

ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΩΝ ΚΑΛΑΜΑΡΙΑΣ (ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ)*

Α. ΤΣΙΡΑΜΠΙΔΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Τα δείγματα προέρχονται από διαφορετικά βάθη τεσσάρων εκσκαφών για θεμελίωση έργων στην περιοχή της Καλαμαριάς. Λιθολογικά είναι αργιλόδη μέχρι αμμοπηλώδη. Η εκτεταμένη παρουσία ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και των ενδοστρωματωμένων φάσεων τους, η μεγάλη συμμετοχή σωματιδίων μεγέθους αργίλου (5-58%) και η παρουσία πολλών πληθυσμών κόκκων (κακή διαβάθμιση), σημαίνουν ανοριμότητα τόσο ορυκτολογική όσο και ιστολογική των εδαφών της Καλαμαριάς. Επίσης, παρουσιάζουν χαμηλή πλαστικότητα με όριο υδαρότητας 29,1-49,9%, δείκτη πλαστικότητας 5,7-25,6% και δείκτη συνεκτικότητας $>1,0$, γι' αυτό αυτά τα εδάφη θεωρούνται ημιστερεά. Τέλος, παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διάγνωσης και ενεργότητα $<1,0$. Η ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (V_s) στους εδαφικούς σχηματισμούς της Καλαμαριάς σε βάθη μέχρι 50 m κυμαίνεται από 200 ως 650 m/s, υποδηλώνοντας τη μέτρια δυσκαμψία τους και την απουσία βραχώδους υποβάθρου. Καμία εκσκαφή στην Καλαμαριά για την κατασκευή δρόμων ή τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων, δεν είναι χρονοβόρα ούτε υπερβολικά δαπανηρή με βάση τα παρουσιάζόμενα στοιχεία, αφού δεν συναντά σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα, αλλά μόνο ιζηματογενείς σχηματισμούς με σχετικά χαμηλό βαθμό συνεκτικότητας και αποσκλήρυνσης και πάχος που ξεπερνά τα 250 m.

ABSTRACT

The samples were collected from different depths of four excavation sites for foundation of buildings. Lithologically they are clayey to sand-muddy. In the coarser fractions of 250-20 and 20-2 μm quartz and feldspars predominate. In addition, amphiboles, pyroxenes and epidote in decreasing abundance, occur with small amounts in some samples. Among the phyllosilicates micas and clay minerals predominate. The finer fraction ($<0.2 \mu\text{m}$) consists entirely of clay minerals and especially of illite, smectite, vermiculite, chlorite, and their interstratifications, as well as of kaolinite.

In young soils as of Kalamaria, the extended presence of clay minerals and their interstratifications is due to their terrigenous transportation from the adjacent drainage basin where rocks rich in feldspars and Fe-Mg minerals predominate. The main alteration products of these rocks are the above mentioned phases.

The extended presence of clay minerals and their interstratified phases, the very high participation of clay size particles (5-58%) and the presence of different grain size populations (poor sorting), signify both mineralogical and textural immaturity of the Kalamaria soils.

The extended presence of smectite and illite/smectite in some layers, may be the result of alteration of volcanic origin plagioclases. Rounded volcanic fragments with sizes from some millimeters up to 4 cm have been found inside the sedimentary formations of eastern Thessaloniki.

The degree of compaction and induration of the soils is medium, because of the presence of grains of various granulometric and mineralogical composition, as well as of the mild conditions of pressure and temperature to which they have been submitted. The silt-clayey soils predominate.

The soils present low plasticity, with liquid limit 29.1-49.9% and plasticity index 5.7-25.6%. This result is confirmed by the high values of durability index in the most samples (>1.0), for this reason these soils are considered semi-solid. In addition, they mainly present medium swelling potential and activity <1.0 .

The shear wave velocity (V_s) of the soil formations of Kalamaria to depths up to 50 m varies between 200 and 650 m/s signifying their medium rigidity and the absence of rocky substratum.

None excavation for the construction of roads or the foundation of various buildings (depths up to 13 m) and none drilling for water finding (depths up to 250 m) that are referred in this paper, as well as in those that have been carried out in the past at Kalamaria, have met hard crystalline rocks (igneous or metamorphic). Only

* MINERALOGICAL COMPOSITION AND PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOILS FROM KALAMARIA (MACEDONIA)

¹ Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη, Ελλάδα
Ψηφιακή Βιβλιοθήκη - Θεοφράστους - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

sedimentary formations with relatively low compaction and induration degree were excavated or drilled. On the basis of all the above data it is concluded that none excavation of the Kalamaria soils is neither time consuming nor excessively expensive.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: αργιλόδη εδάφη, αργιλικά ορυκτά, φυσικά χαρακτηριστικά, δυναμικό διόγκωσης, Καλαμαριά, Μακεδονία, Ελλάδα.

KEY WORDS: clayey soils, clay minerals, physical characteristics, swelling potential, Kalamaria, Macedonia, Greece.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εδαφομηχανική ως εδαφος χαρακτηρίζεται το φυσικό υλικό που βρίσκεται κάτω από τον επιφανειακό εδαφικό ορίζοντα στον οποίο γίνεται η βλάστηση των φυτών. Αποτελείται από χιλάρα συνδεδεμένους κόκκους ορυκτών και/ή οργανικών σωματιδίων που μπορούν να διαχωριστούν ή αποκολληθούν μεταξύ τους εύκολα με μηχανικό τρόπο.

Φυλλοπυριτικά ορυκτά (κυρίως μαρμαρυγίες και αργιλικά ορυκτά) βρίσκονται σχεδόν σε όλα τα εδάφη και η προσέλευσή τους οφείλεται στην εξαλλοίωση ασταθών και οιδηρομαγνησιούχων ορυκτών. Στα εύκρατα κλίματα ο ιλλίτης, ο σμιεκτίτης, ο βερμικουλίτης και οι ενδοσφραματομένες φάσεις τους, είναι τα πιο συνηθισμένα αργιλικά ορυκτά σε εδάφη νεότερης ηλικίας (Weaver, 1989).

Η διόγκωση αργιλούχων εδαφών, όταν εκθέτονται σε υγρασία, μπορεί να προκαλέσει εκτεταμένη καταστροφή σε ποικίλες κατασκευές που είναι θεμελιωμένες πάνω σε τέτοια υλικά. Η έκταση της διόγκωσης εξαρτάται κυρίως από τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και τις φυσικομηχανικές ιδιότητές τους όπως περιεχόμενο αργιλικών ορυκτών, περιεχόμενη υγρασία, όρια Atterberg, αντοχή Ολίφης κ.λπ. (Hossain et al., 1997, Shakoor και Sarman, 1997). Το θεωρητικό μοντέλο των Shuai και Fredlund (1998) μπορεί να βοηθήσει σημαντικά στην πρόβλεψη της επί τόπου συνολικής διόγκωσης ή συρρίζνωσης, της επί τόπου πίεσης της διόγκωσης και στο ρυθμό της διόγκωσης ή συρρίζνωσης των εδαφών. Όμως χρησιμοποιώντας δεδομένα δοκιμών για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά των κατασκευών δε θεωρείται πολύ εύκολο (Al-Rawas, 1999).

Η τεχνολογία των θεμελιώσεων και της βελτίωσης των εδαφών, επιτρέπει την αξιοποίηση οποιασδήποτε περιοχής που έχει προβληματικό έδαφος με περισσότερες ή λιγότερες δαπάνες, ανάλογα με το είδος της κατασκευής. Η γνώση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών ενός εδάφους είναι αναγκαία, επειδή σε αυτό θεμελιώνονται ποικίλα έργα, συνήθως μεγάλης έκτασης και οφελείας (π.χ. δίκτυα ύδρευσης, αποχέτευσης ή τηλεφώνου, φρεσάκια ή δεξαμενές ποικίλης χρήσης, δρόμοι και άλλα υπόγεια έργα, αιπιζές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις κ.ά.). Ελαφρές κατασκευές θεμελιωμένες σε διογκούμενα εδάφη μπορούν να υποστούν σοβαρές βλάβες, όταν αυξηθεί η υγρασία των εδαφών αυτών.

Οι Βαλαλός κ.ά. (1985) κατατάσσουν τα εδάφη του πολεοδομικού συγκροτήματος Θεσσαλονίκης σε έξι κατηγορίες ανάλογα με την προσέλευση και σύστασή τους, καθώς και τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά τους.

Χρησιμοποιώντας ποικίλες ορυκτολογικές τεχνικές και τιμές φυσικών χαρακτηριστικών εδαφών γίνεται προσπάθεια να διευκρινιστούν οι διεργασίες με τις οποίες τα αργιλόδη εδάφη της Καλαμαριάς σχηματίστηκαν και οι προφυλάξεις που πρέπει να παίρνονται, όταν είναι αναπόφευκτες οι θεμελιώσεις διάφορων κατασκευών πάνω σε τέτοια υλικά τα οποία συμπερίζονται και διογκώνονται ή συρρίζνώνονται εκτεταμένα.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η ευρύτερη περιοχή αυτής της μελέτης γεωτεκτονικά ανήκει στο δυτικό τμήμα της ζώνης Παιονίας που χαρακτηρίζεται από την παρουσία ιζημάτων βυθιάς θάλασσας (Τηθύος). Αποτελείται από τα παλαιά πετρώματα, από τα αρχαιότερα στα νεότερα: Λαβεστόλιθοι Τριαδικού – Ιουραϊκού, ηφαιστειοκλαστικά, ασβεστόλιθοι Ανώτερου Ιουραϊκού, βασικά (γάββροι, δολερίτες) και υπερβασικά (οφειόλιθοι) και τέλος ασβεστόλιθοι ηλικίας Κρητιδικού (Μουντράκης, 1985). Στην Καλαμαριά Νεογενή και Τεταρτογενή κλαστικά ιζήματα και αλλουβιακές αποθέσεις, καλύπτουν όλους τους προηγούμενους πετρογραφικούς σχηματισμούς σε πάχη που υπερβαίνουν τα 250 m. Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί επικαθόνται στα υπερβασικά και βασικά πετρώματα νότια του Πανοράματος (Σαουντζής, 1969). Απολιθώματα, αλλά και διασπαιρούμενες στρώσεις άμμων, επιβεβαιώνουν τη θαλάσσια και χερσοποτάμια προσέλευση αυτών, αντίστοιχα (Μαρίνος, 1965). Στους ορεινούς όγκους βόρεια και ανατολικά της Καλαμαριάς επικρατούν τρωανοσχηστόλιθοι και γάββροι-περιδοπίτες αντίστοιχα, ενώ όλα τα κτίσματα της πόλης είναι θεμελιωμένα πάνω σε εδάφη που αποτελούνται από σχιστοπηλούς, αργίλους και ψαμμιτομάργες λιμνάιας μέχρι θαλάσσιες φάσεις.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.



Σχήμα 1. Τοπογραφικό ομαρίφημα Καλαμαριάς (▲ = θέσεις δειγματοληψίας εσοχαφών,

■ = θέσεις γεωτρήσεων Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ⊗ = θέσεις γεωτρήσεων Εταιρίας Ύδρευσης-Αποχέτευσης Θεσ/νίκης, □ = θέση γεώτρησης Α.Π.Θ.).

Figure 1. Topographic sketch map of Kalamaria (▲ = excavation sampling locations, ■ = drilling locations of District of Central Macedonia, ⊗ = drilling locations of Water Supply-Sewage Co of Thessaloniki, □ = drilling location of A.U.Th.).

3. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Τα δείγματα των κλαστών ιζημάτων συλλέχθηκαν από διαφορετικά βόθρ τεσσάρων εσοχαφών, για θεμελίωση έργων (Σχήμα 1 και Πίνακας 1). Για την αφαίρεση της υγρασίας θεράνθηκαν σε φούρνο θερμοκρασίας 60° C για 24 ώρες και στη συνέχεια κομιοποιήθηκαν σε μηχανικό κομιοποιητή βολφραμίου για ένα λεπτό. Έξωσι γραμμάρια από κάθε κομιοποιημένο δείγμα υποβλήθηκαν σε χημικές κατεργασίες κατά Jackson (1979), για την αποτάκρυνση των ανεπιθύμητων (συγκολλητικών) υλικών: Ανθρακικά ορυκτά + Οργανική ύλη + Οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου. Οι κατεργασίες αυτές είναι απαραίτητες στην ανάλυση των λεπτομερών ιζημάτων ή εδαφών που είναι πλούσια σε αργιλικά ορυκτά και τα οποία ζάτω από φυσικές συνθήκες είναι πάντα συσσωματωμένα.

Από τα κατεργασμένα δείγματα ετοιμάστηκαν τυχαία προσανατολισμένα παρωσκευάσματα (ζώνες) των κλασμάτων 250-20 και 20-2 μμ που υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση για ποιοτικό και ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών τους. Επίσης, ετοιμάστηκαν παρωσκευάσματα προσανατολισμένα παρωσκευάσματα των κλασμάτων 20-2, 2-0,2 και <0,2 μμ που εξέτιστησαν ακτινογραφικά. Τα ίδια παρωσκευάσματα υποβλήθηκαν σε ακτινογραφική εξέταση μετά από διατόπιση τους με απτός αιθθλενογλυκόλης για 24 ώρες και αυτά σε νέα ακτινογραφική εξέταση μετά από πόρωση τους στους 550° C για 2,5 ώρες. Χρησιμοποιήθηκε ακτινοβολία ακτίνων-X χαλκού και φίλτρο νικελίου σε περιθλασίμετρο τύπου PHILIPS με περιοχή σάθωσης 3-43° 2θ. Για τον ημιποσοτικό προσδιορισμό των ορυκτών συστατικών χρησιμοποιήθηκαν οι μέθοδοι των Schultz (1964), Perry και Hower (1970) και Moore και Reynolds (1997).

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δείγματα έχουν χρώμα τεφρό μέχρι καστανό. Η λιθολογική τους τάξινομηση, μετά την εφαρμογή χημικών κατεργασιών, για την απομάκρυνση των συγκολλητικών τους υλικών, παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Διαπιστώνεται ότι το συνολικό ποσοστό των συγκολλητικών υλικών (ανθρακικά ορυκτά + οργανική ύλη + οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου), παρουσιάζει μεγάλη διακύμανση (3-40%). Αυτό δεν συσχετίζεται με το βάθος, αλλά με την αρχική σύσταση των μεταφερόμενων υλικών αποσάθρωσης. Το μεγαλύτερο ποσοστό του οφείλεται στην παρουσία του ανθρακικού ορυκτού ασβεστίτη. Υψηλό ποσοστό συγκολλητικών υλικών σημαίνει χαμηλή ένταση των διεργασιών αποσάθρωσης, επομένως επικράτηση ήπιων κλιματικών συνθηκών. Στον ίδιο Πίνακα παρουσιάζονται οι ιστολογικές τάξεις των εδαφικών δειγμάτων που εξετάζονται με βάση την αναλογία του μεγέθους των κόκκων τους (Soil Survey Division Staff, 1993). Αυτά είναι αργιλώδη μέχρι αμμοπηλώδη. Τέλος, διαπιστώνεται ότι τα ποσοστά κόκκων μεγέθους άμμου (5-72%), ιλύος (13-43%) και αργίλου (5-58%) παρουσιάζουν πολύ μεγάλη διακύμανση.

Πίνακας 1. Κοκκομετρική κατανομή (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.

Table 1. Grain size distribution (wt. %) of the samples analyzed.

| Δείγμα ¹ | C.O.I. ² % | Άμμος 2000-63μm | Ιλύς 63-2μm | Αργίλος <2μm | Τάξη ³ |
|---------------------|--------------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|
| Άγιος Ιωάννης | 10,5 | 31 | 24 | 45 | Αργιλώδες C |
| Άγιος Ιωάννης | 24,5 | 72 | 13 | 15 | Αμμοπηλώδες SM |
| Ήρας 8 | 34,0 | 5 | 38 | 57 | Αργιλώδες C |
| Ήρας 8 | 46,0 | 3 | 64 | 5 | Αμμοπηλώδες SM |
| Τάφρος (γέφυρα) | 52,0 | 4 | 48 | 14 | Πηλώδες M |
| Τάφρος (γέφυρα) | 65,0 | 23 | 32 | 25 | Πηλώδες M |
| Καζάζη 5 | 71,5 | 40 | 12 | 30 | Αργιλώδες C |
| Καζάζη 5 | 84,0 | 16 | 52 | 35 | Αμμοπηλώδες SM |

¹Οι αριθμοί δηλώνουν θέσεις δειγματοληψίας από εκκαμφές θεμελίωσης, οι δείκτες βάθος σε m κάτω από την επιφάνεια.

²Ανθρακικά ορυκτά + Οργανική ύλη + Οξείδια σιδήρου και υδροξείδια σιδήρου και αργιλίου.

³Ιστολογικές τάξεις εδαφών κατά S.S.D.S. (1993).

Στον Πίνακα 2 δίνονται τα αποτελέσματα της πλήρους ακτινογραφικής εξέτασης, ενώ στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα των κλασμάτων του δείγματος 3. Διαπιστώνεται ότι στα αδρομερέστερα κλάσματα 250-20 και 20-2 μm, επικρατούν ο χαλαζίας και οι άστριοι, ενώ μεταξύ των αστρών υπερέχουν τα πλαγιόκλαστα. Επίσης, υπάρχουν κατά σειρά αφθονίας αμιφίβολοι, πυρόξενοι και επίδοτο που, εξαιτίας της ραγδαίας μεταφοράς και απόθεσης κοντά στην πηγή προέλευσης, δεν πρόλαβαν να εξαλλοιωθούν. Μεταξύ των φυλλοπιριτικών ορυκτών επικρατούν οι μαρμαρυγίτες και τα αργιλικά ορυκτά. Στα <2 μm κλάσματα των περισσότερων δειγμάτων εντοπίζονται και ίχνη μη αργιλικών ορυκτών, ενώ το <0,2 μm κλάσμα αποτελείται αποκλειστικά από αργιλικά ορυκτά και ιδιαίτερα από ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και τις ενδοστρωματωμένες φάσεις τους, καθώς και καολινίτη. Με πύρωση στους 550°C για 2,5 ώρες μόνο στο κλάσμα 2-0,2 μm του δείγματος 3 (Σχ. 2ε) παρατηρήθηκε πλήρης μετατόπιση και ενίσχυση της ανάλασης από τα 14,3 E στα 10,0 E, ένδειξη απουσίας χλωρίτη. Σε όλα τα άλλα κλάσματα των λοιπών δειγμάτων η συμμετοχή του χλωρίτη είναι παραύλληλη του βερμικουλίτη που θεωρείται το πιο ανώριμο αργιλικό ορυκτό σε ιζημάτα ή εδάφη νεότερης ηλικίας.

Για σύγκριση με τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας, στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι ομάδες εδαφικών δειγμάτων σύμφωνα με το ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών (ASTM D 2487, 1985) από οκτώ γεωτρονήσεις (Σχήμα 1) που πραγματοποιήθηκαν στην Καλαμαριά από την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας (αδημοσίευτες εκθέσεις 1989, 1990, 1991), χωρίς την εφαρμογή οποιασδήποτε χημικής κατεργασίας. Διαπιστώνεται ότι επικρατούν τα ιλυοαργιλώδη εδάφη. Σύμφωνα με τα λιθολογικά αποτελέσματα πρόσφατων γεωτρονήσεων της Ε.Υ.Α.Θ. (αδημοσίευτη έκθεση 1999, Σχήμα 1) βάθους μέχρι 250 m, για την ανεύρεση νερού, όλα τα πετρώματα που διατρυπήθηκαν ήταν αποκλειστικά ιζηματογενείς σχηματισμοί (ψηφίδες, άμμοι, ιλύες, άργιλοι και μάρμαρες).

Πίνακας 2. Ορυκτολογική σύσταση (κ.β. %) των δειγμάτων που αναλύθηκαν.
Table 2. Mineralogical composition (wt. %) of the samples analyzed.

| Δείγμα | Μέγεθος (μm) | Q | Pl | Or | Am | Px | Ep | T.cl | I | S | V |
|------------------|--------------|------|------|------|----|------|----|------|----|----|----|
| 1 _{0,5} | 20-2 | 26 | 38 | 21 | 4 | ίχνη | | 11 | | | |
| | <2 | ίχνη | | ίχνη | | | | | 74 | 7 | 19 |
| 2 _{4,5} | 250-20 | 41 | 24 | 9 | | | | 26 | | | |
| | 20-2 | 14 | 24 | 31 | 13 | | | 18 | | | |
| | <2 | | | | | | | | 57 | 31 | 12 |
| 3 _{4,0} | 250-20 | 38 | 34 | 12 | | | 2 | 14 | | | |
| | 20-2 | 28 | 28 | 24 | | | | 20 | | | |
| | 2-0,2 | | | ίχνη | | | | | 53 | 20 | 27 |
| | <0,2 | | | | | | | | 61 | 10 | 29 |
| 4 _{6,0} | 20-2 | 21 | 33 | 27 | | | | 19 | | | |
| | <2 | ίχνη | | ίχνη | | | | | 46 | 39 | 15 |
| 5 _{2,0} | 20-2 | 16 | 36 | 24 | 9 | | | 15 | | | |
| | <2 | | β±νη | | | | | | 47 | 38 | 15 |
| 6 _{5,0} | 20-2 | 23 | 33 | 18 | | | | 26 | | | |
| | <2 | ίχνη | ίχνη | ίχνη | | | | | 66 | 11 | 23 |
| 7 _{1,5} | 20-2 | 37 | 33 | 13 | 3 | 5 | | 9 | | | |
| | 2-0,2 | ίχνη | ίχνη | ίχνη | | | | | 79 | 7 | 14 |
| | <0,2 | | | | | | | | 73 | 14 | 13 |
| 8 _{4,0} | 20-2 | 18 | 37 | 20 | | 6 | | 19 | | | |
| | <2 | | | | | | | | 61 | 19 | 20 |

Q = χαλαζιάς, Pl = πλαγιόκλαστο, Or = ορθόκλαστο, Am = αμφίβολοι, Px = πυρόξενοι, Ep = επίδοτο, T.cl = σύνολο αργιλικών ορυκτών, I = ιλλίτης (+I/S) (ή μαρμαρυγίας + M/S στα >2 μm κλάσματα), S = ομεκτίτης, V = βερμικουλίτης (+ Ch + V/S + Ch V + K), M = μαρμαρυγίας, Ch = χλωρίτης, K = καολινίτης. Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 1.

Πίνακας 3. Φυσικά χαρακτηριστικά εδαφών Καλαμαριάς.
Table 3. Physical characteristics of Kalamaria soils.

| Δείγμα ¹ | Άμμος % | Ιλύς % | Άργιλος % | Τάξη ² | W ₁ % | W _p % | I _p % | W % | I _c |
|--------------------------------|---------|--------|-----------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------|--------------------|
| Άγιος Ιωάννης 1 ₂ | 19 | 41 | 40 | CL(zC) | 46,3 | 22,3 | 24,0 | 20,6 | 1,07 ημιστερό |
| Άγιος Ιωάννης 1 ₄ | 39 | 31 | 30 | CH(cM) | 43,2 | 24,4 | 18,8 | 34,6 | 0,46 πολύ πλαστικό |
| Γήπεδο Φοίνικα 1 ₂ | 42 | 29 | 29 | CL(cM) | 47,6 | 23,5 | 24,1 | 26,7 | 0,87 λίγο πλαστικό |
| Γήπεδο Φοίνικα 2 ₅ | 34 | 33 | 33 | CL(cM) | 33,3 | 16,0 | 17,3 | 18,7 | 0,84 λίγο πλαστικό |
| Γήπεδο Φοίνικα 3 ₁₃ | - | 50 | 50 | CL(zC) | 44,4 | 26,7 | 17,7 | 41,0 | 0,19 υδαροπλαστικό |
| ΙΚΑ Βότση 1 _{1,5} | 37 | 32 | 31 | ML(cM) | 29,1 | 23,4 | 5,7 | 15,1 | 2,46 ημιστερό |
| ΙΚΑ Βότση 2 _{2,0} | 42 | 29 | 29 | CL(cM) | 47,2 | 26,3 | 20,9 | 20,3 | 1,29 ημιστερό |
| ΙΚΑ Βότση 2 _{3,5} | 64 | 18 | 18 | SC(sM) | 47,7 | 26,1 | 21,6 | 27,9 | 0,92 λίγο πλαστικό |
| ΙΚΑ Βότση 3 ₄ | 2 | 49 | 49 | CH(zC) | 49,9 | 24,3 | 25,6 | 12,1 | 1,48 ημιστερό |
| ΙΚΑ Βότση 5 ₅ | 37 | 32 | 31 | CL(cM) | 32,8 | 20,1 | 12,7 | 3,8 | 2,28 ημιστερό |

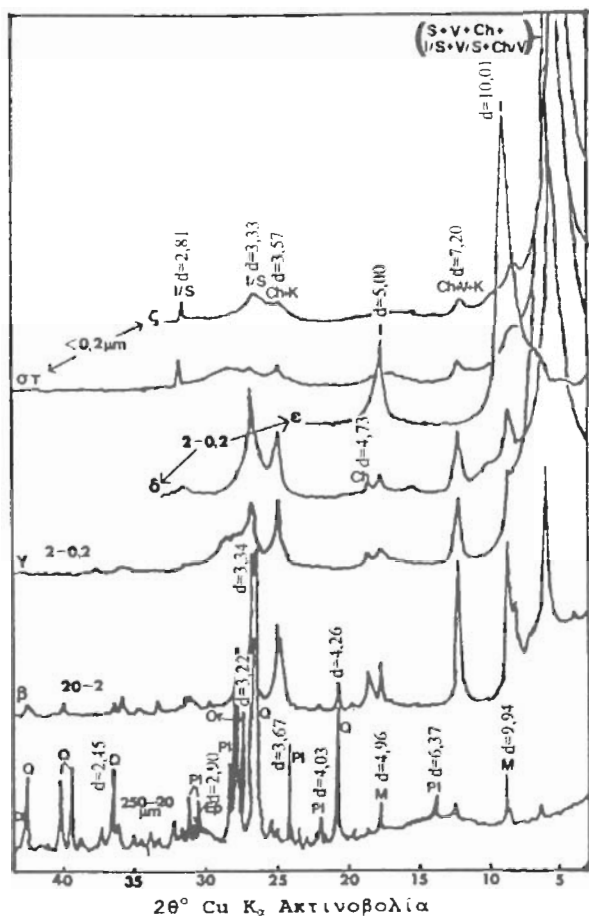
¹Οι αριθμοί δηλώνουν θέσεις γεωτρήσεων, οι δείκτες βάθος σε m κάτω από την επιφάνεια.

²Ενοποιημένο σύστημα κατάταξης εδαφών κατά ASTM D 2487 (1985): CL = ιλυώδης άργιλος, CH = υψηλής πλαστικότητας άργιλος, ML = ιλύς, SC = αργιλώδης άμμος. Σε παρένθεση οι αντίστοιχες ιστολογικές τάξεις τους (zC = ιλυοαργιλώδες, cM = αργιλοπηλώδες, sM = αμμοπηλώδες).

W₁ = όριο υδαρότητας, W_p = όριο πλαστικότητας, I_p = δείκτης πλαστικότητας (W_l-W_p), W = περιεχόμενη υγρασία, I_c = δείκτης συνεκτικότητας [(W_l-W)/I_p].

Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 1.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η συσχέτιση του ποσοστού του αργιλιού γλάσιματος με το δείκτη πλαστικότητας σε διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων του Van der Merwe (1975). Διαπιστώνεται ότι τα αργιλόδη εδάφη της Καλαμαριάς παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα $\Lambda < 1.0$. Ως ενεργότητα (Λ) χαρακτηρίζεται ο λόγος του δείκτη πλαστικότητας (I_p) προς το αργιλό γλάσιμα ($< 2 \mu\text{m}$).



Σχήμα 2. Αντιπροσωπευτικά περιθλασιογράμματα γλασιμάτων δείγματος 3.

α = τυχαία προσανατολισμένο, (β , γ , $\sigma\tau$) = παράλληλα προσανατολισμένα,

(δ , ζ) = διαποτισμένα με αιθυλενογλυκόλη, ϵ = πυρωμένο στους 550°C .

Άλλα σύμβολα όπως στον Πίνακα 2.

Figure 2. Representative XRD patterns of fractions of sample 3.

α = randomly oriented, (β , γ , $\sigma\tau$) = air dried, (δ , ζ) = ethylene glycolated, ϵ = heated at 550°C . Other symbols as in Table 2.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

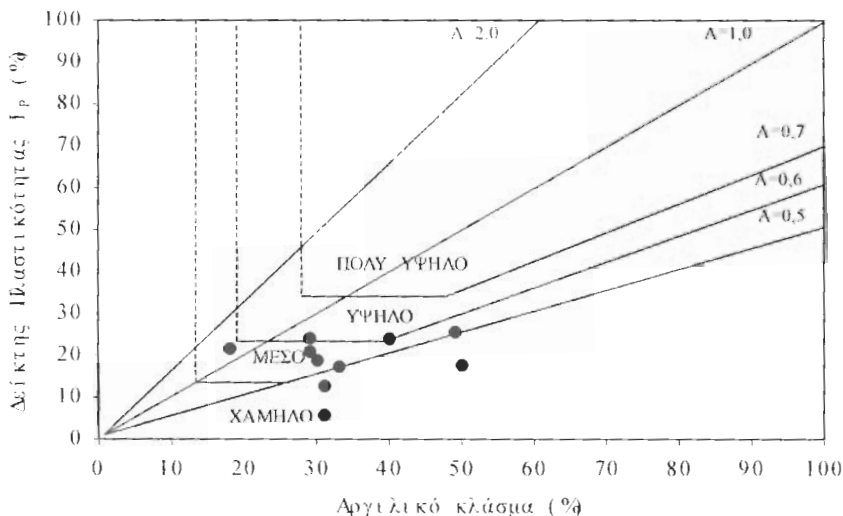
Οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια του Νεογενούς και Πλειστόκαινου ($23.7 - 0.01$ εκατομμ. χρόνια πριν) σε εύκρατες περιοχές όπως η Ελλάδα (Nairn, 1961), ευνόησαν την αποσάθρωση των βαισιζών και υπερβασιζών πυρογενών, καθώς και των μεταμορφωμένων πετρομάτων που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή αυτής της μελέτης.

Εξαιτίας της μεγάλης διασπάσεως του ποσοστού των κόκκων άμμου, ιλύος και αργίλου, συμπραίνεται ότι, τόσο η διάσπαση των υλικών αποσάθρωσης όσο και η μεταφορική ικανότητα του νερού, κρίθηκαν σημαντικά κατά τις διαφορετικές χρονικές περιόδους μεταφοράς και απόθεσης.

Λεπτομερής κοκκομετρική μελέτη της αργιλικής κλάσης των εδαφών της Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.

βαώνει την επιζωήτηση κόκκων μεγέθους <math><0,06\text{ mm}</math> (λίγς + άργιλος), ενώ ακολουθούν σε αναλογία κόκκων μεγέθους άμμου (2 - 0,06 mm). Το ποσοστό κόκκων μεγέθους >2 mm (χαλίγια) δεν ξεπερνά το 10% στο σύνολο της στρωματογραφικής στήλης.

Σε πρόσφατης ηλικίας εδάφη όπως της Καλαμαριάς, η εκτεταμένη παρουσία αλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και των ενδοστρωματομενών φάσεων τους, οφείλεται στη χειροποιήματα μεταφορά τους από τη γειτονική λεκάνη απορροής στην οποία επιζωοτούν πετρώματα πλούσια σε ασβέστιο και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά των οποίων κύρια προϊόντα εξαλλοίωσης είναι οι παραπάνω φάσεις.



Σχήμα 3. Διάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων. Προσδιορισμός δυναμικού διόγκωσης και ενεργότητας (A) κατά Van der Merwe (1975).

Figure 3. Expansive clay classification diagram. Determination of swelling potential and activity (A) according to Van der Merwe (1975).

Εξαιτίας της συγκεκριμένης ορυκτολογικής παραγένεσης, της πολύ μεγάλης συμμετοχής τεμαχιδίων μεγέθους αργίλου (5-58%) και της κακής διαβίωσης των κόκκων τους (πολλοί πληθυσμοί κόκκων), τα εδάφη της Καλαμαριάς είναι ανώριμα, τόσο ορυκτολογικά όσο και ιστολογικά, σύμφωνα με τα αντίστοιχα διαγράμματα του Weller (1960).

Η εκτεταμένη παρουσία σε ορισμένους ορίζοντες του σμεκτίτη και της ενδοστρωματομενής φάσης του αλίτη/σμεκτίτη, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα εξαλλοίωσης πλαγιόζλαστων ηφαιστειακής προέλευσης. Αποστρογγυλεμένα ηφαιστειακά θραύσματα μεγέθους ορισμένων χιλιοστών μέχρι 4 cm έχουν βρεθεί μέσα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς της ανατολικής Θεσσαλονίκης (Σασιουντζής κ.ά., 1980).

Ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσπλήρυνσης των εδαφών είναι μέτριος, εξαιτίας της παρουσίας κόκκων ποικίλης κοκκομετρικής και ορυκτολογικής σύστασης, καθώς και του ήπιου συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες έχουν υποβληθεί. Επιζωοτούν τα ιλυοαργιλώδη εδάφη.

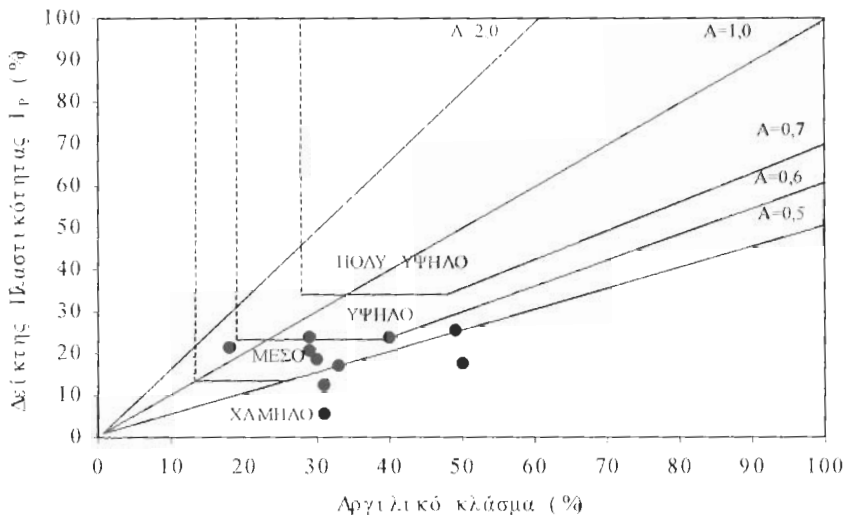
Τα εδάφη παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή πλαστικότητα με όριο υδαρότητας 29,1-49,9% και δείκτη πλαστικότητας 5,7-25,6%. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τις υψηλές τιμές του δείκτη συνεκτικότητας στα περισσότερα δείγματα (>1,0), γι' αυτό αυτά τα εδάφη θεωρούνται ημιστερεά (Πίνακας 3). Επίσης, παρουσιάζουν κυρίως μέσο ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα <math><1,0</math> (Σχήμα 3).

Καμία εξαγωγή για την κατασκευή δρόμων ή για τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων (βάθη μέχρι 13 m) και καμία γεώτρηση για την ανεύρεση νερού (βάθη μέχρι 250 m) που αναφέρονται σ' αυτή την εργασία, αλλά και σε όσες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Καλαμαριάς, δε συνάντησε σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα (πυργενή ή μεταμορφωμένα). Μόνο ιζηματογενείς σχηματισμοί των οποίων ο βαθμός συνεκτικότητας και αποσπλήρυνσης είναι σχετικά χαμηλός, έχουν εξαχθεί και διατυπωθεί.

Σύμφωνα με μελέτη του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Α.Π.Θ. (αδημοσίευτη έκθεση, 2000), έγινε προσδιορισμός των δυναμικών χαρακτηριστικών με τη μέθοδο της σεισμικής διασκόπησης Cross-hole. Τα ελαφρειακά αργιλώδη στρώ-

βαώνει την επιζωήτηση κόκκων μεγέθους $<0,06$ mm (ίλις + άργιλος), ενώ ακολουθούν σε αναλογία κόκκοι μεγέθους άμμου ($2 - 0,06$ mm). Το ποσοστό κόκκων μεγέθους >2 mm (χαίλια) δεν ξεπερνά το 10% στο σύνολο της στρωματογραφικής στήλης.

Σε πρόσφατης ηλικίας εδάφη όπως της Καλαμαριάς, η εزτεταμένη παρουσία ιλλίτη, σμεκτίτη, βερμικουλίτη, χλωρίτη και των ενδοστρωματωμένων φάσεων τους, οφείλεται στη χερσοποτάμια μεταφορά τους από τη γειτονική λεκάνη απορροής στην οποία επικρατούν πετρώματα πλούσια σε ιατρώεις και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά των οποίων κύρια προϊόντα εξαλλοίωσης είναι οι παραπάνω φάσεις.



Σχίμα 3. Αιάγραμμα ταξινόμησης διογκούμενων αργίλων. Προσδιορισμός δυναμικού διόγκωσης και ενεργότητας (A) κατά Van der Merwe (1975).

Figure 3. Expansive clay classification diagram. Determination of swelling potential and activity (A) according to Van der Merwe (1975).

Εξαιτίας της συγκεκριμένης ορυκτολογικής παρογένεσης, της πολύ μεγάλης συμμετοχής τεμαχιδίων μεγέθους αργίλου (5-58%) και της κακής διαβίθμησης των κόκκων τους (πολλοί πληθυσμοί κόκκων), τα εδάφη της Καλαμαριάς είναι ανώριμα, τόσο ορυκτολογικά όσο και ιστολογικά, σύμφωνα με τα αντίστοιχα διαγράμματα του Weller (1960).

Η ετεταμένη παρουσία σε ορισμένους οριζόντες του σμεκτίτη και της ενδοστρωματωμένης φάσης του ιλλίτη/σμεκτίτη, μπορεί να είναι το αποτέλεσμα εξαλλοίωσης πλαγμόκλαστων ηφαιστειακής προέλευσης. Αποσπρωγυλέμενα ηφαιστειακά θραύσματα μεγέθους ορισμένων χιλιοστών μέχρι 4 cm έχουν βρεθεί μέσα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς της ανατολικής Θεσσαλονίκης (Σαλουντζής κ.ά., 1980).

Ο βαθμός συνεπικτότητας και αποσπλήρυνσης των εδαφών είναι μέτριος, εξαιτίας της παρουσίας κόκκων κοιλής κοκκομετρικής και ορυκτολογικής σύστασης, καθώς και των ήπιων συνθηκών πίεσης και θερμοκρασίας στις οποίες έχουν υποβληθεί. Επικρατούν τα ιλυοαργιλώδη εδάφη.

Τα εδάφη παρουσιάζουν σχετικά χαμηλή πλαστικότητα με όριο υδαρότητας 29,1-49,9% και δείκτη πλαστικότητας 5,7-25,6%. Αυτό το συμπέρασμα επιβεβαιώνεται από τις υψηλές τιμές του δείκτη συνεπικτότητας στα περισσότερα δείγματα ($>1,0$), γι' αυτό αυτά τα εδάφη θεωρούνται ημιστερεά (Πίνακας 3). Επίσης, παρουσιάζουν κυρίως μέσο-ως χαμηλό δυναμικό διόγκωσης και ενεργότητα $<1,0$ (Σχίμα 3).

Καμία εκσκαφή για την κατασκευή δρόμων ή για τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων (βάθη μέχρι 13 m) και καμία γεώτρηση για την ανεύρεση νερού (βάθη μέχρι 250 m) που αναφέρονται σ' αυτή την εργασία, αλλά και σε άσες έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Καλαμαριάς, δε συνάντησε σκληρά κρυσταλλικά πετρώματα (πυριενή ή μεταμορφωμένα). Μόνον ιζηματογενείς σχηματισμοί των οποίων ο βαθμός συνεπικτότητας και αποσπλήρυνσης είναι σχετικά χαμηλός, έχουν εκσκαφεί και διατρυτηθεί.

Σύμφωνα με μελέτη του Τομέα Γεωτεχνικής Μηχανικής του Α.Π.Θ. (αδημοσίευτη έκθεση, 2000), έγινε προσδιορισμός των δυναμικών Φυσική Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκη Τμήμα Γεωλόγος Α.Π.Θ. Προσκόπων (Σχ. 1) με τη μέθοδο της σεισμικής διακόπησης Cross-hole. Τα επιφανειακά αργιλώδη στρώ-

ματα πάχους 5-7 m παρουσιάζουν ταχίτητα διατμητικών ζυμάτων $V_s=200-230$ m/s, τα αμέσως υποκειμένα στρώματα (μάργες με ενσθώσεις άμμων και αργίλων) πάχους 15 m έχουν $V_s=450-650$ m/s και τα ακόμη βαθύτερα αργιλόδη στρώματα, μέχρι βάθος 50 m από την επιφάνεια, παρουσιάζουν $V_s=280-600$ m/s. Οι παραπάνω τιμές V_s θεωρούνται γενικά υψηλές υποδηλώνοντας εδαφικούς σχηματισμούς μέτριας δυσαμφίας, σε καμία όμως περίπτωση δεν είναι ανάλογες βραχυδών υποβάθρων ($V_s > 750$ m/s). Ο αριθμός πτόπων N-SPT στους δύο ανώτερους σχηματισμούς επιβεβαιώνει τα δυναμικά χαρακτηριστικά, καθώς συμβαίνει διεύδυση του γεωτητικού στελέχους με 50 πτόπους ανά 10 cm, γεγονός που υποδηλώνει τον εδαφικό χαρακτήρα των σχηματισμών.

Με βάση τα παρουσιάζόμενα στοιχεία, συμπεραίνεται ότι η εξασαφή των εδαφών της Καλαμιαιάς, για την κατασκευή δρόμων ή τη θεμελίωση διάφορων κτιρίων, δεν είναι χρονοβόρα ούτε υπερβολικά δαπανηρή.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AL-RAWAS, A. A. 1999. The factors controlling the expansive nature of the soils and rocks of northern Oman. *Eng. Geol.* **53**, 327-350.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS 1985. D 2487, Classification of Soils for Engineering Purposes. Annual Book of ASTM Standards, v. 04.08, pp. 395-408.
- ΒΑΛΛΑΑΣ, Δ., ΔΕΡΜΩΝ, Δ., ΤΕΓΟΣ, Γ., ΠΑΠΑΧΑΡΙΣΗΣ, Ν. & ΤΣΟΤΣΟΣ, Σ. 1985. Γεωτεχνική μελέτη περιοχής Θεσσαλονίκης. Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 136 σελ.
- HOSSAIN, D., MATSAH, M. I. & SADAQAH, B. 1997. Swelling characteristics of Madinah clays. *Quart. J. Eng. Geol.* **30**, 205-220.
- JACKSON, M. L. 1979. Soil chemical analysis. Adv. Course, 2nd ed., 11th printing. Madison, Wisconsin, 895 pp.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ. 1965. Συμβολή εις την γνώσιν της εξαπλώσεως του Πλειστοκαινού εις την Μακεδονίαν. *Επιστ. Επετ. ΦΜ.Σ.*, Α.Π.Θ. 9, 95-111.
- MOORE, D. M. & REYNOLDS, R. C., Jr. 1997. X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. 2nd ed. Oxford Univ. Press, New York, 384 pp.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, 207 σελ.
- NAIRN, A. 1961. Descriptive Palaeoclimatology. Interscience, New York, 560 pp.
- PERRY, N. & HOWER, J. 1970. Burial diagenesis in Gulf Coast pelitic sediments. *Clays Clay Miner.* **18**, 165-177.
- ΣΑΠΟΥΝΤΖΗΣ, Η. 1969. Πετρογραφία και γεωλογική τοποθέτησις των προαιώνων γνευσίων της Θεσσαλονίκης. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 124 σελ.
- ΣΑΠΟΥΝΤΖΗΣ, Η., ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Γ., ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ, Γ. & ΠΑΠΑΧΑΡΙΣΗΣ, Ν. 1980. Περί των ηφαιστειακών υλικών των ευρεθέντων εντός των ιζημάτων της πόλεως Θεσσαλονίκης. *Ann. Geol. Pays Hellen.* **30/1**, 154-174.
- SCHULTZ, L. G. 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale. U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 391-C, 33 pp.
- SHAKOOR, A. & SARMAN, R. 1997. Significance of Geological Characteristics in Predicting the Swelling Behavior of Mudrocks. Assoc. Eng. Geol. Sp. Publ., 9.
- SHUAI, F. & FREDLUND, D. G. 1998. Model for the simulation of swelling-pressure measurements on expansive soils. *Can. Geotechn. J.* **35**, 96-114.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF 1993. Soil survey manual. U.S. Dept. Agri. Handbook No. 18, 437 pp.
- VAN der MERWE, D. H. 1975. Contribution to specialty session B, current theory and practice for building on expansive clays. In: Proc. 6th Regional Conf. Africa on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Durban, 2, pp. 166-167.
- WEAVER, C. E. 1989. Clays, Muds, and Shales. Developments in Sedimentology 44. Elsevier, Amsterdam, 820 pp.
- WELLER, J. M. 1960. Stratigraphic principles and practices. Harper and Row, N. York, 725 pp. 236