



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ-ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ
ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

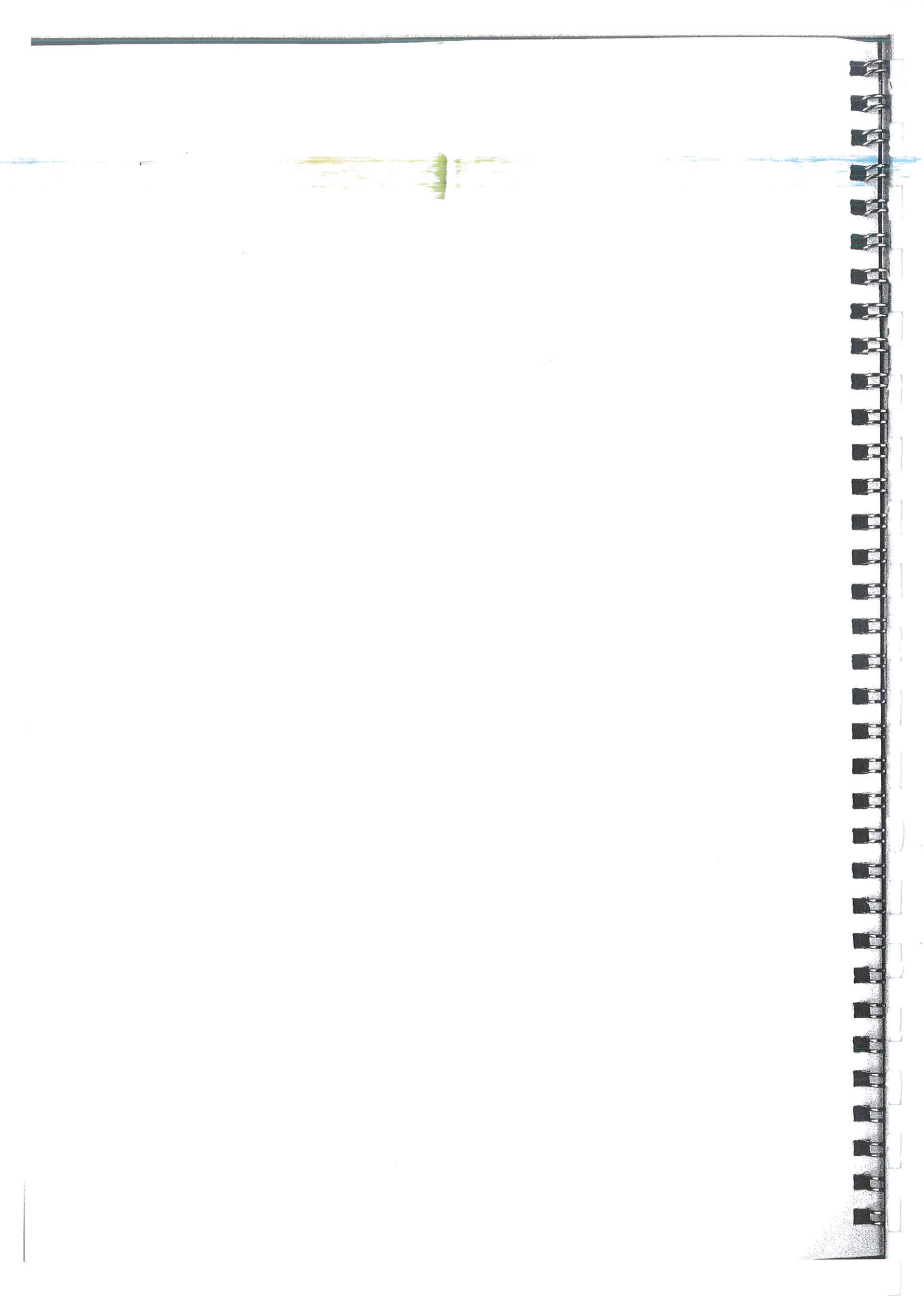


Τεχνική έκθεση στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου «Ερευνητικές εργασίες και διερεύνηση βέλτιστων λύσεων αποκατάστασης-ενίσχυσης φέροντος οργανισμού Ιερού Ναού Αγίου Μηνά Ηρακλείου Κρήτης»

Θέμα: Γεωλογική και Γεωτεχνική Διερεύνηση του Υπεδάφους

Συντάξας: Μ. Καβαδάς, ΠΜ, καθ. ΕΜΠ

Επιστ. Υπεύθυνος: Β. Κουμούσης, ΠΜ, καθ. ΕΜΠ





ΕΥΚΟΣ 04

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΚΑΙ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΒΕΛΤΙΣΤΩΝ ΛΥΣΕΩΝ
ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ-ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΙΕΡΟΥ ΝΑΟΥ
ΑΓΙΟΥ ΜΗΝΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ



Τεχνική έκθεση στο πλαίσιο του ερευνητικού έργου «Ερευνητικές εργασίες και
διερεύνηση βέλτιστων λύσεων αποκατάστασης-ενίσχυσης φέροντος οργανισμού Ιερού
Ναού Αγίου Μηνά Ηρακλείου Κρήτης»

Θέμα: Γεωλογική και Γεωτεχνική Διερεύνηση του Υπεδάφους

Συντάξας: Μ. Καβαδάς, ΠΜ, καθ. ΕΜΠ

Επιστ. Υπεύθυνος: Β. Κουμούσης, ΠΜ, καθ. ΕΜΠ



1 Εισαγωγή

Σκοπός του έργου είναι η επιστημονική διερεύνηση και διάγνωση των αιτιών εμφάνισης και εξέλιξης συνολικά των δομικών βλαβών του κυρίως Ναού και των Κωδωνοστασίων του, η τεκμηρίωση των φάσεων κατασκευής του κατά τον 19ο αιώνα και της περαιτέρω πορείας του, καθώς και η πρόταση των απαιτούμενων ενισχυτικών μέτρων για τη βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του, σε συνδυασμό με την θεμελίωσή του.

Η διερεύνηση του τρόπου θεμελίωσης του έργου και η ποσοτικοποίηση των μηχανικών χαρακτηριστικών της έδρασης των δομικών στοιχείων του ναού επί του εδάφους οδηγεί στην πρωτοπόρα εφαρμογή συνδυασμού πολλαπλών μεθόδων διερεύνησης της δομής του μνημείου και της αλληλεπίδρασης του με το περιβάλλον έδαφος, ιδιαίτερα υπό σεισμικές καταπονήσεις, όπου η εντόνως μη γραμμική συμπεριφορά του εδάφους θεμελίωσης επηρεάζει σημαντικά την δυναμική απόκριση του κτιρίου μέσω της τροποποίησης των ιδιοσυχνοτήτων και ιδιο-μορφών του.

Πέραν της θεμελίωσης, ένα από τα θέματα που εξετάζονται είναι η διερεύνηση των πλέον ενδεδειγμένων μεθόδων αντιμετώπισης των έντονων προβλημάτων της ανερχόμενης υγρασίας που αλλοιώνει και φθείρει την φέρουσα τοιχοποιία αλλά και την αργογράφηση του Ναού, με την διερεύνηση λύσεων αποστράγγισης του περιβάλλοντος χώρου γύρω από τον Ναό. Επισημαίνεται ότι, παρά το γεγονός ότι τα όμβρια ύδατα της σκεπής του Ναού δεν διοχετεύονται πλέον στην υπόγεια δεξαμενή που βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του Ναού, παρατηρείται ύπαρξη μικρής ποσότητας νερού εντός της δεξαμενής, η οποία εκτιμάται ότι προέρχεται από την συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα της δεξαμενής που οφείλονται στην ανερχόμενη υγρασία από το υπέδαφος που περιβάλλει την δεξαμενή. Γενικότερα, η ανερχόμενη υγρασία αποτελεί στοιχείο υποβάθμισης της αντοχής του δομικού πωρόλιθου της τοιχοποιίας και των συνδετικών της κονιαμάτων, αλλά και της ασβεστολιθικής μάργας στην οποία είναι θεμελιωμένοι οι περιμετρικοί τοίχοι και οι πεσσοί και κολώνες του Ναού, όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων που εκτελέσθηκαν το έτος 1976 από το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (Κ.Ε.Δ.Ε). Ειδικώς, η μάργα του Ηρακλείου είναι γνωστό ότι ευνοεί την απορρόφηση και κατακράτηση της υγρασίας και συνεπώς η ενδελεχής αποστράγγισή της είναι απαραίτητη για την ανάσχεση των ανωτέρω διαδικασιών υποβάθμισης.

Συνεπώς, η διερεύνηση του εδάφους και του τρόπου θεμελίωσης του Ι.Ν. Αγ Μηνά Ηρακλείου δεν αποτελεί μόνον αναγκαιότητα για την ανάλυση της σεισμικής συμπεριφοράς του ναού (ώστε να προταθούν οι αναγκαίες επισκευαστικές επεμβάσεις) αλλά και ανάγκη επιστημονικής τεκμηρίωσης της τεχνολογίας θεμελίωσης μνημειακών κατασκευών κατά το δεύτερο ήμισυ του 19^{ου} αιώνα.

Ειδικότερα, ο επιβλητικός ναός του Αγίου Μηνά θεμελιώθηκε στις 25 Μαρτίου 1862 ως εκδήλωση ευγνωμοσύνης των Ηρακλειωτών για την προστασία που πρόσφερε ο Άγιος Μηνάς στην πόλη. Αρχιτέκτονας του ναού ήταν ο Ηπειρώτης μάστορας Αθανάσιος Μούσης, ο οποίος είχε αναλάβει επίσης τον Άγιο Τίτο και τους στρατώνες στην Πλατεία Ελευθερίας (το κτίριο που στεγάζει σήμερα την Νομαρχία Ηρακλείου και τα Δικαστήρια). Τέσσερα χρόνια αργότερα, οι εργασίες διακόπηκαν λόγω της Κρητικής Επανάστασης του 1866, ενώ είχε ολοκληρωθεί η θεμελίωση του ναού και το ύψος των τοίχων είχε φθάσει στα 4 μέτρα

περίπου. Μετά από 17-ετή διακοπή, οι εργασίες επαναλήφθηκαν στις 17 Ιανουαρίου 1883 και περατώθηκαν το 1895, οπότε ο ναός εγκαινιάστηκε στις 16 Απριλίου 1895.

Στο παρόν Κεφάλαιο, συνοψίζονται τα διαθέσιμα στοιχεία από την Γεωλογία της περιοχής, τα αποτελέσματα της παλαιότερης γεωτεχνικής έρευνας (1976), τα στοιχεία σχετικά με τον τρόπο θεμελίωσης του ναού που συλλέχθηκαν από την διάνοιξη των ερευνητικών φρεάτων (Ιούνιος 2020 στην περίμετρο του ναού και Οκτώβριος 2020 σε εσωτερικό πεσσό) και τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών δοκιμών σε δείγματα που λήφθηκαν από τα φρέατα.



Σχήμα Χ.1: Θέση του Ι.Ν. Αγίου Μηνά στο κέντρο της πόλεως του Ηρακλείου

2 Γεωλογική Αξιολόγηση

Το Σχήμα Χ.1 δείχνει την θέση του Ναού Αγίου Μηνά στο κέντρο της πόλεως του Ηρακλείου. Η περιοχή του ναού είναι σχετικώς επίπεδη, με ελαφρά κλίση κατωφέρειας προς τα ΒΔ του ναού, η οποία εκδηλώνεται και με την ανισοσταθμία (κατωφέρεια) της πλατείας του ναού στην ΒΔ πλευρά του. Αντιθέτως, στις υπόλοιπες διευθύνσεις, το έδαφος είναι περίπου επίπεδο, γεγονός που αποτελεί γενικό χαρακτηριστικό της ευρύτερης κεντρικής περιοχής της πόλης του Ηρακλείου (λόγω της γεωλογίας – βλέπε παρακάτω). Σήμερα η ευρύτερη περιοχή του ναού είναι κτισμένη εντόνως, και συνεπώς η επιφάνεια του εδάφους εν πολλοίς είναι καλυμμένη με κτίσματα, πλακόστρωτα και ασφατικές επικαλύψεις ώστε να μην είναι ορατή και συνεπώς δυνατή η επισκόπηση της επιφάνειας του εδάφους. Όμως, εκτιμάται ότι κατά τον χρόνο ανέγερσης του ναού η περιοχή πρέπει να είχε ελάχιστα κτίσματα και συνεπώς η

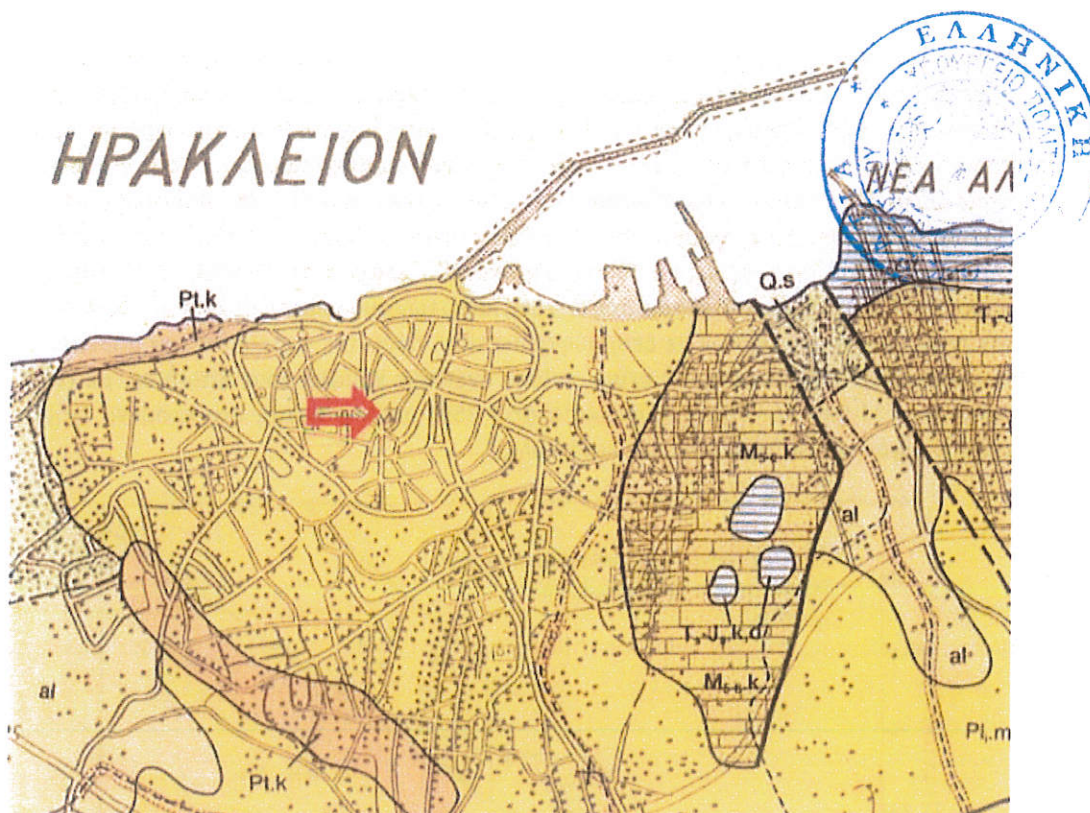


επιλογή της συγκεκριμένης θέσης ανέγερσης του ναού πρέπει να έγινε και με «γεωλογική θεώρηση», με την έννοια ότι επελέγη μια θέση όπου το «έδαφος ήταν βραχώδες» (σύγκριση με τις γύρω περιοχές).



Σχήμα Χ.2: Θέση του Ι.Ν. Αγίου Μηνά στο κέντρο της πόλεως του Ηρακλείου. Φαίνεται και η πλατεία του ναού με τον παλαιό ναό του Αγίου Μηνά προς τα ΒΔ και τον ναό της Αγίας Αικατερίνης (σήμερα Μουσείο Χριστιανικής Τέχνης) προς τα ΒΑ.

ΗΡΑΚΛΕΙΟΝ



ΝΕΟΓΕΝΕΣ ΚΑΤΩΤΕΡΟ-ΜΕΣΟ ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ

Σχηματισμός Φοινικιάς: λευκές, ομοιογενείς μάργες ή μαργαίκοι ασβεστόλιθοι, τεφρωπές άργιλοι με καστανές συχνά λεπτοστρωμένες παρεμβολές, λευκόφαιες απολιθωματοφόρες μάργες, φυλλώδεις μάργες ή διατομίτες (με υπολείμματα φυτών, ψαριών και βελόνες σπόγγων) και βιοκλαστικοί ασβεστόλιθοι. Η βάση του σχηματισμού γενικά συνίσταται από ένα αδιαβάθμητο «μαργαϊκό λατυποπαγές», με συστατικά λευκών ομοιογενών μαργών, ασβεστολίθων και μαργών του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας, πρασινωπών αργίλων και προνεογενών πετρωμάτων. Επίκειται ασύμφωνα του σχηματισμού Αγ. Βαρβάρας.

Απολιθώματα:

Globorotalia margaritae, *Globigerina nepenthens*, *Globoquadrina altisp*
Globorotalia puncticulata (DESHAYES), *Ostrea*, *Dentalium*, *Turritella*, *N*
Ammussium, *Arca*, *Cardium*, *Venus*, *Lithothamnium*, *Cora*

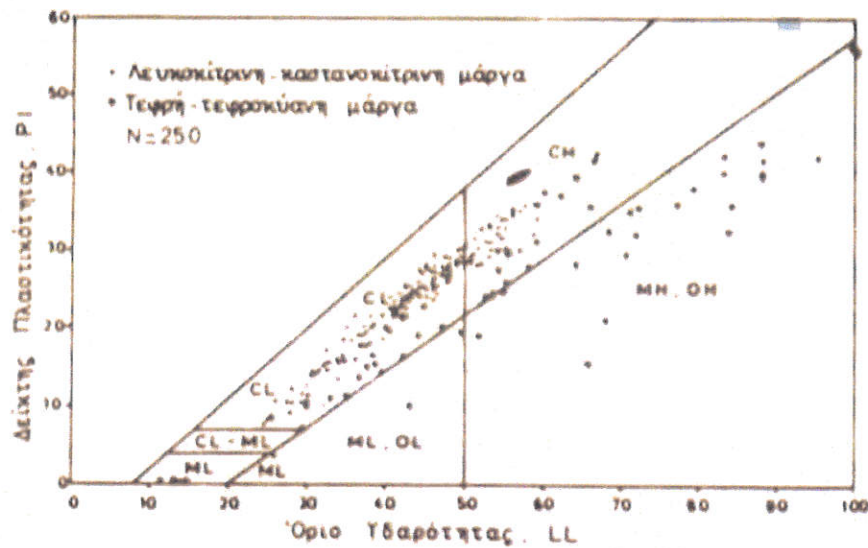
Πάχος: υπερβαίνει τα 150 m.

Σχήμα Χ.3: Θέση του Ι.Ν. Αγίου Μηνά στον Γεωλογική Χάρτη της πόλεως του Ηρακλείου
(απόσπασμα από χάρτη ΙΓΜΕ, Φύλλο Ηράκλειο)

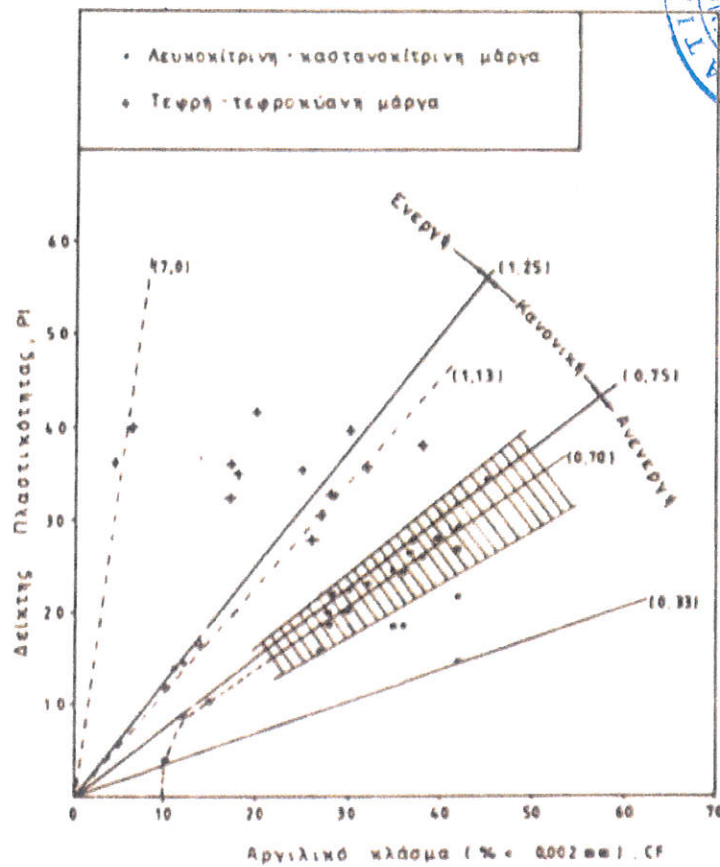
Γεωλογικώς (Σχήμα Χ.3), το κέντρο της πόλεως του Ηρακλείου (δηλαδή το τμήμα της πόλεως που περιβάλλεται από τα ενετικά τείχη) είναι σχετικώς επίπεδο και δομείται από τις πλειοκαινικές, ανοικτόχρωμες λευκο-κιτρίνου χρώματος μάργες, δηλαδή σιφρούς αργιλικούς σχηματισμούς του νεογενούς με περιεκτικότητα σε ασβέστιο 35-80%, που αυξάνει σημαντικά την αντοχή και μειώνει την συμπίεσότητά τους.



Η Μηχανική Συμπεριφορά των Μαργών του Ηρακλείου έχει διερευνηθεί από τον Γ. Τσιαμπάο στην Διδακτορική του διατριβή με τίτλο «Τεχνικο-γεωλογικοί Χαρακτήρες των Μαργών Ηρακλείου Κρήτης» (Παν. Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, 1989) και συνοψίζεται στην δημοσίευση με τίτλο «Μηχανική Συμπεριφορά Μαργών Ηρακλείου» των Γ. Τσιαμπάου και Σ. Χριστούλα στο 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής (1988). Από τις ανωτέρω εργασίες προκύπτει ότι οι μάργες του Ηρακλείου είναι ημιβραχώδεις σχηματισμοί (πολύ σκληρές ιλυώδεις άργιλοι) με ποσοστό λεπτοκόκκου κλάσματος 65-95%, αλλά χαμηλό ποσοστό καθαρώς αργιλικού κλάσματος (5-25%) λόγω των συσσωματώσεων που οφείλονται στην συγκόλληση των κόκκων με δεσμούς ασβεστίου. Λόγω της παρουσίας του ασβεστίου (σε ποσοστά 35-80%), οι μάργες έχουν επίσης σχετικά χαμηλά όρια Atterberg, με όριο υδαρότητας 24-59% και δείκτη πλαστικότητας 8-25%, όπως φαίνεται στο επόμενο Σχήμα (από την εργασία των Τσιαμπάου και Χριστούλας).



Εικ. 1. Διάγραμμα πλαστικότητας μαργών Ηρακλείου



κ. 3. Ενεργότητα μαργών

Πίνακας Ι. Διατμητικά χαρακτηριστικά μαργών
Table I. Shear characteristics of marls

Τύπος Δοκιμής	Λευκοκ. - Καστανοκ.	Τεφρή- Τεφροκύανη
1. Αστράγγιστη χωρίς στερεοποίηση σ_u (kPa) φ_u	39-126 9°-20°	10-180 0°-24°
2. Αστράγγιστη με στερεοποίηση - ολικές τάσεις σ (kPa) φ - ενεργές τάσεις, C' (kPa) φ'	15-95 19°-36° 6-75 27°-41°	53-200 17°20'-29° 47-150 21°50'-32°40'



Η αντοχή των μαργών σε ανεμπόδιστη θλίψη ποικίλει αναλόγως της περιεκτικότητας σε ασβέστιο (μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε ασβέστιο αυξάνει την αντοχή της) και του βαθμού αποσάθρωσης και κυμαίνεται μεταξύ 100 kPa και 1100 kPa.

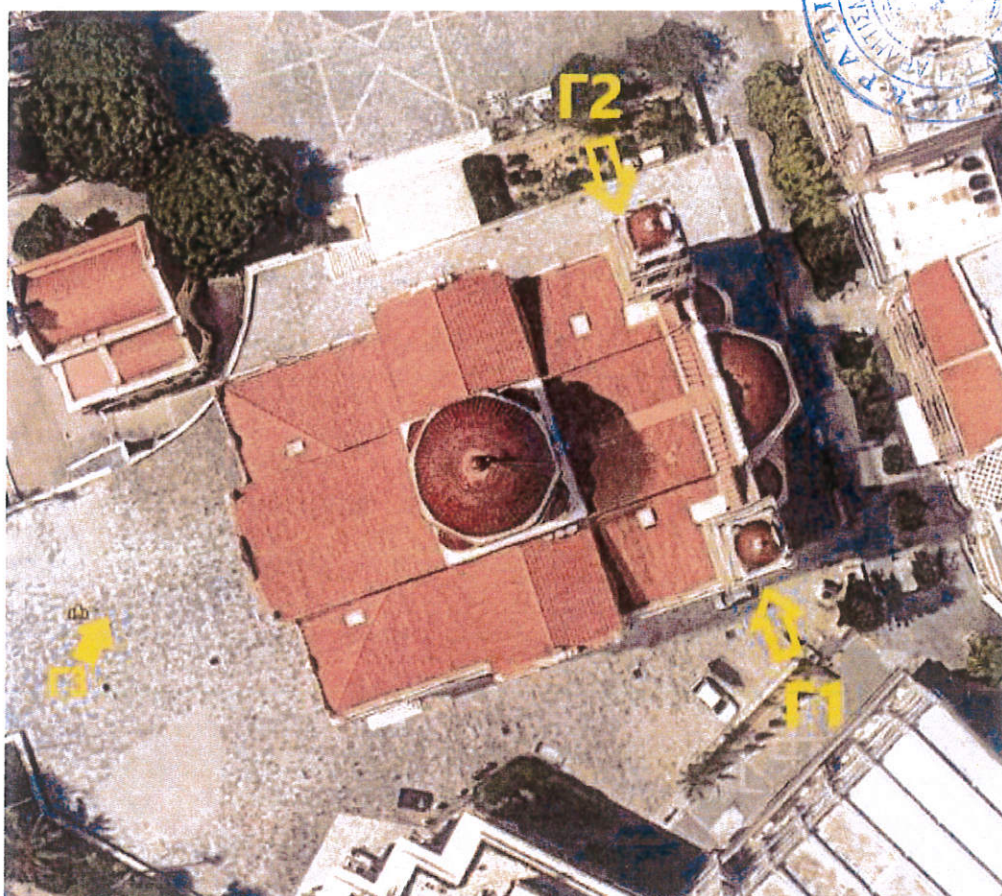
Με βάση τα ανωτέρω εκτιμάται ότι, στην θέση του Ι. Ναού Αγ. Μηνά, η μάρμα πρέπει να βρίσκεται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και γενικώς να είναι συμπαγής και υψηλής αντοχής, με το σκεπτικό της επιλογής της θέσης κατασκευής του ναού, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Είναι όμως αρκετά πιθανό, η θέση του ναού να επιλέχθηκε απλώς λόγω της γειννίας με τον παρακείμενο παλαιό ναό του Αγίου Μηνά, ο οποίος είναι ένας μικρός ναός και συνεπώς η θέση του δεν επιλέχθηκε με γεωλογικά κριτήρια. Η τελευταία υπόθεση φαίνεται περισσότερο πιθανή, όπως αποδείχθηκε και από τις γεωτεχνικές έρευνες που περιγράφονται στα επόμενα.

3 Σύνοψη των διαθέσιμων γεωτεχνικών δεδομένων

Λόγω του μεγέθους του ναού, της κατασκευής του από ψαθυρές λιθοδομές και τοιχοποιίες, του μεγάλου μεγέθους του θόλου και ύψους/λυγερότητας των κωδωνοστασίων (σε ύψος 19μ πάνω από τον κυρίως ναό, σε συνολικό ύψος 32μ περίπου), αλλά της έντονης σεισμικής δραστηριότητας της περιοχής του Ηρακλείου, ο ναός υπέστη βλάβες σε διάφορες περιόδους και κυρίως κατά τον ισχυρό σεισμό της 22/02/1970 (με επίκεντρο στην θάλασσα, λίγα χιλιόμετρα βορείως του Ηρακλείου) ο οποίος προκάλεσε ζημιές στα κωδωνοστάσια του ναού. Αντιθέτως, κατά τον ισχυρό σεισμό της 26/06/1926 δεν αναφέρθηκαν βλάβες στον ναό, παρά το γεγονός ότι προκλήθηκαν βλάβες σε άλλα κτίρια (π.χ. στο Αρχαιολογικό Μουσείο).

Στις 10 Μαρτίου 1974 κατέρρευσε τμήμα του στηθαίου του βορείου κωδωνοστασίου του ναού, γεγονός που προκάλεσε την ανάθεση μελέτης αξιολόγησης της κατάστασης του ναού και αποκατάστασης των βλαβών των κωδωνοστασίων.

Στο πλαίσιο αυτής της μελέτης, τον Μάιο 1976 ανατέθηκε από την Ιερά Αρχιεπισκοπή Κρήτης στο Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ) η εκτέλεση Γεωτεχνικής Έρευνας που περιλάμβανε την διάνοιξη δύο δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (Γ1 και Γ2), βάθους εκάστης περί τα 15.5μ, δίπλα στα κωδωνοστάσια, όπως φαίνεται στο Σχήμα Χ.4. Στο Σχήμα σημειώνεται και η θέση μιας τρίτης γεώτρησης (Γ3) που διανοίχθηκε μεταγενέστερα, στο πλαίσιο της διερεύνησης κατασκευής υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων στην πλατεία της (δυτικής) πρόσοψης του ναού (η οποία τελικώς δεν υλοποιήθηκε). Για την γεώτρηση Γ3 δεν βρέθηκαν στοιχεία αλλά μόνον προφορικές αναφορές που αξιολογούνται παρακάτω.

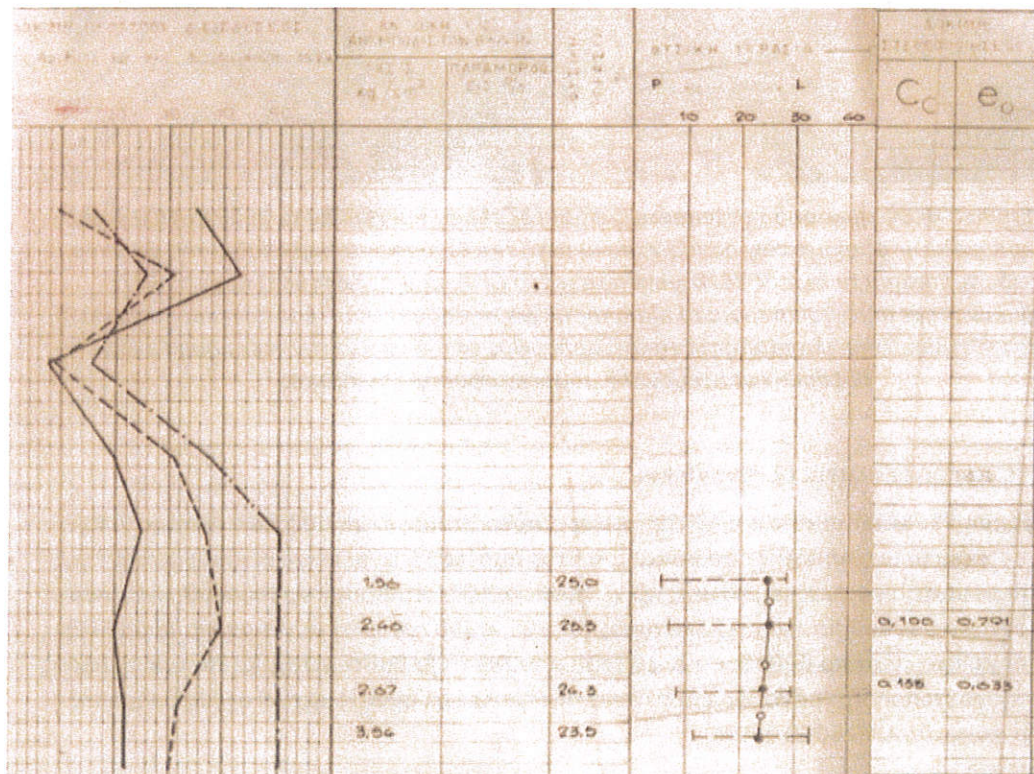
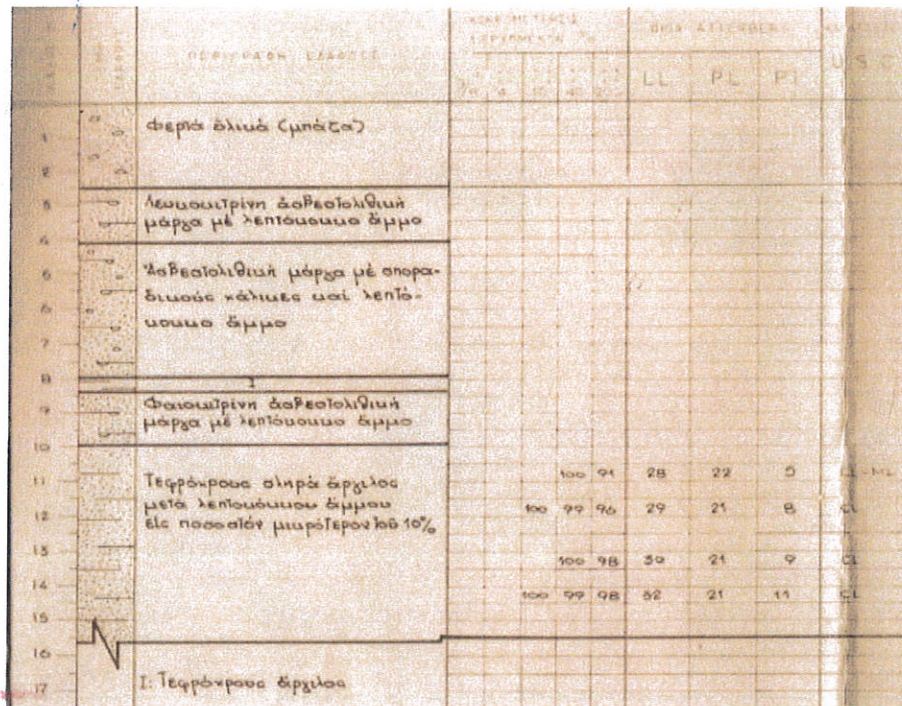


Σχήμα Χ.4: Θέσεις των δύο γεωτρήσεων (Γ1 και Γ2) που διανοίχθηκαν το 1976 στο πλαίσιο της τότε μελέτης αποκατάστασης του ναού μετά την κατάρρευση του στηθαίου του βόρειου κωδωνοστασίου το έτος 1974. Σημειώνεται και η θέση μιας τρίτης γεώτρησης (Γ3) που διανοίχθηκε μεταγενέστερα, στο πλαίσιο της διερεύνησης κατασκευής υπόγειου σταθμού αυτοκινήτων στην πλατεία της (δυτικής) πρόσοψης του ναού. Για την γεώτρηση Γ3 δεν βρέθηκαν στοιχεία αλλά μόνον προφορικές αναφορές.

Στις γεωτρήσεις Γ1 και Γ2 συναντήθηκαν:

Γεώτρηση Γ1: Κάτω από την ανώτερη στρώση ανθρωπογενών αποθέσεων πάχους 2.45μ περίπου (υλικά ποικίλης σύνθεσης, που εκτιμάται ότι είναι οι επιχώσεις γύρω από την θεμελίωση των περιμετρικών τοίχων), συναντήθηκε κιτρινωπή ασβεστολιθική μάργα σχετικώς εύθρυπτη, χαμηλής αντοχής ($UCS = 400 - 700 \text{ kPa}$) με τοπικούς αμμώδεις ορίζοντες, μέχρι το βάθος των 10μ περίπου. Μετά το βάθος των 10μ, και έως το πέρας της γεώτρησης (σε βάθος 15.6μ) συναντήθηκε τεφρή σκληρή μαργαϊκή άργιλος χαμηλής αντοχής ($UCS = 250-350 \text{ kPa}$).

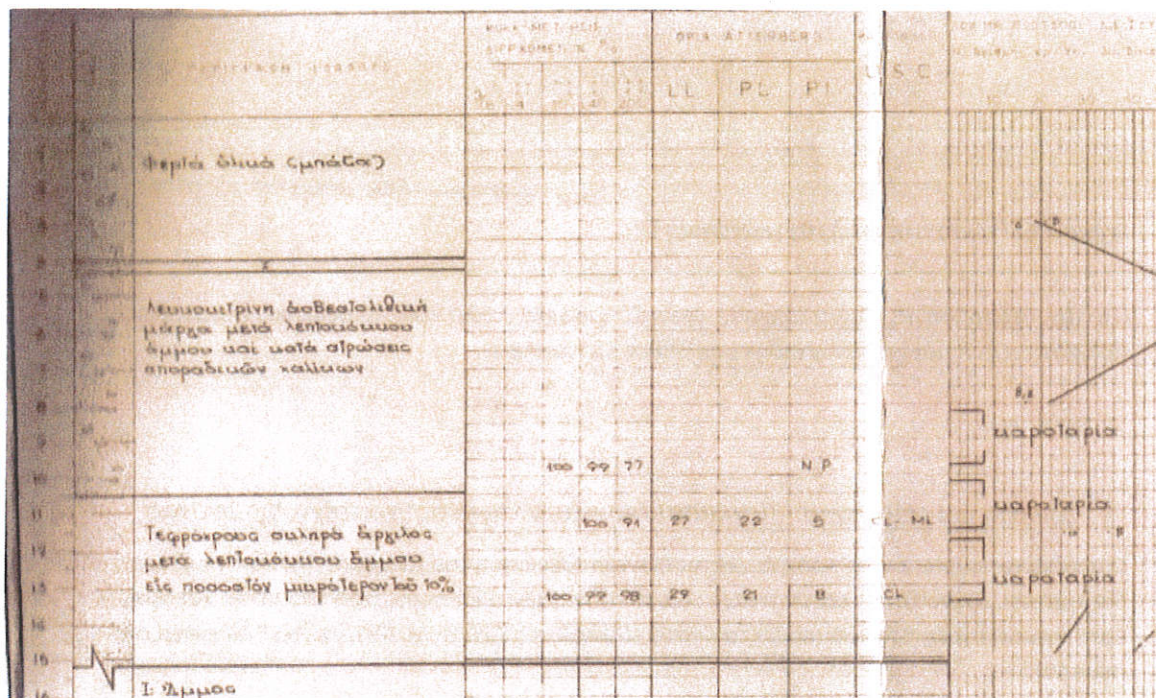
Στα επόμενα Σχήματα συνοψίζονται τα κύρια αποτελέσματα της γεώτρησης Γ1:

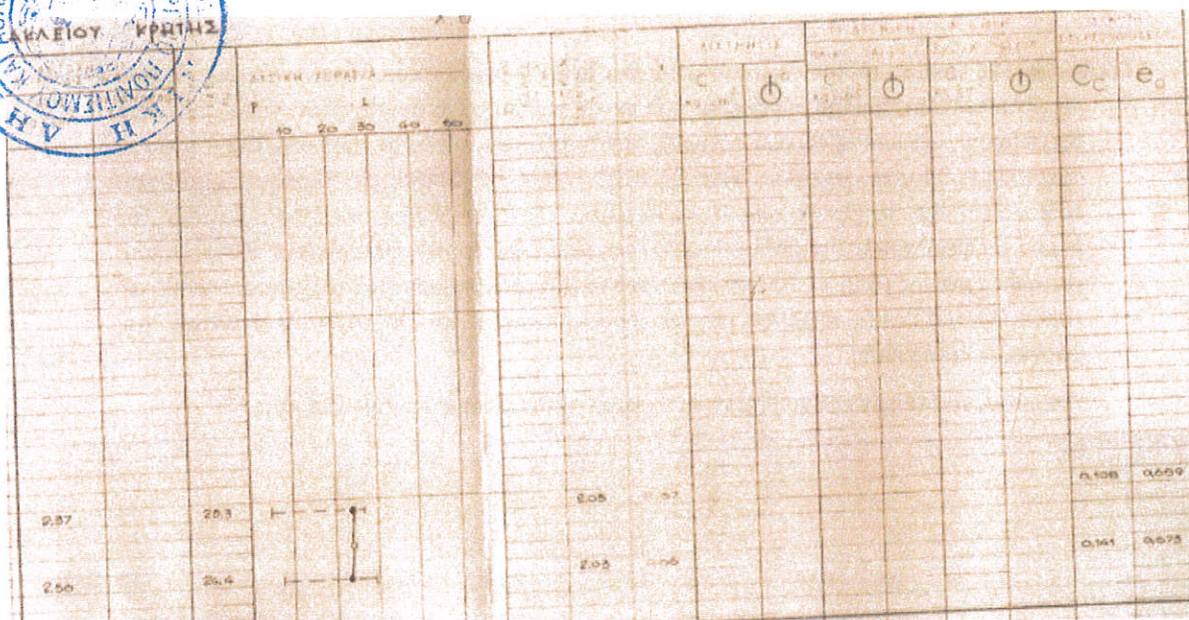


Σχήμα Χ.5: Γεωτεχνική τομή της γεώτρησης Γ1

Γεώτρηση Γ2: Κάτω από την ανώτερη στρώση ανθρωπογενών αποθέσεων πάχους 4.00μ περίπου (υλικά ποικίλης σύνθεσης, που εκτιμάται ότι είναι οι επιχώσεις γύρω από την θεμελίωση των περιμετρικών τοίχων), συναντήθηκε κιτρινωπή ασβεστολιθική μάρμα σχετικώς εύθρυπτη, χαμηλής αντοχής ($UCS = 400 - 700 \text{ kPa}$) με τοπικούς αμμόδεις οριζόντες, μέχρι το βάθος των 10.5μ περίπου. Μετά το βάθος των 10.5μ, και έως το πέρας της γεώτρησης (σε βάθος 15.25μ) συναντήθηκε τεφρή σκληρή μαργαίτη άργιλος χαμηλής αντοχής ($UCS = 200-300 \text{ kPa}$). Από το βάθος των 8μ και κάτω χρησιμοποιήθηκε καροταρία για την προχώρηση της γεώτρησης, πράγμα που σημαίνει ότι η αντοχή της μάρμας είναι υψηλή.

Στα επόμενα Σχήματα συνοψίζονται τα κύρια αποτελέσματα της γεώτρησης Γ2:





Σχήμα Χ.6: Γεωτεχνική τομή της γεώτρησης Γ2

Για την γεώτρηση Γ3 δεν υπάρχουν γραπτά στοιχεία, αλλά από προφορικές μαρτυρίες προκύπτει ότι η μάργα συναντήθηκε σε βάθος 5μ περίπου.

4 Σύνοψη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της νέας γεωτεχνικής έρευνας

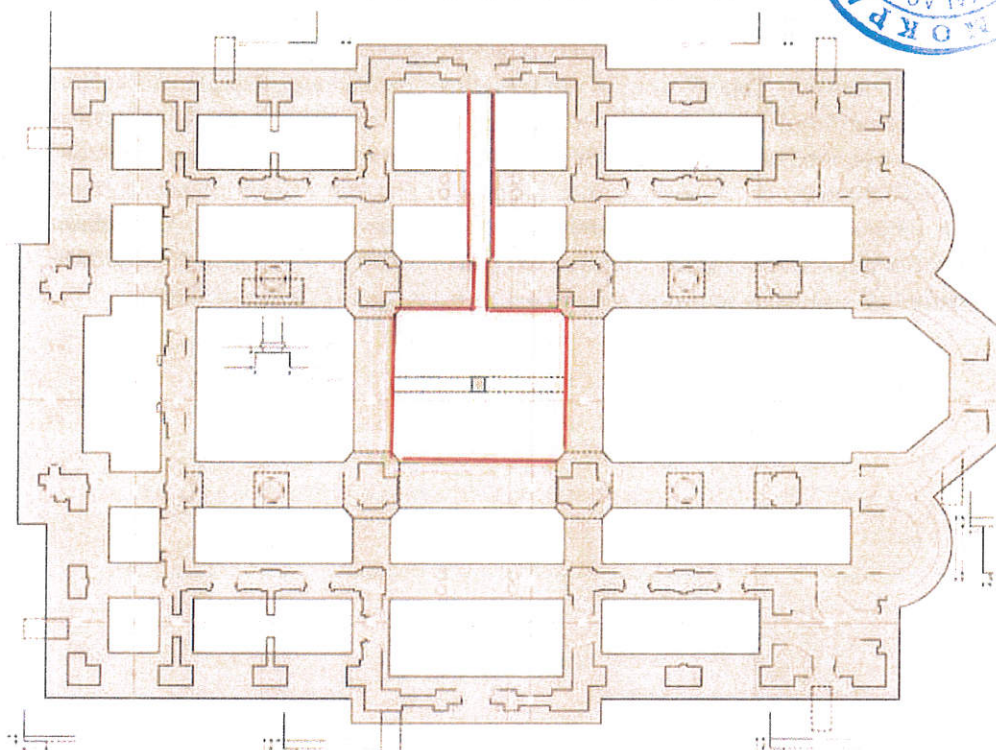
Στο πλαίσιο του παρόντος προγράμματος έγινε επιθεώρηση του μνημείου (και της υπόγειας δεξαμενής), διάνοιξη έξι ερευνητικών τομών στην εξωτερική περίμετρο του ναού και μιας ερευνητικής τομής στο εσωτερικό του ναού (δίπλα στον ΒΔ κίονα, δυτικά του ΒΔ κεντρικού πεσσού).

4.1 Επιθεώρηση της υπόγειας δεξαμενής (στέρνα - cistern)

Σκοπός της στέρνας που βρίσκεται κάτω από το δάπεδο, στο κεντρικό τμήμα του ναού είναι η συγκέντρωση των ομβρίων υδάτων της στέγης του ναού για χρήση κατά την διάρκεια του έτους. Τα τελευταία έτη, η λειτουργία αυτή έχει διακοπεί, καθώς τα όμβρια της στέγης του ναού δεν οδηγούνται πλέον στην στέρνα, και έτσι η στέρνα είναι κενή.

Η αρχική επιθεώρηση της στέρνας από τους ερευνητές έγινε στις 21 Φεβρουαρίου 2019 και στη συνέχεια σε επόμενες επισκέψεις. Διαπιστώθηκε μικρή συλλογή νερού (λίγα λίτρα) σε εσοχή του δαπέδου της στέρνας στην θέση της εισόδου (βόρειο άκρο του στενού διαδρόμου) που οφείλονται σε συγκέντρωση υγροποιημένων υδρατμών που προέρχονται από εισερχόμενη υγρασία του εδάφους διαμέσου των τοίχων και του δαπέδου της στέρνας.

Σε μεταγενέστερη επιθεώρηση της στέρνας στις 15/10/2020 διαπιστώθηκε ευρύτερη συγκέντρωση υδάτων όγκου περίπου 25 lt που κατελάμβαναν το πρώτο 1.5 μ του διαδρόμου, τα οποία και αντλήθηκαν με χρήση εμβαπτιζόμενης αντλίας



Σχήμα Χ.7: Κάτοψη του ναού που δείχνει την θέση της υπόγειας δεξαμενής στον χώρο μεταξύ των τεσσάρων κεντρικών πεσσών του ναού (σημειώνεται με κόκκινο χρώμα). Ο κύριος χώρος της δεξαμενής έχει διαστάσεις 7.80 x 7.80 μ περίπου και περιβάλλεται από τις θεμελιολωρίδες έδρασης των τεσσάρων κεντρικών πεσσών του ναού. Η πρόσβαση στη δεξαμενή γίνεται από οπή στο δάπεδο του ναού (κοντά στον βόρειο τοίχο), μέσω στενού διαδρόμου μήκους περίπου 8μ και πλάτους 1μ.

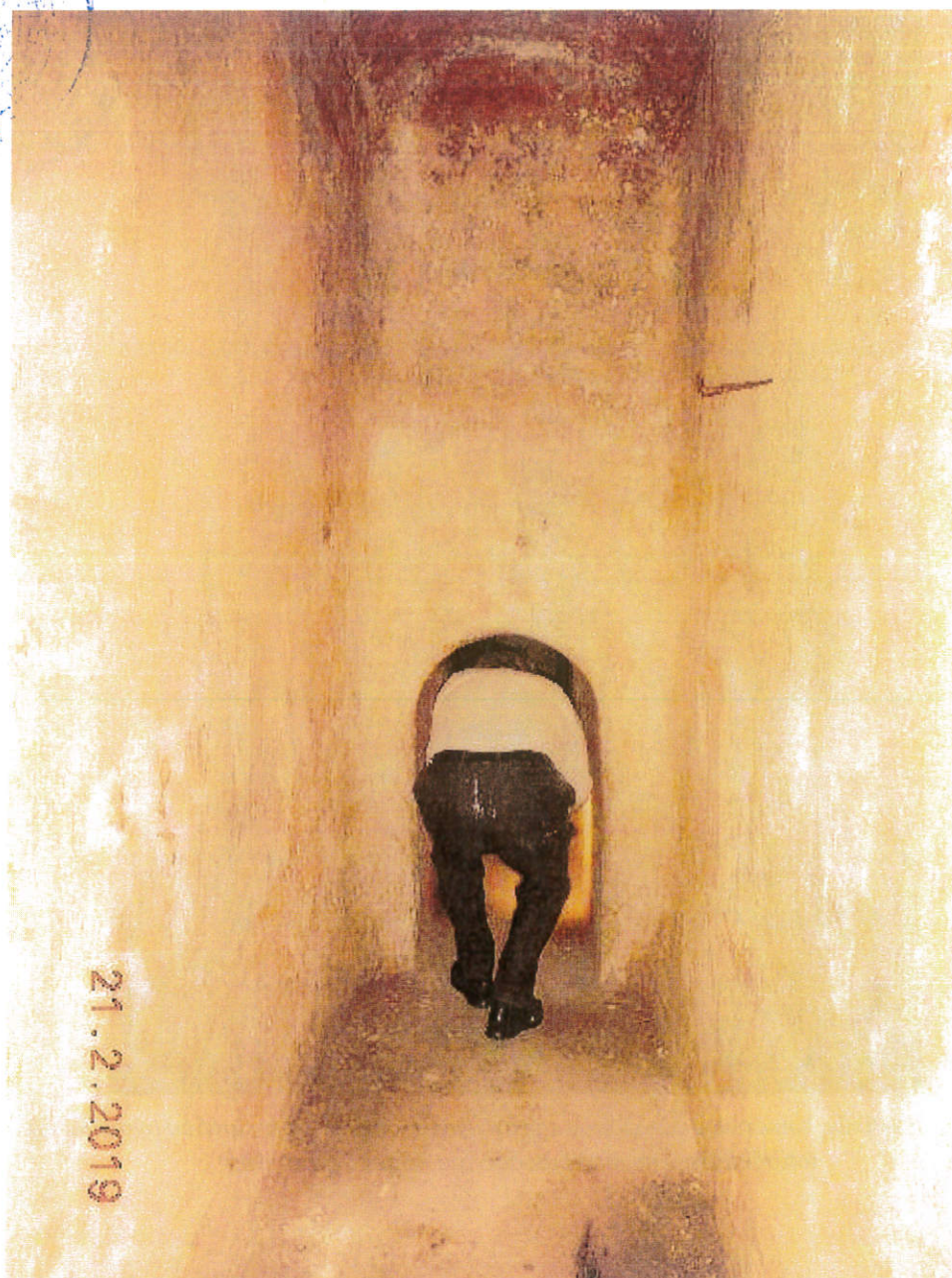
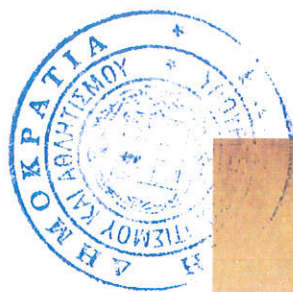
Η στέρνα βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του ναού και ο κεντρικός χώρος έχει εσωτερικές διαστάσεις περίπου 7.80 x 7.80 μέτρα. Τα περιμετρικά τοιχώματα της στέρνας αποτελούν μέρος των τοιχίων θεμελίωσης (θεμελιολωρίδων) των τεσσάρων κεντρικών πεσσών του ναού. Όπως φαίνεται στο παραπάνω Σχέδιο, οι πεσσοί εδράζονται σε διασταυρούμενα τοιχία (για την καλύτερη κατανομή των φορτίων στο έδαφος), τα οποία προφανώς φθάνουν στο βάθος που οι κατασκευαστές του ναού έκριναν ότι η μάργα είναι επαρκώς ανθεκτική. Μπορεί λοιπόν ευλόγως να θεωρηθεί ότι το δάπεδο θεμελίωσης της στέρνας ταυτίζεται με την στάθμη θεμελίωσης των τοιχίων θεμελίωσης των πεσσών, αφού δεν υπάρχει λόγος η στέρνα να θεμελιώθηκε σε υψηλότερη στάθμη (για λόγους αποθηκευτικού όγκου νερού). Συνεπώς, από το ελεύθερο ύψος της στέρνας μπορεί να εκτιμηθεί το βάθος θεμελίωσης των



τοιχίων έδρασης των πεσσών. Θεωρώντας ότι το πάχος του δαπέδου του ναού είναι περίπου 0.50μ, το ελεύθερο ύψος της στέρνας είναι 3.15μ και εκτιμώντας ότι το πάχος της πλάκας δαπέδου της στέρνας είναι περίπου 0.35μ, προκύπτει ότι η θεμελίωση των τοιχίων έδρασης των πεσσών βρίσκεται περίπου $0.50 + 3.15 + 0.35 = 4\mu$ έως 4.5μ κάτω από το δάπεδο του ναού. Το στοιχείο αυτό αξιολογείται στα επόμενα, καθώς οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, κατά τεκμήριο, και τα υπόλοιπα δομικά στοιχεία του ναού (π.χ. λοιποί κίονες, περιμετρικοί τοίχοι αλλά και κωδωνοστάσια) θεμελιώνονται στο ίδιο βάθος με το σκεπτικό ότι δεν θα ήταν εύλογη μια διαφοροποίηση της στάθμης θεμελίωσης φερόντων στοιχείων χωρίς ουσιώδη λόγο (π.χ. σαφή διαφορά στην ανθεκτικότητα της μάργας σε κάποια θέση). Συνεπώς, είναι πιθανό σε κάποιες θέσεις που συναντήθηκε τοπικά ασθενέστερη μάργα, η στάθμη θεμελίωσης των φερόντων στοιχείων του ναού να είναι μεγαλύτερη από 4-4.5μ βάθος, αλλά η γενική στάθμη θεμελίωσης του ναού είναι τα 4μ (σε σχέση με το δάπεδο του ναού).



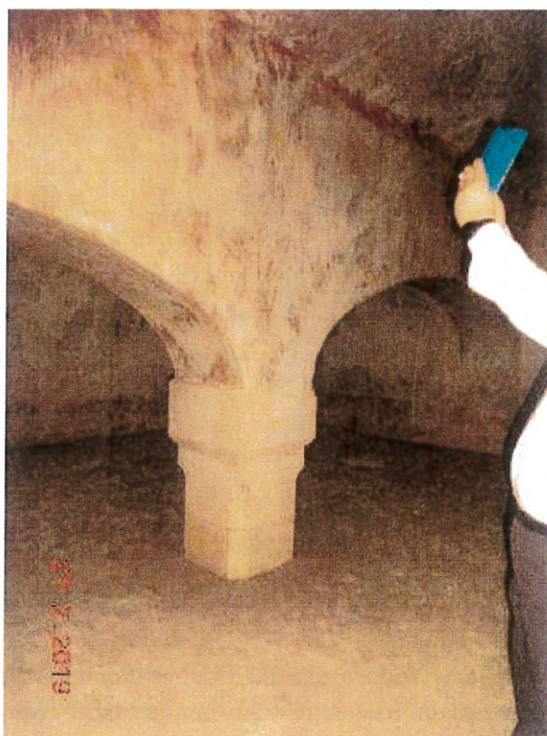
Σχήμα Χ.8: Άποψη του στενού διαδρόμου της στέρνας, στην θέση της εισόδου (η σκάλα έχει τοποθετηθεί στην οπή εισόδου του δαπέδου του ναού).



Σχήμα Χ.9: Άποψη του στενού διαδρόμου της στέρνας με κατεύθυνση προς τον κεντρικό χώρο. Φαίνεται η στενή είσοδος προς τον κεντρικό χώρο. Η είσοδος είναι στενή καθώς το τοίχιο που περιλαμβάνει την στενή είσοδο αποτελεί τμήμα της θεμελίωσης των τεσσάρων κεντρικών πεσσών



Σχήμα Χ.10: Άποψη του κεντρικού χώρου της στέρνας με κατεύθυνση προς ανατολάς. Αριστερά (στον βόρειο τοίχο) φαίνεται η στενή είσοδος και δεξιά η ισχυρή δοκός στο μέσον της στέρνας.



Σχήμα Χ.11: Άποψη της ισχυρής δοκού στο μέσον της στέρνας.



Γενικώς, η στέρνα είναι σε καλή κατάσταση, χωρίς ίχνη βλαβών από ρηγματώσεις ή ενδείξεις καθιζήσεων. Η ατμόσφαιρα εντός της στέρνας είναι υγρή λόγω

4.2 Ερευνητικές τομές στην περίμετρο του ναού

Στις 5 Ιουνίου 2020 διανοίχθηκαν έξι (6) ερευνητικές τομές στην εξωτερική περίμετρο του Ναού. Το επόμενο Σχήμα δείχνει την τσάπα που χρησιμοποιήθηκε για τις εργασίες αυτές. Η τσάπα ήταν αρκετά μικρού μεγέθους ώστε να μπορεί να κινείται ευχερώς στην περίμετρο (πλακόστρωτο) του ναού.

Σκοπός των τομών ήταν να προσδιορισθεί το είδος και το βάθος της θεμελίωσης των περιμετρικών τοίχων του ναού, και η στρωματογραφία του εδάφους μέχρι το βάθος θεμελίωσης των περιμετρικών τοίχων.

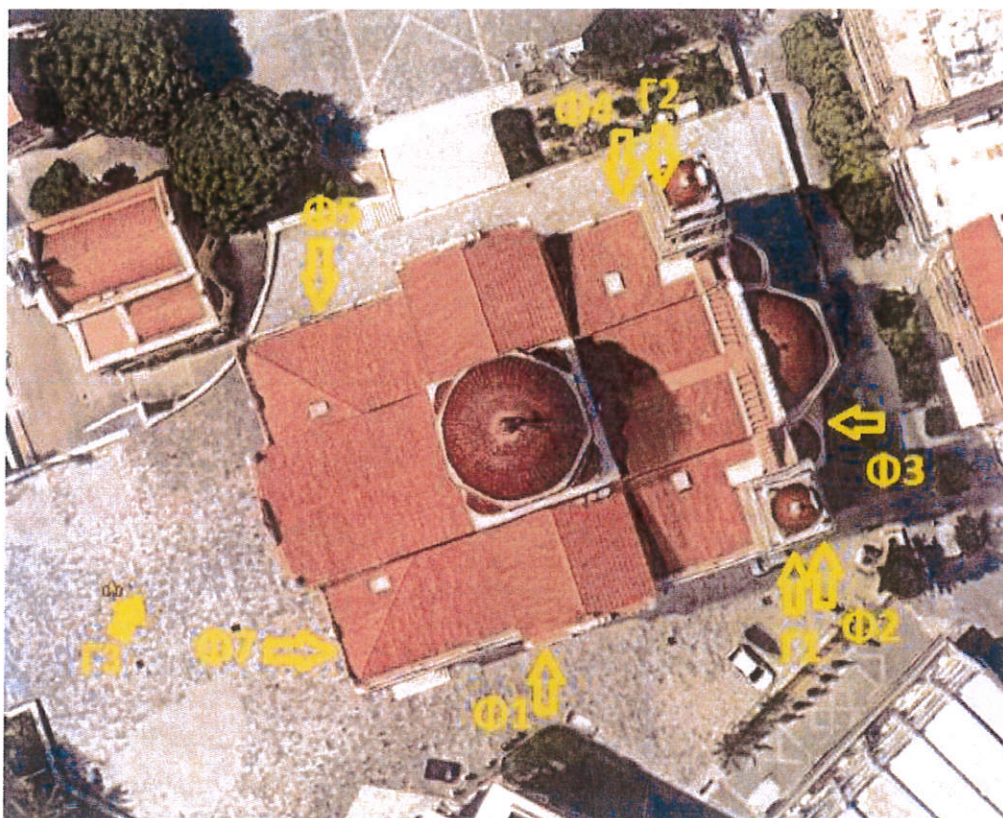


Σχήμα Χ.12: Άποψη της τσάπας που χρησιμοποιήθηκε για την διάνοιξη των ερευνητικών φρεάτων (τομών).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο εδάφιο, με βάση θεωρήσεις για την στάθμη θεμελίωσης των τεσσάρων κεντρικών πεσσών του ναού (από παρατηρήσεις της στάθμης θεμελίωσης της στέρνας) προκύπτει ότι η θεμελίωση όλων των δομικών στοιχείων του ναού (κεντρικού

πεσσοί, λοιποί κίονες, περιμετρικοί τοίχοι αλλά και κωδωνοστάσια) θεμελιώνονται στο ίδιο βάθος, με το σκεπτικό ότι δεν θα ήταν εύλογη μια διαφοροποίηση της στάθμης θεμελίωσης φερόντων στοιχείων χωρίς ουσιώδη λόγο (π.χ. σαφή διαφορά στην ανθεκτικότητα της μάργας σε κάποια θέση). Συνεπώς, είναι πιθανό σε κάποιες θέσεις που συναντήθηκε τοπικά ασθενέστερη μάργα, η στάθμη θεμελίωσης των φερόντων στοιχείων του ναού να είναι μεγαλύτερη από 4μ βάθος, αλλά η γενική στάθμη θεμελίωσης του ναού είναι τα 4μ (σε σχέση με το δάπεδο του ναού).

Το επόμενο Σχήμα δείχνει τις θέσεις των ερευνητικών τομών που διανοίχθηκαν.



Σχήμα Χ.13: Θέσεις των ερευνητικών τομών (Φ1 - Φ5 και Φ7) που διανοίχθηκαν στην περίμετρο του ναού. Φαίνονται και οι θέσεις των γεωτρήσεων Γ1, Γ2 και Γ3.

Στα επόμενα περιγράφονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των ερευνητικών τομών.



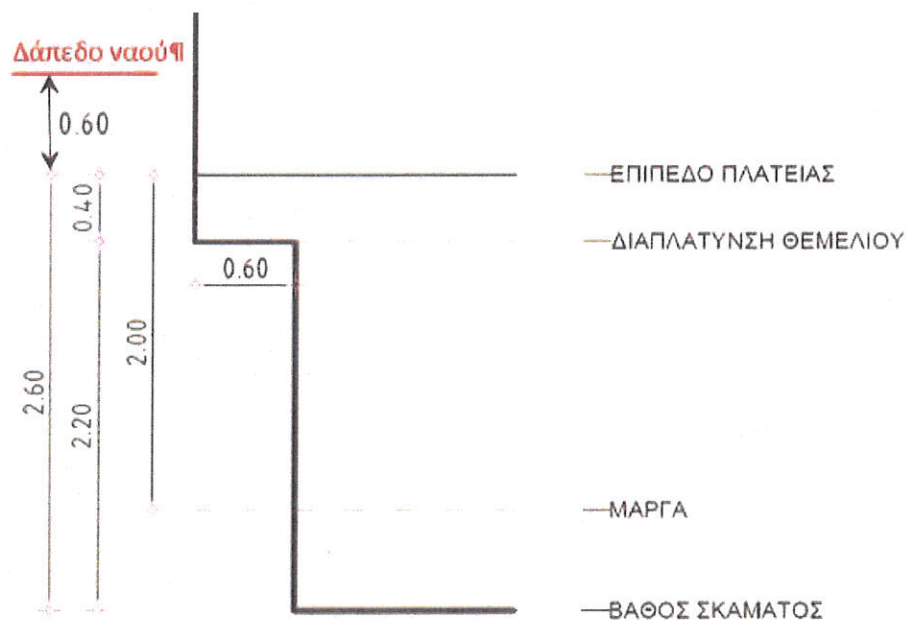
4.2.1 Ερευνητική τομή Φ1



Σχήμα Χ.14α: Ερευνητικό φρέαρ Φ1. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιοωρίδας κατά 60cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.146: Ερευνητικό φρέαρ Φ1. Φαίνεται το κιτρινόχρωμο μαργαϊκό υλικό που προέκυψε κατά την εκσκαφή.



Σχήμα Χ.14γ: Ερευνητικό φρέαρ Φ1. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.60μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.



Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ1 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι βάθους 2μ από τη στάθμη της πλατείας (που βρίσκεται περί τα 0.60μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.40μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 0.60μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 0.6 = 2.20\text{m}$. Από το βάθος των 2μ και κάτω συναντήθηκε κιτρινόχρωμη μάργα που αρχικά ήταν σχετικά σαθρή και ευχερώς εκσκάψιμη με την τσάπα. Το φρέαρ έφθασε μέχρι βάθους 2.60μ από τη στάθμη της πλατείας (δηλαδή σε βάθος 0.60μ εντός της μάργας), καθώς στη στάθμη αυτή η μάργα ήταν αρκετά σκληρή ώστε να εκσκαφεί βαθύτερα με την τσάπα.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ1 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:

- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους 2.60μ από το δάπεδο του ναού (2μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 2.20μ και βάθους 1.40μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $2.60 + 1.40 = 4\text{m}$ περίπου, από το δάπεδο του ναού).
- Κατασκευάσθηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 2.20μ και ύψους 3μ, με βάση στα 4.0μ από το δάπεδο του ναού.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 1μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάσθηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.



4.2.2 Ερευνητική τομή Φ2

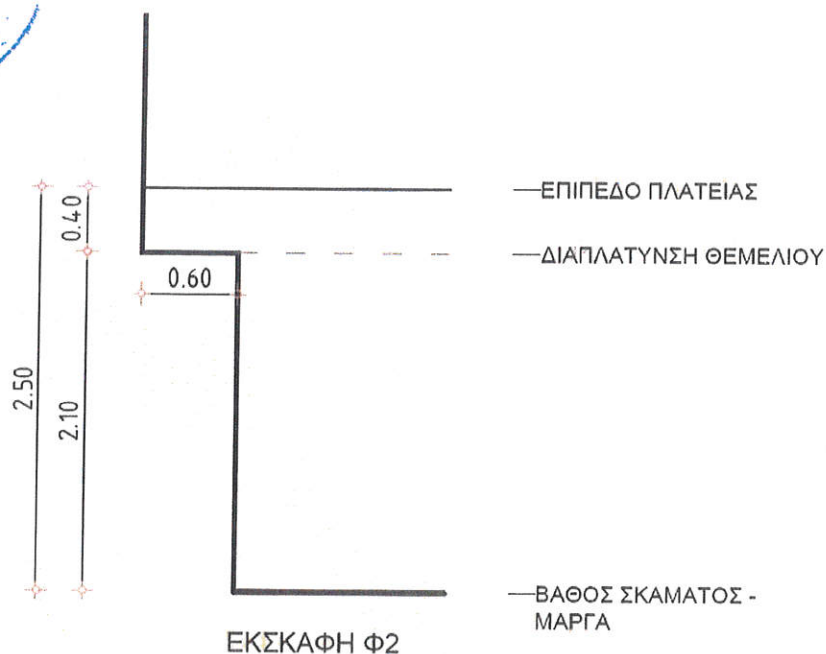
Το φρέαρ Φ2 διανοίχθηκε δίπλα στο νότιο κωδωνοστάσιο.



Σχήμα Χ.15α: Ερευνητικό φρέαρ Φ2. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιολωρίδας κατά 60cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.15β: Ερευνητικό φρέαρ Φ2. Φαίνεται το κιτρινόχρωμο μαργαϊκό υλικό που προέκυψε κατά την εκσκαφή.



Σχήμα Χ.15γ: Ερευνητικό φρέαρ Φ2. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.40μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.

Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ2 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι βάθους 2.4μ από τη στάθμη της πλατείας (που βρίσκεται περί τα 0.40μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.40μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 0.60μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 0.6 = 2.20\text{m}$. Από το βάθος των 2.40μ και κάτω συναντήθηκε κιτρινόχρωμη μάργα που αρχικά ήταν σχετικά σαθρή και ευχερώς εκσκάψιμη με την τσάπα. Το φρέαρ έφθασε μέχρι βάθους 2.50μ από τη στάθμη της πλατείας (δηλαδή σε βάθος 0.10μ εντός της μάργας), καθώς στη στάθμη αυτή η μάργα ήταν αρκετά σκληρή ώστε να εκσκαφεί βαθύτερα με την τσάπα.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ2 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:

- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους 2.80μ από το δάπεδο του ναού (2.4μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 2.20μ και βάθους 1.20μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $2.80 + 1.20 = 4\text{m}$ περίπου, από το δάπεδο του ναού).



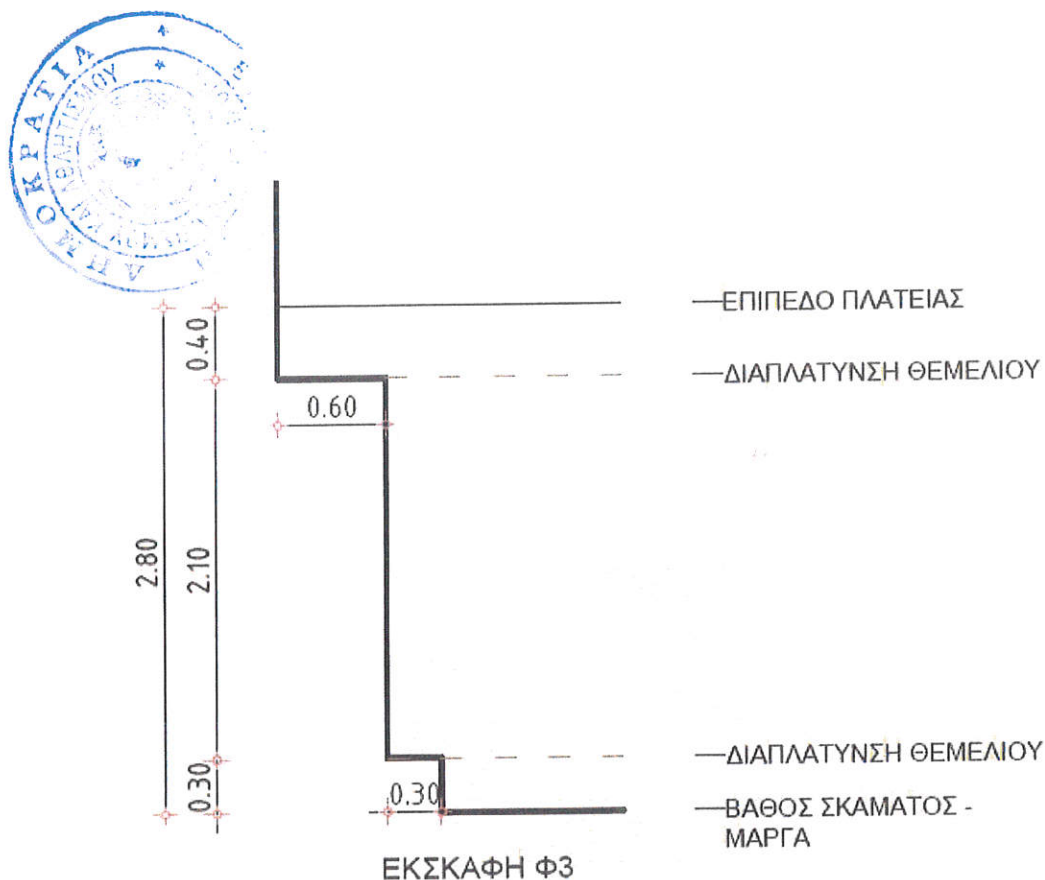
- Κατασκευάσθηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 2.20μ. και ύψους 3.2μ, με βάση στα 4.0μ από το δάπεδο του ναού.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 0.80μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάσθηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.

4.2.3 Ερευνητική τομή Φ3

Το φρέαρ Φ3 διανοίχθηκε στην νότια πλευρά της κόγχης του ιερού του ναού.



Σχήμα Χ.16α: Ερευνητικό φρέαρ Φ3. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιολωρίδας κατά 60cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.166: Ερευνητικό φρέαρ Φ3. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.40μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.

Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ3 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι βάθους 2.5μ από τη στάθμη της πλατείας (που βρίσκεται περί τα 0.40μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.40μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 0.60μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 0.6 = 2.20\text{m}$.

Από το βάθος των 2.50μ (ως προς την πλατεία) και κάτω συναντήθηκε κιτρινόχρωμη μάργα που αρχικά ήταν σχετικά σαθρή και ευχερώς εκσκάψιμη με την τσάπα. Στο βάθος αυτό συναντήθηκε νέα διεύρυνση του πεδίου κατά περίπου 0.30μ προς τα έξω, πιθανότατα λόγω της ύπαρξης ασθενούς μάργας στην περιοχή αυτή. Το φρέαρ έφθασε μέχρι βάθους 2.80μ από τη στάθμη της πλατείας (δηλαδή σε βάθος 0.30μ εντός της μάργας), όπου είναι το μέγιστο βάθος εκσκαφής της τσάπας. Μέχρι το βάθος αυτό δεν συναντήθηκε ανθεκτική μάργα.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ3 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:



- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους 2.90μ από το δάπεδο του ναού (2.5μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 2.80μ και βάθους περίπου 1.10μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $2.90 + 1.10 = 4\mu$ περίπου, από το δάπεδο του ναού). Εκτιμάται βασίμως, ότι παρά το γεγονός ότι δεν συναντήθηκε ανθεκτική μάργα μέχρι το βάθος των 4μ, δεν έγινε βαθύτερη εκσκαφή αλλά επιλέχθηκε η διεύρυνση της θεμελιολωρίδας έδρασης κατά 0.60μ (0.30μ σε κάθε παρειά) ώστε το πλάτος της να είναι 2.80μ, αντί των 2.20μ σε άλλες θέσεις του περιμετρικού τοίχου του ναού.
- Κατασκευάστηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 2.80μ και ύψους 1.10μ στο κατώτερο τμήμα (με βάση στα 4.0μ από το δάπεδο του ναού) και εύρους 2.20μ και ύψους 2.20μ στο ανώτερο τμήμα.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 0.80μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάστηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.

4.2.4 Ερευνητική τομή Φ4

Το φρέαρ Φ4 διανοίχθηκε στην ανατολική άκρη της βόρειας πλευράς του ναού, κοντά στο βόρειο κωδωνοστάσιο.



Σχήμα Χ.17α: Ερευνητικό φρέαρ Φ4. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιολωρίδας κατά 65cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.17β: Ερευνητικό φρέαρ Φ4. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.60μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.

Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ4 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι το τελικό βάθος του φρέατος (3.30μ από τη στάθμη της πλατείας, που βρίσκεται περί τα 0.60μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.25μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 0.65μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 0.65 = 2.30\text{m}$.

Αν και το φρέαρ Φ4 δεν συνάντησε την μάργα μέχρι το τελικό του βάθος (3.30μ από τη στάθμη της πλατείας), η παρακείμενη γεώτρηση (Γ2) που διανοίχθηκε το 1976 συνάντησε την μάργα σε βάθος 4μ από τη στάθμη της πλατείας.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ4 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:

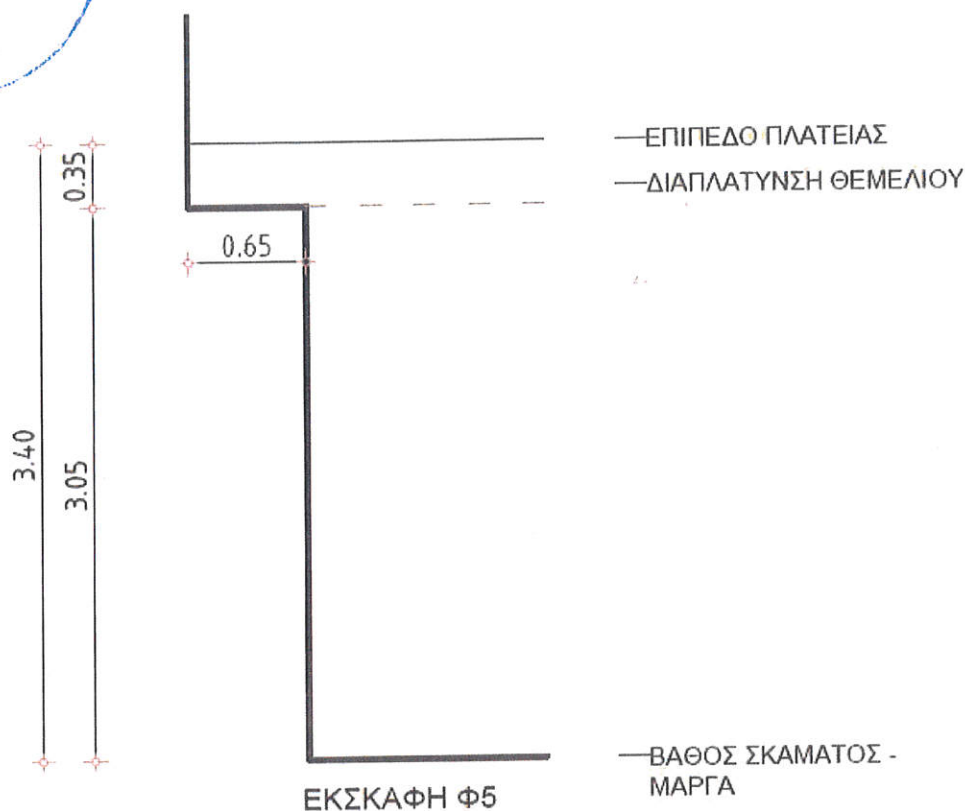
- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους τουλάχιστον 4.60μ από το δάπεδο του ναού (4μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 2.30μ και βάθους τουλάχιστον 0.50μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $4.60 + 0.50 = 5.10\mu$ περίπου, από το δάπεδο του ναού). Στη στάθμη αυτή θεμελιώθηκε ο τοίχος του ναού.
- Κατασκευάστηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 2.30μ και ύψους 4.35μ από το δάπεδο του ναού με στάθμη βάσης σε βάθος 5.10μ ως προς το δάπεδο του ναού.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 0.85μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάστηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.

4.2.5 Ερευνητική τομή Φ5

Το φρέαρ Φ5 διανοίχθηκε στην δυτική άκρη της βόρειας πλευράς του ναού.



Σχήμα Χ.18α: Ερευνητικό φρέαρ Φ5. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιολωρίδας κατά 65cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.186: Ερευνητικό φρέαρ Φ5. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.60μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.

Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ5 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι το τελικό βάθος του φρέατος (3.40μ από τη στάθμη της πλατείας, που βρίσκεται περί τα 0.60μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.35μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 0.65μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 0.65 = 2.30\text{m}$.

Αν και το φρέαρ Φ5 δεν συνάντησε την μάργα μέχρι το τελικό του βάθος (3.40μ από τη στάθμη της πλατείας), η παρακείμενη γεώτρηση (Γ2) που διανοίχθηκε το 1976 συνάντησε την μάργα σε βάθος 4μ από τη στάθμη της πλατείας και η γεώτρηση Γ3 σε βάθος 5μ από τη στάθμη της πλατείας.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ5 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:



- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους τουλάχιστον 5.0μ από το δάπεδο του ναού (4.4μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 2.30μ και βάθους τουλάχιστον 0.50μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $5.0 + 0.5 = 5.5\mu$ περίπου, από το δάπεδο του ναού). Στη στάθμη αυτή θεμελιώθηκε ο τοίχος του ναού.
- Κατασκευάστηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 2.30μ και ύψους 4.55μ από το δάπεδο του ναού με στάθμη βάσης σε βάθος 5.50μ ως προς το δάπεδο του ναού.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 0.95μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάστηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.

4.2.6 Ερευνητική τομή Φ6

Έγινε προσπάθεια διάνοιξης του φρέατος στην βόρεια άκρη της (δυτικής) πρόσοψης του ναού αλλά συναντήθηκε υπόγειος χώρος και η προσπάθεια εγκαταλείφθηκε. Πάντως, το εύρος της θεμελιολωρίδας έδρασης του ναού στην θέση αυτή είναι διευρυμένο κατά 1μ προς τα έξω. Θεωρώντας αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, εκτιμάται ότι στην θέση αυτή η θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου (πλάτους 1μ) έχει πλάτος $1.0 + 2 \times 1.0 = 3\mu$.



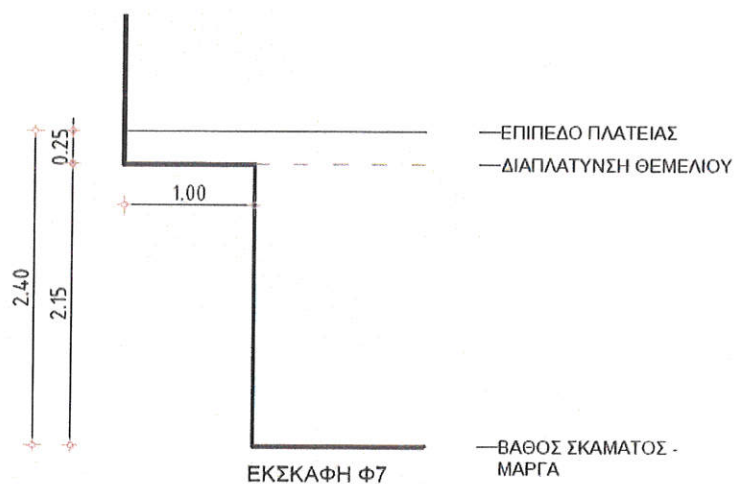


4.2.7 Ερευνητική τομή Φ7

Το φρέαρ Φ7 διανοίχθηκε στην νότια άκρη της δυτικής πλευράς (πρόσοψης) του ναού.



Σχήμα Χ.19α: Ερευνητικό φρέαρ Φ7. Φαίνεται η διεύρυνση της λίθινης θεμελιολωρίδας κατά 100cm, σε σχέση με το πάχος του επίσης λίθινου τοίχου του ναού.



Σχήμα Χ.19β: Ερευνητικό φρέαρ Φ7. Τομή του φρέατος με σημειωμένη την στάθμη της μάργας και των υπερκείμενων ανθρωπογενών αποθέσεων. Το δάπεδο του εσωτερικού του ναού βρίσκεται περί τα 0.60μ υψηλότερα από το επίπεδο της πλατείας.



Κατά την διάνοιξη του φρέατος Φ7 συναντήθηκαν υλικά επιχωματώσεων μέχρι το τελικό βάθος του φρέατος (2.40μ από τη στάθμη της πλατείας, που βρίσκεται περί τα 0.60μ χαμηλότερα από τη στάθμη του δαπέδου του ναού). Σε βάθος περίπου 0.25μ από τη στάθμη της πλατείας υπάρχει διεύρυνση του πλάτους του λίθινου τοίχου του ναού (πάχους περί το 1μ) κατά 1μ προς τα έξω. Εκτιμάται ότι υπάρχει αντίστοιχη διεύρυνση και προς το εσωτερικό του ναού, με συνέπεια η θεμελίωση του τοίχου να γίνεται με λίθινη θεμελιολωρίδα πάχους $1.0 + 2 \times 1.0 = 3\text{m}$.

Αν και το φρέαρ Φ7 δεν συνάντησε την μάργα μέχρι το τελικό του βάθος (2.40μ από τη στάθμη της πλατείας), το παρακείμενο φρέαρ Φ1 συνάντησε τη μάργα σε βάθος 2μ από τη στάθμη της πλατείας, και είναι γνωστό (από τα υπόλοιπα φρέατα ότι η μάργα βυθίζεται με ισχυρή κλίση προς τα ΒΔ.

Με βάση όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, εκτιμάται ότι στη θέση του φρέατος Φ7 η θεμελίωση του περιμετρικού τοίχου έγινε ως εξής:

- Έγινε εκσκαφή (εύρους τουλάχιστον 3.50μ), μέχρι βάθους 3.5μ από το δάπεδο του ναού (2.9μ από τη στάθμη της πλατείας). Στη στάθμη αυτή συναντήθηκε η μάργα που αποτελεί το υπόβαθρο της περιοχής.
- Έγινε εκσκαφή εντός της μάργας, εύρους 3μ και βάθους 0.50μ (δηλαδή εκσκαφή συνολικού βάθους $3.5 + 0.5 = 4.0\text{m}$ περίπου, από το δάπεδο του ναού). Στη στάθμη αυτή θεμελιώθηκε ο τοίχος του ναού. Εκτιμάται ότι δεν έγινε βαθύτερη εκσκαφή εντός της μάργας από το αυξημένο πάχος της θεμελιολωρίδας (3μ) σε σχέση με το πάχος των 2.20μ στην παρακείμενη νότια πλευρά του ναού. Εάν η θεμελίωση του τοίχου είχε γίνει σε μεγαλύτερο βάθος (ώστε να ευρεθεί ανθεκτικότερη μάργα), το πλάτος της θεμελιολωρίδας δεν θα αυξανόταν στα 3μ (αντί 2.20μ).
- Κατασκευάστηκε η λίθινη θεμελιολωρίδα έδρασης του τοίχου, εύρους 3μ και ύψους 3.15μ από το δάπεδο του ναού με στάθμη βάσης σε βάθος 4.0μ ως προς το δάπεδο του ναού.
- Στο μέσον της θεμελιολωρίδας (σε στάθμη 0.85μ κάτω από το δάπεδο του ναού) κατασκευάστηκε ο λίθινος εξωτερικός τοίχος του ναού, πλάτους 1μ περίπου.

Σε μαργαϊκά υλικά¹ (διαταραγμένα δείγματα) που λήφθηκαν από τα φρέατα Φ1, Φ2 και Φ3 εκτελέσθηκαν δοκιμές εδαφομηχανικής με σκοπό τον χαρακτηρισμό των υλικών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών περιλαμβάνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

¹ Στα υπόλοιπα φρέατα δεν συναντήθηκε το μαργαϊκό υπόβαθρο επειδή βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος από το βάθος του φρέατος.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΔΑΦΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΕ
ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΚ ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΦΡΕΑΤΩΝ

Δοκιμή / Φρέαρ:	Φ1	Φ2	Φ3
Ποσοστό λεπτοκόκκων (< No 200)	65	70	72
Ποσοστό αργίλου (< 0.002mm)	8	10	12
Όριο υδαρότητας	38	42	45
Όριο πλαστικότητας	26	28	29
Δείκτης πλαστικότητας	12	14	16

Από τα ανωτέρω προκύπτει ότι το μαργαϊκό υλικό έχει τα συνήθη χαρακτηριστικά της μάργας του Ηρακλείου, δηλαδή πρόκειται για μια αργιλώδη ιλύ χαμηλής πλαστικότητας.

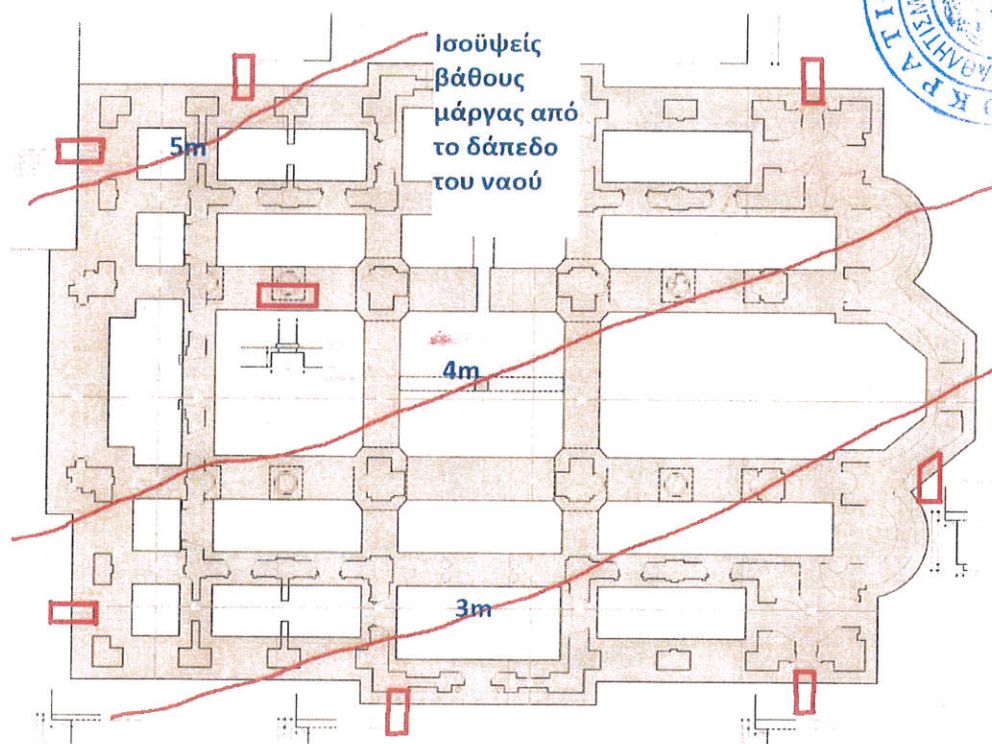
4.2.8 Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών μέσω γεωτρήσεων και ερευνητικών φρεάτων, τα επόμενα δύο Σχήματα δίνουν:

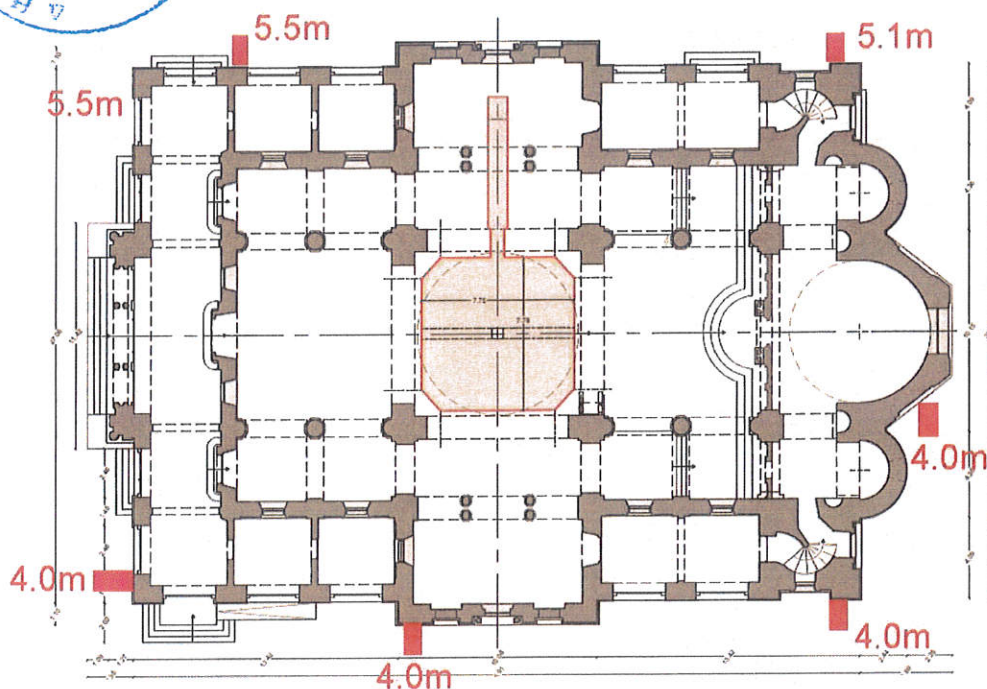
- (1) Το βάθος (μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της ανώτερης στάθμης του μαργαϊκού υποβάθρου στις θέσεις των ερευνητικών φρεάτων, δηλαδή το βάθος των ανθρωπογενών υλικών που υπέρκεινται της μάργας. Στο Σχήμα δίνεται και μια εκτίμηση των ισοβαθών καμπύλων βάθους της μάργας ως προς το δάπεδο του ναού (οι τιμές των ισοβαθών σημειώνονται με μπλέ χρώμα). Το μαργαϊκό υπόβαθρο βυθίζεται προς τα ΒΔ, με κλίση περίπου ίση με την κλίση της επιφάνειας του εδάφους.
- (2) Το εκτιμώμενο βάθος (μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της θεμελίωσης των περιμετρικών τοίχων του ναού. Η νότια πλευρά του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4μ, η βόρεια πλευρά σε βάθος 5 – 5.5μ (μεταβλητό, με αύξηση προς τα δυτικά), η δυτική πρόσοψη του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5.5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν) ενώ η ανατολική πλευρά του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν).

Οι περιμετρικοί τοίχοι του ναού θεμελιώνονται επί θεμελιολωρίδων, δηλαδή λίθινων τοιχωμάτων διευρυμένου πάχους σε σχέση με το πάχος των τοίχων του ναού. Τα εκτιμώμενα πάχη των θεμελιολωρίδων είναι:

- Βόρειος τοίχος: πλάτος θεμελιολωρίδας 2.30μ
- Νότιος τοίχος: πλάτος θεμελιολωρίδας 2.20μ
- Ανατολικός τοίχος (με κόγχη ιερού): πλάτος θεμελιολωρίδας 2.20μ
- Δυτικός τοίχος (πρόσοψη ναού): πλάτος θεμελιολωρίδας 3.00μ



Σχήμα Χ.20: Ισοϋψείς βάθους (3μ, 4μ, 5μ - μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της ανώτερης στάθμης του μαργαϊκού υποβάθρου στις θέσεις των ερευνητικών φρεάτων, και εκτίμηση των ισοβαθών καμπύλων (οι τιμές των ισοβαθών σημειώνονται με μπλέ χρώμα). Η ανατολή βρίσκεται προς τα δεξιά (προς το ιερό του ναού). Το μαργαϊκό υπόβαθρο βυθίζεται προς τα ΒΔ, με κλίση περίπου ίση με την κλίση της επιφάνειας του εδάφους.

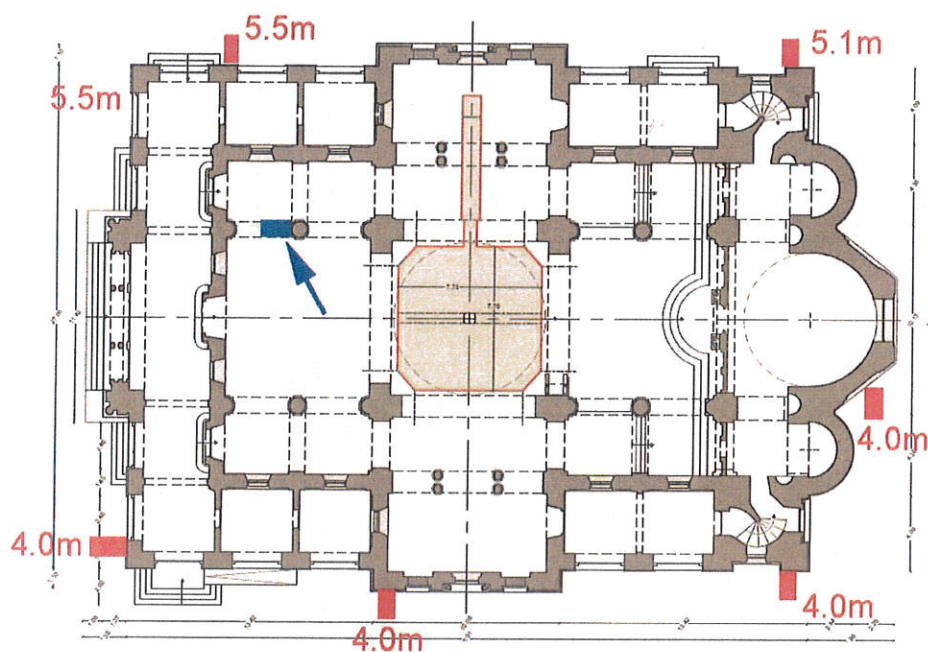


Σχήμα Χ.21: Εκτιμώμενο βάθος (μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της θεμελίωσης των περιμετρικών τοίχων του ναού. Η νότια πλευρά του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4μ, η βόρεια πλευρά σε βάθος 5 – 5.5μ (μεταβλητό, με αύξηση προς τα δυτικά), η δυτική πρόσοψη του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5.5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν) ενώ η ανατολική πλευρά του ναού εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν).



4.3 Ερευνητική τομή στο εσωτερικό του ναού

Στις 15 Οκτωβρίου 2020 έγινε ερευνητική τομή στο εσωτερικό του ναού, στην θέση που σημειώνεται με μπλέ ορθογώνιο στο επόμενο Σχήμα.



Σχήμα Χ.22: Θέση της ερευνητικής τομής στο εσωτερικό του ναού.

Η ερευνητική τομή (βλέπε και επόμενα Σχήματα) έφθασε σε βάθος 1μ περίπου κάτω από το δάπεδο του ναού. Στο βάθος αυτό συναντήθηκε συνεχής θεμελιοδοκός που συνδέει τους κίονες του ναού στην διεύθυνση ανατολή-δύση. Εκτιμάται ότι η θεμελιολωρίδα εδράζεται σε βάθος περί τα 4..5μ κάτω από το δάπεδο του ναού. Πάνω από την θεμελιολωρίδα υπάρχουν ανθρωπογενείς αποθέσεις επί των οποίων έχει εδρασθεί το δάπεδο του ναού. Τα υλικά ήταν επαρκώς συμπακνωμένα ώστε το δάπεδο του ναού να μην υπόκειται σε καθιζήσεις.



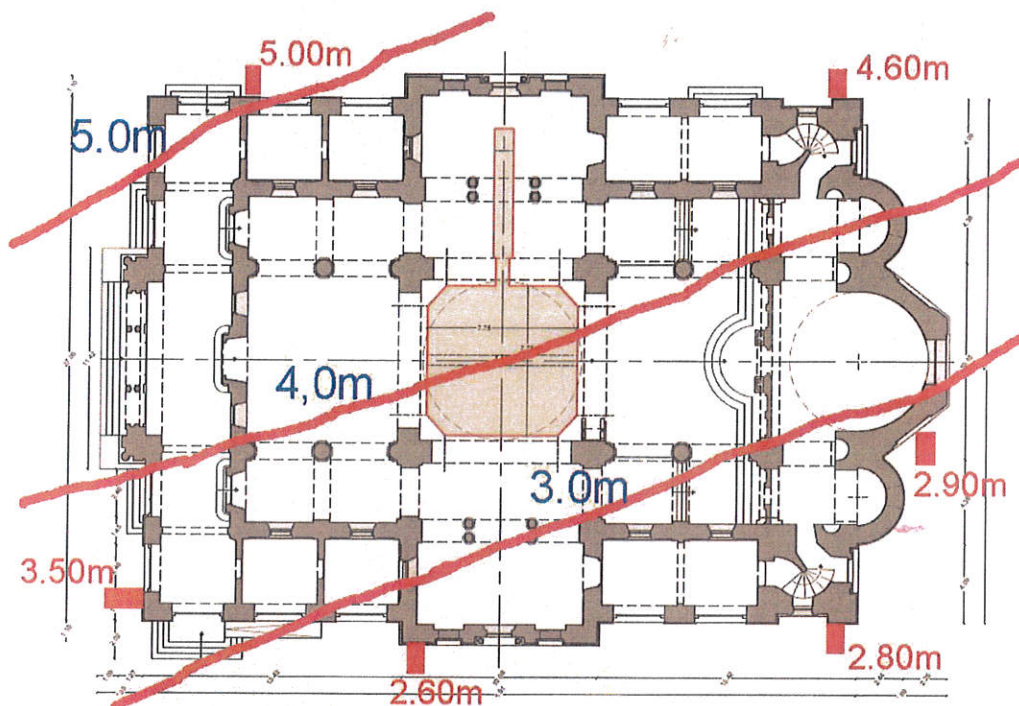
Σχήμα Χ.23: Θέση της ερευνητικής τομής στο εσωτερικό του ναού.



Σχήμα Χ.24: Θέση της ερευνητικής τομής στο εσωτερικό του ναού.

5 Σύνοψη και αξιολόγηση της δίαιτας των υπογείων υδάτων

Το επόμενο Σχήμα δείχνει το βάθος της ανώτερης στάθμης του μαργαϊκού υποβάθρου στις θέσεις των ερευνητικών φρεάτων, και την εκτίμηση των ισοβαθών καμπύλων της μάργας κάτω από τον ναό (οι τιμές των ισοβαθών σημειώνονται με μπλέ χρώμα). Τα βάθη μετρούνται ως προς το δάπεδο του ναού, το οποίο είναι 40-60cm υψηλότερα από τον περιβάλλοντα χώρο της πλατείας.



Σχήμα Χ.25: Βάθος (μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της ανώτερης στάθμης του μαργαϊκού υποβάθρου στις θέσεις των ερευνητικών φρεάτων, και εκτίμηση των ισοβαθών καμπύλων της μάργας κάτω από τον ναό (οι τιμές των ισοβαθών σημειώνονται με μπλέ χρώμα). Η ανατολή βρίσκεται προς τα δεξιά (προς το ιερό του ναού). Το μαργαϊκό υπόβαθρο βυθίζεται προς τα ΒΔ, με κλίση περίπου ίση με την κλίση της επιφάνειας του εδάφους.

Από το Σχήμα προκύπτει ότι το μαργαϊκό υπόβαθρο βυθίζεται με κλίση προς τα ΒΔ. Του μαργαϊκού υποβάθρου υπέρκεινται ανθρωπογενείς επιχώσεις που εκτιμάται ότι εν μέρει προϋπήρχαν της κατασκευής του ναού και εν μέρει τοποθετήθηκαν κατά την κατασκευή του ναού προκειμένου να οριζοντιωθεί ο χώρος της πλατείας. Εκτιμάται, ότι κατά την κατασκευή του ναού πρέπει να προστέθηκαν επιχώσεις κυρίως στην ΒΔ πλευρά, στην περιοχή της ανισοσταθμίας με τον παρακείμενο παλαιό ναό του Αγ. Μηνά.

Τα υλικά των επιχώσεων έχουν μεγαλύτερη διαπερατότητα από την υποκείμενη μάργα και συνεπώς τα όμβρια ύδατα που κατεισδύουν στο έδαφος διηθούνται διαμέσου των επιχώσεων και στη συνέχεια κινούνται κατά μήκος της διεπιφάνειας με την μάργα με



κατεύθυνση από τα ΝΑ προς τα ΒΔ (κατά την κλίση του μαργαϊκού υποβάθρου). Αυτό σημαίνει ότι η υγρασία προσβάλλει τον ναό στην νότια και ανατολική πλευρά του προκαλώντας άνοδο της υγρασίας διαμέσου της θεμελιολωρίδας προς τους τοίχους του ναού. Τα δυσμενή αποτελέσματα της ανωτέρω ανόδου της υγρασίας είναι εμφανή κυρίως στον νότιο και ανατολικό τοίχο του ναού.

Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου θα πρέπει να κατασκευασθεί στραγγιστήριο κατά μήκος της νότιας και ανατολικής πλευράς του ναού, με εκσκαφή μέχρι του βάθους της μάργας (βλέπε προηγούμενο Σχήμα).

6 Πρόταση της εδαφικής στρωματογραφίας

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα, οι περιμετρικοί τοίχοι του ναού εδράζονται επί θεμελιολωρίδων, δηλαδή λιθόκτιστων τοιχωμάτων μεγαλύτερου πλάτους από το πλάτος του (επίσης λιθόκτιστου) τοίχου που εδράζεται επ' αυτών. Το εκτιμώμενο βάθος (μετρούμενο από το δάπεδο του ναού) της θεμελίωσης των θεμελιολωρίδων των περιμετρικών τοίχων του ναού έχει ως εξής:

- Νότια πλευρά του ναού: εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4μ, με πλάτος θεμελιολωρίδας 2.20μ
- Βόρεια πλευρά του ναού: εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 5 – 5.5μ (μεταβλητό, με αύξηση προς τα δυτικά), με πλάτος θεμελιολωρίδας 2.30μ
- Δυτική πρόσοψη του ναού: εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5.5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν), με πλάτος θεμελιολωρίδας 3.00μ
- Ανατολική πλευρά του ναού: εκτιμάται ότι έχει θεμελιωθεί σε βάθος 4 – 5μ (μεταβλητό με αύξηση προς βορράν) με πλάτος θεμελιολωρίδας 2.20μ

Οι τέσσερις κεντρικοί πεσσοί εκτιμάται ότι εδράζονται επίσης με θεμελιολωρίδες (που σχηματίζουν τετράγωνο γύρω από την στέρνα) πάχους περί τα 2-2.5μ, σε βάθος περί τα 4.50μ από το δάπεδο του ναού.

Για την ανάλυση του φορέα του ναού με τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους, οι τιμές των κατακόρυφων στατικών και δυναμικών ελατηρίων Winkler στη βάση των θεμελιολωρίδων έχει ως εξής. Εξετάσθηκε εύρος τιμών του μέτρου ελαστικότητας του εδάφους μεταξύ 50-100 MPa.



Για μέτρο ελαστικότητας του μαργαϊκού υποβάθρου: $E = 50 \text{ MPa}$

B. Vesic's method :

One-dimensional compression modulus of soil $E_s = 1.35 E =$	67.5 MPa
Poisson ratio =	0.3
Width of beam foundation $B =$	2.3 m
Wall E modulus $E_b =$	2600 MPa
Wall moment of inertia $I =$	5.175 m ⁴

$$k = \frac{0.65}{1 - \nu^2} \left(\frac{E_s B^4}{E_b I} \right)^{1/2} \frac{E_s}{B}$$

For static loading:	$k = 16.2 \text{ MN/m}^3$
For seismic loading:	$k = 48.6 \text{ MN/m}^3$

Ανωτέρω δίνεται ο δείκτης εδάφους (k) των κατακόρυφων ελατηρίων Winkler για στατική φόρτιση και σεισμική επιφόρτιση.

Για μέτρο ελαστικότητας του μαργαϊκού υποβάθρου: $E = 100 \text{ MPa}$

B. Vesic's method :

One-dimensional compression modulus of soil $E_s = 1.35 E =$	135 MPa
Poisson ratio =	0.3
Width of beam foundation $B =$	2.3 m
Concrete E modulus $E_b =$	2600 MPa
Beam moment of inertia $I =$	5.175 m ⁴

$$k = \frac{0.65}{1 - \nu^2} \left(\frac{E_s B^4}{E_b I} \right)^{1/2} \frac{E_s}{B}$$

For static loading:	$k = 34.3 \text{ MN/m}^3$
For seismic loading:	$k = 103.0 \text{ MN/m}^3$

Ανωτέρω δίνεται ο δείκτης εδάφους (k) των κατακόρυφων ελατηρίων Winkler για στατική φόρτιση και σεισμική επιφόρτιση.

Η βάση της θεμελιολωρίδας μπορεί να θεωρηθεί ακλόνητη στην οριζόντια διεύθυνση (μη ολίσθησης).

Ως προς την στροφική δυσκαμψία της θεμελιολωρίδας, μπορούν να εφαρμοσθούν δύο εναλλακτικά σενάρια:

- (1) Να αγνοηθεί η αντιστήριξη μέσω του εδάφους στις παρειές της θεμελιολωρίδας και η βάση της θεμελιολωρίδας να θεωρηθεί άστρεπτη,
- (2) Να μην αγνοηθεί η αντιστήριξη μέσω του εδάφους στις παρειές της θεμελιολωρίδας, αλλά να προσομοιωθεί με οριζόντια ελατήρια Winkler στις παρειές της θεμελιολωρίδας με στατική δυσκαμψία $k_h = 4-8 \text{ MN/m}^3$ (με αντίστοιχες σεισμικές τιμές $k_h = 12-24 \text{ MN/m}^3$), ενώ στη βάση της θεμελιολωρίδας τοποθετούνται μόνον τα κατακόρυφα ελατήρια (και μηδενική οριζόντια μετακίνηση).

Το παρόν σχέδιο υποβάλλεται
την με αριθ. πρωτ. 334848/12-7-22
ΥΠ.ΠΟ.Α./ΓΔΑΜΤΕ/ΔΑΒΜΜ...../.....
Απόφαση.



42

