

Πρακτικά	3ου Συνεδρίου	Μάιος 1986	
Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ.	Τομ. XX/3	σελ. 133-145	Αθήνα 1988
Bull. Geol. Soc. Greece	Vol.	pag.	Athens

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΔΙΟΓΚΟΥΜΕΝΩΝ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΤΟΥ ΘΗΒΑΪΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΘΝΙΚΗ ΟΔΟΠΟΪΑ*

Ε. ΓΚΑΣΙΟΣ**, Ι. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΙΑΣ**

ΣΥΝΟΨΗ

Λίγα χρόνια μετά την ολοκλήρωση της Ε.Ο. Αθηνών-Λαμίας, στη περιοχή του Θηβαϊκού πεδίου, εμφανίστηκαν στα άκρα του ασφαλτικού διαμήκεις ρωγμές από τριχοειδείς έως 5 εκστ. Αρχικά το φαινόμενο αποδόθηκε στη κακή συμπίκνωση των επιχωμάτων, αλλά η έρευνα απέδειξε ότι τα επιχώματα ήταν καλά συμπτυκωμένα. Πρόσφατα με την ανάγκη διαπλάτυνσης της Ε.Ο. το πρόβλημα έγινε επιταχυντικό και εκ μέρους της Δ/νσεως ΕΚ1 του ΚΕΔΕ, έγινε έρευνα για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους, κυρίως των χαρακτηριστικών της διογκώσεως. Σκοπός ήταν να προσδιοριστεί αν υπήρχαν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά και να βρεθεί τρόπος αντιμετώπισης των διογκωτικών τάσεων του εδάφους, ώστε ο νέος δρόμος να μη εμφανίζει παρόμοια προβλήματα. Η έρευνα περιέλαβε τη διερεύνηση όλων των μηχανικών χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν ένα αργιλικό έδαφος σε διογκούμενο, μετρήθηκαν οι τάσεις διογκώσεως και έγινε ορυκτολογική ανάλυση με ακτίνες Χ, ώστε να προσδιοριστεί ακριβώς το είδος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών. Σε δεύτερη φάση διερευνήθηκε η σταθεροποίηση του εδάφους με υδράσβεστο. Για το σκοπό αυτό παρασκευάστηκαν δοκίμια με 3,5,7% υδράσβεστο και θραύστηκαν μετά από παραμονή 7,28,90 ημέρες στο θάλαμο συντηρήσεως. Τα αποτελέσματα που λάβαμε αποδεικνύουν ότι αυξήθηκε η διατηρητική αντοχή του υλικού και μειώθηκαν οι τάσεις διογκώσεως.

ABSTRACT

During the last years a large part of the National route from Athens to Salonica, near the town of THEIVA, has been seriously damaged. On the upper asphalt layer a considerable number of cracks has been appeared and although a new layer has been applied, it appears to be unable to solve out the problem and cracks are still developed. Research on this problem was started one year ago, by the soil research laboratory, in order to identify the reasons of the soil behaviour. Following several techniques suggested by the U.S.B.R., undisturbed soil samples were used to predict the activity and the swelling pressure of fully saturated soil samples. Soil samples were X-rayed in order to identify the presence of specific clay minerals. After the determination of a relative expansion potential of the soil, this study was conducted to develop a lime stabilization test data. For this soil samples were prepared, containing 3,5,7% lime. The samples were cured for 7,28,90 days and tested.

* INVESTIGATION FOR THE DAMAGES OF THE NATIONAL ROUTE
ATHENS-SALONICA, KM 70+000-KM 90+000 DUE TO EXPANSIVE SOIL.
BY

** E. GASIOS
CHEM. ENGINEER

** I. CHRISTODOULIAS
ENG. GEOLOGIST M.Sc.

Ministry of Public Works - soil research division.
166 Piraeus str. ATHENS 118-54

1. ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Λίγα χρόνια μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του εθνικού δρόμου, Αθηνών-Λαμίας, στο τμήμα της περιοχής του Θηβαϊκού πεδίου, από χ.θ. 70+000, έως 90+000, εμφανίστηκαν στα άκρα του ασφαλτικού τάπητα διαμήκεις ρωγμές. Οι ρωγμές αυτές είναι σχεδόν παράλληλες προς τον άξωνα της οδού, μεγέθους από τριχοεοδείς έως 5εκ. Αρχικά οι ρωγμές αποδόθηκαν σε ανεπαρκή συμπίκνωση του επιχώματος, πλην όμως η έρευνα απέδειξε ότι τα επιχώματα ήταν καλά συμπυκνωμένα. Μετά από ωριμότερη σκέψη και μελέτη του όλου θέματος και από το γεγονός ότι οι ρωγμές διευρύνοντο στις ξηρές περιόδους, επικράτησε η σκέψη ότι η αιτία της ρηγμάτωσης του οδοστρώματος, θα πρέπει να αποδοθεί στο έδαφος θεμελίωσης και όχι στο επίχωμα ή τη κυκλοφορία της οδού. Πρόσωπα με την ανάγκη διαπλάτυνσης της Ε.Ο. το πρόβλημα τέθηκε πιο επιτακτικά και εκ μέρους της Δ/σης ΕΚ1, έγινε έρευνα για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους και κυρίως των χαρακτηριστικών διογκώσεως. Σκοπός της έρευνας ήταν να προσδιορίσει τα αίτια και να βρεθεί ένας τρόπος αντιμετώπισης των διογκωτικών τάσεων του εδάφους, ώστε ο νέος δρόμος να μην εμφανίσει τα ίδια συμπτώματα με τον υπάρχοντα.

2. ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑ

Επειδή οι τάσεις διογκώσεως των εδαφών, εξαρτώνται από τις μεταβολές της Φ.Υ. κρίθηκε σκόπιμο η έρευνα να γίνει σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση κατά το μήνα Μάρτιο, που λόγω της χειμερινής περιόδου τα εδάφη έχουν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας. Η δεύτερη φάση κατά το μήνα Σεπτέμβριο, δηλαδή μετά από τη θερινή ξηρά περίοδο, που τα εδάφη έχουν το μικρότερο ποσοστό Φ.Υ. Με το τρόπο αυτό θα αποκτούσαμε συγκριτικά αποτελέσματα για τη συμπεριφορά του εδάφους μεταξύ των δύο καταστάσεων, πράγμα που επιβεβαιώθηκε από την έρευνά μας. Οι πίνακες 1 και 2, παρουσιάζουν τις αυξομειώσεις της Φ.Υ. συναρτήσει του βάθους κατά τις δυο εποχές της δειγματοληψίας.

Km	Depth	N.W.C.
Χ.Θ.	Βάθος	Φ.Υ. %
73	1.00	29
	4.00	22
77	0.50	27
	4.00	10
79	0.50	27
	4.00	15
84	0.50	33
	4.00	28
86	0.50	35
	4.00	30
88	0.50	36
	4.00	30

Πιν.1: Φ.Υ. μήνα Μάρτιο

Table 1. W.C. during March

Km	Depth	N.W.C.
Χ.Θ.	Βάθος	Φ.Υ. %
77	0.50	16
	2.00	18
79	0.50	16
	2.00	18
85	0.50	18
	4.00	34

Πίνακας 2: Φ.Υ. μήνα Σεπτέμβριο

Table 2. W.C. during September.

3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ Α. ΦΑΣΗΣ

Η έρευνα γενικά περιλάμβανε τη διάνοιξη φρεατίων, βάθους 4μ, με τη βοήθεια μηχανικού εκσκαφέα και τη λήψη αδιατάρακτων εδαφικών δειγμάτων, για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών, τα οποία παραφινώνοντο αμέσως ώστε

να μη χάσουν τη Φ.Υ. Από όλα τα φρεάτια λαμβάνετο ανά μισό μέτρο εδαφικό δείγμα για να προσδιοριστεί η Φ.Υ. καθώς και αντιπροσωπευτικά διαταραγμένα δείγματα, για τις υπόλοιπες εργαστηριακές δοκιμές.

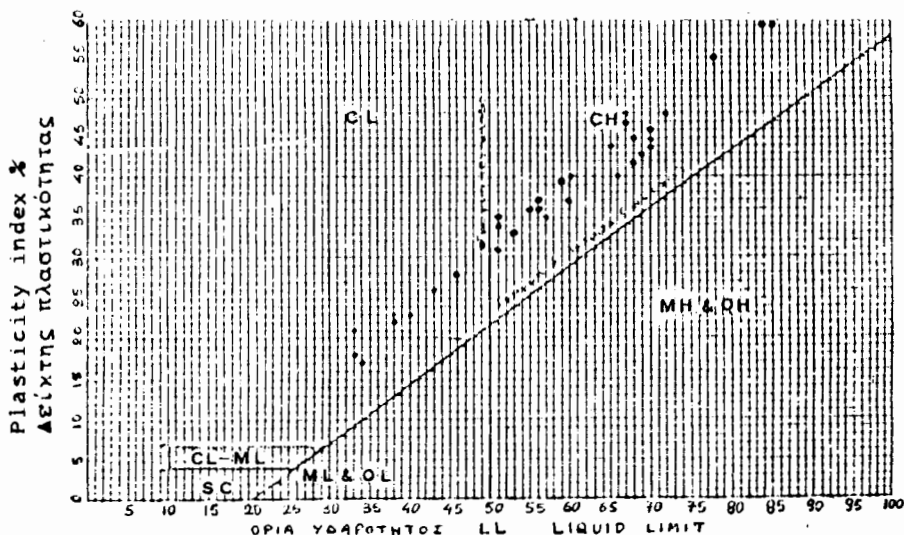
4. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

4.1 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η Φ.Υ. των αργιλικών εδαφών τα οποία συνιστούν το έδαφος της έδρασης των επιχωμάτων της Ε.Ο. κυμαίνεται από 10% έως 38%. Όπως παρατηρούμε στους πίνακες 1 και 2, οι Φ.Υ. παρουσιάζουν μια μείωση με το βάθος. Αντίθετα κατά τη δεύτερη δειγματοληψία, το μήνα Σεπτέμβριο, πριν από την έναρξη των βροχοπτώσεων, σημειώνεται μια σημαντική αύξηση της Φ.Υ. με το βάθος.

4.2 ΟΡΙΑ ATTERBERG

Τα όρια υδαρότητας των αργιλικών δειγμάτων (CL-CH) κυμαίνονται από 20% - 80%, ενώ ο δείκτης πλαστικότητας κυμαίνεται από 20% - 60% (διάγραμμα 1). Τα υλικά τα οποία έχουν υψηλό όριο υδαρότητας, υποδηλώνουν μια ικανότητα να απορροφούν μεγάλα ποσοστά υγρασίας. Επίσης ο υψηλός Δ.Π. (P.I.) υποδηλώνει έδαφος με υψηλό έως πολύ υψηλό δυναμικό διόγκωσης (Swelling Potential).

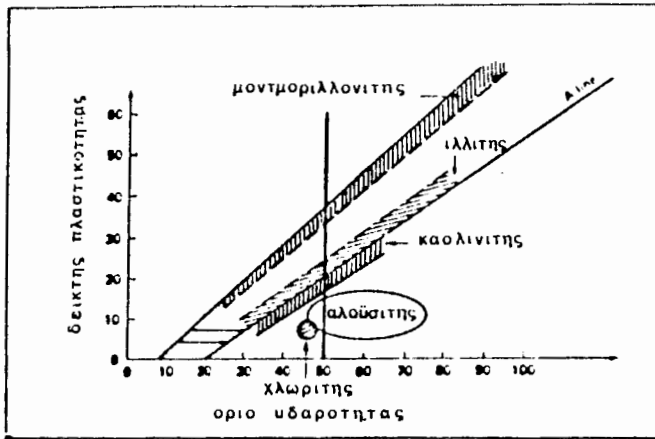


Διάγραμμα 1: Πλαστικότητες εδαφικών δειγμάτων

Figure 1: Plasticity chart (A.U.S.C.S)

Στο διάγραμμα 2 παρουσιάζουμε τη πρώτη τοποθέτηση αργιλικών ορυκτών, που έκανε ο MITCHEL το 1976, βάσει του διαγράμματος CASAGRANDE. Αν συσχετίσουμε τα δύο διαγράμματα (1 και 2) βλέπουμε ότι τα εδαφικά μας δείγματα, ανταποκρίνονται στο διάγραμμα 2 στις θέσεις του Ιλλίτη και του Μοντμοριλλονίτη. Τόσο κατά τον SEED όσο και κατά τον CHEN, υπάρχει συσχετισμός μεταξύ του P.I. και του Δυναμικού Διόγκωσης, τον οποίο παραθέτουμε, ώστε να γίνει δυνατή η σύγκριση με τα δικά μας αποτελέσματα:

Δυναμικό Διόγκωσης	Δείκτης Πλαστικότητας
Χαμηλό	0-15
Μέσο	10-35
Υψηλό	20-35
Πολύ Υψηλό	35 και άνω



Διάγραμμα 2. Τοποθέτηση αργιλικών ορυκτών στο διάγραμμα Casagrande (MITCHEL 1976)
Figure 2. Location of common clay minerals

4.3. ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΟΛΛΟΕΙΔΩΝ

Από τις κοκκομετρήσεις (60 συνολικά) και από τις κοκκομετρικές αναλύσεις με αραιόμετρο (30 συνολικά) το ποσοστό κολλοειδών των αργιλικών δειγμάτων (0.002 χστ), βρέθηκε να κυμαίνεται από 6-70%. Στο πίνακα που παραθέτουμε φαίνονται τα ποσοστά των κοκκομετρικών αναλύσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Ποσοστά κοκκομετρικών αναλύσεων.

TABLE 3. Grain size distribution.

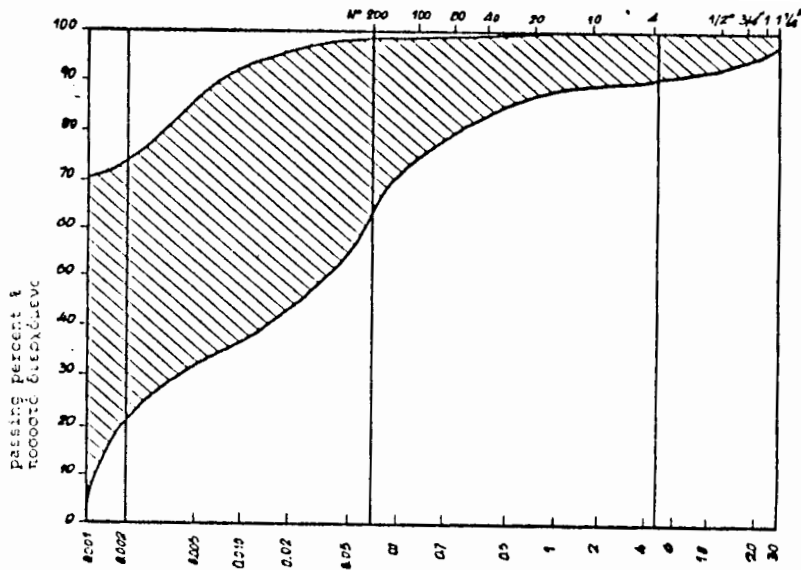
κολλοειδή	6-70%	M.O. 38% (0.002)
άργιλος	25-14	20
ιλύς	34-14	24
άμμος λεπτ.	15- 1	8
άμμος μεσκ.	7- 1	14
άμμος χονδ.	4- 0	2
χαλ.λεπτ.	4- 0	2
χαλ.χονδρ.	4- 0	2
		100

Κατά τους HOLTZ και GIBBS, ο P.I. το ποσοστό κολλοειδών και το όριο συρρικνώσεως συνδέονται με το βαθμό Διογκώσεως ενός υλικού, με τη παρακάτω σχέση.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Εκτίμηση πιθανότητας διόγκωσης αργιλικών εδαφών.

TABLE 4. Estimation of probable volume change for exp. soil

Ποσοστό Κολλοειδών 0.002 χστ	P.I.	Όριο Συρρικνώσεως S.L.	Δυνατότητα Διόγκωσης Vol. change	Βαθμός Διόγκωσης Expan. degree
> 28	> 35	< 11	> 30	Πολύ υψηλός
20-13	25-41	7-12	20-30	Υψηλός
13-23	15-28	10-16	10-30	Μέσος
> 15	< 18	> 15	< 10	Χαμηλός



Διάγραμμα 3 : Όρια Κοκκομετρικών αναλύσεων (30 δείγματα)
Figure 3 Grain size distribution curves (30 samples)

4.4. ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ ΚΑΙ ΟΡΙΟ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗΣ

Τα αργιλικά εδάφη μεταβάλλουν τον όγκο τους με τη μείωση της υγρασίας. Δύο είναι οι εργαστηριακές δοκιμές που πληροφορούν για τις μεταβολές του όγκου, η Γ.Σ. (L.S.) και το Ο.Σ. (S.L.). Οι τιμές αυτών των δύο δοκιμών συνδέονται άμεσα με το βαθμό διόγκωσης που μπορεί να παρουσιάσει ένα αργιλικό έδαφος. Στον πίνακα 5 που παραθέτουμε, παρατηρούμε κατά τον CHEN, τη σχέση των δύο τιμών με το βαθμό διόγκωσης ενός εδάφους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Σχέση Γραμ. Συρρικν. Όριο Συρρικν. & Βαθμ. Διόγκωσης
TABLE 5. Relation between L.S., S.L., and Expansion Degree

Γραμμική Συρρίκνωση Linear Shrinkage (L.S.)	Όριο Συρρίκνωσης Shrinkage Limit (S.L.)	Βαθμός Διόγκωσης Expansion Degree
> 8 %	< 10 %	κρίσιμος
5-8	10-12	οριακός
0-5	> 12	μη κρίσιμος

ΠΙΝΑΚΑΣ 6. Αποτελέσματα Γραμμικής Συρρίκνωσης
TABLE 6. Linear Shrinkage results

17.0	17.5	16.0
12.5	16.4	20.0
11.0	21.1	22.0
11.5	19.2	23.0
10.0	21.0	23.0

ΠΙΝΑΚΑΣ 7. Αποτελέσματα Ορίου Συρρικνώσεως
 TABLE 7. Shrinkage Limit results

15.0	11.3
11.5	17.3
10.0	11.4
12.2	11.6

Συγκρίνοντας τις σχέσεις του πίνακα 5, με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών (πίνακες 6 και 7), διαπιστώνουμε ότι τα εδάφη μας βρίσκονται σε κρίσιμο βαθμό διόγκωσης.

4.5. ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΣΕ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΟ ΣΩΛΗΝΑ

Οι HOLTZ και GIBBS το 1956, πρότειναν μια ενδεικτική και ταχεία μέθοδο για την εκτίμηση της διόγκωσης ενός αργιλικού εδάφους. Κατά τη μέθοδο αυτή, 10 cm³ ξηρού εδάφους, το οποίο έχει διέλθει από το U.S. κόσκινο No 40, τοποθετείται σε ογκομετρικό σωλήνα και προσθέτουμε 100 cm³ νερό. Η διόγκωση του υλικού μετρείται μετά από 24 ώρες και εξάγεται από τη παρακάτω σχέση.

$$F.S. = \frac{\text{Υτελικός} - \text{Βαρχικό}}{\text{Βαρχικό}} \times 100$$

Ποσοστό ελεύθερης διόγκωσης μέχρι 50% δεν λαμβάνεται υπόψη. Ένας σημαντικός αριθμός από τα δείγματά μας, υποβλήθηκαν στη δοκιμή αυτή, όπως περιγράφεται στο SOIL LABORATORY TESTING. Τα ποσοστά της Ε.Α. που μετρήθηκαν, κυμαίνονται από 55-105%.

5. ΔΡΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ (ACTIVITY)

Ο αρχικός όρος Δραστηκότητα, ανάγεται στον SKEMPTON, 1953 και εκφράζεται από το πηλίκο του P.I. προς το % ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού μικρότερου από 0.002 χστ. Η σχέση που

προκύπτει είναι $A = \frac{P.I.}{C}$ υπό τον όρο ότι η συσκευή μετρήσεως του L.L. θα είναι σύμφωνα με το B.S. Αργότερα η σχέση αυτή βελτιώθηκε, διότι πολλοί ερευνητές χρησιμοποιούν U.S.A. συσκευές, οπότε η παραπάνω σχέση έγινε από τον SEED

$A = \frac{P.I.}{C-n}$ (σχέση 1), (Διάγραμμα 4), όπου C=% 0.002 χστ και n=5 για 7 δοκιμές που γίνονται με αυτούσια εδάφη και n=10 για δοκιμές που γίνονται σε εργαστηριακά μίγματα. Το διάγραμμα 4 μας δείχνει ότι υπάρχει μια γραμμική σχέση μεταξύ του P.I. και του ποσοστού κολλοειδών και οι δυο σχέσεις, του SKEMPTON και του SEED δεν διαφέρουν σημαντικά. Στο Διάγραμμα 5 έγινε επαλήθευση της σχέσης του SEED τοποθετώντας αποτελέσματα από τις εργαστηριακές δοκιμές που έγιναν για τα εδάφη της της Ε.Ο. Στο διάγραμμα 6, το οποίο κατά τον SEED περιλαμβάνει τρεις κατηγορίες δραστηκότητας, τοποθετήθηκαν τα αποτελέσματα για τα υλικά μας, τα οποία προσδιορίστηκαν βάσει της σχέσης 1.

6. ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

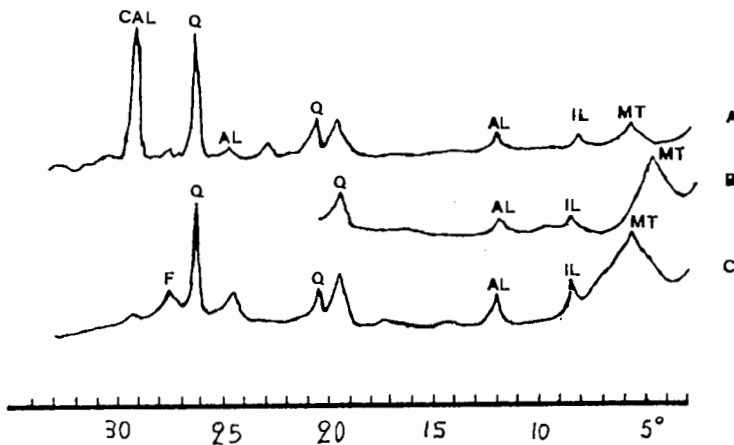
Έξι αντιπροσωπευτικά εδαφικά δείγματα, ένα από κάθε φρεάτιο, στάλθηκαν στο I.G.M.E. για πλήρη ορυκτολογική ανάλυση, με τη βοήθεια των ακτίνων X (X-RAY DIFFRACTION), με σκοπό να προσδιοριστεί ακριβώς το % περιεχόμενο των αργιλικών ορυκτών.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 8. Όπως φαίνεται από τον πίνακα το ποσοστό του ιδιαίτερα διογκούμενου αργιλικού ορυκτού Ca- Μοντμοριλλονίτη είναι 20-25%. Στο ποσοστό αυτό πρέπει να προστεθεί το ποσοστό του Ιλίτη (5%) και το ποσοστό του Σιδηροαλλουσίτη 10%, ο σπρίος διογκώνεται δευτερογενώς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 8. Αποτελέσματα X-RAY DIFFRACTION
 TABLE 8. Clay mineralogy by X-RAY DIFFRACTION

ποσοστιαία σύσταση του αρχικού δείγματος %								
Δείγμα	Μοντομοριλλ-Γαλιτής			Αλλουσίτης			Λοιπά	
	Λοιπός	σύνθετος	σύνθετος	σύνθετος	σύνθετος	σύνθετος	σύνθετος	σύνθετος
01	20	0	5	50	10	5	+	+
02	25	5	10	30	20	5	+	+
03	20	5	10	30	15	15	+	+
04	20	5	10	25	20	5	4	++
05	25	5	10	25	15	5	+	++
06	25	5	10	29	5	5	5	+++

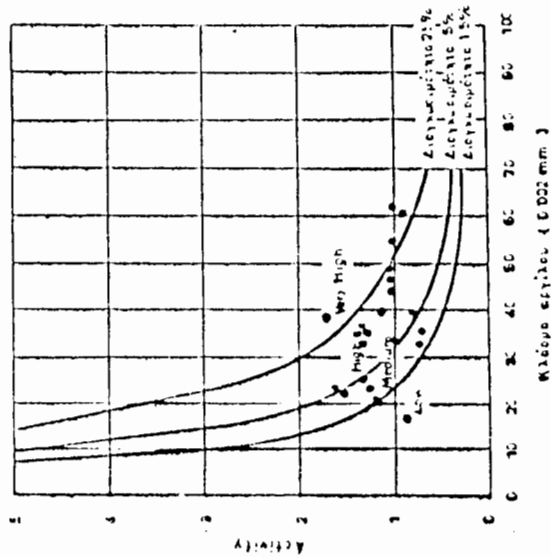
Στα δείγματα αυτά έγινε χημική επεξεργασία, ώστε να απομακρυνθούν τα ανθρακικά και οργανικά άλατα, έγινε διαχωρισμός του λεπτού κλάσματος (0.002 χστ) και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν ακριβώς τα αργιλικά ορυκτά (Διάγραμμα 7).



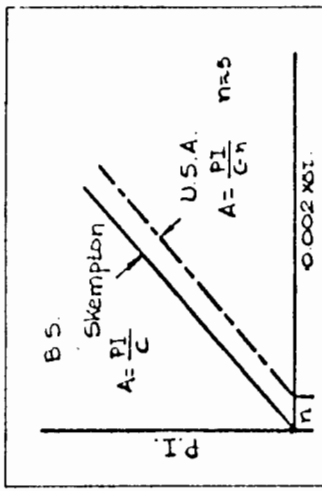
Διάγραμμα 7. ακτινογραφίες δείγματος με ακτινοβολία χαλκού.
 α. φυσικό δείγμα ξηρό β. ξηρό λεπτόκοκκο
 γ. λεπτόκοκκο με γλυκερίνη

Figure 7. X-rayed samples using Cu radiation.
 a. natural sample air-dry.
 b. air-dry.
 c. With glycerol

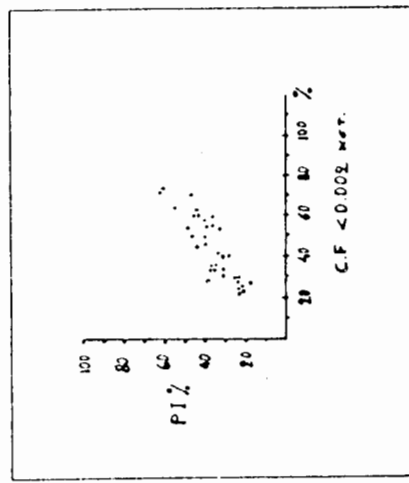
- c inc
- MT Μοντομοριλλονίτης - Montmorillonite
 - IL Ιλίτης - Illite
 - AL Αλλουσίτης - Illusite
 - Q Λοιπός - Feldspar
 - CAL Ασβεσίτης - Caslite



Διάγραμμα 6. Τυφλόνεση της δυνατότητας διόγκωσης (καιά CHIN)
 Figure 6. Chart for classification of swelling potential



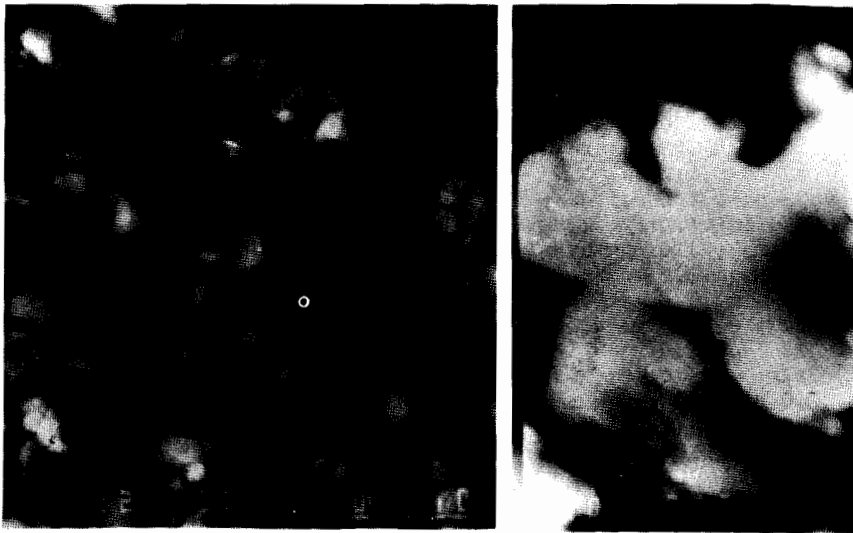
Διάγραμμα 4. Διαστικότητα
 Έχση μεταξύ P.I. και έτερουμένου C.F.
 Figure 4. Relationships between P.I. and C.F. & finer than 0.002μ.



Διάγραμμα 5. Διαστικότητα κατά SKEMPTON στα έδαφικά μας δείγματα.
 Figure 5. Relationships between P.I. and C.F. in the actual soil samples.

7. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΣΗ ΑΡΓΙΛΙΚΩΝ ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΝ.

Με σκοπό να φωτογραφίσουμε τους κρυστάλλους του αργιλικού ορυκτού μοντιμοριλλονίτη, χρησιμοποιήσαμε τη μονάδα μικροαναλυτή του Ι.Γ.Μ.Ε. Ολόκληρη η μονάδα περιλαμβάνει ένα μικροαναλυτή τύπου JEOL SUPPER PROBE 733, μια κάμερα και φασματογράφο διασκορπιζόμενης ενέργειας τύπου EEDS II OPTES. Για τη φωτογράφιση παρασκευάστηκαν μερικές λεπτές τομές από αυτούσιο το υλικό της Ε.Ο. τα οποία στη συνέχεια επιγραφιστήθηκαν και τοποθετήθηκαν στο μικροαναλυτή. Η φωτογράφιση έγινε με μεγέθυνση 2000 και 6000 του αρχικού μεγέθους των κρυστάλλων.



Φωτ. 1. Κρύσταλλοι διαφόρων ορυκτών που αποτελούν το υλικό μας μεγένθ. 2.000.

Φωτ. 2. Κρύσταλλοι μοντιμοριλλονίτη στο εδαφικό υλικό μας μεγένθ. 6.000.

Photo 1. Crystals of different minerals in our samples magn. 2.000.

Photo 2. Montmorillonite crystals in our samples magn. 6.000.

8. ΑΜΕΣΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Οι δοκιμές που αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, ήταν κυρίως έμμεσες και τα αποτελέσματά τους δίνουν εκτιμήσεις ως προς τη δυνατότητα διόγκωσης των εδαφών. Για την αντιμετώπιση όμως του προβλήματος απαιτείται η εκτέλεση δοκιμών, οι οποίες προσδιορίζουν ποσοτικά τα χαρακτηριστικά διόγκωσης των εδαφών. Οι δοκιμές αυτές που έγιναν σε αδιατάρακτα εδαφικά δείγματα, με τη συσκευή στερεοποίησης (οιδόμετρο), είναι η δοκιμή διόγκωσης και η δοκιμή τάσης διόγκωσης. Με την πρώτη δοκιμή προσδιορίζεται η επεξ διόγκωση ενός εδαφικού δείγματος, ενώ με τη δεύτερη προσδιορίζεται η τάση διόγκωσης, δηλαδή τι πίεση μπορεί

εξασκήσει το έδαφος σε μια κατασκευή που θα το επιφορτίσει. Οι άμεσες δοκιμές έγιναν τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξερή περίοδο.

8.1. ΠΟΣΟΣΤΟ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ %

Το εδαφικό δείγμα τοποθετείται στο δακτύλιο του συμπιεστομέτρου και πριν τον κορεσμό, υποβάλλεται μια επιφόρτιση 0.0625 Kg/cm² ή περίπου 1 P.S.I. Στη συνέχεια μετρίεται το ποσοστό αύξησης του ύψους του δείγματος, μέχρι να ηρεμήσει. Η πρώτη δειγματοληψία που έγινε τον Μάρτιο, όταν το έδαφος ήταν σχεδόν κορεσμένο, όπως αναμένονταν δεν έδωσε μεγάλα ποσοστά διόγκωσης, πίνακας 9. Οι μεγαλύτερες διογκώσεις που μετρήθηκαν ήταν της τάξεως του 0.3-2.6 %. Κατά τη δεύτερη δειγματοληψία (Σεπτέμβριο), μετά από τη ξερή περίοδο και με ελάχιστη Φ.Υ. τα ποσοστά διόγκωσης ήταν σαφώς μεγαλύτερα και κυμαίνονταν από 0.7%-13.0% (πίνακας 10)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΜΑΡΤΙΟΣ

TABLE 9. ENGINEERING PROPERTIES OF SOIL -MARCH

ΦΡΕΑΤ. B.H.	ΒΑΘΟΣ DEPTH	ΔΙΟΓΚ. F.S.W.	ΤΑΣΗ ΔΙΟΓΚ. SWEL.PRES.	0.002	P.I.	ΣΥΡΡΙΚΝ. LIN.SHRINK.
Φ1	1.0	0.3%	0.10	18%	36%	17%
Φ1	4.0	0.4	0.20	20	17	12.5
Φ2	1.0	2.4	0.40	17	17	12
Φ2	3.0	0.4	0.12	22	23	11.5
Φ3	2.0	2.8	0.13	15	35	12
Φ3	3.0	2.8	0.32	14	26	14
Φ3	4.0	2.6	1.00	16	23	11
Φ4	1.0	1.8	0.35	18	27	19.3
Φ4	3.0	0.8	0.50	22	37	17.5
Φ5	2.0	0.7	0.40	22	41	19.2
Φ5	4.0	0.3	0.25	36	33	16
Φ6	1.0	0.4	0.30	22	50	20
Φ6	2.0	1.5	0.40	15	25	22.0
Φ6	3.0	0.8	0.30	13	22	23.0
Φ6	4.0	1.1	0.30	70	62	23.0

8.2. ΤΑΣΗ ΔΙΟΓΚΩΣΗΣ

Η τάση διόγκωσης μετρήθηκε με το συμπιεστόμετρο, σε αδιατάρακτα δείγματα, τα οποία συγκεντρώθηκαν τόσο κατά την υγρή όσο και κατά την ξερή περίοδο. Κατά την πειραματική διαδικασία, δείγμα εδάφους υποβάλλεται σε κορεσμό, ενώ ταυτόχρονα επιβάλλονται φορτία, ώστε η διόγκωση του να είναι μόνιμα μηδενική, μέχρι να κορεστεί τελείως το δείγμα. Κατά την πρώτη δειγματοληψία οι τάσεις διόγκωσης που μετρήθηκαν ήταν από 0.10-1.0 Kg/cm² το δε μεγαλύτερο ποσοστό βρέθηκε κάτω του 0.50 Kg/cm², (πίνακας 9). Οι χαμηλές τιμές της τάσης διόγκωσης οφείλονται στο ότι τα εδάφη κατά την εποχή της α' δειγματοληψίας είχαν υψηλό ποσοστό υγρασίας. Αντίθετα οι τάσεις που μετρήθηκαν κατά την β' δειγματοληψία, κυμαίνονται μεταξύ 0.20-6.0 Kg/cm². Οι τιμές αυτές (πίνακας 10) είναι πολύ ψηλότερες από τις τιμές της α' φάσης και είναι το χαρακτηριστικό της διαφορετικής συμπεριφοράς των διογκούμενων αργιλικών εδαφών κατά την υγρή και ξερή περίοδο.

9. ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕ ΥΔΡΑΣΒΕΣΤΟ

Είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία ότι η προσθήκη υδρασβέστου σε αργιλικά εδάφη βελτιώνει τα Μηχανικά χαρακτηριστικά όπως:

- διατηρητική αντοχή
- συμπιεστότητα
- μειώνει τη φυσική υγρασία

αυξάνει το όριο πλαστικότητας
 μειώνει το δείκτη πλαστικότητας
 μειώνει τη διογκωσιμότητα

αυξάνει τη βέλτιστη υγρασία κατά PROCTOR

ΠΙΝΑΚΑΣ 10. ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΔΑΦΟΥΣ -ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ

TABLE 10. ENGINEERING PROPERTIES OF SOIL -SEPTEMBER

ΦΡΕΑΤ. B.H.	ΒΑΘΟΣ DEPTH	ΔΙΟΓΚ.% F.SWEL.	ΤΑΣΗ ΔΙΟΓΚ. SWEL.PRES.	0.002	P.I.	ΣΥΠΤΙΚΝΩΣΗ LIN.SHRIN.
Φ2	1.0	9.4	5.1 Kg/cm ²	10%	30%	12.5%
Φ3	0.50	6.3	2.0	18	35	12.0
Φ3	1.0	8.3	3.5	26	26	14.0
Φ5	1.0	13.1	6.0	16	46	21.1
Φ5	2.0	8.0	0.30	22	41	19.2
Φ5	3.0	0.70	0.30	22	48	21.0
Φ5	4.0	0.70	0.20	36	33	16.0

Η αύξηση της αντοχής είναι αποτέλεσμα δυο χημικών διεργασιών. Κατά την πρώτη δεσμεύεται ασβέστιο λόγω της έντονης ανταλλαγής ιόντων που γίνεται στις επιφάνειες των μορίων. Κατά τη διαδικασία αυτή δεν αλλάζει η δομή των αργιλικών μορίων. Κατά τη δεύτερη, λόγω των ποζολανικών ενώσεων, αλλάζει η χημική δομή των μορίων και σχηματίζονται νέες ενώσεις, με αποτέλεσμα την αύξηση της αντοχής.

Προκειμένου να πετύχουμε μια προκαθορισμένη αντοχή, το ποσοστό της υδρασβέστου αυξάνεται ανάλογα με το ποσοστό της αργίλου και το ποσοστό των οργανικών που υπάρχουν στο έδαφος. Λόγω της σοβαρότητας του έργου, της ανάγκης προστασίας της αργίλου κάτω από τον υφιστάμενο δρόμο και μη γνωρίζοντας μια προκαθορισμένη τιμή αντοχής του υλικού, αποφασίστηκε να παρασκευαστούν δοκίμια εδάφους με διάφορα ποσοστά υδρασβέστου. Τα ποσοστά της υδρασβέστου ήταν 3%, 5%, 7%, κατά βάρος και τα δοκίμια αφού συμπυκνώθηκαν βάσει της μέγ. Ξηράς πυκνότητας και βέλτιστης υγρασίας κατά PROCTOR, τοποθετήθηκαν στο θάλαμο συντηρήσεως του μετόν.

Προηγουμένως όλα τα δοκίμια ζυγίστηκαν και περιτυλίχτηκαν με πολυεθυλένιο, ώστε να μη επηρεαστεί η υγρασία. Η θραύση των δοκιμών έγινε μετά από 7, 28 και 90 ημέρες. Κατά τη θραύση χρησιμοποιήθηκαν τρία δοκίμια για κάθε τιμή αντοχής και τα αποτελέσματα της αξονικής διατμητικής αντοχής δίνονται στο σχήμα , και στον πίνακα 11.

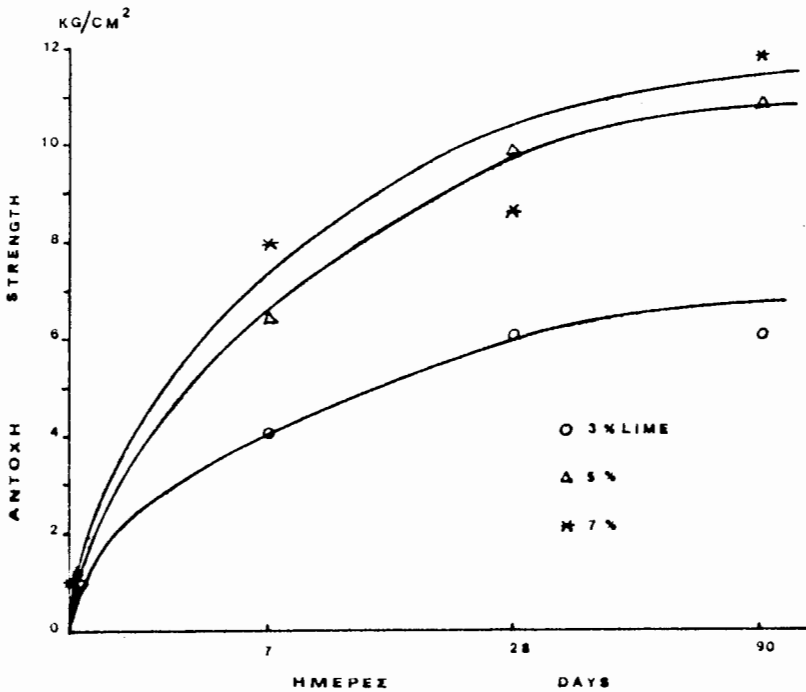
ΠΙΝΑΚΑΣ 11. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

TABLE 11. SHEAR STRENGTH

Υδρασβέστος.	0%	3%	5%	7%	LIME
Ημέρες					DAYS
7	1.10	4.10	6.40	7.90	
28	-	6.70	9.82	8.54	
90	-	6.00	10.80	11.80	

Όπως αναμενόταν, υπάρχει μια γραμμική αύξηση της αντοχής του υλικού με τη προσθήκη της υδρασβέστου και τη πάροδο των ημερών.

Το επόμενο βήμα ήταν να επιλεχθεί το πιο κατάλληλο ποσοστό υδρασβέστου, βάσει μιας οικονομοτεχνικής μελέτης που θα γίνει από τη Δ/ση Συγκοινωνιακών Έργων.



Διάγραμμα 8. Παράσταση αντοχής μιγμάτων εδάφους-υδρασβέστου.
Figure 8. Shear strength of soil-lime mixtures.

10. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από όλα που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι οι ρηγματώσεις πρέπει να αποδοθούν στη διογκωσιμότητα του εδάφους θεμελίωσης. Όλες οι έμμεσες δοκιμές δείχνουν ότι τα εδάφη παρουσιάζουν μέσο έως υψηλό βαθμό διογκωσης. Οι άμεσες δοκιμές δείχνουν ότι τα εδάφη έχουν υψηλή τάση διογκωσης. Το έδαφος θεμελίωσης της Ε.Ο. αποτελείται από υλικό πλούσιο σε αργιλικά ορυκτά. Οι ορυκτολογικές αναλύσεις με τις ακτίνες X, μας δίνουν ποσοστά αργιλικών ορυκτών 40% εκ των οποίων 25% μοντιμοριλλονίτη. Οι επιμήκεις ρωγμές του οδοστρώματος υποδηλώνουν θραύση λόγω διαδοχικών διογκώσεων και συρρικνώσεων. Η χρήση της υδρασβέστου σε ποσοστό 5% αποδείχτηκε κατάλληλη ώστε να εξουδετερώσει την διογκωση του εδάφους.

Η χρησιμοποίηση και άλλων μεθόδων δεν αποκλείεται, πλην όμως στην προκειμένη περίπτωση, το μίγμα υδρασβέστου και εδάφους παρέχει, για τον πυρήνα του παλαιού οδοστρώματος ένα αδιαπέρατο στρώμα, που θα το προστατεύει από τις μεταβολές της υγρασίας.

Β Ι Β Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

- ALTMeyer, W.T. 1955 March. Discussion of engineering properties of expansive clays. Proc. ASCE. V.81, separ. No 658.
- ΒΑΣΙΛΟΠΟΥΛΟΣ, Ε. 1976 Θεμελιώσεις κτιρίων επί διογκούμενων εδαφών. Δελτίο ΚΕΔΕ, 1976 τεύχος 2.
- BRINK; A.B.A, PARTRIDGE, T.C, WILLIAMS, A.A.B. soil survey for engineering. Oxford publ.p.49-139.
- CHEN.F.H. 1975. Foundations on expansive soils. Elsevier publ. Amsterdam.
- GROMKO, G.J. 1974. Review of expansive soils. Journal G.E.Div. Proc. ASCE. GT6.V100.p.660-680.
- HEAD, K.H. Soil laboratory testing. Prentechpress London.
- HOLTZ, W.G, GIBBS, J.J. 1956. Engineering properties of expansive clays. ASCE. Trans. p.No 2814. V.121. p.641-677
- KOMORNIC, A, DAVID. D. 1969. Prediction of swelling pressure of clays. Proc. ASCE. J. SMF Div. SM1. p.209-224.
- SCHMERTMANN, J.H. 1969. Swell sensitivity. Geotechnique. V. XIX. No 4. p. 530-533.
- SEED, B.H, WOODWARD, R.J, LUNDGREN, R. Prediction of swelling potential for compacted clays. J.S.M.F.Div. Proc. ASCE. June 1962. SM3.p.53-87.
- SEED, B.H, WOODWARD, R.J, LUNDGREN, R. Fundamental aspects of the atterberg limits. J.S.M.F.Div. Proc. A.S.C.E. Nov. 1964. SM6.
- SKEMPTON, A.W. 1953. The colloidal activity of clays. Proc. 3rd ICSMFE. Vol. 1. p. 57-60
- TOMPSON, M.R, EADES, J.L. Evaluation of quick test for lime stabilization. Proc. ASCE. V. 92. SM2. 1970