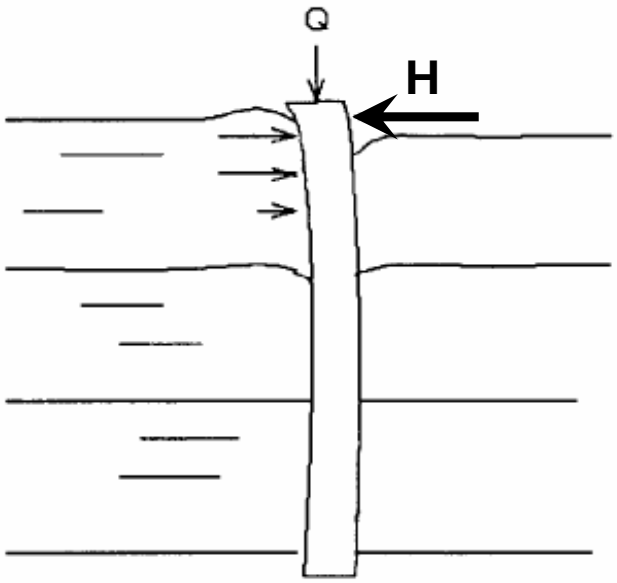
ΔΙΑΛΕΞΕΙΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
« ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ »
7ο Εξ. ΠΟΛ-ΜΗΧ. ΕΜΠ - Ακαδ. Ετος 2005 - 06

ΔΙΑΛΕΞΗ 13
Θεμελιώσεις με πασσάλους : Εγκάρσια φόρτιση πασσάλων

21.05.2005

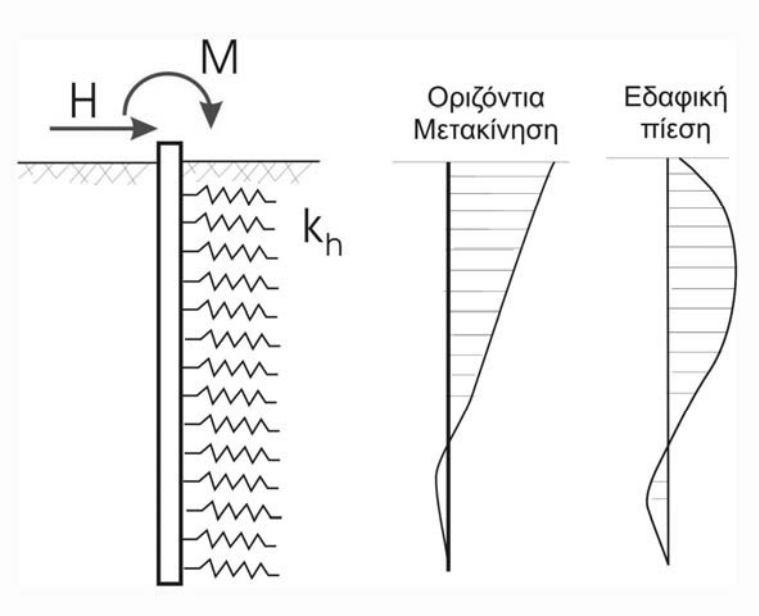
1. Κατηγορίες πασσάλων
2. Αξονική φέρουσα ικανότητα μεμονωμένου πασσάλου
   2.1 Εμπηγνυόμενοι πάσσαλοι (πάσσαλοι εκτοπίσεως)
   2.2 Εγχυτοι πάσσαλοι (φρεατοπάσσαλοι)
   2.3 Ανάλυση πασσάλων κατά τον Ευρωκώδικα 7
3. Καθιζήσεις μεμονωμένου πασσάλου
4. Ομάδες πασσάλων
   4.1 Φέρουσα ικανότητα ομάδας
   4.2 Καθιζήσεις ομάδας
5. Εγκάρσια φόρτιση πασσάλων

Εγκάρσια φόρτιση πασσάλου



Εγκάρσια φόρτιση πασσάλων

Οι πάσσαλοι θεμελιώσεως των κατασκευών συνήθως φορτίζονται και με εγκάρσιες δράσεις λόγω σεισμού, ανεμοπίεσης, κυματισμών, επιτάχυνσης και επιβράδυνσης οχημάτων, πρόσκρουσης, κλπ.



Κατά την εγκάρσια φόρτιση των πασσάλων, απαιτείται έλεγχος έναντι :

(1) Επαρκούς ασφάλειας έναντι υπέρβασης της οριζόντιας φέρουσας ικανότητας του εδάφους (υπέρβαση παθητικής αντίστασης)

(2) Υπερβολικής οριζόντιας μετακίνησης της κεφαλής του πασσάλου υπό τα φορτία λειτουργίας

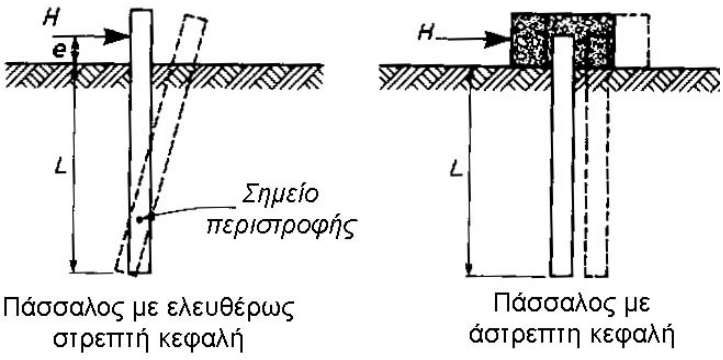
(3) Επαρκούς ασφάλειας έναντι υπέρβασης της καμπτικής αντοχής του πασσάλου

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

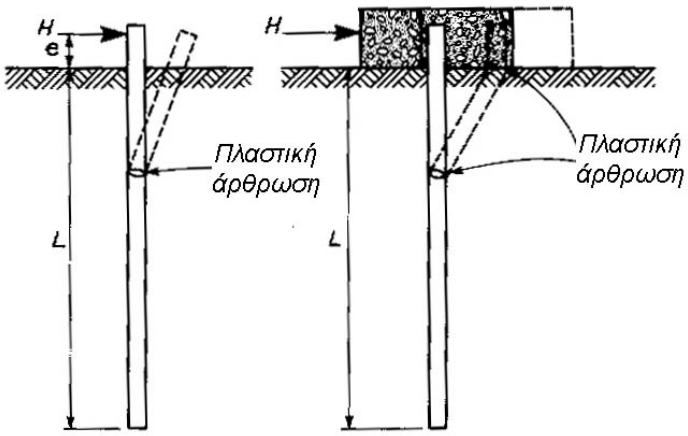
Έλεγχος επαρκούς ασφάλειας έναντι υπέρβασης της οριζόντιας φέρουσας ικανότητας του εδάφους (υπέρβαση παθητικής αντίστασης) :

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

1. Διάκριση της λειτουργίας του πασσάλου ως «κοντού» ή «μακρού», μέσω της σχετικής δυσκαμψίας πασσάλου - εδάφους



Μηχανισμοί αστοχίας «κοντού» πασσάλου



Μηχανισμοί αστοχίας «μακρού» πασσάλου

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

1. Διάκριση της λειτουργίας του πασσάλου ως «κοντού» ή «μακρού» :

E , I , L , B = μέτρο ελαστικότητας, ροπή αδρανείας, μήκος, εύρος του πασσάλου

Λειτουργία πασσάλου	Μέτρο ελαστικότητας του εδάφους	
	Σταθερό (ανεξάρτητο του βάθους) : • Υπερστερεοποιημένες άργιλοι	Γραμμικώς αυξανόμενο με το βάθος : • Κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι • Αμμοι
«κοντός»	$L < 2\left(\frac{E\,I}{K\,B}\right)^{1/4}$	$L < 2\left(\frac{E\,I}{n_h}\right)^{1/5}$
«ενδιάμεσος»	$2\left(\frac{E\,I}{K\,B}\right)^{1/4} < L < 3.5\left(\frac{E\,I}{K\,B}\right)^{1/4}$	$2\left(\frac{E\,I}{n_h}\right)^{1/5} < L < 4\left(\frac{E\,I}{n_h}\right)^{1/5}$
«μακρύς»	$L > 3.5\left(\frac{E\,I}{K\,B}\right)^{1/4}$	$L > 4\left(\frac{E\,I}{n_h}\right)^{1/5}$

$K = 0.67\ k_o$ (kN/m³)

k_o = δείκτης εδάφους (Winkler) από τετραγωνική πλάκα εύρους 0.305m

$K = n_h \frac{z}{B}$

z = βάθος

K = δείκτης εδάφους

n_h = συντελεστής

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

Τιμές του δείκτη εδάφους k_o υπερστερεοποιημένων αργίλων
(για τετραγωνική ή κυκλική πλάκα εύρους 0.305m)

Συνεκτικότητα αργίλου :	Στιφρή	Πολύ στιφρή	Σκληρή
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή c_u (kPa) :	100 - 200	200 - 400	400 - 800
Εύρος τιμών k_o (MN/m³)	18 - 36	36 - 72	72 – 144
Προτεινόμενες τιμές k_o (MN/m³)	27	54	108

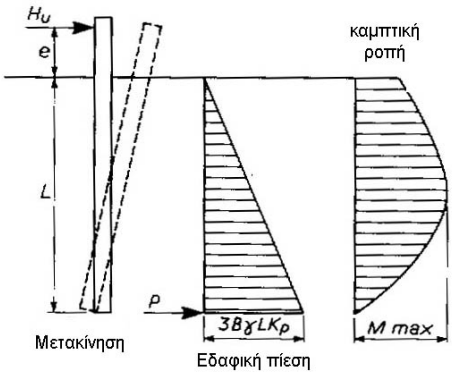
Τιμές του συντελεστή n_h (σε MN/ m³) άμμων

Σχετική πυκνότητα άμμου :	Χαλαρή	Μέσης πυκνότητας	Πυκνή
Τιμές της σχετικής πυκνότητας (D_r)	< 50 %	50-75%	75-100%
n_h (MN/m³) ξηρής ή ύφυγρης άμμου	2.5	7.5	20
Εύρος τιμών n_h (MN/m³) κορεσμένης άμμου	1.4 – 5.3	5 – 16.3	12 - 34

Τιμές του συντελεστή n_h κανονικά στερεοποιημένων αργίλων : 0.35 ÷ 0.70 MN/ m³

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

1. Κοντός πάσσαλος – αμμώδες έδαφος :



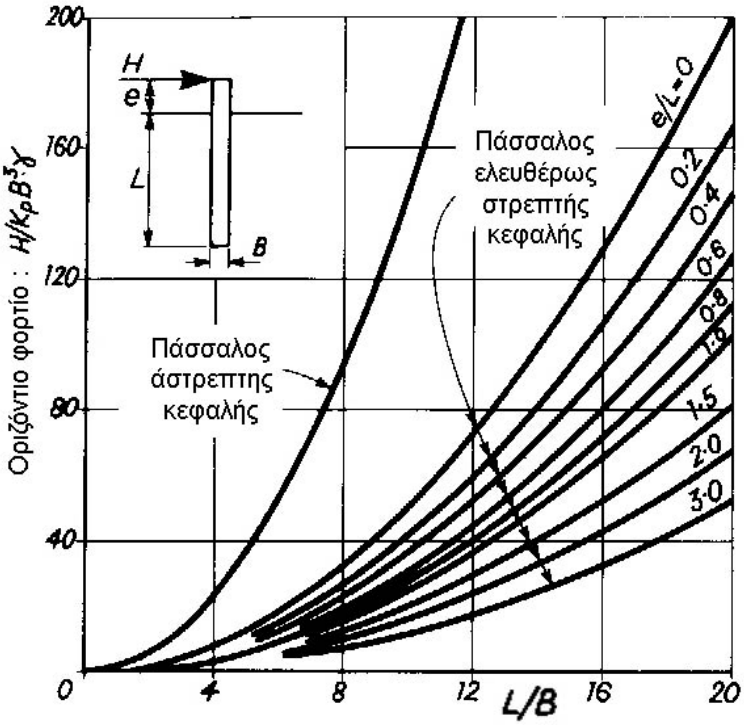
Πάσσαλος ελευθέρως στρεπτής κεφαλής

$$H_u = \frac{1}{2}\gamma K_p L^3 \frac{B}{e+L}$$

Μέγιστη ροπή σε βάθος (z) από την επιφάνεια :

$$z = \sqrt{\frac{2}{3}\frac{H_u}{\gamma B K_p}}$$

$$M = H_u(e+z) - \frac{1}{2}\gamma K_p B z^3$$



H = μέγιστο οριζόντιο φορτίο (H_u)

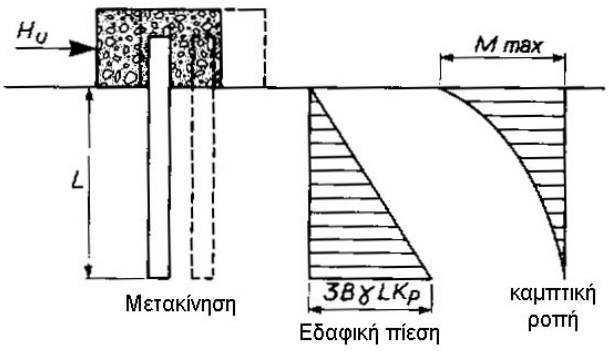
γ = ειδικό βάρος εδάφους

φ = γωνία τριβής του εδάφους

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

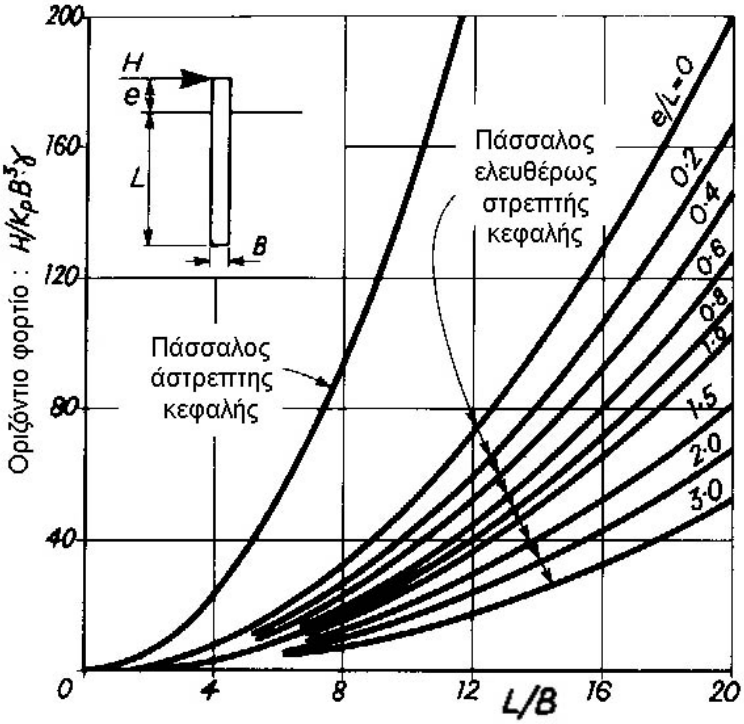
1. Κοντός πάσσαλος – αμμώδες έδαφος :



Πάσσαλος άστρεπτης κεφαλής

$$H_u = \frac{3}{2}\gamma K_p L^2 B$$

$$M_{\max} = \gamma K_p L^3 B$$



H = μέγιστο οριζόντιο φορτίο (H_u)

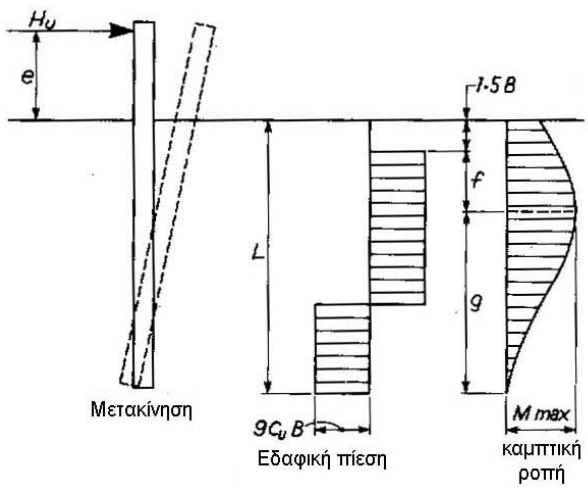
γ = ειδικό βάρος εδάφους

φ = γωνία τριβής του εδάφους

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

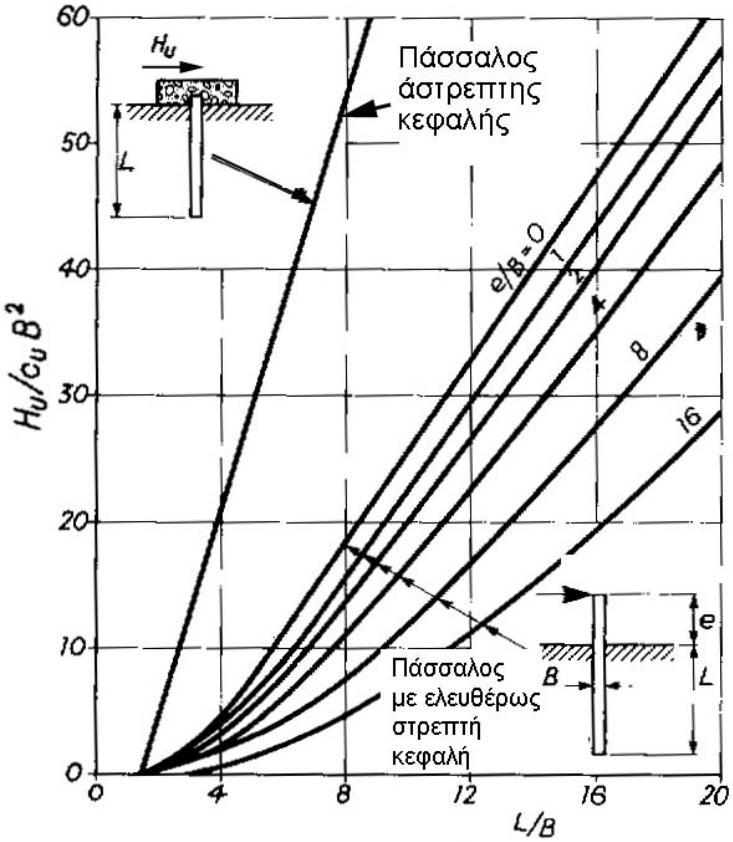
2. Κοντός πάσσαλος – αργιλικό έδαφος :



Πάσσαλος ελευθέρως στρεπτής κεφαλής

$$f = H/(9c_u B)$$

$$M_{\max} = H(e + 1.5B + 0.5f)$$

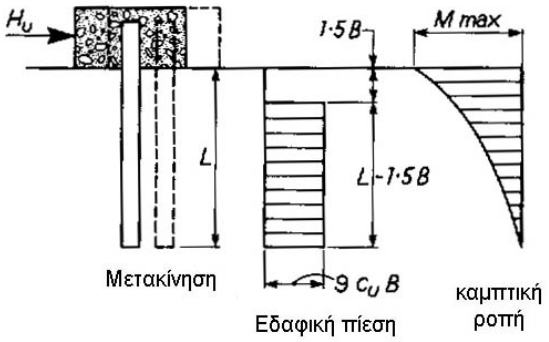


H_u = μέγιστο οριζόντιο φορτίο (αστοχίας)

c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή (σταθερή)

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

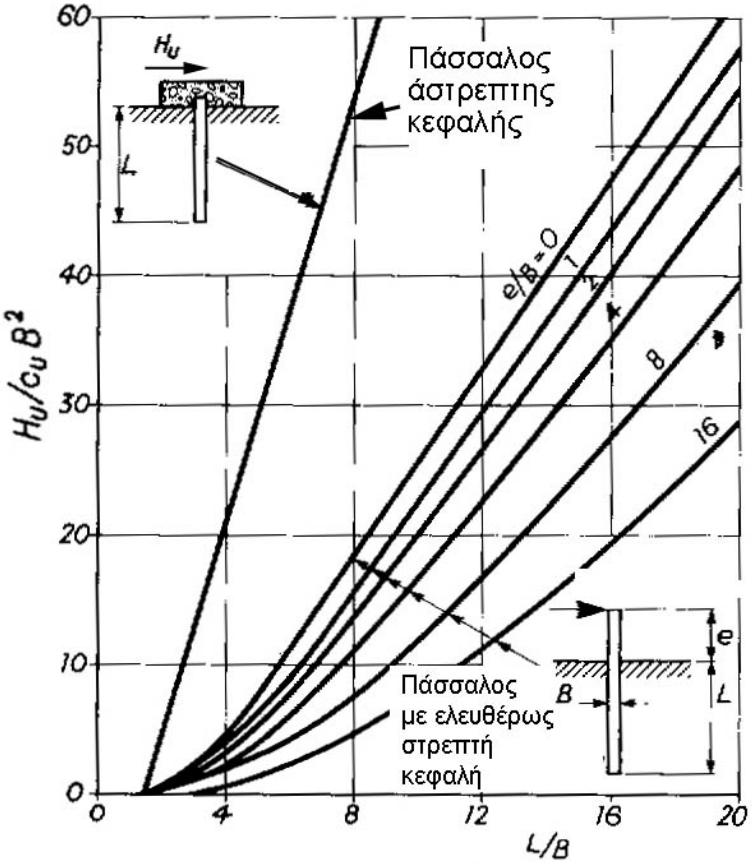
2. Κοντός πάσσαλος – αργιλικό έδαφος :



Πάσσαλος άστρεπτης κεφαλής

$$H_u = 9c_u B(L - 1.5B)$$

$$M_{\max} = 4.5c_u B(L^2 - 2.25B^2)$$



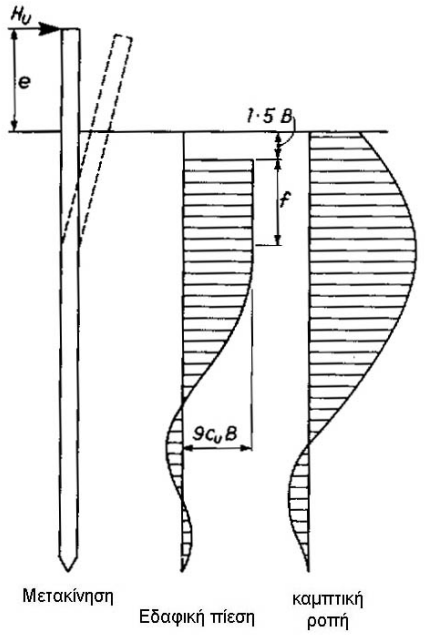
H_u = μέγιστο οριζόντιο φορτίο (αστοχίας)

c_u = αστράγγιστη διατμητική αντοχή (σταθερή)

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

3. Μακρύς πάσσαλος – αργιλικό έδαφος :



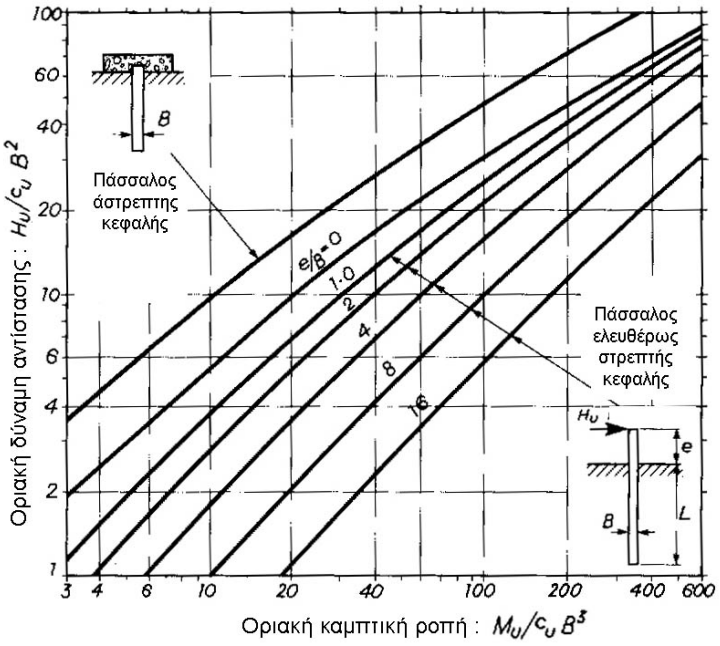
Πάσσαλος ελευθέρως στρεπτής κεφαλής

$$f = H/(9\,c_u B)$$

$$M_{\max} = H(e + 1.5B + 0.5f)$$

Στους μακρείς πασσάλους, κρίσιμη είναι η καμπτική αντοχή του πασσάλου (M_u), αφού η παθητική αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη. Συνεπώς, το μέγιστο οριζόντιο φορτίο είναι :

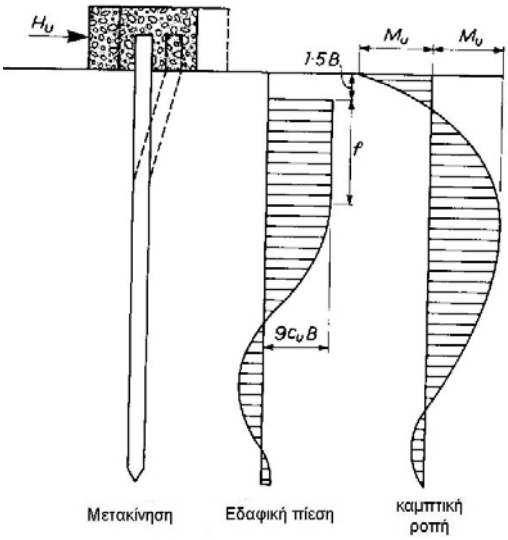
$$H_u = \frac{M_u}{(e + 1.5B + 0.5f)}$$



Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

3. Μακρύς πάσσαλος – αργιλικό έδαφος :

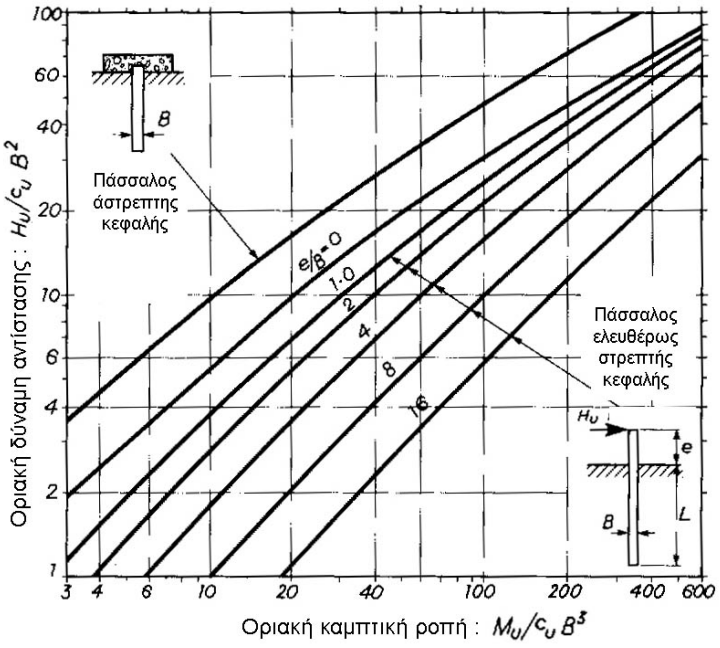


Πάσσαλος άστρεπτης κεφαλής

$$f = H/(9\,c_u B)$$

Στους μακρείς πασσάλους, κρίσιμη είναι η καμπτική αντοχή του πασσάλου (M_u), αφού η παθητική αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη. Συνεπώς, το μέγιστο οριζόντιο φορτίο είναι :

$$H_u = \frac{2\,M_u}{(1.5B + 0.5f)}$$



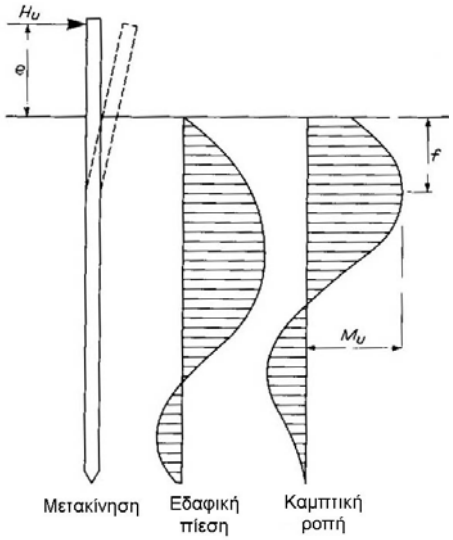
Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

4. Μακρύς πάσσαλος – αμμώδες έδαφος :

Στους μακρείς πασσάλους, κρίσιμη είναι η καμπτική αντοχή του πασσάλου (M_u), αφού η παθητική αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη. Συνεπώς, το μέγιστο οριζόντιο φορτίο είναι :

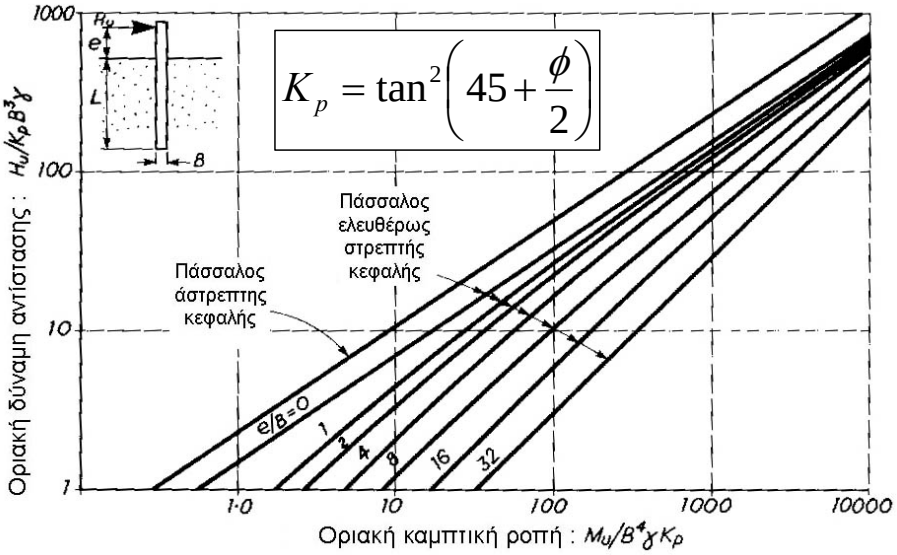
$$H_u = \frac{M_u}{e + 0.54\sqrt{\dfrac{H_u}{\gamma B K_p}}}$$



Πάσσαλος ελευθέρως στρεπτής κεφαλής

$$f = 0.82\sqrt{\frac{H}{\gamma B K_p}}$$

$$M_{\max} = H\left(e + 0.67 f\right)$$



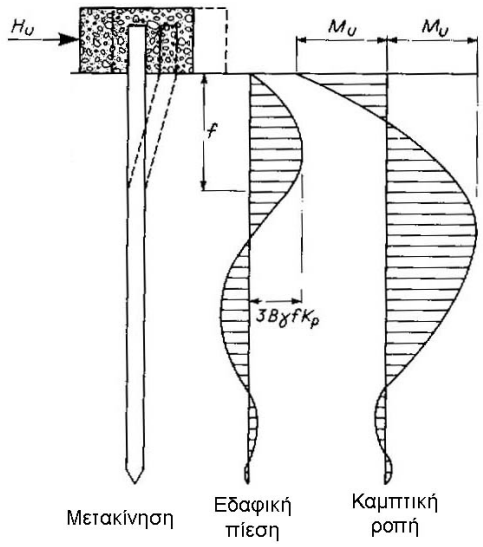
Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Μέθοδος Broms (αναλυτική μέθοδος) :

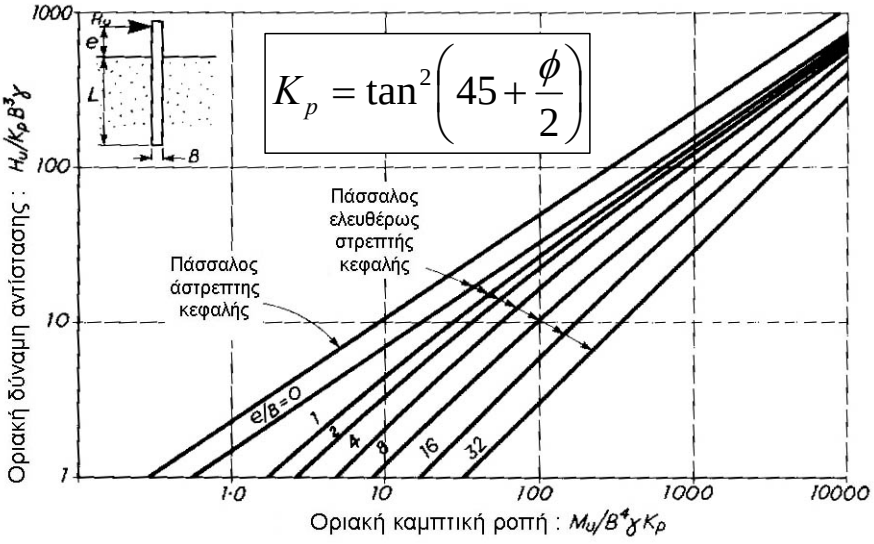
4. Μακρύς πάσσαλος – αμμώδες έδαφος :

Στους μακρείς πασσάλους, κρίσιμη είναι η καμπτική αντοχή του πασσάλου (M_u), αφού η παθητική αντίσταση του εδάφους είναι πολύ μεγάλη. Συνεπώς, το μέγιστο οριζόντιο φορτίο είναι :

$$H_u = \frac{2 M_u}{e + 0.54\sqrt{\dfrac{H_u}{\gamma B K_p}}}$$

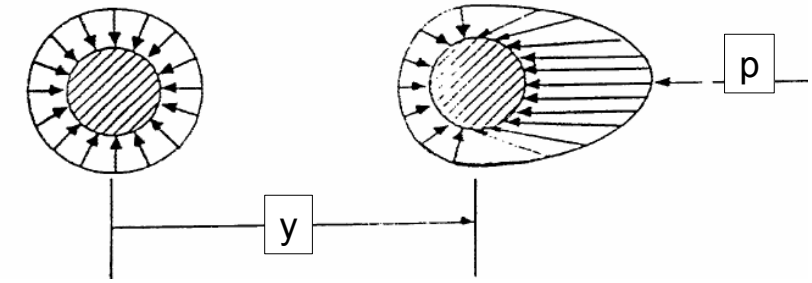


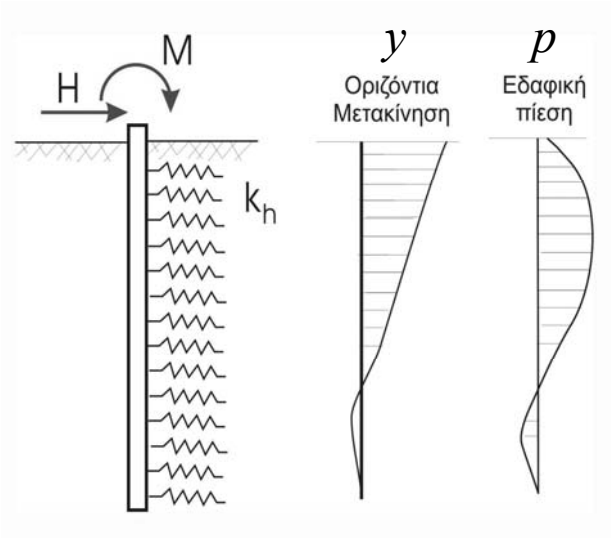
Πάσσαλος άστρεπτης κεφαλής



Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

2. Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :



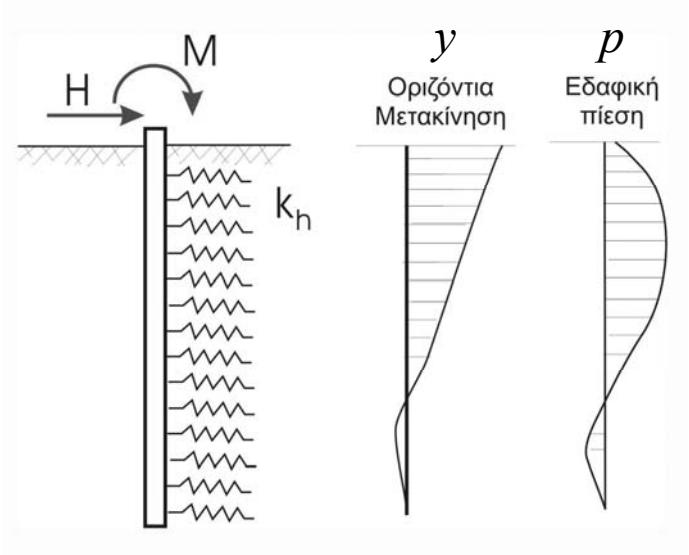


Μοντέλο Winkler : $p = k_h \, y$

p = εδαφική αντίδραση (kPa)
y = οριζόντια μετακίνηση του πασσάλου (m)
k_h = σταθερά ελατηρίου Winkler (kN/m^3)

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :



Μοντέλο Winkler : $p = k_h \, y$

p = εδαφική αντίδραση (kPa)
y = οριζόντια μετακίνηση του πασσάλου (m)
k_h = σταθερά ελατηρίου Winkler (kN/m^3)

Διαφορική εξίσωση του πασσάλου :

$$E\,I\,\frac{d^4 y}{dx^4} = -p\,B$$

$$E\,I\,\frac{d^4 y}{dx^4} + k_h\,B\,y = 0$$

B = πλάτος του πασσάλου (m)
E = μέτρο ελαστικότητας του πασσάλου (kN/m^2)
I = ροπή αδρανείας της διατομής του πασσάλου

Πάσσαλος ορθογωνικής διατομής (B x H) : $I = \dfrac{B\,H^3}{12}$

Πάσσαλος κυκλικής διατομής (D) : $I = \dfrac{\pi\,D^4}{64}$

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :

Αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων για την συνήθη περίπτωση πασσάλου με άστρεπτη κεφαλή στην επιφάνεια του εδάφους (z=0) :

Υπολογισμός του χαρακτηριστικού μήκους L_o :

1. Υπερστερεοποιημένες άργιλοι με δείκτη εδάφους : k_h = 0.67 k_o (kN/m³) όπου k_o = δείκτης εδάφους (Winkler) από τετραγωνική πλάκα εύρους 0.305m

$$L_o = \left(\frac{E\,I}{k_h\,B} \right)^{1/4}$$

2. Κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι και αμμώδη εδάφη με δείκτη εδάφους k_h (kN/m³), γραμμικώς αυξανόμενο με το βάθος κατά τη σχέση :

$$L_o = \left(\frac{E\,I}{n_h} \right)^{1/5}$$

$$k_h = n_h \frac{z}{B}$$

z = βάθος

n_h = συντελεστής

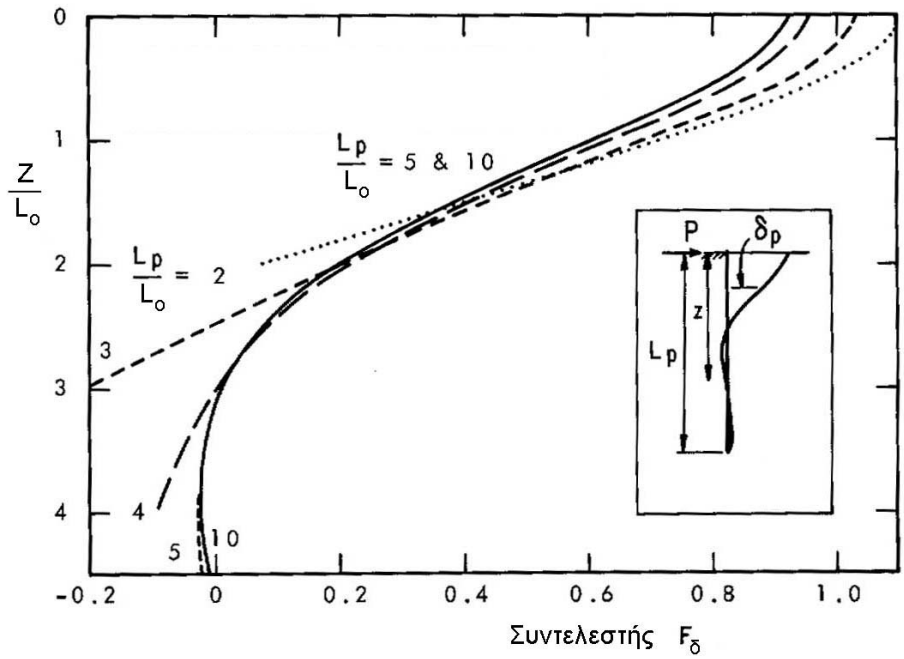
Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :

Αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων για την συνήθη περίπτωση πασσάλου με άστρεπτη κεφαλή στην επιφάνεια του εδάφους (z=0) :

Υπολογισμός της εγκάρσιας μετακίνησης (y) του πασσάλου σε διάφορα βάθη (z) από τη σχέση :

$$y = F_\delta \frac{H\,L_o^3}{E\,I}$$



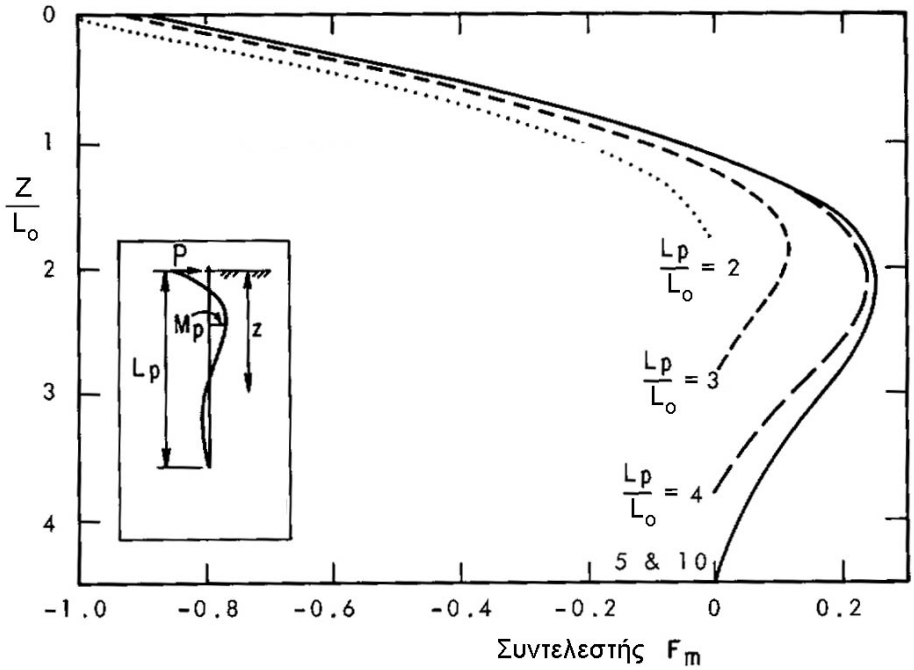
L_o = χαρακτηριστικό μήκος , L_p = μήκος πασσάλου

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :

Αποτελέσματα αριθμητικών αναλύσεων για την συνήθη περίπτωση πασσάλου με άστρεπτη κεφαλή στην επιφάνεια του εδάφους (z=0) :

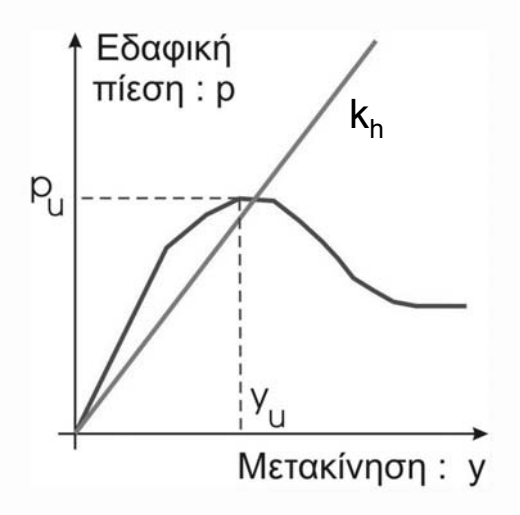
Υπολογισμός της καμπτικής ροπής (M) του πασσάλου σε διάφορα βάθη (z) από τη σχέση : $M = F_m H L_o$



L_o = χαρακτηριστικό μήκος , L_p = μήκος πασσάλου

Ανάλυση της εγκάρσιας φόρτισης πασσάλων

Με παραδοχή ανάπτυξης εδαφικών πιέσεων κατά το μοντέλο Winkler :



Το μοντέλο Winkler συνήθως θεωρεί ότι η καμπύλη p-y είναι γραμμική (με κλίση k_h).

Στην πραγματικότητα, η καμπύλη p-y έχει μέγιστη τιμή (p_u = παθητική αντίσταση του εδάφους). Σε μεγαλύτερες μετακινήσεις ($y > y_u$), η πίεση μπορεί να παραμένει πρακτικώς σταθερή ή να μειώνεται (χαλάρωση).

Η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης του πασσάλου για μή-γραμμική καμπύλη p-y μπορεί να γίνει με αριθμητικές μεθόδους (π.χ. πεπερασμένα στοιχεία).

Μή-γραμμικές καμπύλες p-y για διάφορους τύπους εδαφών δίνονται από το American Petroleum Institute (API)