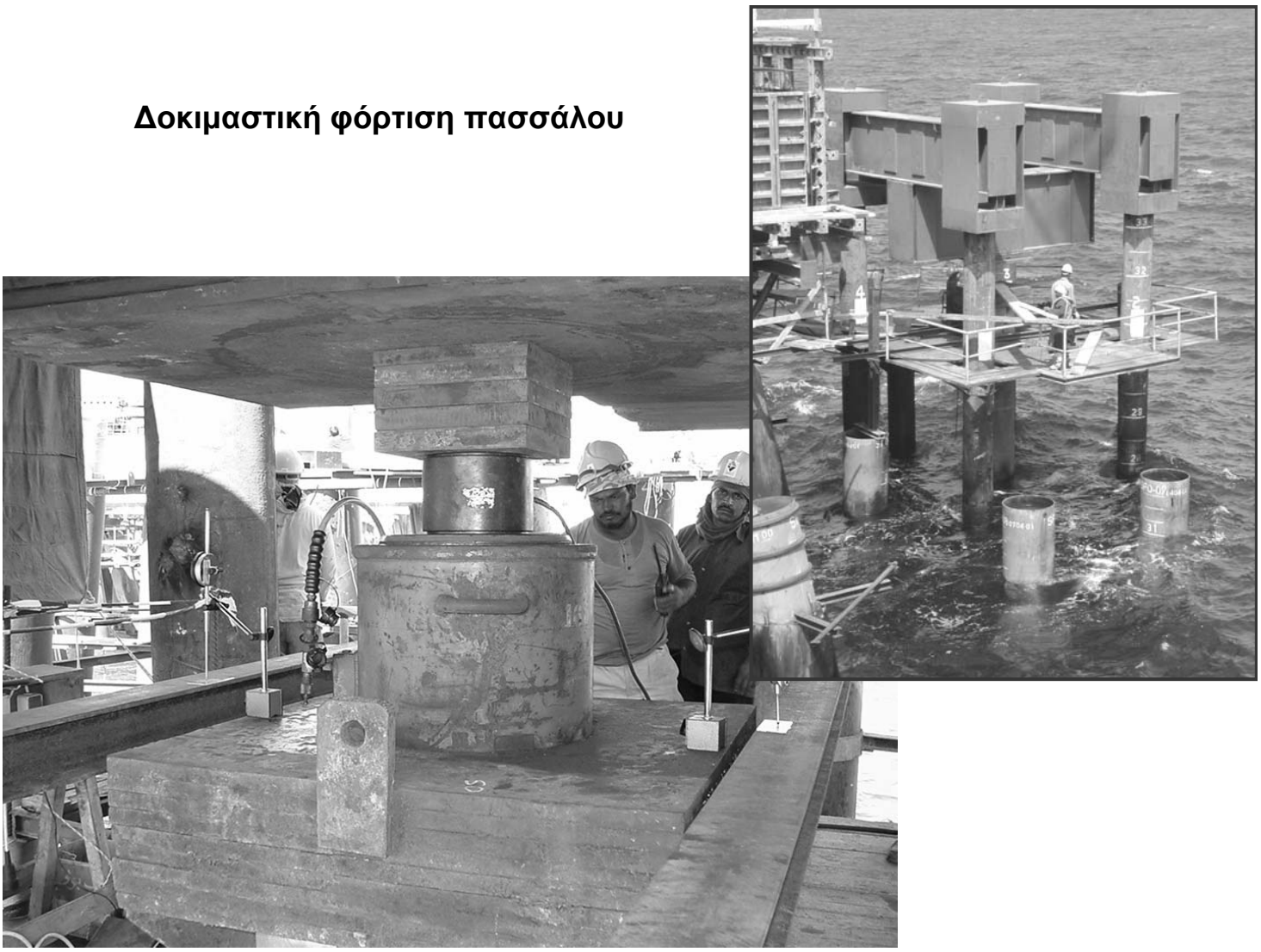
2.1 Αξονική φέρουσα ικανότητα πασσάλων εκτοπίσεως (εμπηγνυόμενοι)

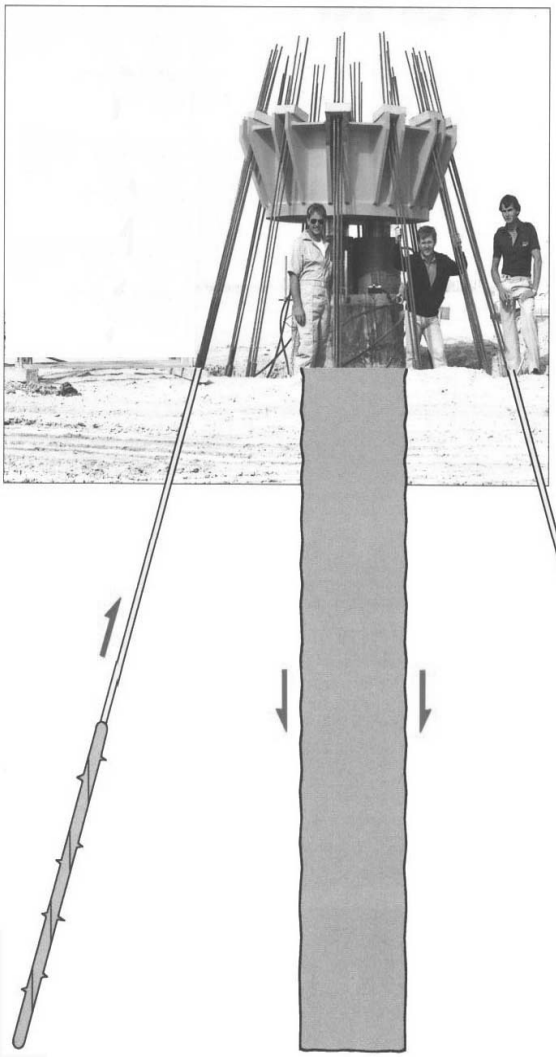
Μέθοδοι εκτίμησης της φέρουσας ικανότητας πασσάλων :

1. Με υπολογισμούς (στατικοί τύποι)
2. Με αξιοποίηση των χαρακτηριστικών της έμπηξης (δυσχέρεια προχώρησης)
   - 2.1 Δυναμικοί τύποι (Dynamic Formulae)
   - 2.2 Κυματική ανάλυση (Wave equation analysis)
3. Με δοκιμαστικές φορτίσεις

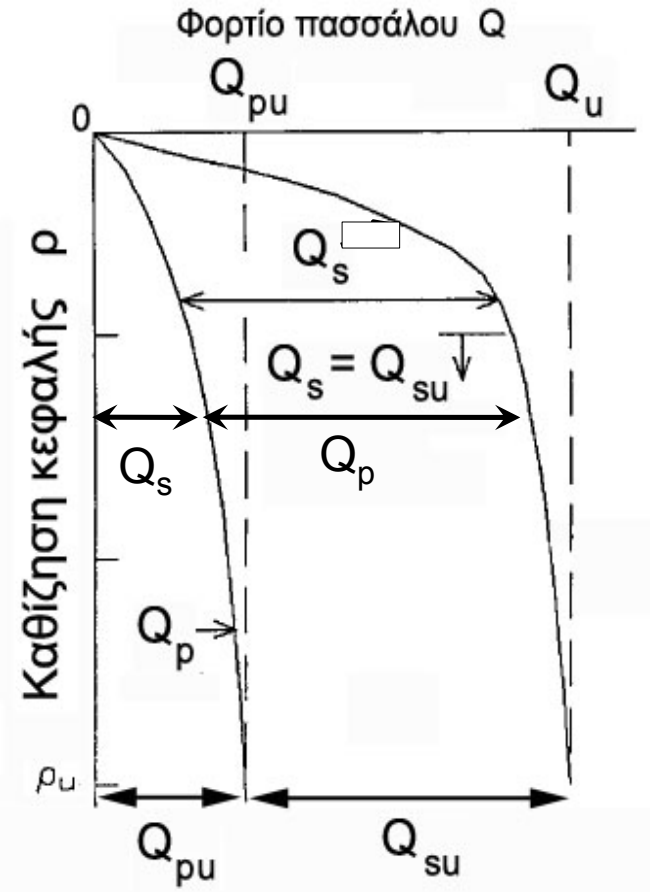
Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου

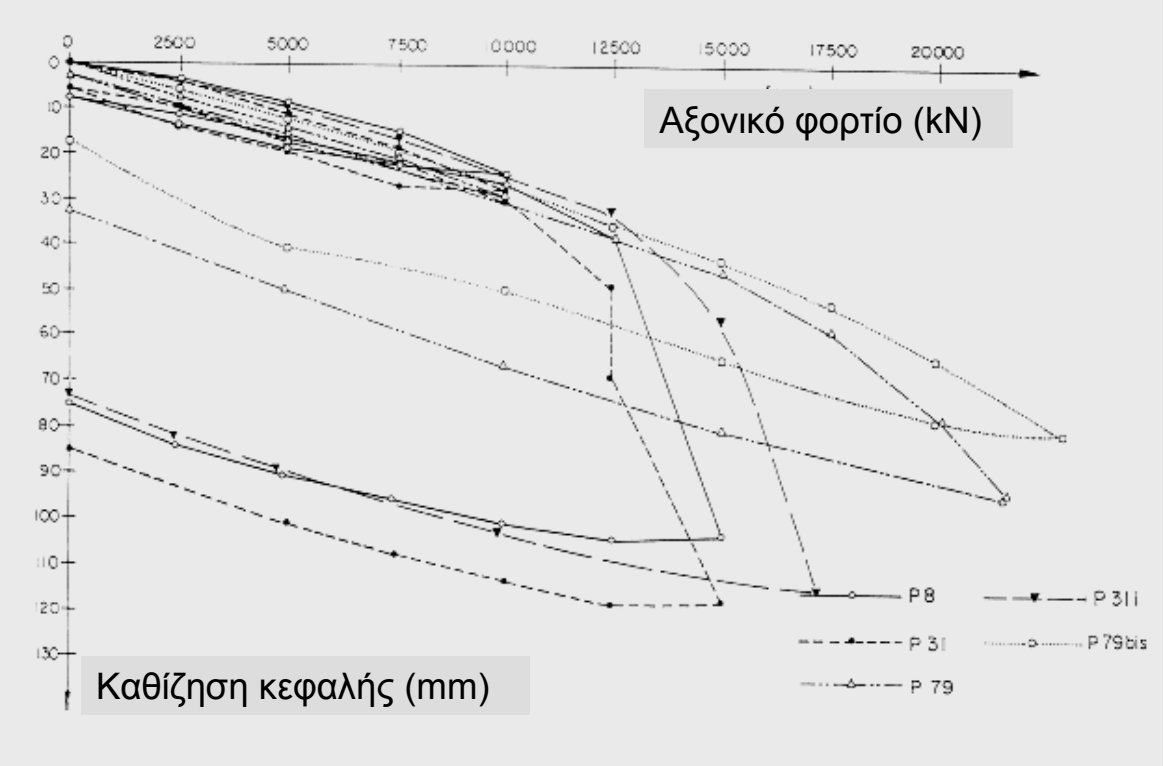
Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου





Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου



Δοκιμαστική φόρτιση πασσάλου :

Παράδειγμα δοκιμαστικής φόρτισης πέντε εμπηγνυόμενων πασσάλων (ανοικτοί σωλήνες διαμέτρου D = 1200mm)