

Χρήση δοκιμαστικών επιχωμάτων για τη διερεύνηση της συμπίεστικότητας εδαφικών σχηματισμών

Soil compressibility assessment via trial embankments

ΓΚΙΚΑΣ, Β.Ι.
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.Φ.
ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ.

Μεταλλειολόγος Μηχανικός MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε., Υ.Δ. Ε.Μ.Π.
Πολιτικός Μηχανικός MSc - Εδαφομηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Παρουσιάζονται οι μετρήσεις καθιζήσεων δοκιμαστικών επιχωμάτων επί συμπίεστων αλλουβιακών, ελλουβιακών και ελωδών γεωλογικών σχηματισμών σε τμήμα χάραξης νέου αυτοκινητοδρόμου. Παρατίθεται συνοπτική περιγραφή των επικρατουσών γεωτεχνικών συνθηκών και της διάταξης των γεωτεχνικών οργάνων παρακολούθησης της συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης. Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον ανάστροφο προσδιορισμό αντιπροσωπευτικών τιμών του μέτρου ελαστικότητας (E') του εδάφους έδρασης, που υπόκειται συνθήκες φόρτισης χωματοουργικών έργων οδοποιίας και παρατίθεται σύγκριση των αποτελεσμάτων με τιμές E' που προκύπτουν μέσω συσχετίσεων από επιτόπου δοκιμές SPT.

ABSTRACT: The paper presents settlement measurements of trial embankments constructed on compressible alluvial, eluvial and swamp deposits along a new motorway section. A brief summary of the geotechnical conditions of the examined area, as well as the configuration of the geotechnical monitoring that was applied within the foundation ground are described. Representative values of the modulus of the elasticity (E') of the ground, which was subjected to loading by highway earthworks, are estimated via back calculations. The calculated E' values are compared with values that are derived via correlations from in-situ SPT.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το μέγεθος και η χρονική εξέλιξη των καθιζήσεων επιχωμάτων αυτοκινητοδρόμων που καταλαμβάνουν σημαντικό εύρος, δεν είναι συχνά εφικτό να προβλεφθεί μελετητικά με μεγάλη ακρίβεια. Ως βασικοί λόγοι δύνανται να αναφερθούν η μεταβλητότητα της στρωματογραφίας του εδάφους σε μεγάλες και κυρίως επιμήκεις φορτιζόμενες επιφάνειες, η συνήθης ετερογένεια των ιδιοτήτων των εκάστοτε επικρατουσών εδαφικών σχηματισμών, οι δυσκολίες εκτίμησης αντιπροσωπευτικών τιμών των απαιτούμενων παραμέτρων της συμπίεστικότητας των εδαφών και το περιορισμένο, συνήθως, πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών που εκτελείται.

Δεδομένων των αβεβαιοτήτων που πολύ συχνά λοιπόν υπεισέρχονται στις εκτιμήσεις καθιζήσεων, την πλέον αξιόπιστη μέθοδο ακριβέστερων προβλέψεων της απόκρισης του εδάφους σε φορτίσεις που προκαλούν χωματοουργικά έργα, αποτελεί η κατασκευή δοκιμαστικών επιχωμάτων (Asaoka 1978). Με τον τρόπο αυτό, οι προβλέψεις των γεωτεχνικών μελετών, που στηρίζονται σε αποτελέσματα επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών, δύνανται να επικαιροποιηθούν προς το ακριβέστερο, κατόπιν κατάλληλων ενόργανων μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν σε περιοχές επιχωμάτων που θα παρακολουθηθούν επαρκώς. Για τη λήψη, βεβαίως, ρεαλιστικών εκτιμήσεων το μέγεθος των δοκιμαστικών επιχωμάτων (επιφάνεια και ύψος επίχωσης) απαιτείται να είναι αντιπροσωπευτικό έτσι ώστε να προσομοιώνεται ρεαλιστικά στο πεδίο η επίδραση των φορτίσεων του προβλεπόμενου τελικού έργου στο έδαφος.

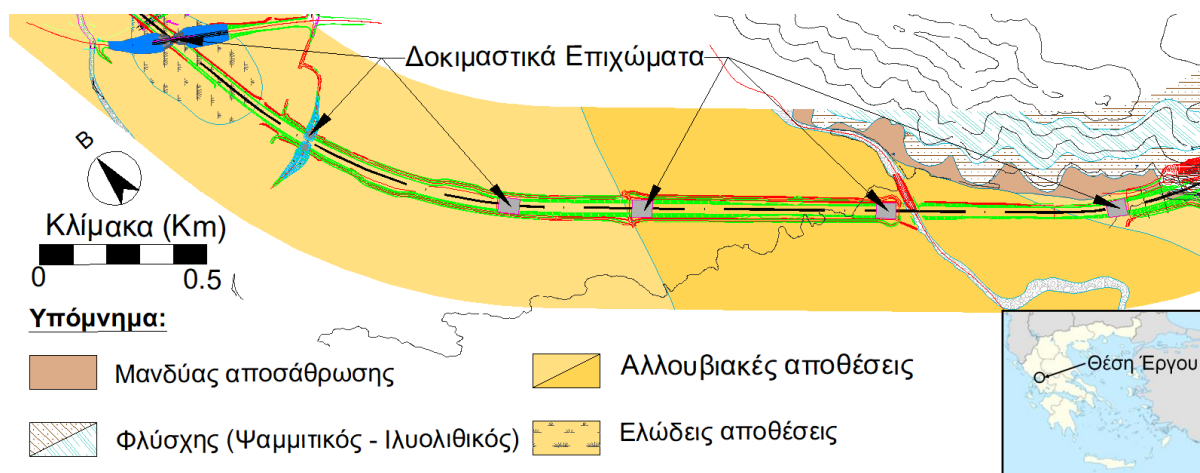
Η πραγματική συμπεριφορά του εδάφους και κυρίως οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας (E') παρουσιάζουν μη γραμμικότητα και εξαρτώνται από τη βαθμίδα φόρτισης, το εύρος παραμορφώσεων κτλ. (Burland 1989, Atkinson 2000, Clayton 2011). Ωστόσο, η υιοθέτηση γραμμικής ελαστικότητας και θεώρησης ισότροπου εδάφους θεμελίωσης αποτελεί συνηθισμένη μελετητική πρακτική για την εκτίμηση καθιζήσεων χωματουργικών έργων. Στο παρόν άρθρο παρατίθενται αποτελέσματα ανάστροφων υπολογισμών προσδιορισμού τιμών ελαστικών παραμέτρων του εδάφους θεμελίωσης, που υπόκεινται σε φόρτιση από δοκιμαστικά επιχώματα οδοποιίας, για εύρος παραμορφώσεων που προσδιορίστηκε από επιτόπου μετρήσεις καθιζήσεων σε τμήμα του νέου αυτοκινητοδρόμου της Ιόνιας οδού.

Η Ιόνια Οδός αποτελεί σύγχρονο αυτοκινητόδρομο μήκους 196χλμ που ολοκληρώθηκε πλήρως, προ περίπου διετίας και συνδέει το Αντίρριο με τα Ιωάννινα. Σε ορισμένα πεδινά τμήματα του νέου αυτοκινητοδρόμου όπου προβλέφθηκε η κατασκευή επιχωμάτων επί ιδιαιτέρως, σε ορισμένες περιπτώσεις, συμπιεστών σχηματισμών αποφασίσθηκε η συλλογή ακριβέστερων εκτιμήσεων των καθιζήσεων μέσω της εφαρμογής δοκιμαστικών επιχωμάτων. Τα δοκιμαστικά επιχώματα που παρουσιάζονται στο παρόν άρθρο κατασκευάσθηκαν σε αντιπροσωπευτικές θέσεις κατά μήκος της πεδιάδας του Κομποτιού Άρτας και είχαν σκοπό την έγκαιρη απόκτηση πληροφοριών περί της συμπεριφοράς των εδαφών σε θέσεις οι οποίες ήταν κρίσιμες για την τήρηση των χρονοδιαγραμμάτων ολοκλήρωσης του έργου. Τα δοκιμαστικά επιχώματα σε κάποιες θέσεις παρέμειναν και ενσωματώθηκαν στο χωματουργικό έργο του αυτοκινητοδρόμου και σε άλλες περιπτώσεις καθαιρέθηκαν για την κατασκευή, στις διερευνώμενες περιοχές, των προβλεπόμενων τεχνικών (π.χ. Κάτω Διαβάσεων ή Οχετών) του έργου.

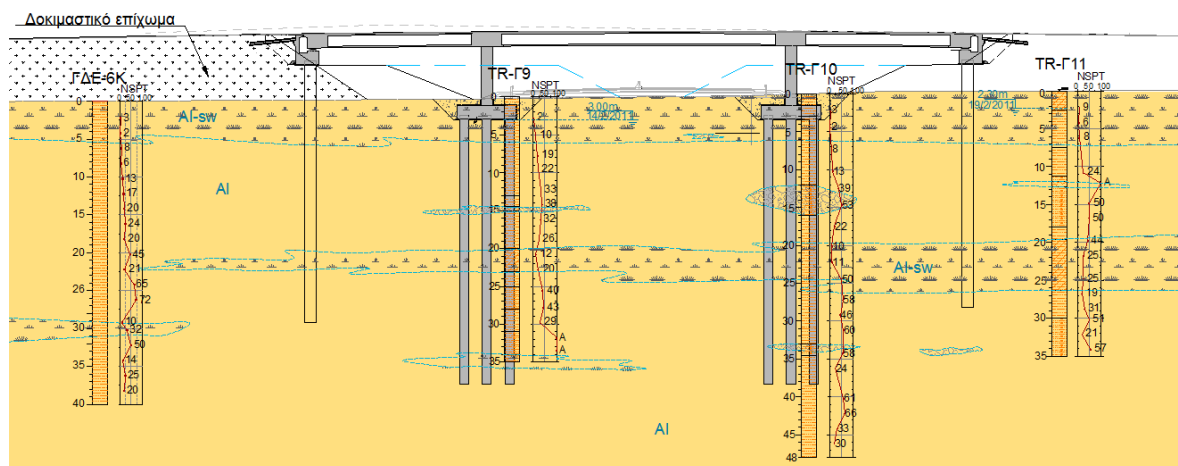
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Οι αλλουβιακές αποθέσεις που καλύπτουν την πεδιάδα του Κομποτιού αποτελούν τμήμα μίας πολύ ευρύτερης Τεταρτογενούς λεκάνης που σχηματίστηκε στη βόρεια πλευρά της ακτογραμμής του Αμβρακικού κόλπου και συνιστά το χερσαίο τμήμα της νεοτεκτονικής λεκάνης του Αμβρακικού κόλπου. Έχουν αποθεθεί σε ποτάμιο, χερσαίο και ελώδες περιβάλλον. Υπέρκεινται του φλύσχικου υποβάθρου που συνιστά το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής (Σχήμα 1). Οι αλλουβιακές αποθέσεις είναι το αποτέλεσμα της κατόπτη μετακίνησης και επακόλουθης απόθεσης των αποσαθρωμάτων που προέκυψαν από τη διάβρωση των σχηματισμών του φλύσχη.

Η κοκκομετρία και η διαβάθμιση των αλλουβιακών αποθέσεων επηρεάζεται έντονα από το μητρικό πέτρωμα προέλευσης, τη φάση δηλαδή του φλύσχη στην προκειμένη περίπτωση, και από τις διεργασίες μεταφοράς και απόθεσης. Αποτελούνται από εναλλασσόμενους οριζόντες και φακούς μιγμάτων αμμωδών αργιλοϊλύων, αργιλοϊλυωδών άμμων και χαλικών. Ενίοτε περιέχουν και οργανικό υλικό. Το χρώμα των αποθέσεων κυμαίνεται από ανοικτό έως σκούρο καστανό, τεφρό, υποκίτρινο και πρασινοκάστανο.



Σχήμα 1. Γεωλογικοί σχηματισμοί περιοχής Κομποτιού/Άρτας & άξονας χάραξης Ιόνιας οδού
Figure 1. Geological formations of Kompoti / Arta area & Ionian highway alignment



Σχήμα 2. Τυπική στρωματογραφία εδάφους αλλουβιακών αποθέσεων Κομποτίου σε θέση Άνω διάβασης του αυτοκινητοδρόμου
 Figure 2. Typical ground stratigraphy of alluvial deposits of Kompoti plane at the location of an overpass of the highway

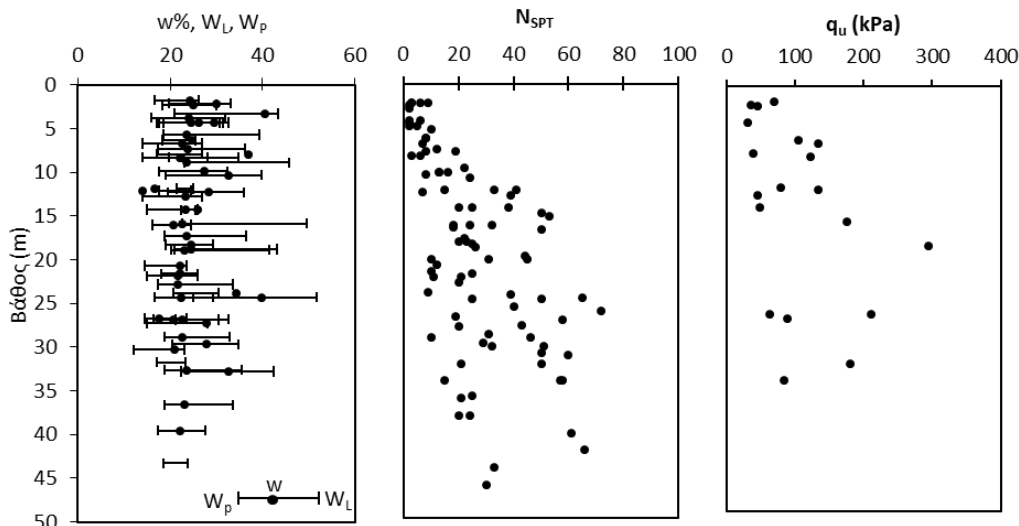
Η στάθμη των υπόγειων υδάτων, βάσει των μετρήσεων στις γεωτρήσεις, συναντήθηκε σε βάθη μεταξύ 2.6-10.0m από την επιφάνεια του εδάφους και διαμορφώνονταν σε ένα γενικά σταθερό επίπεδο με μέσο υψόμετρο περί τα +19m. Οι αλλουβιακές αποθέσεις συνιστούν έναν ετερογενή σχηματισμό με την κίνηση των υπογείων υδάτων να πραγματοποιείται εντός των πιο αδρομερών ζωνών. Γενικά δεν διαπιστώθηκαν απολύτως αδιαπέρατες ζώνες με τέτοια εμμονή και εξάπλωση, ώστε να δημιουργούν φραγμούς εντός των αποθέσεων. Ωστόσο, δεν μπορεί να αποκλειστεί το ενδεχόμενο τοπικής παρουσίας υδρογεωλογικών συνθηκών επικρεμάμενων ή υπό πίεση υδροφόρων. Στην περιοχή όπου συναντήθηκαν ελώδεις αποθέσεις, η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα διαμορφώνεται πλησίον της επιφάνειας, και σε επίπεδο 1-2m υψηλότερο από αυτό της υπόλοιπης περιοχής.

Τυπικά αποτελέσματα εργαστηριακών και επιτόπου δοκιμών παρουσιάζονται στο Σχήμα 3. Οι επιτόπου δοκιμές SPT αλλά και οι εργαστηριακές δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης υποδεικνύουν αύξηση των μηχανικών χαρακτηριστικών με το βάθος με σταδιακή μετάβαση από πολύ μαλακούς σχηματισμούς σε σιφρούς έως σκληρούς σχηματισμούς. Οι αλλουβιακές αποθέσεις ήταν κανονικά έως ελαφρά υπερ-στερεοποιημένες. Στην περιοχή, επιφανειακά, συναντάται επίσης το τυπικό εδαφικό προφίλ αντίστοιχων γεωλογικών ενοτήτων με την πλέον επιφανειακή ζώνη να εμφανίζει αυξημένη σιφρότητα / υπερστερεοποίηση που βαίνει μειούμενη από την επιφάνεια έως κατά μέσο όρο τα 2.0m βάθους. Η φυσική υγρασία μετρήθηκε κατά μέση τιμή περίπου 25% με σχετικά μικρή διακύμανση, το όριο υδαρότητας κατά μέση τιμή περίπου 32% με τοπικά σημαντικά μεγαλύτερες τιμές, ενώ το όριο πλαστικότητας περίπου 18% με σχετικά μικρή διακύμανση.

3. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ – ΟΡΓΑΝΑ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

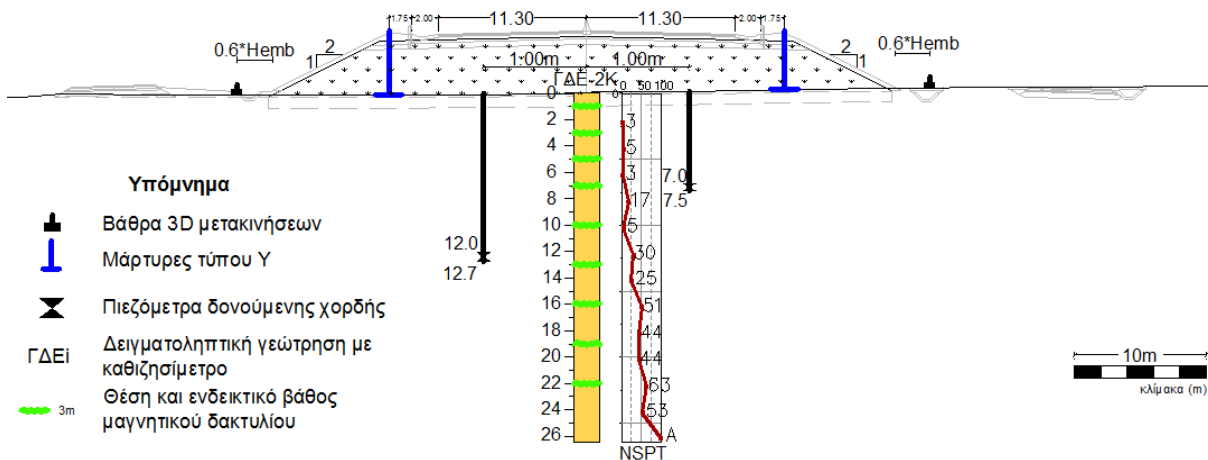
Η χάραξη του αυτοκινητοδρόμου κατά μήκος των πεδινών περιοχών του Κομποτίου διέρχεται μέσω γενικά χαμηλού ύψους επιχωμάτων. Το μέγιστο ύψος των επιχωμάτων διαμορφώνεται, στις θέσεις των Κάτω Διαβάσεων, της τάξεως των 7.0 – 8.0m ενώ το μέσο ύψος αυτών είναι της τάξεως των 4.0m. Το εύρος κατάληψης των χωματοουργικών έργων, τα οποία προβλέφθηκαν με κλίση πρανών 1:2 (κατ:οριζ), ήταν της τάξεως 45.0m περίπου.

Στην πεδιάδα του Κομποτίου Άρτας κατασκευάστηκαν συνολικά 6 δοκιμαστικά επιχώματα, ενώ σε ένα εξ αυτών τοποθετήθηκε και κάρναβος κατακόρυφων γεωσυνθετικών στραγγιστηρίων για διερεύνηση της επιτάχυνσης των καθιζήσεων. Όπου ήταν δυνατόν, τα δοκιμαστικά επιχώματα ενσωματώθηκαν στο τελικό χωματοουργικό έργο της οδού. Το μήκος κάθε δοκιμαστικού επιχώματος ήταν της τάξεως των 50 έως 60m και καταλάμβανε το πλήρες



Σχήμα 3. Τυπικό εδαφικό προφίλ αλλουβιακών αποθέσεων
 Figure 3. Typical soil profile of the alluvial deposits

πλάτος του αυτοκινητοδρόμου. Στην κεντρική διατομή κάθε δοκιμαστικού επιχώματος, (διατομή ελέγχου) τοποθετήθηκαν εντός και επί του εδάφους θεμελίωσης όργανα παρακολούθησης (Σχήμα 4). Τα όργανα συνίστατο από μαγνητικά καθιζήσιμτρα, πιεζόμετρα δονούμενης χορδής, πλάκες ελέγχου καθιζήσεων στη στάθμη έδρασης των άκρων του επιχώματος (τύπου Υ) και μάρτυρες παρακολούθησης επιφανειακών μετακινήσεων στην επιφάνεια του εδάφους και πέραν του πόδα του επιχώματος (σε απόσταση 0.5 – 0.7 του τελικού ύψους του επιχώματος) με σκοπό την έγκαιρη ανίχνευση ανυψωτικών κινήσεων που θα υποδεικνύαν πιθανότητα ενεργοποίησης αστοχίας εδάφους θεμελίωσης. Τα καθιζήσιμτρα αποτελούνταν από μαγνητική πλάκα στη επιφάνεια του εδάφους και μαγνητικούς δακτυλίους τοποθετημένους με μεγαλύτερη πυκνότητα ρηγά και αραιότερα βαθύτερα (κατά μέσο όρο ανά 3.0m βάθους). Εγκαταστάθηκαν εντός δειγματοληπτικών γεωτρήσεων για τον επακριβή προσδιορισμό της στρωματογραφίας του εδάφους ανά θέση, ενώ εντός των διατρήσεων εκτελέστηκαν δοκιμές SPT ανά δυο μέτρα και τακτικές επιτόπου δοκιμές διαπερατότητας (Maag). Το βάθος των γεωτρήσεων εξαρτάτο από τις επιτόπου εδαφικές συνθήκες και τέθηκε ως κριτήριο επιλογής μεγίστου βάθους είτε η συνάντηση ικανής αντοχής στρώσης (π.χ. υποβάθρου) είτε τα 40m καθώς θεωρήθηκε ότι βαθύτερα οι καθιζήσεις θα είναι πολύ μικρές. Τα πιεζόμετρα δονούμενης χορδής εγκαταστάθηκαν εντός “τυφλών” γεωτρήσεων, δίπλα στα καθιζήσιμτρα, σε βάθη της τάξεως των 5.0 - 8.0m και 10 - 15m με σκοπό την παρακολούθηση των πιέσεων πόρων και τη διευκόλυνση της πρόβλεψης εξέλιξης των υπολειπόμενων καθιζήσεων.

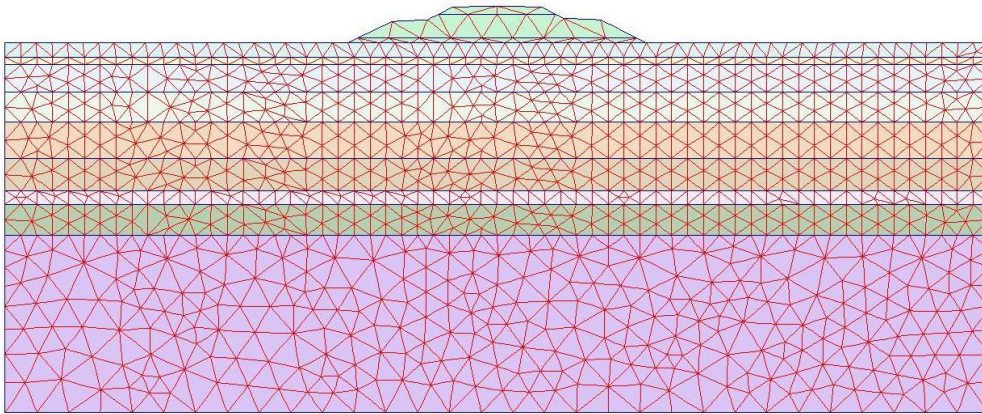


Σχήμα 4. Τυπική διατομή δοκιμαστικού επιχώματος και διάταξη γεωτεχνικών οργάνων
 Figure 4. Typical cross section of trial embankment and monitoring arrangement

4. ΑΝΑΣΤΡΟΦΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

4.1 Γενικά

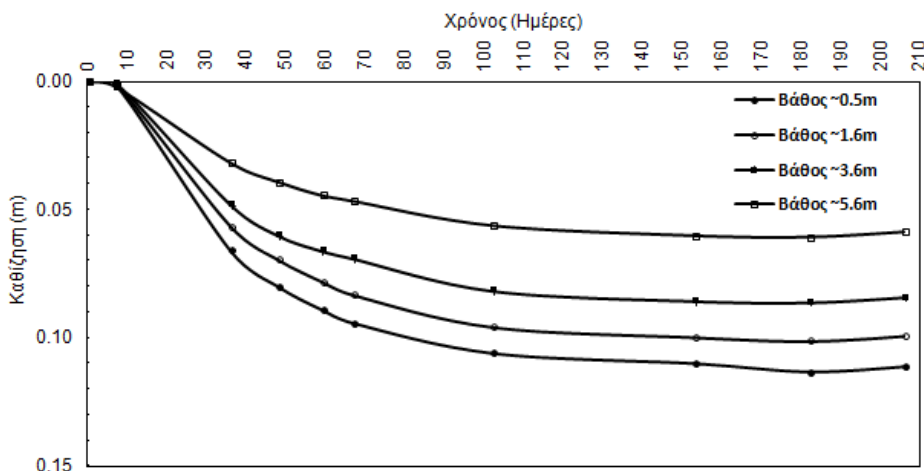
Βάσει των καθιζήσεων από τις επιτόπου μετρήσεις εκτελέσθηκαν ανάστροφες αναλύσεις σε έξι (6) δοκιμαστικά επιχώματα στην πεδιάδα του Κομποτίου. Σκοπός των αναλύσεων ήταν ο ανάστροφος προσδιορισμός αντιπροσωπευτικών τιμών του μέτρου ελαστικότητας στο εύρος των εκδηλωθεισών επιτόπου παραμορφώσεων. Οι υπολογισμοί εκτελέσθηκαν με χρήση του κώδικα πεπερασμένων στοιχείων PLAXIS (Brinkgreve 2007) και απλοποιητική παραδοχή γραμμικής ελαστικότητας. Στον κώδικα έγινε εισαγωγή της γεωμετρίας του δοκιμαστικού επιχώματος και το εκάστοτε εδαφικό προφίλ όπως προέκυψε από τη γεωτεχνική έρευνα (Σχήμα 5), το οποίο προσαρμοζόταν κάθε φορά κατάλληλα βάσει και των επιτόπου μετρήσεων.



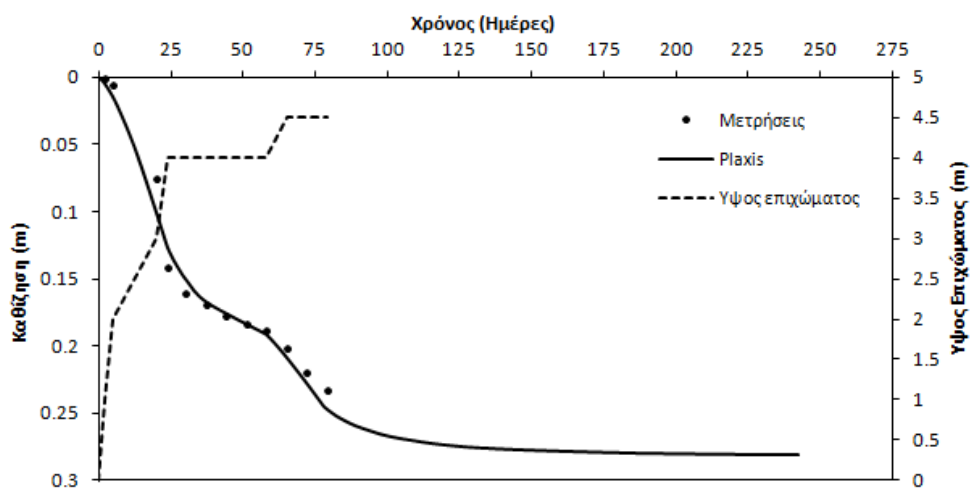
Σχήμα 5. Τυπικός κάρναβος πεπερασμένων στοιχείων ανάστροφων αναλύσεων
Figure 5. Typical finite element mesh used for back-calculations

4.2 Μετρήσεις - Εκτίμηση μέγιστης καθίζησης

Στις περιπτώσεις που η εξέλιξη των καθιζήσεων ολοκληρώθηκε εντός της περιόδου της ενόργανης παρακολούθησης των δοκιμαστικών επιχωμάτων, η κατανομή των καθιζήσεων με το βάθος υπολογίστηκε από την αντίστοιχη μετακίνηση του εκάστοτε τοποθετημένου μαγνητικού δακτυλίου του καθιζησιμέτρου. Στο Σχήμα 6 παρατίθεται χαρακτηριστικό προφίλ καθιζήσεων με το βάθος σε θέση όπου οι καθιζήσεις ολοκληρώθηκαν κατά την διάρκεια λήψης μετρήσεων.



Σχήμα 6. Μετρήσεις μαγνητικού καθιζησιμέτρου
Figure 6. Magnet extensometer measurements



Σχήμα 7. Εκτίμηση της μέγιστης καθίζησης με αναλύσεις στερεοποίησης
 Figure 7. Estimation of the maximum settlement with consolidation analysis.

Λόγω χρονικών περιορισμών, σε κάποιες περιπτώσεις οι λήψεις μετρήσεων στα μαγνητικά καθιζησόμετρα διακόπηκαν πριν την ολοκλήρωση του συνόλου των καθιζήσεων. Σε αυτές τις περιπτώσεις εκτελέστηκαν αναλύσεις στερεοποίησης για την εκτίμηση της μέγιστης καθίζησης, με αναφορά την περιοχή της μαγνητικής πλάκας στην επιφάνεια του εδάφους. Οι αναλύσεις αυτές έλαβαν υπόψη την κατασκευαστική διαδικασία του επιχώματος και τον χρόνο παραμονής κάθε σταδίου ανύψωσης του χωματουργικού έργου (Σχήμα 7).

4.3 Αποτελέσματα ανάστροφων αναλύσεων

Με δεδομένα τη στρωματογραφία και τα προφίλ των καθιζήσεων με το βάθος, εκτελέστηκαν ανάστροφες αναλύσεις (Σχ. 8) με σκοπό την κατά το δυνατόν ταύτιση των μετρηθεισών μετακινήσεων (σημεία στα διαγράμματα) με τις αριθμητικά υπολογιζόμενες μέγιστες μετακινήσεις (συνεχείς γραμμές). Στις περιπτώσεις των επιχωμάτων όπου οι μετρήσεις διακόπηκαν προ της ολοκλήρωσης των καθιζήσεων, η ταύτιση επιχειρήθηκε να επιτευχθεί με την υπολογιζόμενη αριθμητικά καθίζηση κατά την ημέρα τερματισμού των μετρήσεων (χοντρές διακεκομμένες γραμμές).

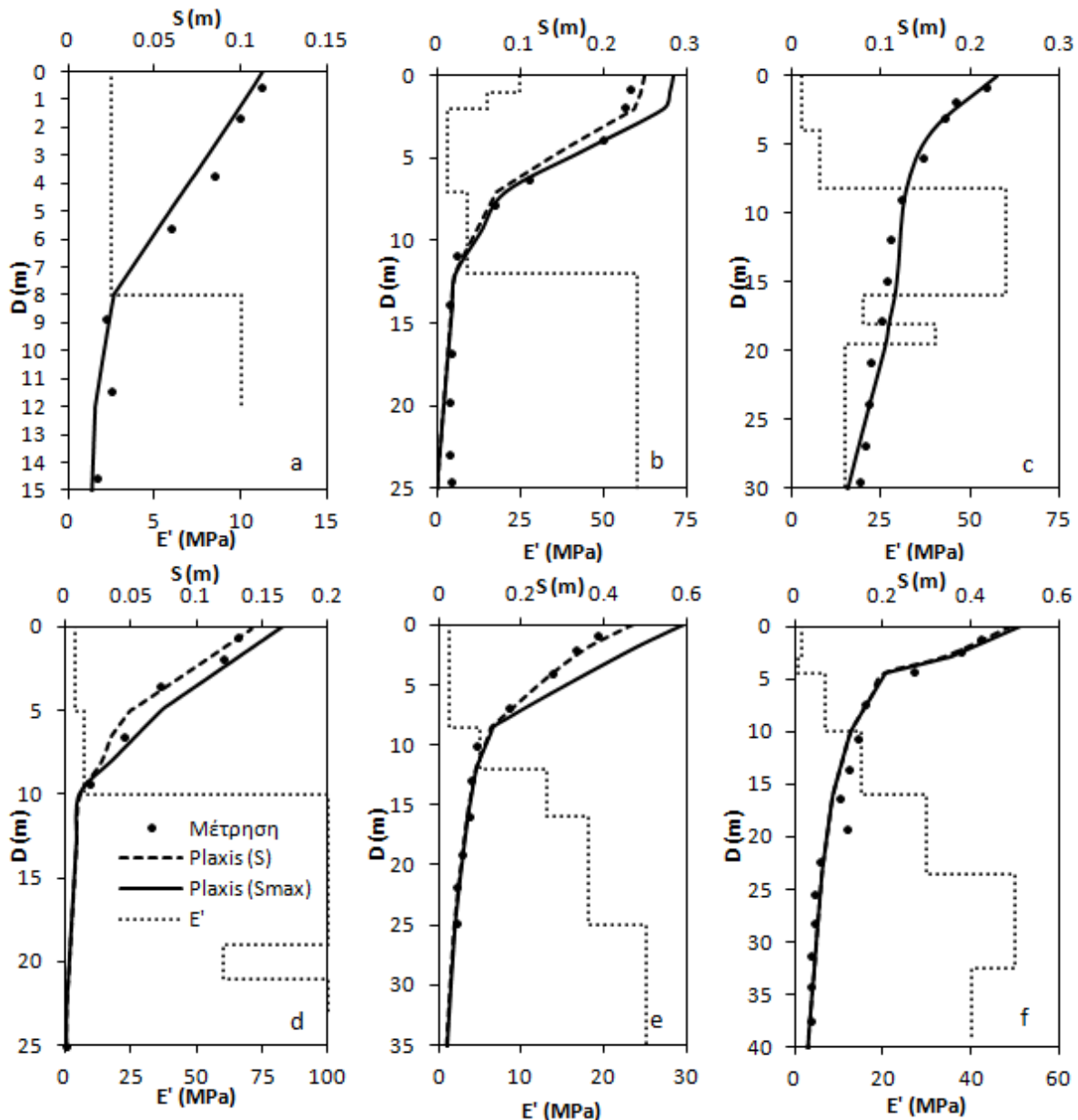
Τα αποτελέσματα των ανάστροφων αναλύσεων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά ανά δοκιμαστικό επίχωμα στο Σχήμα 8. Για κάθε ανάλυση παρατίθεται η κατανομή του μέτρου ελαστικότητας E' με το βάθος (λεπτές διακεκομμένες γραμμές), όπως αυτό προέκυψε από τις ανάστροφες αναλύσεις, το βάθος (D), η καθίζηση κατά την τελευταία μέτρηση (S) και η μέγιστη καθίζηση (S_{max}). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων και οι εκτιμήσεις των γεωτεχνικών παραμέτρων διαπιστώθηκαν σε γενική συμφωνία με τις προβλέψεις των γεωτεχνικών μελετών (ΕΔΑΦΟΣ, 2009).

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αντιπροσωπευτική τιμή του μέτρου ελαστικότητας που υπολογίστηκε για κάθε στρώση του συνεκτικού εδάφους έδρασης, μέσω των αριθμητικών αναλύσεων, συσχετίστηκε με τον αντίστοιχο μέσο διορθωμένο αριθμό κτύπων της δοκιμής SPT στο 60% της θεωρητικής ενέργειας ελεύθερης πτώσης της σφύρας N_{60} . Για την κάθε στρώση που υπολογίστηκε ο λόγος E'/N_{60} , έγινε αντίστοιχα υπολογισμός της αξονικής τροπής (ανηγμένης παραμόρφωσης) της στρώσης, με βάση τα αποτελέσματα των αριθμητικών αναλύσεων. Τα δύο αυτά μεγέθη παρουσιάζονται στο Σχήμα 9 μαζί με εκτίμηση της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης τιμής.

Σε όλο το εύρος των αξονικών τροπών ο λόγος του μέτρου ελαστικότητας (E') ως προς το N_{60} ελαττώνεται με την αύξηση των αξονικών παραμορφώσεων. Επισημαίνεται ότι σε περιοχές παραμορφώσεων μεγαλύτερων από $\epsilon > 1\%$ υπάρχει πιθανότητα πλαστικοποίησης μέρους της εδαφικής μάζας (Atkinson, 2007). Η εκτίμηση τιμών του μέτρου ελαστικότητας για το σύνολο

των παραμορφώσεων (ελαστικών και πιθανών πλαστικών) δεν είναι ρεαλιστικός σε περίπτωση πλαστικών παραμορφώσεων, ωστόσο αποτελεί συντηρητική παραδοχή. Διερεύνηση με χρήση ελαστοπλαστικών αναλύσεων και πιο αντιπροσωπευτικών μοντέλων εδάφους θα μπορούσε να οδηγήσει σε ακριβέστερους υπολογισμούς των παραμέτρων παραμορφωσιμότητας, και της μεταβολής τους με το επίπεδο των ανηγμένων παραμορφώσεων.

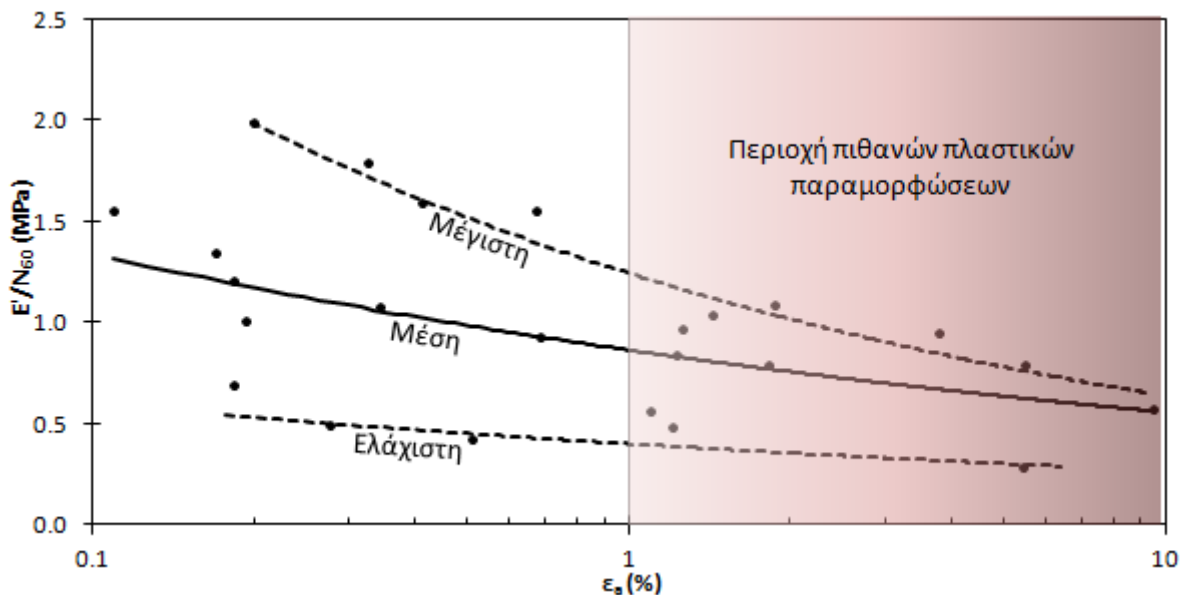


Σχήμα 8. Αποτελέσματα ανάστροφων αναλύσεων για κάθε δοκιμαστικό επίχωμα.
Figure 8. Results of back analysis for each trial embankment.

Για τους συνεκτικούς σχηματισμούς της πεδιάδας του Κομποτιού Άρτας και για τις συνθήκες φόρτισης των συγκεκριμένων επιχωμάτων, το μέτρο ελαστικότητας E' (MPa) βρέθηκε σε ένα εύρος που κυμαίνεται περίπου από 0.5 έως 2 του N_{60} που είναι σε συμφωνία με προτεινόμενες τιμές της βιβλιογραφίας αναλόγως και των βαθμίδων φόρτισης (Stroud 1989).

Τα επιχώματα αυτοκινητοδρόμων επί συμπιεστών σχηματισμών καταλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες και συνήθως προσθέτουν σημαντικές τάσεις στο έδαφος. Η εκτίμηση των καθιζήσεων με χρήση απλοποιητικών παραδοχών απαιτεί μια συντηρητική εκτίμηση του μέτρου ελαστικότητας μέσω συσχετίσεων με τις επιτόπου και τις εργαστηριακές δοκιμές.

Τα δοκιμαστικά επιχώματα, όπως αποδείχθηκε από την εφαρμογή τους στον αυτοκινητόδρομο της Ιόνιας Οδού αποτελούν εξαιρετική μέθοδο επιβεβαίωσης παραδοχών, διερεύνησης λύσεων και επίτευξης οικονομίας χρημάτων και χρόνου.



Σχήμα 9. Υπολογισθείσα συσχέτιση E'/N_{60} (MPa) με αξονική τροπή ϵ_a (%)
 Figure 9. Calculated correlation of E'/N_{60} (MPa) with axial strain ϵ_a (%)

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο αυτοκινητόδρομος της Ιόνιας οδού κατασκευάστηκε με το σύστημα “Μελέτη – Κατασκευή” ως έργο παραχώρησης. Η ΤΕΡΝΑ Α.Ε., για λογαριασμό της Κ/Ξ EUROIONIA, ανέλαβε την κατασκευή του έργου από τον παραχωρησιούχο “ΝΕΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.”.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. (2014), "Ιόνια οδός - Τμήμα 2 (Χ.Θ. 76+618 - 129+053 - Τεύχος παρουσίασης εκτελεσθεισών εργασιών εγκατάστασης οργάνων σε θέσεις δοκιμαστικών επιχωμάτων μεταξύ των Χ.Θ. 124+240 - 129+780 (υποτμήμα 204)".
- ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. (2009), "Ιόνια οδός - Τμήμα 2 (Χ.Θ. 76+618 - 129+053 - Οριστική γεωτεχνική μελέτη επιχωμάτων Χ.Θ. 124+240 - 129+780".
- Asaoka, A. (1978), "Observational procedure of settlement prediction", Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, vol 11, No4 pp. 87-101
- Atkinson, J. H. (2000). Non-linear soil stiffness in routine design. The 40th Rankine Lecture. Geotechnique 50, No. 5, 487–508.
- Atkinson, J. (2007), "The Mechanics of Soils and Foundations", Second Edition, Taylor & Francis.
- Brinkgreve, R.B.J. (2007). "Plaxis 2D Version 8.6". A.A. Balkema, The Netherlands
- Burland, J. B. (1989). Small is beautiful: the stiffness of soils at small strains. Ninth Laurits Bjerrum Lecture. Can. Geotech. J. 26, No. 4, 499–516.
- Clayton, C. R. I. (2011). Stiffness at small strain: research and practice. The 40th Rankine Lecture. Geotechnique 61, No. 1, 5–37
- Stroud, M.A. (1989), "The standard penetration test - its application and interpretation", Proc. ICE Conf. on Penetration Testing in the UK, Birmingham. Thomas Telford, London.