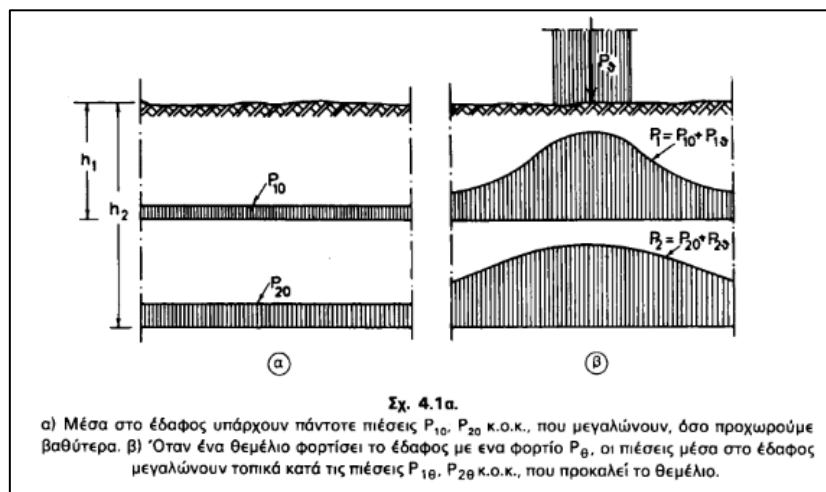


Κεφάλαιο 5. Αντοχή εδάφους

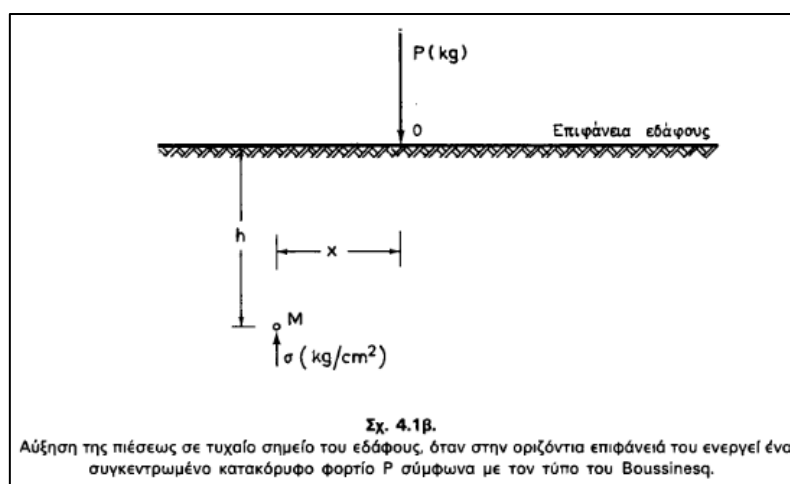
5.0. Αντοχή εδάφους

Στο έδαφος υπάρχουν πάντα πιέσεις, ακόμα και όταν δεν υπάρχει κάποιο κανένα εξωτερικό φορτίο (από κάποιο τεχνικό έργο) στην επιφάνεια του. Οι πιέσεις αυτές δημιουργούνται από το βάρος των στρωμάτων του εδάφους, τα οποία βρίσκονται πάνω από το σημείο που εξετάζουμε.

όταν κατασκευαστεί ένα τεχνικό - δομικό έργο, τα φορτία της κατασκευής και λειτουργίας του έργου, ασκούν στο έδαφος κάποιες επιπλέον πιέσεις. Η θεμελίωση ενός έργου, δεν γίνεται η αιτία για να παρουσιαστούν πιέσεις στο έδαφος (που προϋπάρχουν) αλλά για να μεταβληθούν οι ήδη υπάρχουσες.



Για να υπολογιστούν οι μεταβολές των πιέσεων, πρέπει να γνωρίζουμε τα φορτία του έργου, τις ιδιότητες του εδάφους, και τις υπάρχουσες πιέσεις σε κάθε σημείο του. Ο υπολογισμός αυτός είναι σύνθετος, και γίνεται αντιληπτός με την εξαιρετικά απλή περίπτωση του σχήματος.



Στην πραγματική κατάσταση, τα φορτία είναι πολλά, δεν είναι συγκεντρωμένα σε μεμονωμένα σημεία, το έδαφος δεν είναι ομοιόμορφο ούτε ισότροπο, και η επιφάνεια του εδάφους δεν είναι πάντα οριζόντια.

Χρησιμοποιούμε τις παραδοχές ότι το έδαφος έχει οριζόντια επίπεδη επιφάνεια, ότι εκτείνεται στο άπειρο, ότι είναι εντελώς ομοιόμορφο και ισότροπο, δηλαδή ότι διαθέτει τις ίδιες ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις. Σε ένα ορισμένο σημείο 0 (μηδέν) της επιφάνειας του εδάφους, εφαρμόζεται ένα συγκεντρωμένο κατακόρυφο φορτίο P (power).

Σε τυχαίο σημείο M του εδάφους, το οποίο βρίσκεται σε βάθος h και σε απόσταση οριζόντια από το σημείο 0 εφαρμογής του φορτίου P, η κατακόρυφη πίεση που ασκείται δίνεται από τον παρακάτω τύπο, του Γάλλου φυσικομαθηματικού Joseph Boussinesq (1842-1929)

$$\sigma = \frac{3h^3}{2\pi \sqrt{(x^2 + h^2)^3}} \cdot P$$

Με αυτές τις παραδοχές, αλλά και την γνώση της πραγματικής κατάστασης, χρειάζονται πιο δύσκολοι υπολογισμοί για να βρεθούν οι πιέσεις που ασκούνται μέσα στο έδαφος, τουλάχιστον σε ορισμένα κρίσιμα σημεία του εδάφους.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να γνωρίζουμε πόσο και πως μπορούν να μεταβληθούν οι πιέσεις μέσα στο έδαφος, χωρίς να προκληθούν ζημιές στο έργο πχ από καθίζηση (βλέπε παράγραφο 5.1) ή ακόμα χειρότερα θραύση του εδάφους (βλ. παρ. 5.2). Οπότε υπάρχουν κάποιες ανεκτές μεταβολές πιέσεων, που ονομάζονται επιτρεπόμενες πιέσεις και σχετίζονται με τις επιτρεπόμενες επιβαρύνσεις (βλ. παρ. 5.3).

Μετά συγκρίνουμε, τις μεταβολές πιέσεων που εκτιμούμε ότι θα πραγματοποιηθούν από την κατασκευή του έργου, με τις επιτρεπόμενες ανεκτές μεταβολές πιέσεων, και ανάλογα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης, δεχόμαστε μια λύση για την θεμελίωση του έργου, ή επιλέγουμε μια καλύτερη.

Η αντοχή του εδάφους, δηλαδή η μέγιστη πίεση που μπορεί να δεχτεί, καθορίζεται από δύο βασικές παραμέτρους, που είναι η γωνία τριβής, και η συνοχή. Περισσότερα για αυτές θα αναφερθούν σε επόμενα κεφάλαια.

5.1. Καθιζήσεις

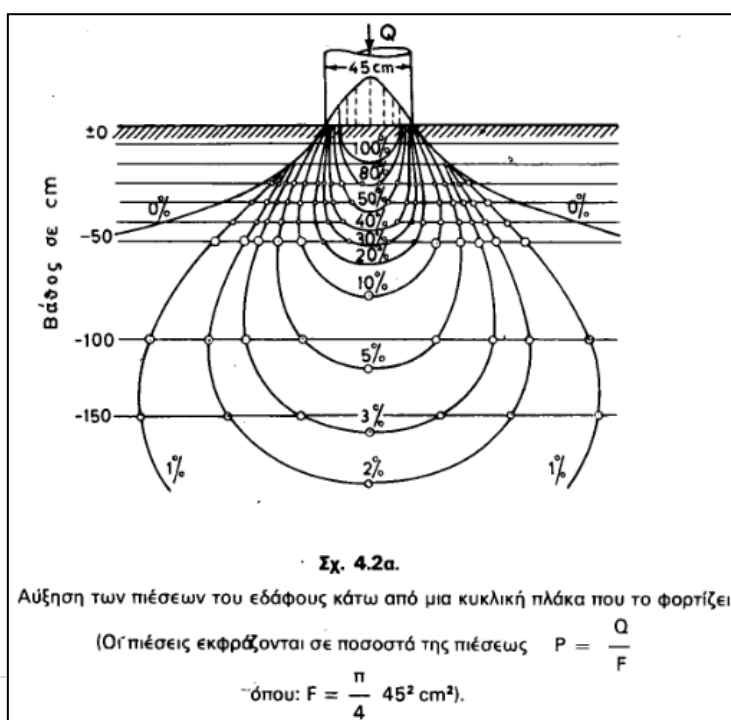
Το έδαφος (όπως και κάθε άλλο σώμα) όταν μεταβάλλονται οι πιέσεις, παθαίνει μεταβολές στον όγκο και το σχήμα. Στο έδαφος υπάρχουν πάντα πιέσεις, ακόμα και όταν δεν υπάρχει κάποιο κανένα εξωτερικό φορτίο (από κάποιο τεχνικό έργο) στην επιφάνεια του. Οι πιέσεις αυτές δημιουργούνται από το βάρος των στρωμάτων του εδάφους, τα οποία βρίσκονται πάνω από το σημείο που εξετάζουμε. Αυτές οι μεταβολές του εδάφους λέγονται παραμορφώσεις, και από τις διάφορες παραμορφώσεις του εδάφους, η πιο αντιληπτή και σημαντική για την κατασκευή των τεχνικών έργων είναι η καθίζηση. Καθίζηση σημαίνει η υποχώρηση της

ελεύθερης επιφάνειας του εδάφους, όταν εφαρμόζονται πρόσθετα φορτία από τις κατασκευές.

Με την επίδραση των φορτίων στο έδαφος, αυτό παραμορφώνεται, και όσο μεγαλώνει το φορτίο αυξάνεται και η παραμόρφωση. Ακόμη η παραμόρφωση αυξάνεται με τον χρόνο, ακόμα και αν δεν μεταβάλλεται πια το φορτίο. Η παραμόρφωση που εμφανίζεται αρχικά αλλά και αυτή που εμφανίζεται στην πορεία του χρόνου, διαφέρει από έδαφος σε έδαφος. Στα χαλαρά (μη συνεκτικά εδάφη, όπως χαλικώδη και αμμώδη) η αρχική παραμόρφωση εμφανίζεται σχεδόν αμέσως με την επίδραση του φορτίου και πολύ γρήγορα συμπληρώνεται η παραμόρφωση λόγω χρόνου. Στα συνεκτικά εδάφη (όπως τα αργιλώδη) αργούν και οι δύο αυτές παραμορφώσεις.

Όταν το φορτίο αφαιρεθεί, ένα μέρος από την παραμόρφωση αναιρείται, και το έδαφος μερικά επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Όσο μικρότερο σε μέγεθος είναι το φορτίο, και όσο λιγότερο χρόνο αυτό διατηρείται, τόσο μικρότερη ως ποσοστό είναι η μόνιμη παραμόρφωση. Το έδαφος παρουσιάζει κάποια σχετική ελαστικότητα, που είναι η ιδιότητα ενός σώματος να ξαναπαίρνει την αρχική του μορφή, όταν φύγει το αίτιο που προκάλεσε την παραμόρφωση. Οι παραμορφώσεις του εδάφους είναι περίπου ανάλογες με τα φορτία που ασκούνται σε αυτό, όπως συμβαίνει και στα υπόλοιπα στερεά σώματα. Η ελαστικότητα και η αναλογία παραμορφώσεων-φορτίων, παρουσιάζονται σε μικρότερο βαθμό από τα δομικά υλικά (όπως μέταλλα, σκυρόδεμα, ξύλο κτλ).

Μια άλλη διαφορά ανάμεσα στο έδαφος και στα δομικά υλικά, είναι ότι το έδαφος πρακτικά διαστάσεις απεριόριστες. Η παραμόρφωση και οι καθιζήσεις του εδάφους, αποτελούνται από το άθροισμα των παραμορφώσεων, όλων των τμημάτων-στρωμάτων στα οποία μεταβάλλεται η πίεση με την άσκηση των φορτίων. Η μεταβολή των πιέσεων στο έδαφος δεν είναι παντού ίδια (όπως θα ήταν σε ένα στερεό σώμα περιορισμένων διαστάσεων), αλλά μικραίνει όσο μεγαλώνει το βάθος και η οριζόντια απόσταση, από το σημείο που εφαρμόζεται το φορτίο. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή των πιέσεων στα διάφορα σημεία του εδάφους.

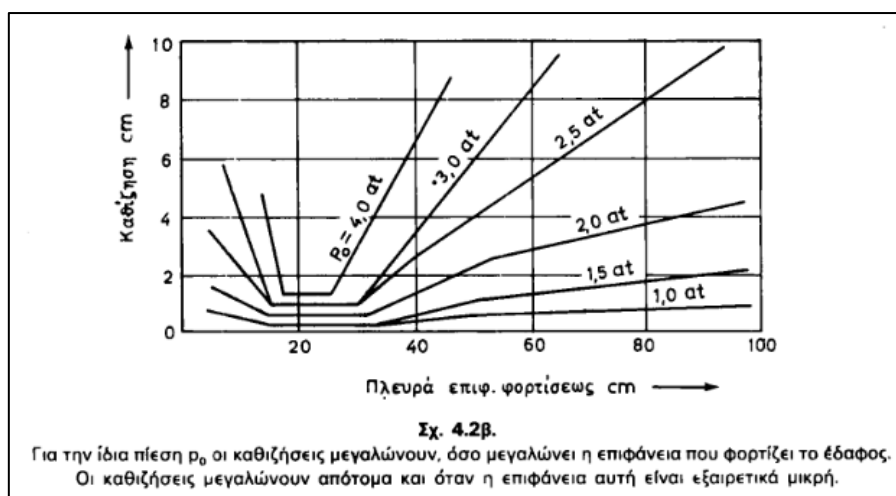


Σε βάθος λίγο μεγαλύτερο από το πλάτος της επιφάνειας που φορτίζεται, η πίεση (πρόσθετη λόγω φορτίου) στο έδαφος είναι περίπου το 1/3 της πίεσης (λόγω φορτίου) στην επιφάνεια του εδάφους. Σε βάθος τριπλάσιο (του πλάτους της φορτιζομένης επιφάνειας) η πίεση είναι ίση με το 1/20 της επιφανειακής πίεσης. Πιο κάτω από το βάθος αυτό, θεωρούμε ότι δεν υπάρχει πρακτικά αύξηση των πιέσεων, ούτε αισθητή παραμόρφωση. Οι μεταβολές των πιέσεων είναι σημαντικές και αξιόλογες, μόνο σε ένα τμήμα του εδάφους, σχήματος βολβού, που έχει πλάτος περίπου ίσο με το βάθος του. Παραμορφώσεις εμφανίζονται μόνο στο εσωτερικό αυτού του βολβού.

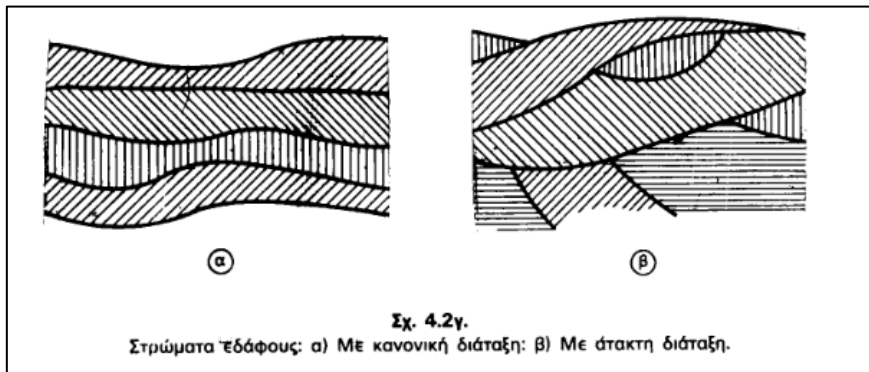
Το διάγραμμα του ανωτέρω σχήματος, αναφέρεται σε φορτίο που επιδρά σε κυκλική επιφάνεια διαμέτρου 45 cm. Αν η φορτιζόμενη επιφάνεια αλλάξει σε τετραγωνική πλευράς 45 cm, το διάγραμμα θα αλλάξει λίγο, και ο βολβός των πιέσεων του εδάφους, θα προχωρήσει σε λίγο μεγαλύτερο βάθος. Αν η φορτιζόμενη επιφάνεια αλλάξει σε ορθογωνική, με μικρή πλευρά 45 cm, θα αλλάξει πάλι το διάγραμμα και ο βολβός θα προχωρήσει βαθύτερα, όσο μεγαλώνει η άλλη πλευρά. Όμως οι διαφορές δεν θα είναι μεγάλες, και οι καμπύλες που ενώνουν σημεία που έχουν την ίδια μεταβολή πίεσης, έχουν την ίδια μορφή.

Εξάγεται το συμπέρασμα, ότι όσο πιο πλατύ είναι το θεμέλιο, τόσο πιο βαθιά φτάνουν οι μεταβολές των πιέσεων (μιλάμε πάντα για μεταβολές των πιέσεων λόγω πρόσθετου φορτίου, διότι το έδαφος έχει πιέσεις από μόνο του) θα φτάσουν ακόμα βαθύτερα, και τα στρώματα του εδάφους θα παραμορφώνονται σε μεγαλύτερο βάθος. Για μια ορισμένη πίεση p στην επιφάνεια του εδάφους που ασκείται το φορτίο, δηλαδή στην επιφάνεια θεμελίωσης, η καθίζηση είναι μεγαλύτερη όσο πιο πλατύ είναι το θεμέλιο. Αυτό γίνεται όταν η φορτιζόμενη επιφάνεια του εδάφους δεν είναι πολύ μικρή.

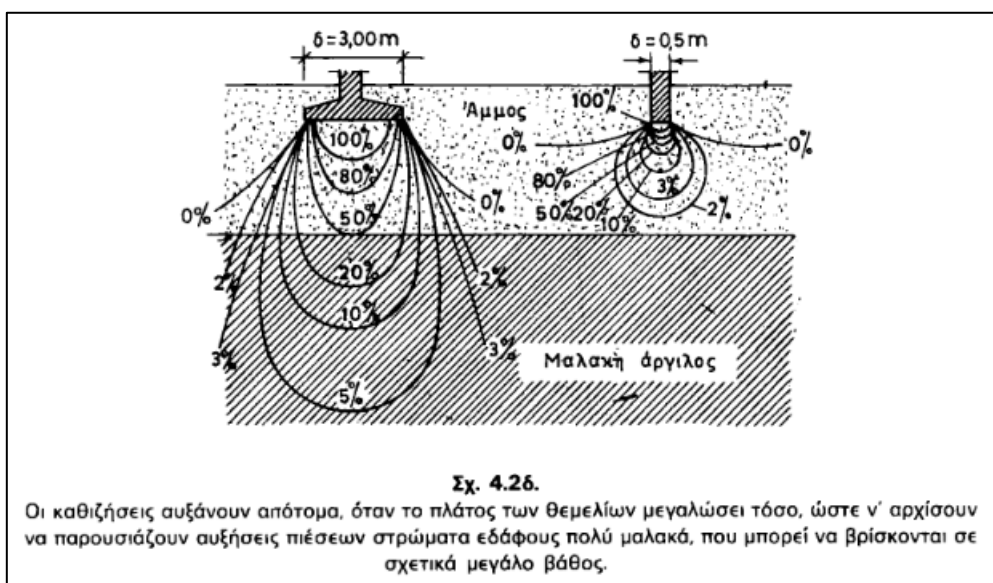
Σε μικρές φορτιζόμενες επιφάνειες όπως σε βαθιές θεμελιώσεις με χρήση πασσάλων, η καθίζηση μπορεί να είναι μεγαλύτερη, επειδή οι κόκκοι του εδάφους διαρρέουν προς τα πλάγια, και το έδαφος θραύεται. Η μεγάλη αυτή καθίζηση χαρακτηρίζεται ως διείδυση, και φαίνεται στο αριστερό μέρος του παρακάτω διαγράμματος. Οι βαθιές θεμελιώσεις με πασσάλους, χρησιμοποιούνται, όπως θα δούμε στο κεφάλαιο 7, όταν τα επιφανειακά στρώματα στα οποία τοποθετούνται τα θεμέλια, δεν έχουν μεγάλη αντοχή και τα θεμελιώνουμε βαθιά σε στρώματα μεγαλύτερης αντοχής.



Σχεδόν πάντα σε κάθε περιοχή συναντώνται πολλών ειδών εδάφη. Γενικά κάθε είδος εδάφους αποτελεί ένα στρώμα, και κάθε στρώμα βρίσκεται πάνω από κάποιο άλλο. Τα στρώματα δεν είναι πάντα οριζόντια και δεν έχουν σταθερό πάχος. Συνήθως παρουσιάζουν κάποια κλίση και το πάχος τους διαφέρει από σημείο σε σημείο (αναφερόμαστε σε “σημείο” μεγαλύτερης κλίμακας από ότι ένα κτιριακό έργο). Τα στρώματα εδάφους μπορεί να έχουν κανονική διάταξη, ή άτακτη διάταξη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Μερικές φορές ένα είδος εδάφους παρουσιάζεται σε μια περιορισμένη έκταση και τότε λέγονται φλέβες ή φακοί και όχι στρώματα, για το συγκεκριμένο είδος εδάφους.

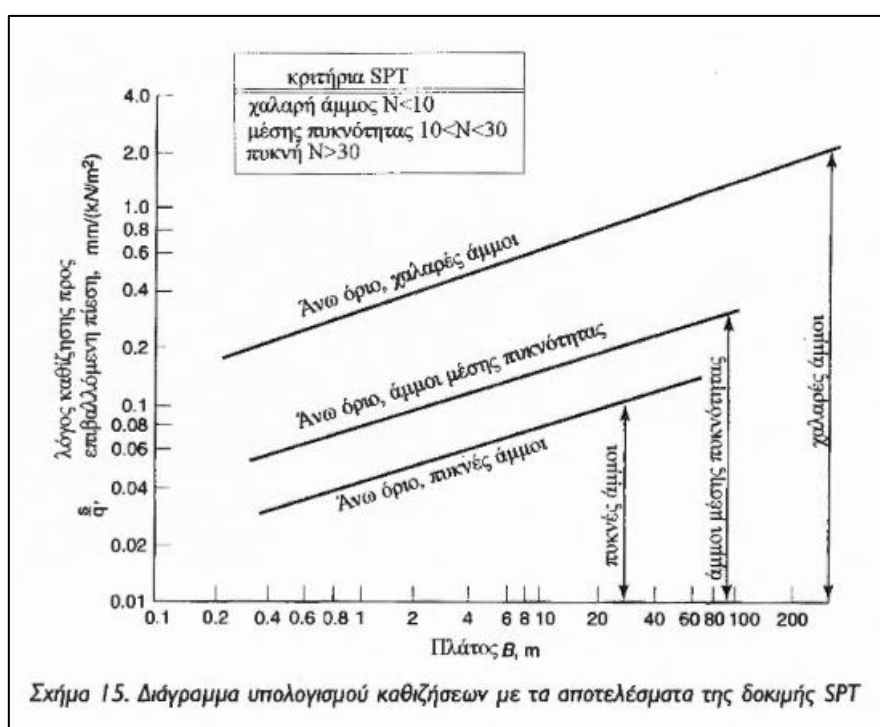


Κάνουμε αρχικά την παραδοχή ότι τα στρώματα του εδάφους, είναι εξ ίσου συμπιεστά, δηλαδή ότι παρουσιάζουν την ίδια παραμόρφωση για ορισμένη μεταβολή της πίεσης λόγω εξωτερικού φορτίου. Για εξ ίσου συμπιεστά στρώματα εδάφους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας προσεγγιστικός νόμος, με κάποιον μαθηματικό τύπο να δίνει την καθίζηση, σε σχέση με το πλάτος του θεμελίου, και το την εφαρμοζόμενη πίεση στην επιφάνεια θεμελίωσης (του εδάφους). Όμως στις περισσότερες περιπτώσεις, κάθε στρώμα εδάφους έχει διαφορετική συμπιεστότητα, οπότε ο υπολογισμός των καθιζήσεων γίνεται δυσκολότερος. Όταν, όπως αναφέρθηκε, το πλάτος του θεμελίου μεγαλώσει, θα προκαλέσει την παραμόρφωση βαθύτερου στρώματος και θα έχει μεγαλύτερο βολβό πιέσεων, από ίδιου φορτίου αλλά μικρότερου πλάτους θεμέλιο, όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα.



Αν το βαθύτερο στρώμα είναι λιγότερο συμπιεστό, θα έχουμε καθίζηση μικρότερη από αυτήν που δίνουν οι υπολογισμοί. Αν το βαθύτερο στρώμα είναι περισσότερο συμπιεστό, θα έχουμε μεγαλύτερη καθίζηση η οποία μπορεί να αυξηθεί απότομα. Για αυτόν τον λόγο η δοκιμαστική φόρτιση (χρησιμοποιείται στο 2^ο στάδιο της εδαφοτεχνικής έρευνας) δεν θεωρείται καλή μέθοδος για την έρευνα του εδάφους, και προτιμώνται οι γεωτρήσεις. Οι γεωτρήσεις σε συνδυασμό με συστηματικές δοκιμές πρότυπης καθίζησης, δίνουν καλύτερη προσέγγιση στην πρόβλεψη των καθιζήσεων και τις απαραίτητες πληροφορίες.

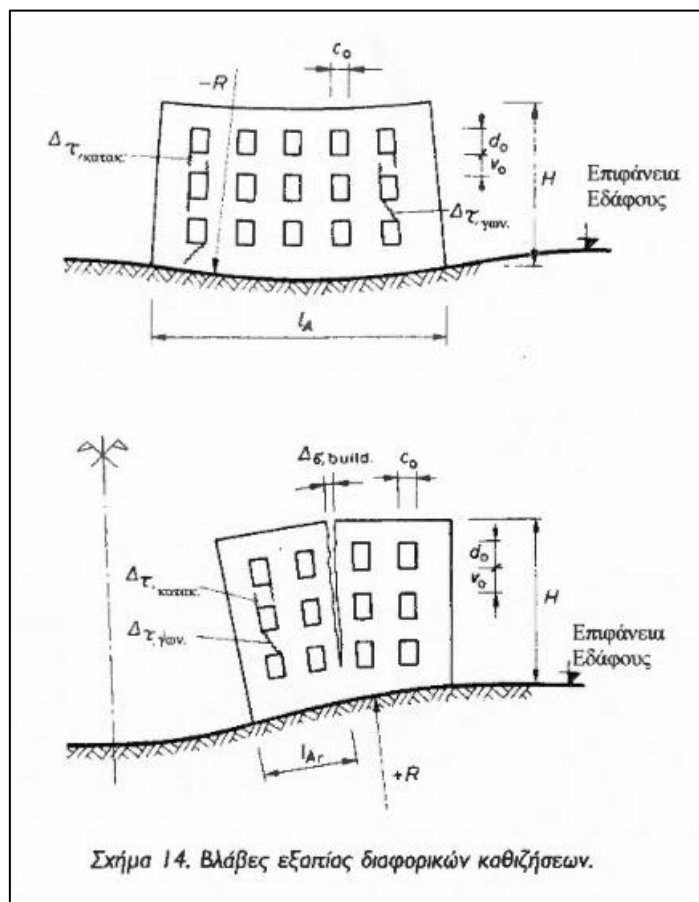
Για την δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (standard penetration test) αναφερθήκαμε στο 4ο κεφάλαιο. Μετρώντας τον αριθμό N των κτύπων, για να διεισδύσει το στέλεχος κατά 15 και 15 εκατοστά, έχουμε μια αρχική εκτίμηση της αντοχής του εδάφους. Από τον αριθμό N μπορούμε να υπολογίσουμε τις καθιζήσεις την βοήθεια του παρακάτω σχήματος.



Στον οριζόντιο άξονα επιλέγουμε το πλάτος του θεμελίου σε μέτρα. Με βάση τον αριθμό των χτύπων βρίσκουμε τι είδους έδαφος έχουμε (πχ για $N = 20$ χτύπους, δίνει άμμοις μέσης πυκνότητας) και επιλέγουμε την αντίστοιχη ευθεία (την ενδιάμεση εδώ) που δίνει το άνω όριο των αναμενόμενων καθιζήσεων, για το είδος του εδάφους. Βρίσκουμε το σημείο στην ευθεία που μας ενδιαφέρει, και το προβάλλουμε στον κατακόρυφο άξονα, και βρίσκουμε τον λόγο της καθίζησης προς την επιβαλλόμενη πίεση. Για πλάτος θεμελίου 2 μέτρων, και αριθμό $N = 20$ χτύπους, και την μεσαία ευθεία, μας δίνει λόγο καθίζησης 0,09 mm ανά kN/m^2 πίεση. Για πίεση $100 \text{ kN}/\text{m}^2$, η καθίζηση θα είναι $100 \text{ kN}/\text{m}^2 * (0,09 \text{ mm} / (\text{kN}/\text{m}^2)) = 100 * 0,09 = 9 \text{ mm}$.

Σε κάθε έργο, υπάρχουν **μεγέθη καθιζήσεων**, που θεωρούνται αποδεκτά. Σε ένα λιμενικό έργο καθιζήσεις αρκετών cm θεωρούνται αποδεκτές, όχι όμως σε ένα κτιριακό έργο.

Σε κτιριακά έργα, το πιο επικίνδυνο είναι οι **διαφορικές καθιζήσεις**, δηλαδή οι διαφορετικές καθιζήσεις από ένα σημείο του θεμελίου στο άλλο, όπως και από το ένα θεμέλιο στο άλλο. Όταν οι καθιζήσεις δεν είναι ίσες σε ολόκληρη την κατασκευή, αλλά είναι διαφορικές, το έργο παραμορφώνεται και προκαλείται η αστοχία του έργου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Αν μπορούμε να προβλέψουμε ότι οι καθιζήσεις σε όλα τα θεμέλια του δομικού έργου είναι ίδιες, θα το κατασκευάζαμε ψηλότερα (λιγότερο χαμηλά στο έδαφος την θεμελίωση του) όσο θα ήταν το προβλεπόμενο μέγεθος της καθίζησης, ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επιδίωξη της μελέτης είναι ο περιορισμός του μεγέθους της αναμενόμενης καθίζησης, για να περιοριστούν οι ενδεχόμενες διαφορικές καθιζήσεις. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με κατάλληλη επιλογή των διαστάσεων των θεμελίων, για να μειωθούν οι πιέσεις που θα ασκούνται στο έδαφος.

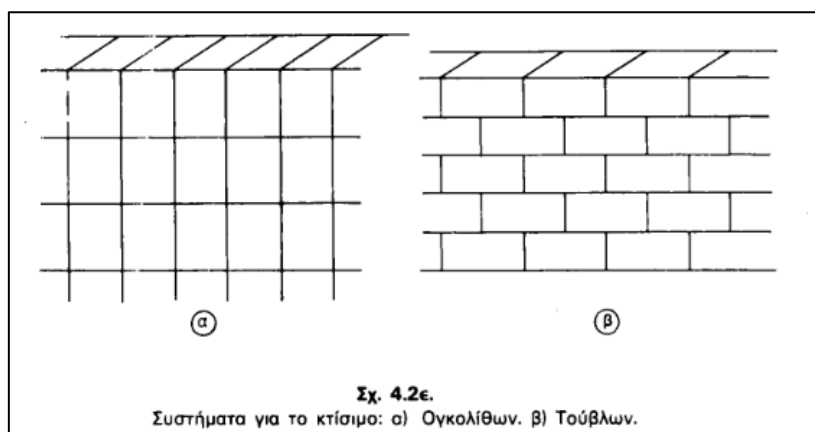
Σε κάθε σημείο των θεμελίων, οι καθιζήσεις είναι διαφορετικές, και μπορούν να υπολογιστούν μόνο προσεγγιστικά. Οι διαφορές των καθιζήσεων οφείλονται σε α)

διαφορετικές που αναπτύσσονται στα σημεία του θεμελίου, β) σε διαφορετικές διαστάσεις των τμημάτων των θεμελίων, γ) στην ποιότητα & αντοχή του εδάφους, που μπορεί να διαφέρει από θέση σε θέση.

Όπως το μέγεθος των καθιζήσεων, που θεωρείται ανεκτό για κάθε είδους έργο, έτσι και οι διαφορετικές καθιζήσεις που είναι ανεκτές, διαφέρουν από έργο σε έργο.

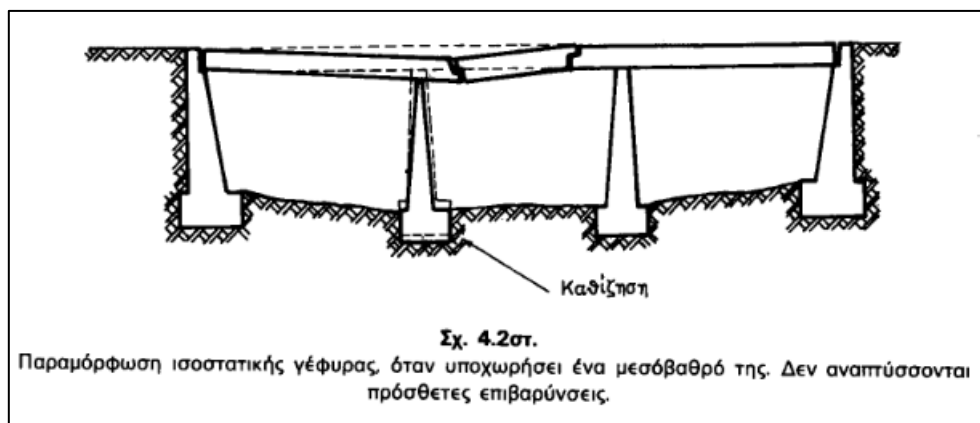
Αν σε ένα έργο υπάρχει πρόβλεψη να κατασκευαστούν κάποια τμήματα του με τρόπο ώστε να μπορούν να αλλάξουν θέση, ανεξάρτητα από τα γειτονικά τους έργα, τότε μεγαλύτερες διαφορικές καθιζήσεις μπορούν να γίνουν ανεκτές. Αν όμως δεν υπάρχει τέτοια δυνατότητα, οι διαφορικές καθιζήσεις μπορεί να αποβούν καταστρεπτικές. Οι διαφορικές καθιζήσεις μπορούν να δώσουν απαράδεκτες κλίσεις, όπως παράδειγμα ο κεκλιμένος πύργος της Πίζας.

Όταν είναι ανεκτές οι διαφορικές καθιζήσεις, η κατασκευή προβλέπει διάφορες διατάξεις για να αντιμετωπιστούν. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται συστήματα δόμησης για ογκόλιθους και τούβλα.

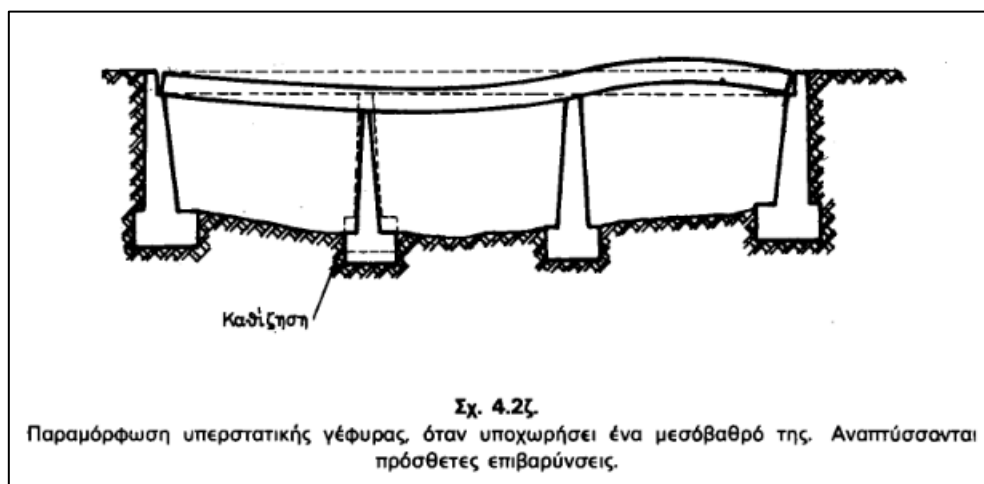


Σε ένα λιμενικό έργο, οι ογκόλιθοι τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο, ώστε οι αρμοί (ανάμεσα στους ογκόλιθους) να μην συμπλέκονται, έτσι ώστε κάθε στήλη να μπορεί να έχει διαφορετική καθίζηση, χωρίς να καταρρεύσει το έργο. Αντίθετος τρόπος δόμησης των αρμών γίνεται στα τούβλα των κτιρίων.

Οι γέφυρες κατασκευάζονται σχεδόν πάντα ισοστατικές, αλλά η λύση αυτή είναι πιο δαπανηρή. Στους ισοστατικές γέφυρες, η διαφορετική καθίζηση των διαφόρων βάθρων (θεμέλια) της γέφυρας, δεν προκαλεί εσωτερικές δυνάμεις στα οριζόντια στοιχεία της γέφυρας. Οι ισο-στατικές κατασκευές, όπως οι αμφιέριστες δοκοί, οι αμφιπροέχουσες, οι Gerber, τα τριαρθρωτά τόξα κτλ, όταν υπάρχει διαφορετική υποχώρηση των στηρίξεων, παρουσιάζουν αλλαγές στο σχήμα, αλλά γίνονται ελεύθερα οι παραμορφώσεις. Τα στοιχεία της κατασκευής δεν παραμορφώνονται το ίδιο και δεν επιβαρύνονται με πρόσθετες τάσεις. Στο σχήμα της επόμενης σελίδας φαίνεται παραμόρφωση ισοστατικής γέφυρας.



Στους υπερ-στατικούς φορείς συμβαίνει το αντίθετο. Υπερστατικοί φορείς είναι κατά κανόνα οι σκελετοί των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στις κατασκευές αυτές όπως συνεχείς δοκούς, πλαίσια κτλ, η καθίζηση του εδάφους (όταν δεν είναι ομοιόμορφη) παραμορφώνει και τα διάφορα στοιχεία, που όλα μαζί ακολουθούν την διαφορική καθίζηση. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται παραμόρφωση υπερ-στατικής γέφυρας.

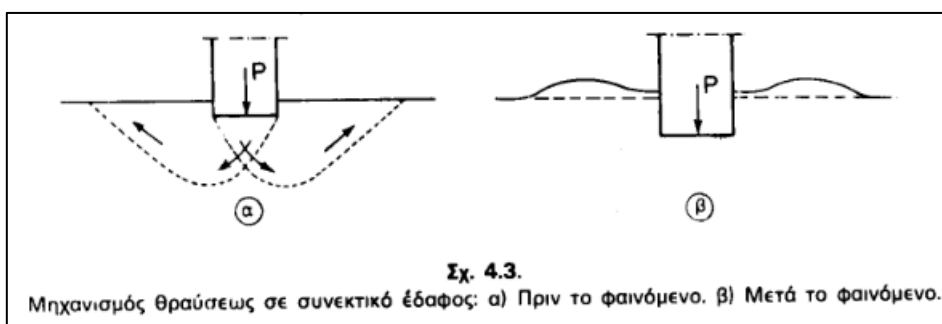


Όταν πρόκειται να κατασκευαστεί ένα έργο, πρέπει οπωσδήποτε να υπολογιστούν, έστω και προσεγγιστικά, οι καθιζήσεις του εδάφους που αναμένεται να παρουσιαστούν. Ο υπολογισμός των καθιζήσεων γίνεται με διάφορους μαθηματικούς τύπους, που βασίζονται στην αρχή, ότι η καθίζηση ισούται με το άθροισμα των παραμορφώσεων των στρωμάτων του εδάφους, από την αύξηση των πιέσεων, λόγω των φορτίων του έργου. Στους μαθηματικούς αυτούς τύπους υπάρχουν διάφορες παράμετροι, στις οποίες πρέπει να δώσουμε συγκεκριμένες κάθε φορά τιμές. Οι τιμές εξαρτώνται από τις ιδιότητες του εδάφους, και προκύπτουν από μετρήσεις στο εργαστήριο ή στο ύπαιθρο, ή από προσεγγιστικές εκτιμήσεις. Οι προσεγγιστικές εκτιμήσεις μπορούν να είναι ικανοποιητικές αν έχει γίνει προηγουμένως σωστή κατάταξη του εδάφους για το κάθε στρώμα, και είναι γνωστό το βάθος και το πάχος του κάθε στρώματος.

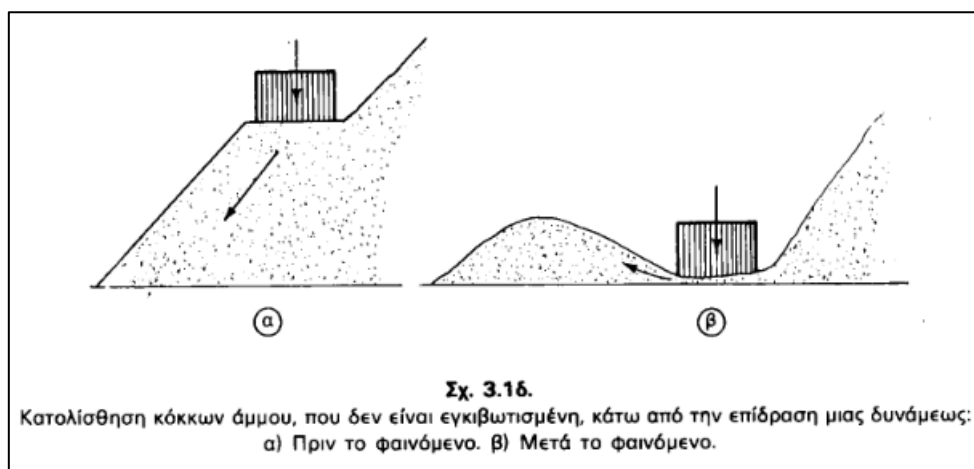
5.2. Θραύση εδάφους

Σε ένα στερεό σώμα, όταν οι εσωτερικές τάσεις (εφελκυστικές, θλιπτικές, διατμητικές κ.α.) που αναπτύσσονται λόγω ιδίου βάρους και εξωτερικών φορτίων, ξεπεράσουν κάποιες κρίσιμες τιμές, το στερεό σώμα θραύεται-σπάει.

Στο έδαφος συμβαίνει το ίδιο, μόνο που η θραύση του δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή, γιατί τα προϊόντα της θραύσης είναι εγκιβωτισμένα μέσα στο έδαφος, το οποίο τα περιβάλλει και δεν μπορούν να φύγουν από την θέση τους. Στα συνεκτικά εδάφη (όπως τα αργιλικά) η θραύση του εδάφους εμφανίζεται με την μορφή πλαστικής διαρροής των κόκκων του, η οποία πλαστική διαρροή κόκκων μπορεί να έχει αποτέλεσμα να ανέβει η επιφάνεια του εδάφους γύρω από την περιοχή φόρτισης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Συνήθως όταν παρατηρείται φούσκωμα επιφάνειας εδάφους, σημαίνει ότι υπάρχει θραύση εδάφους. Η θραύση των συνεκτικών εδαφών καταστρέφει την συνεκτικότητά τους.

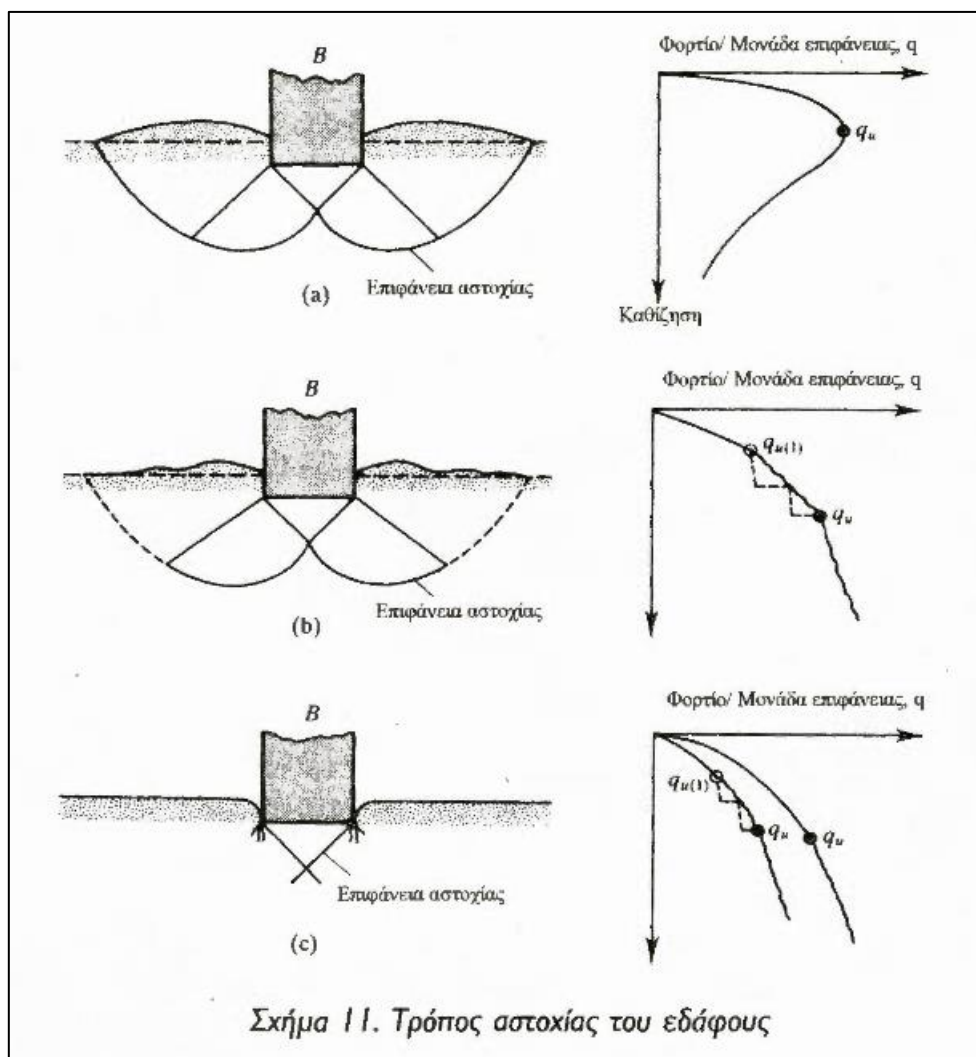


Στα χαλαρά εδάφη (κοκκώδη, όπως άμμος και χαλίκια), τα οποία δεν συμπεριφέρονται όπως τα στερεά σώματα, η θραύση του εδάφους έχει διαφορετική μορφή. Ορίζεται τότε η θραύση ως το φαινόμενο στο οποίο οι δυνάμεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στους κόκκους του εδάφους, γίνονται μεγαλύτερες από τις τριβές, και αναγκάζονται οι κόκκοι να αλλάξουν θέση. Μετά την θραύση, αποκαθιστάται μια νέα ισορροπία, το έδαφος έγινε πάλι χαλαρό έδαφος αλλά πιο συμπυκνωμένο, και κάποιοι κόκκοι ενδεχομένως να έχουν διαφύγει προς τα πλάγια. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο μηχανισμός θραύσης στα χαλαρά εδάφη.



Όταν η επιφάνεια φόρτισης είναι πολύ μικρή, όπως στους πασσάλους, η θραύση έχει διαφορετικό μηχανισμό, και τα συντρίμματα μετακινούνται προς την περίμετρο της φορτιζομένης επιφάνειας. Το φαινόμενο παρουσιάζεται τότε ως διείδυση του στοιχείου στο οποίο επιβάλλεται η φόρτιση (πάσσαλος).

Οι τρεις τρόποι αστοχίας - θραύσης του εδάφους δίνονται επίσης με το παρακάτω σχήμα. Στην 1^η περίπτωση, λόγω του μεγάλου μεγέθους του φορτίου, του θεμελίου, υπάρχει υπέρβαση της αντοχής του εδάφους με αποτέλεσμα να προκαλείται γενική αστοχία, που προκαλεί ανύψωση του εδάφους στην περιοχή γύρω από το θεμέλιο. Στην δεύτερη περίπτωση, η αστοχία έχει παρόμοιο μηχανισμό, αλλά είναι τοπική αστοχία χωρίς (μεγάλη) ανύψωση εδάφους. Στη τρίτη περίπτωση η αστοχία προκαλείται με διείδυση του θεμελίου στο έδαφος.



5.3. Επιτρεπόμενες επιβαρύνσεις

Η έρευνα του εδάφους έχει σκοπό τον καθορισμό των (επιτρεπόμενων) επιβαρύνσεων - πιέσεων που επιτρέπεται να επιβάλει το έργο με τα φορτία του στο έδαφος.

Τα διάφορα εδάφη έχουν ενδεικτικές τιμές αντοχής, που προσδιορίστηκαν με βάση τις τιμές της γωνίας τριβής, και της συνοχής που έχουν. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται αυτές οι ενδεικτικές τιμές αντοχής.

<p>α) Χαλαρά εδάφη.</p> <p>1. Ψιλή και μεσόκοκκη άμμος (κόκκοι μικρότεροι από 1 mm).</p> <p>2. Χονδρή άμμος (κόκκοι από 1 ως 5 mm).</p> <p>3. Αμμοχάλικο με το 1/3 τουλάχιστον χαλίκι ή χαλίκι με κόκκους ως 80 mm.</p>	<p>200 kN/m² (2 kg/cm²)</p> <p>300 kN/m² (3 kg/cm²)</p> <p>400 kN/m² (4 kg/cm²)</p>
<p>β) Βραχώδη (συμπανή) εδάφη.</p> <p>1. Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες, ψαμμίτες με συνηθισμένη αντοχή.</p> <p>2. Τα ίδια πετρώματα, αλλά με όριο θραύσης σε θλίψη μεγαλύτερο από 5 MN/m² (50 Kp/cm²).</p> <p>3. Εκρηξιγενή πετρώματα, γρανίτες, γνεύσιοι, βασάλτες κ.λπ.</p>	<p>1 MN/m² (10 kg/cm²)</p> <p>1,5 MN/m² (15 kg/cm²)</p> <p>3 MN/m² (30 kg/cm²)</p>

Οι επιτρεπόμενες επιβαρύνσεις καθορίζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε α) οι καθιζήσεις να μην είναι μεγαλύτερες από κάποιο ανεκτό όριο, και β) να υπάρχει μεγάλο περιθώριο ασφάλειας. Το περιθώριο ασφάλειας είναι ανάμεσα στις πραγματικές επιβαρύνσεις και στις μέγιστες επιβαρύνσεις που μπορούν να προκαλέσουν την θραύση του εδάφους.

Στις περισσότερες περιπτώσεις, ειδικά όταν τα εδάφη δεν έχουν μεγάλη αντοχή, με την πρώτη συνθήκη καθορίζουμε τις ανεκτές επιβαρύνσεις, αφού έχουμε καθορίσει πρώτα τις ανεκτές καθιζήσεις, και μετά από αυτές υπολογίζουμε τις μέγιστες επιβαρύνσεις. Ο υπολογισμός περιγράφηκε στην παράγραφο 5.1.

Στον πίνακα της επόμενης σελίδας, δίνονται οι ανεκτές επιβαρύνσεις για συνεκτικά εδάφη, κατά τον K. Terzaghi. Σε αυτόν τον πίνακα για τον χαρακτηρισμό του εδάφους, χρησιμοποιείται η πρότυπη δοκιμή διείδυσης, όπου μετράται ο αριθμός των χτύπων με τον πρότυπο δειγματολήπτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.1.

**Ανεκτές επιβαρύνσεις (πίεσεις) για συνεκτικά εδάφη
(όπως προτείνονται από τον Κ. Τσιζαγρή)**

N = Αριθμός κρούσεων, που χρειάζονται, για να βυθιστεί κατά 30 cm ο πρότυπος δειγματολήπτης.

q_u = Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (kg/cm^2).

q_d = Αντοχή σε θραύση για θεμέλιο με μεγάλο μήκος (kg/cm^2) δηλαδή συνεχές.

q_{ds} = Αντοχή σε θραύση για τετράγωνο θεμέλιο (kg/cm^2).

p_a = Ανεκτή πίεση (kg/cm^2), που προτείνεται για κανονικές συνθήκες ($G_s = 3$).

$p_{a'}$ = Ανεκτή μέγιστη πίεση (kg/cm^2) για τις δυσμενέστερες θέσεις του θεμελίου ($G_s = 2$). (G_s = Συντελεστής ασφάλειας για τη θραύση του εδάφους θεμελιώσεως).

Είδος αργίλου ή πηλού	N	q_u	q_d	q_{ds}	p_a		$p_{a'}$	
					Τετραγωνικό 1,2 q_u	Συνεχές 0,9 q_u	Τετραγωνικό 1,8 q_u	Συνεχές 1,3 q_u
Πολύ Μαλακή*	Κάτω από 2	Κάτω από 0,24	Κάτω από 0,69	Κάτω από 0,90	Κάτω από 0,29	Κάτω από 0,22	Κάτω από 0,44	Κάτω από 0,32
Μαλακή*	2 έως 4	0,24 έως 0,49	0,69 έως 1,38	0,90 έως 1,80	0,29 έως 0,58	0,22 έως 0,44	0,44 έως 0,88	0,32 έως 0,64
Μέτρια	4 έως 8	0,49 έως 0,98	1,38 έως 2,78	1,80 έως 3,60	0,58 έως 1,17	0,44 έως 0,88	0,88 έως 1,75	0,64 έως 1,28
Συμπαγής	8 έως 15	0,98 έως 1,95	2,78 έως 5,55	3,60 έως 7,20	1,17 έως 2,35	0,88 έως 1,75	1,75 έως 3,50	1,28 έως 2,55
Πολύ Συμπαγής	15 έως 30	1,95 έως 3,90	5,55 έως 11,10	7,20 έως 14,40	2,35 έως 4,70	1,75 έως 3,50	3,50 έως 7,00	2,55 έως 5,10
Σκληρή	Πάνω από 30	Πάνω από 3,90	Πάνω από 11,10	Πάνω από 14,40	Πάνω από 4,70	Πάνω από 3,50	Πάνω από 7,00	Πάνω από 5,10

* Αν το έδαφος φορτίζεται επί πολύ χρόνο, οι καθιζήσεις μπορεί να είναι σημαντικές, ακόμα και αν η πίεση δεν ξεπερνάει την ελάχιστη ανεκτή τιμή p_a .

Όταν τα εδάφη είναι βραχώδη ή πολύ συμπιεσμένα, ώστε να έχουν πολύ μικρές καθιζήσεις, ή όταν από το είδος του έργου επιτρέπονται σημαντικές καθιζήσεις, οι ανεκτές επιβαρύνσεις υπολογίζονται από την δεύτερη συνθήκη. Στον πίνακα της επόμενης σελίδας δίνονται οι ανεκτές επιβαρύνσεις για χαλαρά (μη συνεκτικά) και για βραχώδη εδάφη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4.2.

Ανεκτές επιβαρύνσεις (πιέσεις) για χαλαρά και βραχώδη εδάφη

α) Χαλαρά εδάφη.

- | | |
|---|----------------------|
| 1. Ψιλή και μεσόκοκκη άμμος
(κόκκοι μικρότεροι από 1 mm). | 2 kg/cm ² |
| 2. Χονδρή άμμος (κόκκοι από 1 ως 5 mm). | 3 Kg/cm ² |
| 3. Αμμοχάλικο με το 1/3 τουλάχιστον χαλίκι
ή χαλίκι με κόκκους ως 80 mm. | 4 kg/cm ² |

β) Βραχώδη (συμπαγή) εδάφη.

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. Ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, δολομίτες, ψαμμίτες
με συνηθισμένη αντοχή | 10 kg/cm ² |
| 2. Τα ίδια πετρώματα, αλλά με όριο θραύσεως σε
θλίψη μεγαλύτερο από 50 Kg/cm ² . | 15 kg/cm ² |
| 3. Πυριγενή πετρώματα, γρανίτες, γνεύσιοι,
βασάλτες κλπ. | 30 kg/cm ² |

βιβλιογραφία κεφαλαίου

Σακελαρίου Μ., Σερέφογλου Β. & Μαραέβας Χ., (2009). *Κτιριακά έργα Ι*. Αθήνα: Ινστιτούτο εκπαιδευτικής πολιτικής

Δεϊμέζης Α., (1998). *Γενική Δομική Ι*. Αθήνα: Ίδρυμα Ευγενίδου