

Γεωτεχνικές Ιδιότητες της Αργίλου του Αμαρουσίου

Geotechnical Characteristics of the Maroussi Clay

ΤΟΛΗΣ, Σ.Β. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.
ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ, Σ. Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.
ΜΠΑΡΔΑΝΗΣ, Μ.Ε. Πολιτικός Μηχανικός MSc/DIC, Υποψ. Διδάκτορας Ε.Μ.Π., ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Για τη μελέτη και την κατασκευή των ολυμπιακών εγκαταστάσεων στην Καλογρέζα Αμαρουσίου εκτελέστηκε, σε διαφορετικές φάσεις, εκτεταμένο πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών. Σε όλες σχεδόν τις γεωτρήσεις εμφανίζεται έως το μέγιστο βάθος των 60 m η άργιλος του Αμαρουσίου, η οποία είναι σπιφρή έως σκληρή και κατά τόπους πολύ σκληρή (ημιβραχώδης). Σε ορισμένες θέσεις εντοπίστηκε εντός της άργιλου αυξημένη παρουσία οργανικών και ενστρώσεις λιγνίτη. Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται τα φυσικά και ορυκτολογικά χαρακτηριστικά και οι μηχανικές ιδιότητες (παραμορφωσιμότητα και διατμητική αντοχή) του σχηματισμού, και προτείνονται συσχετίσεις μεταξύ των φυσικών χαρακτηριστικών του και των μηχανικών ιδιοτήτων του.

ABSTRACT: For the design and construction of the main Olympic Sports Complex in Kalogreza, Maroussi, an extended geotechnical investigation program was carried out in various stages. Maroussi clay was located in every borehole as deep as the maximum depth of 60 m; it is stiff to hard and in some locations very hard (soft-rock). In certain locations, clay is rich in organic material with layers of lignite. The physical and mineralogical characteristics, as well as the mechanical properties (compressibility and shear strength) of the formations are presented. Moreover, relations between the physical characteristics and the mechanical properties are proposed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο της διοργάνωσης των Ολυμπιακών Αγώνων στην Αθήνα το 2004 απαιτήθηκε οι υπάρχουσες αθλητικές εγκαταστάσεις στο Ολυμπιακό Αθλητικό Κέντρο Αθηνών (ΟΑΚΑ) στην περιοχή της Καλογρέζας Αμαρουσίου να ανακαινισθούν και να συμπληρωθούν με μεγάλης έκτασης και σπουδαιότητας κατασκευές και κτιριακή υποδομή για την άρτια διεξαγωγή των Ολυμπιακών Αγώνων.

Η εταιρεία ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. κλήθηκε, σε διαφορετικές φάσεις, από το 2001 έως το 2004 να διεξάγει στην ανωτέρω περιοχή γεωτεχνικές έρευνες κατά την προμελέτη και την οριστική μελέτη του Κέντρου Γραπτού Τύπου (Main Press Center, MPC), κατά την προμελέτη του Ολυμπιακού Κέντρου Ραδιοτηλεόρασης (International Broadcasting Center, IBC) και στην

προκαταρκτική φάση και την κατασκευή των έργων αισθητικής ενοποίησης του Ολυμπιακού Αθλητικού Κέντρου της Αθήνας.

Το MPC χωροθετείται στο παρακείμενο οικόπεδο των εγκαταστάσεων της HELEXPO επί της Λεωφόρου Κηφισίας, ενώ το IBC επί της Λεωφόρου Σπύρου Λούη προς τη Λεωφόρο Κηφισίας (αποτελούσε χώρο στάθμευσης στην αρχική διάταξη του Ολυμπιακού Σταδίου).

Η αισθητική ενοποίηση του ΟΑΚΑ περιελάμβανε την αναβάθμιση και συμπλήρωση των υπαρχουσών αθλητικών εγκαταστάσεων με τη (μερική) κάλυψη του Ολυμπιακού Σταδίου (στέγαστρο "Calatrava"), την κάλυψη του Ποδηλατοδρομίου, την κατασκευή καλυμμένου χώρου Αγοράς και του τοίχου των Εθνών, τη διαμόρφωση του βωμού για την ολυμπιακή φλόγα, την προσθήκη κατασκευών στις εισόδους και στους σταθμούς λεωφορείων, κ.λ.π.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ

Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος εντάσσεται γεωμορφολογικά στο ευρύτερο πεδίο ανάπτυξης του Κηφισού ποταμού μεταξύ της Πάρνηθας και του Πεντελικού όρους και αποτελεί ευρεία επιμήκη μορφολογική ταπείνωση μέσου πλάτους 7.5 km, διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ. Γεωλογικά αποτελεί λεκάνη ιζηματογένεσης πάχους έως 250 m περίπου, η οποία κατά το Νεογενές πληρώθηκε από ποταμοχερσαίους, ποταμιμαίους, λιμνοχερσαίους και λιμναίους σχηματισμούς με πλευρικές σχέσεις μεταξύ τους.

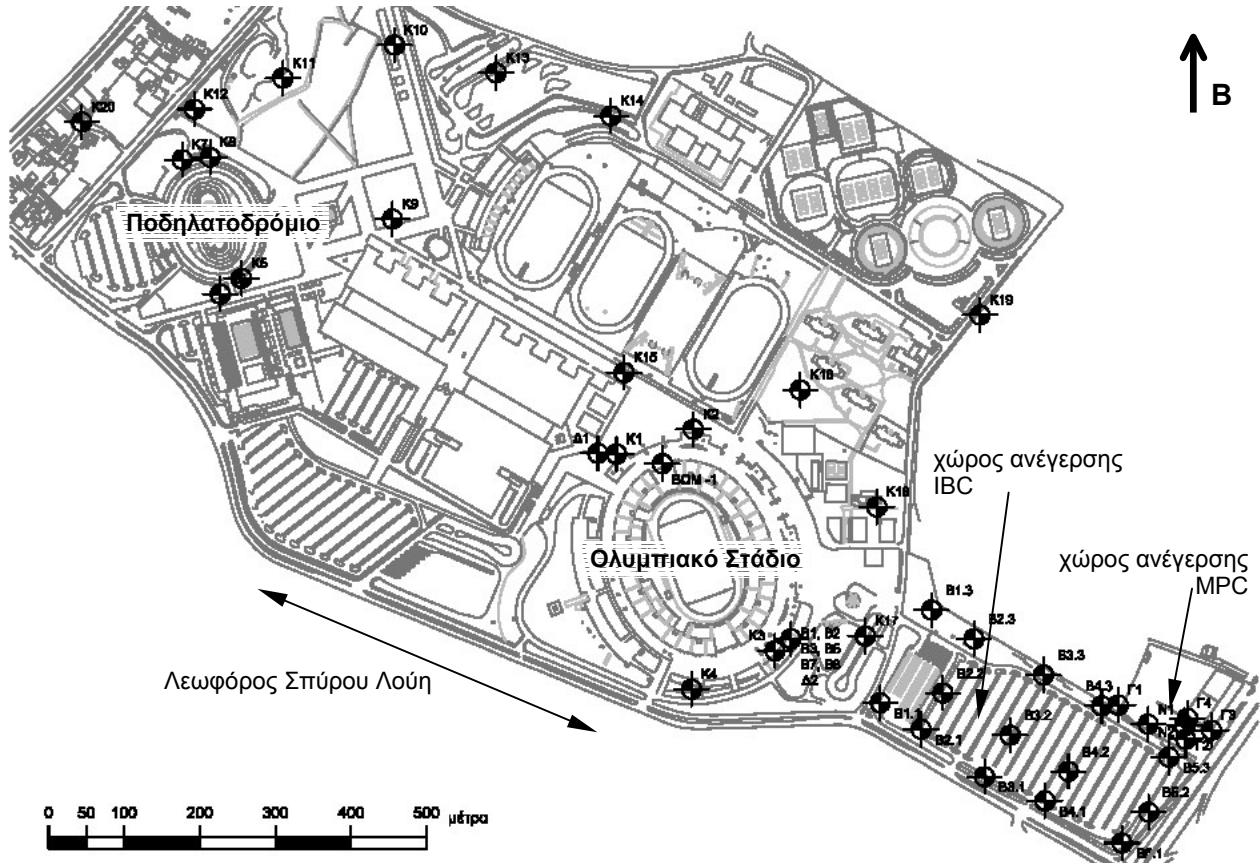
Η περιοχή ενδιαφέροντος εντοπίζεται στο κεντρικό περίπου τμήμα της μορφολογικής ταπείνωσης του πεδίου ανάπτυξης του Κηφισού, όπου επικρατούν λιμνοχερσαίοι γεωλογικοί σχηματισμοί, κυρίως καστανέρυθρου χρώματος. Οι λιμνοχερσαίοι σχηματισμοί συνίστανται από εναλλασσόμενους οριζόντες αργίλων μαργών, κροκαλοπαγών, λατυποπαγών, και μαργαϊκών ασβεστολίθων.

Σε αρκετές θέσεις παρατηρείται εντός των αργίλων αυξημένη παρουσία οργανικών, ενώ στους βαθύτερους οριζόντες των ιζημάτων αυτών εντοπίζονται λιγνιτοφόρες στρώσεις, συχνά πάχους μεγαλύτερου των 10 m.

3. ΕΚΤΑΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Για τον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών, των παραμέτρων αντοχής και της παραμορφωσιμότητας των εδαφικών υλικών εκτελέστηκαν: για το IBC δεκατέσσερις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με βάθη από 50 έως 70 m, για το MPC δύο δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με βάθη 50 m, οι οποίες συμπληρώθηκαν κατά τη μελέτη εφαρμογής με τέσσερις ακόμη βάθους 32 m η κάθε μία, για τη μελέτη της αισθητικής ενοποίησης του ΟΑΚΑ είκοσι δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με βάθη από 15 έως 50 m, και κατά την κατασκευή των έργων της αισθητικής ενοποίησης του ΟΑΚΑ οκτώ δειγματοληπτικές γεωτρήσεις με βάθη από 28 έως 50 m. Οι θέσεις των γεωτρήσεων σημειώνονται στο τοπογραφικό του Σχήματος 1.

Σημειώνεται ότι το πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών διαμορφώθηκε σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία για την έκταση και τα χαρακτηριστικά του κάθε έργου, τις συνθήκες που απαντήθηκαν επιτόπου, το διαθέσιμο χρόνο για την ολοκλήρωση των μελετών ώστε τα έργα να δημοπρατηθούν ή να ολοκληρωθούν έγκαιρα και με το διαθέσιμο προϋπολογισμό.



Σχήμα 1. Θέσεις έρευνας.
Figure 1. Location of boreholes.

3.1 Εδαφικές στρώσεις που διατρήθηκαν

Γενικά στην περιοχή στα πρώτα μέτρα απαντώνται υλικά επιχώσεων (υλικά αμμοχαλικώδους σύστασης με άργιλο). Τα υλικά επιχώσεων καλύπτουν την περιοχή ενδιαφέροντος στο σύνολό της, με το πάχος τους να κυμαίνεται από 2.0 έως 10.0 m περίπου. Σημειώνεται ότι η στρώση αυτή αποτελείται κυρίως από τα υλικά των εκσκαφών για την κατασκευή των υπαρχουσών εγκαταστάσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου.

Μετά τις τεχνητές επιχώσεις, απαντάται έως το μέγιστο βάθος των 60 m περίπου η άργιλος του Αμαρουσίου που αποτελεί και τη στρώση που κυριαρχεί στην ευρύτερη περιοχή. Είναι στιφρή έως σκληρή και κατά τόπους πολύ σκληρή (ημιβραχώδης). Το χρώμα της είναι καστανό έως καστανέρυθρο και σε περιορισμένες θέσεις καστανοκίτρινο. Κατά τόπους παρουσιάζεται αμμώδης, με διάσπαρτα χαλίκια ποικίλου μεγέθους.

Σε αρκετές θέσεις εντοπίστηκαν στιφρές έως σκληρές, τεφροπράσινες έως κιτρινοπράσινες μάργες με διάσπαρτα χαλίκια και χαμηλή έως υψηλή πλαστικότητα, που παρουσιάζονται έντονα αμμώδεις κατά τόπους, ή με τη μορφή μαργαϊκού ασβεστολίθου, ή σαν εναλλασσόμενες στρώσεις μαργαϊκών σχηματισμών και κροκαλοπαγών.

Τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται από το ΒΑ τμήμα του Ολυμπιακού Σταδίου έως το δυτικό τμήμα του IBC, καθώς και στο Ποδηλατοδρόμιο και στην ΒΑ περιοχή αυτού, μέχρι μέγιστο βάθος 50.0 m· είναι ασύνδετα έως συνεκτικά, καστανέρυθρου έως κιτρινοπράσινου χρώματος, με ποικίλης σύστασης αδρομερή, σε μορφή αργιλωδών αμμοχαλικών και ψαμμιτών. Σε μεγαλύτερα βάθη έχουν ημιβραχώδη έως βραχώδη μορφή, εν μέρει σε μορφή αποσπασμένου ψηφιδολατυποπαγούς.

Τέλος σε περιορισμένες θέσεις εμφανίζονται, μέχρι μέγιστου βάθους 50.0 m, συνεκτικές έως σκληρές, τεφρομέλαινες έως πρασινομέλαινες άργιλοι με οργανικές προσμίξεις, με χαλίκια ποικίλου μεγέθους και μέση έως υψηλή πλαστικότητα, ενώ συναντώνται και ενστρώσεις ιλυολίθου με λεπτές στρώσεις λιγνίτη.

Στην ευρύτερη περιοχή πραγματοποιούνταν έως το πρόσφατο παρελθόν (περίπου έως τα τέλη του 1950) εκτεταμένη και ανεξέλεγκτη εξόρυξη λιγνίτη. Για τον εντοπισμό τυχόν υπογείων στοών διενεργήθηκαν γεωφυσικές διασκοπήσεις και ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της σεισμικής τομογραφίας. Στις θέσεις

εφαρμογής των γεωφυσικών διασκοπήσεων δεν ανιχνεύθηκαν υπόγειες στοές ή κενά (Τόλης και Καβουνίδης, 2004).

3.2 Στάθμη υδροφόρου ορίζοντα

Από τις ενδείξεις των πιεζομέτρων τύπου Casagrande, καθώς και των ανοικτών πιεζομέτρων που τοποθετήθηκαν βρέθηκε ότι η στάθμη του υπόγειου ορίζοντα κυμαίνεται από 4.0 m μέχρι 19.0 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους.

4. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΡΓΙΛΟΥ ΤΟΥ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Το πρόγραμμα γεωερευνητικών εργασιών υπαίθρου συνοδεύτηκε από εκτεταμένο πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών που αποσκοπούσε στον προσδιορισμό των φυσικών χαρακτηριστικών και των τιμών των μηχανικών παραμέτρων του σχηματισμού.

4.2 Ορυκτολογία

Σε αντιπροσωπευτικό δείγμα της αργίλου του Αμαρουσίου πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση που περιελάμβανε την εξέταση με μικροσκόπιο παρασκευασμάτων κόνεως σε παράλληλα και κάθετα πρίσματα, καθώς και ακτινογραφική ανάλυση (περιθλασιμετρία ακτίνων Χ) για τον προσδιορισμό της ποιοτικής και ποσοτικής σύστασης του δείγματος.

Τα κύρια γνωρίσματα του δείγματος είναι η αυξημένη περιεκτικότητά του σε αργιλικά και σε σιδηρούχες ενώσεις (αιματίτης-γκαιπίτης). Οι σιδηρούχες ενώσεις απαντώνται υπό μορφή πυκνών στιγμάτων και εμποτισμάτων και αποτελούν τη φυσική χρωστική του δείγματος.

Το ποσοστό περιεχομένων ορυκτών (επί του συνόλου και όχι του διερχόμενου από το κόσκινο Νο 200) είναι: αργιλικά ορυκτά 65.0%, ανθρακικά ορυκτά 17.0%, πυριτικά ορυκτά 17.0%. Το δείγμα κατατάσσεται βάσει της ορυκτολογικής σύστασής του στις αργίλους. Στον Πίνακα 1 δίνεται η εκατοστιαία ορυκτολογική ανάλυση του δείγματος.

4.3 Φυσικά χαρακτηριστικά

Από τις κοκκομετρικές αναλύσεις με την υγρή μέθοδο (αραιόμετρο) προέκυψε μεγάλη διακύμανση της αργίλου και της ιλύος· κυμαίνονται αντιστοίχως από 12% έως 81% με μέση

τιμή 38.1% και από 11% έως 70% με μέση τιμή 45.1%. Γενικώς το ποσοστό των λεπτοκόκκων (αργίλου και ιλύος) είναι υψηλό —μέση τιμή 84.6%. Η περιεχόμενη άμμος είναι στις περισσότερες περιπτώσεις λεπτόκοκκη και εντοπίζεται σε σχετικώς μικρά ποσοστά (μέση τιμή 10.9%), παρουσιάζει όμως έντονη διακύμανση κατά τόπους. Η παρουσία χαλικών είναι ουσιαστικά μηδενική, εκτός από συγκεκριμένες θέσεις όπου η παρουσία τους είναι εξαιρετικά έντονη (έως 30%).

Η φυσική υγρασία μετρήθηκε στο εργαστήριο από 10.3% έως 38.3% με μέση τιμή 19.3%. Το όριο υδαρότητας (W_L) κυμάνθηκε από 23.4% έως 67.0% με μέση τιμή 47.5%, το όριο πλαστικότητας (W_P) από 12.3% έως 29.3% με μέση τιμή 20.8%, ενώ ο δείκτης πλαστικότητας (PI) από 45.0 έως 7.5 με μέση τιμή 26.7.

Το ειδικό βάρος στερεών κυμάνθηκε από 2.56 έως 2.77 με μέση τιμή 2.71. Το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d) κυμάνθηκε από 12.54 kN/m³ έως 20.45 kN/m³ με μέση τιμή 17.29 kN/m³. Τέλος, ο λόγος κενών e κυμάνθηκε από 0.298 έως 1.151 με μέση τιμή 0.545.

Στο Σχήμα 2 δίνεται η κοκκομετρική περιβάλλουσα και ο μέσος όρος της κοκκομετρικής διαβάθμισης όλων των δειγμάτων της αργίλου και στο Σχήμα 3 η μεταβολή της φυσικής υγρασίας, του ορίου υδαρότητας, του ορίου πλαστικότητας, του λόγου κενών και του δείκτη υδαρότητας (I_L) με το απόλυτο υψόμετρο.

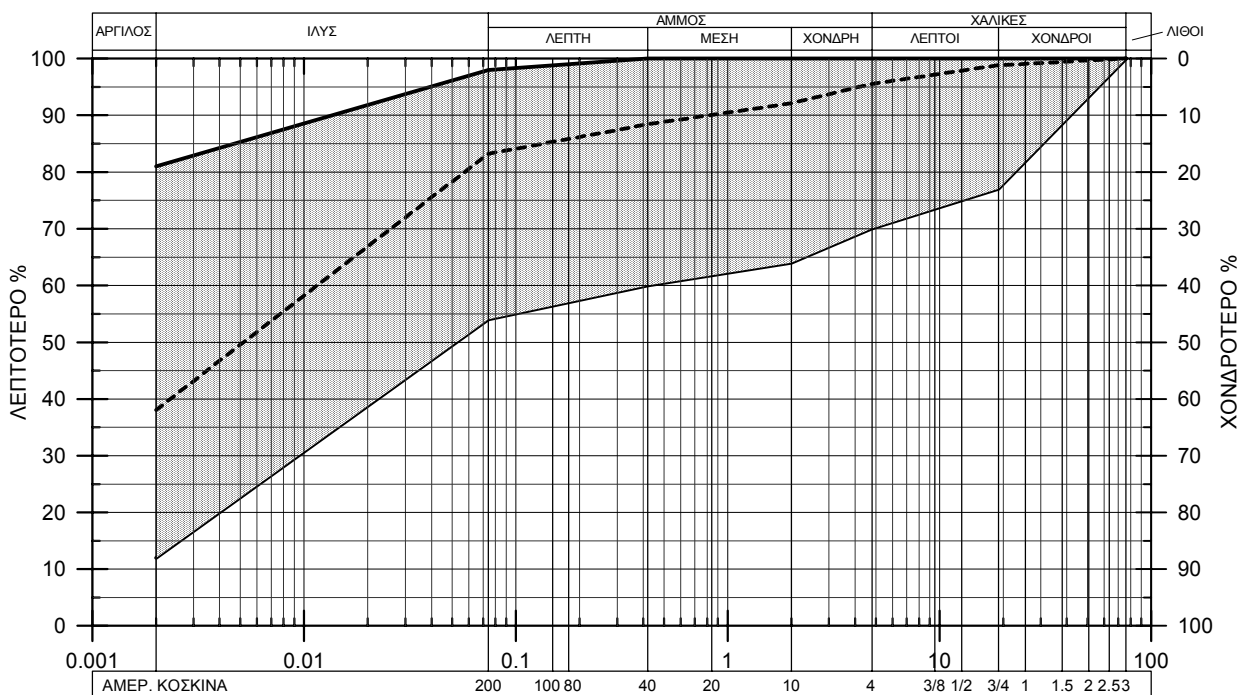
Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται το διάγραμμα πλαστικότητας του Casagrande για τα δείγματα της αργίλου. Το διάγραμμα πλαστικότητας συνδυαζόμενο με την κοκκομετρική διαβάθμισή τους, κατατάσσει το υλικό κατά U.S.C.S. στις κατηγορίες CL (άργιλοι μέσης πλαστικότητας, χαλικώδεις άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι) και CH (άργιλοι υψηλής πλαστικότητας).

Πίνακας 1. Στοιχεία ορυκτολογικής ανάλυσης.
Table 1. Mineralogical analysis data.

Ορυκτό	(%)*
Χαλαζίας	14
Αλβίτης	3
Ασβεσίτης	17
Αλλοϋσίτης	8
Ιλλίτης	15
Μοσχοβίτης	10
Σερπεντίνης	4
Χλωρίτης	5
Καολινίτης	10
Μοντμοριλλονίτης	11
Αιματίτης-Γκαιτίτης	2
λοιπά ορυκτά**	1

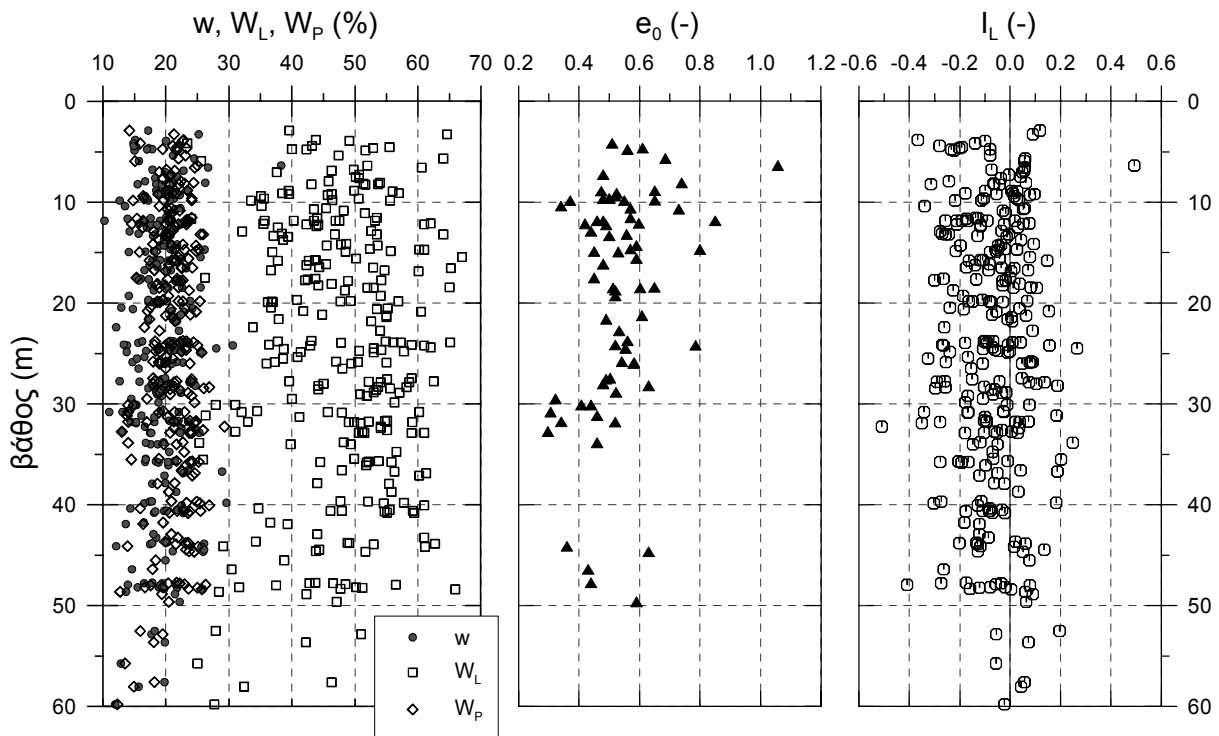
* Τα ποσοστά αφορούν στο υλικό που διέρχεται από το κόσκινο Νο 200.

** Τουρμαλίνης, Ζιρκόνιο, Ρουτίλιο.



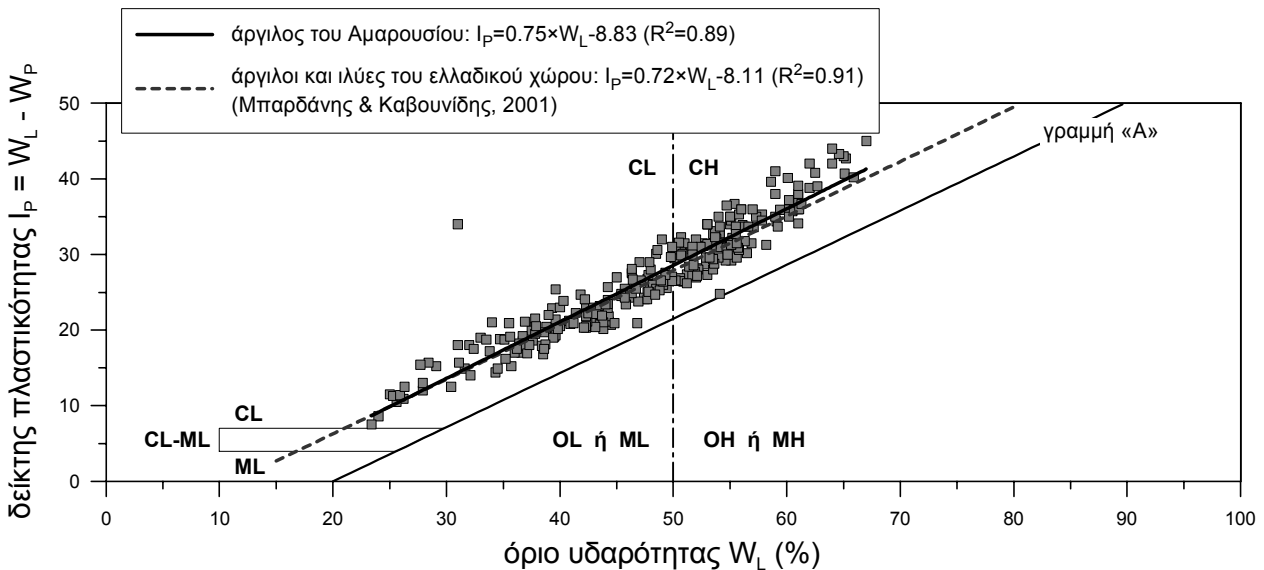
Σχήμα 2. Κοκκομετρική περιβάλλουσα και ο μέσος όρος της κοκκομετρικής διαβάθμισης όλων των δειγμάτων της αργίλου.

Figure 2. Grain size distribution envelope and mean value of all the clay samples.



Σχήμα 3. Μεταβολή της φυσικής υγρασίας, του ορίου υδαρότητας, του ορίου πλαστικότητας, του λόγου κενών και του δείκτη υδαρότητας με το απόλυτο υψόμετρο.

Figure 3. Variation of natural water content, liquidity limit, plasticity limit, void ratio and liquidity index with the level above the sea.



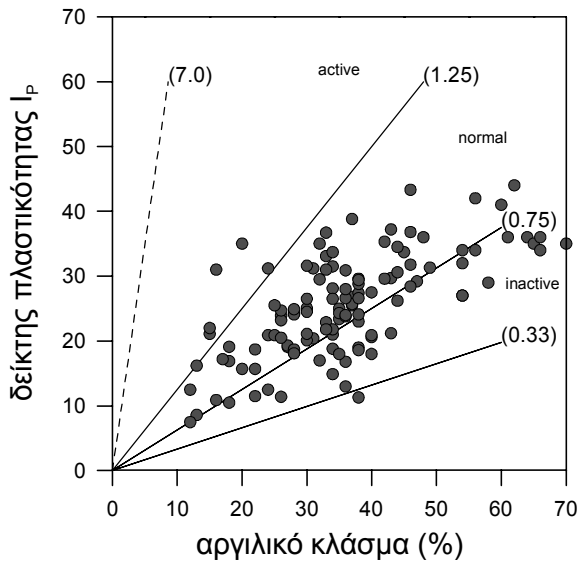
Σχήμα 4. Χάρτης πλαστικότητας του Casagrande όλων των δειγμάτων της αργίλου.

Figure 4. Casagrande's plasticity chart of all the clay samples.

Το διάγραμμα πλαστικότητας συνδυαζόμενο με την κοκκομετρική διαβάθμισή τους, κατατάσσει το υλικό κατά U.S.C.S. στις κατηγορίες CL (άργιλοι μέσης πλαστικότητας, χαλικώδεις άργιλοι, αμμώδεις άργιλοι) και CH (άργιλοι υψηλής πλαστικότητας). Η ευθεία καλλίτερης προσαρμογής πρακτικά ταυτίζεται με τη συσχέτιση που πρότειναν οι Μπαρδάνης και Καβουνίδης (2001) για αργίλους και ιλύες του ελ-

λαδικού χώρου και είναι παράλληλη με τη Γραμμή «Α» του διαγράμματος.

Σε ότι αφορά τη δραστηκότητα της αργίλου, σύμφωνα με το Σχήμα 5 η άργιλος του Αμαρουσίου είναι κανονικής δραστηκότητας έως μη δραστηκή, ενώ σε περιορισμένο αριθμό δειγμάτων χαρακτηρίζεται ως δραστηκή.



Σχήμα 5. Δείκτης πλαστικότητας ως προς το αργιλικό κλάσμα.
Figure 5. Plasticity index versus clay fraction.

4.4 Μηχανικές ιδιότητες

Γενικώς οι επιτόπου δοκιμές SPT έδωσαν υψηλές τιμές του αριθμού N με σημαντικό αριθμό αρνήσεων εντός της αργίλου. Αυτό εκτιμάται ότι οφείλεται τόσο στη σκληρότητα του υλικού όσο και στην παρουσία χαλίκων που κατά τόπους είναι αυξημένη. Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT συναρτήσει του βάθους παρουσιάζονται στο Σχήμα 6 (με $N=100$ δηλώνονται οι αρνήσεις): παρατηρείται αύξηση του κατώτατου ορίου των τιμών SPT με το βάθος (σημειώνεται με έντονη διακεκομμένη γραμμή).

Από τις δοκιμές ανεμπόδιστης θλίψης προέκυψαν τιμές q_u με μέση τιμή 398.9 kPa και τυπική απόκλιση 189.8 kPa.

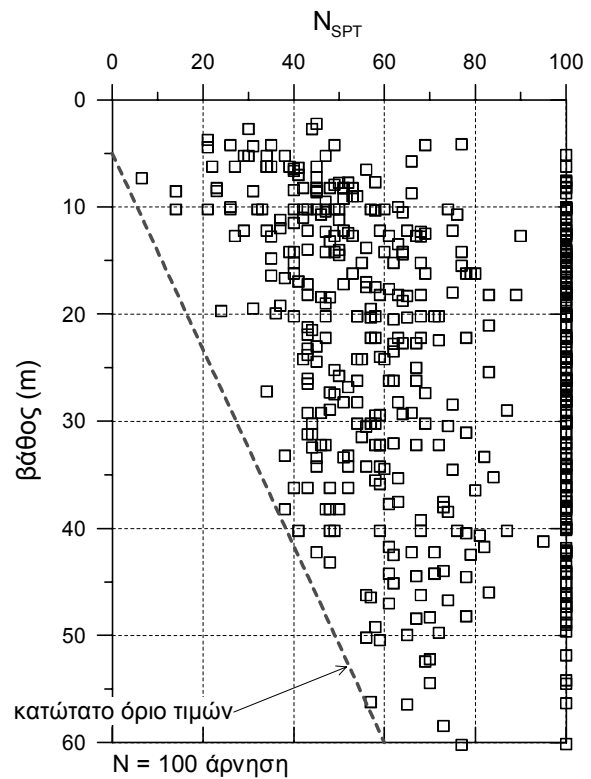
Από τις δοκιμές τριαξονικής φόρτισης CU_{rr} προέκυψαν τιμές του c' με μέση τιμή 55.7 kPa και τυπική απόκλιση 16.9 kPa, καθώς και γωνία ϕ' με μέση τιμή 21.4° και τυπική απόκλιση 3.9°. Η κατανομή των τιμών της ενεργής συνοχής και γωνίας διατμητικής αντοχής με το βάθος δίνεται στο Σχήμα 7· επίσης δεν παρατηρείται οποιαδήποτε συσχέτιση με το βάθος.

4.5 Παραμορφωσιμότητα

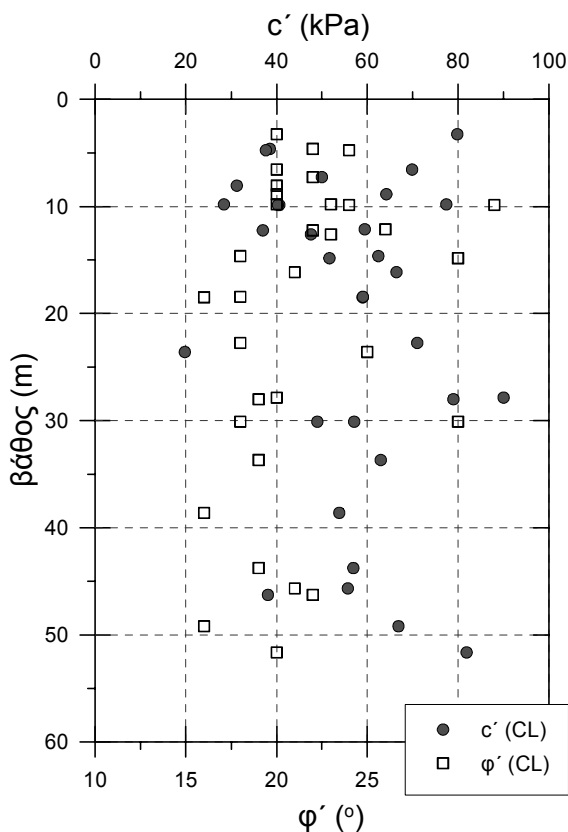
Από τις δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης προέκυψε δείκτης συμπίεσης C_c με μέση τιμή 0.13 και τυπική απόκλιση 0.05.

Για τη διερεύνηση της επιρροής της μέγιστης τάσης συμπίεσης πραγματοποιήθηκαν σε ένα δείγμα (από βάθος 42 m) δοκιμές μονοδιά-

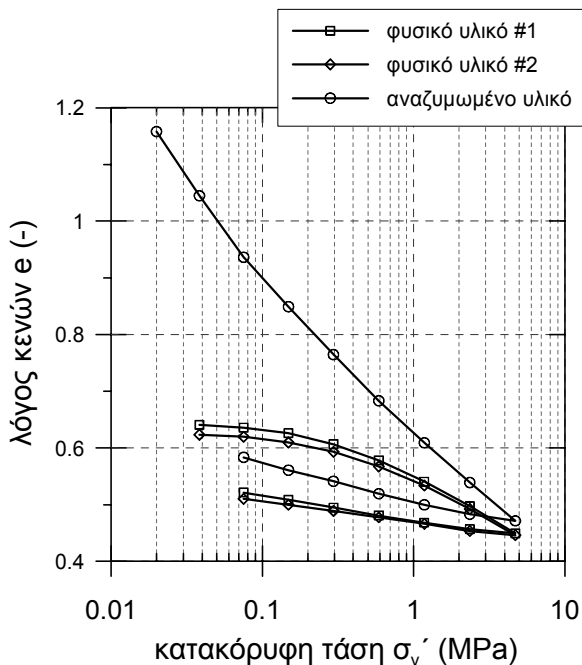
στατης συμπίεσης μέχρι μέγιστη κατακόρυφη τάση 4800 kPa. Ειδικότερα πραγματοποιήθηκαν δύο δοκιμές με δοκίμια από το φυσικό υλικό του δείγματος και μία σε δοκίμιο αναζυμωμένου υλικού του δείγματος (πολύς με αρχικό ποσοστό υγρασίας περίπου $1.5 \times W_L \approx 70\%$). Οι καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 8. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 8, ακόμη και για αυτό το υψηλό επίπεδο κατακόρυφης τάσης, οι καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης από τα δοκίμια του φυσικού υλικού βρίσκονται ακόμη κάτω και σε απόσταση από την καμπύλη μονοδιάστατης συμπίεσης από το δοκίμιο αναζυμωμένου υλικού, και κατά συνέπεια δεν προσεγγίσθηκε ο κλάδος παρθένας συμπίεσης (virgin compression). Αυτό είναι ενδεικτικό της μεγάλης τιμής της τάσης φαινόμενης προφόρτισης του υλικού, η οποία εκτιμάται μεγαλύτερη από 1.0 MPa. Ακόμη και για αυτές τις καμπύλες μονοδιάστατης συμπίεσης του φυσικού υλικού η κλίση τους για τιμή της κατακόρυφης τάσης 800 kPa είναι περίπου το 60% της κλίσης των ίδιων καμπυλών για τάση μεταξύ 2400 και 4800 kPa, ποσοστό ενδεικτικό του πόσο υποτιμούν την πραγματική τιμή του δείκτη συμπίεσης οι αρχικά αναφερθείσες τιμές του C_c .



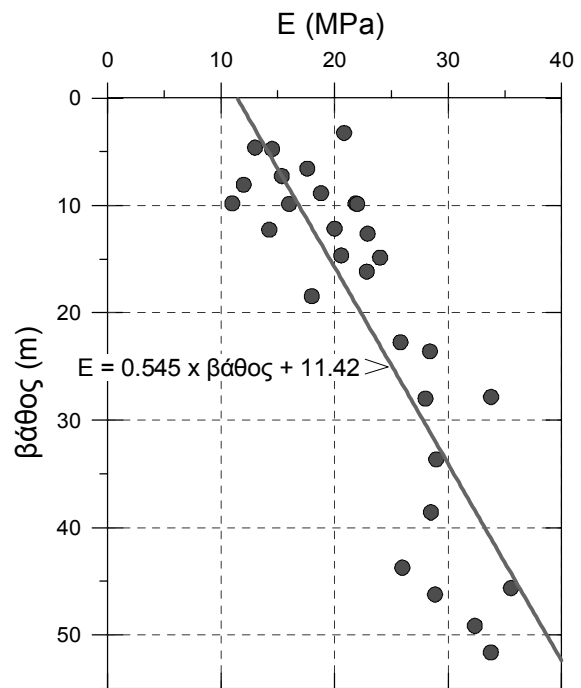
Σχήμα 6. Αποτελέσματα των δοκιμών SPT συναρτήσει του βάθους.
Figure 6. Standard Penetration Test results versus depth.



Σχήμα 7. Κατανομή των τιμών της ενεργής συνοχής και γωνίας διατμητικής αντοχής με το βάθος.
Figure 7. Distribution of CUpp results, c' and ϕ' , versus depth.



Σχήμα 8. Μεταβολή του λόγου κενών συναρτήσει της κατακόρυφης τάσης (δοκιμή μονοδιάστατης συμπίεσης).
Figure 8. Variation of void ratio versus vertical stress (consolidation test).



Σχήμα 9. Κατανομή του μέτρου ελαστικότητας (δοκιμές CUpp) με το βάθος.
Figure 9. Distribution of modulus of elasticity (CUpp) versus depth.

Το ποσοστό αυτό και η εκτιμώμενη τιμή τάσης φαινόμενης προφόρτισης βρίσκονται σε συμφωνία με τα συμπεράσματα των Bardanis & Kanvadas (2003) για αργίλους μέσης έως υψηλής πλαστικότητας με μεγάλη τάση φαινόμενης προφόρτισης. Γι'αυτό οι αρχικά αναφερθείσες τιμές πρέπει να θεωρούνται «φαινόμενες» (Bardanis & Kanvadas, 2003).

Παράλληλα με τις δοκιμές συμπίεσότητας έγιναν και δοκιμές διόγκωσης, από τις οποίες προέκυψαν τιμές πίεσης διόγκωσης που κυμαίνονται από μικρότερες των 50 kPa (οι περισσότερες) έως 525 kPa.

Από τις δοκιμές τριαξονικής φόρτισης CUpp υπολογίστηκε το μέτρο ελαστικότητας E για παραμόρφωση 1% και για την πλευρική τάση που δέχονταν το κάθε δείγμα. Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας E με το βάθος παρουσιάζεται στο Σχήμα 9. Παρατηρείται αύξηση της τιμής του μέτρου ελαστικότητας με το βάθος. Με συντελεστή γραμμικής συσχέτισης $R^2=0.71$, ο οποίος κρίνεται ικανοποιητικός για την παρατηρούμενη διακύμανση των φυσικών χαρακτηριστικών και των μηχανικών ιδιοτήτων της αργίλου, το μέτρο ελαστικότητας συναρτησει του βάθους δίνεται από τη σχέση (1).

$$E = 0.545 \times D + 11.42 \quad (1)$$

όπου E το μέτρο ελαστικότητας σε MPa και D το βάθος από την επιφάνεια του εδάφους σε μέτρα.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να επιδεικνύεται κατά την εφαρμογή της σχέσης (1) για βάθη μεγαλύτερα των 30 m, αφού οι εκτιμώμενες τιμές βάσει της ανωτέρω σχέσης είναι υψηλότερες των τιμών από τις εργαστηριακές δοκιμές. Τα υπάρχοντα εργαστηριακά δεδομένα υποδεικνύουν ότι για βάθη μεγαλύτερα των 30 m η τιμή του μέτρου ελαστικότητας μπορεί να λαμβάνεται ίση με αυτή που προβλέπεται από τη σχέση (1) για το βάθος των 30 m.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η άργιλος του Αμαρουσίου, όπως εντοπίζεται στην περιοχή του Ολυμπιακού Αθλητικού Κέντρου Αθηνών, αποτελεί σχηματισμό αργιλικό, σιφρό έως ημιβραχώδη, με μέση έως υψηλή πλαστικότητα. Εντός της μάζας του σχηματισμού απαντώνται μάργες, αμμοχάλικα και λιγνίτες. Ορυκτολογικά κυριαρχούν τα αργιλικά ορυκτά, με τα ανθρακικά και τα πυριτικά να υπολείπονται σημαντικά.

Από τον έλεγχο της κατανομής των παραμέτρων c' και ϕ' με το βάθος δεν προέκυψε συστηματική μεταβολή ή πρακτική διαφορά (πρβλ. Σχήμα 7) που να δικαιολογεί τον διαχωρισμό της αργίλου σε επιμέρους στρώσεις με διαφορετικές παραμέτρους σχεδιασμού.

Εξετάζοντας την κατανομή του μέτρου ελαστικότητας παρατηρείται αύξησή του με το βάθος (πρβλ. Σχήμα 9), συμβατή με την εξέλιξη του κάτω ορίου των αποτελεσμάτων των δοκιμών SPT (πρβλ. Σχήμα 6).

Η άργιλος του Αμαρουσίου προσδιορίστηκε με υψηλή τιμή τάσης φαινόμενης προφόρτισης (εκτιμάται περί το 1.0 MPa ή και μεγαλύτερη). Το ανωτέρω, σε συνδυασμό με τη μέση έως υψηλή πλαστικότητα του υλικού, οδηγεί σε υποεκτίμηση του δείκτη συμπίεσης, όπως αυτός προκύπτει από συμβατικές δοκιμές μονοδιάστατης συμπίεσης μέχρι μέγιστη κατακόρυφη τάση 800 kPa. Εκτιμάται ότι για τον προσδιορισμό της πραγματικής τιμής του δείκτη συμπίεσης σε δείγματα από βάθη μεγαλύτερα των 15 m απαιτούνται δοκιμές με μέγιστη κατακόρυφη τάση 6 έως 8 MPa.

6. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τις εργασίες και μελέτες επέβλεψαν η Γενική Γραμματεία Αθλητισμού ΕΥΔΕ/ΑΟΕΕ και η Οργανωτική Επιτροπή Ολυμπιακών Αγώνων Αθήνα 2004, με τις οποίες υπήρξε άριστη συνεργασία. Στις εργασίες υπαίθρου και γραφείου μετείχε πολυάριθμη ομάδα πολιτικών μηχανικών – εδαφομηχανικών και γεωλόγων της ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. τους ευχαριστούμε για την πολύτιμη συμβολή τους.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Bardanis, M. E., Kavvadas, M. J. (2003), "The Concept of 'Apparent' Compression Index," Proc. of the Int. Conf. "From Experimental Evidence towards Numerical Modelling of Unsaturated Soils", Springer, Vol. I, pp. 343-354, Berlin.

Μπαρδάνης, Μ.Ε. και Καβουνίδης, Σ. (2001), «Σύγκριση δείκτη συμπίεσιότητας από εμπειρικές συσχετίσεις και από δοκιμές σε αργιλικά εδάφη από τον ελλαδικό χώρο», 4^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, σσ. 131-138, Τ.1, Αθήνα.

Τόλης, Σ.Β., Καβουνίδης, Σ. (2004), «Για το υπέδαφος στην περιοχή του ΟΑΚΑ», Ε.Ε.Ε.Θ.: Ημερίδα για «Τα θεμέλια των Ολυμπιακών Αγώνων της Αθήνας 2004», Αθήνα.