

ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΑΝΩΚΡΗΤΙΔΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΩΛΟΝΟΥ (ΑΝΔΡΙΤΣΑΙΝΑ ΗΛΕΙΑΣ)*

Υπό

Β. ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ - Γ. ΚΟΥΚΗ - Α. ΤΖΙΤΖΙΡΑ **)

ΣΥΝΟΨΗ

Διερευνήθηκαν τὰ μηχανικά χαρακτηριστικά τῶν ἀνωκρητιδικῶν ἀσβεστολίθων τοῦ Ναοῦ Ἐπικουρίου Ἀπόλλωνα Φιγαλείας, παράλληλα πρὸς τὴ γεωλογικὴ καὶ λιθολογικὴ σύσταση τῆς εὐρύτερης περιοχῆς.

Ἀπὸ τὶς μακροσκοπικὲς παρατηρήσεις, τὴν ἐκτέλεση πέντε δειγματοληπτικῶν γεωτρήσεων καὶ τὶς δοκιμὲς εἰσπίεσεως ἐντὸς αὐτῶν, διαπιστώθηκε ὅτι πρόκειται γιὰ ἀσβεστολίθους λεπτοπλακώδεις, ἔντονα πτυχωμένους, ἰσχυρὰ διερρηγμένους καὶ κερματισμένους, μὲ κλίση στρωμάτων 30° - 40° καὶ συχνὲς ἐνδείξεις καρστικῆς διαβρώσεως καὶ μικρομετακινήσεων. Οἱ ἀσβεστόλιθοι ἐξετάσθηκαν στὸ ἐργαστήριο (δοκιμὲς ἀνεμπόδιστης θλίψης) καὶ στὸ ὑπαιθρο (ἐπὶ τόπου δοκιμὲς βραχομηχανικῆς) καὶ μελετήθηκε ἔτσι κυρίως ἡ διατμητικὴ ἀντοχὴ καὶ ἡ παραμορφωσιμότητα αὐτῶν. Οἱ εὐρεθεῖσες τιμὲς ἀνταποκρίνονται στὴ λεπτοστρωματώδη δομὴ καὶ τὴν ἔντονη τεκτονικὴ καταπόνηση τῶν ἀσβεστολίθων.

Τέλος, ἐξετάσθηκαν μὲ ἐργαστηριακὲς δοκιμὲς οἱ φυσικὲς καὶ μηχανικὲς ιδιότητες τῶν ἀργιλικῶν ὕλικῶν ποὺ ἀπαντοῦν στὴ θεμελίωση τοῦ Ναοῦ καὶ διαπιστώθηκε ἡ ὑψηλὴ μᾶλλον συμπίεστικότητα αὐτῶν.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στὰ πλαίσια τῆς γεωτεχνικῆς μελέτης τῆς περιοχῆς τοῦ Ναοῦ Ἐπικουρίου Ἀπόλλωνα Φιγαλείας γιὰ τὴ διερεύνηση τῶν συνθηκῶν θεμελίωσης καὶ τῶν αἰτίων τῶν σημαντικῶν ζημιῶν καὶ τῆς φθορᾶς αὐτοῦ, ἐγινε, μεταξύ ἄλλων, καὶ

* Geological Structure and Mechanical Behaviour of Certain Upper Cretaceous Formations of the Olonos Zone. (Andritsaina — Eleias). By B. Andronopoulos — G. Koukis — A. Tzitziras.

** Γεωλόγων ΙΓΜΕ. Μεσογειῶν 70. Ἀνεκοινώθη τὴν 13.12.1977.

ή εξέταση τῶν φυσικῶν καὶ μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν τῶν βραχωδῶν καὶ ἑδαφικῶν σχηματισμῶν τοῦ ὑπόβαθρου τοῦ Ναοῦ.

Ὁ Ναὸς βρίσκεται περὶ τὰ 14 χλμ. ΝΔ τῆς κωμόπολης Ἀνδρίτσαινα καὶ χρονολογεῖται ἀπὸ τὸ τελευταῖο τέταρτο τοῦ Ε΄ π.Χ. αἰῶνα (Ν. Γιαλούρης, 1973). Γιὰ τὴ θεμελίωση αὐτοῦ καὶ τὴ διαμόρφωση τοῦ ἀσβεστολιθικοῦ ὑποβάθρου μὲ ἥπια κλίση, κατασκευάσθηκε στὴ δυτικὴ πλευρὰ τεχνητὸς ἀναβαθμὸς, πάχους μέχρι 3,20 μ., κυρίως ἀπὸ ἀσβεστολιθικὲς πλάκες καὶ μικρὸ ποσοστὸ λεπτομερῶν ὑλικῶν. Ἐπίσης στὸ ἀνατολικὸ τμήμα ὁ Ναὸς δὲν ἐδράζεται, κατὰ τὸ μεγαλύτερο μέρος, ἀπευθείας ἐπὶ τῶν ἐσβεστολίθων, ἀλλὰ παρεμβάλλεται στρῶμα ἀργίλου, κατὰ θέσεις χαλικομιγοῦς, πάχους κυμαινόμενου μέχρις 70 ἐκ. Ἡ θεμελίωση αὐτῆ τοῦ Ναοῦ εἶναι ὑπεύθυνη, σὲ συνδυασμὸ μὲ ἄλλους παράγοντες, γιὰ τὶς διαπιστωθεῖσες σημαντικοῦ μεγέθους κατακόρυφες μετακινήσεις τῶν τμημάτων του.

Εἰδικότερα, ἡ ἔρευνα περιέλαβε τὴν ἐκτέλεση 5 δειγματοληπτικῶν γεωτρήσεων, βάθους μέχρι 15 μέτρων, δοκιμὲς εἰσπίεσεως ὕδατος ἐντὸς αὐτῶν, γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς ὑδροπερατότητας τῶν ἀσβεστολιθικῶν στρωμάτων, καθὼς καὶ πρессиομετρικὲς δοκιμὲς γιὰ τὴν ἀριθμητικὴ διερεύνηση τῶν μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν (παραμορφωσιμότητας) τοῦ πετρώματος. Ἐπίσης ἐγίναν ἐργαστηριακὲς δοκιμὲς ἐπὶ τῶν πυρήνων τῶν γεωτρήσεων (δοκιμὲς θραύσεως βραχωδῶν δειγμάτων), καθὼς καὶ δύο ἐπὶ τόπου δοκιμὲς γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῶν μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν τῶν ἀσβεστολιθικῶν στρωμάτων.

Τέλος, διανοίχθηκαν ἐρευνητικὲς τάφροι μέχρι τῶν θεμελιῶν τοῦ Ναοῦ καὶ ἐγίνε δειγματοληψία τοῦ ἀργιλικοῦ ὑλικοῦ τοῦ ἐπιχώματος, καθὼς καὶ ἐργαστηριακὲς δοκιμὲς τῶν φυσικῶν καὶ μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν τῶν ληφθέντων δειγμάτων.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΘΕΙΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ἡ περιοχὴ ποὺ ἐξετάσθηκε, ἐντάσσεται στὴ γεωτεκτονικὴ ζώνη Ὀλωναῦ - Πίνδου καὶ ἀποτελεῖται κυρίως ἀπὸ ἀσβεστολίθους, κορήματα κλιτύων καὶ τεταρτογενεῖς ἀποθέσεις, οἱ ὁποῖες σχηματίζουν μανδύα ἀπὸ ἀποσάθρωση καὶ κερματισμὸ τῶν ἀσβεστολίθων (Β. Ἀνδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1976).

Οἱ ἀσβεστόλιθοι, ἡλικίας Ἄνω Κρητιδικοῦ (Ν. Λαλεχός, 1974) ἀπαντοῦν σὲ στρώματα πάχους μέχρι 10 ἐκ., εἶναι λευκοὶ ἕως λευκότεφροι, ἡμικρυσταλλικοί, κατὰ θέσεις μὲ φλεβίδια ἀσβεστίτου καὶ κονδύλους κυρίως πυριτιολίθων. Συχνὰ ἐντὸς τῶν ἀσβεστολίθων παρεμβάλλονται φακοειδεῖς ἐνστρώσεις ἐρυθροφαίων ἀργιλικῶν σχιστολίθων ἢ σχιστωδῶν μαργῶν.

Τὰ ἀσβεστολιθικά στρώματα παρουσιάζουν γενικὰ ἥπια κλίση πρὸς Ἀνατολή, ἄλλοτε ὅμως παρατηροῦνται κλίσεις ἰσχυρὲς ἢ κατακόρυφες, ποὺ ὀφείλονται συνηθέστερα σὲ πτυχώσεις τῶν στρωμάτων καὶ σπανιότερα στὴ διάρρηξη αὐτῶν. Γενικὰ τὰ στρώματα διακρίνονται ἀπὸ ἔντονη πτύχωση, μὲ ἄξονες πτυ-

χών διευθύνσεως B-N περίπου και κλίση ήπια προς Νότο, καθώς και ισχυρή, πολυσχιδή διάρρηξη, με σημαντική πολλές φορές διεύρυνση τών ρωγμών (Σχ. 1).



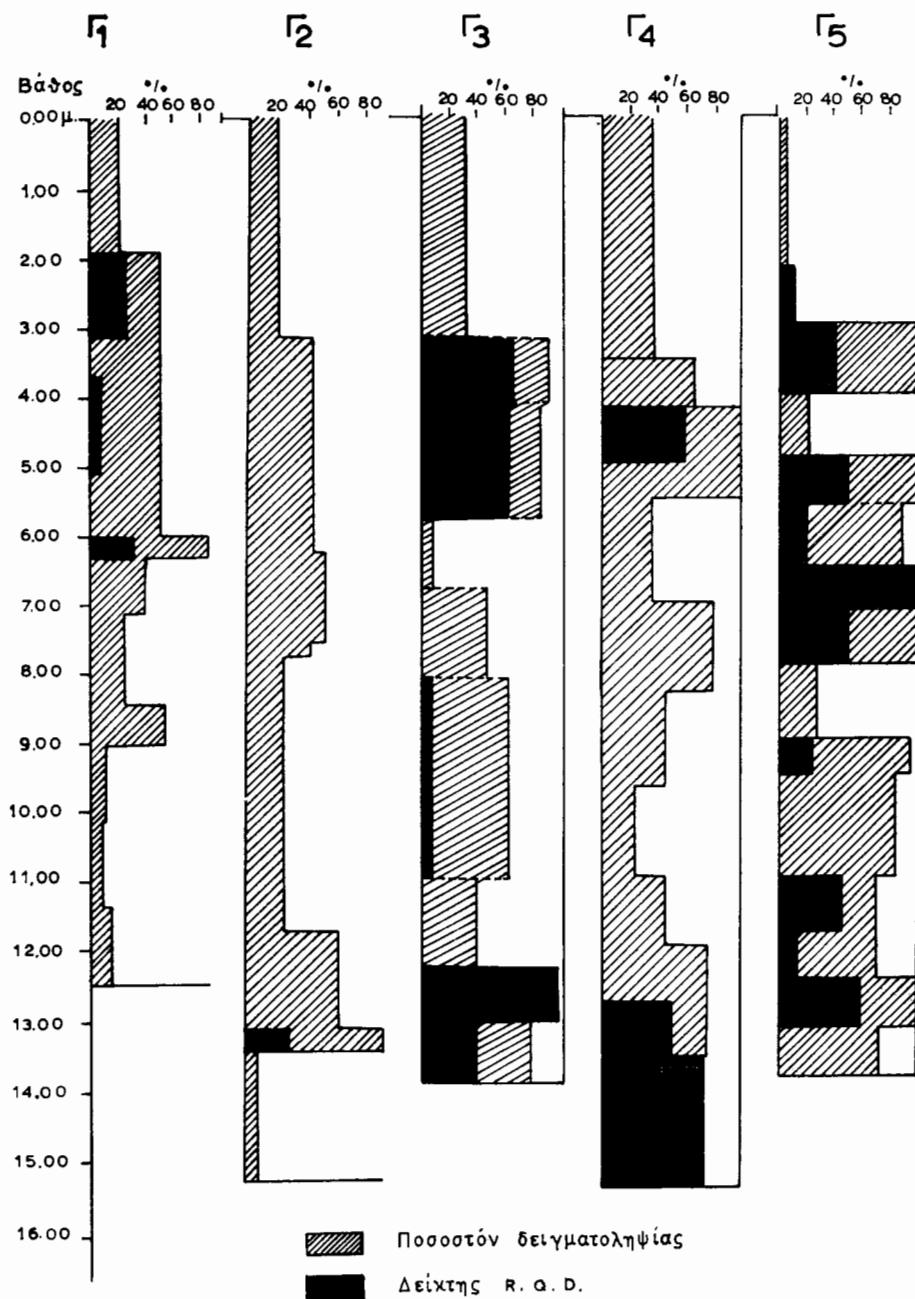
Σχ. 1. Άσβεστολίθοι Άνω Κρητιδικού με έντονο πτύχωση και ισχυρή πολυσχιδή διάρρηξη.
Fig. 1. Upper Cretaceous limestones strongly folded and intensively faulted.

Ἡ ισχυρή διάρρηξη διευκόλυνε τὴν καρστική διάβρωση τῶν ἀσβεστολίθων, ἀποτέλεσμα τῆς ὁποίας εἶναι τὸ ἀνώμαλο ἀνάγλυφο τῆς ἐπιφάνειας καὶ ἡ παρουσία μικρῶν συνήθως διαβρωσιγενῶν κοιλοτήτων. Στὶς κοιλότητες ποῦ δημιουργοῦνται καὶ στὰ διάκενα μεταξὺ τῶν στρωμάτων παρατηρεῖται συνήθως δευτερογενῆς ἀπόθεση ἐρυθρᾶς ἀργίλου.

Ἀπὸ τεκτονική πλευρά ἡ περιοχή ποῦ μελετήθηκε χαρακτηρίζεται ἀπὸ τὴ διαδοχὴ ἀντικλινικῶν καὶ συγκλινικῶν μορφῶν, οἱ ὁποῖες πολλές φορές διακόπτονται καὶ μετατοπίζονται, λόγω τῶν διαρρήξεων καὶ μεταπτώσεων.

Εἰδικότερα ὁ Ναός εἶναι θεμελιωμένος ἐν μέρει ἐπὶ ἀντικλινικῆς πτυχῆς, μὲ γενικὴ διεύθυνση B.BA - N.NΔ, ὁ ἄξονας τῆς ὁποίας διέρχεται διαγώνια ἀπὸ τὸ νότιο τμήμα τῆς δυτικῆς πλευρᾶς καὶ κλίνει 15^ο- 20^ο πρὸς Νότο. Ἐδῶ πρέπει νὰ τονισθεῖ ἡ σύμπτωση τῆς μορφολογίας πρὸς τὴν τεκτονική, ὅπως διαπιστώνεται ἀπὸ τὴν κλίση τοῦ πρινοῦς πρὸς ΝΔ. Λόγω τῆς κλίσεως αὐτῆς προέκυψε ἡ ἀνάγκη διαμορφώσεως τῆς περιοχῆς θεμελιώσεως τοῦ Ναοῦ μὲ παχύτερο ἐκεῖ ἐπίχωμα κατὰ τὴν κατασκευὴ του.

Στὴ στενὴ περιοχή τοῦ Ναοῦ, ὅπως φαίνεται ἀπὸ τὶς μακροσκοπικὲς παρατη-



Σχ. 2. 'Αποτελέσματα των γεωτρήσεων Γ₁ - Γ₅ που εκτελέσθηκαν στην περιοχή του Ναού. Χαρακτηρίζονται από το μικρό γενικά ποσοστό πυρηνοληψίας και τις συνήθως μηδενικές τιμές του R.Q.D.

Fig. 2. Results of the boreholes Γ₁ - Γ₅, executed at the vicinity of the Temple. They are characterised by a general low percentage of core recovery and the usual zero values of R.Q.D. Διψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ρήσεις, δέν διαπιστώθηκαν σοβαρές κατακόρυφες μετατοπίσεις τών στρωμάτων, ούτε έντονα κατακλαστικά φαινόμενα. Γενικά ή περιοχή χαρακτηρίζεται από την επικράτηση τής τεκτονικής τών πτυχώσεων και την άπουσία μεγάλων ρηγμάτων και σημαντικόν μεταπτώσεων.

3. ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Στή στενή περιοχή του Ναού και στο δυτικό τμήμα αυτό, όπου υπάρχει και το τεχνητό επίχωμα, έγιναν 5 γεωτρήσεις για τη λεπτομερή διερεύνηση τής λιθολογικής συστάσεως και την καλύτερη γνώση τών χαρακτηριστικόν τών σχηματισμών (Β. Ανδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1977). Το βάθος αυτών δέν ήταν μεγαλύτερο από 15 μ., δεδομένου ότι οι συνθήκες θεμελιώσεως του Ναού δέν ήταν δυνατόν να επηρεασθούν από τα χαρακτηριστικά τών στρωμάτων βαθύτερα από 15 μ. Από τις γεωτρήσεις αυτές διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα λιθολογικά χαρακτηριστικά :

Τα στρώματα τών ασβεστολίθων είναι συνήθως λεπτοπλακώδη, με κλίση συνηθέστερα 30°- 40° (μερικές φορές 60°), ισχυρά διερρηγμένα και κατά θέσεις κερματισμένα. Ο ύψηλός βαθμός διαρρήξεως και κερματισμού του πετρώματος είναι καταφανής στην επιφάνεια, οι αυτές δέ περίπου συνθήκες διαπιστώθηκαν σε βαθύτερα στρώματα, μέχρι του βάθους που διερευνήθηκε. Τουτό αποδείχθηκε από το χαμηλό ποσοστό πυρηνοληψίας, τόν κερματισμό τών λαμβανομένων δειγμάτων, τις συνήθως μηδενικές τιμές του δείκτη ποιότητας του πετρώματος (R. Q. D.), την όλική απόλεια νερού κατά τή διάτρηση, καθώς και τις σημαντικές απόλειες νερού κατά τις δοκιμές εισπίεσεως (Σχ. 2, 3). Πρέπει να σημειωθεί



Σχ. 3. Ασβεστολιθικοί πυρήνες από την γεώτρηση Γ2, βάθους 15,40 μ. Έμφανής είναι ο ισχυρός κερματισμός του πετρώματος.

Fig. 3. Limestone cores from the borehole Γ2, 15.40 m of depth. The strong brecciation of rock is markedly shown.

δτι ὁ ἰσχυρὸς αὐτὸς κερματισμὸς ἐδυσχέρανε τὴν ὀλόκληρωση τῆς ἔρευνας μὲ τις προγραμματισθεῖσες πρεσσιομετρικὲς δοκιμὲς, οἱ ὅποιες στὸ μεγαλύτερο μέρος τους παρέμειναν ἀνεκτέλεστες, λόγω τεχνικῶν δυσχερειῶν.

4. ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ - ΥΠΕΔΑΦΙΚΟ ΝΕΡΟ

Ἡ διαπερατότητα τῶν ἀσβεστολιθικῶν στρωμάτων στὴν περιοχὴ τοῦ Ναοῦ διερευνήθηκε μὲ τὴν ἐκτέλεση, ἐντὸς τῶν γεωτρήσεων, δοκιμῶν εἰσπίεσεως νεροῦ κατὰ τὴ μέθοδο Lugeon.

Οἱ δοκιμὲς ἔγιναν σὲ κατιόντα βήματα ἀνὰ 1 ἕως 3 μ., χρησιμοποιήθηκε δὲ ἀνιοῦσα καὶ κατιοῦσα κλίμακα πιέσεων.

Οἱ ἐφαρμοσθεῖσες πιέσεις ἦταν συνήθως πολὺ μικρὲς, μέχρι 2 ἀτμ., σὲ σπάνιες δὲ περιπτώσεις ἐπιτεύχθηκαν ὑψηλότερες πιέσεις.

Τὰ συμπεράσματα ἀπὸ τις ἐκτελεσθεῖσες δοκιμὲς συνοψίζονται κατωτέρω :

- α) Παρατηρήθησαν, ὅπως ἀνεμένετο, σημαντικὲς ἀπώλειες νεροῦ ἀκόμη καὶ μὲ πολὺ χαμηλὲς πιέσεις.
- β) Κατὰ τὴ φάση τῆς κατιοῦσας κλίμακας πιέσεων, ἡ ἀπώλεια ἦταν συνήθως ἐλαφρῶς μεγαλύτερη σὲ σύγκριση μὲ τὴν ἀνιοῦσα κλίμακα καὶ τοῦτο βέβαια πρέπει νὰ ἀποδοθεῖ στὴ διεύρυνση τῶν ρωγμῶν τοῦ πετρώματος καὶ τὴν ἐκπλυση τῆς ἀργίλου ἀπὸ αὐτές, κατὰ τὴν προηγηθεῖσα φάση τῆς ἀνιοῦσας κλίμακας πιέσεων.
- γ) Παρὰ τὴ συχνὴ παρουσία τῆς ἀργίλου ἐντὸς τῶν ρωγμῶν διαπιστώθηκαν ὑψηλὲς ἀπώλειες νεροῦ καὶ μὲ χαμηλὲς ἀκόμη πιέσεις δοκιμῆς καὶ αὐτὸ ἀποδεικνύει τὸν ἰσχυρὸ κερματισμὸ τοῦ ἀσβεστολιθικοῦ πετρώματος.

Τὸ γεγονός τοῦτο, σὲ συνδυασμὸ μὲ τὴν ὀλικὴ ἀπώλεια νεροῦ ποὺ χρησιμοποιήθηκε κατὰ τὴ διάτρηση, ὑποδηλώνει σὲ γενικὴ κλίμακα συνθήκες εὐχεροῦς κυκλοφορίας τοῦ ὑπεδαφικοῦ νεροῦ καὶ πλήρους ἀποστραγγίσεως τῆς περιοχῆς τοῦ Ναοῦ. Σὲ ἐντελῶς τοπικῆς σημασίας περιπτώσεις ἀποδείχθηκε ὁ ἐγκλωβισμὸς καὶ ἡ συγκράτηση ὑπογείου νεροῦ ἐντὸς μικρῶν κοιλοτήτων μὲ ἀργιλικὴ ἐπέκδυση. Ἀπὸ τις κοιλοτήτες αὐτές ἡ ἀποστράγγιση τοῦ νεροῦ συντελεῖται μὲ βραδύτατο ρυθμὸ.

Διερευνήθηκαν ἐπίσης οἱ ὑδρογεωλογικὲς συνθήκες στὴν περιοχὴ τοῦ Ναοῦ μὲ τρεῖς γεωτρήσεις, στίς ὁποῖες ἐτοποιηθήθηκαν πιεζομετρικοὶ σωληνες, μεταλλικοὶ, διαμέτρου $1\frac{1}{2}$ "", μὲ τὸ κατάλληλο ὁμογενὲς χαλικόφιλτρο. Ἐντὸς τῶν γεωτρήσεων αὐτῶν ἐμετρήθηκε (μὲ ἠλεκτρικὸ σταθμῆμετρο) γιὰ ἕνα ἔτος ἡ στάθμη τοῦ νεροῦ, δὲν διαπιστώθηκε ὅμως, μέχρι τοῦ βάθους τῶν 14 μ., μόνιμη στάθμη ὑπεδαφικοῦ νεροῦ (Β. Ἀνδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1977).

5. ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΘΕΝΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

5.1. Έργαστηριακές δοκιμές

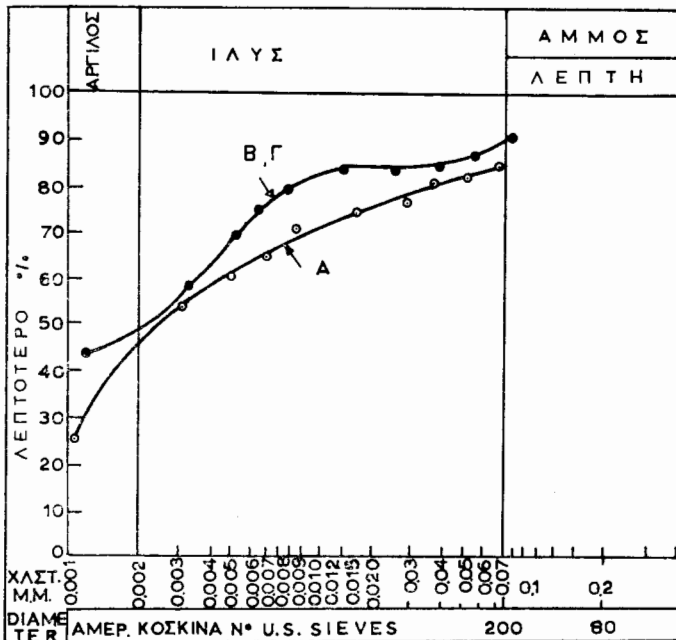
Για την εργαστηριακή έρευνα των άσβεστολιθικών πετρωμάτων και των έδαφικών υλικών θεμελιώσεως του Ναού έμορφώθησαν 11 άσβεστολιθικά δείγματα από τους πυρήνες των γεωτρήσεων και 3 δείγματα άργιλικού υλικού.

5.1.1. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των άργιλικών υλικών

Στά έδαφικά δείγματα έγιναν δοκιμές κατατάξεως (κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και άραιόμετρα, προσδιορισμός των όριων Atterberg, ειδικού βάρους, περιεκτικότητας σε οργανικά κ.ά.) καθώς και δοκιμές συμπίεστικότητας και διαπερατικότητας (B. Άνδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1977).

α. Δείγμα Α

Τούτο προέρχεται από μι έρευνητική τάφρο μέσα στο τεχνητό έπίχωμα, ήταν δέ διαταραγμένο. Βάσει τής κοκκομετρικής ανάλυσεως αυτού (Σχ. 4), τó



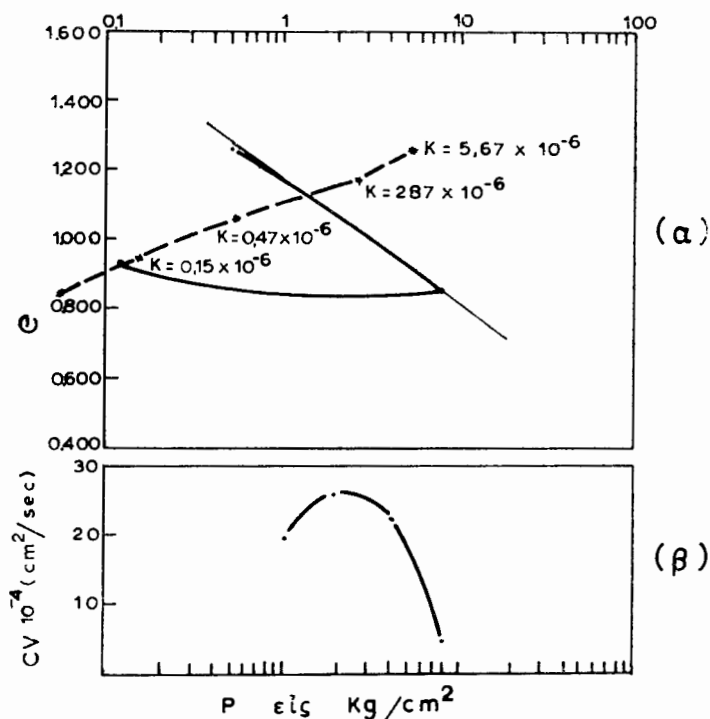
Σχ. 4. Κοκκομετρικές ανάλυσεις των έδαφικών υλικών (ιλούχων άργιλων) που άπαντούν στη θεμελιώση του Ναού.

Fig. 4. Grain size analyses of the soil material (silty clays), which occurs at the foundations of the Temple.

ύλικό χαρακτηρίζεται σαν ήλυοχος άργιλος, με μικρή περιεκτικότητα σε όργανικά (46% άργιλος, 30% ήλύς, 2,47% όργανικά και 13,53% λεπτή άμμος όμοιόμορφα κατανεμημένη έντός του ύλικού). Από τους προσδιορισμούς των όρίων Atterberg (LL = 55,4% και PI = 33,2%) συνάγεται ότι το ύλικό είναι μέσης έως ύψηλης πλαστικότητας. Η φυσική ύγρασία του δείγματος προσδιορίσθηκε σε 32,8% και το είδικό βάρος σε 2,71 gr/cm³.

Η δοκιμή συμπίεσότητας έγινε σε δοκίμιο διαστάσεων 1" x 2,5" και σε βαθμίδες φορτίσεως 0,5 - 1,0 - 2,0 - 4,0 - 8,0 kg/cm². Τα άποτελέσματα αύτης φαίνονται στα σχήματα 5, 6, 7.

Από τις άνωτέρω δοκιμές προέκυψε ότι ο δείκτης συμπίεσεως έχει τιμή C_e = 0,36, τα δέ μέτρα συμπίεσεως είναι άρκετά χαμηλά (για φορτίο 2 kg/cm² τό E = 20 kg/cm²). Οί τιμές αύτες άναμένονται μεγαλύτερες για τα άδιατάρακτα δείγματα. Επίσης ο συντελεστής στερεοποίησησεως, C_v, είναι τής τάξεως 5—26 x 10⁻⁴ cm²/sec, και ή διαπερατότητα πολύ χαμηλή (K = 0,05—5,67 x 10⁻⁶ cm/sec).

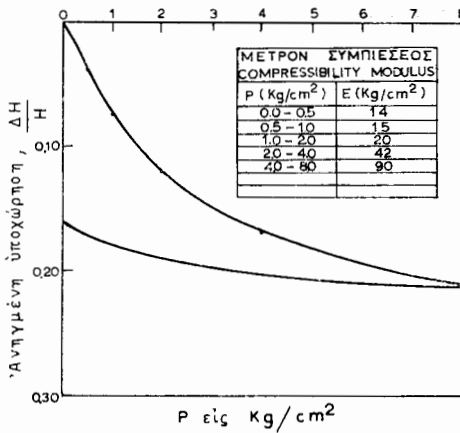


Σχ. 5. Δοκιμή συμπίεσότητας για τό δοκίμιο A : α. Διάγραμμα λόγου κενών (e) φορτίου (p). β. Διάγραμμα συντελεστού στερεοποίησησεως (C_v) φορτίου (p).

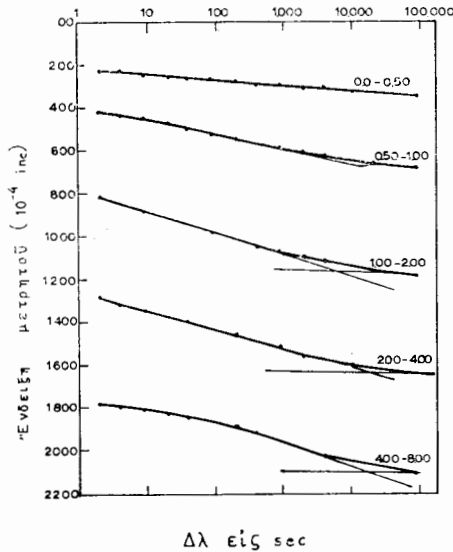
Fig. 5. Consolidation test for sample A.

a : Void ratio (e) - pressure (p) diagram; b : coefficient of consolidation (C_v) - pressure (p) diagram.

Οι καθιζήσεις του άργιλικού ύλικού, οι όφειλόμενες στην καθίζηση στερεο-



Σχ. 6. Διάγραμμα φορτίου (p) - υποχωρήσεων (ΔH/H).
Fig. 6. Pressure (p) - compression (ΔH/H) diagram.



Σχ. 7. Διάγραμμα χρόνου - υποχωρήσεων.
Fig. 7. Time-compression diagram.

ποιήσεως (consolidation settlement) είναι δυνατό να υπολογισθούν, με βάση τα ανωτέρω αποτελέσματα, ως εξής :

— Λόγος κενών σε φόρτιση 0,0 kg/cm²: e₁ = 1,34

— » » » » 8,0 kg/cm²: e₂ = 0,84

$$\text{— Συντελεστής συμπίεστότητας, } a_v = \frac{de}{dp} = \frac{1,34 - 0,84}{8} = 0,062 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

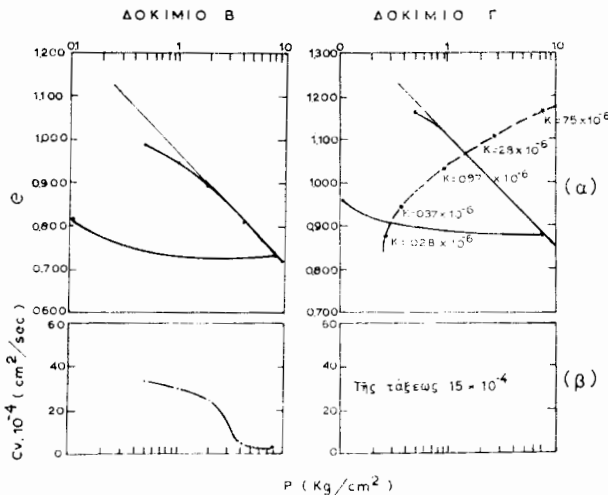
$$\text{— Συντελεστής τῆς κατ' ὄγκον συμπίεστότητας, } m_v = \frac{a_v}{1+e_1} = \frac{0,062}{1+1,34} = 0,0265 \text{ cm}^2/\text{kg}$$

Ἐπομένως γιὰ ἓνα στρώμα τοῦ παραπάνω ἀργιλικοῦ ὑλικοῦ, πάχους π.χ. 10 ἐκ. ἡ καθίζηση λόγω στερεοποίησης P_c , ἀναμένεται: $P_c = m_v H \cdot dp = 0,0265 \cdot 10 \cdot 8 = 2,12$ ἐκ., δηλαδή 20% περίπου τοῦ πάχους τοῦ στρώματος.

Ὁ ὑπολογισμὸς ὁμοίως τῆς ὀλικῆς καθίζησης δὲν εἶναι ἐφικτός, λόγω ἐλλείψεως στοιχείων γιὰ τὴν ἄμση στερεοποίηση P_i , ἡ ὁποία ἐντούτοις δὲν ἀναμένεται μεγάλη. Ἀπὸ αὐτὰ συνάγεται ὅτι ἡ ὀλική καθίζηση τῆς ἀργίλου ἀναμένεται ἐλαφρῶς ἀνώτερη τοῦ 20%, ἐὰν ληφθεῖ ὑπόψη ὅτι οἱ δοκιμὲς ἔγιναν σὲ διαταραγμένο δεῖγμα.

β. Δείγματα Β, Γ

Προέρχονται ἀπὸ τὸ ἴδιο ἀργιλικὸ στρώμα καὶ σὲ μικρὴ μεταξὺ τους ἀπόσταση, ἀπὸ τὴν ἐρευνητικὴ τάφρο τῆς ἀνατολικῆς πλευρᾶς τοῦ Ναοῦ. Πρόκειται γιὰ ἰλυοῦχες ἀργίλους, μὲ ποσοστὸ ἀργίλου 50%, ἰλύος 40% καὶ λεπτῆς ἄμμου 10% (Σχ. 4). Ἡ πλαστικότητα τοῦ ὑλικοῦ εἶναι ὑψηλὴ, ὅπως αὐτὸ συνάγεται ἀπὸ τὰ μακροσκοπικὰ χαρακτηριστικὰ καὶ τὰ προσδιορισθέντα ὄρια Atterberg ($LL = 66,2\%$ καὶ $PI = 41,8\%$).

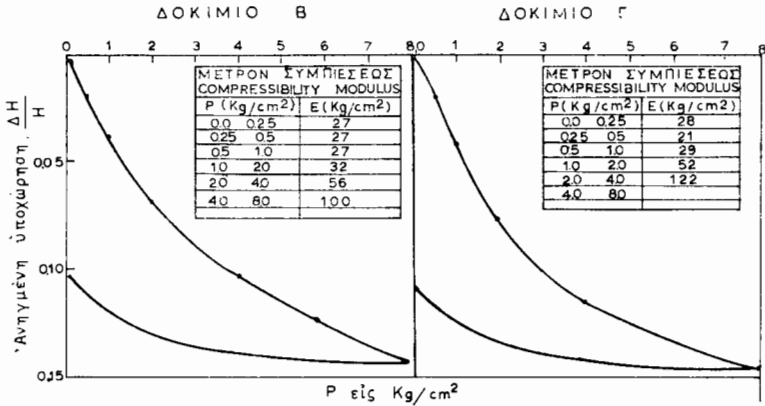


Σχ. 8. Δοκιμὴ συμπίεστότητας γιὰ τὰ δοκίμια Β καὶ Γ: α. Διάγραμμα λόγου κενῶν (e) - φορτίου (p). β. Διάγραμμα συντελεστοῦ στερεοποίησης (C_v) - φορτίου (p).

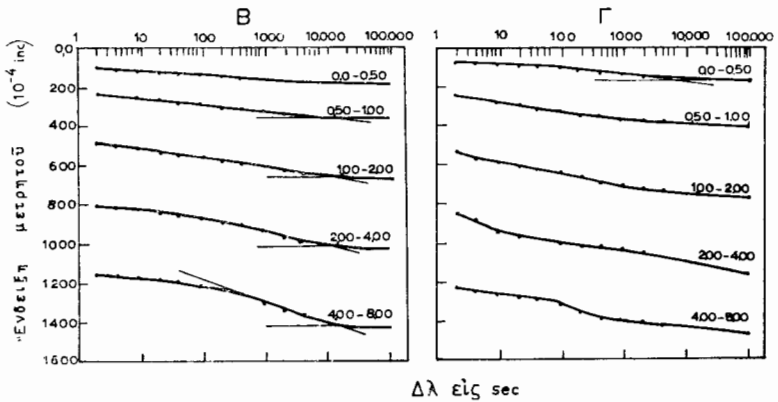
Fig. 8. Consolidation test for samples B and Γ.

a : Void ratio (e) - pressure (p) diagram; b : Coefficient of consolidation (C_v) - pressure (p) diagram.

Έγιναν δοκιμές συμπίεστικότητας (δπως στο δείγμα Α) σε δύο δοκίμια με τα εξής αποτελέσματα (Σχ. 8, 9, 10).



Σχ. 9. Διάγραμμα φορτίου (p) - ύποχωρήσεων (ΔH/H).
Fig. 9. Pressure (p) - compression (ΔH/H) diagram.



Σχ. 10. Διάγραμμα χρόνου - ύποχωρήσεων.
Fig. 10. Time-compression diagram.

Δοκίμιο Β

$C_c = 0,26$
 $e_1 = 1,03$
 $e_2 = 0,73$
 $C_v = 3-34 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$
 $E = 32 \text{ kg/cm}^2$ διά $p=2 \text{ kg/cm}^2$

Δοκίμιο Γ

$C_c = 0,26$
 $e_1 = 1,20$
 $e_2 = 0,875$
 $C_v =$ της τάξεως $15 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$
 $E = 52 \text{ kg/cm}^2$, $p=2 \text{ kg/cm}^2$

Για ένα στρώμα υποθετικού πάχους 10 έκ. οι καθιζήσεις λόγω στερεοποίησης έχουν :

$$P_{c_1} = \frac{de}{1+e_1} \cdot H = \frac{1,03 - 0,73}{2,03} = 1,48 \text{ έκ. και } P_{c_2} = 1,43 \text{ έκ.}$$

Από τα ανωτέρω συνάγεται ότι το άργιλικό ύλικό που εξετάστηκε υφίσταται καθίζηση λόγω στερεοποίησης της τάξεως του 15%, ή όλική δέ καθίζηση εκτιμάται, ότι δέν πρέπει νά υπερβαίνει τό 20% του πάχους του άργιλικού στρώματος.

5.1.2. Φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των άσβεστολίθων

Για τούς άσβεστολίθους της περιοχής του Ναού προσδιορίστηκαν ή άντοχή σέ θλίψη (σ_c), ύπολογίστηκαν δέ τό μέτρο έλαστικότητας (E), ό λόγος του Poisson (ν), τό φαινόμενο βάρος (γ_w) και ή σκληρότητα κατά Mohs. Οί δοκιμές σέ άνεμπόδιση θλίψη έγιναν σέ μορφοθέντα κυλινδρικά δοκίμια (πυρήνες από τις γεωτρήσεις) μέ παράλληλες επιφάνειες. Τό μήκος τους ήταν 1,5 του μήκους της διαμέτρου, έθραύστησαν δέ κατά τόν άξονα του πυρήνα. Η άξονική παραμόρφωση κατά την διάρκεια της φορτίσεως έμετράτο μέ κατάλληλη διάταξη (B. Άνδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1977).

Ο ύπολογισμός της πραγματικής άντοχής σέ θλίψη (σ_c) έγινε μέ τη διόρθωση της φαινομένης (σ_0), μέ βάση τις διαστάσεις του δοκιμίου.

Η διεύθυνση φορτίσεως των πυρήνων (κατά τόν άξονα) δέν ήταν κατ' άνάγκη κάθετη πρός την στρώση, λόγω της έντονης πτυχώσεως του ύλικού. Η σχηματιζόμενη γωνία μεταξύ του άξονα του πυρήνα και του έπίπεδου στρώσεως εκυμαίνεται συνήθως μεταξύ 30° έως 50°, σπανιότερα δέ ήταν πέρα από τά όρια αυτά.

Τά άποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στον πίνακα 1, από την άξιολόγηση δέ αυτών προέκυψαν τά έξής συμπεράσματα :

- α) Διαπιστώθηκε ότι έξαιτίας της λεπτοστρωματώδους ύφης των άσβεστολίθων, τά έπίπεδα μικρότερης συνοχής, κατά τά όποια διευκολύνθηκε κατ' άρχήν ή θραύση, ήταν οι επιφάνειες στρώσεως του ύλικού.
- β) Η άντοχή σέ άνεμπόδιση θλίψη εκυμάνθηκε μεταξύ 56 και 482 kg/cm², ή κύμανση δέ αυτή όφείλεται σέ διάφορους λόγους, όπως ή φυλλώδης έως πλακώδης ύφή, ή διάφορη κρυσταλλικότητα του πετρώματος, ή άνιση κατανομή της συνοχής (δεσμών) των κόκκων, ή κυμαινόμενη γωνία μεταξύ στρώσεως και άξονα του πυρήνα, ή παρουσία φλεβιδίων άσβεσίτη μέ ποικίλη διεύθυνση και, τέλος, ή παρουσία, σέ όρισμένες περιπτώσεις, μικρορωγμών.

Οί τιμές άντοχής των άσβεστολίθων σέ άνεμπόδιση θλίψη, οι όποιες άνάφερονται στη διεθνή βιβλιογραφία, είναι της τάξεως των 500 - 1000 kg/cm², πλύν όμως άφορούν σέ δοκίμια όμοιογενή και συμπαγή, που έμορφώθηκαν κάθετα πρός τη στρώση και έφορτίστηκαν κατά τόν άξονα του πυρήνα.

Η παρουσία μικρορωγμών στο δείγμα και μάλιστα μέ την ίδια διεύθυνση πρός τά έπίπεδα στρώσεως, παίζει σημαντικό ρόλο στην έλάττωση της άντοχής

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1

ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ
ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΗΘΕΙΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Γεώτρηση Βάθος, μ.	Αντοχή σε θλίψη kg/cm ²	w _c %	E kg/cm ²	ν	γ _w gr/cm ³	Σκλη- ρότητα Mohs	Λιθολογικά χαρακτηριστικά
Γ1	334	0,48	240.000	0,30	2,56	5	Ασβεστόλιθος λεπτοστρωματώδης, λευκότεφρος με κλίση στρώσεως ~30° ως προς τον άξονα του πυρήνα.
Γ3/3, 50 { α β	318	0,59	50.000	0,26	2,65	4	Ασβεστόλιθος λεπτοστρωματώδης έως φυλλώδης, χρώματος έρυθροφαίου, διευλανόμενος από πολλά φλεβίδια άσβεστίτη.
	243	0,59	96.000	0,28	2,65	4	
Γ3/4,30	158	0,61	60.000	0,28	2,67	4	Ασβεστόλιθος λεπτοστρωματώδης, έρυθρόφαιος με κλίση στρώσεως 45° ως προς τον άξονα του πυρήνα. Διελαύνεται από πολλά φλεβίδια άσβεστίτη.
Γ3/5,60 - 5,80	281	0,22	120.000	0,29	2,66	4	Ασβεστόλιθος ως άνωτέρω με κλίση στρώσεως ~60° ως προς τον άξονα του πυρήνα.
Γ3/12,30 - 12,70	482	0,85	—	—	2,62	4	Ασβεστόλιθος ως άνωτέρω με κλίση στρώσεως ~60° ως προς τον άξονα του πυρήνα.
Γ4/4,20 - 4,60	132	0,41	200.000	0,31	2,63	4	Ασβεστόλιθος λεπτοστρωματώδης με κλίση στρώσεως ~40°. Φλεβίδια άσβεστίτη διασχίζουν τον πυρήνα κάθετα προς την στρώση.
Γ4/14,00 - 14,30	109	1,07	—	—	2,59	4	Ως άνωτέρω με κλίση στρώσεως ~50° ως προς τον άξονα του πυρήνα.
Γ4/14,60 - 14,80	56	1,21	—	—	2,62	4	Ως άνωτέρω με κλίση στρώσεως ~40°.
Γ5/6,60 -6,90 { α β	146	0,49	200.000	0,30	2,64	4	Ασβεστόλιθος διευλανόμενος από πλήθος άκανονίστων φλεβιδίων άσβεστίτη. Η κλίση στρώσεως ήταν 70° και 20° αντίστοιχα για τα δοκίμια α και β.
	202	0,49	80.000	0,28	2,64	4	
Γ5/12,30 - 12,50	318	6,06	320.000	0,27	2,68	4	Ασβεστόλιθος λευκότεφρος, λεπτοστρωματώδης με κλίση στρώσεως ~35° ως προς τον άξονα του πυρήνα.

σέ θλίψη, τὸ ἴδιο δὲ ἰσχύει καὶ γιὰ τὴν αὐξηση τῆς περιεχόμενης ὕγρασίας.

Γενικὰ οἱ τιμὲς τῆς ἀντοχῆς σὲ ἀνεμπόδιση θλίψη, ποὺ προσδιορίσθηκαν, εἶναι σχετικὰ χαμηλές, ἀνταποκρίνονται δὲ στὴν λεπτοστρωματάδη δομὴ τῶν ἀσβεστολίθων καὶ τὴν ἔντονη τεκτονικὴ καταπόνηση, ποὺ ἔχουν ὑποστῆ. Κρίνεται σκόπιμο νὰ ἀναφερθεῖ ἐδῶ ὅτι οἱ τιμὲς ποὺ βρέθηκαν εἶναι χαμηλότερες ἀπὸ τὶς ἀντίστοιχες τιμὲς ποὺ προσδιορίσθηκαν σὲ παρόμοιους σχηματισμοὺς τῆς ζώνης Ὀλλονοῦ, στὴν περιοχὴ Ἀρτεμισίου. Πράγματι οἱ τιμὲς αὐτὲς κυμαίνονται μεταξὺ 128 - 600 kg/cm², μὲ τὴ μεγαλύτερη συχνότητα μεταξὺ 300 - 400 kg/cm² (B. Ἀνδρονόπουλος, 1973).

γ) Οἱ τιμὲς τοῦ μέτρου ἐλαστικότητας ὑπολογίσθηκαν ἀπὸ τὸ διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων καὶ παρουσιάζουν κύμανση ἀπὸ 60.000 ἕως 320.000 kg/cm², δηλαδὴ μὲ εὐρὸς ἀνάλογο πρὸς τὴν ἀντοχὴ σὲ θλίψη. Τὸ μέτρο ἐλαστικότητας κατὰ κανόνα μεταβάλλεται παράλληλα μὲ τὴν ἀντοχὴ σὲ θλίψη, ἔχει δὲ τὴν μικρότερη τιμὴ σὲ δοκίμια ποὺ φορτίζονται κάθετα πρὸς τὴ στρώση.

Στὴ βιβλιογραφία τὸ μέτρο ἐλαστικότητας γιὰ τοὺς ἀσβεστολίθους ἀναφέρεται μὲ τιμὲς κυμαινόμενες μέσα σὲ εὐρύτατα ὄρια, οἱ ὁποῖες συχνὰ ὑπερβαίνουν τὸ 1.000.000 kg/cm².

Στὴν προκειμένη περίπτωση, μὲ τὴν περιγραφεῖσα λιθολογικὴ ἰδιομορφία τῶν ἀσβεστολίθων καὶ τὴν ποικίλουσα φυσικὴ κατάσταση τῶν δειγμάτων, δικαιολογοῦνται τόσο οἱ χαμηλές τιμὲς ὅσο καὶ ἡ εὐρεῖα κύμανση αὐτῶν. Ὑπνυθυμίζουμε πάντως, ὅτι οἱ ὑπολογιζόμενες τιμὲς τοῦ E ἀπὸ τὶς δοκιμὲς σὲ ἀνεμπόδιση θλίψη, πρέπει πάντοτε νὰ λαμβάνονται μὲ ἐπιφυλακτικότητα.

δ) Σὲ ὄλα τὰ δείγματα ποὺ ἐξετάσθηκαν, οἱ ὑπολογισθεῖσες τιμὲς τοῦ λόγου τοῦ Poisson ν εἶναι μέσα στὰ ὄρια τῶν τιμῶν, ποὺ ἀναφέρονται στὴ βιβλιογραφία γιὰ κρυσταλλικοὺς ἀσβεστολίθους (0,25 - 0,38), δηλ. κυμαίνονται ἀπὸ 0,26 ἕως 0,31.

ε) Οἱ τιμὲς τοῦ φαινομένου εἰδικοῦ βάρους (2,56 - 2,68 gr/cm³) εἶναι οἱ ἀναμενόμενες γιὰ ἀσβεστολίθους, ἐνῶ τὸ ποσοστὸ ὕγρασίας εἶναι μηδαμινό, κυμαίνόμενο ἀπὸ 0,06 ἕως 1,21 % (0,42 - 1,73 % οἱ ἀντίστοιχες τιμὲς στὴν βιβλιογραφία).

Συμπερασματικά, τονίζεται ὅτι οἱ τιμὲς ὀρισμένων χαρακτηριστικῶν τοῦ πετρώματος ποὺ προσδιορίσθηκαν ἔπειτα ἀπὸ δειγματοληψία καὶ ἐπιλογή ἀπὸ τοὺς πυρῆνες τῶν γεωτρήσεων, ἐκφράζουν τὶς ἀντίστοιχες τιμὲς τῶν δειγμάτων ποὺ ἐδοκιμάσθηκαν, θεωροῦνται ὅμως ὅτι προσεγγίζουν ἐκεῖνες τοῦ ἀσβεστολιθικοῦ σχηματισμοῦ. Οἱ πραγματικὲς μηχανικὲς ἀντοχὲς τοῦ πετρώματος μποροῦν νὰ προσδιορισθοῦν ἱκανοποιητικότερα μόνο μὲ ἐπὶ τόπου δοκιμὲς.

Ἐπίσης, τονίζεται ὅτι οἱ ἀντοχὲς τοῦ πετρώματος παράλληλα πρὸς τὴ στρώση πρέπει νὰ εἶναι μικρότερες τῶν τιμῶν, ποὺ βρέθηκαν γιὰ δοκίμια φορτισθέντα ὑπὸ γωνία ὡς πρὸς τὴ στρώση. Τέτοια φόρτιση τῶν στρωμάτων, παράλληλα πρὸς τὴ στρώση, πράγματι παρατηρεῖται, γιὰ τὰ στρώματα παρουσιάζονται μερικὲς

φορές ισχυρά ανορθωμένα, τούτο όμως ισχύει για πολύ περιορισμένη έκταση.

Είναι γνωστό ότι για τεχνικούς λόγους, που επιβάλλονται από την αρχή της δοκιμής σε άνεμπόδιση θλίψη (έπιλογή πυρήνων επαρκούς μήκους από μάλλον συμπαγές, χωρίς ρωγμές, πέτρωμα), οι ανωτέρω τιμές αναφέρονται σε άσβεστολιθικά στρώματα μεσοπλακάωδη έως παχυπλακάωδη, με αραιό δίκτυο ρωγμών και διαρρήξεων. Οι μηχανικές αντοχές των στρωμάτων αυτών είναι ασφαλώς υψηλότερες εκείνων των λεπτοπλακωδών, ισχυρά διερρηγμένων άσβεστολίθων, οι όποιοι και αντιπροσωπεύουν το σημαντικότερο ποσοστό από τον άσβεστολιθικό σχηματισμό της περιοχής που μελετήθηκε. Καταλήγομε, συνεπώς, ότι οι αντοχές των λεπτοπλακωδών άσβεστολιθικών στρωμάτων αναμένονται προφανώς χαμηλότερες αυτών, που προσδιορίστηκαν στα έπιλεγέντα δοκίμια. Τούτο, εξάλλου, έπιβεβαιώθηκε από τις έπί τόπου δοκιμές.

5.2. Έπί τόπου δοκιμές βραχομηχανικής

Για την έπιτόπια μελέτη της παραμορφωσιμότητας και διατμητικής αντοχής των άσβεστολιθικών πετρωμάτων της περιοχής του Ναού έγιναν δύο σύνθετες δοκιμές βραχομηχανικής, σε έπιλεγείσες θέσεις (δοκίμια Α και Β), όπου άφ' ένός οι τοπικές συνθήκες επέτρεπαν την έκτέλεση των δοκιμών, άφ' έτέρου δέ τó πέτρωμα μπορούσε να θεωρηθεί αντιπροσωπευτικό των σχηματισμών θεμελιώσεως του Ναού. Έπίσης, ή έπιλογή της έπιφάνειας διατμήσεως σε κάθε θέση έγινε έπειτα από προσεκτική εξέταση, ώστε να διερευνηθούν οι παράμετροι που αντιστοιχούν στις έπιφάνειες «άσθενέστερης συνοχής» (Β. Άνδρονόπουλος - Γ. Κούκης - Α. Τζιτζιρας, 1977).

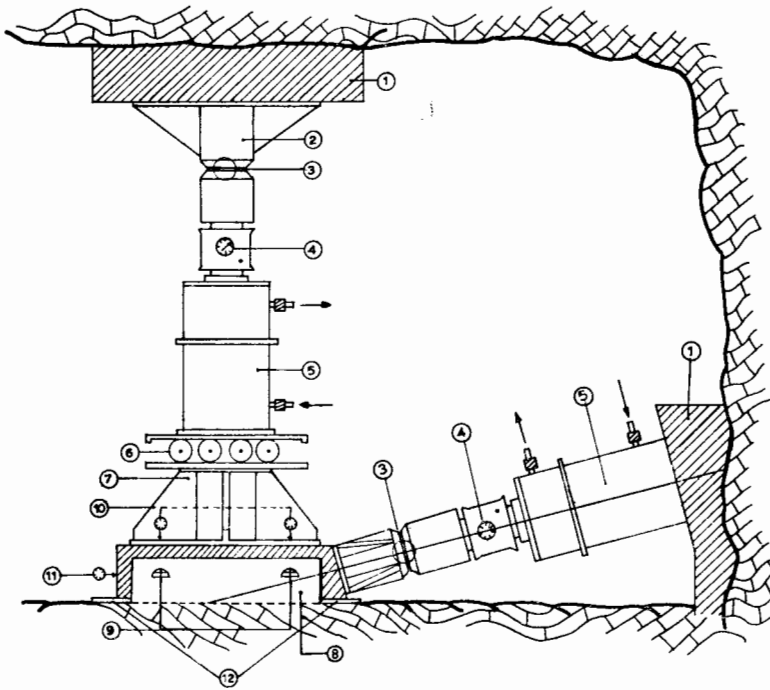
Η γενική διάταξη των δοκιμών φαίνεται στο Σχήμα 11. Η έπιφάνεια διατμήσεως του δοκιμίου είχε διαστάσεις 707×707 χλστ. με έμβαδó 5.000 τετρ. έκ., τó δέ ύψος του δοκιμίου ήταν 15 έκ. περίπου. Τó δοκίμιο τελικά ένσωματώθηκε μέσα σε χαλύβδινο πλαίσιο και πακτώθηκε με όπλισμένο σκυρόδεμα (Γεώερευνα Α.Ε., 1976). Για τις μετρήσεις των παραμορφώσεων χρησιμοποιήθηκαν μηχανισióμετρα άκριβείας έκατοστού του χιλιοστού (10^{-3} cm).

5.2.1. Έκτέλεση δοκιμών

Για να μελετηθεί ή παραμορφωσιμότητα του πετρώματος και ιδίως σε στρώμα μικρού πάχους στην περιοχή της διατμητικής έπιφάνειας, έπραγματοποιήθηκαν όρισμένοι κύκλοι φορτίσεως - άποφορτίσεως, με κάθετα πρós την έπιφάνεια διατμήσεως φορτία.

Κατ' αυτόν τόν τρόπο έμετρήθηκαν οι όλικές παραμορφώσεις της κορυφής του δοκιμίου.

Για τόν ύπολογισμό του μέτρου παραμορφώσεως χρησιμοποιήθηκε ó τύπος του Κ. G. Stagg, $E = m \cdot P \cdot (1 - \nu^2) / \sqrt{F \cdot \delta}$, όπου P ή δύναμη, F ή έπιφάνεια, δ ή παραμόρφωση, τά δέ ν (λόγος του Poisson) και m έχουν (για σχέση πλευρών 1 : 1) τιμές αντίστοιχα 0,1 και 0,95 (Κ. G. Stagg and C. Zienkiewicz, 1969). Ός γνω-



Σχ. 11. Γενική διάταξη τής δοκιμής διατμήσεως.
Fig. 11. General layout of shearing test.

- | | |
|--------------------------|---|
| 1 Όπλισμένο σκυρόδεμα | 7 Πλάκα κατανομής φορτίου |
| 2 Χαλύβδινο άντρείσιμα | 8 Δοκίμιο |
| 3 Σφαιρική άρθρωση | 9 Μηκυσσιόμετρα πλευρικών μετατοπίσεων |
| 4 Δυναμόμετρο | 10 Μηκυσσιόμετρα κατακορύφων μετακινήσεων |
| 5 Ύδραυλική πρέσσα 200 T | 11 Μηκυσσιόμετρα οριζοντίων μετατοπίσεων |
| 6 Κυλινδρικό έφεδρανο | 12 Φελιζόλ |

στό, ή τελική τιμή του E , όπως υπολογίζεται, παρέχει πολύ ικανοποιητική προσέγγιση, παρά το σφάλμα που εισάγεται λόγω τής παρεμβολής του χαλινού τής επιφάνειας διατμήσεως.

Η μελέτη τής διατμητικής άντοχής του πετρώματος έγινε με πλευρική φόρτιση τής επιφάνειας διατμήσεως σε διάφορα στάδια και με άξονική (κάθετη) φόρτιση.

Σε κάθε στάδιο δίνονταν στο πλευρικό φορτίο προοδευτικές αυξήσεις, αλλά ή τελική τιμή δέν υπερέβαινε την τιμή του καθέτου φορτίου, έκτός εάν το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων έδειχνε ένωρίτερα τάση πρὸς όλίσθηση. Στο τελευταίο στάδιο κάθετης φορτίσεως τὸ πλευρικό φορτίο ὀδηγήθηκε μέχρι θραύσεως.

5.2.2. Ἀποτελέσματα δοκιμῶν

α) Δοκίμιο Α

Οἱ κύκλοι φορτίσεως - ἀποφορτίσεως γιὰ τὴ μελέτη τῆς παραμορφωσιμότητος τοῦ δοκιμίου εἶχαν ὡς ἑξῆς :

0-0,44-0, 0,-0,888-0, 0-1,346-0, 0-1,774-0, 0-1,744-0, 0-3,55-0, 0,-6,21-0, 0-8,88-0. Οἱ κάθετες φορτίσεις (σ) ἔμετρῶντο σὲ kp/cm^2 , οἱ ἀντίστοιχες δὲ παραμορφώσεις καὶ ὁ χρόνος μέσα στὸν ὁποῖο πραγματοποιήθηκαν αὐτὲς εἶναι :

σ (kp/cm^2)	0,888	1,33	1,77	1,77	3,55	6,21	8,88
δ (mm)	0,12	0,30	0,42	0,56	0,88	1,78	3,07
Διάρκεια t (min)	20	40	60	180	70	160	180

Ἀπὸ τὶς ἀνωτέρω μετρήσεις ὑπολογίσθηκαν γιὰ τοὺς ἀσβεστόλιθους τοῦ δοκιμίου τὰ ἀντίστοιχα μέτρα παραμορφώσεως :

$$E \text{ ἀρχικόν} : 50.000 \text{ kp/cm}^2$$

$$E_e \text{ ἔλαστικότητας: } 35.000 \text{ kp/cm}^2$$

Ἡ φυσικὴ ὕγρασία τοῦ ἀσβεστόλιθου στὴ θέση τῆς δοκιμῆς ἦταν 1,5 - 1,85%, τοῦ δὲ ἀργιλικοῦ ὑλικοῦ τῶν ρωγμῶν καὶ μικρῶν κοιλοτήτων περὶ τὰ 38%.

Οἱ ἀσκηθεῖσες πλευρικές τάσεις (τ), κατὰ τὴ διάρκεια τῶν κύκλων φορτίσεως - ἀποφορτίσεως, γιὰ τὸν ὑπολογισμό τῆς διατμητικῆς ἀντοχῆς τοῦ πετρώματος ἔχουν ὡς ἑξῆς :

$$\tau \text{ (kp/cm}^2\text{)} \quad 0-0,858-0, \quad 0-1,285-0, \quad 0-1,670-0, \quad 0-2,57-0$$

Οἱ ἀντίστοιχες κάθετες φορτίσεις καὶ οἱ ἐπιτευχθεῖσες παραμορφώσεις εἶναι :

σ (kp/cm^2)	1,118	1,677	2,228	4,469
δ (mm)	0,03	0,06	0,15	0,25

Οἱ ἐπιτευχθεῖσες ὀριακὲς τιμὲς θραύσεως μὲ τὶς δοκιμὲς αὐτὲς ἔχουν ὡς ἑξῆς :

$$\sigma_{\max} = 7,817 \text{ kp/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = 4,911 \text{ kp/cm}^2$$

Ἔτσι οἱ προκύπτουσες τιμὲς γιὰ τὴ γωνία ἐσωτερικῆς τριβῆς καὶ τὴ συνοχή τῶν ἀσβεστολιθικῶν πετρωμάτων τῆς θέσεως αὐτῆς εἶναι :

$$\varphi = 40^\circ \quad c = 2,4 \text{ kp/cm}^2$$

β) Δοκίμιο Β

Ἐμελετήθηκε καὶ στὸ δοκίμιο αὐτό, τὸ ὁποῖο διατηρήθηκε σὲ κατάσταση διαβροχῆς καθ' ὅλη τὴ διάρκεια τῆς δοκιμῆς, ἡ παραμορφωσιμότητα καὶ διατμητικὴ ἀντοχή σὲ διαδοχικοὺς κύκλους φορτίσεως - ἀποφορτίσεως ὡς ἑξῆς :

(1) Δοκιμὴ παραμορφωσιμότητος :

σ (kp/cm^2)	0,888	1,77	3,55	7,10
δ (mm)	0,35	0,71	1,32	2,50
t (min)	105	95	110	125

Ἐκ τῶν δοκιμῶν αὐτῶν ὑπολογίσθησαν τὰ μέτρα ἐλαστικότητας :

$$\begin{aligned} E \text{ ἀρχικόν} & : 38.000 \text{ kp/cm}^2 \\ E_e \text{ ἐλαστικότητας} & : 25.000 \text{ kp/cm}^2 \end{aligned}$$

(2) Δοκιμὴ διατμητικῆς ἀντοχῆς :

τ (kp/cm ²)	0,858	1,710	3,43	5,14
σ (kp/cm ²)	1,118	2,28	4,469	6,696
δ (mm)	0,2	0,5	1,32	2,50

Τέλος, ἔγινε ἡ χάραξη οἰκογενείας καμπλῶν διατμητικῆς τάσεως ἴσης διατμητικῆς παραμορφώσεως σὲ διάγραμμα, μὲ ὀριζόντιο ἄξονα τὰ κάθετα φορτία. Ἐκ τῆς χάραξης αὐτῆς καὶ μὲ βάση τὸν ὀριακὸ συνδυασμὸ τῆς θραύσεως $\sigma_{\max} = 8,94 \text{ kp/cm}^2$ καὶ $\tau_{\max} = 6,27 \text{ kp/cm}^2$, προέκυψαν οἱ κάτωθι τιμὲς γιὰ τοὺς ἀσβεστολίθους πού ἐξετάσθησαν :

$$\begin{aligned} \varphi & = 250 \\ c & = 3,6 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

6, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ — ΓΕΝΙΚΑΙ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Οἱ σημαντικότερες παρατηρήσεις καὶ τὰ συμπεράσματα ἀπὸ τὴ μελέτη τῶν μηχανικῶν χαρακτηριστικῶν πού ἔγινε, συνοψίζονται στὰ ἀκόλουθα :

- α. Στὶς ἐπὶ τόπου δοκιμῆς ἢ ἐπιφάνεια τῶν δοκιμῶν περιέκλειε μικρορωγμῆς, διαρρήξεις καὶ διαβρωσιγενεῖς κοιλότητες καὶ πρέπει νὰ θεωρηθῆ ὅτι ἀποτελεῖ συνήθη μορφή στὸν ἀσβεστολιθικὸ σχηματισμὸ πού ἐρευνήθηκε. Ἐπομένως, ἡ διατμητικὴ ἀντοχὴ κατὰ μῆκος τῆς ἐπιφανείας τοῦ δοκιμίου ἀντιπροσωπεύει, σὲ ἰκανοποιητικὸ βαθμὸ, τὴ διατμητικὴ ἀντοχὴ τοῦ ἀσβεστολιθικοῦ σχηματισμοῦ.
- β. Οἱ παραμορφώσεις, κατὰ τὴν ἐκτέλεση τῶν ἐπὶ τόπου δοκιμῶν, κατὰ κανόνα παρακολούθησαν ὁμαλὰ καὶ προοδευτικὰ τὴν αὐξηση τῶν φορτίσεων στὸ πέτρωμα. Αὐτὲς ἦταν 3,07 καὶ 2,5 m m. γιὰ κάθετες φορτίσεις 8,88 καὶ 7,10 Kp/cm² (Kg/cm²) ἀντίστοιχα. Στὰ ἐνδιάμεσα στάδια φορτίσεως ἢ αὐξηση τῶν καθέτων φορτίων προκαλοῦσε αὐξηση τῆς παραμορφώσεως τῆς αὐτῆς τάξεως καὶ στὰ δύο δοκίμια, γιὰ τὴν αὐτὴ φόρτιση. Παρατηρήθηκε μόνον ὅτι ἡ παραμόρφωση τοῦ δοκιμίου Α πραγματοποιήθηκε μὲ ρυθμὸ ταχύτερο σὲ σύγκριση πρὸς τὸ δοκίμιο Β, τοῦ ὁποῦ ὅμως ἡ παραμόρφωση, ὑπὸ ἀσθενεῖς φορτίσεις, ἦταν ἰσχυρότερη ἐκείνης τοῦ δοκιμίου Α. Προφανῶς τοῦτο πρέπει νὰ ἀποδοθῆ στὴν ἐντονότερη τεκτονικὴ καταπόνηση (διάρρηξη καὶ κερματισμὸ) τοῦ πετρώματος.
- γ. Οἱ πλευρικῆς τάσεις πού ἀσκήθηκαν γιὰ τὸν προσδιορισμὸ τῆς διατμητικῆς ἀντοχῆς τοῦ πετρώματος ἔφθασαν προοδευτικὰ τὶς τιμὲς 2,57 καὶ 5,14 Kp/cm², μὲ ἀντίστοιχα κάθετα φορτία 4,469 καὶ 6.696 Kp/cm². Οἱ ἀντίστοι-

χες παραμορφώσεις έκδηλώθηκαν όμαλά και έφθασαν αντίστοιχα στις τιμές 0,25 και 2,50 mm, ενώ οί παραμορφώσεις στις όριακές τιμές θραύσεως ήταν 4,45 και 5,4 mm.

- δ. Τά μέτρα παραμορφώσεως, πού υπολογίσθηκαν με την άνωτέρω στατική μέθοδο, μπορούν να θεωρηθούν ως αντιπροσωπευτικά του έντονα διεργημένου και καταπονημένου άσβεστολίθου. Οί τιμές πού βρέθηκαν, πρέπει να θεωρηθούν ότι αντιπροσωπεύουν τά κατώτερα μάλλον όρια του φάσματος κυμάνσεως των τιμών του Ε για τόν άσβεστολιθικό σχηματισμό, πού έρευνήθηκε, και τουτο συνάγεται από τις μακροσκοπικές παρατηρήσεις, για την φυσική κατάσταση των άσβεστολίθων.

Τονίζεται, επίσης, ότι οί τιμές των μέτρων παραμορφώσεως αντιπροσωπεύουν φόρτιση των δοκιμών κάθετα προς τη στρώση, ενώ παράλληλα προς αυτή οί τιμές αναμένονται άκόμη μεγαλύτερες.

- ε. Οί τιμές συνοχής, πού προσδιορίσθηκαν για τους άσβεστολίθους, είναι πράγματι ύψηλές. Για την γωνία έσωτερικής τριβής ή τιμή των 25° πού βρέθηκε στο δοκίμιο Β είναι αισθητά μικρότερη τής αντίστοιχης του δοκιμίου Α και πρέπει μάλλον να άποδοθί στην παρουσία τής άργίλου.

- στ. Τά άποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών για τόν έλεγχο τής παραμορφωσιμότητας, παρουσιάζουν διαφορές, μερικές φορές σημαντικές, από τις τιμές πού προέκυψαν κατά τις δύο έπί τόπου δοκιμές. Οί διαπιστωθείσεις στο εργαστήριο ύψηλότερες τιμές πρέπει να άποδοθούν κυρίως στη διαφορετική δομή των δοκιμών, δηλ. τά μεν εργαστηριακά είναι πολύ μικρότερων διαστάσεων, γενικά όμοιόμορφα και συμπαγή, ενώ τά διαμορφούμενα στο ύπαιθρο δοκίμια είναι πολύ μεγαλύτερων διαστάσεων και παρουσιάζουν συνήθως άσυνέχειες. Οί διαφορές αυτές είναι πλέον έκδηλες στο έλάχιστο βάθος, στο όποιο πραγματοποιήθηκαν οί έπί τόπου δοκιμές.

*Έτσι, ή άντοχή σε άνεμπόδιση θλίψη κυμάνθηκε στις εργαστηριακές δοκιμές συνήθως μεταξύ 100—350 Kg/cm², οί πιέσεις δέ, πού άσκήθηκαν στον άσβεστόλιθο στις έπί τόπου δοκιμές και προκάλεσαν την παραμόρφωση των δοκιμών, κυμαίνονταν από 7—9 Kg/cm²,

*Επίσης, τά μέτρα έλαστικότητας κυμάνθηκαν στο εργαστήριο από 60.000 έως 320.000 Kg/cm², για φόρτιση των δοκιμών υπό γωνία, ως προς τό έπίπεδο στρώσεως, κυμαινόμενη από 30° — 50° .

*Αντίθετα, τά υπολογισθέντα μέτρα έλαστικότητας στις έπί τόπου δοκιμές, για φόρτιση κάθετα προς τη στρώση (όπου αυτά παίρνουν τη μικρότερη τιμή), εκυμάνθηκαν από 25.000 έως 35.000 Kg/cm², δηλ. έλαβαν τιμές μικρότερες μέχρι 10 φορές από τις αντίστοιχες των εργαστηριακών δοκιμών.

Πρέπει να τονισθί ότι στο εργαστήριο οί παραμορφώσεις υπολογίσθηκαν από τό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων οί τιμές δέ αυτές άντιστοιχούν στην όριακή τιμή θραύσεως του συμπαγούς δοκιμίου. *Αντίθετα, οί τιμές του μέτρου παραμορφώσεως στις έπί τόπου δοκιμές προσδιορίσθηκαν άπ' ευθείας,

άντιστοιχοῦν δὲ στὴν ἐπιβληθεῖσα φόρτιση τοῦ δοκιμίου (δὲν ὀδηγήθηκε μέχρι θραύσεως), τὸ ὁποῖο ἀντιπροσωπεύει σὲ ἰκανοποιητικὸ βαθμὸ τὸν ἐξετασθέντα σχηματισμὸ.

Συμπερασματικά, ἀπὸ τὶς ἐργαστηριακὲς καὶ ἐπὶ τόπου δοκιμὲς προέκυψε ὅτι οἱ ἐξετασθέντες ἀσβεστόλιθοι παρουσιάζουν ἐλαττωμένη ἀντοχὴ σὲ φόρτιση.

ABSTRACT

The mechanical properties of the Upper Cretaceous limestones of the Temple of Apollo Epicurios in Figaleia were investigated perspectivevely to the geological structure and lithological composition of the wider area.

According to the macroscopic observations and the execution of five sample boreholes and pressurized water tests within them it has been testified that it is about strongly folded, intensively fracturized and brecciated, thin plated limestones dipping at 30^o-40^o, exhibiting quite often karstic structures and minor displacements.

These limestones were examined in both laboratory (unconfined compressive tests) and in situ (in situ tests of rock mechanics) and were thus studied their shear strength and deformability. The extracted values are in agreement with the platy structure and the tectonic exhaustion of the limestones in question.

At last, the physical and mechanical properties of the clayey material which occurs at the foundations of the Temple, were examined by laboratory tests, through which their rather high compressibility has been testified.

B I B Λ Ι Ο Γ Ρ Α Φ Ι Α

1. ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ, Β. (1973): Γεωλογικὴ - γεωτεχνικὴ μελέτη σήραγγος Ἀρτεμισίου. Ὑπουργεῖον Δημοσίων Ἔργων, Δ/νσις Γ₂, Ἀθήναι.
2. ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ, Β., ΚΟΥΚΗ, Γ., ΤΖΙΤΖΙΡΑ, Α. (1976): Γεωτεχνικὴ μελέτη τῆς περιοχῆς τοῦ Ναοῦ Ἐπικούριου Ἀπόλλωνος. ΙΓΜΕ, Ἀθήναι, Γεωτεχνικὰ Ἔρευνα, ἀριθ. 3, σ. 34.
3. ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΥ, Β., ΚΟΥΚΗ, Γ., ΤΖΙΤΖΙΡΑ, Α. (1977): Εἰδικὴ γεωτεχνικὴ μελέτη τῆς περιοχῆς τοῦ Ναοῦ Ἐπικούριου Ἀπόλλωνος (Β' φάσις μελέτης). ΙΓΜΕ, Ἀθήναι, Γεωτεχνικὰ Ἔρευνα, ἀριθ. 6, σ. 41.
4. ΓΕΩΡΕΥΝΑ, Α.Ε. (1976): Ἐπὶ τόπου δοκιμαὶ βραχομηχανικῆς εἰς τὴν περιοχὴν τοῦ Ναοῦ Ἐπικούριου Ἀπόλλωνος. Ἀθήναι, Πολυγραφημένη ἔκθεσις, σ. 5.
5. ΓΙΑΛΟΥΡΗ, Ν. (1973): Ἀνασκαφαὶ εἰς τὸ ἐν Βάσσαις Φιγαλείας Νάον τοῦ Ἐπικούριου Ἀπόλλωνος. Ἀρχαιολογικὰ Ἀνάλεκτα ἐξ Ἀθηνῶν, τόμος VI, τ. 1, σ. 39 - 55.
6. JAEGER, G. J. and COOK, G. W. N. (1969): Fundamentals of Rock Mechanics. — London,
7. ΚΟΥΚΗ, Γ. (1976): Μερικὰ ἀπόψεις ἐπὶ τῶν μηχανικῶν ἰδιοτήτων τῶν ψαμμιτῶν. Τεχνικὰ Χρονικά, Ἀθήναι, τ. 2.
8. KRYNINE, P. D. and JUDD, R. W. (1957): Principles of Engineering Geology and Geotechnics. New York.

9. ΛΑΛΕΧΟΥ, Ν. (1974): Γεωλογική δομή τής Κεντρο-Δυτικής Πελοποννήσου. Γεωλογικαί Ἀναγνωρίσεις, Νο 53, σ. 94.
10. SMITH, G. N. (1968): Elements of Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers. London.
11. STAGG, K. G. and ZIENKIEWICZ, O. C. (1969): Rock mechanics in Engineering Practice.— New York.
12. TERZAGHI, K. and PECK, R. (1967): Soil Mechanics in Engineering Practice.— New York.

Π α ρ α τ ῆ ρ ῆ σ η Π. Τσόφλια. Κατὰ τὴν γνώμη μου ὁ τίτλος «γεωλογική δομή κλπ.» δὲν ἀντιστοιχεῖ στὸ περιεχόμενο τῆς ἀνακοινώσεως, διότι :

α) Δὲν εἶναι δυνατόν νὰ μιλοῦμε γιὰ γεωλογική δομή μιᾶς περιοχῆς ποῦ ἀφορᾷ μελετηθεῖσα ἐπιφάνεια λιγότερη ἀπὸ ἓνα τετραγωνικὸ χιλιόμετρο ὅπως εἶναι αὐτὴ ποῦ ἀναφέρεται στὸ χῶρο καὶ μόνον τοῦ ἀρχαίου μνημείου.

β) Τὰ γεωλογικὰ στοιχεῖα τὰ ὁποῖα ἐδόθησαν εἶναι πρὸ πολλοῦ γνωστὰ ἀπὸ πολλοὺς συγγραφεῖς (Philippson 1898. Negris 1906. Mansy 1969, 1971. Λαλεχὸς 1974) καὶ κανένα ἀπολύτως νέο στοιχεῖο δὲν προσετέθη στὴ γεωλογία τῆς περιοχῆς.

A. Philippson (1892) : Der Peloponnes, Berlin.

Ph. Negris (1906) : Sur la géologie du mont Ithome en Messénie CRAS, 143, 703-705

J. L. Mansy : Etude géologique des monts de Kyparissia (Massénie, Grèce). DEA, Univ Lille, 1969, résumé Ann. Soc. Géol. Nord, 91 : 57—63, 1971.

Ἐ π ἄ ν ῆ τ ῆ σ η : Προφανῶς ὁ κ. Τσόφλιας παρερμηνεῦει τὸν ὄρο γεωλογική δομή καὶ δὲν κατενόησε τὰ πορίσματα τῆς μελέτης. Ἡ ἐργασία ἀναφέρεται στὴ γεωλογική δομὴ καὶ μηχανικὴ συμπεριφορὰ τῶν ἀνωκρητιδικῶν ἀσβεστολίθων στὴ συγκεκριμένη περιοχὴ ποῦ μελετήθηκε, ὅπως προέκυψαν ἀπὸ τὴν ἐπὶ τόπου μελέτη καὶ τὴν ἐργαστηριακὴ ἔρευνα σὲ συνδυασμὸ μὲ τὰ πορίσματα τῆς μελέτης τῆς εὐρύτερης περιοχῆς (καὶ ὄχι μόνον τῆς στενῆς περιοχῆς) καθὼς καὶ τὰ βιβλιογραφικὰ δεδομένα, ἰδιαίτερα δὲ τῆς ἐργασίας τοῦ κ. Ν. Λαλεχοῦ, ἢ ὁποῖα σαφῶς ἀναφέρεται ἐντὸς τοῦ κειμένου (σελίς 164) καὶ στὴ βιβλιογραφία στὸ τέλος τοῦ κειμένου.

Ὅσο γιὰ τὶς ἄλλες ἐργασίες ποῦ ἀναφέρει ὁ κ. Τσόφλιας εἶναι γνωστὸ τὸ περιεχόμενο καὶ ἡ διαφορὰ τῶν ἀπόψεων τῶν διαφόρων συγγραφέων, πουθενὰ ὅμως δὲν θίγονται σ' αὐτὲς τὰ στοιχεῖα καὶ τὰ πορίσματα ποῦ δίδονται στὴν παρούσα μελέτη.