



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
15780 ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΑΘΗΝΑ

ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗ & ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ

Διδάσκων:

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ

Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών

ΤΑΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΛΟΓΩ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

ΣΚΟΠΙΜΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Ο υπολογισμός της εντατικής κατάστασης στο εσωτερικό του εδάφους από φόρτιση στην ελεύθερη επιφάνεια είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό των καθιζήσεων αλλά και για τον έλεγχο της αντοχής του εδάφους.

Οι συμβατικές μέθοδοι υπολογισμού των τάσεων βασίζονται στην ελαστική θεωρία του Boussinesq. Οι παραδοχές της ελαστικής θεωρίας είναι ότι το υλικό θεμελίωσης:

- 1) είναι ισότροπο,
- 2) είναι ομογενές,
- 3) εκτείνεται σε άπειρο ημχώρο,
- 4) υπόκειται στον νόμο του Hooke.

Αν και τα φυσικά εδάφη σπάνια παρουσιάζουν ελαστική συμπεριφορά η συγκεκριμένη θεωρία είναι διαθέσιμη σε εύχρηστους μαθηματικούς τύπους και νομογραφήματα.

Επίσης με τη μακροχρόνια χρήση τους έχει αποδειχθεί ότι παρέχουν ασφαλή αποτελέσματα σε ότι αφορά στις κατακόρυφες τάσεις. Αντιθέτως δεν θεωρούνται ασφαλείς για τον υπολογισμό των οριζόντιων και των διατμητικών τάσεων. Παραταύτα στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές σχέσεις και νομογραφήματα που παρέχουν τιμές οριζόντιων και διατμητικών τάσεων τα οποία θα πρέπει να αξιοποιούνται με μεγάλη προσοχή.

ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ BOUSSINESQ ΓΙΑ ΜΟΝΑΧΙΚΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ

Η απλή αυτή επίλυση αποτελεί τη βάση για την επίλυση πιο σύνθετων φορτίσεων.

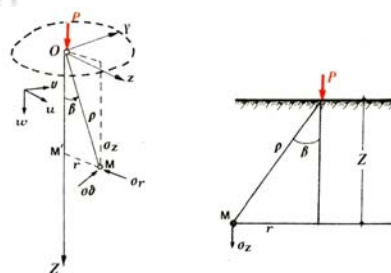
Οι τιμές των τάσεων και των κατακόρυφων παραμορφώσεων σε τυχαίο σημείο M σε ελαστικό ημχώρο που φορτίζεται με μοναχικό φορτίο P δίνονται από τους ακόλουθους τύπους.

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi \rho^2} \cos^3 \beta, \quad \sigma_r = \frac{P}{2\pi z^2} \left[3 \cos^3 \beta \sin^2 \beta - (1-2\mu) \frac{\cos^2 \beta}{1+\cos \beta} \right]$$

$$\sigma_\theta = -(1-2\mu) \frac{P}{2\pi z^2} \left(\cos^3 \beta - \frac{\cos^2 \beta}{1+\cos \beta} \right), \quad \tau_{rz} = \frac{3P}{2\pi z^2} \cos^4 \beta \sin \beta$$

$$\tau_{\theta r} = \tau_{\theta z} = 0$$

Εξαιτίας του γεγονότος ότι η φόρτιση είναι αξονοσυμμετρική η επίλυση δίνεται σε πολικές συντεταγμένες.



Οι κατακόρυφες τάσεις για κατακόρυφο μοναχικό φορτίο υπολογίζονται από τους τύπους:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi \rho^2} \cos^3 \beta \quad \text{ή} \quad \sigma_z = \frac{3P}{2\pi} \frac{z^3}{\rho^5}$$

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2} \right]^{5/2} = \frac{P}{z^2} I_z$$

$$I_z = \frac{3}{2\pi} \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z}\right)^2\right]^{5/2}}$$

Οι τιμές του I_σ δίνονται από τον πίνακα σε συνάρτηση με το r/z

r/z	I_σ	r/z	I_σ	r/z	I_σ
0,00	0,4775	1,10	0,0658	2,10	0,0070
0,10	0,4657	1,00	0,0513	2,20	0,0058
0,20	0,4329	1,20	0,0402	2,30	0,0048
0,30	0,3849	1,30	0,0317	2,40	0,0040
0,40	0,3294	1,40	0,0251	2,50	0,0034
0,50	0,2733	1,50	0,0200	3,00	0,0015
0,60	0,2214	1,60	0,0160	4,00	0,0004
0,70	0,1762	1,70	0,0129	5,00	0,0001
0,80	0,1386	1,80	0,0105	10,00	0,000
0,90	0,1083	1,90	0,0085		
1,00	0,0844	2,00			

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τις προαναφερόμενες σχέσεις είναι τα εξής:

- > Η απομείωση των τάσεων με το βάθος είναι ταχεία (παρονομαστής $-z^2$).
- > Σε συγκεκριμένο επίπεδο οι τάσεις αυξάνονται με τη μείωση της ακτίνας r .
- > Σε συγκεκριμένο επίπεδο οι τάσεις έχουν την ίδια τιμή επί συγκεκριμένης ακτίνας r (αξονοσυμμετρικότητα της κατανομής)

ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΛΩΡΙΔΑ ΑΠΕΙΡΟΥ ΜΗΚΟΥΣ

Οι τάσεις σε τυχαίο σημείο κάτω από λωρίδα άπειρου μήκους που φορτίζει ομοιόμορφα υπολογίζονται σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις.

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} (\beta + \sin \beta \cos 2\alpha)$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} (\beta - \sin \beta \cos 2\alpha)$$

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi} \sin \beta \sin 2\alpha$$

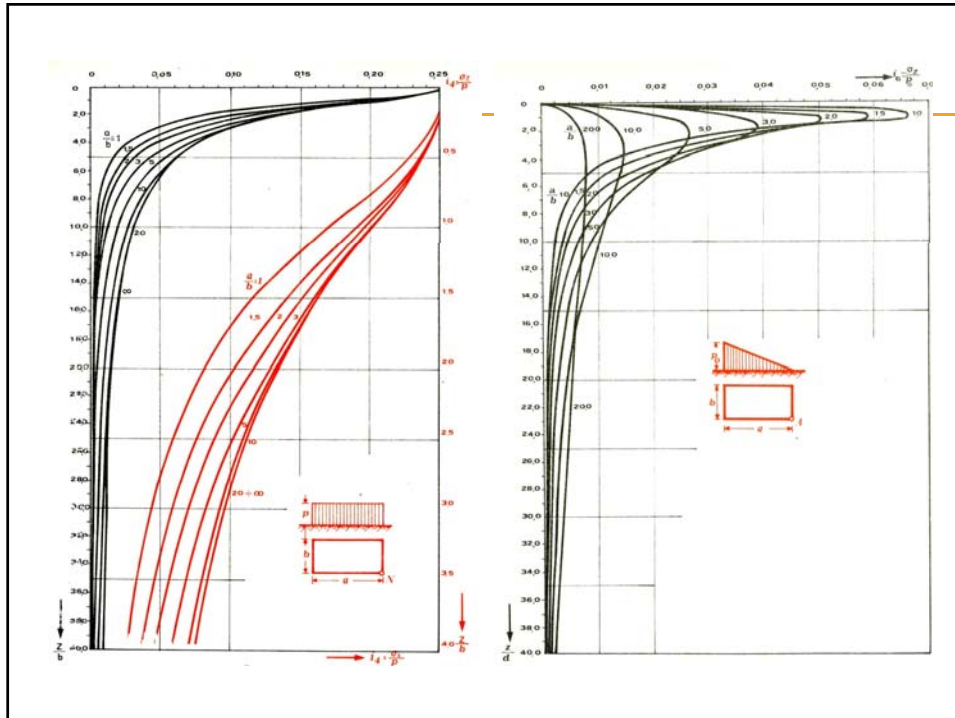
Η γωνία β ορίζεται σε ακτίνια (rad). $\text{rad} = \frac{\varphi}{180} \Pi$

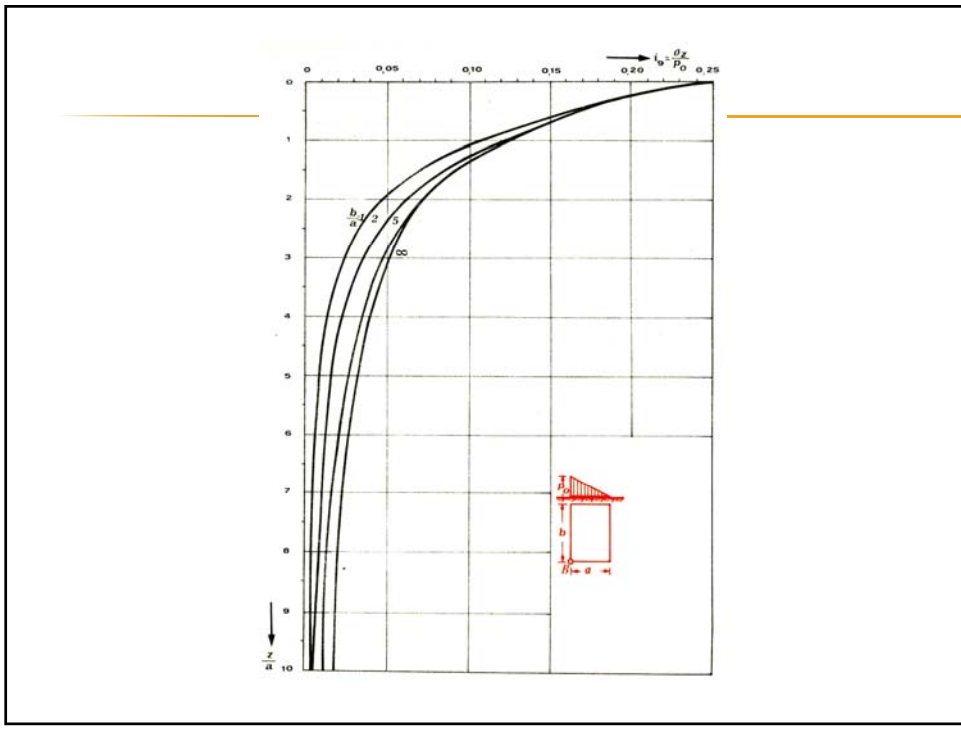
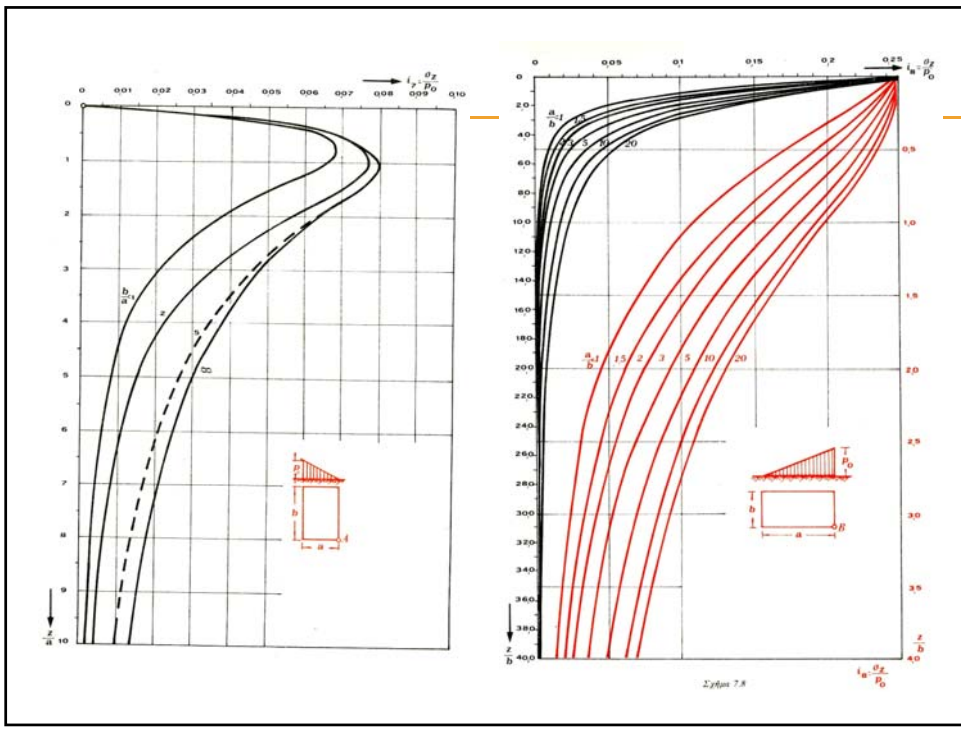
ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Για τον υπολογισμό των τάσεων, σ_z , κάτω από ορθογωνική επιφάνεια που φορτίζεται με ομοιόμορφο ή τριγωνικό φορτίο χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\sigma_z = i \rho$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή i χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα διαγράμματα κατά περίπτωση.





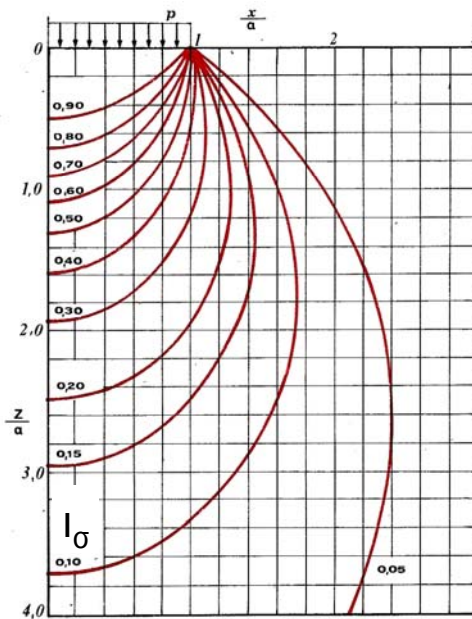
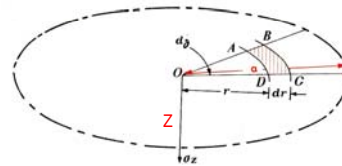
ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΚΥΚΛΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Για τον υπολογισμό των τάσεων, σ_z , κάτω από το κέντρο κυκλικής επιφάνειας που φορτίζεται ομοιόμορφα, p , χρησιμοποιείται η σχέση:

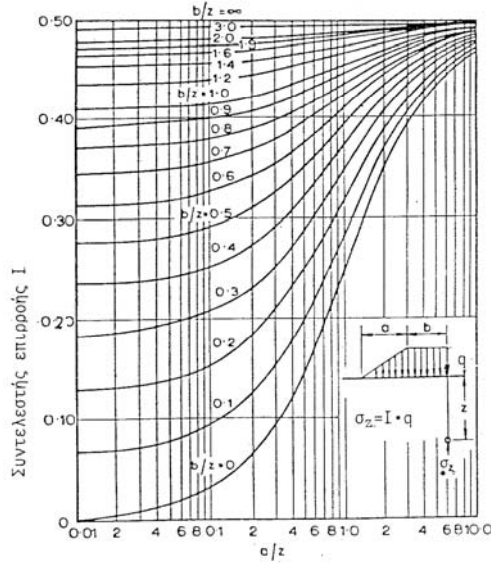
$$\sigma_z = i_\sigma p$$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή i_σ χρησιμοποιείται ο πίνακας ή το νομογράφημα.

z/a	I_σ	z/a	I_σ	z/a	I_σ
0.00	1.000				
0.10	0.999	1.10	0.595	2.10	0.264
0.20	0.992	1.20	0.547	2.20	0.245
0.30	0.970	1.30	0.502	2.30	0.229
0.40	0.949	1.40	0.461	2.40	0.214
0.50	0.911	1.50	0.424	2.50	0.200
0.60	0.864	1.60	0.390	3.00	0.146
0.70	0.818	1.70	0.360	4.00	0.087
0.80	0.756	1.80	0.332	5.00	0.057
0.90	0.701	1.90	0.307	10.00	0.015
1.00	0.646	2.00	0.284		



ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΕΠΙΧΩΜΑ (OSTERBERG 1957)



ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΑ ΦΟΡΤΙΣΜΕΝΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΥΧΑΙΟΥ ΣΧΗΜΑΤΟΣ – ΝΟΜΟΓΡΑΦΗΜΑ NEWMARK

Για τον υπολογισμό των τάσεων κάτω από ομοιόμορφα φορτισμένη επιφάνεια τυχαίου σχήματος μπορεί να γίνει χρήση του νομογραφήματος του Newmark.

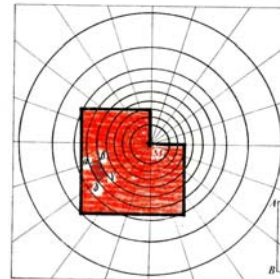
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή το περίγραμμα του φορτίου σχεδιάζεται υπό κλίμακα σε διαφανές χαρτί έτσι ώστε η διάσταση AB να είναι ίση με το βάθος Z του σημείου. Τοποθετείται το περίγραμμα πάνω στο νομογράφημα έτσι ώστε το σημείο κάτω από το οποίο πραγματοποιείται υπολογισμός των τάσεων να βρίσκεται στο κέντρο του δικτύου.

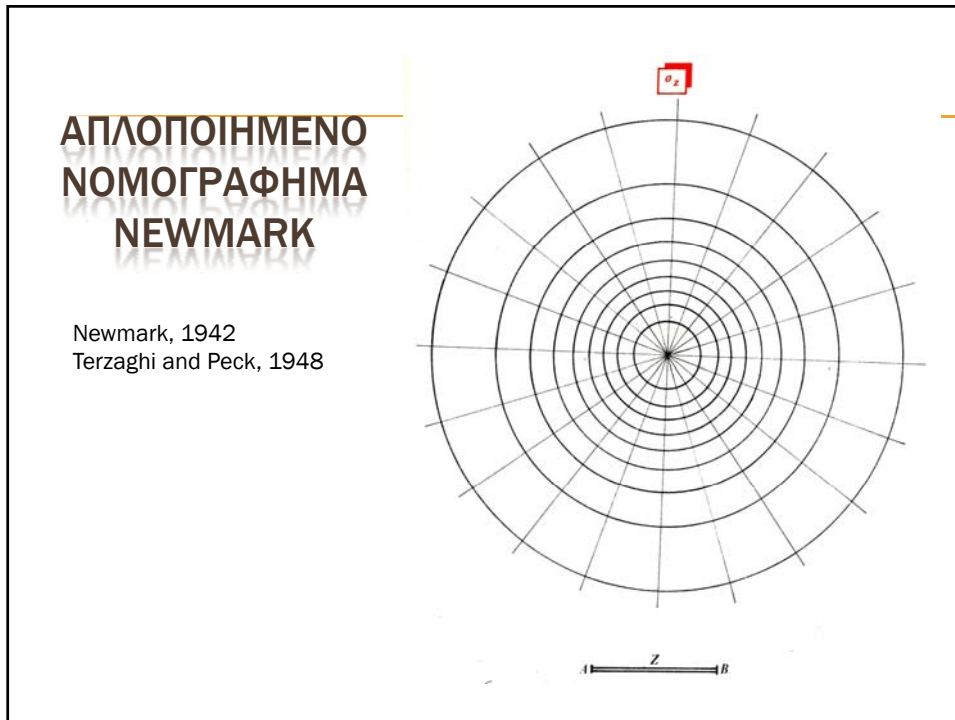
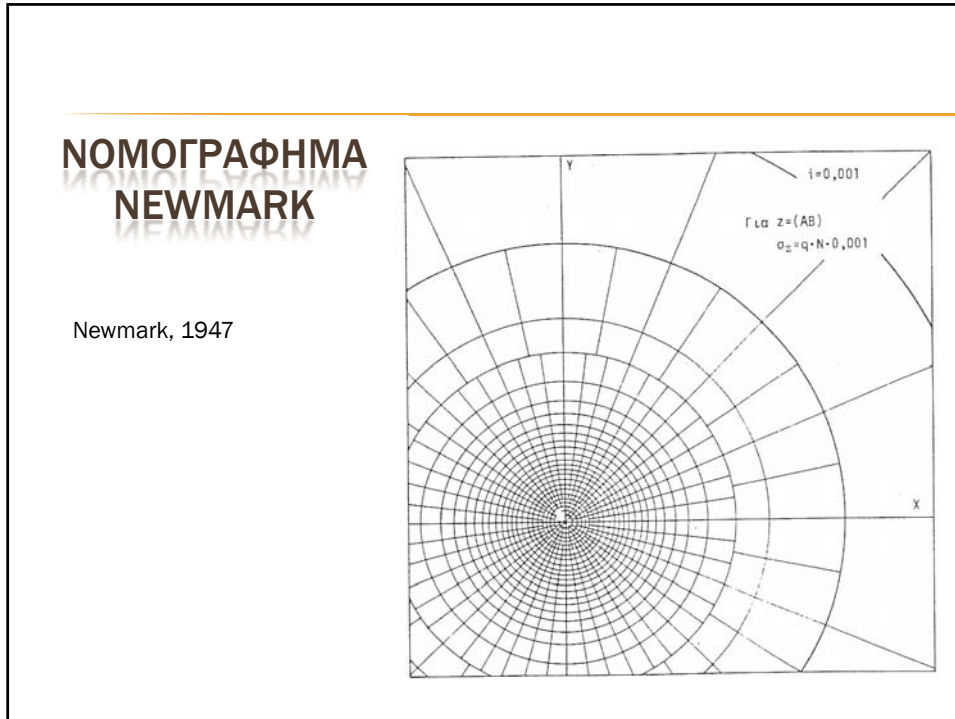
Το φορτίο στο βάθος Z υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\sigma_z = 0,001 p n$$

$$\sigma_z = 0,005 p n \quad (\text{για χρήση απλοποιημένου διαγράμματος})$$

Όπου p: το φορτίο και n: ο αριθμός των τμημάτων του διαγράμματος που βρίσκονται εντός του περιγράμματος.





ΓΕΝΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ

- Η κατανομή των κατακόρυφων τάσεων είναι ανεξάρτητη από τις ελαστικές παραμέτρους του εδάφους (E,v). Θεωρητικώς οι τάσεις είναι ανεξάρτητες της φύσης του εδάφους αλλά υπό την προϋπόθεση ότι οι τιμές των ελαστικών παραμέτρων παραμένουν σταθερές.
- Η χρήση των παραδοχών του ελαστικού ημιχώρου είναι επισφαλής στην περίπτωση των οριζόντιων τάσεων καθώς αυτές, σε αντίθεση με τις κατακόρυφες, εξαρτώνται από τις απόλυτες τιμές των ελαστικών παραμέτρων και κυρίως του λόγου του Poisson, ν .

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γραμματικόπουλος Γ., Μάνου - Ανδρεάδου Ν., Χατζηγώγος Θ. (1998), Εδαφομηχανική - ασκήσεις και προβλήματα, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Καββαδάς Μ. (2009) Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα.
- Παπαδόπουλος Β. (2003), Στοιχεία Γεωτεχνικής, Σημειώσεις ΕΜΠ.
- Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι., (1999) Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδόσεις Αφοί Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Τσότσος Στ. (1991), Εδαφομηχανική - Θεωρία Μέθοδοι Εφαρμογές, Εκδόσεις Φ. Βερβερίδης & Π. Πολυχρονίδης α.ε., Θεσσαλονίκη.