

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ

**ΓΑΒΡΙΑΚΗ ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ
ΧΙΩΤΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία αναλύονται μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την ενίσχυση στοιχείων θεμελίωσης καθώς τυχούσα αστοχία τους ή μη καλή μεταφορά των φορτίων στο έδαφος την επιβάλλει. Επειδή όμως αρκετές είναι οι φορές όπου αστοχεί το έδαφος θεμελίωσης και όχι η θεμελίωση αξίζει να αναφερθούμε συνοπτικά και στις μεθόδους ενίσχυσης του εδάφους γιατί η επαρκής αντοχή του εδάφους αποτελεί προϋπόθεση για την σωστή μεταφορά των φορτίων. Επιπλέον περιλαμβάνονται ορισμένες ενδείξεις αστοχίας θεμελίων στο εσωτερικό και εξωτερικό ενός κτιρίου. Τέλος, παρουσιάζεται σε μορφή πειράματος η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για την ενίσχυση προβληματικών θεμελιώσεων και σχολιασμός των αποτελεσμάτων.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΕΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ [9]

Το θέμα της ενίσχυσης των θεμελιώσεων των κατασκευών παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια αυξημένο ενδιαφέρον, καθώς παρατηρείται ολοένα και εντονότερη η ανάγκη για τη διατήρηση, στερέωση, ανάδειξη και επανάχρηση παλαιών κατασκευών.

Η αστοχία μιας θεμελίωσης και η επακόλουθη πρόκληση βλαβών στην ανωδομή, συνήθως προκαλούνται από:

- Την υπέρβαση της φέρουσας ικανότητας του εδάφους
- Την ανάπτυξη μεγάλων καθιζήσεων (και ειδικότερα διαφορικών καθιζήσεων) εξαιτίας της στερεοποίησης μαλακών και συμπιεστών αργιλικών στρώσεων ικανού πάχους.
- Μεγάλες οριζόντιες μετακινήσεις κοντά σε φυσικά πρανή ή στο μέτωπο εκσκαφών.

Πέρα των κλασικών αυτών περιπτώσεων, συναντάται στη πράξη μια πολύ μεγάλη ποικιλία αιτιών που προκαλούν μετακινήσεις ή ακόμα την αστοχία της θεμελίωσης, όπως η διάνοιξη υπογείων έργων, η γήρανση και εξασθένηση των θεμελίων ή και η συμπίκνωση χαλαρών επιχωματώσεων.

Ανεξαρτήτως όμως των αιτιών στα οποία οφείλονται οι μετακινήσεις των θεμελιώσεων, έχει παρατηρηθεί ότι αποτελούν τη συχνότερη αιτία πρόκλησης βλαβών σε κτιριακά και άλλα τεχνικά έργα.

2. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ [2]

Οι μέθοδοι βελτίωσης- ενίσχυσης εδαφών που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα είναι οι εξής:

- Συμπύκνωση με δονήσεις με ή χωρίς ταυτόχρονη εκτόπιση εδαφικού υλικού

Η παρούσα μέθοδος επιτυγχάνεται με τη χρήση δονητικών οδοστρωτήρων, εκρήξεων στο εσωτερικό της μάζας του εδάφους, δονήσεων στο εσωτερικό της μάζας του εδάφους, πασσάλων συμπύκνωσης, ισχυρών κρούσεων στην επιφάνεια του εδάφους και vibroflotation.

- Συμπύκνωση ή στερεοποίηση πριν από την κατασκευή

Για να επιτευχθεί η μέθοδος ακολουθείται η διαδικασία προφόρτισης, υπερφόρτισης, έμπηξης αμμοπασσάλων, δυναμικής στερεοποίησης και ηλεκτρο-όσμωσης.

- Θερμικές διεργασίες

Η διαδικασία αυτή γίνεται είτε με ξήρανση ή υπερθέρμανση είτε με πάγωμα του εδάφους.

- Ενίσχυση

Η μέθοδος ενίσχυσης εφαρμόζεται με προσθήκη πασσάλων ή διαφραγμάτων με επί τόπου ανάμιξη εδάφους και σταθεροποιητικού υλικού, έμπηξη χαλικοπάσσων καθώς και με όπλιση με κατάλληλα υλικά (οπλισμένο έδαφος)

- Ενέσεις

Στη παρούσα μέθοδο εφαρμόζονται ενέσεις που περιέχουν κοκκώδη αιωρήματα, χημικά διαλύματα, ενέσεις εκτόπισης εδαφικού υλικού και ηλεκτροκινητικά φαινόμενα.

- Διάφορες άλλες μέθοδοι

Επιπλέον μέθοδοι αποτελούν η αντικατάσταση εδάφους με άλλο με ή χωρίς προσμίξεις, η χρήση γεωσυνθετικών υλικών (γεωφάσματα, γεωπλέγματα, γεωμεμβράνες και γεωσύνθετα), φραγμος υγρασίας, προύγρανση και φέρον επίχωμα.

3. ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ[3],[4],[5],[7]

Ενδείξεις αστοχίας θεμελίων παρατηρούνται στο εξωτερικό και εσωτερικό του κτηρίου.

Στο εξωτερικό οι ρωγμές συνήθως εμφανίζονται γύρω από τα ανοίγματα που είναι τα πιο τρωτά σημεία της τοιχοποιίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι παρακάτω φωτογραφίες (Σχήμα 1,2) όπου εμφανίζεται οριζόντιος διαχωρισμός λόγω του ότι τα τούβλα αδυνατούν να ακολουθήσουν την μετακίνηση των θεμελίων.



Σχήμα 1: Ρωγμή στην τοιχοποιία[3]



Σχήμα 2: Ρωγμές λόγω αστοχίας θεμελίου[4]

Η αποκόλληση καμινάδων (Σχήμα 3) είναι ίσως η πιο κοινή ένδειξη αστοχίας θεμελίωσης. Οι μεγάλες καμινάδες αντιπροσωπεύουν μεγάλα σημειακά φορτία στη βάση της θεμελίωσης, δηλαδή μεγάλο βάρος συγκεντρωμένο σε μικρή επιφάνεια. Απαιτείται άμεση επέμβαση καθώς όταν αποκολληθεί η καμινάδα μπορεί να προκληθούν επιπλέον προβλήματα ανεξάρτητα απ τη θεμελίωση.

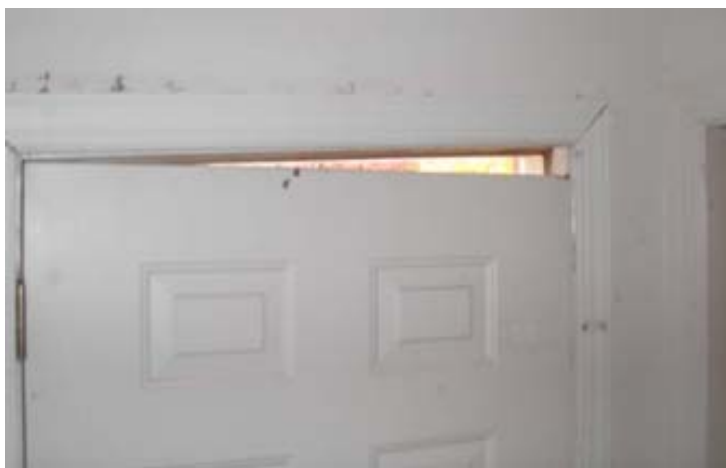
Στο εσωτερικό του κτηρίου εμφανίζονται συνήθως διαγώνιες ρωγμές στις γωνίες στις κάσες πορτών και παραθύρων (Σχήμα 4) καθώς και πόρτες που δεν κλείνουν (Σχήμα 5)



Σχήμα 3: Αποκόλληση καμινάδας[5]



Σχήμα 4: Ρωγμή στην κάσα πόρτας[3]



Σχήμα 5: Πόρτα που δεν μπορεί να κλείσει[3]

4. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ[1],[6],[7],[8]

Γενικά δεν υπάρχει αποδεκτό κριτήριο επιβολής ενίσχυσης των θεμελιώσεων. Ωστόσο προτείνεται ενίσχυση της θεμελίωσης ενός έργου όταν:

- ✓ Το έργο παρουσιάζει σοβαρές βλάβες οφειλόμενες σε μετακινήσεις των θεμελίων οι οποίες συνεχίζονται.
- ✓ Οι βλάβες δεν είναι ακόμα σοβαρές αλλά ο ρυθμός των καθιζήσεων αυξάνεται ή είναι υψηλός.
- ✓ Οι καθιζήσεις έχουν μεν περιοριστεί, αλλά η κατάσταση της θεμελίωσης δικαιολογεί σοβαρή ανησυχία στην περίπτωση πρόσθετων επιπονήσεων.

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

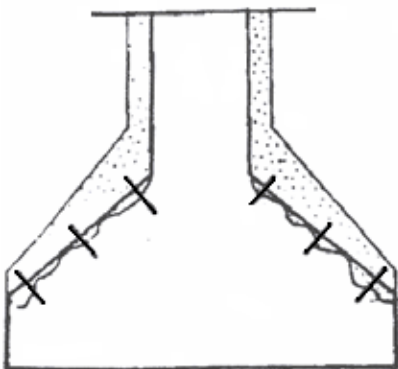
1. Ενίσχυση με αύξηση του ύψους του πεδίου
2. Ενίσχυση με αύξηση των διαστάσεων του πεδίου
3. Μεγέθυνση των πέλδων
4. Κατασκευή νέων θεμελίων
5. Κατασκευή υποθεμελίωσης
6. Αύξηση της ασφάλειας έναντι ενατροπής και ολίσθησης

4.1 ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΜΕ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΥΨΟΥΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ[1],[7],[8]

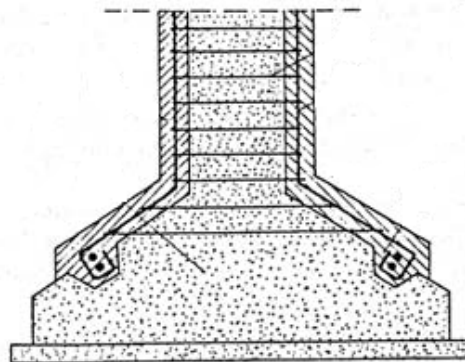
Η εφαρμογή αυτού του είδους ενίσχυσης επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός μανδύα από σκυρόδεμα που τοποθετείται πάνω απ το παλιό πέδιλο αυξάνοντας το ύψους αλλά όχι το μέγεθος του. Το δυσκολότερο κομμάτι της εργασίας είναι η επίτευξη συνοχής και απόλυτης συνεργασίας μεταξύ του παλιού και του νέου σκυροδέματος. Ακολουθούν κάποιες βασικές συστάσεις για την βελτίωση την συνάφειας στην διεπιφάνεια. Απαιτείται:

- Καθαίρεση του βλαμμένου ή αποδιοργανωμένου σκυροδέματος
- Διαμόρφωση κοιλοτήτων για τον καλύτερο εγκιβωτισμό του νέου υλικού, δημιουργία δηλαδή «φωλιών» στη διεπιφάνεια αλλά και τοποθέτηση βλήτρων που να εξασφαλίσουν τη καλύτερη συνεργασία του παλιού υλικού με το νέο (σχημα 6)
- Ανακάλυψη των οπλισμών και αγρίεμα της διεπιφάνειας
- Συμπληρωματική μηχανική εκτράχυνση της διεπιφάνειας με αμμοβολή
- Έκπλυση της διεπιφάνειας με άφθονο νερό υπό πίεση για να φύγει η σκόνη και διαβροχή του υπάρχοντα σκυροδέματος μέχρι κορεσμού πριν τη διάστρωση
- Διατήρηση της επιφάνειας του στοιχείου συνεχώς σε υγρή κατάσταση μετά την αποεράτωση της σκυροδέτησης με βρεγμένες λινάτσες
- Η πυκνότητα του οπλισμού να επιτρέπει τη διέλευση των χοντρών αδρανών και η συμπύκνωση του νέου σκυροδέματος να είναι σωστή
- Το νέο σκυρόδεμα να έχει αντοχή μεγαλύτερη τουλάχιστον μετά 5 MPa(ή 10 MPa σύμφωνα με τις συστάσεις του ΕΜΠ) ώστε τα χαρακτηριστικά συνάφειας και συνοχής στην επιφάνεια να αναπτυχθούν καλύτερα
- Η διάμετρος των αδρανών του νέου σκυροδέματος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 2 cm
- Το νέο σκυρόδεμα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ρευστότητα, διεισδυτικότητα και πλαστικότητα
- Ο μανδύας σκυροδέματος πρέπει να καλύπτει το μισό του ύψους του πεδίλου και να περιλαμβάνει πάντοτε κλειστούς συνδετήρες με ελάχιστο το Φ12/10 (σχημα 7)

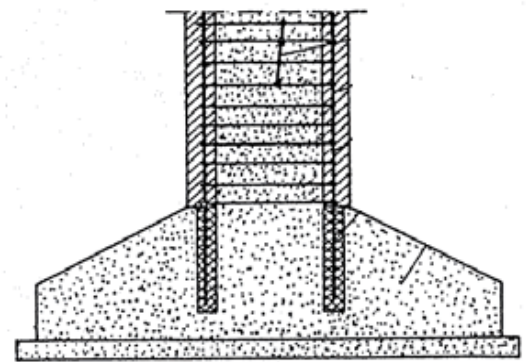
Η παρούσα μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως για την αντιμετώπιση βλαβών σε υποστυλώματα του κατώτερου ορόφου μιας κατασκευής. Σε περίπτωση που ενισχύεται με μανδύα το υπερκείμενο του θεμελίου υποστύλωμα, επιβάλλεται ο μανδύας αυτός μαζί με τους νέους οπλισμούς να συνεχίζεται και να καλύπτει ένα ποσοστό του πεδίλου. Απαιτείται τοποθέτηση οριζόντιων συνδετήρων με ελάχιστο Φ12/10. Επίσης ο μανδύας πρέπει να συνεχίζεται πέραν του σημείου συνδέσεως του υποστυλώματος με το πέδιλο, ώστε οι οπλισμοί να έχουν το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης (σχήμα 7,8)



Σχήμα 6
Τοποθέτηση βλήτρων [8]



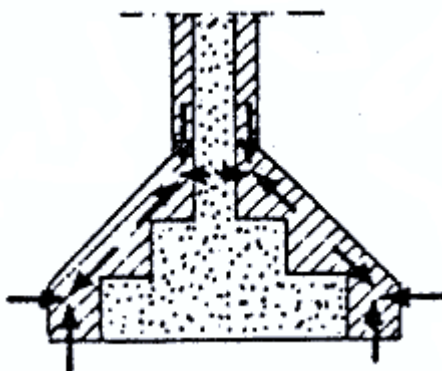
Σχήμα 7
Αγκύρωση μανδύα μέσα στο πέδιλο[8]



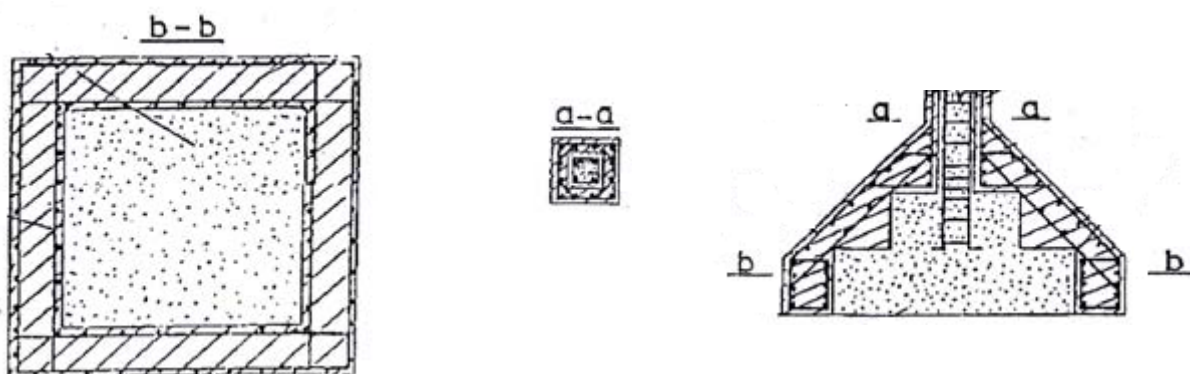
Σχήμα 8
Αγκύρωση μέσα στο πέδιλο[8]

4.2 ΑΥΞΗΣΗ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΠΕΔΙΛΟΥ [1],[7],[8]

Η εφαρμογή αυτή έχει άμεση σχέση με την προηγούμενη καθώς η μέθοδος διεκπεραίωσης της εργασίας είναι παρόμοια. Η εφαρμογή διευκολύνεται στη περίπτωση αύξησης των διαστάσεων του πεδίου με μανδύα ταυτόχρονα με την κατασκευή μανδύα του υπερκείμενου υποστυλώματος με ενιαίο τρόπο. Συνεπώς, στη περίπτωση που αυξάνεται και η διατομή του υποστυλώματος και του πεδίου, η πρόσθετες τάσεις του εδάφους λόγω αύξησης του πεδίου εξισορροπούνται από τις λοξές δυνάμεις στο νέο μανδύα του υποστυλώματος (Σχήμα 9). Ο περιμετρικός μανδύας που δημιουργείται στη βάση του θεμελίου χρησιμεύει στην μεταφορά των πρόσθετων κατακόρυφων αντιδράσεων του εδάφους και των λοξών δυνάμεων στο μανδύα του πεδίου. Γι αυτό επιβάλλεται ισχυρή όπλιση με επαρκή αγκύρωση στην περιοχή καθώς και επαρκή μέτρα διατημητικής σύνδεσης(π.χ. βλήτρα)(Σχήμα 10)

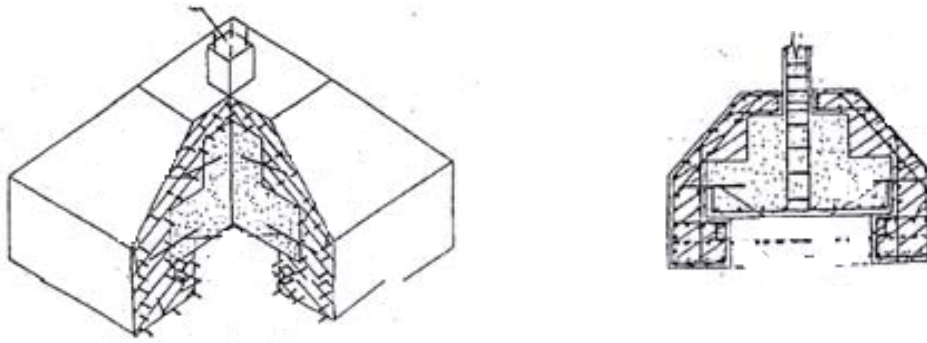


Σχήμα 9
Πρόσθετη τάση λόγω αύξησης διατομής πεδίου[1],[8]



Σχήμα 10
Η επέμβαση περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου[1],[8]

Στη περίπτωση που δεν γίνεται ταυτόχρονη ενίσχυση του υποστυλώματος μαζί με το πέδιλο η πίεση του εδάφους που ασκείται στο ενισχυμένο τμήμα του πεδίου πρέπει να μεταβιβαστεί απευθείας στο υπάρχον πέδιλο(Σχήμα 11). Αυτή η μεταβίβαση επιτυγχάνεται με βλήτρα ή με κάποιες πρότυπες μεταλλικές διατομές που τοποθετούνται κάτω από τα άκρα του υπάρχοντος πεδίου. Το νέο τμήμα του πεδίου επεκτείνεται και κάτω από το παλιό πέδιλο/πεδιλοδοκό ώστε οι εδαφικές πιέσεις να μεταφερθούν απευθείας στο παλιό πέδιλο/πεδιλοδοκό. Η διάταξη αυτή έχει αρκετά δυσκολίες για την εφαρμογή της αφού απαιτείται η περιμετρική εκσκαφή κάτω απ το παλιό πέδιλο και επιπλέον χρειάζεται προσωρινή στήριξη σ αυτήν την περιοχή με μεταλλικές διατομές I οι οποίες τελικά ενσωματώνονται στο νέο στοιχείο. Για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη εφαρμογή δεν προτάσσεται. Η αύξηση του ύψους του πεδίου πρέπει να είναι τόση ώστε να επιτυγχάνεται αύξηση της ακαμψίας του πεδίου, ομοιόμορφη διανομή των τάσεων του εδάφους αλλά και μείωση των απαιτήσεων του πεδίου για όπλισμό.

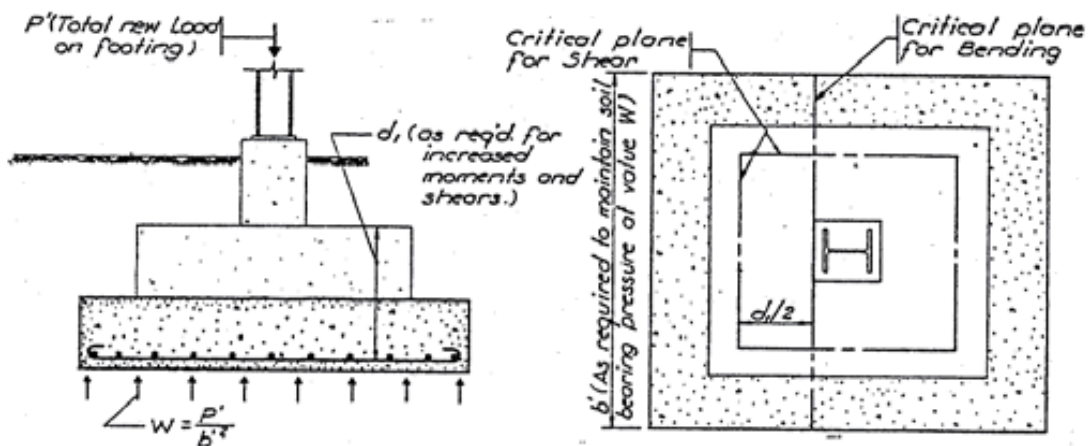


Σχήμα 11

Η επέμβαση δεν περιλαμβάνει και ενίσχυση του φέροντος κατακόρυφου στοιχείου[8]

4.3 ΜΕΓΕΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΠΕΔΙΩΝ[7],[8]

Πέραν της ενίσχυσης του υπάρχοντος πεδίου με τη χρήση μανδύα σκυροδέματος υπάρχει και η δυνατότητα κατασκευής ενός κυβου σκυροδέματος κάτω από την υπάρχουσα θεμελίωση(Σχήμα 12)

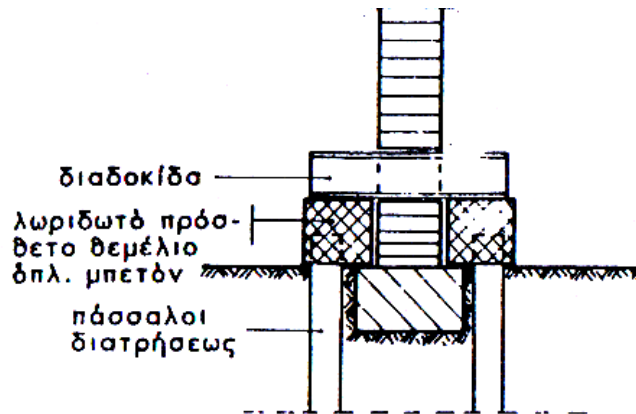


Σχήμα 12

Μεγέθυνση πεδίου[8]

4.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΝ[6],[7]

Επειδή αρκετά συχνή είναι η περίπτωση προσθήκης επιπλέον ορόφων σε μια κατασκευή, απαραίτητη είναι η κατασκευή νέων θεμελίων καθώς πρέπει να αναλάβουν τα πρόσθετα φορτία. Σε αυτές τις περιπτώσεις εκατέρωθεν του παλαιού πεδίου τοποθετούνται νέες πρόσθετες λωρίδες θεμελίων. Οι λωρίδες αυτές με την βοήθεια διαδοκίδων αναλαμβάνουν τα πρόσθετα φορτία. Στο πρόσθετο θεμέλιο χρησιμοποιούμε ειδικούς πασσάλους διάτρησης ένα μέρος των οποίων δένεται μέσα στο σκυρόδεμα των συνδετήριων δοκών θεμελίωσης(Σχήμα 13)

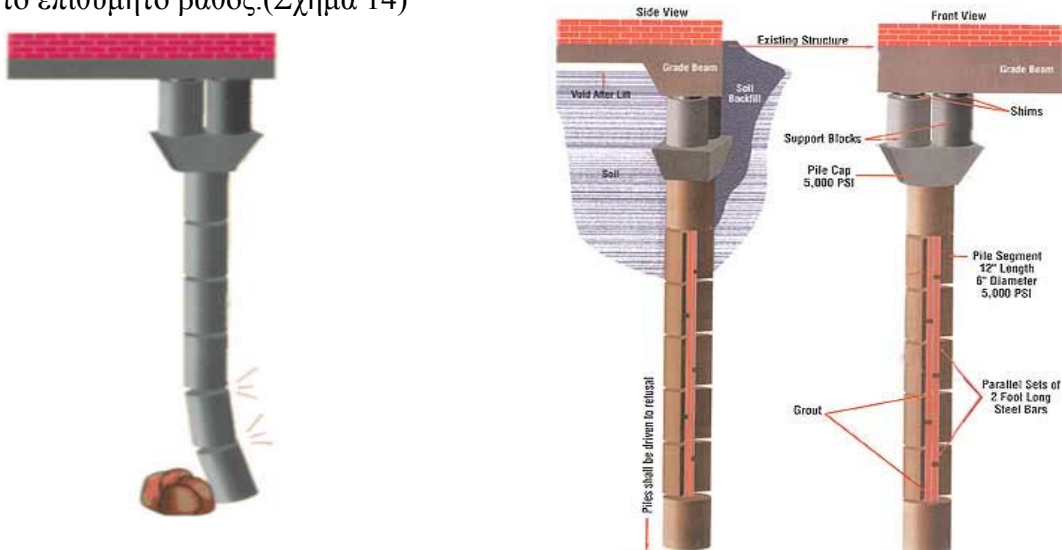


Σχήμα 13: υποστήριξη διαμήκους τοίχου[7]

Μια ειδική διάταξη πασσάλων διάτηρησης είναι οι ριζοπάσσαλοι. Χρησιμοποιούνται όταν η καθίζηση θέλουμε να είναι της τάξης των λίγων χιλιοστών. Η έμπηξη των πασσάλων αυτών γίνεται με την μέθοδο της περιστροφικής διείδυσης ενώ για την όπλιση τους χρησιμοποιούνται διαμήκεις ράβδοι και ελικοειδείς συνδετήρες. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης των ριζοπασσάλων είναι ότι μπορούν να εμπηχθούν μέχρι και στο εσωτερικό υπογείων.

Λόγω του ότι η μέθοδος της κατασκευής νέων θεμελίων είναι από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους για περιπτώσεις βλαβών στα θεμέλια έχουν υπάρξει διάφοροι πρόοδοι γύρω από αυτήν. Μία από αυτές είναι η χρήση πασσάλων η κιβωτίων από σκυρόδεμα. Τα πλεονεκτήματα των πασσάλων από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι: μπορούν λόγω της αύξησης της διατομής να αναλάβουν ακόμα περισσότερο φορτίο, δεν είναι δύσκολο να βρεθεί το βάθος στο οποίο πρέπει να θεμελιωθούν, η ευθυγράμμιση μπορεί να είναι κατακόρυφη η υπό γωνία. Το κυριότερο θετικό της μεθόδου αυτής είναι ότι αν η σχεδίαση γίνει σωστά, τότε αυτή αποτελεί μόνιμη λύση. Δυστυχώς όμως η χρήση τους δεν είναι επιθυμητή πάντα καθώς η όλη διαδικασία εγκατάστασης τους είναι χρονοβόρα, ενώ κατασκευαστικά είναι σχεδόν αδύνατο να γίνει στο εσωτερικό της κάτοησης ενός κτιρίου.

Εκτός από τους πασσάλους σκυροδέματος, χρησιμοποιούνται και πάσσαλοι μεταλλικοί οι οποίοι προστατεύονται από διάβρωση, έχουν μεγάλη δυσκαμψία, η εγκατάστασή τους είναι αρκετά εύκολη διαδικασία, ενώ η μορφή τους μας δίνει την δυνατότητα να φτάσουμε στο μέγιστο επιθυμητό βάθος.(Σχήμα 14)



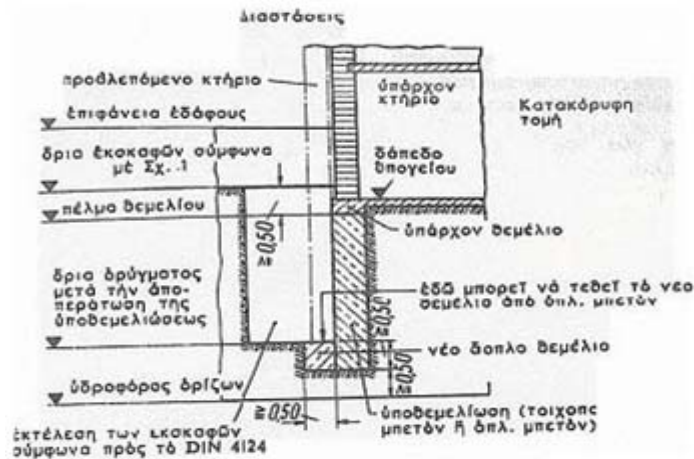
Σχήμα 14

Χωρίς υποδοχές ή με ευέλικτες συνδέσεις [6]

Ριζοπλασσαλοι από οπλισμένο σκυρόδεμα[6]

4.5 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ[7]

Η υποθεμελίωση είναι μία κατασκευή που γίνεται κάτω από το θεμέλιο ενός κτιρίου, και χρησιμοποιείται για να παραλάβει τα φορτία της θεμελίωσης και να τα μεταφέρει χαμηλότερα. Είναι κατά κάποιο τρόπο μία αλλαγή στον ήδη υπάρχον τρόπο θεμελίωσης με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και του βάθους θεμελίωσης. Η μέθοδος αυτή δεν εντάσσεται άμεσα στους τρόπους ενίσχυσης αλλά συνεισφέρει στην αντιμετώπιση της καθίζησης θεμελίωσης και στην αύξηση της αντοχής. Έτσι τώρα η υποθεμελίωση είναι μέρος της νέας θεμελίωσης για την οποία απαιτείται πλήρης συνεργασία με την ήδη υπάρχουσα. (Σχήμα 15)



Σχήμα 15

Υποθεμελίωση υπάρχοντων θεμελίων[7]

Έχουμε δύο κατηγορίες υποθεμελίωσης.

ΑΒΑΘΕΙΣ ΥΠΟΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Είναι η συνηθέστερη μορφή υποθεμελίωσης, και αφού γίνονται σε μικρό βάθος δεν παρουσιάζουν στατικά προβλήματα. Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται είναι: Κάτω από την υπάρχουσα θεμελίωση φτιάχνονται ορύγματα τα οποία γεμίζονται με σκυρόδεμα, δημιουργώντας έτσι <<ντουλάπια>> σκυροδέματος τα οποία διατάσσονται σειρά σειρά πάνω στον τοίχο των θεμελίων

Τέτοιου είδους υποθεμελίωσεις κάνουμε όταν θέλουμε να κάνουμε εκσκαφή του εδάφους, σε μικρή απόσταση από τη θεμελίωση, μέχρι στάθμη χαμηλότερη από τη στάθμη της γειτονικής θεμελίωσης. 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.

ΒΑΘΙΕΣ ΥΠΟΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ

Η περίπτωση αυτή είναι λίγο πιο πολύπλοκη καθώς το μεγάλο βάθος μπορεί να προκαλέσει διάφορα προβλήματα. Λόγω της μεγάλης ώθησης γαιών μπορεί να χρειαστεί κάποια ενίσχυση της τοιχοποιίας υποθεμελίωσης. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η υποθεμελίωση με μικροπασσάλους. Όταν με την βοήθεια του γεωτρύπανου φτάσουμε στο κατάλληλο βάθος σταματάμε και η γεώτρηση γεμίζεται με τσιμεντοκονίαμα. Το τσιμεντοκονίαμα προσδίδει στο έδαφος καλύτερες ιδιότητες και συνεπώς ενίσχυση της θεμελίωσης. Όσον αφορά τον οπλισμό συνήθως χρησιμοποιείται μία χαλύβδινη ράβδος η ένας σωλήνας κυκλικής διατομής.

Για να αποφύγουμε κάποια τυχούσα βλάβη στην τοιχοποιία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ριζοπασσάλους, οι οποίοι κάνουν την διάτρηση δια μέσω των στοιχείων θεμελίωσης.

4.6 ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ [7]

Επειδή η πιθανότητα να υπάρξει ολίσθηση στην στάθμη της θεμελίωσης είναι μεγάλη μπορούμε να φτιάξουμε μία περιμετρική ζώνη με οπλισμένο σκυρόδεμα γύρω από το κτίριο στην στάθμη θεμελίωσης-συνδετήριας δοκού

Αλλιώς προτείνεται σε χαμηλό έδαφος και σε επαφή με το χαμηλότερο σημείο των τοίχων κατασκευή χαλινών οπλισμένου σκυροδέματος

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ – ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΙΚΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ[9]

Η μεθοδολογία που ακολουθείται στην παρούσα εργασία για τον υπολογισμό της συνεισφοράς της ενίσχυσης σε προβληματικές θεμελιώσεις στηρίζεται στην εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων.

Σε σύγκριση με τις μεθόδους που προσεγγίζουν ελατηριακά το έδαφος, η προτεινόμενη μέθοδος εμφανίζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Προσομοιώνει καλύτερα τη συμπεριφορά του εδαφικού υλικού όταν αυτό βρίσκεται σε οριακή εντατική κατάσταση τέτοια που να επιφέρει τη διαρροή ή την αστοχία του, καθώς και τη συμπεριφορά του μετά τη διαρροή.
- Επιτρέπει με πιο φυσικό και ρεαλιστικό τρόπο την αναδιανομή των τάσεων στο εσωτερικό του εδάφους όταν εφαρμόζεται η ενίσχυση.
- Θεωρητικά δεν παρουσιάζει κανένα περιορισμό ως προς τη γεωμετρία της κατασκευής και το εδαφικό προφίλ και παρέχει ευελιξία στην προσομοίωση της ενίσχυσης.

Σαν μειονεκτήματα της συγκεκριμένης μεθόδου αλλά και του τρόπου εφαρμογής της στην παρούσα εργασία, θα μπορούσαν να αναφερθούν τα εξής:

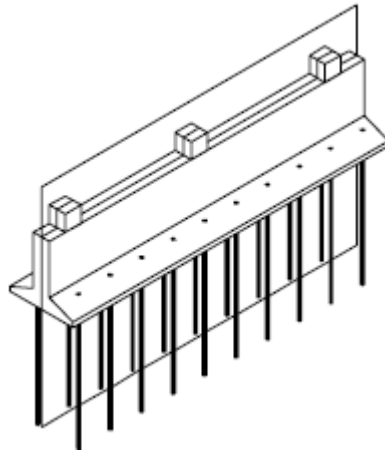
- Δε λαμβάνει υπόψη το φαινόμενο της στερεοποίησης σύμφωνα με τις κλασσικές προσεγγίσεις, αλλά το προσεγγίζει φαινομενολογικά, μέσω της ιξωδοπλαστικής εξέλιξης των μετακινήσεων και κατ' επέκταση μέσω του συντελεστή ιξώδους η .
- Λόγω έλλειψης στοιχείων διεπιφάνειας στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε, θεωρείται ότι αναπτύσσεται πλήρως η τριβή μεταξύ των στοιχείων δοκών και του εδάφους, γεγονός που συνήθως δεν ισχύει.

5.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ[9]

Εξετάζεται ένα παράδειγμα θεμελίωσης πλάτους $B=2.0m$, στατικού ύψους $h=0.60m$, και σχετικά μεγάλου μήκους. Το ρόλο της ενίσχυσης αναλαμβάνουν δύο στοιχεία δοκού διατομής $0.15m \times 0.15m$ ανά τρέχον μέτρο της θεμελίωσης.

Το έδαφος είναι ομογενές και χαρακτηρίζεται από συνοχή $c=100kN/m^2$ και γωνία τριβής $\varphi=20^\circ$, μέτρο ελαστικότητας $E=100000kN/m^2$, και λόγο του Poisson $\nu=0.3$. Το βραχώδες υπόβαθρο βρίσκεται στα $12.0m$ από τη στάθμη της θεμελίωσης.

Η θεμελίωση φορτίζεται με ένα φορτίο ίσο με $2000kN/m^2$ το οποίο είναι μικρότερο από το φορτίο αστοχίας, είναι όμως ικανό να επιφέρει πλαστικοποιήσεις σε μια μεγάλη περιοχή του εδάφους που προσομοιώνεται. (Σχήμα 16). Οι συνοριακές συνθήκες επιλέγονται έτσι ώστε να επιτρέπουν τις κατακόρυφες μετακινήσεις στα κατακόρυφα σύνορα και να απαγορεύουν τις οριζόντιες σε όλα τα σύνορα.



Σχήμα 16
Σκαρίφημα της θεμελίωσης, της ενίσχυσης και του επιπέδου συμμετρίας[9]

5.2 ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ[9]

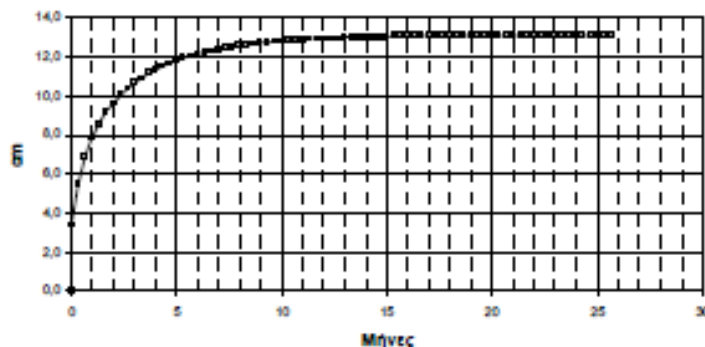
Η διαδικασία επίλυσης ακολουθεί τα επόμενα τρία βήματα:

- 1) Υπολογίζεται η αρχική εντατική κατάσταση. Στις επιλύσεις που ακολουθούν η τιμή του K_0 λαμβάνεται από τη σχέση $K_0 = \nu/(1-\nu)$, όπου ν ο λόγος του Poisson.
- 2) Το εδαφικό υλικό θεωρείται ότι υπακούει στον προαναφερθέντα ελαστικό ιξώδη-πλαστικό νόμο. Εφαρμόζεται το φορτίο της θεμελίωσης και υπολογίζονται οι μετακινήσεις και η εξέλιξή τους με το χρόνο στο μέσο του θεμελίου.
- 3) Σε κάποια χρονική στιγμή, εφαρμόζεται η ενίσχυση και στη συνέχεια υπολογίζεται η επιρροή της στην εξέλιξη των μετακινήσεων. Ο χρόνος αυξάνεται μέχρι ο ρυθμός των μετακινήσεων πρακτικά να μηδενιστεί, οπότε και θεωρείται ότι το φαινόμενο έχει ολοκληρωθεί. Σε όλη τη διάρκεια του φαινομένου είναι γνωστά τα εντατικά μεγέθη στα στοιχεία της ενίσχυσης, γεγονός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαστασιολόγησή τους.

5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ[9]

Αρχικά επιλύεται το προσομοίωμα χωρίς να χρησιμοποιηθούν στοιχεία ενίσχυσης και το αποτέλεσμα της επίλυσης δίνεται στο σχήμα 17.

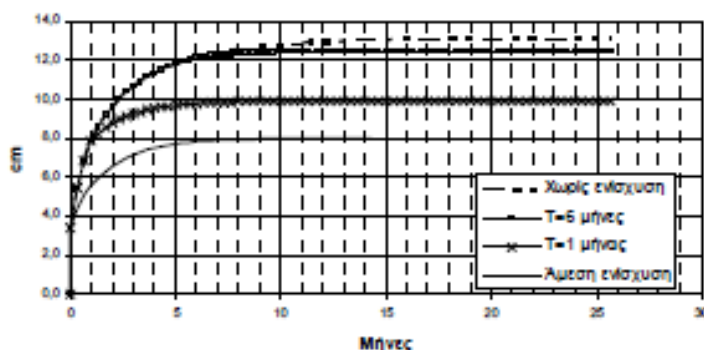
Η τελική τιμή των καθιζήσεων στο συγκεκριμένο πρόβλημα είναι ίση με 13.1cm και πραγματοποιείται μετά από περίπου 26 μήνες. Η άμεση καθίζηση είναι 3.4cm, δηλαδή ίση με το 26% της τελικής, ενώ μετά το πέρας 1, 2 και 6 μηνών η τιμή της καθίζησης είναι ίση με το 60%, 73% και 93% της τελικής καθίζησης αντίστοιχα, γεγονός καθοριστικό για την επιλογή του χρόνου της ενίσχυσης.



Σχήμα 17
Επίλυση χωρίς τη χρήση ενίσχυσης[9]

Ακολουθεί μια σειρά επιλύσεων που αφορούν την ενίσχυση με στοιχεία μήκους 8.0m, τα οποία θεωρούνται ότι μεταφέρουν τα φορτία στα βαθύτερα εδαφικά στρώματα μέσω της τριβής. Τα αποτελέσματα φαίνονται στο Σχήμα 18.

Στη σειρά αυτή των επιλύσεων παρατηρείται ότι όταν η ενίσχυση εφαρμοστεί άμεσα, τότε οι μετακινήσεις μειώνονται κατά περίπου 40%, συγκριτικά με την περίπτωση που δεν εφαρμόζεται καμιά ενίσχυση. Αν η ενίσχυση εφαρμοστεί μετά από 1 μήνα τότε η μείωση αγγίζει το 23%, ενώ μετά τους 6 μήνες η συνεισφορά της ενίσχυσης είναι αμελητέα. Μπορεί ακόμα να παρατηρηθεί ότι η εφαρμογή της ενίσχυσης έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού αύξησης των καθιζήσεων αλλά και του χρόνου που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί το φαινόμενο.

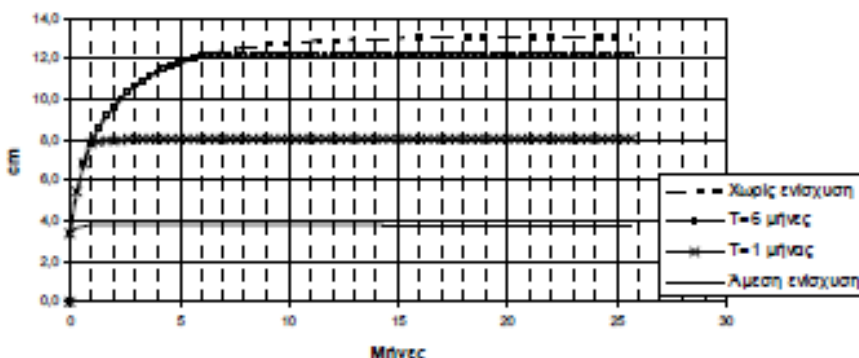


Σχήμα 18

Αποτελέσματα επιλύσεων για διάφορες χρονικές στιγμές εφαρμογής της ενίσχυσης, η οποία αποτελείται από πασσάλους τριβής.[9]

Τέλος εξετάζεται η περίπτωση κατά την οποία τα στοιχεία ενίσχυσης έχουν μήκος 12.0m και η αιχμή τους εδράζεται στο βραχώδες υπόβαθρο. Τα αποτελέσματα των επιλύσεων αυτών φαίνονται στο Σχήμα 19.

Συγκριτικά με τα αποτελέσματα της προηγούμενης περίπτωσης μπορεί να παρατηρηθεί ότι και σ' αυτήν την περίπτωση η συνεισφορά της ενίσχυσης είναι αμελητέα, αν η ενίσχυση εφαρμοστεί μετά τον 6ο μήνα. Η διαφορά όμως με την προηγούμενη περίπτωση είναι ότι τώρα ο ρυθμός αύξησης των καθιζήσεων μηδενίζεται σχεδόν άμεσα, το φαινόμενο πρακτικά σταματά τη στιγμή που ενεργοποιούνται τα στοιχεία της ενίσχυσης και η τελική τιμή της καθίζησης είναι περίπου ίση με την τιμή της καθίζησης τη χρονική στιγμή που εφαρμόζεται η ενίσχυση.



Σχήμα 19

Αποτελέσματα επιλύσεων για διάφορες χρονικές στιγμές εφαρμογής της ενίσχυσης, η οποία αποτελείται από πασσάλους αιχμής.[9]

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ανακεφαλαιώνοντας την παρούσα εργασία μπορούμε να σταθούμε στα εξής σημεία:

- (α) Οι προβληματικές θεμελιώσεις αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους λόγους αστοχίας των κατασκευών.
- (β) Δεν υπάρχει στη σύγχρονη αρθρογραφία ένα κοινά αποδεκτό κριτήριο ανάγκης εφαρμογής ενίσχυσης μιας θεμελίωσης, αλλά ούτε και μια κοινά αποδεκτή μεθοδολογία υπολογισμού της.
- (γ) Το πρόβλημα επίλυσης ενός συστήματος θεμελίωσης–εδάφους–ενίσχυσης, είναι ένα σύνθετο, χρονικά εξαρτώμενο πρόβλημα αλληλεπίδρασης.
- (δ) Τα ιξωδοπλαστικά μοντέλα συμπεριφοράς των υλικών είναι ικανά να περιγράψουν συμπεριφορές παρόμοιες με αυτές που παρατηρούνται στις προβληματικές θεμελιώσεις.
- (ε) Η παράλληλη χρήση ιξωδοπλαστικών μοντέλων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να εφαρμοστεί στη μελέτη προβληματικών θεμελιώσεων με ρεαλιστικά αποτελέσματα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δρίτσος Σ.: «Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα». Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2009, σελ.: 158 -160
- [2] Ατματζίδης Δ. , Αθανασόπουλος Γ. : «Βελτιώσεις-Ενισχύσεις εδαφών». Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών 2006,σελ: i-ii
- [3] <http://www.ramjacksc.com/RamJackFoundationRepairPhotos.html>
- [4] <http://www3.imperial.ac.uk/geotechnics/people/researchers/chrismartin3>
- [5] http://www.helitechonline.com/Portals/11/chimney_before.jpg
- [6] <http://archfoundationrepair.com/repairs.htm>
- [7] www.episkeves.civil.upatras.gr/.../13%20PANAGIOTOPOYLOY.pdf
- [8] <http://www.episkeves.civil.upatras.gr/ergasies%202006/12%20ADAMOPOYLOS.pdf>
- [9] http://library.tee.gr/digital/m2134/m2134_karaoulanis.pdf