Προσδιορισμός συμπεριφοράς ετερογενών μεταλπικών εδαφικών σχηματισμών με δοκιμαστικά επιχώματα και στοχαστικές αναλύσεις ευστάθειας

Performance determination of heterogeneous post-alpine age soil formations via trial embankments and stochastic stability analyses

ΤΥΡΗ, Δ.	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΓΚΙΚΑΣ, Β.	Δρ. Μηχανικός Μεταλλείων, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
KAPINTZHΣ, B.	Γεωλόγος MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΝΤΟΥΡΟΥΠΗ, Α.	Γεωλόγος MSc, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΦΙΚΙΡΗΣ, Ι.	Πολιτικός Μηχανικός MSc, DIC, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΝΤΟΥΝΙΑΣ, Γ.	Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Α.Ε.
ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Ε.	Γεωλόγος MSc, ΤΕΡΝΑ Α.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Το άρθρο παρουσιάζει την μέθοδο που υιοθετήθηκε για τη μελέτη της συμπεριφοράς ετερογενών εδαφικών σχηματισμών μεταλπικής ηλικίας που εντοπίζονται σε πεδινό τμήμα του νέου αυτοκινητόδρομου σύνδεσης του BOAK με το Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών, των μετρηθεισών καθιζήσεων δοκιμαστικών επιχωμάτων και των ανάστροφων αναλύσεων. Η ευστάθεια των προβλεπόμενων έργων μελετήθηκε μέσω στοχαστικών αναλύσεων, εξαιτίας της χωρικής ετερογένειας των εδαφικών σχηματισμών.

ABSTRACT : The paper presents the adopted methodology for the performance determination of heterogeneous soil formations located in a lowland section of the new motorway connection of the new Heraklion Crete International Airport with BOAK. Ground investigations outcome along with the measured settlements of trial embankments and the back analyses results are briefly presented. The stability of the foreseen structures was studied by means of stochastic analyses, due to the spatial heterogeneity of the encountered soil formations.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την ασφαλέστερη και ταχύτερη πρόσβαση στον Νέο Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου Κρήτης μεσω του αυτοκινητόδρομου BOAK κατασκευάζεται νέος κλειστός αυτοκινητόδρομος με δύο λωρίδες και Λ.Ε.Α ανά κλάδο. Η νέα οδική αρτηρία μήκους περίπου 18km προβλέπεται να συνδεθεί με τον υφιστάμενο BOAK, στο ύψος του υφιστάμενου κόμβου Χερσονήσου. Στο τμήμα μεταξύ των Χ.Θ. 3+300 και Χ.Θ. 3+600, η χάραξη εγκαταλείπει το συνεχόμενο λοφώδες και βραχώδες υπόβαθρο και εισέρχεται σε ένα αμιγώς πεδινό τμήμα διαμορφωμένο από την προσχωσιγενή δράση της συμβολής του ποταμού Αποσελέμη και του Μεγάλου Ρέματος. Στην περιοχή προβλέπεται να κατασκευαστούν δύο τεχνικά (γέφυρα, δίδυμος οχετός) και ένα οπλισμένο επίχωμα. Η θεμελίωσή τους υπαγορεύει την αναγκαιότητα προσδιορισμού της συμπεριφοράς των εδαφικών σχηματισμών, ώστε να αξιολογηθεί η ευστάθεια των προβλεπόμενων έργων και το μέγεθος των καθιζήσεων του εδάφους θεμελίωσης.

Η γεωτεχνική έρευνα (ΕΔΑΦΟΣ, 2022) και τα διαθέσιμα γεωλογικά δεδομένα στην περιοχή (Γεωργαλάς Α. & Στεργιόπουλος Κ., 2020), ανέδειξαν ένα γεωλογικό περιβάλλον που πλαισιώνεται από παρουσία ρηξιγενών ζωνών οι οποίες έχουν προκαλέσει τοπικές μεταβολές του βάθους εμφάνισης του αλπικού ασβεστολιθικού υποβάθρου, το οποίο καλύπτεται από μεταλπικές αποθέσεις (Τεταρτογενούς και Νεογενούς Ηλικίας) κυμαινόμενου πάχους. Οι υπερκείμενοι εδαφικοί μεταλπικοί σχηματισμοί, παρουσιάζουν έντονη χωρική ετερογένεια, η οποία εκδηλώνεται με πλευρικές μεταβάσεις, αποσφηνώσεις και μεταβολές στην κοκκομετρική τους διαβάθμιση και στο βαθμό διαγένεσης (λεπτόκοκκες, μεσόκκοκες και ημι-συγκολλημένες αποθέσεις) που οφείλονται στην διαμόρφωση του παλαιοαναγλύφου και του ευρύτερου περιβάλλοντος τροφοδοσίας. Η ετερογένεια αυτή που συναντάται σε ένα τμήμα μήκους 300m και αποτελεί μια μελετητική πρόκληση σε ότι αφορά στην ρεαλιστική εκτίμηση της συμπεριφοράς τέτοιων σχηματισμών. Παράλληλα, οι επιτόπου και οι εργαστηριακές δοκιμές συχνά υποεκτιμούν την επιτόπου εδαφική δυστροπία, λόγω της διατάραξης των δειγμάτων και άλλων επιδράσεων, οδηγώντας σε υπερεκτίμηση των αναπτυσσόμενων καθιζήσεων.

Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάλυση παρατηρήσεων της συμπεριφοράς παλαιότερων κατασκευών - όπου αυτές υπάρχουν - θεωρείται η πλέον αξιόπιστη μέθοδος για την αξιολόγηση του φαινομένου των καθιζήσεων σε μεγάλη κλίμακα (§3.3.7(2), EN 1997-1). Η εφαρμογή της πρόβλεψης αυτής υιοθετείται συχνά σε νέους σύγχρονους αυτοκινητόδρομους μέσω της κατασκευής δοκιμαστικών επιχωμάτων και της παρακολούθησης αυτών για εύλογο χρονικό διάστημα. Ιδίως δε, σε περιπτώσεις ετερογενών σχηματισμών υπάρχουν επιπλέον αβεβαιότητες για την κατανομή των επιμέρους φάσεων των σχηματισμών, παράμετρος που επηρεάζει σημαντικά την εκτίμηση του περιθωρίου ασφάλειας σε όρους ευστάθειας. Τα σύγχρονα υπολογιστικά εργαλεία επιτρέπουν πλέον να λαμβάνεται υπόψη η χωρική κατανομή των εδαφικών παραμέτρων για ένα ετερογενές σύνολο μέσω στοχαστικής ανάλυσης, τόσο της χωρικής κατανομής των παραμέτρων, όσο και των τιμών τους.

Στο παρόν άρθρο περιγράφεται η μεθοδολογία εκτίμησης της συμπεριφοράς ετερογενών εδαφικών σχηματισμών μέσω δοκιμαστικών επιχωμάτων (Σχήμα 1) και στοχαστικών αναλύσεων ευστάθειας.



Σχήμα 1. Οριζοντιογραφία περιοχής έργων αυτοκινητοδρόμου και προσωρινών έργων εκτίμησης της συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης.

Figure 1. Plan view of the motorway project section along with the temporary works for the estimation of the performance of the foundation ground.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Η στρωματογραφία και τα βάθη μέχρι τα οποία συναντώνται οι υπερκείμενοι εδαφικοί ορίζοντες είναι στοιχεία κρίσιμα για τη γεωτεχνική μελέτη των προβλεπόμενων έργων. Κατ' ελάχιστον, προβλέπεται η εκτέλεση ενός προγράμματος γεωτεχνικών ερευνών η έκταση του οποίου καθορίζεται από τα διαθέσιμα γεωλογικά δεδομένα / ερμηνείες, το είδος του έργου, τις απαιτησεις των κανονισμών και τις αβεβαιότητες που απαιτείται να διερευνηθούν. Όταν τα ευρήματα των ερευνών δεν κρίνονται επαρκή για τη δημιουργία ενός γεωλογικού μοντέλου με ικανό βαθμό αξιοπιστίας, απαιτείται η εκτέλεση συμπληρωματικών ερευνών ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι γεωλογικές αβεβαιότητες και βεβαίως οι εσφαλμένες γεωτεχνικές εκτιμήσεις συμπεριφοράς του εδάφους.

Στο υπό εξέταση τμήμα του έργου, η χάραξη από βορρά προς νότο, διέρχεται αρχικά επί περιοχής ασβεστολιθικής κατωφέρειας, η απόληξη της οποίας συνιστά την βόρεια όχθη του ποταμού Αποσελέμη και στη συνέχεια εισέρχεται σε ομαλό πεδινό ανάγλυφο. Η απότομη μεταβολή της τοπογραφίας υποδηλώνει την ύπαρξη ρηξιγενούς δομής η οποία έχει ταπεινώσει το υπόβαθρο αρκετά μέτρα βαθύτερα. Η εκτίμηση αυτή επιβεβαιώθηκε από τα ευρήματα των εκτελεσθεισών γεωτρήσεων. Το πεδινό ανάγλυφο έχει διαμορφωθεί από ένα σύνολο απόθέσεων προερχόμενο τόσο από τις πλέον αποθετικές δράσεις των δύο κύριων υδρογραφικών γραμμών (Αποσελέμη – Μεγάλο Ρέμα), όσο και από τις χερσαίου τύπου αποθέσεις Νεογενούς και Τεταρτογενούς ηλικίας. Επιφανειακά, επικρατούν χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις (al) και υλικά πλευρικών κορημάτων (sc) πλησίον των βραχωδών κρασπέδων, κάτωθι αυτών συναντώνται νεογενείς αποθέσεις ποικίλης κοκκομετρίας και βαθμού διαγένεσης (Ng-m, Ng-cem, Ng-f), ενώ στα κατώτερα τμήματα εντοπίζεται το ασβεστολιθικό υπόβαθρο (L) που ανήκει στην γεωτεκτονική ενότητα Τρίπολης.



Σχήμα 2. Γεωλογική/γεωτεχνική μηκοτομή βάσει (α) της πρώτης φάσης των γεωτεχνικών ερευνών και (β) μετά την ολοκλήρωση της συμπληρωματικής έρευνας. Figure 2. Geological/geotechnical longitudinal section as per (a) the initial ground investigation phase and (b) the execution of the supplementary ground investigation.

Το εξεταζόμενο τμήμα διερευνήθηκε αρχικά με ένα πρώτο γεωερευνητικό πρόγραμμα κατά το οποίο διαπιστώθηκε ότι η περιοχή που οριοθετείται πλευρικά από τον ποταμό Αποσελέμη και το Μεγάλο Ρέμα, αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα το οποίο δευτερογενώς πληρώθηκε με ποταμοχερσαίες αποθέσεις όπου στις θέσεις των πρώτων ερευνών εμφάνιζαν πάχος μεταξύ 23-25m. Στο Σχήμα 2α, παρουσιάζεται η γεωλογική τομή κατά μήκος της χάραξης του αυτοκινητόδρομου όπως διαμορφώθηκε από την αξιολόγηση των ευρημάτων της πρώτης φάσης των ερευνών. Η ετερογένεια των σχηματισμών, ιδίως οι τρεις κύριες φάσεις των νεογενών αποθέσεων (μεσόκοκκες Ng-m, ημι-συγκολλημένες Ng-cem και λεπτόκοκκες Ng-f, βλέπε Σχήμα 3), τα σημαντικά βάθη συνάντησης του βραχώδους ασβεστολιθικού υποβάθρου

και οι επιφανειακές παρατηρήσεις εμφάνισης αυτού σε θέσεις παραπλεύρως του άξονα του αυτοκινητοδρόμου ανέδειξαν την ανάγκη πύκνωσης των ερευνών για την συμπλήρωση των πληροφοριών του εδάφους, τόσο σε ότι αφορά στη στρωματογραφία του, όσο και στη συμπεριφορά αυτού υπό καθεστώς φορτίσεων από τα προβλεπόμενα χωματουργικά έργα.



Σχήμα 3. Δείγματα και κοκκομετρική διαβάθμιση των τριών κύριων νεογενών αποθέσεων. Figure 3. Specimens and grain size distribution of the three main Neogene deposit materials.

Προς ικανοποίηση των προαναφερθεισών απαιτήσεων αποφασίστηκε η εκτέλεση σειράς συμπληρωματικών γεωτρήσεων οι οποίες συνδυάσθηκαν με την τοποθέτηση οργάνων παρακολούθησης της συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης (βλ. Σχήμα 4) εκ των φορτίσεων από δοκιμαστικά επιχώματα. Η κατασκευή των δοκιμαστικών επιχωμάτων πραγματοποιήθηκε εγκαίρως κατά τη φάση των γεωτεχνικών ερευνών, σε περιοχές όπου προβλέφθηκε να ενσωματωθούν εκ των υστέρων στο τελικό έργο της οδού. Από το συμπληρωματικό αυτό στάδιο γεωτεχνικών διαπιστώθηκαν διαφοροποιήσεις ως προς το βάθος εντοπισμού του ασβεστολιθικού υποβάθρου (βλέπε Σχήμα 2β), καθώς τελικώς οι υπερκείμενοι του υποβάθρου εδαφικοί σχηματισμοί ήταν περιορισμένου πάχους. Τα πρόσθετα στοιχεία διαφοροποίησαν σημαντικά το γεωλογικό μοντέλο από το αρχικώς προβλεφθέν, καθώς συνηγορούν στην παρουσία δύο ρηξιγενών ζωνών που έχουν επιφέρει δύο τοπικές καταβυθίσεις του υποβάθρου στην περιοχή δράσης τους και αναδεικνύουν την βελτιστοποίηση που μπορεί να επιφέρει στον σχεδιασμό η εύλογη επιπρόσθετη γεωτεχνική

3. ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΑ ΕΠΙΧΩΜΑΤΑ

Οι χωρικές διακυμάνσεις των διαφόρων εδαφικών φάσεων οδήγησε στην απόφαση προσδιορισμού των αναπτυσσόμενων καθιζήσεων μέσω μεγάλης κλίμακας μετρήσεων πεδίου με δοκιμαστικά επιχώματα. Σε πλήρη σύνδεση με τη θέση και γεωμετρία των προβλεπόμενων τεχνικών, κατασκευάστηκαν δύο δοκιμαστικά επιχώματα ΔΕ1 και ΔΕ2 (Σχήμα 1). Η γεωμετρία των χωματουργικών έργων διαμορφώθηκε ώστε να καταλαμβάνεται το πλήρες πλάτος οδοστρώματος, με τοπικές διαφοροποιήσεις που απαιτήθηκαν επιτόπου λόγω της παράλληλα εξελισσόμενης αρχαιολογικής έρευνας. Τα τελικά ύψη των δοκιμαστικών επιχωμάτων διαμορφώθηκαν μεταξύ 5m έως 6.5m και όπου ήταν δυνατόν, προβλέφθηκε να ενσωματωθούν στο τελικό χωματουργικό έργο της οδού.

Πρίν την έναρξη κατασκευής των δοκιμαστικών επιχωμάτων, εκτελέστηκαν οι συμπληρωματικές γεωτρήσεις (MKi) που προβλέφθηκε να εξοπλιστούν με κατάλληλα όργανα παρακολούθησης της συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης που περιλάμβαναν μαγνητικά καθιζησίμετρα και πιεζόμετρα δονούμενης χορδής. Τυπική διατομή του δοκιμαστικού επιχώματος παρουσιάζεται στο Σχήμα 4. Κατά την διάρκεια κατασκευής του δοκιμαστικού επιχώματος και για χρονικό διάστημα περίπου 1 μήνα μετά την ολοκλήρωση του, λαμβάνονταν μετρήσεις επί των εγκατεστημένων οργάνων από τον κατασκευαστή του έργου.



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

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων ανέδειξαν ότι η εξέλιξη των καθιζήσεων είναι άμεση, ενώ το μέγεθος τους ήταν περιορισμένο, γεγονός που συνάδει με τα νέα δεδομένα που προέκυψαν από την επιπρόσθετη γεωτεχνική έρευνα η οποία και ανέδειξε τελικώς ότι το υπόβαθρο γενικά συναντάται σε μικρότερα βάθη πλην τοπικές εξαιρέσεων περί των θέσεων των ερευνών της αρχικής γεωτεχνικής έρευνας. Οι αναπτυσσόμενες καθιζήσεις καθορίζονται από το μεγάλο ποσοστό συμμετοχής αδρομερούς υλικού (χάλικες και λίθοι) και το βαθμό διαγένεσης του σχηματισμού. Η μεν πρώτη ιδιαιτερότητα καθόρισε σε μεγάλο βαθμό την διαπερατότητα του εδάφους με άμεσο αποτέλεσμα στην ταχύτητα εξέλιξης των καθιζήσεων και το δεύτερο την πραγματική συμπιεστότητα του εδάφους που είναι αρκετά δύσκολο να προσομοιωθεί μέσω των τυπικών εργαστηριακών δοκιμών συμπιεσομέτρων.

Το μέγεθος των καθιζήσεων που μετρήθηκαν με το βάθος καθώς επίσης και οι υπολογιζόμενες τελικές καθιζήσεις μέσω ανάστροφης ανάλυσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 5. Επισημαίνεται επίσης ότι λήφθηκε υπόψη η ακρίβεια μετρήσεων των οργάνων που εκτιμάται της τάξης των 5mm. Στο σχήμα περιλαμβάνεται επίσης η κατανομή του μέτρου ελαστικότητας με το βάθος για κάθε δοκιμαστικό επίχωμα, όπως προέκυψαν από τις αναλύσεις. Δεδομένου ότι οι μετρήσεις στο δοκιμαστικό επίχωμα ΔΕ1 πραγματοποιήθηκαν σε επίχωμα περιορισμένου πλάτους, πραγματοποιήθηκαν συμπληρωματικές αναλύσεις ώστε οι αναπτυσσόμενες καθιζήσεις να αντιστοιχούν στις τελικές ολικές καθιζήσεις που αναμένονται από την κατασκευή επιχώματος στο σύνολο του πλάτους του αυτοκινητοδρόμου (βλέπε διακεκομμένη και συνεχή γραμμή Σχήματος 5α). Όπως παρατηρείται, το μέγεθος των αναπτυσοόμενων καθιζήσεων είναι παραπλήσιο και στα δύο δοκιμαστικά επιχώματα. Οι πραγματικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας είναι, όπως αναμένεται από την εμπειρία, μεγαλύτερες (2 με 3 φορές) από τις υπολογιζόμενες με συμβατικές εργαστηριακές μεθόδους, ενώ η εξέλιξη των καθιζήσεων είναι πρακτικά άμεση γεγονός που συνάδει με την υπερστερεοποιημένη και/ή αδρομερή φύση των σχηματισμών (Burland et al. 1978).

4. ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΜΕ ΧΩΡΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Παραδοσιακά, στις γεωτεχνικές μελέτες υιοθετούνται συντηρητικές θεωρήσεις οι οποίες τάσσονται υπέρ της ασφάλειας. Τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα επιτρέπουν να ληφθεί υπόψη η χωρική κατανομή εδαφικών παραμέτρων με χρήση κλασσικών στατιστικών μοντέλων. Στο παρόν έργο επιχειρήθηκε ο υπολογισμός της ολικής ευστάθειας του επιχώματος λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική κατανομή των εδαφικών παραμέτρων μέσω στοχαστικής ανάλυσης. Οι αναλύσεις εκτελέστηκαν με το λογισμικό Slide2 (RocScience), που έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει το συντελεστή ασφάλειας για κυκλικές ή μη επιφάνειες αστοχίας, με χρήση πολλών μεθόδων οριακής ισορροπίας. Με τον τρόπο αυτό αντιμετωπίστηκε υπολογιστικά και διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις, στο περιθώριο ασφάλειας των έργων, της χωρικής μεταβλητότητας των τριών φάσεων των εδαφικών οριζόντων νεογενούς προέλευσης που

υπέρκεινται του ασβεστολιθικού υποβάθρου (βλέπε Σχήμα 2). Το πάχος και το εύρος των τριών αυτών εδαφικών οριζόντων μεταβάλλονται τυχαία στο υπό εξέταση τμήμα.



Σχήμα 5. Δεδομένα μετρήσεων μαγνητικών καθιζησίμετρων, ανάστροφος υπολογισμός καθιζήσεων και μέτρο ελαστικότητας εδάφους σύμφωνα με αποτελέσματα ανάστροφων αναλύσεων, για: (α) δοκιμαστικό επίχωμα ΔΕ1 και (β) δοκιμαστικό επίχωμα ΔΕ2. Figure 5. Magnetic settlement gauges measurements, settlement calculations and soil modulus of elasticity according to back analyses, for: (a) trial embankment ΔE1 and (b) trial embankment ΔE2.

Από τα δεδομένα των επί τόπου ευρημάτων, αξιολογήθηκε η συχνότητα εμφάνισης κάθε στρώσης των τριών επικρατέστερων νεογενών εδαφικών υλικών της υπό μελέτη περιοχής. Στη συνέχεια, θεωρώντας μια ενιαία ισοδύναμη εδαφική στρώση, υπολογίστηκαν τα στατιστικά στοιχεία των μέσων παραμέτρων διατμητικής αντοχής (c'=8kPa, φ'=26°). Το μέσο πάχος κάθε στρώματος υπολογίστηκε περί τα 6.8m, ενώ το μέσο πλάτος / εύρος κάθε στρώσης περίπου 8 φορές μεγαλύτερο (~54m) δεδομένου του τρόπου γένεσης των χερσαίων αποθέσεων και σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα (Phoon and Kulhawy 1999; El-Ramly et al. 2003). Τέλος, υιοθετήθηκε συντελεστής συσχέτισης μεταξύ των παραμέτρων c´ και φ´ ίσος με -0.8, βάσει της βιβλιογραφίας και δεδομένων που προέκυψαν από δοκιμαστικές αναλύσεις (Di Matteo et al. 2013; Wang and Akeju 2016). Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η κανονική κατανομή που ακολουθούν οι παράμετροι διατμητικής αντοχής (c´, φ´) όπως εκείνες εισήχθησαν στο μοντέλο συντελεστή συσχέτισης.

Η στοχαστική διαδικασία επαναλήφθηκε για 1000 διαφορετικά μοντέλα με γένεση "τυχαίων" παραμέτρων και χωρική κατανομή αυτών σύμφωνα με μέθοδο δειγματοληψίας Latin hypercube (McKay et al. 1979). Τα αποτελέσματα των αναλύσεων θεωρώντας μακροπρόθεσμες συνθήκες με στάθμη ύδατος για περίοδο επαναφοράς 50 ετών (κατά OMOE), έδειξαν ότι ο συντελεστής ασφαλείας σε ολική ευστάθεια κυμαίνεται μεταξύ 1.42 και 1.65, ακολουθώντας σχεδόν κανονική κατανομή και επιβεβαιώνοντας επάρκεια πρανούς σε ολική ευστάθεια. Στο Σχήμα 6 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των παραμέτρων διατμητικής αντοχής που αντιστοιχούν σε τυχαία μοντέλα με συντελεστή ασφαλείας ίσο με 1.48 και 1.54, τιμές κοντά στον μέσο συντελεστή που υπολογίστηκε από όλες τις αναλύσεις (1.54).



Σχήμα 5. Στατιστική κατανομή παραμέτρων διατμητικής αντοχής Figure 5. Statistical distribution of shear strength parameters.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η σταδιακή προσέγγιση εκτίμησης των κρίσιμων γεωτεχνικών δεδομένων που απαιτούνται για τη μελέτη χωματουργικών έργων, και όχι μόνον, αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικο-οικονομικά μεθοδολογία ιδίως σε περιπτώσεις με ιδιαιτέρως ανομοιόμορφο γεωλογικό περιβάλλον. Η επαρκής και ρεαλιστική γνώση της στρωματογραφίας και η έγκαιρη αξιολόγηση της συμπεριφοράς των εδαφών, εφόσον είναι δυνατόν και με επιτόπου δοκιμές μεγάλης κλίμακας, όπως τα δοκιμαστικά επιχώματα, επιτρέπει την αποφυγή συντηρητικών ή και δυσμενών για την οικονομία των έργων εκτιμήσεων.

Η αβεβαιότητα που υπεισέρχεται στο σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων σε συνδυασμό με την αύξηση της υπολογιστικής ισχύος επιτρέπουν την εφαρμογή σύγχρονων υπολογιστικών τεχνικών για την μετάβαση από την ντετερμινιστική προσέγγιση στην στοχαστική. Η στοχαστική προσέγγιση με επίτευξη ενός κατάλληλου βαθμού εμπιστοσύνης τεκμηριώνει τον σχεδιασμό, ενώ η εναπομένουσα αβεβαιότητα αποτελεί την μόνη ρεαλιστική προσέγγιση στη γεωτεχνική μηχανική. Στο άρθρο αυτό γίνεται μία αρχική προσπάθεια εφαρμογής της στοχαστικής προσέγγισης και της αξιολόγησης δεδομένων από επιτόπου παρατήρηση για την επίτευξη των βέλτιστων τεχνικο-οικονομικών λύσεων δεδομένου του επιπέδου ασφάλειας που απαιτείται να ικανοποιείται στο έργο.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το έργο οδικών συνδέσεων του αυτοκινητοδρόμου BOAK με τον νέο διεθνή αερολιμένα Ηρακλείου μελετάται, χρηματοδοτείται και κατασκευάζεται από την "Ενωση Προσώπων TEPNA A.E. – GMR Airports limited" και κατασκευάζεται από την TEPNA A.E.



Σχήμα 6. Κατανομή τιμών παραμέτρων διατμητικής αντοχής σε έδαφος θεμελίωσης επιχώματος: περίπτωση (α) λεπτόκοκκης στρώσης στην κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας (τύπου Ng-f) και (β) μεσόκκοκης στρώσης στην κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας (τύπου Ng-f) και (β) μεσόκκοκης στρώσης στην κρίσιμη επιφάνεια αστοχίας (τύπου Ng-f). Figure 6. Distribution of embankment foundation ground shear strength parameters values: case of (a) fine-grained layer at critical failure surface (Ng-f type) and (b) coarse-grained layer at critical failure surface (Ng-f type).

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεωργαλάς Α. και Στεργιόπουλος Κ. (2020), "Οριστική Γεωλογική μελέτη Οδικού Δικτύου σύνδεσης με ΒΟΑΚ, Α/Κ ΒΟΑΚ – Είσοδος Αεροδρομίου – ΒΙΠΕ Αρκαλοχωρίου και οδού Ηρακλείου – Βιάννος".
- ΕΔΑΦΟΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Α.Ε. (2022), "Τεύχος Γεωτεχνικής Αξιολόγησης Υποτμήματος: Αυτοκινητόδρομος ΒΟΑΚ – Είσοδος Αεροδρομίου από Χ.Θ. 1+200 μέχρι Χ.Θ. 3+600".
- Burland J.B., Broms B.B. and De Mello V.F.B. (1978), "Behaviour of Foundations and Structures". Proceedings 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp 495–546.
- Di Matteo L., Valigi D., Ricco R. (2013), "Laboratory shear strength parameters of cohesive soils: variability and potential effects on slope stability", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol. 72, pp. 101–106.
- El-Ramly H, Morgenstern NR, Cruden DM (2003), "Probabilistic stability analysis of a tailings dyke on presheared clay shale". Canadian Geotechnical Journal, Vol. 40, pp. 192–208.
- McKay M.D., Beckman R.J., Conover W.J. (1979), "Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code". Technometrics, Vol. 21, pp. 239–245.
- Phoon K-K, Kulhawy FH (1999), "Characterization of geotechnical variability". Canadian Geotechnical Journal, Vol 36, pp. 612–624
- Wang Y, Akeju O. V. (2016), "Quantifying the cross-correlation between effective cohesion and friction angle of soil from limited site-specific data". Soils and Foundations, Vol. 56, pp.1055–1070.