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

ΔΙΑΛΕΞΗ 12
Θεμελιώσεις με πασσάλους : Ομάδες πασσάλων

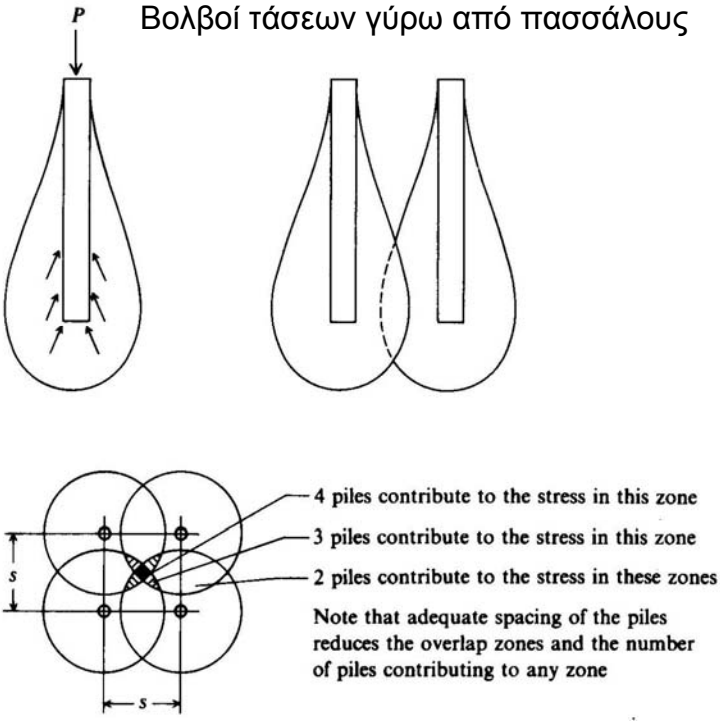
21.05.2005

1. Κατηγορίες πασσάλων
2. Αξονική φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου
   2.1 Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι (πάσσαλοι εκτοπίσεως)
   2.2 Εγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)
   2.3 Ανάλυση 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

4. Ομάδες πασσάλων

4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων

1. Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι (πάσσαλοι εκτοπίσεως) :

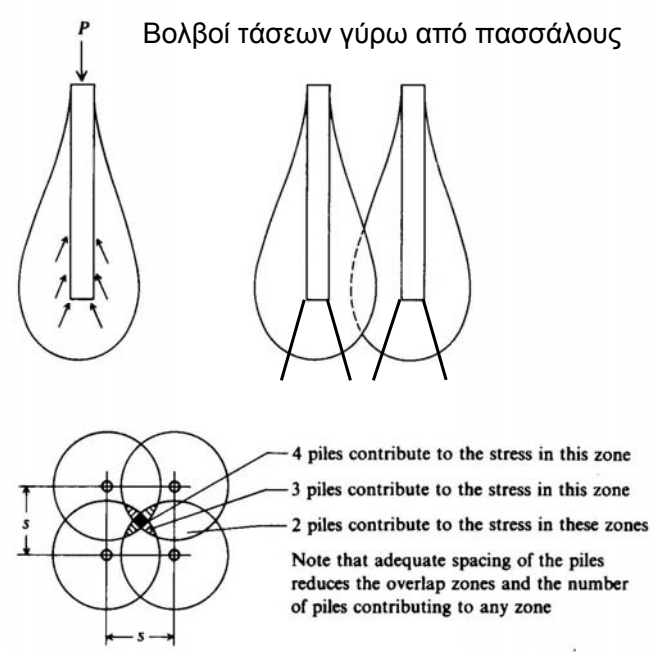


Λόγω της συμπύκνωσης του εδάφους κατά την έμπηξη των πασσάλων, συνήθως η φέρουσα ικανότητα της ομάδας είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των φερουσών ικανοτήτων των πασσάλων. Η αύξηση είναι μεγαλύτερη για πασσάλους μεγάλης εκτόπισης σε μή-συνεκτικά εδάφη. Σε συνεκτικά εδάφη, η αύξηση είναι μικρότερη, ενώ σε ευαίσθητες αργίλους μπορεί να παρατηρεί και μείωση της φέρουσας ικανότητας (λόγω αναμόχλευσης του εδάφους κατά την κατασκευή).

4. Ομάδες πασσάλων

4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων

2. Έγχυτοι πάσσαλοι (πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση) :



Η αντίσταση αιχμής (Q_{pu}) συνήθως δεν επηρεάζεται από την αλληλεπίδραση των πασσάλων της ομάδας (σε πολύ μικρές αποστάσεις πασσάλων, η αντίσταση αιχμής αυξάνει).

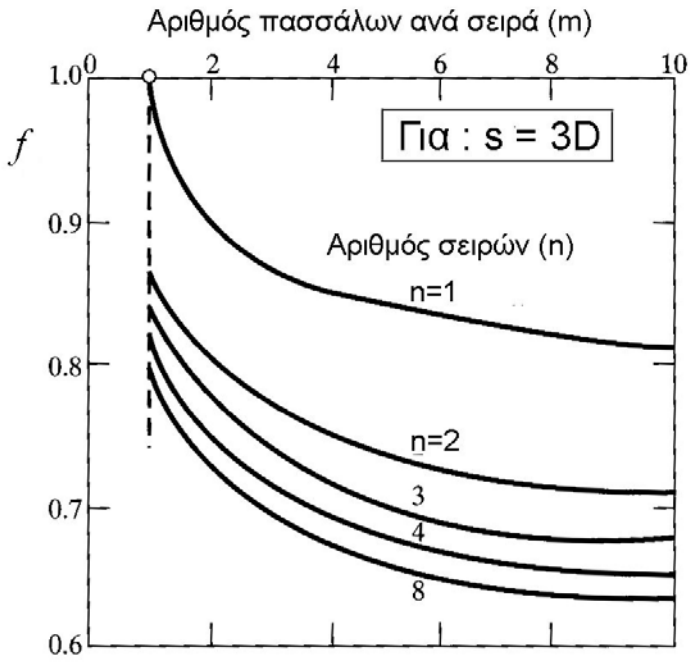
Η αντίσταση πλευρικής τριβής (Q_{su}) ενίοτε μειώνεται λόγω της αλληλεπίδρασης των πασσάλων της ομάδας. Μιά πολύ συντηρητική εκτίμηση της απομείωσης της αντίστασης πλευρικής τριβής του μεμονωμένου πασσάλου (Q_{su}) λόγω της ομάδας δίνεται από τη σχέση Converse-Labarre ($Q_{su,g}$= πλευρική τριβή πασσάλου ομάδας, σε ομάδα πασσάλων σε κάνναβο N = m x n πασσάλων, διαμέτρου D, με αποστάσεις «s» μεταξύ πασάλων) :

$$Q_{su,g} = f\,Q_{su}$$

$$f = 1 - \frac{\theta}{90}\left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right) \qquad \theta = \arctan\frac{D}{s}$$

Αρα : $$Q_{u,g} = N\left(Q_{pu} + f\,Q_{su}\right)$$

4. Ομάδες πασσάλων
4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων
2. Έγχυτοι πάσσαλοι (πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση) :



Σχέση Converse-Labarre :

$$f = 1 - \frac{\theta}{90}\left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\theta = \arctan\frac{D}{s}$$

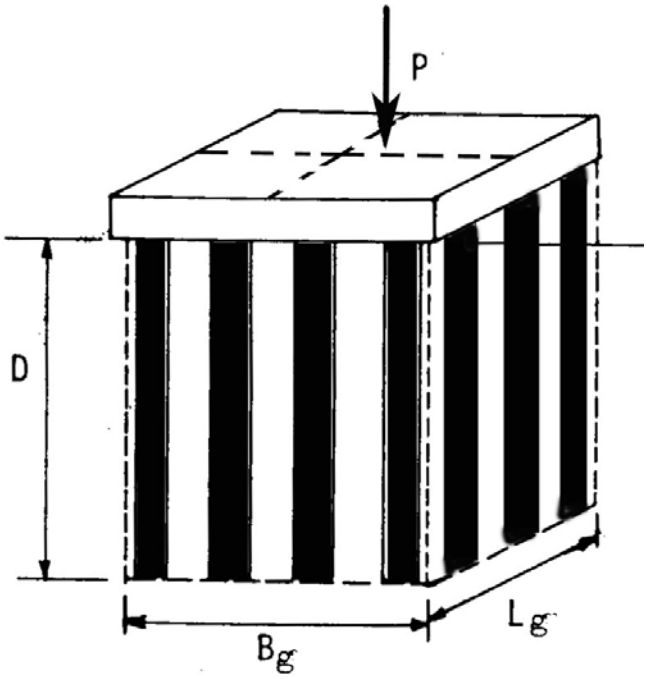
$Q_{su,g}$= πλευρική τριβή πασσάλου ομάδας, σε ομάδα πασσάλων σε κάνναβο m x n πασσάλων
N = m x n = αριθμός πασσάλων ομάδας
D = διάμετρος πασσάλων
s = αξονική απόσταση μεταξύ πασάλων

$$Q_{su,g} = f\,Q_{su}$$

Αρα : $$Q_{u,g} = N\left(Q_{pu} + f\,Q_{su}\right)$$

Παρατήρηση : Σκοπός της απομείωσης της Φ.Ι. της ομάδας μέσω του συντελεστή «f» είναι <u>κυρίως</u> ο περιορισμός της καθίζησης της ομάδας (επειδή η καθίζηση της ομάδας είναι αρκετά μεγαλύτερη από την καθίζηση του μεμονωμένου πασσάλου)

4. Ομάδες πασσάλων
4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων
2. Έγχυτοι πάσσαλοι (πάσσαλοι χωρίς εκτόπιση) :



Ελεγχος της φέρουσας ικανότητας της ομάδας πάσσαλων, μέσω του ελέγχου της φέρουσας ικανότητας του περιβάλλοντος στερεού διαστάσεων B_g x L_g x D

Η φέρουσα ικανότητα ($Q_{u,b}$) του στερεού ισούται με το άθροισμα :

1. Της φέρουσας ικανότητας επιφανειακού θεμελίου διαστάσεων B_g x L_g εδραζόμενου σε βάθος (D)
2. Της πλευρικής τριβής της παράπλευρης επιφάνειας του στερεού στο ύψος (D).

Συνήθως, ο ως άνω έλεγχος είναι ευμενέστερος της φέρουσας ικανότητας της ομάδας με την προηγούμενη μέθοδο :

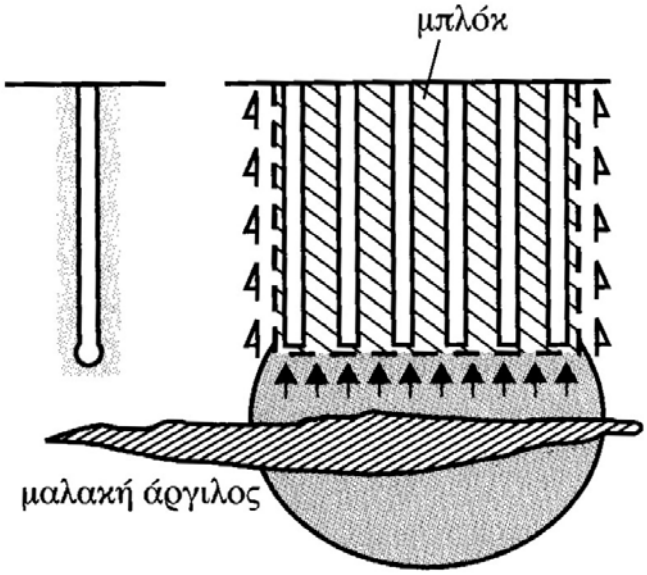
$$Q_{u,b} > n\left(Q_{pu} + f\,Q_{su}\right)$$

4. Ομάδες πασσάλων
4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας πασσάλων

Παρατήρηση : Αν και η φέρουσα ικανότητα ομάδας «n» πασσάλων συνήθως είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των φερουσών ικανοτήτων των μεμονωμένων πασσάλων, δηλαδή συχνά : $Q_{u,g} > n\,Q_u$

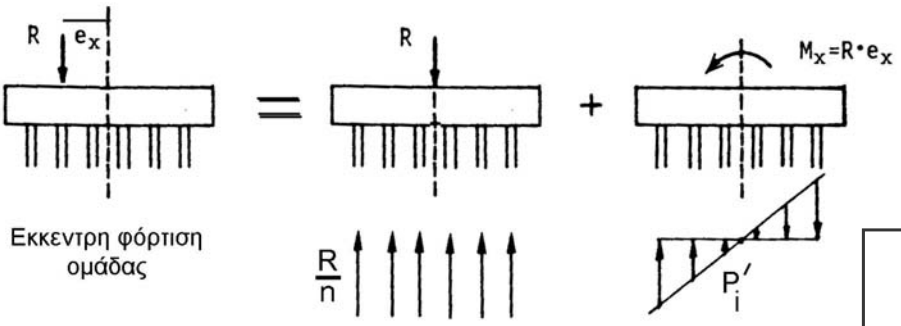
η καθίζηση της ομάδας είναι πάντοτε μεγαλύτερη από την καθίζηση του μεμονωμένου πασσάλου.

Συχνά η αύξηση της καθίζησης της ομάδας επιτείνεται και από την παρουσία συμπιεστών στρώσεων κάτω από τη βάση της ομάδας.



Η μαλακή άργιλος δεν επηρεάζει την καθίζηση του μεμονωμένου πασσάλου αλλά επηρεάζει σημαντικά την καθίζηση της ομάδας

4. Ομάδες πασσάλων
4.2 Κατανομή των φορτίων της ομάδας στους πασσάλους



R = αξονικό φορτίο ομάδας
e_x = εκκεντρότητα φορτίου

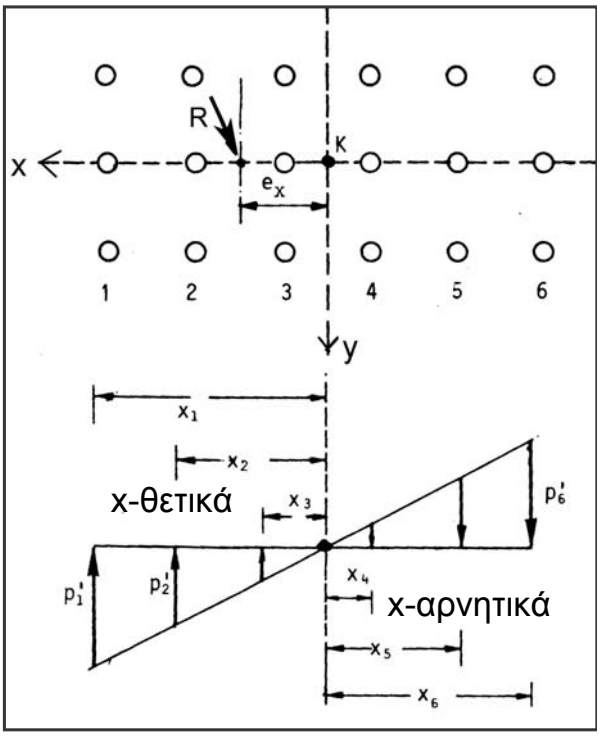
$$M_x = R\,e_x$$

Παραδοχές :

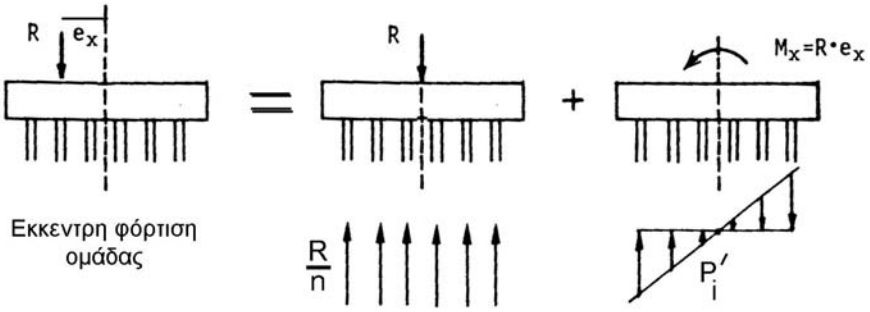
1. Ακαμπτος κεφαλόδεσμος
2. Η ομάδα αποτελείται από (n) όμοιους πασσάλους

Αρα :

1. Το αξονικό φορτίο R κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλους τους πασσάλους (αξονικές δυνάμεις = R / n)
2. Η ροπή (M_x) κατανέμεται στους πασσάλους με αξονικές δυνάμεις (P'_i) που είναι ανάλογες της απόστασης (x_i) κάθε πασσάλου από το κέντρο βάρους (K) της ομάδας

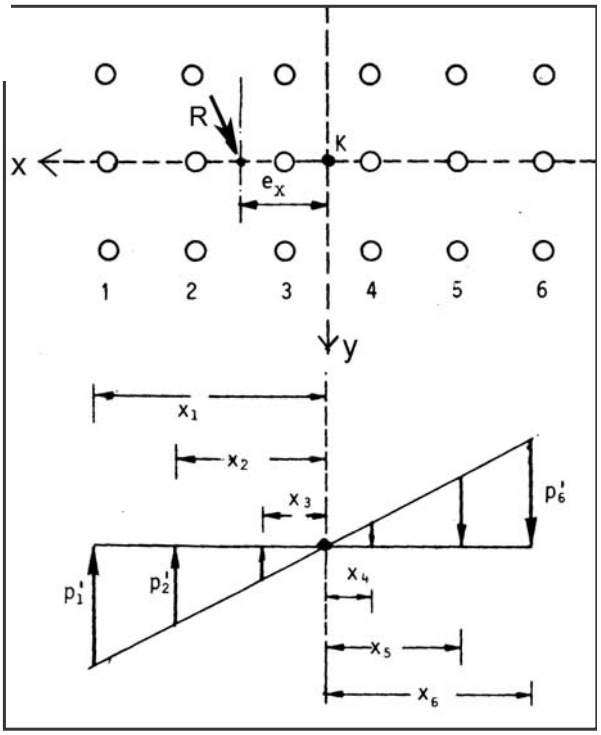


4. Ομάδες πασσάλων
4.2 Κατανομή των φορτίων της ομάδας στους πασσάλους



R = αξονικό φορτίο ομάδας
e_x = εκκεντρότητα φορτίου

$$M_x = R\, e_x$$



Αξονικό φορτίο πασσάλου (i) της ομάδας :

$$P_i = \frac{R}{n} + P_i' \quad \Rightarrow \quad P_i = R\left\{\frac{1}{n} + \frac{e_x\, x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\right\}$$

επειδή :

$$P_i' = c\, x_i \quad \text{και :} \quad M_x = \sum_{i=1}^{n} P_i'\, x_i = c \sum_{i=1}^{n} x_i^2$$

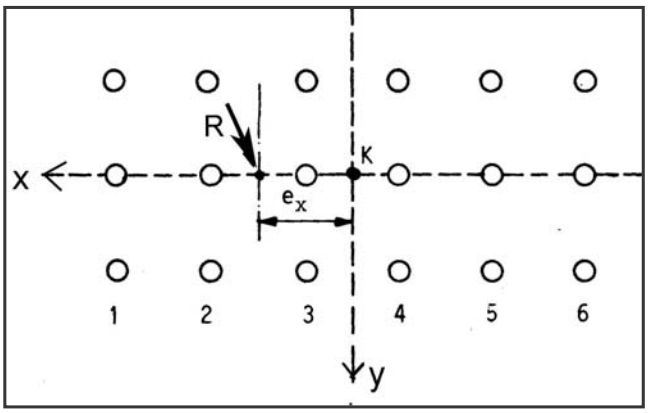
άρα : $$P_i' = c\, x_i = \frac{M_x}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}\, x_i = \frac{R\, e_x\, x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2}$$

4. Ομάδες πασσάλων
4.2 Κατανομή των φορτίων της ομάδας στους πασσάλους

Στην περίπτωση φόρτισης με διπλή εκκεντρότητα :

R = αξονικό φορτίο της ομάδας
e_x = εκκεντρότητα του φορτίου κατά (x)
e_y = εκκεντρότητα του φορτίου κατά (y)
K = κέντρο βάρους των πασσάλων της ομάδας
x_i, y_i = συντεταγμένες πασσάλου (i) ως προς το K (θετικές ή αρνητικές τιμές)

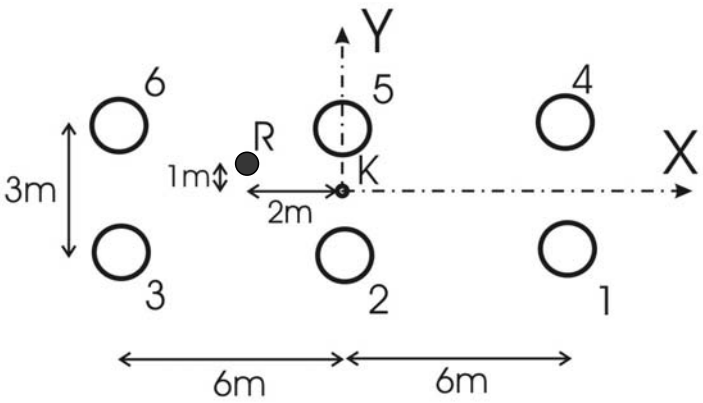
Αξονικό φορτίο πασσάλου (i) της ομάδας : $$P_i = R\left\{\frac{1}{n} + \frac{e_x\, x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} + \frac{e_y\, y_i}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}\right\}$$



4. Ομάδες πασσάλων

4.2 Κατανομή των φορτίων της ομάδας στους πασσάλους

Παράδειγμα εφαρμογής : Ομάδα έξι (6) πασσάλων. Ολικό φορτίο R = 10000 kN



$n = 6$, $e_x = -2m$, $e_y = 1m$

$x_1 = 6m$, $y_1 = -1.5m$
$x_2 = 0m$, $y_2 = -1.5m$
$x_3 = -6m$, $y_3 = -1.5m$
$x_4 = 6m$, $y_4 = 1.5m$
$x_5 = 0m$, $y_5 = 1.5m$
$x_6 = -6m$, $y_6 = 1.5m$

$$\sum_{i=1}^{n} x_i^2 = 144 \text{ m}^2$$

$$\sum_{i=1}^{n} y_i^2 = 13.5 \text{ m}^2$$

Αξονικό φορτίο πασσάλου (i) της ομάδας :

$$P_i = R\left\{\frac{1}{n} + \frac{e_x\, x_i}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2} + \frac{e_y\, y_i}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}\right\}$$

P_1 = - 278 kN
P_2 = 556 kN
P_3 = 1389 kN
P_4 = 1944 kN
P_5 = 2778 kN
P_6 = 3611 kN

Σημείωση : $\Sigma P_i = R$

4. Ομάδες πασσάλων

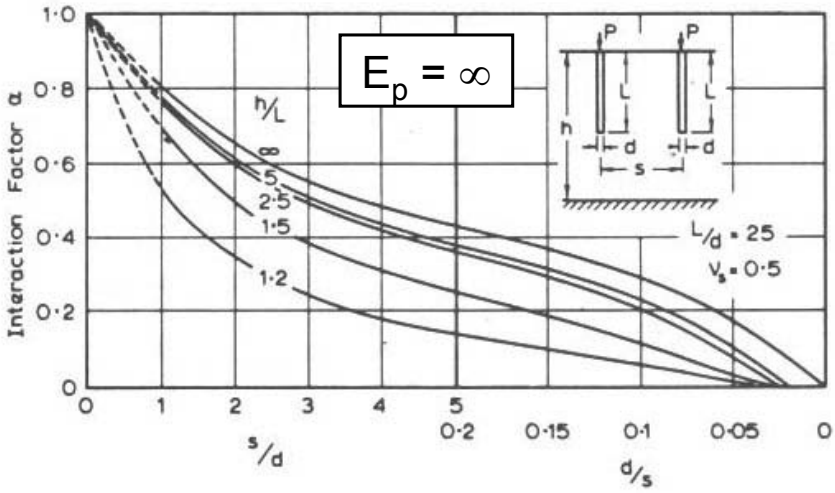
4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

Η κυριότερη επιρροή της ομάδας των πασσάλων είναι η σημαντική ΑΥΞΗΣΗ της καθίζησης της ομάδας σε σχέση με την καθίζηση του μεμονωμένου πασσάλου, λόγω της αλληλεπίδρασης μεταξύ των πασσάλων (η καθίζηση ενός προκαλεί «βύθιση» των γειτονικών πασσάλων).

$$\rho_g = (1+\alpha)\rho$$

ρ_g = καθίζηση ομάδας “n” πασσάλων
P_g = φορτίο ομάδας
ρ = καθίζηση μεμονωμένου πασσάλου με φορτίο $P = P_g / n$

4.3.1 Ελαστική ανάλυση σε ομοιογενές έδαφος – Ομάδα δύο πασσάλων



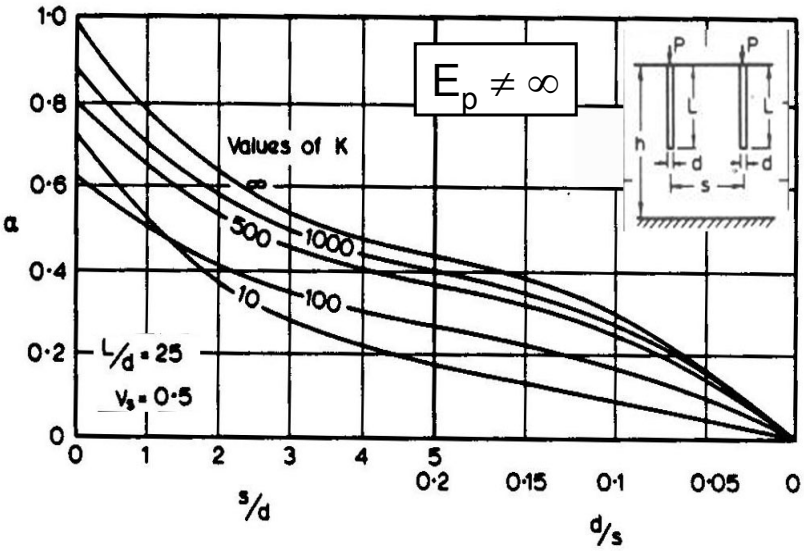
Μέθοδος Poulos (1971)

Συντελεστής αλληλεπίδρασης «α» για ομάδα δύο πασσάλων (n=2) με άπειρη ακαμψία ($E_p = \infty$)

4. Ομάδες πασσάλων

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.1 Ελαστική ανάλυση σε ομοιογενές έδαφος – Ομάδα δύο πασσάλων



Μέθοδος Poulos (1971)

Συντελεστής αλληλεπίδρασης «α» για ομάδα δύο πασσάλων (n=2).

$$\rho_g = (1+\alpha)\rho$$

E_p = μέτρο ελαστικότητας πασσάλου

E = μέτρο ελαστικότητας εδάφους

d = διάμετρος πασσάλου

s = απόσταση μεταξύ πασσάλων

Σχετική δυσκαμψία : $$K = \left(\frac{E_p}{E}\right)\left(\frac{s}{d}\right)^2$$

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.2 Ελαστική ανάλυση σε ομοιογενές έδαφος – Μέθοδος Poulos (1971)

$$\rho_g = R_s\,\rho$$

ρ_g = καθίζηση ομάδας “n” πασσάλων (τετραγωνική διάταξη)

P_g = φορτίο ομάδας

ρ = καθίζηση μεμονωμένου πασσάλου με φορτίο $P = P_g / n$

E_p = μέτρο ελαστικότητας πασσάλου

E = μέτρο ελαστικότητας εδάφους

$$K = \frac{E_p}{E}$$

Λόγος μήκους προς διάμετρο L/d	Λόγος αξ. απόστασης προς διάμ. s/d	ΠΑΣΣΑΛΟΙ ΤΡΙΒΗΣ (ΑΙΩΡΟΥΜΕΝΟΙ) ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΤΗΝ ΟΜΑΔΑ, n															
		4 = 2 x 2				9 = 3 x 3				16 = 4 x 4				25 = 5 x 5			
		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥ K															
		10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞
10	2	1.83	2.25	2.54	2.62	2.78	3.80	4.42	4.48	3.76	5.49	6.40	6.53	4.75	7.20	8.48	8.68
	5	1.40	1.73	1.88	1.90	1.83	2.49	2.82	2.85	2.26	3.25	3.74	3.82	2.68	3.98	4.70	4.75
	10	1.21	1.39	1.48	1.50	1.42	1.76	1.97	1.99	1.63	2.14	2.46	2.46	1.85	2.53	2.95	2.95
25	2	1.99	2.14	2.65	2.87	3.01	3.64	4.84	5.29	4.22	5.38	7.44	8.10	5.40	7.25	10.28	11.25
	5	1.47	1.74	2.09	2.19	1.98	2.61	3.48	3.74	2.46	3.54	4.96	5.34	2.95	4.48	6.50	7.03
	10	1.25	1.46	1.74	1.78	1.49	1.95	2.57	2.73	1.74	2.46	3.42	3.63	1.98	2.98	4.28	4.50
100	2	2.56	2.31	2.26	3.16	4.43	4.05	4.11	6.15	6.42	6.14	6.50	9.92	8.48	8.40	9.25	14.35
	5	1.88	1.88	2.01	2.64	2.80	2.94	3.38	4.87	3.74	4.05	4.98	7.54	4.68	5.18	6.75	10.55
	10	1.47	1.56	1.76	2.28	1.95	2.17	2.73	3.93	2.45	2.80	3.81	5.82	2.95	3.48	5.00	7.88

Τιμές του Συντελεστή Καθιζήσεων R_s, για την περίπτωση ομάδας αιωρουμένων πασσάλων τριβής, με άκαμπτο κεφαλόδεσμο, μέσα σε ομογενή εδαφική μάζα μεγάλου πάχους.

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.2 Ελαστική ανάλυση σε ομοιογενές έδαφος – Μέθοδος Poulos (1971)

$$\rho_g = R_s \, \rho$$

ρ_g = καθίζηση ομάδας “n” πασσάλων (τετραγωνική διάταξη)
P_g = φορτίο ομάδας
ρ = καθίζηση μεμονωμένου πασσάλου με φορτίο $P = P_g / n$
E_p = μέτρο ελαστικότητας πασσάλου
E = μέτρο ελαστικότητας εδάφους

$$K = \frac{E_p}{E}$$

Λόγος μήκους προς διάμετρο L/d	Λογος αξ. απόστασης προς διαμ. s/d	ΠΑΣΣΑΛΟΙ ΑΙΧΜΗΣ (ΕΔΡΑΖΟΜΕΝΟΙ) ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ ΣΤΗΝ ΟΜΑΔΑ, n															
		4 = 2 x 2				9 = 3 x 3				16 = 4 x 4				25 = 5 x 5			
		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΚΑΜΨΙΑΣ ΠΑΣΣΑΛΟΥ K															
		10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞	10	100	1000	∞
10	2	1.52	1.14	1.00	2.02	1.31	1.31	1.00	1.00	2.39	1.49	1.00	1.00	2.70	1.63	1.00	1.00
	5	1.15	1.08	1.00	1.23	1.23	1.12	1.02	1.00	1.30	1.14	1.02	1.00	1.33	1.15	1.03	1.00
	10	1.02	1.01	1.00	1.04	1.04	1.02	1.00	1.00	1.04	1.02	1.00	1.00	1.03	1.02	1.00	1.00
25	2	1.88	1.62	1.05	1.00	2.84	2.57	1.16	1.00	3.70	3.28	1.33	1.00	4.48	4.13	1.50	1.00
	5	1.36	1.36	1.08	1.00	1.67	1.70	1.16	1.00	1.94	2.00	1.23	1.00	2.15	2.23	1.28	1.00
	10	1.14	1.15	1.04	1.00	1.23	1.26	1.06	1.00	1.30	1.33	1.07	1.00	1.33	1.38	1.08	1.00
100	2	2.54	2.26	1.81	1.00	4.40	3.95	3.04	1.00	6.24	5.89	4.61	1.00	8.18	7.93	6.40	1.00
	5	1.85	1.84	1.67	1.00	2.71	2.77	2.52	1.00	3.54	3.74	3.47	1.00	4.33	4.68	4.45	1.00
	10	1.44	1.49	1.46	1.00	1.84	1.99	1.98	1.00	2.21	2.48	2.53	1.00	2.53	2.98	3.10	1.00

Τιμές του Συντελεστή Καθιζήσεων R_s, για την περίπτωση ομάδας πασσάλων αιχμής, με άκαμπτο κεφαλόδεσμο που εδράζονται σε άκαμπτο υπέδαφος.

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.2 Ελαστική ανάλυση σε ομοιογενές έδαφος – Μέθοδος Poulos (1971)

$$\rho_g = R_s \, \rho$$

ρ_g = καθίζηση ομάδας “n” πασσάλων
P_g = φορτίο ομάδας
ρ = καθίζηση μεμονωμένου πασσάλου με φορτίο $P = P_g / n$

Τιμές του συντελεστή $R_s(n)$ για ομάδες πασσάλων (σε τετραγωνική διάταξη) αριθμού “n” διαφορετικού από n = 4, 9, 16, 25 :

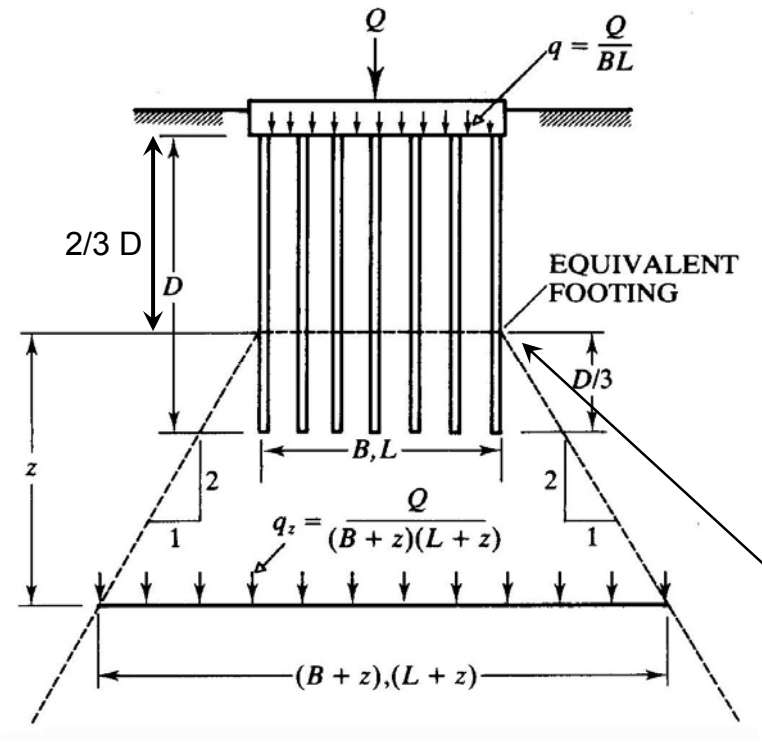
$$R_s(n) = R_s(25) + \left[R_s(25) - R_s(16)\right]\left(\sqrt{n} - 5\right)$$

επειδή ο συντελεστής R_s μεταβάλλεται περίπου γραμμικά με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού “n” των πασσάλων

4. Ομάδες πασσάλων

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.3 Μοντέλο Terzaghi



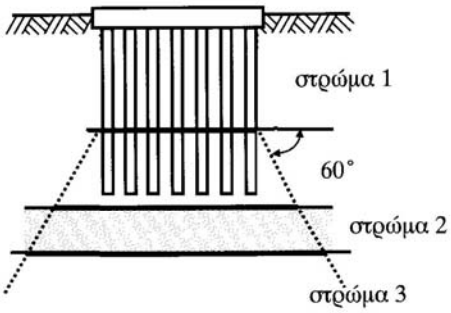
Η καθίζηση της ομάδας ισούται με την καθίζηση ενός ισοδύναμου «πεδίλου» διαστάσεως B x L σε βάθος H = 2/3 D από την επιφάνεια (D = μήκος των πασσάλων της ομάδας)

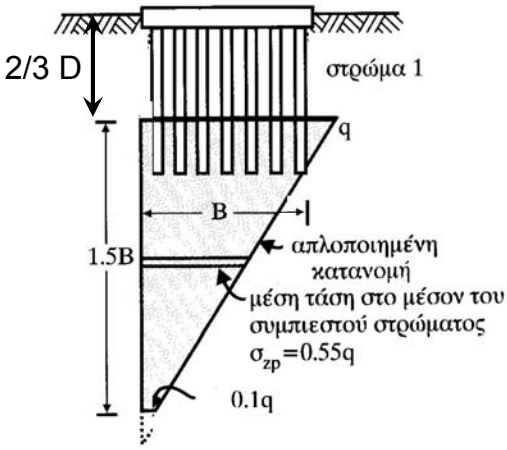
Γωνία περίπου 60 μοιρών

4. Ομάδες πασσάλων

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.3 Μοντέλο Terzaghi





Η καθίζηση της ομάδας ισούται με την καθίζηση ενός ισοδύναμου «πεδίλου» διαστάσεως B x L σε βάθος H = 2/3 D από την επιφάνεια

D = μήκος των πασσάλων της ομάδας)

Η καθίζηση μπορεί να υπολογισθεί με χωρισμό της στρώσης (πάχους 1.5 B) σε υποστρώσεις (πάχους ΔH_i), και άθροιση των καθιζήσεων κάθε υποστρώσης, π.χ :

$$\rho = \sum_i \Delta\varepsilon_i \, \Delta H_i = \sum_i \frac{\Delta\sigma_{zi}}{E_{si}} \Delta H_i$$

4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.3 Μοντέλο Terzaghi

Η άμεση καθίζηση ομάδας πασσάλων σε αργιλικά εδάφη μπορεί να υπολογισθεί και με χρήση της μεθόδου Janbu, Bjerrum & Kjaersli (που παρουσιάσθηκε στο κεφάλαιο των καθιζήσεων πεδίλων σε αργιλικά εδάφη) :

ρ_i = άμεση καθίζηση της ομάδας
μ_o = συντελεστής βάθους (D) θεμελίωσης
μ_1 = συντελεστής πάχους (H) συμπιεστής στρώσης

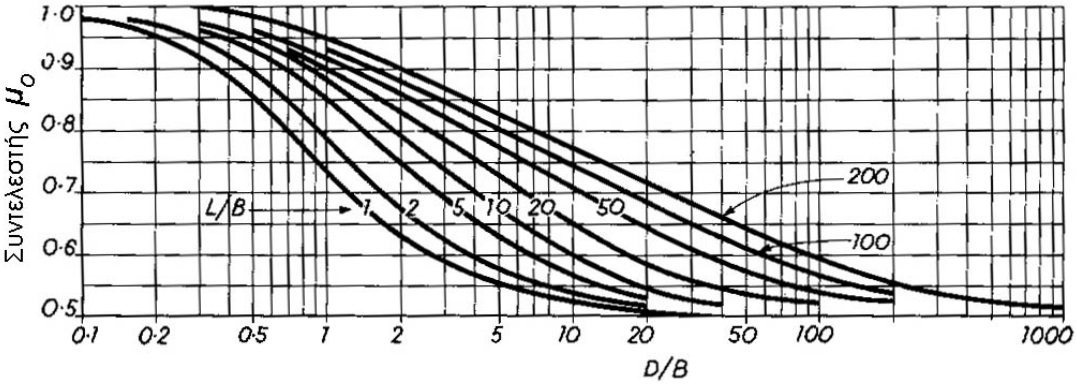
$$\rho_i = \mu_o \, \mu_1 \frac{\Delta q \, B}{E_u}$$

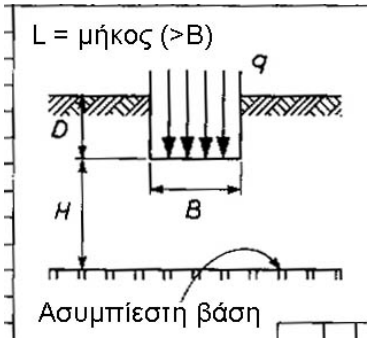
E_u = μέτρο ελαστικότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες

$\Delta q = q - q_o = q - \gamma D$

L , B = μήκος και πλάτος κάτοψης της ομάδας ($L \geq B$)

ΠΡΟΣΟΧΗ : D είναι τα 2/3 του μήκους των πασσάλων της ομάδας



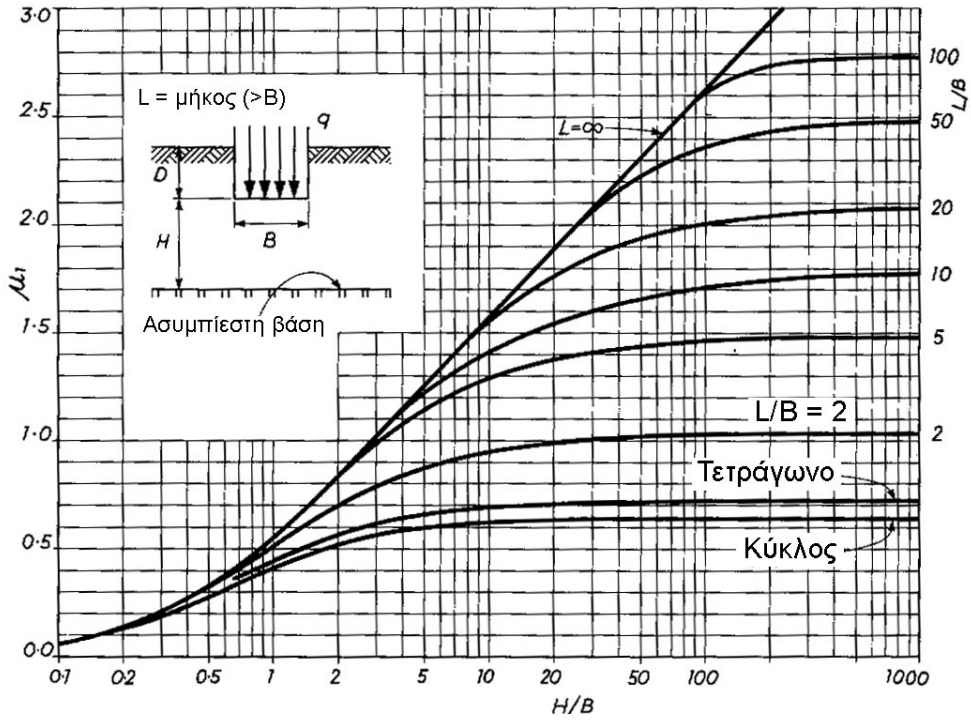


4.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων

4.3.3 Μοντέλο Terzaghi

Η άμεση καθίζηση ομάδας πασσάλων σε αργιλικά εδάφη μπορεί να υπολογισθεί και με χρήση της μεθόδου Janbu, Bjerrum & Kjaersli (που παρουσιάσθηκε στο κεφάλαιο των καθιζήσεων πεδίλων σε αργιλικά εδάφη) :

μ_1 = συντελεστής πάχους (H) συμπιεστής στρώσης



$$\rho_i = \mu_o \, \mu_1 \frac{\Delta q \, B}{E_u}$$

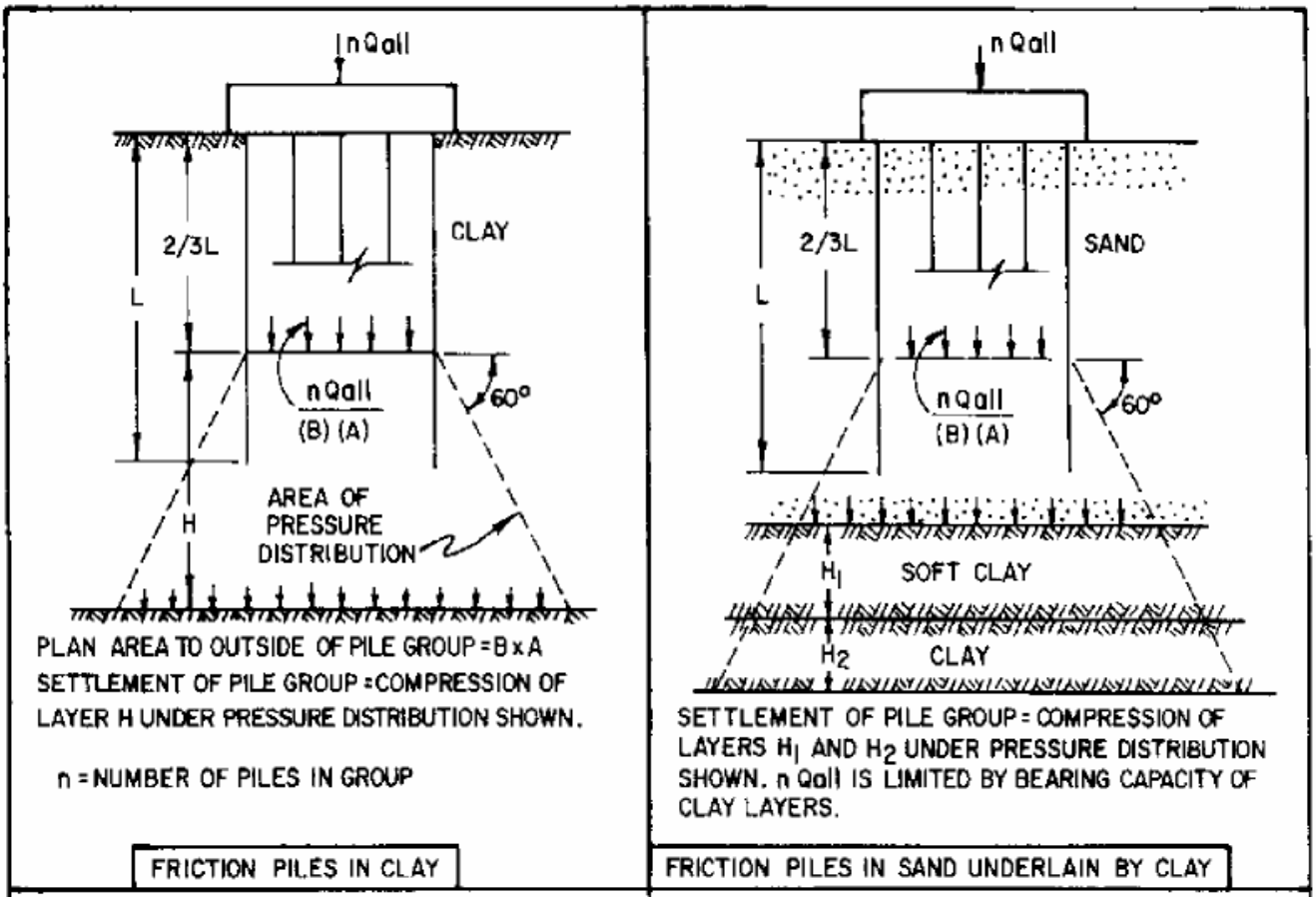
$\Delta q = q - q_o = q - \gamma D$

ΠΡΟΣΟΧΗ :

D είναι τα 2/3 του μήκους των πασσάλων της ομάδας

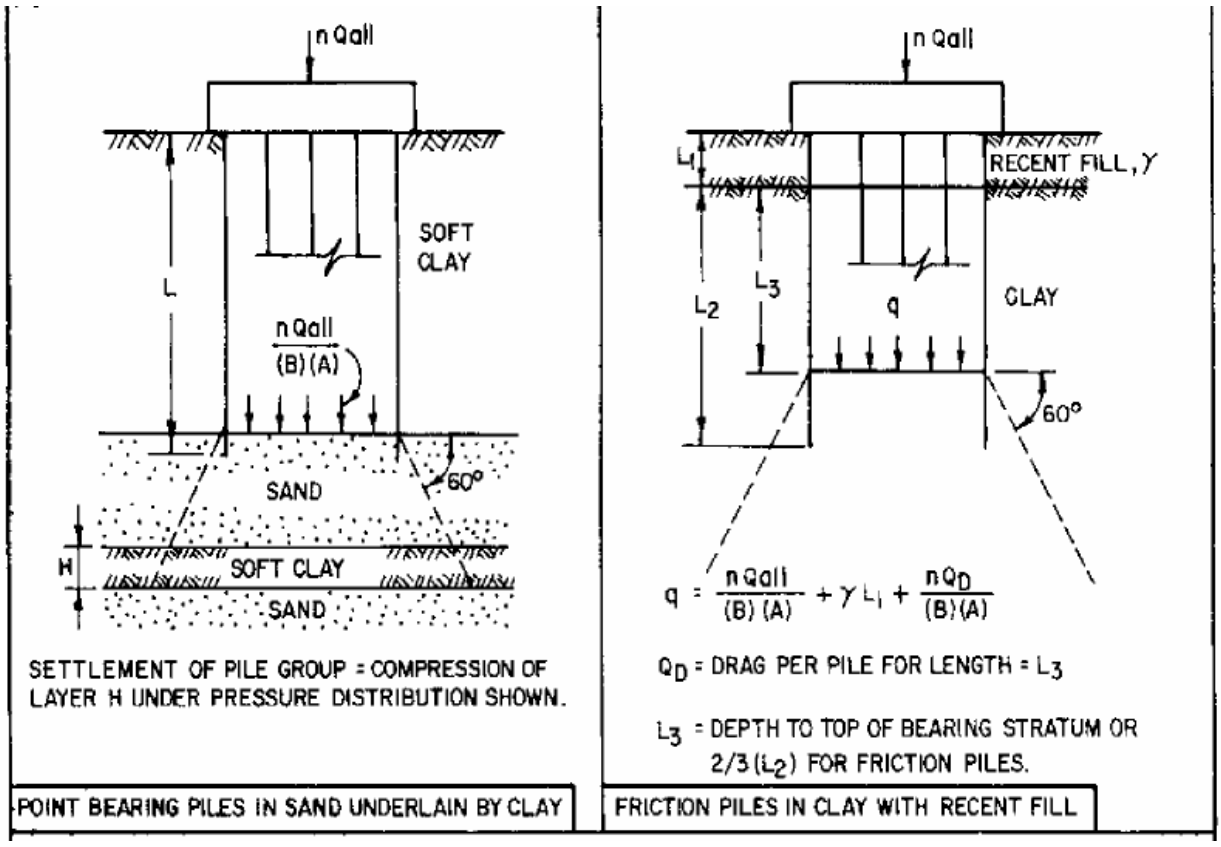
4.3.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων – Μοντέλο Terzaghi

Προσεγγιστικά μοντέλα εκτίμησης της καθίζησης ομάδας πασσάλων



4.3.3 Εκτίμηση της καθίζησης ομάδας πασσάλων – Μοντέλο Terzaghi

Προσεγγιστικά μοντέλα εκτίμησης της καθίζησης ομάδας πασσάλων



Με συνεκτίμηση αρνητικής τριβής