

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ ΤΟΥ
ΕΔΑΦΟΥΣ”
“SOIL REINFORCEMENT TECHNIQUES AGAINST
SETTLEMENT”**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
Αθανασόπουλος Γεώργιος
Μητρόπουλος Γεώργιος**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ : ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΠΑΤΡΑ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|-----------|
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ..... | i |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | iii |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο | 1 |
| ΤΥΠΟΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ..... | 1 |
| Γενικά..... | 1 |
| 1.1 Άμεση καθίζηση..... | 2 |
| 1.1.1 Η αρχή της υπέρθεσης..... | 4 |
| 1.1.2 Η αρχή της διαστρωμάτωσης..... | 4 |
| 1.1.3 Διόρθωση για την ακαμψία | 5 |
| 1.1.4 Διόρθωση για το Βάθος | 5 |
| 1.1.5 Μέση καθίζηση..... | 6 |
| 1.1.6 Μέτρο ελαστικότητας αυξανόμενο με το βάθος..... | 7 |
| 1.2 Πρωτογενής καθίζηση ή καθίζηση λόγω στερεοποίησης..... | 9 |
| 1.2.1 Δείκτης συμπίεσότητας | 10 |
| 1.3 Δευτερογενής καθίζηση..... | 11 |
| 1.3.1 Γενική μέθοδος | 13 |
| 1.3.2 Εκτίμηση των τιμών C_a και e_a | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο | 16 |
| ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ..... | 16 |
| Γενικά | 16 |
| 2.1 Ορισμοί των κινήσεων εδάφους και θεμελίωσης..... | 16 |
| 2.2 Κριτήρια για τις μετακινήσεις | 18 |
| 2.3 Συνήθη όρια καθιζήσεων..... | 19 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο | 21 |
| ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ..... | 21 |
| Γενικά | 21 |
| 3.1 Δυναμική των εδαφικών υποχωρήσεων | 26 |
| 3.2. Συνέπειες της επίδρασης των εδαφικών υποχωρήσεων αυτής της αιτιολογίας στις κατασκευές | 27 |
| 3.3 Μηχανισμός εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων από υπόγειες εκμεταλλεύσεις. | 28 |
| 3.3.1. Γωνία επίδρασης..... | 29 |
| 3.3.2. Το εύρος της υπόγειας εκμετάλλευσης (στοάς)..... | 29 |
| 3.3.3. Το βάθος της εκμετάλλευσης..... | 29 |
| 3.3.4. Το πάχος του ορίζοντα, που υφίσταται την εκμετάλλευση..... | 30 |
| 3.3.5. Η κλίση του ορίζοντα που υφίσταται την εκμετάλλευση | 30 |
| 3.3.6. Η μέθοδος και ο τύπος της υποστήριξης | 30 |
| 3.3.7. Ο παράγων χρόνος..... | 31 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3.8. Η παρουσία ασυνεχειών στον περιβάλλοντα σχηματισμό της εκμετάλλευση..... | 32 |
| 3.3.9. Η φυσική κατάσταση των σχηματισμών πάνω από τις εργασίες εκμετάλλευσης | 33 |
| 3.3.10. Καθεστώς υπόγειου νερού | 33 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο | 34 |
| ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ | 34 |
| Γενικά | 34 |
| 4.1. Μέτρα πρόληψης..... | 34 |
| 4.1.1 Μέθοδοι βελτίωσης του υπεδάφους..... | 34 |
| 4.2 Μέτρα Ανάσχεσης – Ανακοπής..... | 37 |
| 4.2.1 Μέθοδοι ενίσχυσης του εδάφους θεμελίωσης..... | 38 |
| 4.2.1.1 Βελτίωση του εδάφους με διαπότιση και αγκύρωση..... | 38 |
| 4.2.1.2 Αύξηση της ασφάλειας κατά θραύση του εδάφους..... | 38 |
| 4.2.2 Ενδείξεις Αστοχίας Θεμελίων..... | 39 |
| 4.2.3 Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής στοιχείων θεμελίωσης..... | 40 |
| 4.2.3.1 Αύξηση διαστάσεων των υπαρχόντων θεμελίων..... | 40 |
| 4.2.3.2 Κατασκευή νέων θεμελίων | 43 |
| 4.2.3.3 Κατασκευή υποθεμελίωσης..... | 46 |
| 4.2.3.3.1. Αβαθείς υποθεμελιώσεις..... | 46 |
| 4.2.3.3.2. Βαθείς υποθεμελιώσεις | 47 |
| 4.2.3.3.3 Εκτέλεση της υποθεμελίωσης..... | 47 |
| 4.2.3.4 Αύξηση της ασφάλειας έναντι ανατροπής και ολίσθησης | 49 |
| 4.3. Εξέλιξη των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης και προβλήματα που προκύπτουν | 49 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο | 54 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 54 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 55 |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αποφασίσαμε να αναπτύξουμε το φαινόμενο της καθίζησης επειδή είναι πολύ συχνό, τόσο στα τεχνικά έργα όσο και στα οικοδομικά.

Η καθίζηση είναι το φαινόμενο που παρουσιάζεται στις κατασκευές, όταν τα φορτία τους μεταβιβάζονται σε συμπίεστες στρώσεις του υπεδάφους.

Τα ψαθυρά εδάφη (άμμοι, αμμοχάλικα) επιτρέπουν, κατά την φόρτιση τους, την γρήγορη αποβολή του νερού που περιέχουν και την αναδιάταξη των κόκκων τους σε μικρό χρόνο. Έτσι, όταν εμποδίζεται η πλευρική τους διόγκωση και διευκολύνεται η στράγγιση τους, τα εδάφη αυτά, πρακτικά δεν καθιζάνουν. Οι μικρές παραμορφώσεις που εμφανίζονται παίρνουν την τελική τους τιμή, μετά την επιβολή του φορτίου που τις προκαλεί.

Σε αντίθεση, τα συνεκτικά εδάφη, αργούν να στερεοποιηθούν, δηλαδή να αποκτήσουν την εσωτερική τους δομή, κάτω από την επιρροή των φορτίων. Τα περισσότερα συνεκτικά εδάφη (άργιλοι) έχουν πολύ μικρή διαπερατότητα. Και αυτό συντελεί στην αργή αποβολή του περιεχόμενου νερού.

Στην πτυχιακή εργασία προσδιορίζονται οι λόγοι εμφάνισης της καθίζησης, ο τρόπος υπολογισμού της για κάθε τύπο καθίζησης και οι επιτρεπόμενες τιμές της. Τέλος αναπτύσσονται μέθοδοι για την αποτροπή και αντιμετώπιση της καθίζησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΤΥΠΟΙ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Γενικά

Τα φορτία των κατασκευών έχουν ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του εδάφους. Η συμπίεση αυτή προκαλείται από τους ακόλουθους παράγοντες:

α) αποβολή αέρα ή νερού των πόρων, β) αναδιάταξη στοιχείων του εδάφους, και γ) παραμόρφωση ή θραύση στοιχείων του εδάφους. Γενικά, η καθίζηση του εδάφους που προκαλείται από την επιβολή φορτίων μπορεί να διαιρεθεί

σε τρεις κατηγορίες:

1. Άμεση καθίζηση. Είναι η καθίζηση η οποία λαμβάνει χώρα αμέσως μετά την επιβολή του φορτίου. Η άμεση καθίζηση οφείλεται στην ελαστική παραμόρφωση του ξηρού εδάφους, καθώς επίσης και του υγρού και του κορεσμένου εδάφους, χωρίς μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας.

2. Πρωτογενής καθίζηση ή καθίζηση λόγω στερεοποίησης. Οφείλεται στην αποβολή του νερού των πόρων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται στερεοποίηση.

3. Δευτερογενής καθίζηση. Παρατηρείται στα κορεσμένα συνεκτικά εδάφη, και οφείλεται στην πλαστική αναδιάταξη της υφής τους. Είναι μία πρόσθετη συμπίκνωση που λαμβάνει χώρα υπό σταθερό φορτίο, όπως στο φαινόμενο του ερπυσμού.

Ανάλογα με τα αίτια που προκαλούν τις καθιζήσεις, αυτές διαχωρίζονται σε: α) ενεργές και β) παθητικές καθιζήσεις. Οι ενεργές καθιζήσεις οφείλονται στα φορτία της ίδιας της κατασκευής ενώ οι παθητικές σε επιρροές που δεν έχουν σχέση με αυτήν.

Οι ενεργές καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Στην ελαστική συμπίεση που προκαλείται από τα στατικά φορτία της κατασκευής.
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις που προκαλούν τα στατικά ή δυναμικά φορτία της κατασκευής (από τη λειτουργία μηχανών σε εργοστάσια για παράδειγμα). Προέρχονται κυρίως από τη συμπίεση ενός βράχου χαλαρής συναρμογής, από το κλείσιμο των ασυνεχειών ή από την έκθλιψη των υλικών πλήρωσης που περιέχονται στις ασυνέχειες και τη διείδυση τους σε παρακείμενα ανοικτά ρήγματα ή όταν η δυνατότητα έκθλιψης τους δεν υπάρχει από τη στερεοποίηση των υλικών πλήρωσης.
- Σε ερπυστικά φαινόμενα που προκαλούν τα φόρτια της κατασκευής.
- Σε ολισθητικές κινήσεις κατά μήκος παρακείμενων γεωλογικών συνεχειών.

Οι παθητικές καθιζήσεις μπορεί να οφείλονται:

- Σε ελαστικές παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούνται από την εφαρμογή φορτίων στη γειτονική περιοχή. Αποφορτίσεις της γειτονικής περιοχής μπορεί να οδηγήσουν σε ανυψώσεις (διάνοιξη εκσκαφής μιας γειτονικής θεμελίωσης για παράδειγμα).
- Σε παραμένουσες παραμορφώσεις εξαιτίας μεταβολών στη γειτονική περιοχή.
- Σε ερπυστικές ιδιοκινήσεις, ιδιαίτερα όταν η κατασκευή είναι θεμελιωμένη σε πρηνή.
- Ολισθητικές κινήσεις που δεν οφείλονται στην κατασκευή αλλά σε διαβρωτικά

φαινόμενα του βραχώδους υπόβαθρου.

- Επιδράσεις δυναμικών φορτίων, για παράδειγμα κυκλοφοριακές δονήσεις, σεισμοί, ανατινάξεις σε κοντινά λατομεία.
- Είσοδος νερού στα υλικά πλήρωσης με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση των παραμέτρων αντοχής των συνεχειών και ολισθητικές κινήσεις.
- Μεταβολές όγκου, όπως για παράδειγμα εξαιτίας του ανυδρίτη σε γύψο ή εξαιτίας απορρόφησης ή απομάκρυνσης νερού από αργιλικά πετρώματα ή υλικά πλήρωσης.
- Διακυμάνσεις της στάθμης του φρεατίου ορίζοντα: οι αυξομειώσεις του ενεργού βάρους του βράχου που προκαλούν οι διακυμάνσεις αυτές οδηγούν σε παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις παγετού μπορούν να προκαλέσουν παθητικές ανυψώσεις ή παθητικές καθιζήσεις.
- Επιδράσεις από παρακείμενα υπόγεια μεταλλεία.
- Διαλυτότητα του πετρώματος, για παράδειγμα καρστικά πετρώματα.

1.1 Άμεση καθίζηση

Ονομάζεται και αστράγγιστη καθίζηση, επειδή συμβαίνει χωρίς εισροή ή εκροή νερού στο έδαφος. Το ότι ο όγκος δεν μεταβάλλεται σημαίνει ότι ο λόγος του Poisson είναι $\nu = 0.50$. Οι καθιζήσεις προκαλούνται από τις διατμητικές παραμορφώσεις μέσα στο έδαφος, και αναγκάζουν την επιφάνεια του να αλλάξει σχήμα. Αυτές οι παραμορφώσεις υποτίθεται ότι είναι ελαστικές, έτσι οι καθιζήσεις θα αναιρεθούν όταν αφαιρεθεί το φορτίο.

Οι άμεσες καθιζήσεις πραγματοποιούνται σχεδόν αμέσως με την εφαρμογή της φόρτισης, γι' αυτό συμβαίνουν κυρίως κατά το χρόνο της κατασκευής. Για πολλές κατασκευές, αυτές οι καθιζήσεις 'ενσωματώνονται' στα έργα, πριν από την προσθήκη ευπαθών στοιχείων, όπως η επένδυση ή οι χρωματισμοί. Όμως για τις κατασκευές που τα ευπαθή στοιχεία κατασκευάζονται στην αρχή ή κατά τη διάρκεια, όπως οι φέροντες τοίχοι, οι άμεσες καθιζήσεις μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση.

Το θεμέλιο ή η φορτιζόμενη επιφάνεια υποτίθεται ότι είναι εύκαμπτη και προκαλεί μια καθίζηση με δισκοειδές καμπύλο σχήμα με μέγιστο στο κέντρο του θεμελίου.

Μια ακριβής λύση για τις άμεσες καθιζήσεις, με τις κανονικές παραδοχές που αναφέρονται στον Πίνακα 1.1, δόθηκε από τους Ueshita και Meyerhof (1968) για τις συνθήκες του Σχήματος 1.1. Χρησιμοποιείται η έκφραση:

$$\rho_i = (qB / Eu) \times I$$

όπου:

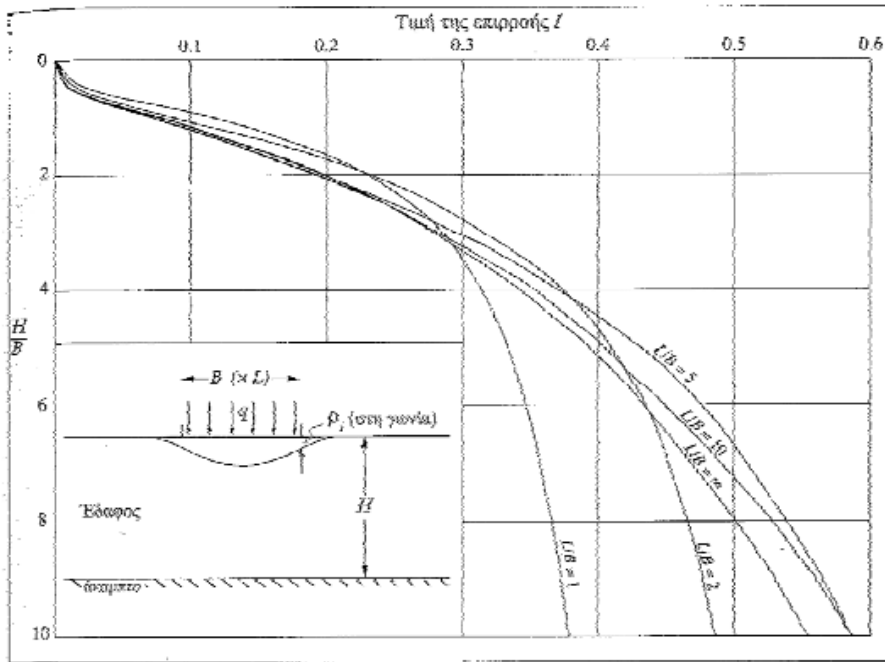
ρ_i = η άμεση καθίζηση στη γωνία της φορτιζόμενης επιφάνειας

q = η ομοιόμορφα ασκούμενη πίεση

B = το πλάτος της φορτιζόμενης επιφάνειας

I = ο συντελεστής επιρροής, από το Σχήμα 1.1

Eu = το μέτρο ελαστικότητας του αστράγγιστου εδάφους



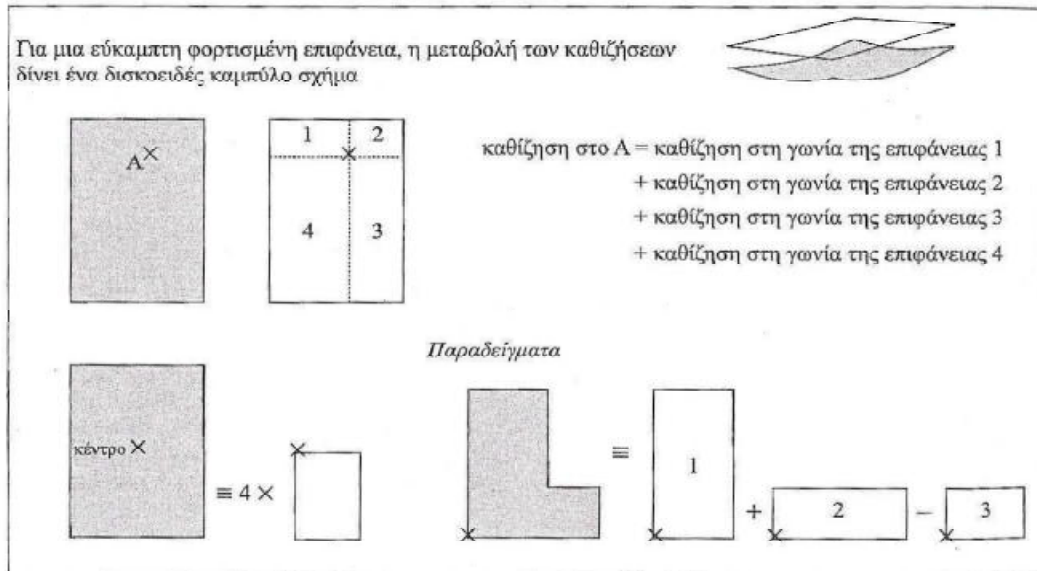
Σχήμα 1.1. Τιμές επιρροής για άμεση καθίζηση (από Ueshita & Meyerhof, 1968)

| Κριτικές παραδοχές | Για αποφυγή |
|--|--|
| <p>Οι κλασικές μέθοδοι δίνουν τη καθίζηση στη γωνία ελαττωμένης ορθογωνικής φορτισμένης επιφάνειας</p> <p>στην επιφάνεια ενός ομογενούς ισότροπου εδάφους</p> <p>με γραμμική σχέση τάσεων -παραμορφώσεων</p> | <p>αρχή της απόρριξης μεση καθίζηση (Christian και Carrier, 1978) ή διόρθωση της ακαμψίας αρχή της ομοιότητας</p> <p>συντελεστή διόρθωσης βάθους (Christian και Carrier, 1978) αρχή της διαστρωμάτωσης το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με το βάθος (Bullock 1966, Meigh 1974)</p> <p>επίδραση της ελαστικής ανισογένειας (Ο'Neil και άλλοι, 1971)</p> |

Πίνακας 1.1 Άμεσες καθιζήσεις - παραδοχές

1.1.1 Η αρχή της υπέρθεσης

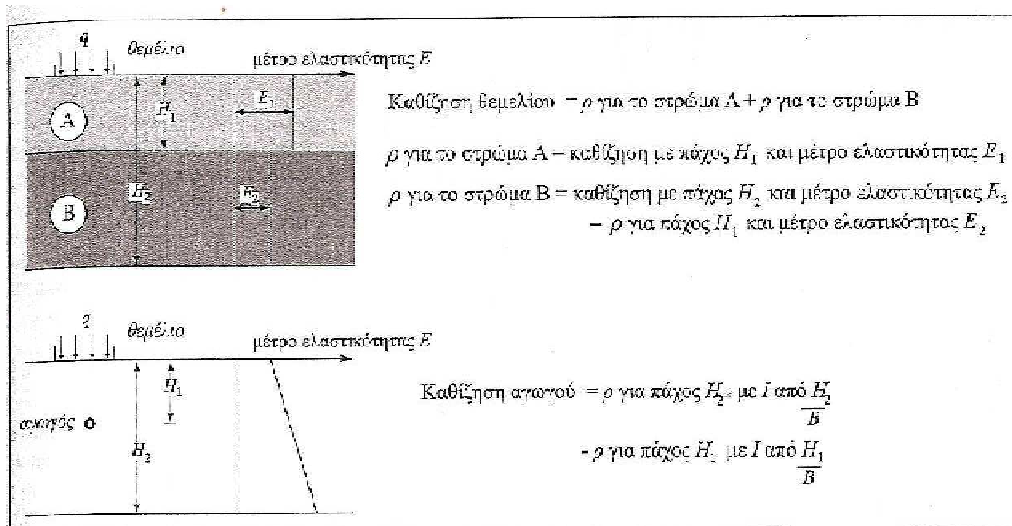
Η παραπάνω μέθοδος δίνει την καθίζηση στη γωνία μιας φορτιζόμενης επιφάνειας. Για να προσδιοριστούν οι καθιζήσεις σε άλλα σημεία κάτω από το θεμέλιο, όπως η μέγιστη καθίζηση κάτω από το κέντρο του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της υπέρθεσης, η οποία φαίνεται στο Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 Η αρχή της υπέρθεσης

1.1.2 Η αρχή της διαστρωμάτωσης

Όπου υπάρχουν δύο ή περισσότερες στρώσεις εδάφους με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αρχή της διαστρωμάτωσης που βλέπετε στο Σχήμα 1.3.



Σχήμα 1.3 Η αρχή της διαστρωμάτωσης

Αυτή η αρχή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για μια υπόγεια κατασκευή όπως ένας αγωγός, όπου ζητείται η καθίζηση σε ένα σημείο μέσα στο εδαφικό στρώμα. Η καθίζηση του

αγωγού οφείλεται στο έδαφος κάτω από αυτόν.

1.1.3 Διόρθωση για την ακαμψία

Μια εύκαμπτη θεμελίωση δεν εξασφαλίζει αντίσταση στην παραμόρφωση, και θα παρουσιάσει καθίζηση δισκοειδούς καμπύλου σχήματος. Για μια άκαμπτη θεμελίωση, η καθίζηση είναι ίδια σε όλα τα σημεία. Μικρές θεμελιώσεις με πέδιλα από οπλισμένο σκυρόδεμα έχουν αρκετή δυσκαμψία ώστε να εξασφαλίσουν άκαμπτες συνθήκες, αλλά μεγαλύτερες θεμελιώσεις όπως οι κοιτοστρώσεις είναι απίθανο να αποδειχθούν αρκετά δύσκαμπτες, οπότε θα παραμορφωθούν σε κάποιο βαθμό.

Η γενική διόρθωση για την ακαμψία μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$r_{rigid} = \mu r \quad \times \quad r_{maximum\ flexible}$$

όπου $r_{maximum\ flexible}$ είναι η καθίζηση στο κέντρο της θεμελίωσης με την παραδοχή ότι είναι εύκαμπτη.

| L/B | $H/B = 1$ | $H/B = \infty$ |
|---------|-----------|----------------|
| 1 | 0.68 | 0.77 |
| 2 | 0.72 | 0.78 |
| 3, 4, 5 | 0.79 | 0.80 |

Πίνακας 1.2 Συντελεστής διόρθωσης για την ακαμψία μr

Οι Fraser και Wardle (1976) απέδειξαν την επίδραση της μεταβλητής δυσκαμψίας ενός θεμελίου στις καθιζήσεις, και από τα αποτελέσματα τους προέκυψαν οι τιμές για το μr στον Πίνακα 1.2, για άκαμπτο θεμέλιο με άπειρη δυσκαμψία.

1.1.4 Διόρθωση για το Βάθος

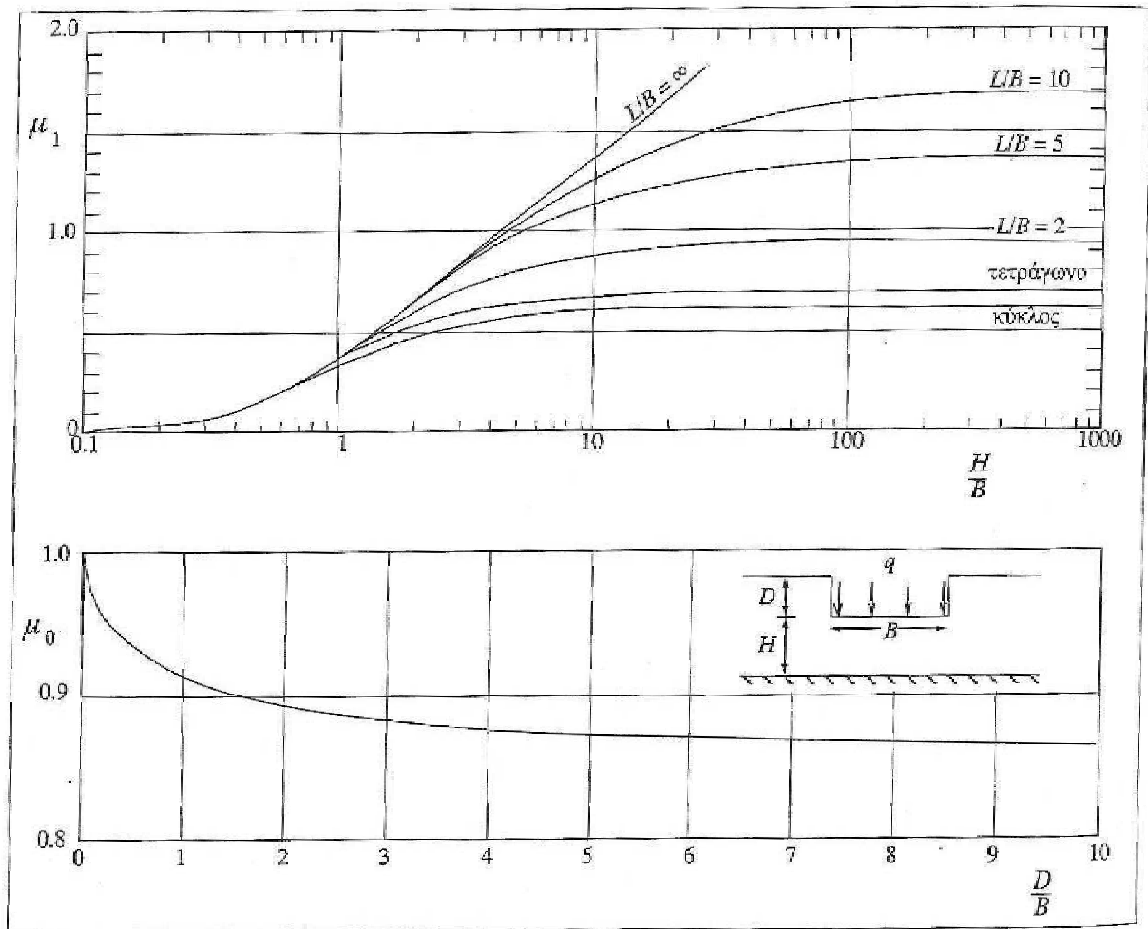
Οι περισσότερες θεμελιώσεις κατασκευάζονται στη βάση μιας εκσκαφής. Η επίδραση του βάθους της θεμελίωσης στην καθίζηση μπορεί να συμπεριληφθεί με τη χρήση του συντελεστή μ_0 (από Burland, 1970), ο οποίος δίνεται στο Σχήμα 1.4.

Αυτή η μέθοδος υποθέτει ότι η καθίζηση αρχικά προσδιορίζεται θεωρώντας τη φορτιζόμενη επιφάνεια στην επιφάνεια της εδαφικής στρώσης, και στη συνέχεια γίνεται διόρθωση για το βάθος σύμφωνα με τη σχέση:

$$r_{at\ depth} = \mu_0 \quad \times \quad r_{at\ surface}$$

Η μέθοδος υποθέτει επίσης ότι το έδαφος επάνω από το θεμέλιο έχει τις ίδιες ιδιότητες και είναι συνεχές με το έδαφος κάτω από το θεμέλιο. Αυτή η προσέγγιση δεν πρέπει να συγχέεται με τη διόρθωση του Fox, η οποία δίνει μια διόρθωση για φορτιζόμενη επιφάνεια η οποία

βρίσκεται μέσα στο έδαφος και όχι στη βάση μιας εκσκαφής.



1.1.5 Μέση καθίζηση

Η μέση καθίζηση ρ_{ave} μιας εύκαμπτης φορτιζόμενης επιφάνειας προσδιορίστηκε πρώτα από τους Janbu *et al.* (1956) και τροποποιήθηκε αργότερα από τους Christian και Carrier (1978), σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho_{ave} = \mu_0 \mu_1 \times (qB / Eu)$$

όπου μ_0 και μ_1 είναι συντελεστές για το βάθος εκσκαφής και το πάχος του εδαφικού στρώματος κάτω από το θεμέλιο, αντίστοιχα (δείτε το Σχήμα 1.4).

Η μέση καθίζηση του δισκοειδούς καμπύλου σχήματος της εύκαμπτης θεμελίωσης συχνά θεωρείται ίδια με την καθίζηση μιας άκαμπτης θεμελίωσης.

Η αρχή της διαστρωμάτωσης μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτή τη μέθοδο.

1.1.6 Μέτρο ελαστικότητας αυξανόμενο με το βάθος

Έχει αποδειχθεί ότι για τα περισσότερα εδάφη το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται με το βάθος. Έτσι, υποθέτοντας μια σταθερή τιμή (ομογενής περίπτωση) θα υπερεκτιμήσουμε τις καθιζήσεις. Ο Butler (1974) παρουσίασε μια προσεγγιστική ανάλυση βασισμένη στις τιμές επιρροής του Steinbrenner για ένα έδαφος με αυξανόμενο κατά βάθος μέτρο ελαστικότητας, η οποία δίνει την άμεση καθίζηση στη γωνία της φορτισμένης επιφάνειας ως:

$$\rho_i = (qB / E0) \times I$$

όπου I είναι ένας συντελεστής επιρροής που εξαρτάται από:

- το σχήμα (L / B)
- το πάχος (H / B)
- ένα συντελεστή k ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

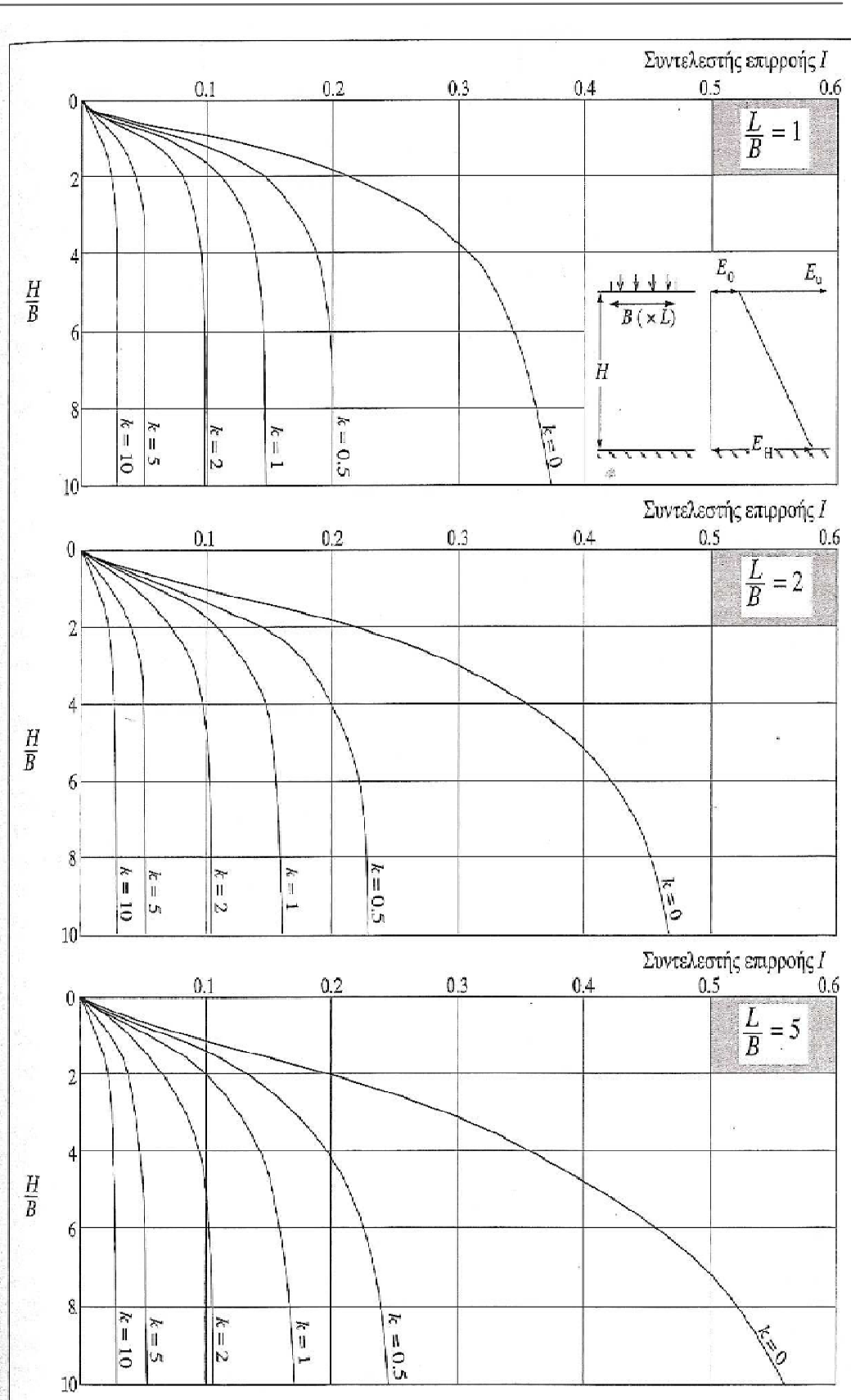
$$k = \frac{E_0 \cdot H \cdot L}{B^2}$$

Οι τιμές του συντελεστή επιρροής I μπορούν να ληφθούν από το Σχήμα

1.5. Η καμπύλη για $k = 0$ αντιπροσωπεύει την περίπτωση του ομογενούς εδάφους ή του σταθερού μέτρου ελαστικότητας.

Η μέθοδος υποθέτει ότι το θεμέλιο κατασκευάζεται στην επιφάνεια της συμπιεστής στρώσης. Μπορεί να εφαρμοστεί μια διόρθωση $\mu\theta$ για τη θεμελίωση σε βάθος, όπως περιγράψαμε πιο πάνω.

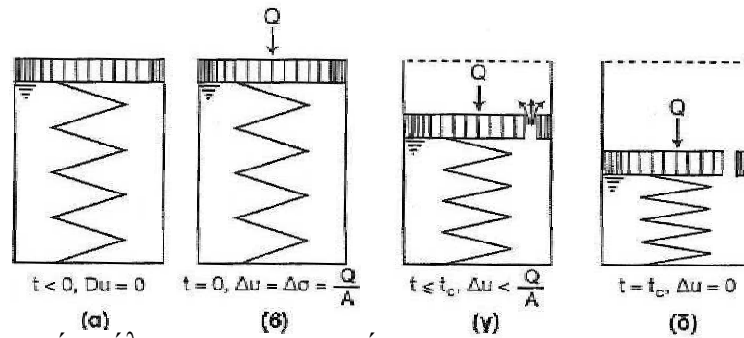
Η αρχή της υπέρθεσης πρέπει να χρησιμοποιείται για σημεία διαφορετικά από τη γωνία της φορτιζόμενης επιφάνειας, ενώ αν υπάρχουν στρώματα με διαφορετικά μέτρα ελαστικότητας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αρχή της διαστρωμάτωσης.



Σχήμα 1.5 Συντελεστές επιρροής για μέτρο ελαστικότητας αυξανόμενο με το βάθος – άμεση καθίζηση

1.2 Πρωτογενής καθίζηση ή καθίζηση λόγω στερεοποίησης

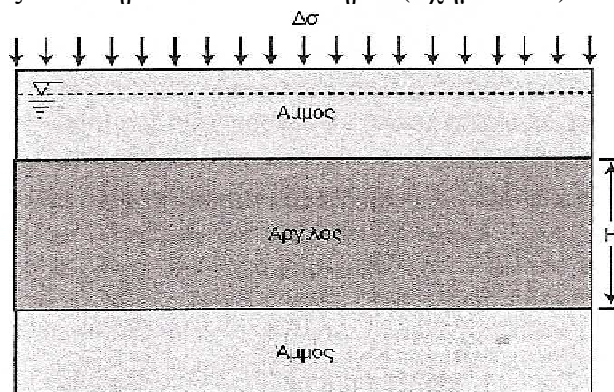
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στα αμμώδη εδάφη η αύξηση του φορτίου επιφέρει γρήγορη αποβολή του νερού των πόρων, με αποτέλεσμα η άμεση καθίζηση και η στερεοποίηση να συμβαίνουν ταυτόχρονα. Όταν όμως ένα στρώμα κορεσμένης, συμπιεστής αργίλου υφίσταται μια αύξηση του φορτίου, η μεν άμεση (ελαστική) καθίζηση συμβαίνει αμέσως, η δε στερεοποίηση συνεχίζεται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Η καθίζηση της αργίλου, που προκαλείται από τη στερεοποίηση, είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη από την άμεση καθίζηση.



Σχήμα 1.6 Μηχανικό ανάλογο της στερεοποίησης

Η παραμόρφωση της κορεσμένης αργίλου λόγω στερεοποίησης μπορεί να γίνει κατανοητή θεωρώντας ένα απλό μηχανικό ανάλογο, το αποτελείται από έναν κύλινδρο με ελατήριο στο κέντρο του (Σχήμα 1.6). Γεμίζουμε τον κύλινδρο με νερό, και στην επιφάνεια του εφαρμόζουμε, μέσω υδατοστεγούς εμβόλου, ένα φορτίο Q . Εάν η εσωτερική επιφάνεια της διατομής του κυλίνδρου είναι A , η αναπτυσσόμενη τάση είναι $\Delta\sigma = Q/A$. Αμέσως μετά την εφαρμογή του φορτίου (ενώ η βαλβίδα διαφυγής του νερού είναι κλειστή), η τάση $\Delta\sigma$ παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το νερό, επειδή το νερό είναι ασυμπίεστο (Σχήμα 1.6β), είναι δηλαδή: $\Delta u = \Delta\sigma$. Όταν ανοίξουμε την βαλβίδα, αρχίζει η εκροή του νερού, μειώνεται η πίεση του, είναι δηλαδή $\Delta u < \Delta\sigma$

$\Delta\sigma$, ενώ το υπόλοιπο του φορτίου Q παραλαμβάνεται από το συμπιεζόμενο ελατήριο (Σχήμα 1.6γ). Αυτό συνεχίζεται μέχρι που θα μηδενιστεί η πίεση του νερού ($\Delta u = 0$), οπότε το φορτίο παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το ελατήριο (Σχήμα 1.6δ).



Σχήμα 1.7 Στρώση κορεσμένης, συμπιεστής αργίλου μεταξύ στρώσεων άμμου

Έχοντας κατά νου το παραπάνω μηχανικό ανάλογο, μπορούμε να αναλύσουμε την παραμόρφωση μιας στρώσης κορεσμένης αργίλου, πάχους H , η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ δύο στρώσεων άμμου (Σχήμα.1.7), και-η οποία υφίσταται ξαφνικά μια πρόσθετη ολική τάση $\Delta\sigma$. Η τάση αυτή παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων και από το στερεό σκελετό του εδάφους, πράγμα που σημαίνει ότι η ολική τάση μοιράζεται μεταξύ της ενεργού τάσης $\Delta\sigma'$ και της πίεσης του νερού των πόρων Δu , δηλαδή:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$$

όπως στο μηχανικό ανάλογο, όπου το ελατήριο ενεργεί κατ' αναλογία,

όπως ο στερεός σκελετός του εδάφους.

Επειδή η διαπερατότητα (υδραυλική αγωγιμότητα) της αργίλου είναι πολύ χαμηλή, κατά το χρόνο επιβολής του φορτίου $t = 0$, η ολική τάση $\Delta\sigma$ παραλαμβάνεται από το νερό των πόρων, δηλαδή $\Delta\sigma = \Delta u$. Αμέσως μετά, λόγω της αύξησης αυτής της πίεσης, το νερό αρχίζει να αποβάλλεται προς τις εκατέρωθεν στρώσεις της άμμου. Στη συνέχεια, μειώνεται βαθμιαία η πίεση του νερού, Δu , ενώ αυξάνεται ισόποσα η τάση που παραλαμβάνεται από το στερεό σκελετό, αυξάνεται δηλαδή η ενεργός τάση του εδάφους $\Delta\sigma'$, έτσι ώστε να ισχύει πάντοτε η αρχή: $\Delta\sigma = \Delta\sigma' + \Delta u$.

Η διαδικασία αυτή της μεταφοράς του φορτίου από την υγρή φάση στη στερεά φάση, το φαινόμενο δηλαδή της στερεοποίησης, διαρκεί μέχρι να ολοκληρωθεί η αποβολή του νερού, μέχρι να ολοκληρωθεί δηλαδή η στράγγιση της αργίλου. Θεωρητικά, η διάρκεια της στερεοποίησης είναι άπειρη, $t = \infty$. Πρακτικά, ο χρόνος της στερεοποίησης, $t = t_c$, είναι πεπερασμένος, εξαρτώμενος προφανώς από την τιμή του συντελεστή διαπερατότητας του εδάφους.

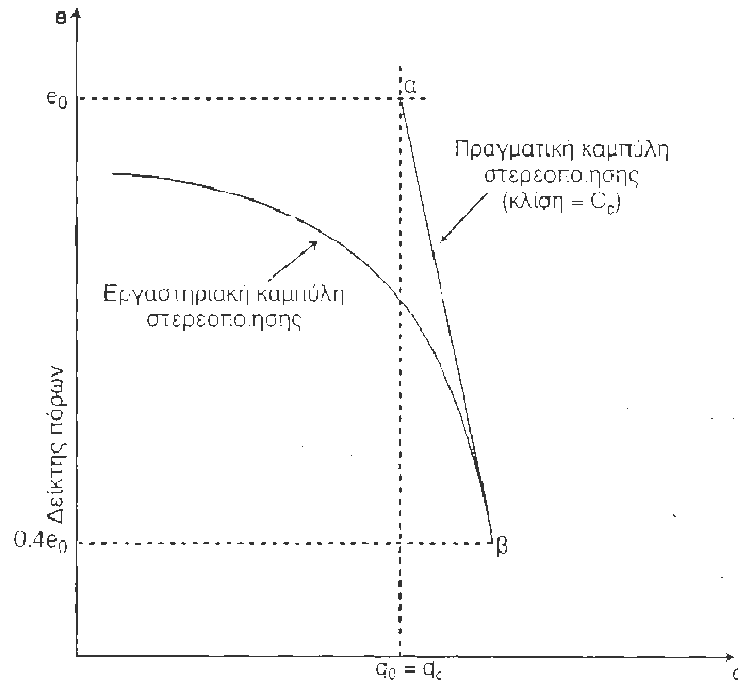
Όταν ολοκληρωθεί η στράγγιση, η πίεση του νερού των πόρων μηδενίζεται, δηλ. $\Delta u = 0$, οπότε η ολική τάση $\Delta\sigma$ παραλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από το στερεό σκελετό του εδάφους, δηλαδή:

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma'$$

Συνέπεια της στερεοποίησης είναι η καθίζηση της αργλικής στρώσης, η οποία συμπαρασύρει την υπερκείμενη κατασκευή. Η καθίζηση αυτή είναι σχετικά ακίνδυνη, εάν είναι ομοιόμορφη. Γίνεται όμως επικίνδυνη, όταν είναι ανομοιόμορφη (διαφορική καθίζηση). Ο βαθμός του κινδύνου ή επικινδύνου εξαρτάται, προφανώς, από το μέγεθος των τιμών των καθιζήσεων.

1.2.1 Δείκτης συμπιεστότητας

Ο δείκτης συμπιεστότητας CC , για τον υπολογισμό των καθιζήσεων στο πεδίο, μπορεί να προσδιοριστεί με τη γραφική κατασκευή του Σχ. 1.8, ύστερα από τον εργαστηριακό προσδιορισμό της μεταβολής του δείκτη πόρων σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ασκούμενου φορτίου.



Σχήμα 1.8. Γραφική μέθοδος προσδιορισμού της πραγματικής καμπύλης στερεοποίησης. (Das, 1998)

Οι Nagasaj και Murty (1985) είχαν προτείνει την ακόλουθη εμπειρική σχέση για διαταραχθέντα εδάφη:

$$CC = 0,2343 YS (LL)$$

όπου:

LL = δείκτης υδαρότητας γ_s = ειδικό βάρος εδάφους

Για προφορτισμένες αργίλους, ο δείκτης συμπίεστότητας CC, αντικαθίσταται από το συντελεστή CR, ο οποίος υπολογίζεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$C1 = K2 \times CC$$

όπου: $K2 = \frac{\Delta q}{q_0' - q_0}$

Δq = η πρόσθετη ενεργός τάση που προκαλεί η κατασκευή

q_0 = η ενεργός τάση πριν από την κατασκευή

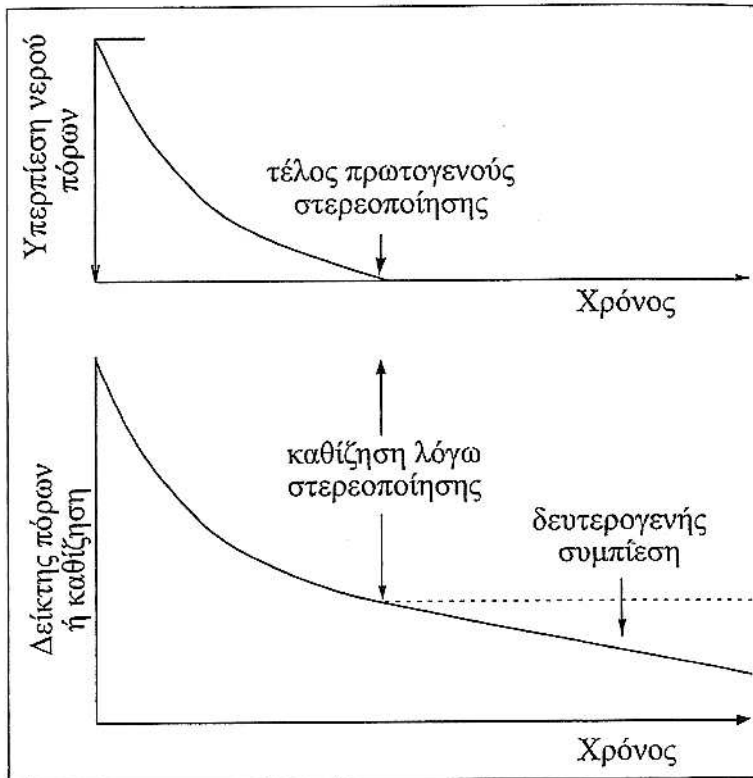
q_0' = η μέγιστη ενεργός τάση που αναπτύχθηκε κατά το παρελθόν (προφόρτιση)

1.3 Δευτερογενής καθίζηση

Γενικά

Σε μερικούς τύπους εδαφών, έχει διαπιστωθεί ότι οι μειώσεις του όγκου άρα, και οι

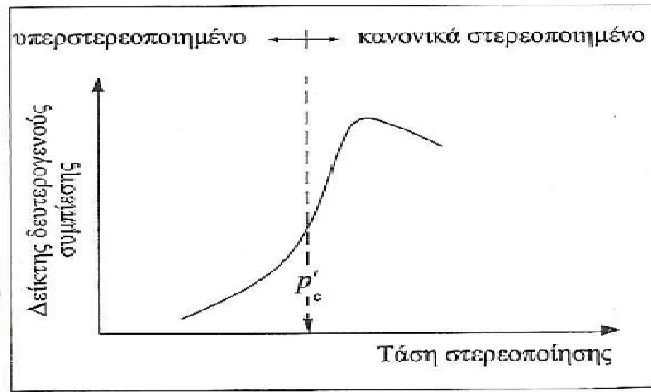
καθιζήσεις συνεχίζονται ακόμη και αφού ολοκληρωθεί η πρωτογενής στερεοποίηση και εκτονωθούν όλες οι πιέσεις του νερού των πόρων (δείτε το Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9 Ορισμός της δευτερογενούς συμπίεσης

Οι καθιζήσεις από αυτές τις ογκομετρικές παραμορφώσεις αναφέρονται ως δευτερογενής συμπίεση. Ο ερπυσμός λόγω στράγγισης μπορεί να αποτελείται και από ογκομετρικές και από διατμητικές παραμορφώσεις.

Έχουν προταθεί διάφοροι μηχανισμοί και προσομοιώματα για την ερμηνεία του φαινομένου, αλλά φαίνεται πιο πιθανό ότι σχετίζεται με μια ανακατανομή της αλληλεπίδρασης (δυνάμεων) μεταξύ των κόκκων, η οποία ακολουθεί τις μεγάλες δομικές αναδιατάξεις που συμβαίνουν στη διάρκεια του σταδίου φόρτισης της κανονικής στερεοποίησης. Αυτή η υπόθεση ενισχύεται από το γεγονός ότι οι δευτερογενείς καθιζήσεις είναι ασήμαντες για πιέσεις κάτω από το επίπεδο προστερεοποίησης (όταν το έδαφος είναι υπερστερεοποιημένο και συμβαίνουν κυρίως ελαστικές παραμορφώσεις). Στα οργανικά όμως εδάφη, όπως επίσης και στα υψηλής συμπιεστότητας ανόργανα εδάφη, μπορούν να είναι μεγάλες όταν οι τάσεις υπερβούν την πίεση προστερεοποίησης και συμβούν πλαστικές παραμορφώσεις (δείτε το Σχήμα 1.10).



Σχήμα 1.10 Επίδραση της πίεσης προστερεοποίησης

Ο λόγος της δευτερογενούς καθίζησης προς την πρωτογενή είναι αντιστρόφως ανάλογος προς το λόγο $\Delta q/q$.

1.3.1 Γενική μέθοδος

Για μεταβολές όγκου λόγω αποβολής του νερού των πόρων μπορεί να υπάρχουν αλλαγές της πίεσης των πόρων στο έδαφος, αλλά θεωρούνται ότι είναι μικρές και συμβαίνουν με τόσο αργό ρυθμό ώστε δεν μπορούν να μετρηθούν.

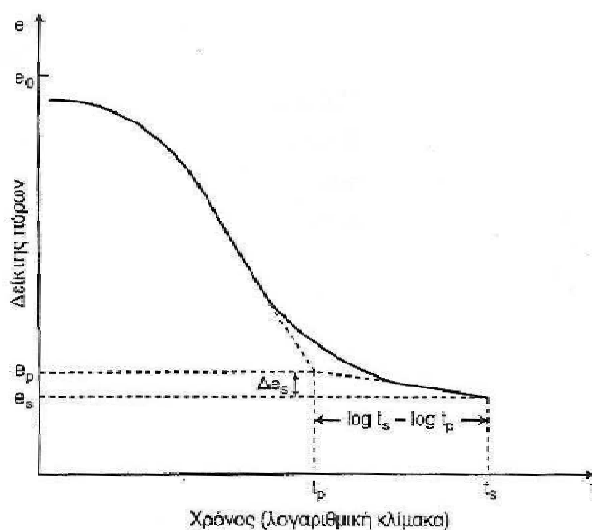
Στο διάγραμμα του Σχ. 1.11, όπου φαίνεται η χρονική μεταβολή του δείκτη πόρων κατά τη διάρκεια της δευτερογενούς στερεοποίησης. Η κλίση του ευθύγραμμου τμήματος, CQ, που αντιστοιχεί στη δευτερογενή στερεοποίηση, ονομάζεται Δείκτης δευτερογενούς συμπίεσης, ο οποίος, όπως προκύπτει από τις ενδείξεις του Σχ. 1.11, δίνεται από τη σχέση:

$$C_a = \frac{\Delta e_p}{\log \left(\frac{t_s}{t_p} \right)}$$

όπου:

e_p, e_s = δείκτες πόρων κατά την αρχή και το τέλος της δευτερογενούς στερεοποίησης

t_p, t_s = αντίστοιχοι χρόνοι



Σχήμα 1.11 Μεταβολή του δείκτη πόρων κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης λογαριθμική κλίμακα

Οι δευτερογενείς καθιζήσεις ρ_s μπορούν τότε να ληφθούν αποτελέσματα της εργαστηριακής δοκιμής ως:

Από τα

$$\rho_s = H \frac{C_c}{1 + e_0} \frac{e_0}{e_p}$$

όπου:

e_p = ο αρχικός δείκτης πόρων του εδάφους

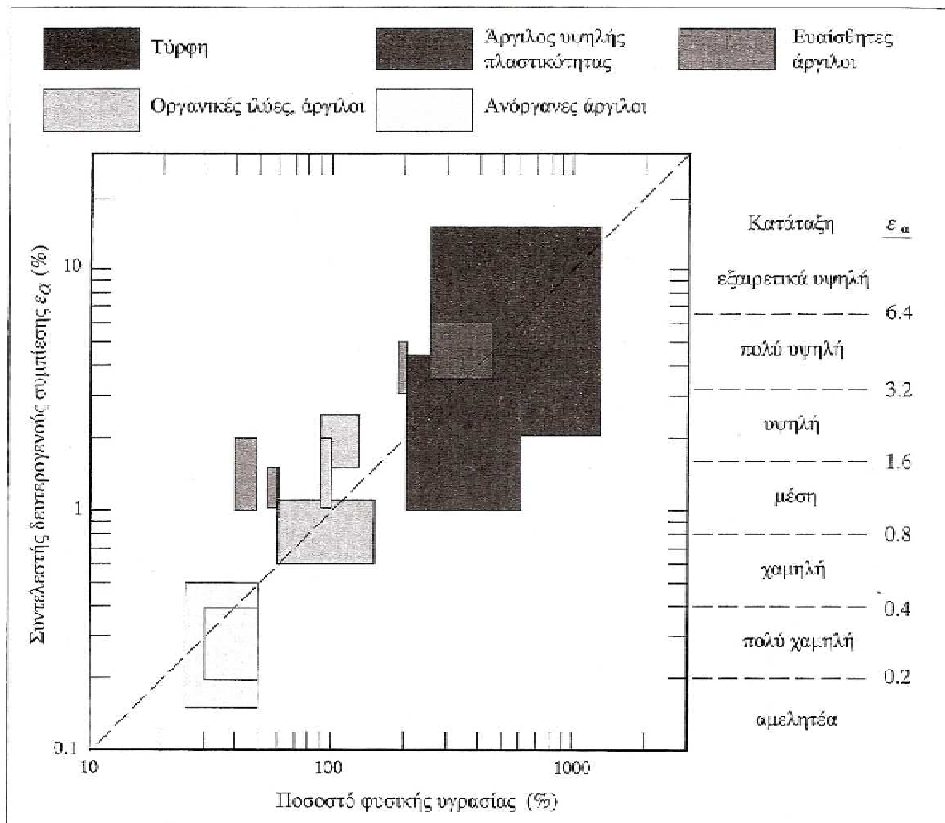
H = τ ο πάχος του εδαφικού στρώματος

Η τιμή της δευτερογενούς καθίζησης εξαρτάται από τις τιμές του χρόνου που επιλέχθηκαν. Για ευκολία, ίσως είναι αρκετά ακριβές να υιοθετηθεί χρόνος $t_p = 1$ έτος για την περίοδο κατασκευής και την πρωταρχική στερεοποίηση, και t_s ίσος με το χρόνο ζωής της κατασκευής.

Η παραπάνω έκφραση προϋποθέτει ότι θα συμβούν ίσες καθιζήσεις για κάθε κύκλο λογαρίθμου του χρόνου, δηλαδή καθίζηση από 1 έως 10 μήνες (πρώτο έτος) = καθίζηση από 10 έως 100 μήνες (πρώτη δεκαετία) = καθίζηση από 100 έως 1000 μήνες (πρώτος αιώνας) και ούτω καθεξής.

1.3.2 Εκτίμηση των τιμών C_a και e_a

Οι τιμές του C_a μπορούν να ληφθούν από τη εργαστηριακή δοκιμή του συμπιεσομέτρου, με συνεχή μέτρηση των τιμών πέρα από το στάδιο της πρωτογενούς στερεοποίησης. Καθώς όμως στο διάγραμμα ο χρόνος είναι σε λογαριθμική κλίμακα, για να προκύψει η γραμμή της δευτερογενούς συμπίεσης, η δοκιμή θα είναι χρονοβόρα.



Σχήμα 1.12 Συντελεστές δευτερογενούς συμπίεσης ϵ_a (%) για φυσικές αποθέσεις (από Mersi, 1973)

Ίσως είναι αρκετό να χρησιμοποιηθεί εκτίμηση από μια συσχέτιση όπως αυτή που προτάθηκε από τον Mersi (1973), Σχήμα 1.12, ο οποίος ανέφερε ότι ο συντελεστής δευτερογενούς συμπίεσης e_a είναι:

$$e_a = \frac{C_c}{1 + e_0}$$

Αυτό το διάγραμμα δείχνει τη σημαντική επίδραση στη δευτερογενή συμπίεση:

- των οργανικών συστατικών, ειδικά στις τύρφεις
- της ορυκτολογικής σύστασης των αργίλων, όπως αντιπροσωπεύεται από την υψηλή πλαστικότητα
- των μετα-σταθερών ορυκτολογικών κοκκωδών δομών, όπως αντιπροσω-
- πεύονται από τις ευαίσθητες αργίλους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ

Γενικά

Έχοντας προσδιορίσει το μέγεθος της καθίζησης για ένα θεμέλιο, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε αν αυτή είναι αποδεκτή ή όχι. Θα πρέπει να είναι μικρότερη από την επιτρεπτή (ή ανεκτή ή επιτρεπόμενη) καθίζηση. Όμως, δεν υπάρχει μια ευθεία προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα, επειδή το φαινόμενο της αλληλεπίδρασης κατασκευής–θεμελίωσης–εδάφους είναι ένα πολύπλοκο και αβέβαιο θέμα.

Δεν πρέπει να ξεχνούμε ότι οι κατασκευές δεν οφείλουν να μη μετακινούνται μόνον από τις καθιζήσεις του εδάφους. Μπορεί να υπάρχουν κινήσεις και βλάβες που προέρχονται από μεταβολές των διαστάσεων των δομικών υλικών όπως θερμοκρασιακές μεταβολές και μεταβολές υγρασίας, ερπυσμός ή χημικές αντιδράσεις. Μπορεί να σημειώνονται δομικές μετακινήσεις από κινήσεις του εδάφους εκτός των καθιζήσεων που υπολογίστηκαν παραπάνω, όπως υποχωρήσεις από ορυχεία, συρρίκνωση ή διόγκωση αργιλικών εδαφών, διάβρωση αμμωδών εδαφών, αστάθεια πρανών, κακώς συμπυκνωμένα επιχώματα, δονήσεις κλπ.

2.1 Ορισμοί των κινήσεων εδάφους και θεμελίωσης

Οι Burland και Wroth (1974) πρότειναν μερικούς χρήσιμους ορισμούς της κίνησης του εδάφους, της θεμελίωσης, και της κατασκευής για να γίνει δυνατή μια λεπτομερής διερεύνηση των διαφόρων ειδών μετακινήσεων μιας κατασκευής. Αυτές παρουσιάζονται στο Σχήμα 2.1, όπου τα σημεία A έως D θα μπορούσαν να αντιπροσωπεύουν σημεία μιας κοιτόστρωσης, θέσεις μεμονωμένων πεδίων κάτω από τα υποστυλώματα του σκελετού ενός κτηρίου, ή σημεία κάτω από ένα φέροντα τοίχο. Οι ορισμοί είναι:

Καθίζηση ρ

Η προς τα κάτω κίνηση σε ένα σημείο. Είναι ανομοιόμορφη κάτω από μια μη άκαμπτη κατασκευή.

- Ανύψωση ρh

Η προς τα άνω κίνηση σε ένα σημείο. Είναι ανομοιόμορφη κατά πλάτος μιας εκσκαφής ή κάτω από μια κατασκευή.

- Διαφορική καθίζηση ή διαφορική ανύψωση - $\delta\rho$ ή $\delta\rho h$

Η διαφορά καθίζησης ή ανύψωσης μεταξύ δύο σημείων. Συνήθως εκλέγονται δύο γειτονικά σημεία, αλλά η εκλογή μπορεί να είναι αυθαίρετη

(Σχήμα 2.1α).

- Οριζόντια μετακίνηση u

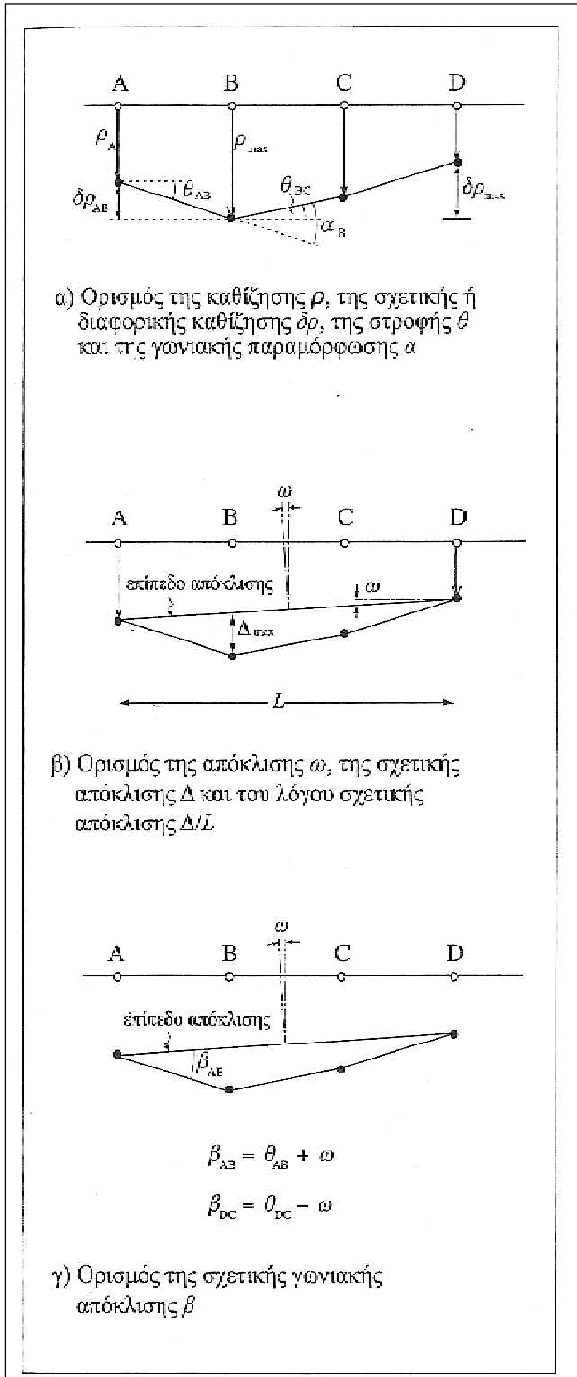
Η διαστολή ή η συστολή ενός κτηρίου κατά την οριζόντια διεύθυνση έχει ως αποτέλεσμα εφελκυστικές ή θλιπτικές παραμορφώσεις.

- Στροφή θ

Η αλλαγή της γωνίας μιας ευθείας που συνδέει δύο σημεία αναφοράς, όπως τα A και B στο Σχήμα 2.1α.

• Απόκλιση ω

Η περιστροφή όλης της κατασκευής ή ενός διακριτού τμήματος της ως άκαμπτου στερεού.



Σχήμα 2.1 Ορισμοί των κινήσεων της θεμελίωσης (από Burland et al, 1978)

Λαμβάνεται με σχεδίαση μιας ευθείας γραμμής ανάμεσα στα δύο άκρα του διαγράμματος της κατανομής των καθιζήσεων κάτω από το κτήριο ή ενός διακριτού τμήματος του, όπως είναι τα σημεία A και D του Σχήματος 2.1β. Αναφέρεται ως επίπεδο απόκλισης και επηρεάζει

και την κατακόρυφη και την οριζόντια συνιστώσα του κτηρίου.

- Σχετική μετατόπιση A

Η σχετική μετακίνηση ως προς το επίπεδο απόκλισης, Σχήμα 2.1β. Η προς τα κάτω μετακίνηση ονομάζεται βύθιση και η προς τα άνω ανύψωση.

- Λόγος σχετικής μετατόπισης A/L

Δηλώνει το βαθμό καμπύλωσης τον οποίο έχει υποστεί το κτήριο ή ένα μέρος του, και μπορεί να αντιστοιχεί σε λόγο βύθισης ή λόγο ανύψωσης. Ο βαθμός καμπύλωσης τον οποίο υφίσταται ένα κτήριο καθορίζει το μέγεθος της παραμόρφωσης και επομένως και το βαθμό βλάβης της κατασκευής. Ο λόγος απόκλισης είναι μια παράμετρος που υιοθετείται στο Σχήμα 2.1. Προτιμάται από τη γωνιακή απόκλιση β επειδή η τελευταία επηρεάζεται από το μέγεθος της απόκλισης (δείτε το Σχήμα 2.1γ).

- Γωνιακή παραμόρφωση α

Αντιπροσωπεύει την ολική στροφή ενός σημείου της κατασκευής. Είναι θετική αν προκαλεί βύθιση και αρνητική αν προκαλεί ανύψωση. Αυτή η παράμετρος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την εκτίμηση τοπικών κινήσεων κατά μήκος ενός τοίχου από οπτοπλινθοδομή, γιατί οι ρωγμές συχνά συγκεντρώνονται εκεί που οι γωνιακές παραμορφώσεις είναι μεγάλες. Ρωγμές θα συμβούν στη βάση του τοίχου αν έχει βυθιστεί, και στην κορυφή αν έχει υποστεί ανύψωση.

- Σχετική γωνιακή απόκλιση β

Η στροφή της ευθείας, που συνδέει δύο σημεία αναφοράς, ως προς τη γραμμή απόκλισης (Σχήμα 2.1γ).

2.2 Κριτήρια για τις μετακινήσεις

Στην εργασία των Burland, Broms, και De Mello (1978) παρουσιάζονται τέσσερα κριτήρια τα οποία πρέπει να πληρούνται:

1. Εμφάνιση της κατασκευής συνολικά

Απόκλιση τοίχων, δαπέδων και ολόκληρου του κτηρίου θα μπορούσε να είναι δυσάρεστη ή ακόμη και ανησυχητική για τους χρήστες και τους επισκέπτες. Μια απόκλιση από την κατακόρυφο ή την οριζόντια της τάξης $1/250$ είναι δυνατόν να γίνει αντιληπτή.

2. Εμφάνιση των αρχιτεκτονικών υλικών

Ορατές βλάβες, όπως ρωγμές ή παραμορφώσεις των επικαλύψεων, μπορούν να ποικίλουν από ανεπιθύμητες έως ανησυχητικές. Αν και οι ρηγματώσεις είναι ενδεικτικές των κινήσεων, η κατάταξη βασίζεται στην ευκολία επισκευής της βλάβης.

3. Λειτουργικότητα ή χρήση της κατασκευής

Μπορούν να συμβούν κινήσεις που επηρεάζουν τη συνολική λειτουργικότητα του κτηρίου, όπως μειωμένη προφύλαξη από τις καιρικές συνθήκες, διείσδυση των νερών της βροχής, υγρασία, ρεύματα αέρα, απώλειες θερμότητας, μειωμένη ηχομόνωση, παρεμπόδιση ανοίγματος θυρών και παραθύρων. Μπορούν επίσης να συμβούν μετακινήσεις οι οποίες επηρεάζουν τη βασική χρήση ή το σκοπό της κατασκευής, όπως η λειτουργία ανελκυστήρων ή μηχανολογικού εξοπλισμού ακριβείας, πρόσβαση σε κεκλιμένα επίπεδα (ράμπες) ή σκάλες, θραύση αγωγών δικτύων.

4. Ευστάθεια

Μεγάλες μετακινήσεις και πολύ σοβαρές βλάβες σε επικαλύψεις τοίχων και εξαρτήματα θα συμβούν πριν αστοχήσει η ίδια η κατασκευή, οπότε τα παραπάνω κριτήρια χρησιμοποιούνται για να υπαγορευθούν τις επιτρεπτές καθιζήσεις.

2.3 Συνήθη όρια καθιζήσεων

Οι Terzaghi και Peck (1948) και οι Skempton και MacDonald (1956), βασίστηκαν σε ένα μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων σε κατασκευές και έδωσαν τιμές για τις επιτρεπτές καθιζήσεις σε πλαισιωτές κατασκευές. Αυτές συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1. Τονίζεται ότι πρόκειται για συνήθεις κατασκευές με αρκετά ομοιόμορφη κατανομή φορτίου και ομοιόμορφες εδαφικές συνθήκες.

Με βάση την αλληλεπίδραση μιας κατασκευής και του εδάφους στο οποίο στηρίζεται, προκύπτει ένας αριθμός σημαντικών σημείων:

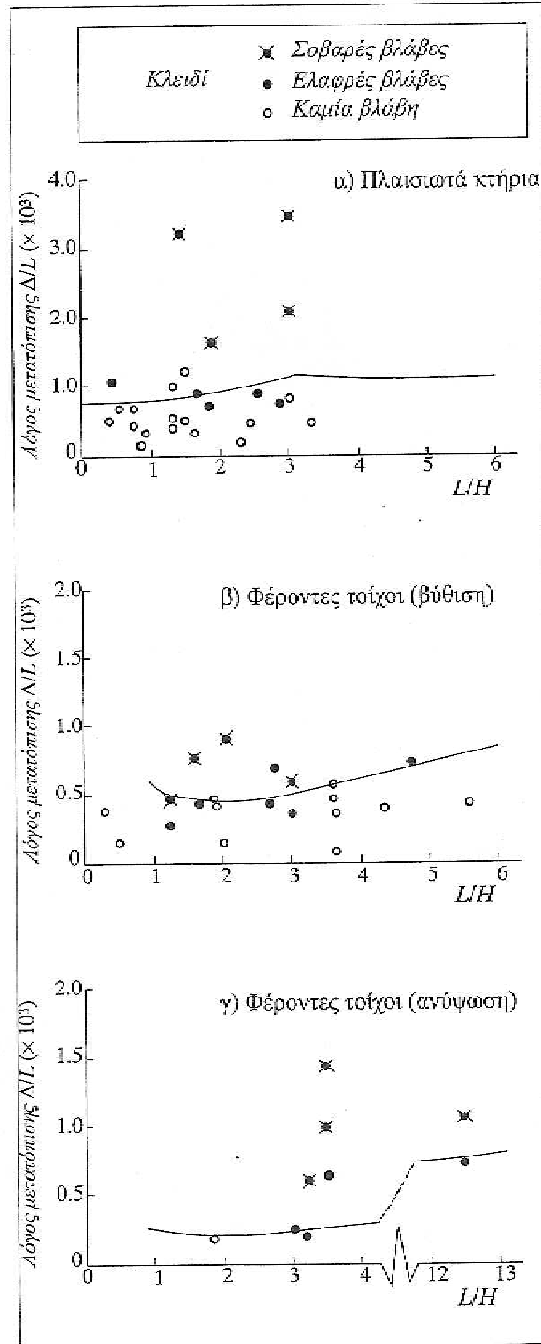
| Καθίζηση | Άμμος | | Άργιλος |
|---|-----------|-----------|-----------|
| | Αναφορά 1 | Αναφορά 2 | Αναφορά 2 |
| μέγιστη διαφορική καθίζηση δ_r | 20 | 25 | 40 |
| μέγιστη καθίζηση s (μεμονωμένα πόδια) | 25 | 40 | 65 |
| μέγιστη καθίζηση s (κοιτοστρώση) | 50 | 40 – 65 | 65 – 100 |

Αναφορά 1 – Terzaghi and Peck, 1948

Αναφορά 2 – Skempton and MacDonald, 1956

Πίνακα 2.1 Συνήθεις οδηγίες για επιτρεπτές καθιζήσεις

- Οι επιτρεπόμενες καθιζήσεις για την ίδια κατασκευή μπορεί να είναι μεγαλύτερες σε αργιλικά εδάφη παρά σε άμμο. Αυτό πιθανόν λόγω του μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος στο οποίο συμβαίνουν οι καθιζήσεις σε αργιλικά εδάφη, οπότε επιτρέπουν στην κατά- σκευή να προσαρμόζεται βαθμιαία στις καθιζήσεις, ενώ αν αυτή εδράζεται σε άμμο, πρέπει να αποκριθεί αμέσως στις καθιζήσεις.
- Τα πλαισιωτά κτήρια και οι επικαλύψεις τους μπορούν να αντέξουν μεγαλύτερες παραμορφώσεις από τα κτήρια με φέροντες τοίχους. Πολλές από τις επικαλύψεις σε πλαισιωτά κτήρια είναι λιγότερο ευαίσθητες σε μετακινήσεις και τοποθε- τούνται σε χρόνο που οι περισσότερες καθιζήσεις έχουν ήδη ολοκληρωθεί, ενώ οι φέροντες τοίχοι είναι πιο ψαθυροί και υπόκεινται σε καθιζήσεις από την αρχή της κατασκευής.
- Τα πλαισιωτά κτήρια χωρίς τοιχοπληρώσεις (ανοιχτά πλαίσια) μπορούν να ανεχθούν μεγαλύτερες καθιζήσεις από τα τοιχοπληρωμένα.
- Πλαισιωτά κτήρια σε μεμο- νομένα θεμέλια μπορούν να παραμορφωθούν διαφορετικά από τα κτήρια σε κοιτοστρώσεις.
- Οι φέροντες τοίχοι που υφίστανται βύθιση μπορούν να ανεχθούν μεγαλύτερη παραόρφωση (σχεδόν διπλάσια) από ους τοίχους που υφίστανται ανύψωση.
- Οι πιο επιμήκεις κατασκευές μπορούν να ανεχθούν περισσότερη σχετική μετατόπιση Δ .
- Μια δύσκαμπτη εδαφική στρώση επάνω από συμπιεστό έδαφος που προκαλεί τις καθιζήσεις δεν αποτρέπει τη συνολική καθίζηση που θα συμβεί, αλλά μειώνει σημαντικά τις διαφορικές καθιζήσεις.



Οι Burland και Wroth (1974) πρότειναν ένα απλό κριτήριο συσχέτισης της παραμόρφωσης μιας κατασκευής (που μετράται από το λόγο μετατόπισης AIL) με την αρχή της ορατής ρηγμάτωσης των επικαλύψεων ή των χρωματισμών και αυτή η σχέση παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2 για πλαισιωτά κτήρια και φέροντες τοίχους. Αν ο λόγος AIL βρίσκεται πάνω από τις γραμμές του κριτηρίου, είναι πιθανό το κτήριο να υποστεί αρχιτεκτονικές βλάβες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΚΑΘΙΖΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΥΠΟΧΩΡΗΣΕΙΣ

Γενικά

Οι βαρυτικές και οι τεκτονικές δυνάμεις που ασκούνται στους σχηματισμούς που περιβάλλουν μια υπόγεια εκσκαφή, τείνουν να προκαλέσουν το κλείσιμό της. Παραμορφώσεις που σχετίζονται ή όχι με το χρόνο, σε συνδυασμό με τον κερματισμό των πετρωμάτων προκαλούν υποχώρηση των υπερκειμένων σχηματισμών του υπόγειου ανοίγματος προς αυτό.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται εδαφική υποχώρηση. Αρχικά εμφανίζεται στο υπόγειο άνοιγμα, για να μεταναστεύσει στη συνέχεια στην επιφάνεια και να προκαλέσει βυθίσματα στην επιφάνεια.

Συνεπώς ο όρος εδαφική υποχώρηση χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τις συνέπειες στην επιφάνεια του εδάφους που προέρχονται από την εξάλειψη της υποστήριξης του σε βάθος ή από τον υποβιβασμό της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και μετανάστευση των αστοχιών που προκύπτουν από αυτές τις αιτίες στην επιφάνεια.

Συνεπώς, εδαφική υποχώρηση είναι ο υποβιβασμός της επιφάνειας του εδάφους λόγω αλλαγών είτε στη στάθμη κάποιου υπόγειου ρευστού (υποβιβασμός στάθμης νερού, πετρελαίου) είτε στη μεταβολή της αντοχής του εδάφους, λόγω αφαίρεσης της υποστήριξης αυτού σε συγκεκριμένη θέση.

Γενικά ο υποβιβασμός της στάθμης του υπόγειου νερού ισοδυναμεί και με προφόρτιση των οριζόντων που θα απαλλαγούν από την παρουσία του.

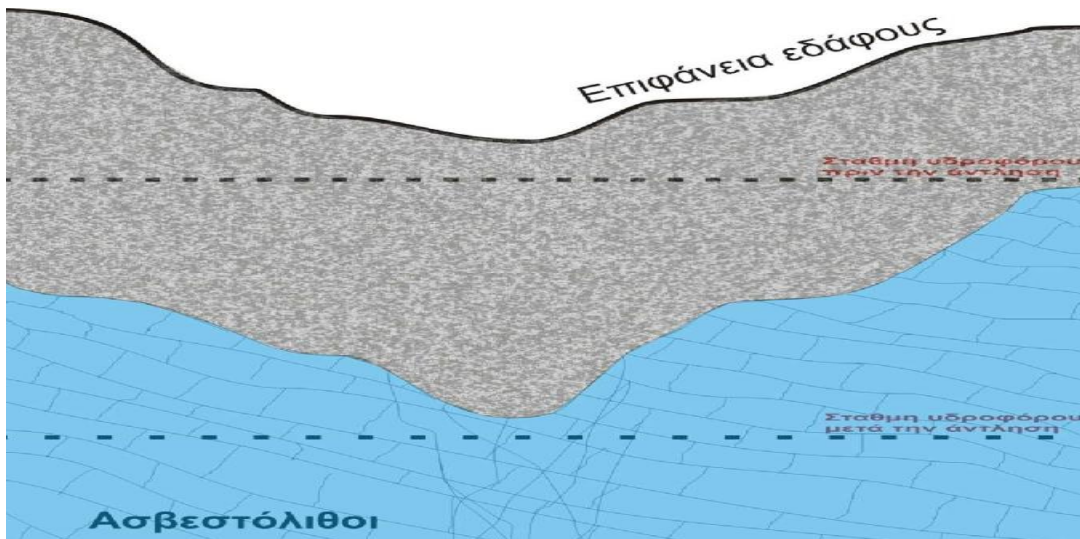
Το μέγεθος της εδαφικής υποχώρησης εξαρτάται από:

(α) το πάχος των στρωμάτων που μπορεί να υποστούν συμπύκνωση, (β) την συμπιεστότητά τους,

(γ) την ποσότητα του νερού που απομακρύνεται με τον υποβιβασμό της στάθμης.

Συνεπώς όλα αυτά θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κυρίως για την προστασία των γειτονικών κατασκευών, από ανεπιθύμητες εδαφικές υποχωρήσεις.

Αν τα εδαφικά υλικά καλύπτουν ασβεστολιθικούς σχηματισμούς, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από την παρουσία καρστικών εγκοίλων και η στάθμη του υδροφόρου υποβιβάζεται λόγω άντλησης, η αύξηση της φόρτισης επιφέρει την εμφάνιση στην επιφάνεια βαθιών εδαφικών (βυθίσεων) υποχωρήσεων περίπου κυκλικής μορφής ή και αβαθών, λόγω κατάρρευσης των διαβρωσιγενών κοιλοτήτων στον ασβεστόλιθο.



Σχήμα 3.1 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας αύξησης της φόρτισης του εδάφους με τον υποβιβασμό του υδροφόρου.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι οι κύριες αιτίες εδαφικών υποχωρήσεων είναι:

- i. Η απομάκρυνση ρευστών από το έδαφος (νερού ή πετρελαίου),
- ii. Η κατάρρευση διαβρωσιγενών κοιλοτήτων είτε λόγω προοδευτικής διάβρωσης και μείωση των δυνάμεων που συγκρατούν την οροφή είτε λόγω υποβιβασμού της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα και αύξηση των εσωτερικών φορτίων και
- iii. Η μεταλλευτική δραστηριότητα.

i. Απομάκρυνση ρευστών από το έδαφος

Με την απομάκρυνση ενός ρευστού από το έδαφος όπως προαναφέρθηκε επέρχεται αύξηση των τάσεων. Η αύξηση αυτή επιφέρει επαναπροσανατολισμό των εδαφικών σωματιδίων, δηλαδή αύξηση στην πυκνότητα του εδάφους που υφίσταται την όλη διαδικασία και κατά συνέπεια μείωση του όγκου του που εκδηλώνεται με τη μορφή της εδαφικής υποχώρησης.

Όταν η εδαφική υποχώρηση είναι ομαλή υπάρχουν ομοιόμορφες συνθήκες στην περιοχή. Αν οι εδαφικές υποχωρήσεις διαφοροποιούνται από θέση σε θέση τότε τα προβλήματα είναι πολύ σημαντικά για την ασφάλεια των κατασκευών (διαφοροποίηση στην ένταση του εφελκυσμού).



Σχήμα 3.2 Συσχέτιση γραμμής εισπίεσης νερού και αποκατάστασης επιφάνειας εδάφους.

Ακόμη, εδαφικές υποχωρήσεις μπορεί να συμβούν και από άλλες αιτίες, λόγω εισπίεσης ρευστού μέσα στο έδαφος. Για παράδειγμα σε αργιλικά ή και ασβεστιτικά εδάφη που έχουν μικρή πυκνότητα, δηλαδή υψηλό λόγο κενών, η προσθήκη νερού επιφέρει την κατάρρευσή τους. Αυτό συμβαίνει:

(α) στην περίπτωση των αργίλων γιατί το αργιλικό φιλμ γύρω από τους κόκκους της ιλύος με την προσθήκη του νερού λειτουργεί σαν λιπαντικό επιτρέποντας την ολίσθηση των κόκκων της ιλύος, άρα την εκδήλωση υποχωρήσεων και

(β) στην περίπτωση των ασβεστούχων πηλών γιατί το νερό απομακρύνει το ασθενές ασβεστιτικό συνδετικό υλικό.

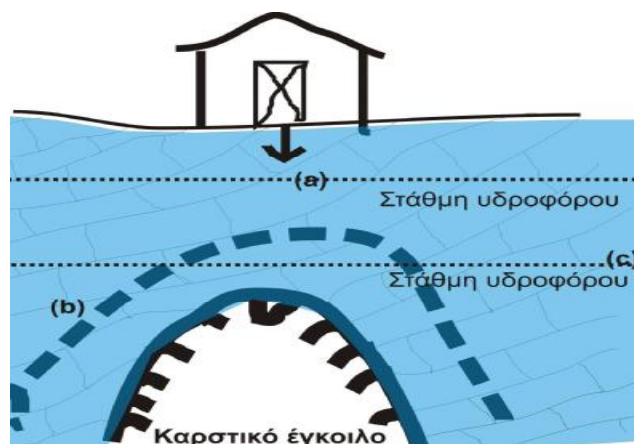
Τέλος, το ίδιο μπορεί να συμβεί με την εισπίεση νερού σε αλλουβιακές αποθέσεις που βρίσκονται σε οριακές συνθήκες ισορροπίας. Στις περιπτώσεις αυτές το πρόσθετο νερό μειώνει τη διατμητική αντοχή και αυξάνει τις διατμητικές τάσεις επιφέροντας κατάρρευση του εδαφικού υλικού. Έτσι εκδηλώνονται στην επιφάνεια εφελκυστικές ρωγμές, που επηρεάζουν τα τεχνικά έργα. Επιπρόσθετα είναι γνωστή η τάση των μοντιμοριλλονιτικών εδαφών να διογκώνονται μέχρι και 60% όταν αποκτούν νερό στη δομή τους.

ii. Κατάρρευση διαβρωσιγενών κοιλοτήτων

Οι πλέον ενδεικτικές περιπτώσεις εδαφικών υποχωρήσεων αυτού του είδους συμβαίνουν στα ανθρακικά πετρώματα που χαρακτηρίζονται από την παρουσία διαβρωσιγενών (καρστικών) κοιλοτήτων ποικίλων διαστάσεων.

Αρχικά η βραχομάζα έχει τα χαρακτηριστικά εκείνα που απαιτούνται για να συντηρεί το μηχανισμό γεφύρωσης στην οροφή του καρστικού σπηλαίου. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις που αυτό μπορεί να πάψει να ισχύει, όπως:

- Με την επιβολή φορτίων στην επιφάνεια,
- Με τη συνεχή προς τα επάνω εξέλιξη του καρστικού σπηλαίου
- (συνεχής διάλυση του ασβεστιτικού υλικού – φυσική κατάρρευση),
- Επιτάχυνση της φυσικής κατάρρευσης με τον υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου και συνεπώς αύξηση των τάσεων.



Σχήμα 3.3 Σχηματικό παράδειγμα κατάρρευσης καρστικού εγκοίλου που απεικονίζει και τις τρεις διακριτές περιπτώσεις αστοχίας.

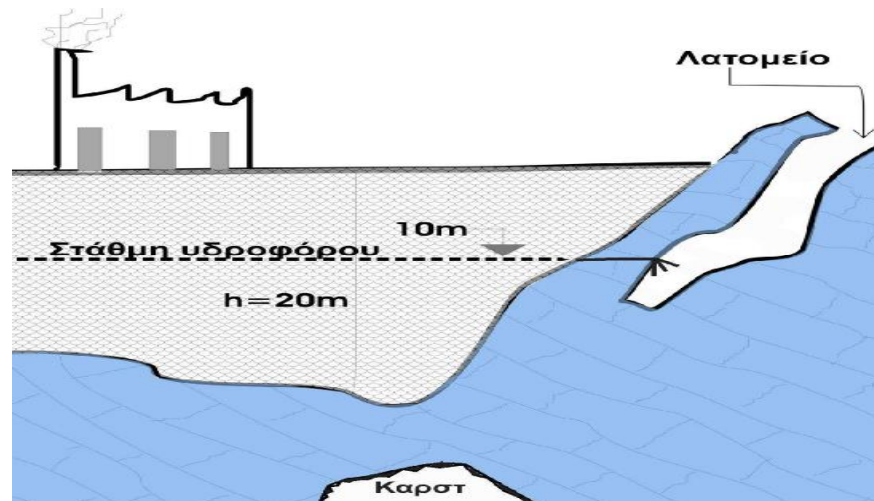


Φωτ. 3.1 Φυσική κατάρρευση οροφής σπηλαίου σε ανθρακικά πετρώματα στην περιοχή Αργολίδας.

Ένα παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση κατάρρευσης Πολυκαταστήματος στο *Akron* του *Ohio*, όπου 10 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους εξ αιτίας της εδαφικής υποχώρησης που προκλήθηκε από κατάρρευση καρστικού σπηλαίου στα ανθρακικά πετρώματα του υποβάθρου. Οι αλλουβιακές αποθέσεις που κάλυπταν τους ασβεστολίθους είχαν διαφορετικά πάχη κάτω από τα στοιχεία θεμελίωσης του κτηρίου. Έτσι η διαφορετικού μεγέθους υποχώρηση προκάλεσε καταστροφή και κατάρρευση του κτηρίου.



Σχήμα 3.4 Κακή επιλογή χώρου θεμελίωσης σε θέση με γρήγορη μεταβολή του μεγέθους της εδαφικής υποχώρησης.



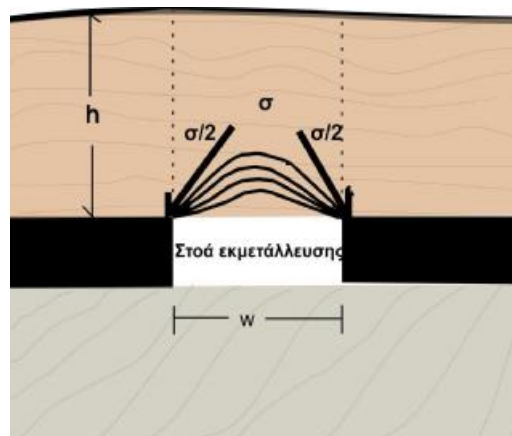
Σχήμα 3.5 Συνδυασμός επιφόρτισης, υποβιβασμού του υδροφόρου και παρουσίας καρστικών κοιλοτήτων.

iii. Μεταλλευτική δραστηριότητα

Ένας άλλος τρόπος δημιουργίας κοιλοτήτων είναι η μεταλλευτική δραστηριότητα. Αυτή μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση του εδάφους στην περίπτωση αφαίρεσης της υποστήριξης των στοών ενός μεταλλείου ή ορυχείου, με τη μορφή σταδιακής καταστροφής των στοιχείων υποστήριξης - τελική αστοχία αυτών και τη μετανάστευση της στοάς στην επιφάνεια.

Υπενθυμίζεται ο μηχανισμός γεφύρωσης που επέρχεται με την κατανομή των τάσεων στις δύο πλευρές λόγω της διατμητικής αντοχής του πετρώματος πάνω από τη στοά. Αυτός ο μηχανισμός εξαρτάται από:

- Το εύρος (w) της στοάς, και
- Το πάχος (h) του πετρώματος που υπέρκειται του ορίζοντα εκμετάλλευσης, με την προϋπόθεση ότι το υπερκείμενο πέτρωμα έχει διατμητική αντοχή. Έτσι είναι κατανοητό ότι όσο βαθύτερα βρισκόμαστε τόσο μεγαλύτερο μπορεί να είναι το w .

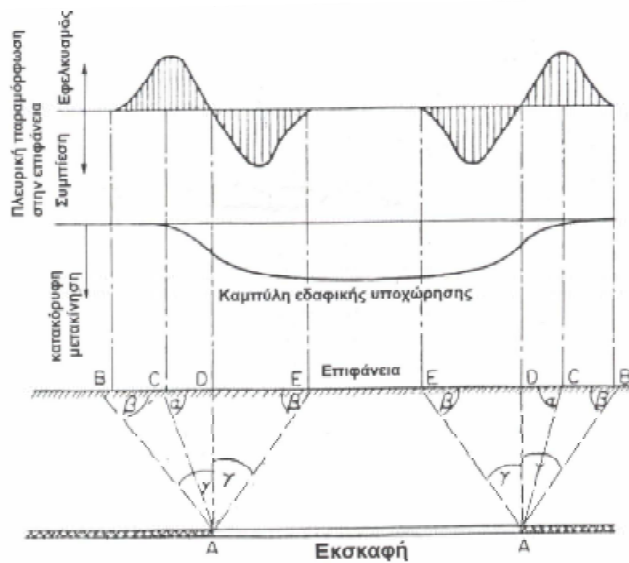


Σχήμα 3.6 Σχηματική απεικόνιση του μηχανισμού γεφύρωσης στην οροφή στοάς εκμετάλλευσης κοιτάσματος.

3.1 Δυναμική των εδαφικών υποχωρήσεων

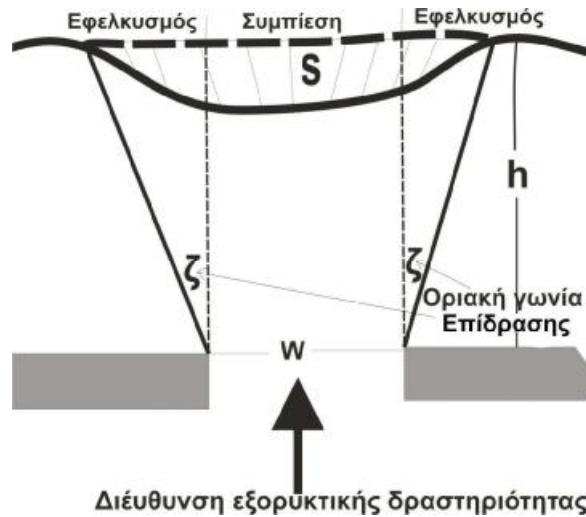
Η περιοχή στην επιφάνεια του εδάφους που επηρεάζεται από το φαινόμενο της εδαφικής υποχώρησης οριοθετείται από τις γραμμές που σχεδιάζονται από τα άκρα της υπόγειας εκμετάλλευσης με μια γωνία από την κατακόρυφο, που καλείται γωνία επίδρασης.

Στο Σχήμα 3.7 δίνονται διαγραμματικά η κατανομή των τάσεων (εφελκυσμού και συμπίεσης), αλλά και η καμπύλη της συνολικής εδαφικής υποχώρησης, από την κατάρρευση μιας υπόγειας εκσκαφής. Η σιγμοειδής αρμονική καμπύλη της εδαφικής υποχώρησης του υπόψη σχήματος υπάρχει, όταν ο λόγος εύρους στοάς ή εκμετάλλευσης προς το βάθος της εκσκαφής είναι μικρότερος της μονάδας. Το σημείο της μέγιστης καμπυλότητας είναι η παραμόρφωση που αποτελεί οριακό παράγοντα για τον προσδιορισμό των επιφανειακών ή και υπογείων ζημιών.



Σχήμα 3. Εδαφικής υποχώρησης της επιφάνειας πάνω από υπόγειο χώρο που έχει καταρρεύσει.

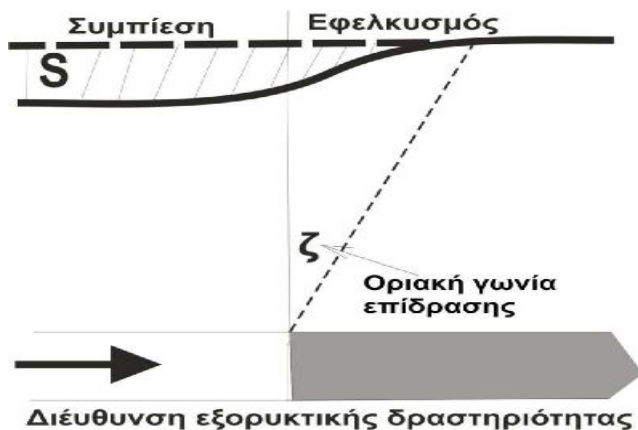
Η μέγιστη τιμή της εδαφικής υποχώρησης λαμβάνει χώρα στη θέση του “S” (Σχήμα 3.8), δηλαδή στο κέντρο της ζώνης εδαφικής υποχώρησης. Η μέγιστη εδαφική υποχώρηση είναι συνάρτηση του εύρους w και του βάθους h της υπόγειας εκμετάλλευσης, ενώ η συμπίεση όπως φαίνεται και στο προηγούμενο Σχήμα μεταβάλλεται σε εφελκυσμό όσο κινούμεθα προς τα άκρα της ζώνης επιρροής.



Σχήμα 3.8 Γενική διάταξη του τρόπου εκδήλωσης εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση υπόγειου χώρου.

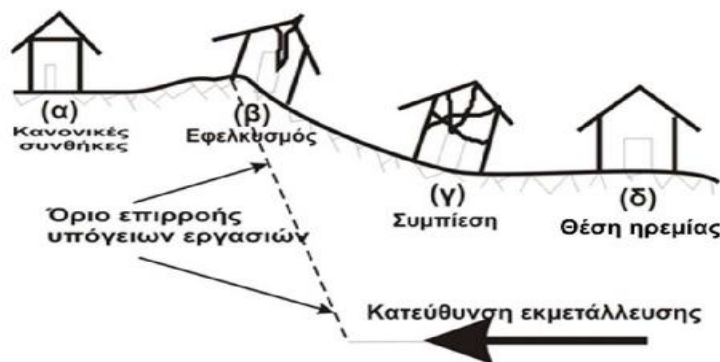
3.2. Συνέπειες της επίδρασης των εδαφικών υποχωρήσεων αυτής της αιτιολογίας στις κατασκευές

Κάθε κατασκευή στην περιοχή εκδήλωσης εδαφικών υποχωρήσεων που οφείλονται στην κατάρρευση υπόγειου τεχνητού χώρου εκμετάλλευσης, θα υποστεί τις συνέπειες των τάσεων που επικρατούν ανάλογα με τη θέση θεμελίωσης. Γενικά, η κίνηση της επιφάνειας του εδάφους δεν είναι μόνο κατακόρυφη, καθώς προκαλούνται επίσης παραμορφώσεις και από οριζόντιες τάσεις. Έτσι κτήρια θεμελιωμένα στις παρυφές του βυθίσματος ανάλογα με την θέση τους μπορεί να υφίστανται εφελκυστικές ή θλιπτικές τάσεις.



Σχήμα 3.9 Διάταξη επίδρασης στην επιφάνεια της κατάρρευσης υπόγειου χώρου κατά τη διεύθυνση προχώρησης της εκμετάλλευσης.

Στη διαγραμματική απεικόνιση του επόμενου Σχήματος διακρίνονται : (α) μια κατασκευή σε κανονικές συνθήκες τάσεων, (β) μια κατασκευή που είναι θεμελιωμένη στη ζώνη εφελκυσμού, (γ) μια κατασκευή θεμελιωμένη στη ζώνη συμπίεσης και τέλος (δ) μια κατασκευή στο χώρο ηρεμίας



Σχήμα 3.10 Θέσεις θεμελίωσης μιας κατασκευής σε σχέση με τη ζώνη εδαφικής υποχώρησης από κατάρρευση και μετανάστευση υπόγειου ανοίγματος

Αναφέρεται ότι η μέγιστη εδαφική υποχώρηση (κρίσιμη κατάσταση) συμβαίνει όταν ο λόγος w/h γίνει ίσος με $\epsilon\phi 35^\circ$, όπου 35° είναι η γωνία επίδρασης για τα ορυχεία στην Αγγλία, δηλαδή όταν $w = \epsilon\phi 35^\circ \times h$. Πάνω από αυτήν την τιμή του w οι συνθήκες είναι χειρότερες, ενώ κάτω από αυτήν οι συνθήκες είναι καλύτερες.

3.3 Μηχανισμός εκδήλωσης των εδαφικών υποχωρήσεων από υπόγειες εκμεταλλεύσεις.

Τα φαινόμενα των εδαφικών υποχωρήσεων λόγω κατάρρευσης των υπόγειων έργων, εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες και γι' αυτό το λόγο η ερμηνεία του μηχανισμού εκδήλωσής τους είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Γενικά το μέγεθος της βύθισης του εδάφους στην επιφάνεια σχετίζεται με παραμέτρους που έχουν άμεση σχέση με τις εργασίες εκμετάλλευσης, δηλαδή οι παράγοντες που καθορίζουν τις εδαφικές υποχωρήσεις, είναι:

- Η γωνία επίδρασης. Στον Ελληνικό χώρο η τιμή αυτής λαμβάνεται εμπειρικά ίση με 45° .
- Τα γεωμετρικά στοιχεία της υπόγειας εκμετάλλευσης (στοάς) και κυρίως το εύρος αυτής.
- Το βάθος της εκμετάλλευσης.
- Το πάχος του (λιγνιτικού) ορίζοντα, που υφίσταται την εκμετάλλευση.
- Η κλίση του ορίζοντα αυτού.
- Η μέθοδος και ο τύπος της υποστήριξης, εάν υπάρχει.
- Ο παράγων χρόνος.
- Η παρουσία ασυνεχειών στον περιβάλλοντα την εκμετάλλευση σχηματισμό.
- Η φυσική κατάσταση των σχηματισμών πάνω από τις εργασίες εκμετάλλευσης, που έμμεσα συνδέεται με τη γωνία επιρροής.
- Το καθεστώς του υπόγειου νερού

Σχετικά με το μέγεθος της υποχώρησης σημειώνεται ότι κατά την κατακόρυφη έννοια η υποχώρηση στην επιφάνεια είναι πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη στο βάθος των

υπόγειων έργων, λόγω του ότι τα στρώματα που καταρρέουν καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από αυτόν που είχαν αρχικά.

Το βύθισμα που δημιουργείται εξαιτίας συγκεκριμένου έργου εξόρυξης επηρεάζει στην επιφάνεια μεγαλύτερη περιοχή από αυτήν της εξόρυξης, βάση της γωνίας επίδρασης και γενικά η μέγιστη τιμή της υποχώρησης της επιφάνειας του εδάφους ποτέ δεν ξεπερνά το 90% του πάχους του ορίζοντα που εξορύχτηκε.

Ειδικότερα, για κάθε παράγοντα επηρεασμού των εδαφικών υποχωρήσεων παρατηρούνται εν συντομία τα ακόλουθα:

3.3.1. Γωνία επίδρασης

Η γωνία αυτή καθορίζει τα όρια της επιφάνειας του εδάφους που θα υποστεί τις συνέπειες των εδαφικών υποχωρήσεων είτε πλευρικά είτε κατά μήκος της υπόγειας εκμετάλλευσης. Γενικά πάντως κάποιοι θεωρούν ότι οι μεταβολές στην τιμή της γωνίας επίδρασης είναι πολύ ευρύτερες από ότι κοινά πιστεύεται.

3.3.2. Το εύρος της υπόγειας εκμετάλλευσης (στοάς)

Το μέγιστο εύρος ανοίγματος (W) σε αυτοϋποστηριζόμενο σχηματισμό είναι ίσο με $\sqrt{2}hS$, όπου h είναι το πάχος του ορίζοντα εκμετάλλευσης και S η εφελκυστική αντοχή του σχηματισμού που δομεί την ασπίδα οροφής.

Στην περίπτωση που δεν ισχύει ο μηχανισμός της γεφύρωσης, δηλαδή ο γεωλογικός σχηματισμός δεν μπορεί να αυτοϋποστηριχθεί και εδαφική υποχώρηση πρόκειται να συμβεί, έχει βρεθεί ότι η μέγιστη τιμή της εδαφικής υποχώρησης, εμφανίζεται όταν το εύρος της υπόγειας εκμετάλλευσης (w) φθάσει σε συγκεκριμένη τιμή σχετικά με το βάθος εκμετάλλευσης.

Η μέγιστη εδαφική υποχώρηση στην Αγγλία (κρίσιμη κατάσταση) συμβαίνει όταν ο λόγος w/h γίνει ίσος με $\tan 35^\circ$, που 35° είναι η γωνία επίδρασης, δηλαδή όταν $w = \tan 35^\circ \times h$. Πάνω από αυτήν την τιμή του w οι συνθήκες είναι χειρότερες, ενώ κάτω από αυτήν οι συνθήκες είναι καλύτερες.

3.3.3. Το βάθος της εκμετάλλευσης

Για οριζόντες εκμετάλλευσης που εντοπίζονται σε μεγάλα βάθη η μέγιστη εδαφική υποχώρηση προσεγγίζεται με τη διαμόρφωση μεγάλων ανοιγμάτων, αφού $w = \tan \alpha \cdot h$.

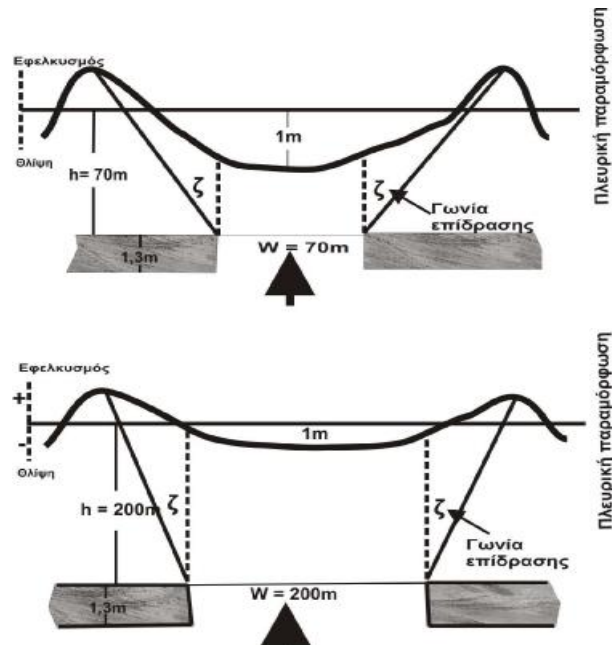
Δυο περιπτώσεις ρηχής και βαθιάς εκμετάλλευσης, όπου σε κάθε μία το εύρος εκσκαφής είναι το ίδιο με το ύψος των υπερκειμένων φαίνονται στο επόμενο Σχήμα.

(α) ο εκμεταλλεύσιμος ορίζοντας που έχει πάχος 1,3 βρίσκεται σε βάθος 70m και η μέγιστη εδαφική υποχώρηση 1m, με απότομη κατανομή των παραμορφώσεων.

Στην (β) περίπτωση (αυξημένο σημαντικά πάχος υπερκειμένων και ίδιο εύρος ανοίγματος), η εδαφική υποχώρηση είναι η ίδια, αλλά λόγω της γωνίας επίδρασης, αυτή εξαπλώνεται σε μεγάλη έκταση της επιφάνειας και οι εφελκυστικές και οι θλιπτικές τάσεις είναι επίσης περίπου ίδιες, αλλά με αμβλεία ανάπτυξη.

3.3.4. Το πάχος του ορίζοντα, που υφίσταται την εκμετάλλευση

Το πάχος του ορίζοντα επίσης επηρεάζει τις εδαφικές υποχωρήσεις. Συνήθως χρησιμοποιείται ο λόγος εδαφική υποχώρηση / πάχος $\times 100$, που καλείται παράγοντας εδαφικής υποχώρησης, για να εκφραστεί η σχέση πάχους εκμεταλλεύσιμου ορίζοντα και μέγιστης υποχώρησης, η οποία δεν θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη του 90% λόγω επίπλυσης των υλικών.



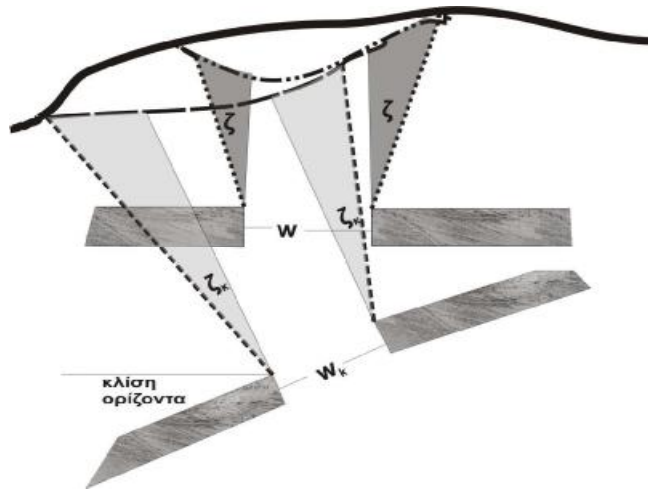
Σχήμα 3.11 Κατανομή των παραμορφώσεων σε ρηχή και βαθιά εκμετάλλευση.

3.3.5. Η κλίση του ορίζοντα που υφίσταται την εκμετάλλευση

Η κλίση του εκμεταλλεύσιμου ορίζοντα επηρεάζει την περιοχή που επηρεάζεται στην επιφάνεια του εδάφους. Η κλίση αυτή (επόμενο Σχήμα) επηρεάζει τη γεωμετρία της γωνίας επίδρασης και έτσι προς την κατεύθυνση της κλίσης η εδαφική υποχώρηση θα επεκτείνεται πολύ περισσότερο από ότι αν το στρώμα ήταν οριζόντιο. Πάντως, σε όλες τις περιπτώσεις η μέγιστη τιμή της εδαφικής υποχώρησης εκδηλώνεται κάθετα στο κέντρο του υπόγειου ανοίγματος.

3.3.6. Η μέθοδος και ο τύπος της υποστήριξης

Η οροφή της στοάς εκμετάλλευσης καταρρέει γιατί συνήθως δεν υπάρχει ικανή αντιστήριξη αυτής ώστε να αντεπεξέλθει στις τάσεις που θα αναπτυχθούν. Στις περιπτώσεις όμως που είναι ανάγκη να μειωθεί η εδαφική υποχώρηση στην επιφάνεια γιατί ο χώρος θα χρησιμοποιηθεί για τη θεμελίωση κάποιας σπουδαίας κατασκευής, υπάρχουν τρόποι για να μειωθεί αυτή σημαντικά ή και να μην εκδηλωθεί καθόλου.



Σχήμα 3.12 Επίδραση της κλίσης του εκμεταλλεύσιμου οριζοντα στην έκταση που επηρεάζεται στην επιφάνεια.

Ένας τρόπος, όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι η πλήρωση του χώρου με τα στεία υλικά που έχουν συσσωρευτεί κοντά στους κεντρικούς φινιές. Τα υλικά αυτά πέρα από το ότι είναι πολλές φορές επικίνδυνα υλικά αλλά και δύσσομα, μπορεί να προκαλέσουν αστοχίες πρικών όπως κατολισθήσεις, ροές κλπ. Η μέθοδος αυτή, δηλαδή το στοίβασμα των υλικών αυτών (φθινή μέθοδος) αρχικά γινόταν σε επιμήκεις σωρούς κάθετα στο μέτωπο και στη συνέχεια κάθετα και παράλληλα σε αυτό, αλλά και πάλι οι εδαφικές υποχωρήσεις δεν μειώθηκαν πέραν του 25% της ολικής (εδαφική υποχώρηση >75%).

Στη συνέχεια η μέθοδος μετεξελίχθηκε σε αυτήν της ολικής πλήρωσης με υλικά χωρίς επεξεργασία, που όμως απαιτεί την εξεύρεση πρόσθετων υλικών από άλλες θέσεις (ακριβή μέθοδος) και χωρίς πολύ ουσιαστικά αποτελέσματα αφού η εδαφική υποχώρηση μειώθηκε στο 60% της αρχικής.

Με στόχο την ουσιαστική μείωση των εδαφικών υποχωρήσεων το υλικό κονιοποιήθηκε και εισπύεστηκε μέσα στα υπόγεια ανοίγματα με κατάλληλη πρέσα. Η μέθοδος αυτή μειώνει τις εδαφικές υποχωρήσεις στο 50% των αρχικών αλλά είναι πολύ ακριβή.

3.3.7. Ο παράγων χρόνος

Ο αρμόδιος γεωτεχνικός που μελετάει το έδαφος θεμελίωσης κατασκευών σε περιοχές με φαινόμενα εδαφικών υποχωρήσεων, πρέπει να ξέρει πόσο πρέπει να περιμένει μετά την αρχική εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων, πριν προχωρήσει σε τελικούς σχεδιασμούς. Η εμπειρία λέει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό μιας εδαφικής υποχώρησης εκδηλώνεται μέσα σε λίγες εβδομάδες, δηλαδή μέχρι το μέτωπο να περάσει από το χώρο έρευνας, αλλά γενικά αυτή η εκδήλωση εξαρτάται από το βάθος εξόρυξης, το εύρος του χώρου υπόγειας δραστηριότητας, καθώς και την πρόοδο των εργασιών (ρυθμός προχώρησης). Ακόμη όμως και σε εκμεταλλεύσεις μικρού βάθους υπάρχει ένα μικρό ποσοστό μακροχρόνιας εδαφικής υποχώρησης (περίπου 5%) που οφείλεται στην ομαλή καθίζηση των υλικών που υποχώρησαν.

3.3.8. Η παρουσία ασυνεχειών στον περιβάλλοντα σχηματισμό της εκμετάλλευση

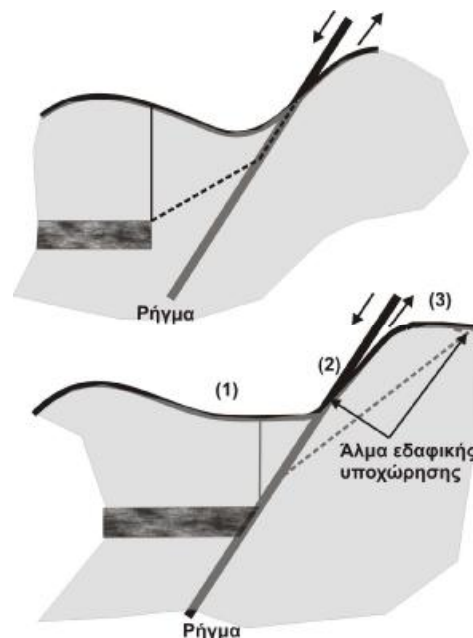
Γενικά η κατανομή της παραμόρφωσης του εδάφους που υφίσταται μια εδαφική υποχώρηση αλλοιώνεται από την παρουσία ρηγμάτων. Αν για παράδειγμα μια εκμετάλλευση προχωρεί προς ένα ρήγμα, τότε όλη η παραμόρφωση αναπτύσσεται κατά μήκος του ρηγματος, πριν η υπόγεια διάνοιξη το προσεγγίσει. Όταν το συναντήσει η εδαφική υποχώρηση θα μεταφερθεί απότομα πίσω από το ρήγμα στη θέση που ορίζει η γωνία επίδρασης (επόμενο Σχήμα).

Οι περισσότερες περιοχές όπου αναπτύσσονται υπόγειες εκμεταλλεύσεις βρίθουν ρηγμάτων και μειζόνων διαρρήξεων, πολλές από τις οποίες ενεργοποιούνται ξανά με την προσέγγιση της υπόγειας εκμετάλλευσης. Έτσι οι γεωτεχνικοί θα πρέπει να είναι πολύ προσεκτικοί στην επιλογή των χώρων θεμελίωσης.

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 3.13 η θέση (1) είναι η καλύτερη (σημειώνεται κατακόρυφη υποχώρηση), αντίθετα με τη θέση (2) όπου πιθανή είναι η διαφορική υποχώρηση και τη θέση (3) όπου η απότομη μεταφορά της υποχώρησης δημιουργεί ταχείες παραμορφώσεις.

Διαρρήξεις και άλλων μορφών ασυνέχειες μπορεί να επηρεαστούν από τη μεταλλευτική δραστηριότητα, καθώς ανοίγουν κάτω από την επίδραση των εφελκυστικών τάσεων, με αποτέλεσμα την εκδήλωση στροφών έως και ανατροπών μεγάλου όγκου βραχωδών μαζών.

Επιπρόσθετα, διευκολύνουν τη μετάδοση σε μεγάλη απόσταση μικροσεισμών που μπορεί να σχετίζονται με τις εδαφικές υποχωρήσεις από μεταλλευτική δραστηριότητα. Τέτοιοι μικροσεισμοί έχουν παρατηρηθεί σε αρκετές περιοχές που σταματούν με την παύση της υπόγειας εκμετάλλευσης και ξαναρχίζουν όταν αυτή αρχίζει ξανά.



Σχήμα 3.13 Σχηματική απεικόνιση της επίδρασης ρηγματος στις εδαφικές υποχωρήσεις.

3.3.9. Η φυσική κατάσταση των σχηματισμών πάνω από τις εργασίες εκμετάλλευσης

Οι εδαφικές κινήσεις που φθάνουν στην επιφάνεια από μεταλλευτικές δραστηριότητες επηρεάζονται από την ποικιλία της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των υπερκειμένων σχηματισμών και ειδικότερα αυτών που είναι κοντά στην επιφάνεια, αλλά και των επιφανειακών αποθέσεων. Γενικά πάντως η αντίδραση των επιφανειακών σχηματισμών στις εδαφικές υποχωρήσεις είναι απρόβλεπτη.

Οι ασυνέχειες στη βραχομάζα όπως ήδη έχει λεχθεί παίζουν σημαντικό ρόλο και συνεπώς το πόσο κερματισμένο είναι ένα πέτρωμα επηρεάζει την αντίδρασή του στις υποχωρήσεις. Έτσι, για παράδειγμα σε ένα ασβεστόλιθο μαζώδη με αραιά συστήματα, καθώς οι αντοχές αυξάνουν και η απόσταση των ασυνεχειών μεγαλώνει, οι κινήσεις συγκεντρώνονται στις θέσεις κύριων ασυνεχειών.

Ακόμη φακοί συνεκτικότερων πετρωμάτων μέσα στη μάζα πιο μαλακών σχηματισμών (π.χ. ψαμμιτικοί φακοί μέσα σε σχιστόλιθο) τείνουν να ανυψωθούν από τις συμπιεστικές τάσεις με προφανή τα αποτελέσματα στις κατασκευές.

Γενικά τα πετρώματα πάνω από τις υπόγειες εκμεταλλεύσεις μπορεί να είναι διαφορετικά από αυτό που φιλοξενεί τον εκμεταλλεύσιμο ορίζοντα, που συνήθως έχει πλήρως διερευνηθεί.

Αυτή η γνώση μεταφράζεται σε ορισμένους χαρακτηριστικούς δείκτες όπως η γωνία επίδρασης. Για παράδειγμα στην Αγγλία η γωνία επίδρασης είναι 35°-38°, στην Πολωνία 50°-52°, στην Ολλανδία 40°-42° και στην Ελλάδα περίπου 45°. Συνεπώς, η γεωλογική – τεχνικογεωλογική έρευνα πρέπει να περιλάβει με λεπτομέρεια και τους υπερκείμενους σχηματισμούς.

3.3.10. Καθεστώς υπόγειου νερού

Σημαντικός παράγοντας που δημιουργεί πρόσθετα προβλήματα σε περίπτωση εδαφικών υποχωρήσεων είναι το καθεστώς του υπόγειου νερού.

Αν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ υψηλός (για παράδειγμα στα 2m βάθος) και οι αναμενόμενες εδαφικές υποχωρήσεις είναι αυτού του μεγέθους, τότε η περιοχή θα καταστεί ακατάλληλη για χρήση αφού θα πλημμυρίσει. Σε τέτοιες περιοχές πρέπει να περιοριστεί σημαντικά το μέγεθος των εδαφικών υποχωρήσεων.

Επιπρόσθετα η ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου επιφέρει την πλήρωση των παλαιών εκμεταλλεύσεων και συνεπώς δραστικές μεταβολές στη φυσική κατάσταση σχηματισμών επιρρεπών σε διογκώσεις κλπ, όπως μερικές μάργες πλούσιες σε μοντμοριλλονίτη. Οι μεταβολές αυτές επιταχύνουν την κατάρρευση των στοών και τη μετανάστευση του κενού στην επιφάνεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΚΑΘΙΖΗΣΕΩΝ

Γενικά

Στον τομέα της αντιμετώπισης των καθιζήσεων δύο είναι οι κύριες κατηγορίες μέτρων που διακρίνονται. Πρόκειται για α) τα μέτρα πρόληψης και β) μέτρα ανάσχεσης - ανακοπής. Η επιτυχία και των δύο ειδών μέτρων εξαρτάται από την επαρκή γνώση των παρακάτω χαρακτηριστικών:

- Της γεωλογικής δομής της περιοχής.
- Των υδρογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν.
- Των γεωτεχνικών παραμέτρων των γεωλογικών σχηματισμών που επηρεάζονται.
- Των εδαφοτεχνικών και βραχομηχανικών μεγεθών των σχηματισμών που καθιζάνουν ή υπάρχει περίπτωση να καθιζήσουν.

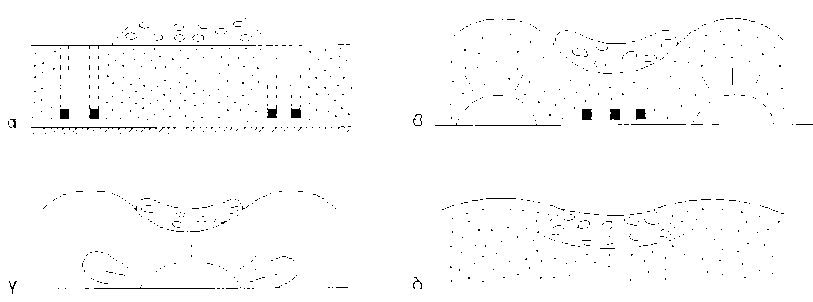
Να σημειωθεί επίσης ότι οποιοδήποτε έργο αντιμετώπισης και αν εφαρμοστεί, αυτό μπορεί να αχρηστευτεί αν δε συντηρείται επαρκώς. Πολύ συχνά είναι τα φαινόμενα της απόφραξης των αγωγών αποστράγγισης, και επακόλουθη μείωση των συντελεστών ασφαλείας ενός έργου.

4.1. Μέτρα πρόληψης

4.1.1 Μέθοδοι βελτίωσης του υπεδάφους

Η κατασκευή υψηλών οδικών επιχωμάτων παρουσιάζει προβλήματα, όταν το έδαφος αποτελείται από συμπιεστά υλικά: αργιλώδη, ιλυώδη και οργανικά εδάφη. Το μέγεθος της καθίζησης είναι σημαντικό και η διάρκεια του φαινομένου μπορεί να ξεπεράσει τα 5 χρόνια σε υλικά μικρής διαπερατότητας και συμπιεστά στρώματα μεγάλου πάχους. Για την αντιμετώπιση ανάλογων καταστάσεων, εφαρμόζονται βελτιωτικές μέθοδοι, οι οποίες έχουν στόχο να αποκαταστήσουν την ισορροπία του συστήματος "επίχωμα-υπέδαφος" στο βραχύτερο δυνατό χρόνο, περιορίζοντας ταυτόχρονα το μέγεθος των καθιζήσεων. Οι κυριότερες από τις μεθόδους αυτές, οι οποίες εκ παραλλήλου, μπορεί να αυξάνουν τη μηχανική αντοχή και να μειώνουν κινδύνους ολίσθησης ή ρευστοποίησης του υπεδάφους, είναι:

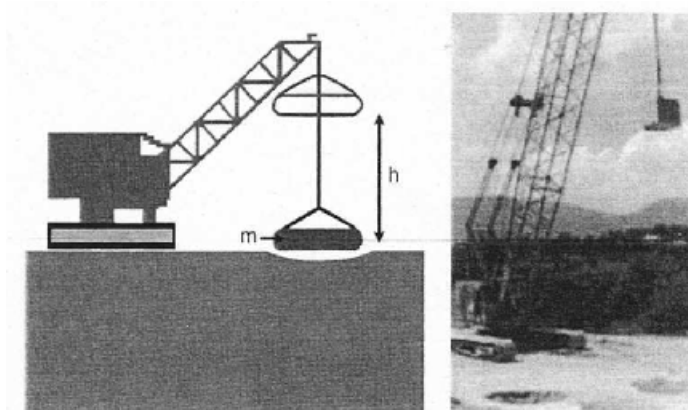
- Η μερική ή ολική αντικατάσταση του υπεδάφους. Εκτελείται, πριν αρχίσουν οι εργασίες επιχωμάτωσης, εκσκαφή σε βάθος ανάλογο με το πάχος του συμπιεστού στρώματος και απομάκρυνση του υλικού. Στη συνέχεια τοποθετείται στη θέση του υγιές υλικό, συνήθως θραυστό λατομείου ή κροκάλες, μέχρι την επιφάνεια του εδάφους και για τον λόγο αυτόν, η τεχνική αυτή ονομάζεται και εξυγίανση του υπεδάφους. Η μέθοδος είναι δυνατό να συνδυασθεί με την τεχνική των εκρήξεων, όπου η απομάκρυνση του υλικού επιτυγχάνεται δια πυροδότησης εκρηκτικών που έχουν τοποθετηθεί στον πυθμένα του συμπιεστού στρώματος και συγχρόνως το θραυστό υλικό που ευρίσκεται στην επιφάνεια μετατοπίζεται κατακόρυφα λόγω ιδίου βάρους (Σχ. 4.1).



Σχήμα 4.1. Αντικατάσταση υπεδάφους με εκρηκτικών.

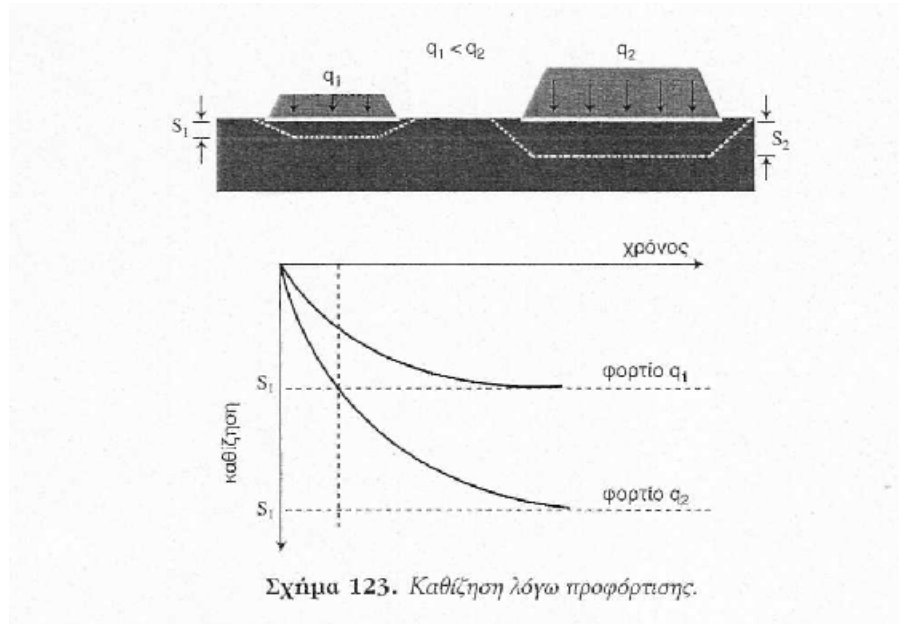
- Η δονητική συμπίκνωση που εφαρμόζεται για αύξηση της φέρουσας ικανότητας χονδρόκοκκων εδαφών. Καταλληλότερα για εφαρμογή της τεχνικής αυτής είναι εδάφη με μικρό ποσοστό λεπτόκοκκων (< 15%). Η τεχνική απαιτεί ειδικό εξοπλισμό που αποτελείται από ένα δονούμενο έμβολο μεγάλου βάρους ανηρημένου σε έναν ερπυστριοφόρο γερανό. Το έμβολο διεισδύει λόγω ασκούμενης πίεσης στο έδαφος και, μέσω της δόνησης, προκαλεί συμπίκνωση σε μια ακτίνα 2,50 m. Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για βελτίωση χαρακτηριστικών υπεδάφους μέχρι βάθος 10 m (Σχ.4.1).

- Η δυναμική συμπίκνωση χρησιμοποιείται για βελτίωση αμμοδών εδαφών. Η τεχνική συνίσταται στην πτώση ενός μεγάλου φορτίου (5-10t) από ένα υψος 5-10 m. Το φορτίο είναι ανηρημένο σε ερ-πυστριοφόρο γερανό και αφήνεται να προσπέσει στην επιφάνεια του προς συμπίκνωση υπεδάφους. Η τεχνική είναι αρκετά δημοφιλής στη Γαλλία όπου πολύ μεγάλα φορτία χρησιμοποιούνται για συμπίκνωση αμμοδών, αμμοϊλυωδών και αργιλοϊλυωδών εδαφών. Η ενέργεια ανά κτύπο είναι $E = mgh$, όπου h το ύψος πτώσης του φορτίου. Η ακτίνα εμβέλειας της τεχνικής είναι $a = n\sqrt{lmh}$, όπου n εμπειρικός συντελεστής με τιμές $n = 0,5-1$ για αμμώδη εδάφη, $n = 0,3-0,5$ για αργιλικά εδάφη (Σχ. 4.2).



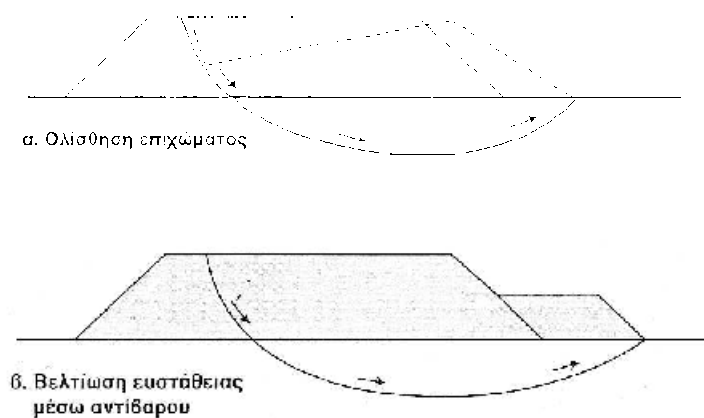
Σχήμα 4.2 Δυναμική συμπίκνωση.

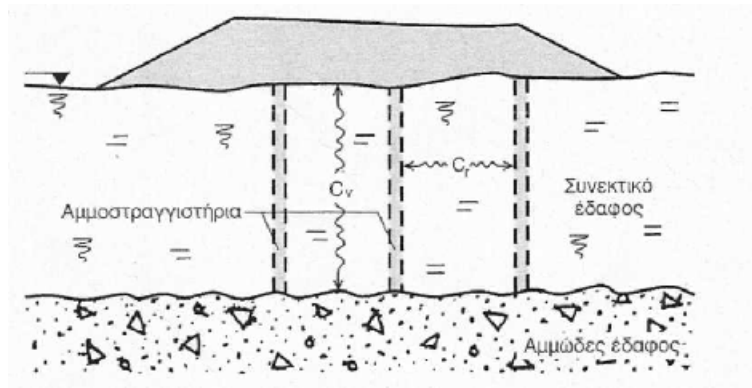
• Η προφόρτιση που εφαρμόζεται για να επιταχυνθεί η διαδικασία της στερεοποίησης συνεκτικών εδαφών υπό την επίδραση αυξημένου κατακόρυφου φορτίου. Το πρόσθετο φορτίο Δs , συνήθως από εδαφικά ή θραυστά υλικά επί της στέψης του επιχώματος, αφαιρείται στην τελική φάση κατασκευής για να τοποθετηθεί το οδόστρωμα (Σχ. 4.3). Για την εκτέλεση της προφόρτισης απαιτείται προηγουμένως έλεγχος της ευστάθειας του επιχώματος το οποίο κινδυνεύει να ολισθήσει υπό την επίδραση αυξημένου φορτίου αν η διατμητική αντοχή του υπεδάφους είναι μικρή.



• Η κατασκευή πλευρικών αναχωμάτων. Πρόκειται για τεχνική που χρησιμοποιείται για αποτροπή της ολίσθησης του επιχώματος, μέσω της αύξησης των δυνάμεων και της ροπής αντύπασης (Σχ. 4.4).

• Η σταδιακή κατασκευή. Όταν το συνολικό φορτίο του επιχώματος είναι μεγάλο, ο κίνδυνος ολίσθησης είναι σημαντικός σε υπεδάφη μικρής διατμητικής αντοχής ($c_u < 0,5 \text{ kg/cm}^2$). Δια της σταδιακής κατασκευής επιχώματος επί συνεκτικού υπεδάφους, εξασφαλίζεται προοδευτική αύξηση της διατμητικής αντοχής στο υπεδάφος παράλληλα με την αύξηση της ενεργού κατακόρυφης τάσης σ' . Εργαστηριακές εμπειρίες έχουν καταγράψει μια σχέση της μορφής:





Σχήμα 125. Εκτέλεση κατακόρυφων στραγγιστηριών.

$$\Delta\sigma H = \alpha \Delta\sigma' 0$$

με συντελεστή $\alpha = 0,20$. Έτσι η σταδιακή αύξηση της ενεργού τάσης δημιουργεί σε κάθε χρονική στιγμή τις απαραίτητες συνθήκες ευστάθειας του επιχώματος.

- Η εκτέλεση αμμοστραγγιστηρίων και χαλικοπασσάλων που ενδείκνυται για βελτίωση λεπτόκοκκων εδαφών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για επιτάχυνση του φαινομένου της στερεοποίησης. Κατά την εφαρμογή της τεχνικής αυτής η αποστράγγιση εκτελείται προς δυο διευθύνσεις: με συντελεστή C_v για την κατακόρυφη αποστράγγιση και συντελεστή C_t για την ακτινική αποστράγγιση (Σχήμα 4.5). Οι χαλικοπάσσαλοι, παράλληλα με την παραπάνω ευεργετική επίδραση, παραλαμβάνοντας ένα μέρος του φορτίου, μειώνουν κατά ένα ποσοστό το μέγεθος της τελικής καθίζησης.

- Η χημική επεξεργασία. Είναι μέθοδος που αποσκοπεί στη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους έδρασης του επιχώματος μέσω διάχυσης καταλλήλων ενεμάτων (τσιμέντου, ασφαλτοϋδαρών, μπεντονίνη). Συνήθως η τεχνική των ενεμάτων χρησιμοποιείται σε χονδρόκοκκα εδάφη και κατακερματισμένους βράχους.

Πολλές από τις ως άνω μεθόδους, αλλά και ορισμένες άλλες, συνδυάζονται με χρήση γεωσυνθετικών υλικών που αποτελούν πλέον ένα ικανότατο εργαλείο για αντιμετώπιση προβλημάτων μηχανικής συμπεριφοράς σε γεωκατασκευές οδοποιίας.

4.2 Μέτρα Ανάσχεσης – Ανακοπής

Τα μέτρα ανασχεσης – ανακοπής είναι τα μέτρα που λαμβάνονται μετά την εμφάνιση της καθίζησης.

Τα στοιχεία θεμελίωσης είναι τα σημαντικότερα από πλευράς ασφάλειας στοιχεία του δομικού συστήματος. Τυχούσα αστοχία τους ή μη καλή μεταφορά των φορτίων στο έδαφος επιβάλλει να γίνει κατάλληλη ενίσχυσή τους. Τεχνικές και πρακτικές που έχουν αναπτυχθεί για την ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης παρουσιάζουμε σε αυτήν την εργασία, καθώς και οπτικές ενδείξεις για την ανάγκη τέτοιων επεμβάσεων. Σε περιπτώσεις που δεν αστοχούν τα θεμέλια αλλά το έδαφος θεμελίωσης, εφαρμόζουμε μεθόδους ενίσχυσης του εδάφους, κάποιες από τις οποίες επίσης αναφέρονται συνοπτικά αν και δεν αποτελούν κάθε αυτό ενίσχυση των στοιχείων θεμελίωσης, εντούτοις είναι προϋπόθεση για τη σωστή μεταφορά των φορτίων η επαρκής αντοχή του εδάφους θεμελίωσης.

4.2.1 Μέθοδοι ενίσχυσης του εδάφους θεμελίωσης

Εκτός από τις τεχνικές επέμβασης στα θεμέλια που έχουν υποστεί βλάβη, οι οποίες και θα αναφερθούν παρακάτω, θα κάνουμε μια σύντομη αναφορά στις διάφορες μεθόδους ενίσχυσης του εδάφους το οποίο φέρει τη θεμελίωση. Θα αναφέρουμε:

- Βελτίωση του υπεδάφους με διαπότιση και αγκύρωση.
- Αύξηση της ασφάλειας κατά θραύση του εδάφους.

4.2.1.1 Βελτίωση του εδάφους με διαπότιση και αγκύρωση

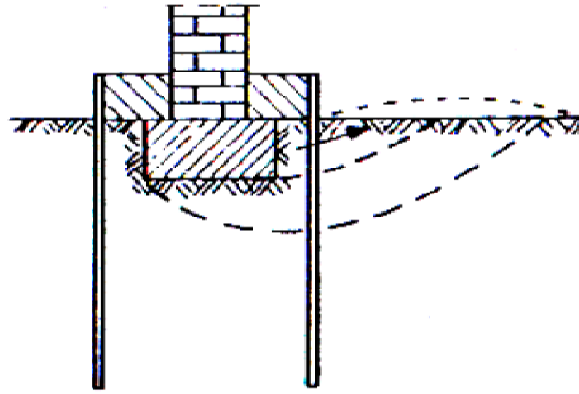
Η συγκεκριμένη μέθοδος συντελεί στην αύξηση της αντοχής του εδάφους και στην αποφυγή καθιζήσεων και ρωγμών οπότε από τη σκοπιά αυτή αποτελεί ενδεδειγμένη μέθοδο για την πρόληψη ακόμα βλαβών στα στοιχεία θεμελίωσης. Συνίσταται στη διαπότιση του εδάφους του υποκείμενου των στοιχείων θεμελίωσης με κατάλληλα διαλύματα, γαλακτώματα και αιωρήματα τα οποία δημιουργούν μια κατάσταση απολίθωσης και μεγαλώνουν την επιφάνεια έδρασης της θεμελίωσης. Αυτό οφείλεται στο ότι τα μέσα αυτά κλείνουν τα κενά του εδαφικού υλικού (πόροι, πτυχώσεις, ρωγμές, αρμοί) και έτσι η αντοχή του βελτιώνεται.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη διαπότιση του εδάφους ποικίλουν ανάλογα με το είδος του εδάφους και την κοκκομετρική του διαβάθμιση, και περιλαμβάνουν κοινό τσιμέντο με ή χωρίς άμμο, τσιμέντο αλεσμένο πολύ λεπτά, μίγματα τσιμέντου-μπετονίτη, χημικά διαλύματα όπως η ορυκτή γέλα, οργανικές ρητίνες ή ασφαλτικά γαλακτώματα. Τσιμεντενέσεις σε συνεκτικά εδάφη δεν είναι δυνατές. Βέβαια δεν επιδέχονται όλα τα εδάφη αυτή τη μέθοδο. Την επιδέχονται κατά βάση όλα τα εδάφη που διαρρέονται από νερά.

Οι διατρήσεις για την εκτέλεση των ενέσεων διαπότισης γίνονται έτσι ώστε οι περιοχές τους να είναι κλειστές για να μην απομένουν ασυμπέστες ζώνες. Επίσης πρέπει να πυκναίνουν οι διατρήσεις σε περιπτώσεις μικρής διαπερατότητας του υπεδάφους, μεγαλύτερης οξύτητας του υλικού διαπότισης σε σχέση με το έδαφος, και χαμηλής πίεσης καταθλίψεως του υλικού μέσα στο έδαφος.

4.2.1.2 Αύξηση της ασφάλειας κατά θραύση του εδάφους

Όταν ο κίνδυνος έγκειται στη θραύση του εδάφους, δεν εφαρμόζεται η βελτίωσή του αλλά η παρεμπόδιση της πλευρικής διαφυγής του λόγω διογκώσεως, δηλαδή της θραύσης του, με τη βοήθεια ασφαλιστικών διατάξεων εκατέρωθεν και κατά μήκος του συνεχούς θεμελίου. Μια τέτοια εφαρμογή είναι η έμπηξη πασσαλοσανίδων σε σειρά, οπότε μετατοπίζεται η επιφάνεια ολισθήσεως προς τα κάτω τόσο πολύ ώστε να δημιουργείται συνεργασία ενός μεγάλου σώματος γαιών σαν αντίβαρο προς το φορτίο μετακινήσεως (Σχήμα 4.6)



Σχήμα 4.6 Αύξηση της ασφάλειας κατά θραύση εδάφους με πασσαλοσανίδες

4.2.2 Ενδείξεις Αστοχίας Θεμελίων

Στο εξωτερικό του σπιτιού, ενδείξεις αστοχίας των στοιχείων θεμελίωσης είναι ρωγμές που συνήθως εμφανίζονται στα πιο αδύναμα σημεία της τοιχοποιίας, δηλαδή γύρω από ανοίγματα. Ρωγμές τέτοιου είδους μπορούν να εμφανιστούν και σαν οριζόντιος διαχωρισμός λόγω της διαφορετικής καθίζησης των θεμελίων, Φωτ. 4.1. Επίσης, συνηθέστατη ένδειξη είναι τυχόν διαχωρισμός της καμινάδας από το υπόλοιπο κτίριο, Φωτ. 4.2. Οι μεγάλες καμινάδες αντιπροσωπεύουν ευμεγέθη σημειακά φορτία στη βάση της θεμελίωσης, δηλαδή μεγάλο βάρος συγκεντρωμένο σε μικρή επιφάνεια. Άλλη ένδειξη είναι δημιουργία κενού, στα ανοίγματα (πόρτες και παράθυρα), μεταξύ του τοίχου και του κουφώματος, Φωτ. 4.3.

Στο εσωτερικό του σπιτιού, ενδείξεις αποτελούν διαγώνιες ρωγμές στις γωνίες στις κάσες πορτών και παραθύρων, καθώς και πόρτες που δεν κλείνουν, Φωτ. 4.6. Επίσης, ρωγμές στην διασταύρωση των τοίχων με το ταβάνι, μη επιπεδότητα των δαπέδων.



Φωτογραφία 4.1 Οριζόντια διαχωριστική ρωγή σε εξωτερικό τοίχο



Φωτογραφία 4.2 Διαχωρισμός καμινάδας από τη στάθμη της στέγης



Φωτογραφία 4.6 Διαγώνιες ρωγμές σε εσωτερικό τοίχο

4.2.3 Μέθοδοι ενίσχυσης και επισκευής στοιχείων θεμελίωσης

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε τους εξής τρόπους ενίσχυσης και επισκευής στοιχείων θεμελίωσης:

1. Αύξηση διαστάσεων των υαρχόντων θεμελίων
2. Κατασκευή νέων θεμελίων πλησίον των υαρχόντων
3. Κατασκευή υποθεμελίωσης
4. Αύξηση της ασφάλειας έναντι ανατροπής και ολίσθησης.

4.2.3.1 Αύξηση διαστάσεων των υαρχόντων θεμελίων

Αυτή πραγματοποιείται κυρίως με τη χρήση μανδύα σκυροδέματος σε συνδυασμό με τοποθέτηση νέων οπλισμών. Παρακάτω αναπτύσσονται διάφορες τεχνικές.

Στην περίπτωση που τα στοιχεία θεμελίωσης είναι πέδιλα και παράλληλα με αυτά ενισχύεται και το φέρον κατακόρυφο στοιχείο (υποστύλωμα ή τοίχωμα), η τεχνική επέμβασης φαίνεται στο Σχήμα 4.7. Ο μανδύας τοποθετείται περιμετρικά του πεδίου κατά τρόπο ώστε να αυξάνονται οι διαστάσεις του σε όψη και κάτοψη. Έτσι στη βάση του πεδίου μπαίνει σαν περιμετρικός δακτύλιος με κλειστούς συνδετήρες που λόγω του μεγάλου μήκους τους κατασκευάζονται με τμήματα υπερκαλυπτόμενα στα άκρα τους, ούτως ώστε να μπορούν να παραληφθούν οι δυνάμεις εκτροπής που δημιουργούνται για τη μεταφορά των αξονικών δυνάμεων του μανδύα στο έδαφος ή αντίστροφα των εδαφικών πιέσεων προς το μανδύα (Σχήμα 4.7). Επιπλέον απαιτείται και επαρκής αγκύρωση των οπλισμών στην περιοχή περιμετρικά της βάσης του παλαιού θεμελίου, για να μεταφερθούν επαρκώς οι προαναφερθείσες πρόσθετες κατακόρυφες αντιδράσεις του εδάφους καθώς και οι λοξές δυνάμεις εντός του μανδύα του πεδίου. Αν χρησιμοποιηθούν διατμητικοί σύνδεσμοι (βλήτρα) στις διεπιφάνειες παλαιού και νέου πεδίου, η ανάγκη για παραλαβή των δυνάμεων εκτροπής είναι μειωμένη.

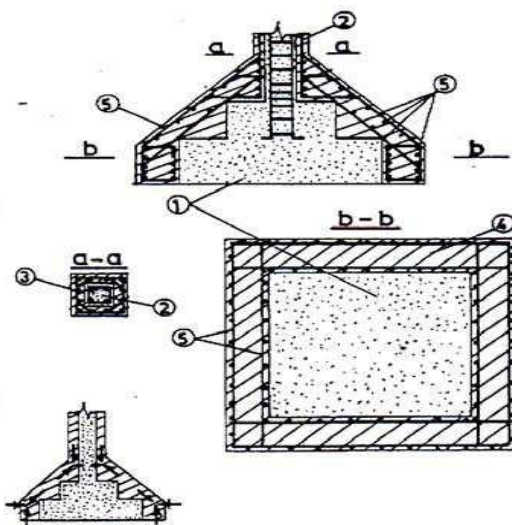
Στην περίπτωση που τα στοιχεία θεμελίωσης είναι πέδιλα ή και πεδιλοδοκοί και η τεχνική επέμβασης δεν περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου, ο

χρησιμοποιούμενος μανδύας φαίνεται στο Σχήμα 4.8. Σε αυτήν την τεχνική, ο μανδύας επεκτείνεται και κάτω από το παλιό πέδιλο (ή πεδιλοδοκό) έτσι ώστε οι εδαφικές πιέσεις να μεταφερθούν απ' ευθείας σε αυτό το υπάρχον σώμα του παλαιού πεδίου. Μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η δυσκολία στην εφαρμογή της καθώς απαιτείται περιμετρική εκσκαφή κάτω από το παλιό πέδιλο οπότε και χρήση προσωρινών διατάξεων στήριξης που συνήθως είναι μεταλλικές διατομές διπλού ταν που τελικά ενσωματώνονται στο τμήμα του νέου πεδίου.

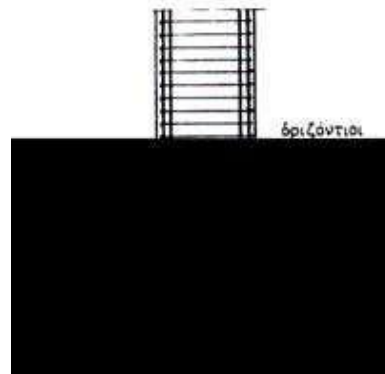
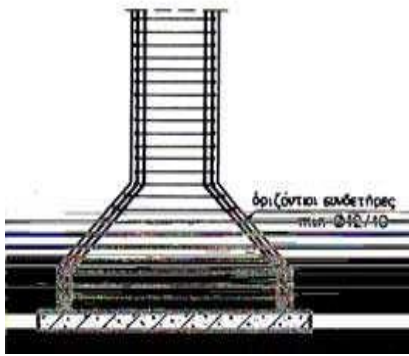
Με βάση τις παραπάνω δύο μεθόδους και δεδομένων των κατασκευαστικών δυσκολιών της δεύτερης, θα μπορούσε να προταθεί η χρήση της πρώτης μεθόδου για όλες τις περιπτώσεις όπου απαιτείται αύξηση της επιφάνειας βάσης των στοιχείων θεμελίωσης, είτε αυτά είναι πέδιλα είτε πεδιλοδοκοί, και ακόμα και όταν ο μανδύας δεν επεκτείνεται και στα κατακόρυφα φέροντα στοιχεία. Σε αυτή την πρώτη μέθοδο, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διατμητικοί σύνδεσμοι ομοιόμορφα κατανομημένοι στις διεπιφάνειες παλαιού-νέου σκυροδέματος για να παραλάβουν το σύνολο της εδαφικής πίεσης που ασκείται στο νέο στοιχείο θεμελίωσης.

Υπάρχει και η δυνατότητα αύξησης των διαστάσεων του πεδίου χωρίς άμεση ενίσχυση του ίδιου, αλλά μέσω της σύνδεσης του μανδύα του υποστυλώματος στο πέδιλο. Στα Σχήματα 4.9 και 4.10 φαίνεται ο μανδύας σε περίπτωση βλάβης του υποστυλώματος του κατώτατου ορόφου, ο οποίος στην περίπτωση αυτή πρέπει να περιβάλλει και τα πέδιλα. Πρέπει να καλύπτει τουλάχιστον το μισό του ύψους του πεδίου και να περιλαμβάνει κλειστούς οριζόντιους συνδετήρες τουλάχιστον A 12/10. Για την αγκύρωση των οπλισμών του υποστυλώματος στο τέλος του μανδύα στο πέδιλο, κατασκευάζονται «φωλιές» όπου εγκιβωτίζονται οι οριζόντιοι οπλισμοί.

- 1- παλιό πέδιλο
- 2- παλιό υποστύλωμα
- 3- μανδύας
- 4- νέο υποστύλωμα
- 5- νέος οπλισμός

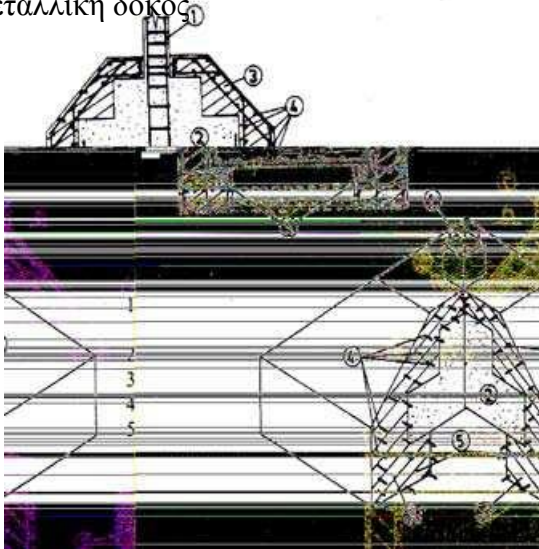


Σχήμα 4.7 Ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου.



Σχήματα 4.8 και 4.9 Μανδύας πεδίου από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

- 1- παλαιό υποστύλωμα
- 2- παλαιό πέδιλο
- 3- νέο σκυρόδεμα
- 4- νέος οπλισμός
- 5- μεταλλική δοκός

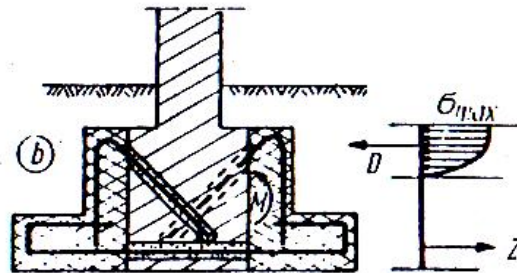
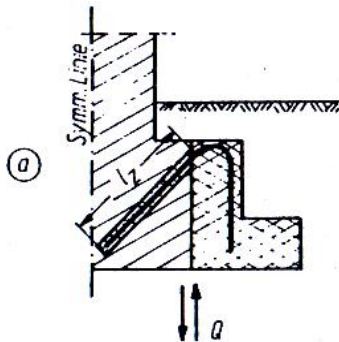


Σχήμα 4.10 Ενίσχυση πεδίων με την τεχνική των μανδύων, όταν η επέμβαση δεν περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου.

Αυτές οι μέθοδοι αύξησης των διαστάσεων των στοιχείων θεμελίωσης παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι υπάρχουν δυσχέρειες στην μεταβίβαση τεμνουσών δυνάμεων και ροπών, επιπλέον του γεγονότος ότι το έδαφος είναι προφορτισμένο από τα υπάρχοντα θεμέλια.

Αυτές οι δυσχέρειες αντιμετωπίζονται με κατάλληλη τοποθέτηση οπλισμού. Για τη μεταβίβαση των τεμνουσών από τα νέα τμήματα του θεμελίου, που προτού δημιουργηθούν καθιζήσεις είναι ελεύθερα τάσεων, προς το παλαιό θεμέλιο το οποίο συνήθως θα έχει λείες παρειές, δημιουργείται μια οδόντωση, Σχήμα 4.11. Επίσης, ράβδοι χάλυβα οι οποίες θα τοποθετηθούν σε κανάλια που θα διατηρηθούν λοξά και χωρίς δονήσεις συμμετέχουν στη μεταβίβαση των τεμνουσών. Πρέπει κατάλληλα να εκλεγεί και το μήκος αγκύρωσης των ράβδων. Η μεταβίβαση των καμπτικών ροπών, που δημιουργούνται από την εκκεντρότητα των νέων τμημάτων του θεμελίου ως προς τον άξονα του υπερκείμενου τοίχου, γίνεται ξεχωριστά, αφού αναλυθούν σε ζεύγη δυνάμεων, Σχήμα 4.12. Η επάνω θλιπτική δύναμη μεταβιβάζεται εξ επαφής προς την πλευρά του θεμελίου, οπότε η τοιχοποιία θα περιορίσει με

την σχετικώς μικρή επιτρεπόμενη πίεση την θλιπτική δύναμη και άρα και το πλάτος της ενίσχυσης. Η κάτω εφελκυστική δύναμη μεταβιβάζεται μέσω ράβδων χάλυβα που μπαίνουν ύστερα από διάτρηση και περιβάλλονται από μπετόν, και που μπορούν προκειμένου περί στενών θεμελίων να τεθούν μα ανάκαμψη.



Σχήμα 4.11 Ανάλυση της τέμνουσας δύναμης Σχήμα 4.12 Ανάλυση καμπτικής ροπής

Όταν γίνεται χρήση μανδύων από σκυρόδεμα, πρέπει να εξασφαλίζεται επαρκής συνεργασία παλαιού και νέου σκυροδέματος, η οποία από κατασκευαστικής άποψης επιτυγχάνεται με την παρακάτω διαδικασία:

1. Αποκοπή της επιφανειακής στρώσης σκυροδέματος με βλάβες και διαμόρφωση κοιλιοτήτων για να υποδεχτούν το νέο σκυρόδεμα.

2. Εκτράχυνση της επιφάνειας με μηχανικά μέσα

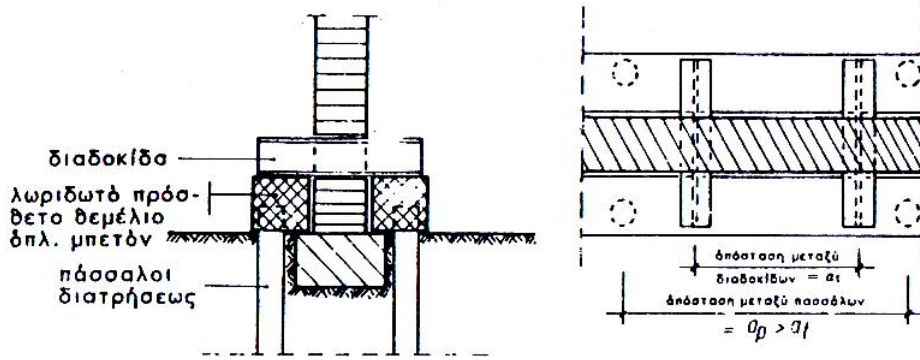
3. Πλύση της επιφάνειας με νερό υπό πίεση

4. Διαβροχή της επιφάνειας παλαιού σκυροδέματος μέχρι κορεσμού

4.2.3.2 Κατασκευή νέων θεμελίων

Συνήθως επιβάλλεται λόγω δημιουργίας πρόσθετων φορτίων τα οποία καλείται να αναλάβει η κατασκευή, κυρίως λόγω προσθήκης ορόφων. Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή της κατασκευής νέων θεμελίων είναι η υποστήριξη τοίχων με τη βοήθεια νέων πρόσθετων λωρίδων θεμελίων εκατέρωθεν του υπάρχοντος. Τα πρόσθετα φορτία αναλαμβάνονται κατά μεγάλο μέρος από τα νέα αυτά λωριδωτά θεμέλια με τη μεσολάβηση χαλύβδινων διαδοκίδων που διαπερνούν την τοιχοποιία. Για το καινούριο θεμέλιο γίνεται χρήση πάσσων διατρήσεως των οποίων η κεφαλή δένεται μέσα στο σκυρόδεμα των συνδετήριων δοκών θεμελιώσεως, Σχήμα 4.13.

Αυτοί οι πάσσαλοι παρουσιάζουν μικρότερη μάζα καθιζήσεως, αλλά επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό τα υπάρχοντα θεμέλια λόγω της αναπόφευκτης χαλάρωσης του εδάφους και της αρνητικής τριβής.



Σχήμα 4.13 Υποστήριξη ενός διαμήκους τοίχου υπογείου

Μια ειδική περίπτωση πασσάλων διατρήσεως είναι οι ριζοπάσσαλοι, δηλαδή μικροί πάσσαλοι με πάχη 12 έως 24 cm που δεν αναφέρονται στο DIN. Η έμπηξή τους γίνεται με τη μέθοδο της περιστροφικής διείσδυσης και οπλίζονται με διαμήκεις ράβδους και ελικοειδή συνδετήρα, ενώ το μπετόν αφότου διαστρωθεί συμπυκνώνεται με αέρα. Ένα μέρος του τσιμεντοπολτού συμπίεζεται στο περιβάλλον έδαφος. Από κατασκευαστική άποψη, τα αναγκαία εργαλεία είναι μικρά και ελαφρά, τόσο που οι ριζοπάσσαλοι μπορούν να εμπηχθούν ακόμη και στο εσωτερικό υπογείων.

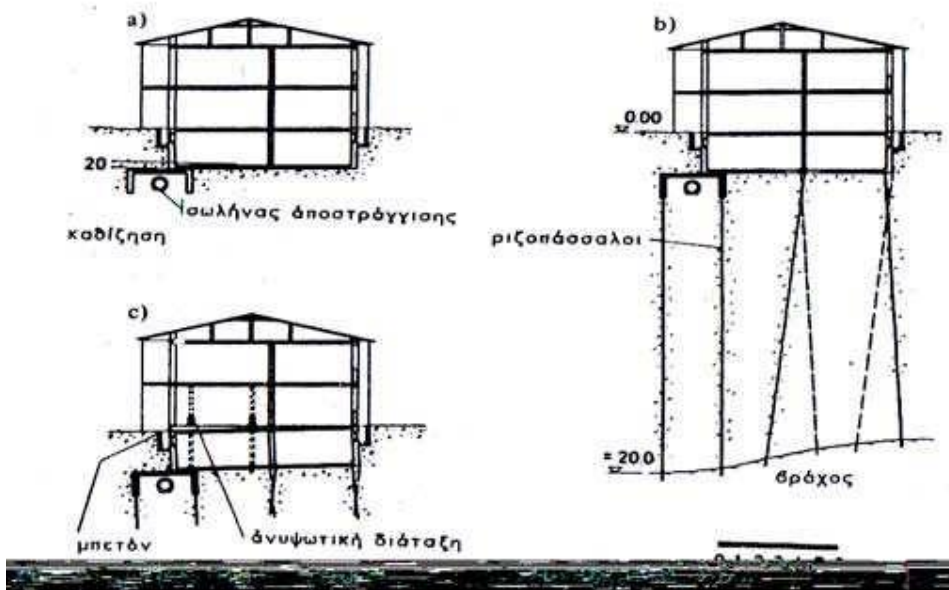
Ενίσχυση θεμελίωσης με ριζοπάσσάλους έγινε στο Tegernsee σε κτίρια σε σειρά τα οποία ήταν θεμελιωμένα σε πασσάλους και παρουσίαζαν 4 χρόνια μετά το χτίσιμό τους διαφορετική καθίζηση 24 cm κατά τη διαγώνιο, βλ Σχήμα 4.14. Τα κτίρια επαναθεμελιώθηκαν επί ριζοπάσσάλων πάχους 15 cm που λόγω των χαλαρών ενδιάμεσων εδαφικών στρωμάτων έφθαναν μέχρι το στερεό έδαφος. Μετά την έμπηξη των πασσάλων δεν παρουσιάστηκαν άλλες καθιζήσεις. Έγινε επίσης και ανύψωση των σπιτιών, για να αρθούν οι διαφορετικές καθιζήσεις, με τη βοήθεια υδραυλικών γρύλων που στηρίχθηκαν στην άνω παρειά των πλακών οροφής υπογείων.

Η τεχνική της προσθήκης νέων θεμελίων είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη σε περίπτωση βλαβών στο σύστημα θεμελίωσης. Εξ αιτίας αυτού έχουν αναπτυχθεί από ιδιωτικά συνεργεία πολλές πατέντες που περιλαμβάνουν είτε χρήση πασσάλων είτε κιβώτια σκυροδέματος. Στη Φωτ.

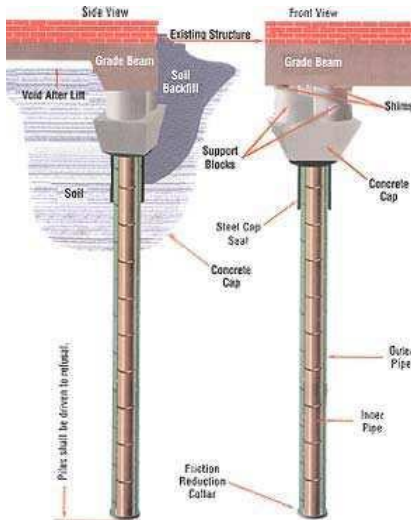
4.4 φαίνονται κιβωτιοειδείς πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα, που προσφέρουν επαρκή στήριξη ακόμα και σε βαριές κατασκευές.

Στη Φωτ. 4.7 φαίνεται ένα σύστημα πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα. Πάσσαλοι από σκυρόδεμα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: αποτελούν μόνιμη λύση εάν σχεδιαστούν και εγκατασταθούν σωστά, έχουν αυξημένη δυνατότητα ανάληψης φορτίου λόγω αύξησης της διατομής στη βάση τους, το βάθος στο οποίο θα θεμελιωθούν μπορεί οπτικώς να πιστοποιηθεί και επίσης η ευθυγράμμιση τους μπορεί να είναι κατακόρυφη ή υπό γωνία.

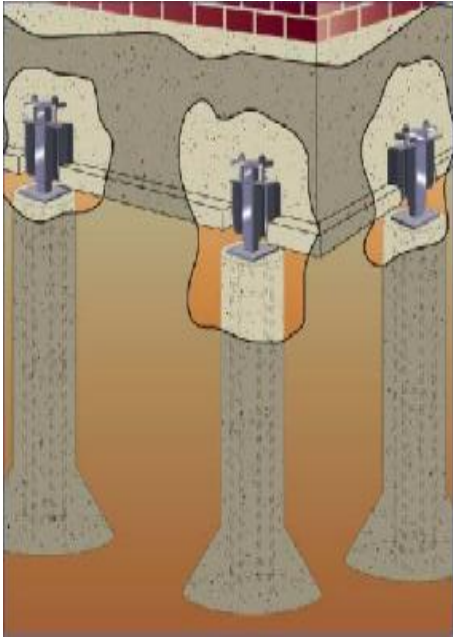
Έχουν όμως το μειονέκτημα η σωστή εγκατάστασή τους είναι χρονοβόρα και δύσκολη κατασκευαστικά και σχεδόν αδύνατη σε θέσεις στο εσωτερικό της κάτοψης του κτιρίου. Στη Φωτ. 4.5 φαίνονται χαλύβδινοι πάσσαλοι με προστασία έναντι διάβρωσης, ο οποίοι έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: γρήγορη εγκατάσταση, μικρή διάμετρο και λεία επιφάνεια άρα ευκολία στο να επιτευχθεί το μέγιστο επιθυμητό βάθος, που μάλιστα συχνά φτάνει στα βραχώδη στρώματα, μεγάλη δυσκαμψία, προστασία έναντι διάβρωσης χάρη στο εξωτερικό στρώμα από PVC.



Σχήμα 4.14 α) Μονόπλευρη καθίζηση
 β) Υποθεμελίωση με ριζοπασσάλους γ) Ανύψωση



Φωτογραφία 4.5 Χαλύβδινοι πάσσαλοι με προστασία έναντι διάβρωσης



Φωτογραφία 4.6 Κιβωτιωειδείς πάσσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα



Φωτογραφία 4.7 Ενίσχυση θεμελίωσης κτιρίου με σύστημα πασσάλων

4.2.3.3 Κατασκευή υποθεμελίωσης

Ο όρος υποθεμελίωση χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη τροποποίηση μιας υφιστάμενης θεμελίωσης (με την προσθήκη νέων στοιχείων) ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη φέρουσα ικανότητα ή και μεγαλύτερο βάθος θεμελίωσης ώστε να παρακαμφθούν ακατάλληλα στρώματα εδάφους. Η υποθεμελίωση είναι κατασκευή κάτω από το θεμέλιο του κτιρίου, που θα παραλάβει τα φορτία της θεμελίωσης και θα τα διοχετεύσει χαμηλότερα. Η υποθεμελίωση βοηθά στην αντιμετώπιση της καθίζησης θεμελίωσης ή στην αύξηση της αντοχής ή στην δημιουργία κατασκευής υπογείου σε χαμηλότερη στάθμη, και δεν σημαίνουν ενίσχυση ή επισκευή στην κυριολεξία. Τα στοιχεία της υποθεμελίωσης αποτελούν πλέον τμήμα της νέας θεμελίωσης και είναι αυτονόητο ότι για να εκπληρώσει αυτή η νέα θεμελίωση τον προορισμό της, είναι απολύτως απαραίτητη η συνεργασία της υφιστάμενης με τη νέα θεμελίωση. Οι υποθεμελιώσεις μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες:

4.2.3.3.1. Αβαθείς υποθεμελιώσεις

Είναι η πιο συνηθισμένη μορφή υποθεμελιώσεων, ενώ δε παρουσιάζουν στατικά ή θεωρητικά προβλήματα καθώς σε μικρό βάθος η ώθηση γαιών είναι μικρή. Περιλαμβάνει την κατασκευή ορυγμάτων κάτω από την υφιστάμενη θεμελίωση και την πλήρωση με σκυρόδεμα (ντουλάπια σκυροδέματος). Η κατασκευή υποθεμελίωσης γίνεται επίσης αναγκαία όταν πρόκειται να γίνει εκσκαφή του εδάφους, σε μικρή απόσταση από τη θεμελίωση, μέχρι στάθμη χαμηλότερη από τη στάθμη της γειτονικής θεμελίωσης. Η κατασκευή υποθεμελίωσης αποτελείται από ντουλάπια τα οποία διατάσσονται σε σειρές πάνω στον τοίχο των θεμελίων. Για λόγους κατασκευαστικούς το πάχος της τοιχοποιίας υποθεμελιώσεως εκλέγεται ίσο με το πάχος του θεμελίου. Τα κενά μεταξύ των ντουλαπιών εφάπτονται με τον τοίχο της υποθεμελίωσης. Το κάθε κενό έχει μήκος 1,2-1,5.

Συνήθως οι κανονισμοί επιβάλλουν ότι κατά τη διάρκεια κατασκευής της υποθεμελίωσης, η στάθμη της γειτονικής εκσκαφής πρέπει να βρίσκεται 0,5 m ψηλότερα από τη στάθμη της αρχικής θεμελίωσης.

4.2.3.3.2. Βαθιές υποθεμελιώσεις

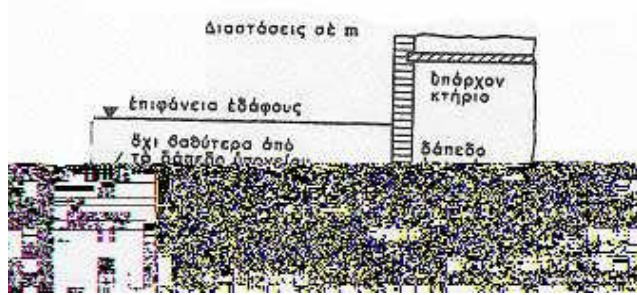
Αυτές απαιτούν πάντοτε στατική διερεύνηση γιατί η ώθηση γαιών αυξάνεται με το βάθος, και σαν μέτρο ασφάλειας χρειάζεται ενίσχυση της τοιχοποιίας υποθεμελιώσεως ή αγκύρωσή της. Για την κατασκευή βαθιών υποθεμελιώσεων χρησιμοποιούνται πάσσαλοι και διαφράγματα που εγκαθίστανται από την επιφάνεια του εδάφους. Η πιο συνήθης μέθοδος είναι οι υποθεμελιώσεις με μικροπασσάλους. Ως μικροπάσσαλοι ορίζονται πάσσαλοι διαμέτρου 100 mm έως 250 mm. Η ανάπτυξή τους έδωσε σημαντική ώθηση στις εφαρμογές των υποθεμελιώσεων. Η εγκατάστασή τους γίνεται με τη χρήση περιστροφικών γεωτρυπάνων πολύ μικρού μεγέθους. Όταν η διάτρηση φτάσει στο επιθυμητό βάθος, ανασύρεται η διατρητική στήλη και η γεώτρηση πληρώνεται με κατάλληλο τσιμεντοκονίαμα. Η είσοδος του τσιμεντοκονιάματος έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους και την ενίσχυση της θεμελίωσης. Στην συνέχεια ακολουθεί η εγκατάσταση του οπλισμού η οποία μπορεί να είναι μια κεντρική χαλύβδινη ράβδος διαμέτρου 25 mm έως 50 mm ή ο συνήθης 'κλωβός οπλισμών'. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα όταν υπάρχουν οριζόντια φορτία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως οπλισμός σωλήνας κυκλικής διατομής. Επίσης χρησιμοποιείται η ενίσχυση των θεμελίων με ριζοπασσάλους, οι οποίοι εγκαθίστανται εκτελώντας τη διάτρηση διαμέσου των στοιχείων θεμελίωσης, η οποία σε αντίθεση με άλλες μεθόδους, δεν προξενεί βλάβες στην τοιχοποιία ούτε διαταράσσει το έδαφος θεμελίωσης.

4.2.3.3.3 Εκτέλεση της υποθεμελίωσης

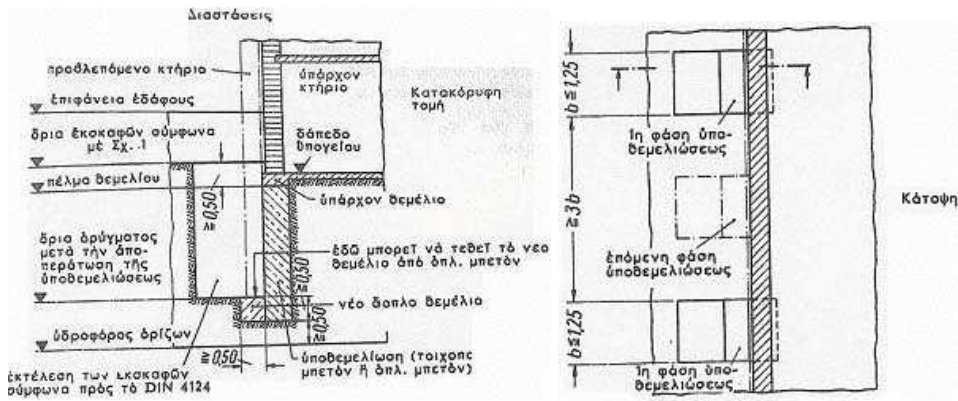
Για υποθεμελιώσεις από μπετόν ή οπλισμένο μπετόν ισχύει το DIN 1045. Το πάχος της υποθεμελίωσης είναι τουλάχιστον ίσο με το πλάτος του θεμελίου ενώ η εκσκαφή πρέπει να φθάσει το πολύ εντός κάποιων επιτρεπόμενων ορίων, Σχήμα 4.15, γεγονός που πρέπει να προσεχτεί ιδιαίτερα όταν γίνεται χρήση μηχανικών εκσκαφών ή άλλων δομικών μηχανών. Η επιφάνεια εδράσεως δεν επιτρέπεται να είναι χαλαρή ή μαλακή.

Η υποθεμελίωση θα κατασκευαστεί σε τμήματα του μήκους ίσα με το πλάτος των ορυγμάτων (το πολύ 1.25 m). Τα τμήματα του υπάρχοντος κτιρίου με το μέγιστο φορτίο πρέπει να υποθεμελιωθούν κατά προτεραιότητα. Τα νέα θεμέλια πρέπει να κατασκευάζονται τμηματικά εκ παραλλήλου με την υποθεμελίωση και να διαχωρίζονται από αυτήν με έναν αρμό, γι' αυτό και τα πέλματα πρέπει να βρίσκονται στο ίδιο ύψος, Σχήμα 4.14. Εάν τα νέα θεμέλια χρειάζονται διαμήκεις οπλισμούς πρέπει να κατασκευαστεί ένα οπλισμένο θεμέλιο ταυτόχρονα με την υποθεμελίωση. Το πέγμα του νέου άοπλου υποστρώματος πρέπει να βρίσκεται στο ίδιο ύψος με το πέγμα θεμελίου της νέας υποθεμελίωσης, δηλαδή η υποθεμελίωση πρέπει να κατέβει τουλάχιστον 0.5 m βαθύτερα από το πέγμα του θεμελίου από οπλισμένο μπετόν. Πάνω στο άοπλο θεμέλιο θα κατασκευαστεί μετά το οπλισμένο σε όλο το μήκος του.

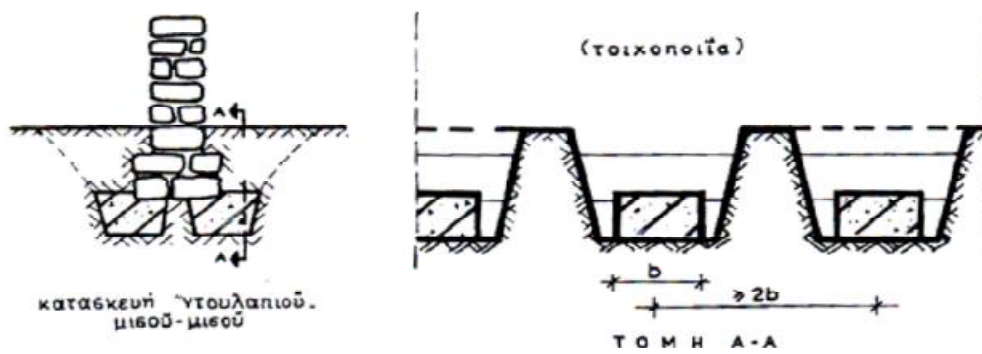
Στην περίπτωση που η θεμελίωση δεν συνορεύει με άλλη ιδιοκτησία δηλαδή είναι προσπελάσιμη και από την εσωτερική και από την εξωτερική πλευρά, προκειμένου να αντιμετωπισθεί η επανάληψη διαφορικών καθιζήσεων προτείνεται η κατασκευή υποθεμελιώσεων με «ντουλάπια» από σκυρόδεμα, μήκους 50 cm έως 1 m και με απόσταση μεταξύ των αξόνων τους μεγαλύτερη από το διπλάσιο του μήκους τους, Σχήμα 4.17.



Σχήμα 4.15 Όρια Εκσκαφών (DIN 4123)



Σχήμα 4.16 Υποθεμελίωση υπαρχόντων θεμελίων

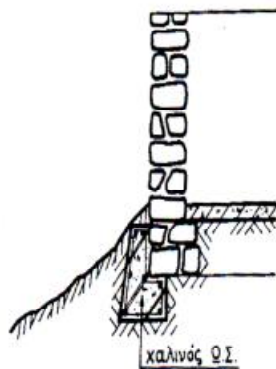


Σχήμα 6.17 Κατασκευή «ντουλαπιών» από σκυρόδεμα

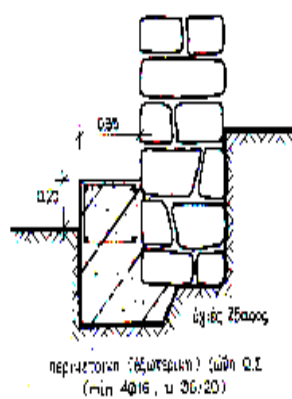
4.2.3.4 Αύξηση της ασφάλειας έναντι ανατροπής και ολίσθησης

Για την αντιμετώπιση ολισθήσεων στη στάθμη της θεμελίωσης (ιδίως σε πολύ επικλινή εδάφη) προτείνεται η κατασκευή χαλινών από οπλισμένο σκυρόδεμα σε μεγάλο βάθος μέσα στο έδαφος, κατάντη και σε επαφή με το χαμηλότερο σημείο των τοίχων που είναι παράλληλοι με τη γραμμή κλίσεως του εδάφους, Σχήμα 4.18.

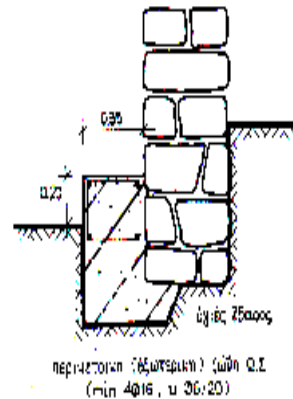
Εναλλακτικά είναι δυνατή η κατασκευή περιμετρικής ζώνης από οπλισμένο σκυρόδεμα γύρω από το κτίριο στη στάθμη θεμελίωσης και συνδετήριας δοκού, Σχήμα 4.19 και 4.20.



Σχήμα 4.18 Κατασκευή από οπλ. Σκυρόδεμα



Σχήμα 4.19 Κάθε 2.5 m ξηλώνονται πλίνθοι ή λίθοι για την αγκύρωση της ζώνης στην τοιχοποιία

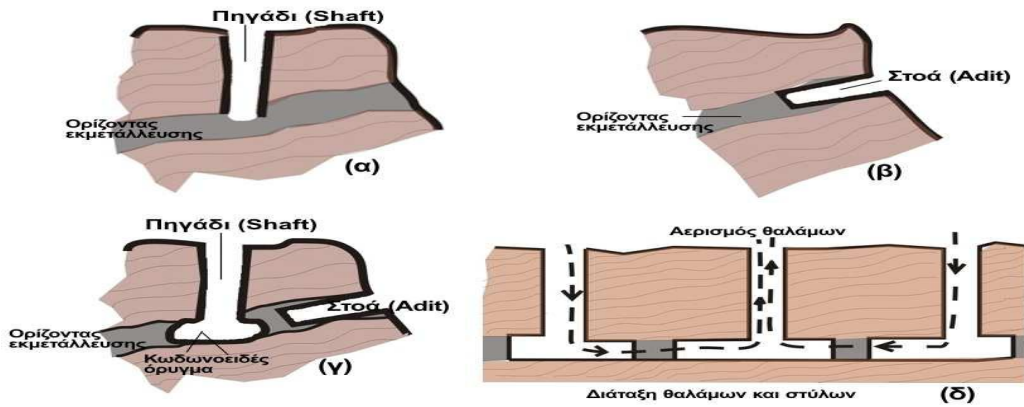


Σχήμα 4.20 Περίπτωση χαλινών θεμελίωσης που έχει υποσκαφθεί με φολιές Ο.Σ.

4.3. Εξέλιξη των μεθόδων υπόγειας εκμετάλλευσης και προβλήματα που προκύπτουν

Σε χώρες όπως η Αγγλία όπου η εκμετάλλευση της κιμωλίας για λίπανση αγρών αλλά κυρίως του κάρβουνου είχαν αρχίσει εδώ και 2000 χρόνια πριν (κορύφωση το 1720 – 1940), αρχικά η μέθοδος προσέγγισης ήταν με τη διάνοιξη πηγαδιών. Στη συνέχεια και μετά το 1700, η προσέγγιση επεκτάθηκε και στη διάνοιξη μικρών στοών από τα σημεία όπου οι οριζόντες του κάρβουνου αναδύονταν σε κάποιο πρανές. Όσο βαθύτερα προχωρούσαν οι στοές αυτές τόσο σοβαρότερα προβλήματα αντιμετωπίζονταν, που συνήθως οδηγούσαν στη διακοπή της εκμετάλλευσης. Τα προβλήματα αυτά ήταν:

- Εισροές νερού μέσα στη στοά,
- Αστοχίες στην υποστήριξη της στοάς, και
- Δυσκολίες στον αερισμό των στοών λόγω της παρουσίας μεθανίου.



Σχήμα 4.21 Διαχρονική εξέλιξη των μεθόδων εκμετάλλευσης κάρβουνου στην Αγγλία.

Το πρόβλημα της υποστήριξης λύθηκε πρώτο με τη χρήση του ξύλου, οπότε οι στοές έφθασαν και μέχρι 200μ.

Στη συνέχεια (18ο αιώνας) οι προσπάθειες συνδύαζαν την κατασκευή πηγαδιών και μικρών στοών και η εκμετάλλευση του κάρβουνου γινόταν με διεύρυνση στη βάση του πηγαδιού. Αυτό εξασφάλιζε κάποιο αερισμό αλλά γενικά τα προβλήματα από το νερό και το μεθάνιο παρέμεναν.

Η μετεξέλιξη αυτής της μεθόδου εκμετάλλευσης ήταν η διάνοιξη πολλών πηγαδιών που κατέληγαν στους χώρους υπόγειας εκμετάλλευσης που υποστηρίζονταν με κολώνες κάρβουνου, που παρέμενε άθικτο. Οι κολώνες αυτές προστάτευαν την οροφή ενώ τα πηγάδια εξασφάλιζαν πλήρη αερισμό.

Αποτέλεσμα αυτής της δραστηριότητας που εξελίχθηκε στη μέθοδο θαλάμων και στύλων ήταν η εγκατάλειψη πολύ μεγάλου αριθμού πηγαδιών σε περιοχές όπως το Yorkshire, τις περισσότερες φορές δυστυχώς δίχως καταγραφή. Για την ανεύρεσή τους και τη σφράγιση τους με μπετόν σε περιπτώσεις ανάπτυξης οικιστικών ή και βιομηχανικών περιοχών αλλά και για την κατασκευή σημαντικών γραμμικών έργων απαιτούνται ειδικές γεωφυσικές μελέτες με μαγνητικές μεθόδους, καθώς η επένδυση των πηγαδιών ήταν με τούβλα από υλικό πλούσιο σε σίδηρο.



Σχήμα 4.22 Αρχική μορφή διάταξης θαλάμων και στύλων.

Συνεπώς σήμερα, τα προβλήματα από παλαιές εκμεταλλεύσεις παραμένουν και είναι δυνατόν να προκύψουν από:

A) τη ληστική εκμετάλλευση των στύλων που είχαν αφεθεί για την αντιστήριξη των παλαιών εκμεταλλεύσεων.

Αυτό αδυνάτιζε την υποστήριξη με συνέπεια καταρρεύσεις και μετανάστευση αυτών στην επιφάνεια. Η αφαίρεση έστω και μερικών από τους μικρού μεγέθους στύλους της αρχικής μεθόδου, μπορεί να προκαλέσει φαινόμενο “ντόμινο” , δηλαδή κατάρρευση και των υπολοίπων.

B) τη συνεχή υποβάθμιση των χαρακτηριστικών των στύλων κάρβουνου με την πάροδο του χρόνου. Η διαδικασίες αποσάθρωσης είναι συνεχείς και έτσι οι πιθανότητες καταρρεύσεων είτε στους στύλους είτε στα ανοίγματα είναι πολύ πιθανές με την πάροδο του χρόνου.

Γ) τις τάσεις που προκαλούνται από κατασκευές θεμελιωμένες πάνω από παλαιά ορυχεία. Η οικιστική και βιομηχανική ανάπτυξη επιφέρει πρόσθετες τάσεις, που μπορεί να υπερκεράσουν το μηχανισμό γεφύρωσης παλαιών στοών και συνεπώς να επιφέρουν την εκδήλωση εδαφικών υποχωρήσεων που θα επιφέρουν καταστροφή των κατασκευών. Συνεπώς θα πρέπει να περιοριστούν οι δραστηριότητες σε κατασκευές που δεν επιφέρουν αυξήσεις των τάσεων.

Δ) τη μετανάστευση του κενού από την κατάρρευση στην επιφάνεια. Η αρχική κατάρρευση της οροφής μεταναστεύει στην επιφάνεια προκαλώντας σοβαρές ζημιές στις εκεί κατασκευές ανάλογα με τη γεωμηχανική συμπεριφορά της υπερκείμενης βραχομάζας.

Υπάρχουν παραδείγματα στην Αγγλία όπου από τη μια μεριά ενός δρόμου έχουν κατασκευαστεί πολυώροφα κτήρια και από την άλλη ελαφρές και χαμηλές κατασκευές, γιατί κάτω από αυτές βυθίζονται ορίζοντες κάρβουνου.

Γενικά η θεμελίωση κατασκευών πάνω από περιοχές παλαιών υπόγειων εκμεταλλεύσεων, απαιτεί τη γνώση πέρα από το βολβό των τάσεων της κατασκευής και του βάθους εκμετάλλευσης. Έτσι αναγκαία είναι η γνώση όλων των συνθηκών στο χώρο θεμελίωσης.

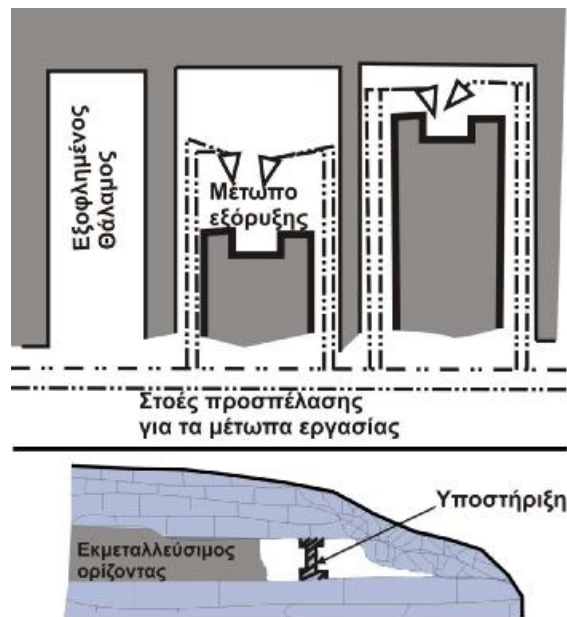
Εδαφικές υποχωρήσεις στην επιφάνεια δεν έχουμε μόνο από τις παλαιές εκμεταλλεύσεις αλλά και από τις νέες , σύμφωνα με τις πλέον πρόσφατες μεθόδους εκμετάλλευσης.

1. Η μέθοδος των θαλάμων και στύλων, διαμορφώνεται σε αυτό που ονομάστηκε τεχνική επιμήκους μετώπου. Σύμφωνα με την αρχική μορφή της μεθόδου αυτής το κάρβουνο γύρω από τα πηγάδια έμενε άθικτο και μόνο οι στοές προσπέλασης στα σημεία εκμετάλλευσης το διέσχιζαν.

2. Η μέθοδος αυτή μετεξελίχθηκε στην τεχνική οπισθοχώρησης επιμήκους μετώπου. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτής της τελευταίας μεθόδου είναι η αποφυγή των προβλημάτων που προκαλούν π.χ. η παρουσία ρηγμάτων, τεκτονικών επαφών, αυξομειώσεις του πάχους κλπ, αφήνοντας την οροφή να καταρρέει πίσω από το μέτωπο εργασίας, που υποστηρίζεται με τεχνητά μέσα κοντά στο μέτωπο τα οποία μετακινούνται. Το μέτωπο που διαμορφώνεται στην αντίθετη πλευρά των πηγαδιών, προσεγγίζεται με κατάλληλες στοές προσπέλασης. Οι εδαφικές υποχωρήσεις πάνω από τις εκμεταλλεύσεις, συμβαδίζουν με την εκμετάλλευση ή έπονται με μικρό χρονικό κενό, ενώ παράλληλα μπορεί ευκολότερα να υπολογιστούν.

Νεότερες μέθοδοι, όπως αυτή των υποπατωμάτων και κατακρήμιση οροφής επίσης προκαλούν φαινόμενα εδαφικής υποχώρησης στην επιφάνεια.

Σε γενικές γραμμές ασφαλείς είναι οι περιπτώσεις όπου τα κενά έχουν λιθογομωθεί μετά την εξόφληση του λιγνίτη, του λιθάνθρακα ή και μεταλλευμάτων με κονιοποιημένο υλικό συνήθως από τα στείρα ή με κάποιο ένεμα (συνήθως ανάμιξη των κονιοποιημένων στείρων με τσιμέντο).



Σχήμα 4.23 Τελική εξέλιξη της διάταξης θαλάμων και στύλων, σε τεχνική επιμήκους μετώπου.

Η λιθογόμωση πάντως εφαρμόζεται σχεδόν συστηματικά τα τελευταία χρόνια και επομένως το πρόβλημα των εδαφικών υποχωρήσεων παραμένει για τις παλαιές εκμεταλλεύσεις.

Πίνακας 4.1. Αξιολόγηση ορισμένων μεθόδων βελτίωσης υπεδάφους

| α/α | Μέθοδος | Αύξηση φέρουσας ικανότητας | Μείωση ή εξομάλυνση | Καθίζησης Μείωση της διάρκειας | Καθίζησης Μείωση πιθανότητας | Ρευστοποιήσις Βελτίωση ανστάθειας ολίσθησης έναντι |
|-----|-----------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|
| 1. | Δονητική συμπύκνωση | ** | * | — | ** | (*) |
| 2. | Αντικατάσταση με εκρηκτικών | * | * | — | (*) | — |
| 3. | Δυναμική συμπύκνωση | ** | * | — | ** | (*) |
| 4. | Προφόρτιση | * | — | * | — | — |
| 5. | Κατακόρυφα στραγγιστήρια | (*) | * | ** | — | (*) |
| 4. | Πλευρικά αναχώματα | — | (*) | — | — | ** |
| 7. | Εξυγίανση | (*) | (*) | — | (*) | (*) |
| 8. | Χαλικοπάσσαλοι | ** | ** | * | * | (*) |
| 9. | Τσιμεντενέσεις | * | * | — | — | * |
| 10. | Διατάξεις γεωσυνθετικών | (*) | * | — | — | (*) |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναπτύξαμε τις διάφορους μεθόδους υπολογισμού της καθίζησης και διάφορους τρόπους για να επιτεύξουμε την αποφυγή της.

Εν κατακλείδι, θα πρέπει να αναλογιστούμε πως οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, οι οποίες συχνά γίνονται αλόγιστα και χωρίς μελέτη ή προγραμματισμό, οδηγούν στην αποψίλωση των δασών, στην άστοχη διαμόρφωση ή στην αφαίρεση της υποστήριξης των πρανών, στην υπεράντληση των υδροφόρων οριζόντων και γενικότερα συντελούν στην εμφάνιση τέτοιων φαινομένων όπως η καθίζηση του εδάφους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΚΟΛΕΤΣΟΣ Κ., Γεωτεχνική Μηχανική, Εκδ. University Studio press A.E., 2004
- BARNES G., Εδαφομηχανική αρχές & εφαρμογές, Εκδ. Κλειδάριθμος, 2005
- ΜΟΥΡΑΤΙΔΗΣ Α.Κ., Οδοποιΐα: Η κατασκευή των οδικών έργων, Εκδ. University Studio press A.E., 2005
- ΜΑΡΑΓΚΟΣ Χ.Ν., Τεχνικά έργα υποδομής, Εκδ. Χ. Μαραγκός, 2003
- ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, Σημειώσεις Εδαφομηχανικής Ι, Εκδ. Τ.Ε.Ι.Θ.
- ΡΟΖΟΣ Δ., Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας Ι, Εκδ. Ε.Μ.Π.
- ΒΛΑΧΟΥ-ΒΛΑΒΙΑΝΟΥ Ε., Καθιζήσεις οφειλόμενες σε υπεράντηση υπόγειων νερών – αναγκαίες παρεμβάσεις, Εκδ. Ε.Μ.Π.
- ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΠΟΥΛΟΥ Μ., Μέθοδοι ενίσχυσης & επισκεής στοιχείων θεμελίωσης.
- ΤΕΛΕΙΩΝΗ Ε.Χ., Μακροχρόνια παρακολούθηση των επιφανειακών καθιζήσεων στην περιοχή του ρήγματος της Αγίας Τριάδας Πατρών, 35ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ, Ξάνθη 2006
- ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ http://www.geoauth.gr/883/chapt_3.htm
<http://www.forthnet.gr / templates/newsPosting.aspx?=120417>