



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΣΑΡΑΝΤΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

<<ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΕ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΑΝΩ ΣΚΟΤΙΝΑΣ, ΠΙΕΡΙΑ>>

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



<<ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΕ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΗΣ ΑΝΩ ΣΚΟΤΙΝΑΣ, ΠΙΕΡΙΑ>>

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» με ειδίκευση στην Τεχνική Γεωλογία
Τομέας Γεωλογίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Επιβλέπων
Επίκ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Καθηγητής, Χατζηγώγος Θεόδωρος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017

© Σαραντοπούλου Μαρία 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



<<ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΕ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΑ ΕΔΑΦΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΩ ΣΚΟΤΙΝΑΣ, ΠΙΕΡΙΑ>>

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Πρόλογος

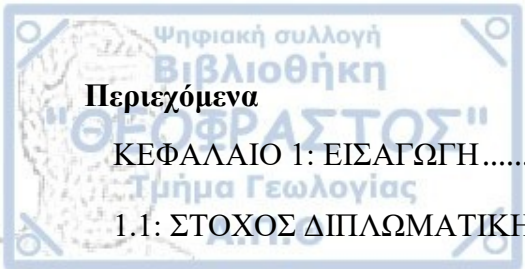
Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Επιβλέπων της μεταπτυχιακής διατριβής ήταν ο Καθηγητής κ. Χρηστάρας Βασίλειος. Τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής ήταν ο Επίκουρος Καθηγητής κ. Μαρίνος Βασίλειος και ο Καθηγητής κ. Χατζηγώγος Θεόδωρος.

Για την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την ανάθεση του παρόντος θέματος, την υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε.

Τον επίκουρο καθηγητή κ. Μαρίνο Βασίλειο και τον καθηγητή κ. Χατζηγώγο Θεόδωρο για το ενδιαφέρον τους σχετικά με την πρόοδο της εργασίας, την παροχή χρήσιμων γνώσεων και πολύτιμων συμβουλών αλλά και τη συμμετοχή τους στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή.

Τον Δρ. Χατζηγώγο Νικόλαο και τον Δρ. Μακεδόνα Θωμά για τη συνεχή ενθάρρυνση και καθοδήγηση σε όλα τα επίπεδα της συνεργασίας μας η οποία ήταν καθοριστικής σημασίας για τη διεκπεραίωση αυτής της εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες επιθυμώ να εκφράσω στους γονείς μου, Ευάγγελο και Ανατολή Σαραντοπούλου καθώς και τον αδερφό μου, Μηνά Σαραντόπουλο για όλη την αγάπη, στήριξη και βοήθεια που μου πρόσφεραν. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον σύντροφο μου, Γιώργο για όλη την συναισθηματική στήριξη που μου πρόσφερε και για το γεγονός ότι ήταν δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα όπως επίσης και την αδερφική μου φίλη, Σαμουήλ Χριστίνα για όλες τις συμβουλές και την αγάπη που μου έδειξε. Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω και στις πολύ καλές μου φίλες και συναδέλφους, Παναγιώτα Βενετσάνου και Αλίκη Κοκκαλά αλλά και σε όλους εκείνους που ήταν δίπλα μου αυτό το διάστημα και με στήριξαν ηθικά, οικονομικά και προσωπικά.



Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	7
1.1: ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	8
1.2: ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
1.3: ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΔΟΘΕΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	12
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	16
2.1: ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	16
2.2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ	17
2.3: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ	19
2.4: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ.....	21
2.5: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	22
2.6: ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ	25
2.7: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	26
2.8: ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	27
2.9: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ.....	29
2.10: ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ 2 ΝΑΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΣΚΟΤΙΝΑ	37
3.1: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΟ	37
3.2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	42
3.3: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	48
3.4: ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	49
3.5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΝΑΩΝ.....	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	53
4.1: ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ	53
4.2: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	68
4.3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ.....	71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	80
5.1: Κοίμηση της Θεοτόκου.....	80
5.2: Άγιος Αθανάσιος.....	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ.....	85
6.1: ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ (INCLINOMETERS)	85
6.2: ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ	99
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	106
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	135
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	138

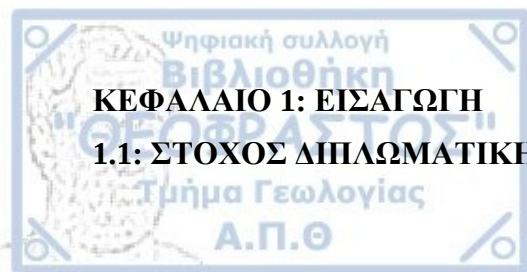
Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στις θέσεις θεμελίωσης των Ναών Αγ. Αθανασίου και Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Άνω Σκοτίνα Πιερίας (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, χαρακτηριστικά εδάφους, κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά συνθέτονται και αξιολογούνται προκειμένου αφενός μεν να εκτιμηθούν οι τιμές των εδαφικών παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής και συμπίεστικότητας εδάφους, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.), αφετέρου δε να διατυπωθούν τεκμηριωμένες προτάσεις που αφορούν στο μηχανισμό αστοχίας που λαμβάνει χώρα στην περιοχή μελέτης.

Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε ελέγχους ευστάθειας των πρηνών στις θέσεις θεμελίωσης των κτιρίων, έτσι ώστε να διερευνηθούν μέτρα αντιστήριξης και σταθεροποίησης των Ναών και η επίδραση αυτών στον Συντελεστή Ασφάλειας έναντι αστοχίας. Τελικός στόχος της παρούσας μελέτης είναι η διατύπωση τεκμηριωμένων εναλλακτικών λύσεων για την προσωρινή αντιστήριξη και σταθεροποίηση των κτιρίων και εναλλακτικών μόνιμων τεχνικών λύσεων για την σταθεροποίηση του υπεδάφους θεμελίωσης αυτών.

Abstract

The purpose of the present thesis is the investigation and determination of the ground conditions in the foundation areas of Agios Athanasios and Koimisis tis Theotokou churches in Ano Skotina, Pieria (stratigraphy, groundwater, soil characteristics etc.). The collected data are evaluated in order to estimate the values of parameters required for the study of the mechanical behavior of the foundation ground (strength parameters, soil compressibility, seismic vulnerability etc) and to produce the existing failure mechanism in the area of interest. The results are subsequently entered in stability analyses of the slopes in the foundation area in order to investigate support measures for the stabilization of the churches and their effect on the factor of safety. Finally the thesis proposes valid alternative solutions for the temporary support of the buildings as well as permanent technical solutions for the stabilization of their foundation ground.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1: ΣΤΟΧΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στις θέσεις θεμελίωσης των Ναών Αγ. Αθανασίου και Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Άνω Σκοτίνα Πιερίας (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, χαρακτηριστικά εδάφους, κ.λπ.) και πιο συγκεκριμένα η ερμηνεία των παρατηρούμενων παραμορφώσεων του υπεδάφους θεμελίωσης των δύο ναών. Τα στοιχεία αυτά προέκυψαν από τη γεωλογική μελέτη της συγκεκριμένης περιοχής καθώς και τα δεδομένα δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια γεωτεχνικής μελέτης για λογαριασμό της Αρχαιολογικής Υπηρεσίας. Συνθέτονται και αξιολογούνται προκειμένου αφενός μεν να εκτιμηθούν οι τιμές των εδαφικών εκείνων παραμέτρων που απαιτούνται στη μελέτη της μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους (χαρακτηριστικά αντοχής, κατάταξη από άποψη σεισμικής επικινδυνότητας, κ.λπ.), αφετέρου δε για τη διερεύνηση του μηχανισμού αστοχίας που λαμβάνει χώρα στη περιοχή, τη διερεύνηση της θέσης της επιφάνειας ολίσθησης του εδάφους θεμελίωσης των κτιρίων, του ρυθμού της ολίσθησης και την αποσαφήνιση του μηχανισμού ενεργοποίησης αυτής. Στη συνέχεια, τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε ελέγχους ευστάθειας των πρανών στις θέσεις θεμελίωσης των κτιρίων, έτσι ώστε να διερευνηθούν μέτρα αντιστήριξης και σταθεροποίησης των Ναών και η επίδραση αυτών στον Συντελεστή Ασφάλειας έναντι αστοχίας.



Εικόνα 1: Άποψη της εξωτερικής εμφάνισης του Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου



Εικόνα 2: Άποψη της εξωτερικής εμφάνισης του Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

1.2: ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

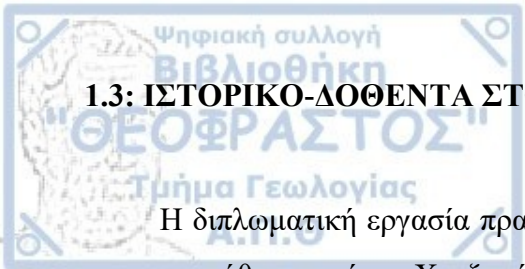
Η διπλωματική εργασία αποτελείται από έντεκα (11) κεφάλαια, καθένα από τα οποία οργανώνεται σε επιμέρους ενότητες. Η διάρθρωσή της έχει ως εξής: Στο 1^ο κεφάλαιο αναλύεται ο στόχος της διπλωματικής εργασίας, η δομή της καθώς επίσης γίνεται η παράθεση των πρωτογενών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για τη διεκπαιραίωση της διπλωματικής εργασίας. Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται η προέλευση και ο σχηματισμός των υπολειμματικών εδαφών, με ποιες διαδικασίες προκύπτει ο μανδύας αποσάθρωσης καθώς επίσης και κάποιες από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των υπολειμματικών εδαφών. Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται η διερεύνηση και ο προσδιορισμός των εδαφικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή της Άνω Σκοτίνας Πιερίας (στρωματογραφία, υπόγεια νερά, χαρακτηριστικά εδάφους, σεισμικότητα κ.λπ.). Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται η γεωλογική-τεχνικογεωλογική αξιολόγηση των γεωτρήσεων και πιο συγκεκριμένα αναλύονται οι συνθήκες που επικρατούν στη θέση θεμελίωσης των δύο Ναών, επιτυγχάνεται η διαπίστωση της κινητικότητας των κατάντη περιοχών καθώς επίσης γίνεται και μία αξιολόγηση των εργαστηριακών δοκιμών στις οποίες υποβλήθηκαν τα δείγματα. Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το γεωτεχνικό μοντέλο για τις 2 θέσεις θεμελίωσης των Ναών Αγ.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

Αθανασίου και Κοιμήσεως της Θεοτόκου στην Άνω Σκοτίνα Πιερίας. Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στα όργανα ενόργανης παρακολούθησης καθώς επίσης και μία παρουσίαση των αποτελεσμάτων από την εγκατάσταση κλισιόμετρων και πιεζόμετρων. Στο 7^ο κεφάλαιο παρατίθεται η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε ώστε να γίνουν οι αναλύσεις ευστάθειας στις θέσεις θεμελίωσης των δύο ναών. Τα παραπάνω στοιχεία εισάγονται σε ελέγχους ευστάθειας και ανάδρομες αναλύσεις των πρανών στις θέσεις θεμελίωσης των κτιρίων, έτσι ώστε να διερευνηθούν μέτρα αντιστήριξης και σταθεροποίησης των Ναών και η επίδραση αυτών στον Συντελεστή Ασφάλειας έναντι αστοχίας. Στο 8^ο κεφάλαιο γίνεται η διατύπωση τεκμηριωμένων εναλλακτικών λύσεων για την προσωρινή αντιστήριξη των κτιρίων καθώς και μόνιμων τεχνικών λύσεων για την σταθεροποίηση του υπεδάφους θεμελίωσης αυτών. Στο 9^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας ενώ στο 10^ο κεφάλαιο παρατίθεται η σχετική βιβλιογραφία.



Εικόνα 3: Άποψη της εξωτερικής εμφάνισης του Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου



1.3: ΙΣΤΟΡΙΚΟ-ΔΟΘΕΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της γεωτεχνικής έρευνας - μελέτης που εκπονήθηκε από το Χατζηγάγο Νικόλαο, Τεχνικό Γεωλόγο, και μας παρείχε τα πρωτογενή στοιχεία των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν, καθώς και στοιχεία των κλισιομέτρων που εγκαταστάθηκαν για την παρακολούθηση των μετακινήσεων. Τα στοιχεία αυτά απαιτούνται τόσο στον προσδιορισμό των συνθηκών θεμελίωσης όσον αφορά τις συνθήκες θεμελίωσης και μηχανικής συμπεριφοράς του υπεδάφους και ιδιαίτερα στα υπολειμματικά εδάφη που απαντώνται στην περιοχή, όσο και στην εκτίμηση της εφαρμογής μέτρων σταθεροποίησης. Για τις ανάγκες της μελέτης εκτελέστηκαν τέσσερεις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και εγκαταστάθηκαν δύο πιεζόμετρα τύπου Standpipe σε δύο εξ αυτών (Γ1,Γ3) και κλισιομετρικοί σωλήνες στις άλλες δύο, στα κατάντη των Ναών (Γ2,Γ4). Πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές σε όλα τα βάθη των γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό τόσο των φυσικών όσο και των μηχανικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Τελικός στόχος είναι ο προσδιορισμός του μηχανισμού αστοχίας και η διατύπωση τεκμηριωμένων εναλλακτικών λύσεων για την προσωρινή αντιστήριξη-σταθεροποίηση των κτιρίων και εναλλακτικών μόνιμων τεχνικών λύσεων για την σταθεροποίηση του υπεδάφους θεμελίωσης αυτών.



Εικόνα 4: Αποψη του εσωτερικού του ναού με τις ρωγμές που δημιουργήθηκαν από τα ερπυστικά φαινόμενα



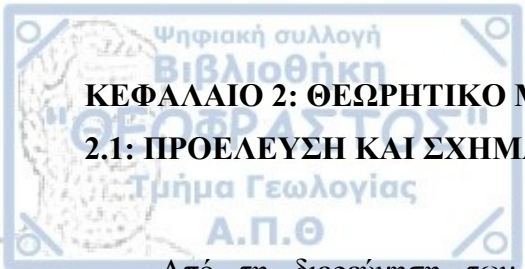
Εικόνα 5: Αποψη του εσωτερικού του ναού με τις ρωγμές που δημιουργήθηκαν από τα ερπυστικά φαινόμενα



Εικόνα 6: Άποψη του εσωτερικού του ναού με τις ρωγμές που δημιουργήθηκαν από τα ερπυστικά φαινόμενα



Εικόνα 7: Άποψη του εσωτερικού του ναού με τις ρωγμές που δημιουργήθηκαν από τα ερπυστικά φαινόμενα



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1: ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Από τη διερεύνηση των επί τόπου γεωλογικών συνθηκών προέκυψε η παρουσία υπολειμματικών εδαφικών υλικών προερχόμενων από την αποσάθρωση πετρωμάτων του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής μελέτης. Κρίνεται επομένως σκόπιμο να αναφερθούν κάποια στοιχεία που αφορούν στην προέλευση, το σχηματισμό, τις μηχανικές ιδιότητες και τη συμπεριφορά των υπολειμματικών εδαφών.

Υπολειμματικό έδαφος είναι ένα γεωυλικό εδαφικής μορφής το οποίο δημιουργείται από την επί τόπου αποσάθρωση και αποδόμηση πετρώματος και δεν έχει μετακινηθεί από την αρχική του θέση. Τα υπολειμματικά εδάφη μπορεί να εμφανίζονται είτε ως έντονα αποσαθρωμένα και εξαλλοιωμένα υλικά που περιέχουν δευτερογενή ορυκτά και δεν έχουν εμφανή ομοιότητα με το μητρικό υλικό. Ο σχηματισμός ενός μανδύα αποσάθρωσης σημαντικού πάχους είναι πολύ συνηθισμένος σε τέτοιου τύπου εδάφη. Το πάχος του μανδύα ποικίλλει σημαντικά, ανάλογα με τις διεργασίες αποσάθρωσης και το βάθος μέχρι το οποίο δρουν.

Τα υπολειμματικά εδάφη έχουν χαρακτηριστικά τα οποία είναι σαφώς διαφορετικά από αυτά των εδαφών που δημιουργούνται από μεταφορά και απόθεση. Η συμβατική θεώρηση των εδαφών ως κοκκωδών υλικών ή ως υλικών αποτελούμενων από διαφορετικού μεγέθους σωματίδια δεν μπορεί να εφαρμοσθεί σε πολλά υπολειμματικά εδάφη. Τα σωματίδια των υπολειμματικών εδαφών αποτελούνται συνήθως από συσσωματώματα ή κρυστάλλους αποσαθρωμένων ορυκτών, τα οποία αν διαταραχθούν θραύονται και μεταπίπτουν σε μικρότερα σωματίδια. Επιπρόσθετα, τα υπολειμματικά εδάφη κληρονομούν τη τεκτονική δομή και υφή του μητρικού πετρώματος, στοιχεία τα οποία επηρεάζουν δραστικά τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες τους καθιστώντας αδύνατη τη συσχέτιση αυτών με τη κοκκομετρική διαβάθμιση και τη διάταξη των κόκκων, όπως συμβαίνει στη συμβατική θεώρηση της μηχανικής των εδαφών.

Η θεωρητική προσέγγιση της μηχανικής συμπεριφοράς των εδαφών έχει βασιστεί στα ιζηματογενή εδάφη, δηλαδή σε εδάφη, τα οποία εξαιτίας των διαδικασιών διάβρωσης, μεταφοράς και απόθεσης, θεωρούνται ομογενή και οι μηχανικές ιδιότητες αυτών εξαρτώνται σχεδόν αποκλειστικά από την ιστορική τους καταπόνηση (stress history). Οι παραπάνω παραδοχές δεν μπορούν υιοθετηθούν για τα υπολειμματικά εδάφη. Είναι υλικά με έντονη ανομοιογένεια, χωρίς την επίδραση της ιστορικής καταπόνησης και ιδιότητες που ελέγχονται από τη σύσταση και τη παρουσία μακροδομών και/ή μικροδομών.



2.2: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ

Οι τρεις βασικοί τύποι αποσάθρωσης των πετρωμάτων είναι η *φυσική* ή *μηχανική*, η *χημική* και η *βιολογική* αποσάθρωση. Κατά τις διεργασίες αποσάθρωσης αποδομείται το μητρικό πέτρωμα και τα ορυκτά του απελευθερώνοντας εσωτερική ενέργεια. Μεταπίπτουν έτσι σε υλικά με μικρότερη εσωτερική ενέργεια και επομένως μεγαλύτερη σταθερότητα. Οι διαδικασίες μηχανικής αποσάθρωσης, όπως για παράδειγμα η *αποφόρτιση τάσεων λόγω διάβρωσης*, η *διαφορική θερμική αποσάθρωση* και οι *πίεσεις λόγω διόγκωσης* από παγετό ή απόθεση άλατος, επιφέρουν το θρυμματισμό του πετρώματος. Το γεγονός αυτό οδηγεί στην έκθεση υγιών επιφανειών πετρώματος σε χημικές αντιδράσεις και στην αύξηση της διαπερατότητας, διευκολύνοντας με τον τρόπο αυτό την κίνηση δραστικών σημικών διαλυμάτων μέσα σε αυτό. Οι χημικές διαδικασίες, κυρίως η υδρόλυση, η ανταλλαγή ιόντων και η οξείδωση, μετατρέπουν τα αρχικά ορυκτά σε πιο σταθερά αργιλικά ορυκτά. Οι βιολογικές διαδικασίες αποσάθρωσης περιλαμβάνουν φυσικές και χημικές διαδικασίες όπως διαμελισμό από διεϊσδυση ριζών, βακτηριδιακή οξείδωση, μείωση σιδηρούχων και θειούχων μειγμάτων. Πιο συγκεκριμένα οι διεργασίες που επιφέρουν τις μεταβολές των αρχικών πετρωμάτων είναι οι εξής:

α) Μηχανική Αποσάθρωση.

Συντελείται με τη διάσπαση του πετρώματος και υποβάθμιση της συνοχής του, χωρίς να μεταβάλλεται η χημική του σύσταση. Κυριαρχεί σε περιοχές μεγάλου υψομέτρου και σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος, όπου η παρουσία του νερού περιορίζεται συνήθως στη στερεή φάση (χιόνι ή πάγος). Είναι ιδιαίτερα δραστική σε κλιματικές περιοχές με σημαντικές ημερήσιες θερμοκρασιακές μεταβολές.

i) Διαφορική θερμική μεταμόρφωση. Οι διαδοχικές φάσεις ψύξης-θέρμανσης προκαλούν αντίστοιχα συστολή και διαστολή στα πετρώματα δημιουργώντας ρωγμές, διαρρήξεις επιφέροντας τελικά τη χαλάρωση και τον αποχωρισμό τεμαχών. Μικροσκοπικά, οι διαφορετικοί συντελεστές διαστολής των ορυκτών δημιουργούν τάσεις στις επαφές των κόκκων και οδηγούν σε κοκκώδη θρυμματισμό. Το πορώδες τους αυξάνεται από τις διαδοχικές φάσεις ψύξης-θέρμανσης των πετρωμάτων.

ii) Αποφόρτιση. Αποφλοιώση μπορεί να συμβεί και από αποφόρτιση, όταν σε μία ακολουθία σχηματισμών αποκρύνεται το ανώτερο στρώμα υπό την επίδραση της βαρύτητας σε συνδυασμό με τη δράση μετεωρικού νερού, επιφανειακής απορροής, από τη δράση του ανέμου ή από ανθρωπογενή δράση. Κατά την αποφόρτιση συμβαίνει εκτόνωση της πίεσης του υπερκείμενου

τεμάχους με αποτέλεσμα τη διαστολή της βραχομάζας και τελικά την υποπαράλληλη ρωγμάτωση και φολίδωση. Το βάθος της αποφόρτισης περιορίζεται περίπου στα 25 μέτρα όπου η τάση συμπίεσης και η εσωτερική τάση υπερσχύουν της τάσης ελαστικής διόγκωσης.

iii) Δράση παγετού. Σημαντικό παράγοντα μηχανικής καταπόνησης αποτελεί και ο παγετός. Η ευπάθεια του πετρώματος σε παγετό εξαρτάται από το βαθμό της διάρρηξης του, το πορώδες του, το μέγεθος και τη συνέχεια των πόρων του και το βαθμό κορεσμού του. Όταν το αποθηκευμένο νερό στους πόρους του πετρώματος παγώνει, αυξάνει σε όγκο μέχρι και 9% με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται πολύ μεγαλύτερες τάσεις στα τοιχώματα των πόρων και στις ρωγμές του. Επαναλαμβανόμενοι κύκλοι τήξης-πήξης του νερού των πόρων συνεισφέρουν στη διεύρυνση των ρωγμών του.

Άλλοι παράγοντες που υποβοηθούν τη φυσική αποσύνθεση του πετρωμάτων είναι η απόθεση αλάτων στους πόρους των σχηματισμών, η διείσδυση των φυτικών ριζών, όλων των ειδών βλάστησης, σε μεγάλα βάθη ασκώντας πολύ μεγάλες τάσεις και τέλος η δράση ζώων, τα οποία καταστρέφουν μεγάλες ποσότητες εδάφους υποβοηθώντας τη μηχανική αποσύνθεση του.

β) Χημική-Βιολογική αποσύνθεση

Οδηγεί σε ορυκτολογική μεταβολή και διάλυση των πετρωμάτων και είναι η κυριότερη διεργασία σχηματισμού των υπολειμματικών εδαφών. Γενικά το νερό συντελεί αποτελεσματικά στη χημική διάβρωση, ενώ διατηρεί σε διάλυση ουσίες που αντιδρούν με τα ορυκτά των σχηματισμών, δηλαδή οξυγόνο, διοξείδιο του άνθρακα, οργανικά και νιτρικά οξέα. Τα παράγωγα των χημικών αντιδράσεων στη πλειονότητα τους καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο από τα αρχικά ορυκτά των μητρικών πετρωμάτων, εφόσον βρίσκονται σε πιο σταθερή ισορροπία με το περιβάλλον. Οι χημικές διεργασίες που υφίστανται οι διάφοροι σχηματισμοί είναι οι εξής:

i) Οξείδωση. Αντίδραση των στοιχείων με το οξυγόνο, προς σχηματισμό οξειδίων και υδροξειδίων ή οποιαδήποτε άλλη διαδικασία που προκαλεί την απώλεια ηλεκτρονίων και οδηγεί σε θετική φόρτιση των στοιχείων. Η οξείδωση επηρεάζει κυρίως πετρώματα που περιέχουν θειικά, ανθρακικά και πυριτικά άλατα του σιδήρου. Τα προϊόντα της οξείδωσης έχουν συνήθως μεγαλύτερο όγκο από τα ορυκτά του μητρικού πετρώματος και επομένως φαινόμενα διόγκωσης λόγω οξείδωσης συμβάλλουν στον κατακερματισμό του πετρώματος (Mason, 1949).

ii) Υδρόλυση. Η υδρόλυση θεωρείται ο πιο σημαντικός παράγοντας χημικής αποσάθρωσης (Zaruba & Mencl, 1976). Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά (π.χ. οι καλιούχοι άστριοι) υφίστανται υδρόλυση σχηματίζονται αργιλικά ορυκτά (π.χ. καολίνης), κυρίως συστατικά των

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας

υπολειμματικών εδαφών. Κατά την αντίδραση αυτή τα αστριούχα ορυκτά διαστέλλονται με αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του εδάφους.

iii) Ενυδάτωση(ή αφυδάτωση). Σχετίζεται με την απορρόφηση (ή αφαίρεση) μορίων νερού από το κρυσταλλικό πλέγμα των ορυκτών με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων ορυκτών. Κατά τη δημιουργία νέων ένυδρων ορυκτών προκαλείται συχνά ογκομετρική αύξηση (π.χ. σε αργιλικά ορυκτά) η οποία και παράγει μεγαλύτερες μηχανικές τάσεις με αποτέλεσμα τη διάσπαση του πετρώματος.

iv) Διάλυση. Το νερό (μετεωρικό ή αποθηκευμένο στο πορώδες του πετρώματος) ως διαλύτης αποσυνθέτει τα ορυκτά, υποβοηθούμενο από το ανθρακικό οξύ (H_2CO_3), το οποίο σχηματίζεται από το υπάρχον διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)

v) Ανθράκωση. Το CO_2 διαλύεται στο νερό και σχηματίζεται ανθρακικό οξύ (H_2CO_3) το οποίο αντιδρά με τα ορυκτά π.χ. διαλυτοποιεί τον ασβεστίτη (CaCO_3) σε ασβέστιο και διττανθρακικά ιόντα.

Τα αποτελέσματα των μηχανικών και χημικών αντιδράσεων πολλές φορές δεν μπορούν να διακριθούν μεταξύ τους. Λαμβάνουν χώρα σχεδόν ταυτόχρονα και αλληλεπιδρούν, υποβοηθώντας οι μεν τις δε. Όταν για παράδειγμα, λόγω της μηχανικής αποσάθρωσης δημιουργούνται ρωγμές ή θρυμματισμός στο μητρικό πέτρωμα, μεγαλώνει η επιφάνεια έκθεσης του ενώ παράλληλα διευκολύνεται η διείσδυση του νερού και άλλων ουσιών που προκαλούν αρχικά διάβρωση σε επιφάνειες διαχωρισμού και μετέπειτα την περαιτέρω έως και ολοκληρωτική αποσύνθεση του.

2.3: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΟΥ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

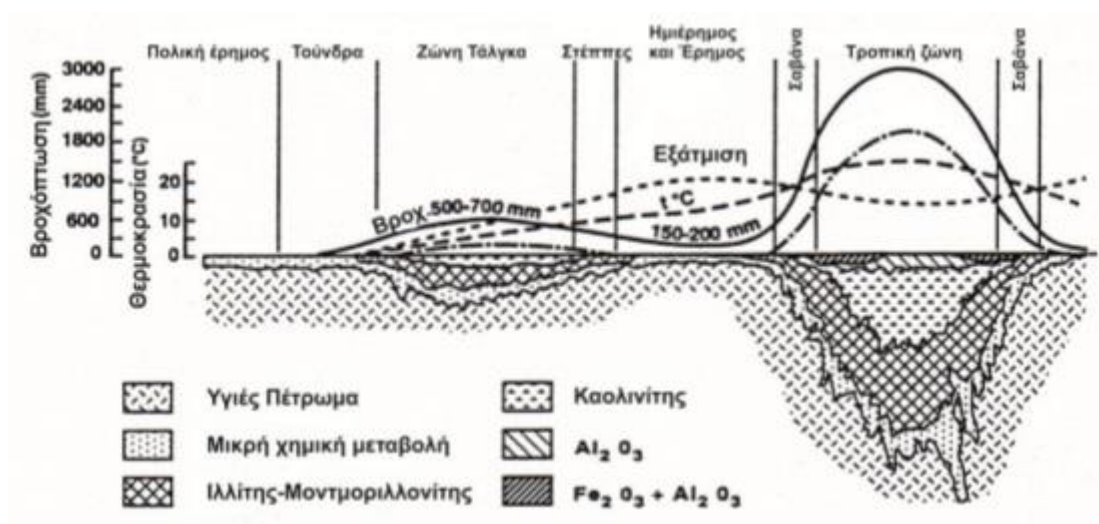
Το κλίμα έχει σημαντική επίδραση στο είδος και το ρυθμό αποσάθρωσης (Weinert, 1964 Weinert, 1974, Morin & Ayetey, 1971). Η μηχανική αποσάθρωση κυριαρχεί σε ξηρά κλίματα, ενώ η έκταση και ο ρυθμός της χημικής αποσάθρωσης ελέγχεται από τη διαθεσιμότητα σε υγρασία και τη θερμοκρασία.

Σύμφωνα με τον Uehara (1982), η μεταβολή της ορυκτολογικής σύνθεσης των αργικών υπολειμματικών εδαφών μπορεί να εκτιμηθεί σε παγκόσμια κλίμακα με βάση την απόσταση από τον Ισημερινό. Αυτή είναι μία απλουστευμένη θεώρηση, διότι, το κλίμα δε μεταβάλλεται ομοιόμορφα σε σχέση με την απόσταση από τον Ισημερινό, αλλά εξαρτάται από την τοπογραφία,

τα ρεύματα των ωκεανών κ.α.. Οι υψηλές θερμοκρασίες και η βροχόπτωση κοντά στον Ισημερινό ευνοούν το σχηματισμό των αργιλικών ορυκτών μικρής ενεργότητας π.χ. καολίνης ενώ καθώς μεταβαίνουμε στην εύκρατη ζώνη όπου η βροχόπτωση ελαττώνεται, κυριαρχούν αργιλικά ορυκτά υψηλής ενεργότητας π.χ. σμεκτίτης. Η επίδραση του παγκόσμιου κλίματος στην αποσάθρωση των πετρωμάτων και στα εδαφικά προϊόντα αυτών, περιγράφηκε από τον Strakhon (1967) και παρουσιάζεται στην εικόνα.



Εικόνα 8: Επιρροή του παγκόσμιου κλίματος στην ανάπτυξη αργιλικών ορυκτών (Uehara, 1982)



Εικόνα 9: Επιρροή του παγκόσμιου κλίματος στο βάθος και στα προϊόντα αποσάθρωσης (Strakhon, 1967)

Το κλίμα δεν επιδρά μόνο στις διαδικασίες δημιουργίας των υπολειμματικών εδαφών, αλλά και στις ιδιότητες των τελικών προϊόντων. Στις εύκρατες και στις ημιτροπικές περιοχές η στάθμη των υπόγειων νερών συναντάται συνήθως βαθύτερα από τα 5-10 μέτρα και έχοντας υπ' όψιν ότι ο σχηματισμός των υπολειμματικών εδαφών συντελείται από την επιφάνεια του εδάφους και επεκτείνεται βαθύτερα, μπορεί να θεωρηθεί πως η πλειονότητα των υλικών αυτών εντοπίζεται στην ακόρεστη ζώνη. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια τα υλικά αυτά να υπόκεινται σε κύκλους ξήρανσης και ύγρυνσης, λόγω εποχιακών διακυμάνσεων της υπόγειας στάθμης ή εναλλαγής ξηρών και υγρών περιόδων.

Η ετήσια βροχόπτωση είναι ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας επιρροής του κλίματος στις ιδιότητες των υπολειμματικών εδαφών. Έρευνες σε έντονα αποσάθρωμένους γρανίτες έχουν δείξει πως η αύξηση της ετήσιας βροχόπτωσης αυξάνει τον δείκτη πόρων των εδαφικών προϊόντων.

2.4: Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ

Η τοπογραφία αφορά στοιχεία όπως το ανάγλυφο, η μορφολογική κλίση του εδάφους, οι υψομετρικές διαφορές και η έκθεση των πρανών. Η κλίση, το υψόμετρο και η γεωμετρία ενός πρανούς καθορίζουν το ρυθμό αποσάθρωσης και την ικανότητα των διαβρωτικών διεργασιών να απομακρύνουν τα παραγόμενα υλικά. Για να είναι δυνατή η δημιουργία ενός μανδύα αποσάθρωσης σε βάθος θα πρέπει ο ρυθμός αποσάθρωσης να υπερβαίνει το ρυθμό απομάκρυνσης των παραγόμενων υλικών.

Ο ρυθμός αποσάθρωσης επηρεάζεται από την τοπογραφία κυρίως μέσω της διαθέσιμης ποσότητας νερού και τον ρυθμό με τον οποίο αυτό κινείται στη ζώνη αποσάθρωσης. Έντονο ανάγλυφο σημαίνει αύξηση της απορροής του νερού της βροχόπτωσης, ενώ ήπιο ανάγλυφο σημαίνει αύξηση της ποσότητας του νερού που κατεισδύει. Επίσης οι πλαγιές με μικρότερο υψόμετρο έχουν περισσότερη διαθέσιμη υγρασία λόγω της υψηλότερης στάθμης υπόγειου νερού και περισσότερη βλάστηση. Σε επίπεδες επιφάνειες οι συνθήκες διάβρωσης είναι πιο ομαλές, σε κοίλες επιφάνειες πρανών η αποσάθρωση αυξάνεται στα κατόντη, ενώ το αντίθετο συμβαίνει σε κυρτές επιφάνειες. Γενικότερα το απότομο ανάγλυφο και η μεγάλη μορφολογική κλίση συνεπάγονται και μεγαλύτερο ρυθμό διάβρωσης και επομένως μανδύες αποσάθρωσης με μεγάλο πάχος σχηματίζονται σε κοιλάδες και πρανή με ήπιες κλίσεις (Morin & Ayetey, 1971).

Μελέτες σε τομές υπολειμματικών εδαφών τα οποία σχηματίστηκαν από πυριγενή πετρώματα έδειξαν πως το βάθος της αποσάθρωσης αυξάνεται προς τα κατόντη αυτών. Τα

κυρίαρχα αργιλικά ορυκτά στα ανάντη είναι καολινίτης/αλλουσίτης ενώ στα κατάντη κυριαρχεί ο σμεκτίτης (Fitzpatrick & Le Roux, 1977). Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των αργιλικών ορυκτών, εκτός από το κλίμα, τη βροχόπτωση και τη τοπική τοπογραφία παίζει και η αποστράγγιση στο εσωτερικό του μανδύα αποσάθρωσης. Συνθήκες καλής αποστράγγισης και υψηλές τιμές βροχόπτωσης ευνοούν το σχηματισμό καολινίτη, ενώ πρανή με ήπιες κλίσεις και κακή αποστράγγιση ευνοούν το σχηματισμό μοντοριλλονίτη (Van der Merwe, 1965). Συμπερασματικά, όσο ευνοικότερες είναι οι συνθήκες αποστράγγισης, τόσο εντονότερη είναι η χημική αποσάθρωση, σε σχέση πάντα με το διαθέσιμο νερό.

2.5: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Οι διαδικασίες σχηματισμού ενός προφίλ υπολειμματικού εδάφους είναι, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως εξαιρετικά πολύπλοκες. Οι ιδιότητες των υλικών αυτών πρέπει να εξετάζονται κάθε φορά κατά περίπτωση, καθώς είναι επισφαλής η συσχέτιση των ιδιοτήτων τους με αυτές του μητρικού πετρώματος, όπως επίσης είναι επισφαλής και η συσχέτιση των ιδιοτήτων δύο υπολειμματικών εδαφών προερχόμενων από το ίδιο πέτρωμα αλλά σε διαφορετικές περιοχές. Για παράδειγμα, υπολειμματικά εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση γρανιτικών πετρωμάτων στο ζεστό και υγρό κλίμα της χερσονήσου της Μαλαισίας αναμένεται να έχουν πολύ διαφορετικές ιδιότητες από εδάφη ίδιας προέλευσης, στο ψυχρότερο και λιγότερο υγρό κλίμα του Ελλαδικού χώρου.

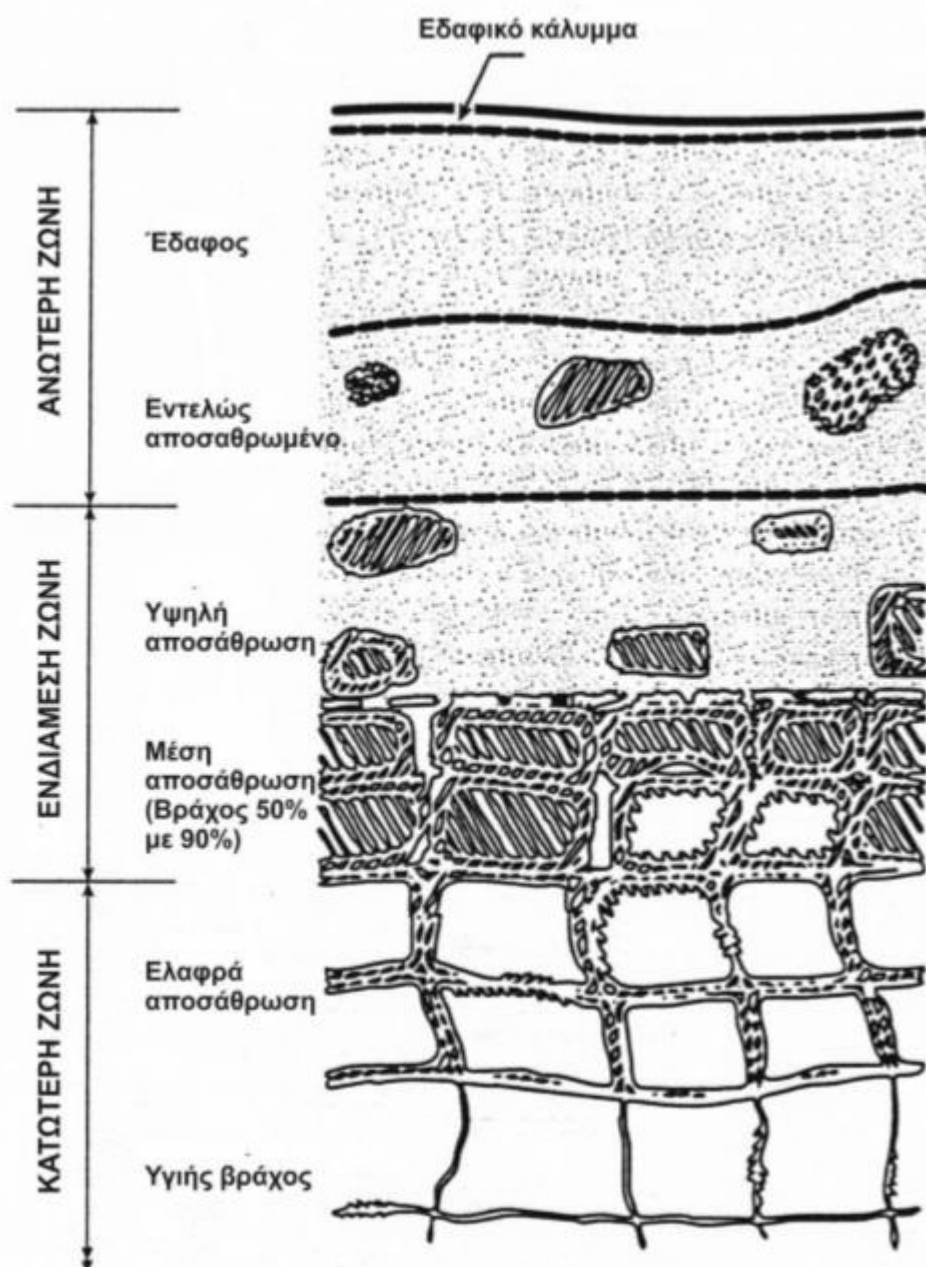
Στην εικόνα φαίνεται μία ακολουθία αποσάθρωσης που οδηγεί στο σχηματισμό αργιλικών ορυκτών (Van der Merwe, 1965). Μία τέτοια ακολουθία μπορεί να διακοπεί ή και να αντιγραφεί σε συγκεκριμένα στάδια, αν υπάρξουν μεταβολές στο κλίμα ή στις συνθήκες αποστράγγισης.



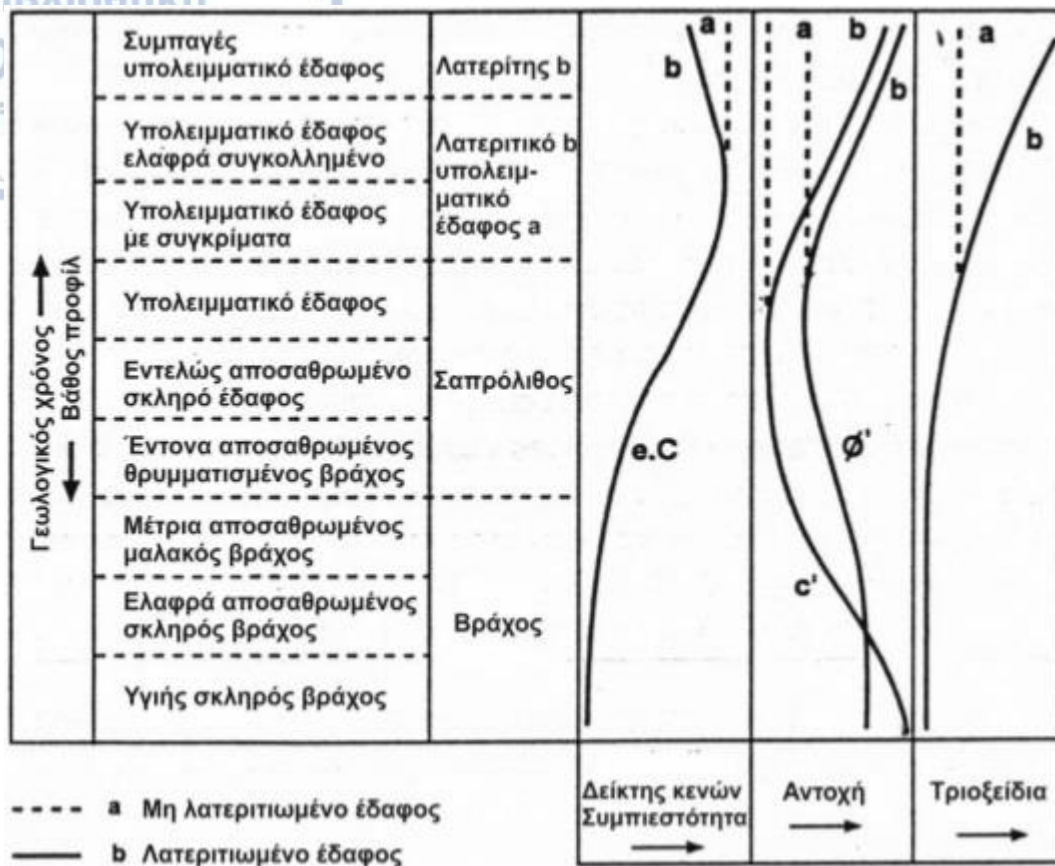
Εικόνα 10: Προτεινόμενη ακολουθία αποσάθρωσης προς το σχηματισμό αργιλικών ορυκτών (Van der Merwe, 1965)

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των υπολειμματικών εδαφών είναι ο τύπος του προφίλ αποσάθρωσης που δημιουργείται κατά το σχηματισμό τους. Οι διαδικασίες αποσάθρωσης εκδηλώνονται από την επιφάνεια και επιδρούν σε βάθος μέσω των ρωγματώσεων ή άλλων οδών κατείσδυσης στο υλικό ανάμεσα στις επιφάνειες διακλάσεων. Η πυκνότητα των ρωγματώσεων μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται η ένταση της αποσάθρωσης. Είναι σύνηθες να εντοπίζονται ογκόλιθοι υγιούς πετρώματος έγκλειστοι σε τεμάχια αποσαθρωμένου υλικού σε τομές υπολειμματικών εδαφών, προερχόμενων από πυριγενή πετρώματα (Lumb P., 1961). Μία τυπική τομή υπολειμματικού εδάφους αποτελείται από τρεις διακριτές ζώνες.

Η ανώτερη ζώνη αποτελείται από έντονα αποσαθρωμένο και εκπλυμένο εδαφικό υλικό, το οποίο έχει υποστεί διαταραχή ή μετακίνηση. Η ενδιάμεση ζώνη αποτελείται επίσης από έντονα αποσαθρωμένο υλικό, το οποίο διατηρεί κάποια στοιχεία της δομής του μητρικού πετρώματος. Τα υλικά της ενδιάμεσης ζώνης ονομάζονται σαπρόλιθοι (saprolites). Οι σαπρόλιθοι είναι υλικά με αντοχή ή συνοχή παρόμοια με ενός εδαφικού υλικού που διατηρούν τα φυσικά χαρακτηριστικά και τη υφή του πετρώματος προέλευσης.



Εικόνα 11: Τυπικό προφίλ υπολειμματικού εδάφους (Little, 1969)



Εικόνα 12: Μεταβολές σε προφίλ αποσάθρωσης (Tuncer & Lohnes, 1977)

Ο διαχωρισμός ζωνών αποσάθρωσης σε σχέση με το βάθος, (Tuncer & Lohnes, 1977) δε μπορεί να εφαρμοσθεί σε όλα τα προφίλ αποσάθρωσης. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η τεκτονική δομή πλήττει τις διαδικασίες. Στις περιπτώσεις αυτές είναι πιθανό να εντοπίζονται ζώνες πλήρως εδαφοποιημένου υλικού βαθύτερα ή σε επαφή με ζώνες υγιούς βράχου.

2.6: ΡΥΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ

Η αποσάθρωσιμότητα της εξεταζόμενης βραχομάζας επηρεάζει τον ρυθμό με τον οποίο εξελίσσεται η αποσάθρωση. Η τελευταία ελέγχεται από την ορυκτολογική σύσταση, την υφή, το πορώδες, την αντοχή καθώς και τη παρουσία και τη συχνότητα εμφάνισης επιφανειών ασυνέχειας, δηλαδή σχιστότητας, στρώσης, διακλάσεων, ρωγμών κάθε είδους και ρηγμάτων. Από τη στιγμή της επιφανειακής έκθεσης ενός πετρώματος ευπρόσβλητου σε διαδικασίες αποσάθρωσης ο ρυθμός αποσάθρωσης αυξάνεται δραματικά σε χρονικές περιόδους της τάξης των ετών ή και των μηνών κατά περίπτωση.

Πίνακας 1: Κατάταξη του εδάφους με κριτήριο το βαθμό αποσάθρωσης

Περιγραφή	Βαθμός	Γενικά χαρακτηριστικά
Υπολειμματικό έδαφος	VI	- Καταστροφή αρχικής δομής - Αναζυμώνεται με πίεση χεριού ή δακτύλου
Εντελώς αποσαθρωμένος	V	- Διατήρηση αρχικής δομής - Αναζυμώνεται με πίεση χεριού ή δακτύλου - Εντελώς αποχρωματισμένο σε σχέση με τον υγιή βράχο - Αποφλοιώση κατά τη διαβροχή - Μηδενικές τιμές N Schmidt
Έντονα αποσαθρωμένος	IV	- Σπάει σε δύο κομμάτια με το χέρι - Τιμές N σφύρας Schmidt έως 25 - Δεν αποφλοιώνεται κατά τη διαβροχή - Κούφιος ήχος σε χτύπημα γεωλογικού σφυριού - Ξεκόλλημα κόκκων από την επιφάνεια
Μέτρια αποσαθρωμένος	III	- Σπάει εύκολα με γεωλογικό σφυρί - Τιμές N σφύρας Schmidt 25-45 - Ελαφρώς καμpanοειδής ήχος σε χτύπημα γεωλογικού σφυριού - Καθόλου εύθρυπτο υλικό - Παρουσία κηλίδων αποχρωμάτισης
Ελαφρά αποσαθρωμένος	II	- Σπάει εύκολα με γεωλογικό σφυρί - Τιμές N σφύρας Schmidt >45 - Καμpanοειδής ήχος σε χτύπημα γεωλογικού σφυριού - Παρουσία κηλίδων αποχρωμάτισης κοντά σε διακλάσεις - Τιμές αντοχής κοντά σε αυτές υγιούς βράχου
Υγιής βράχος	I	- Μη ορατή αποχρωμάτιση - Σπάει δύσκολα με γεωλογικό σφυρί

2.7: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Υπάρχουν ειδικά γνωρίσματα και χαρακτηριστικά των υπολειμματικών εδαφών τα οποία δεν μπορούν να καλυφθούν ή να ληφθούν υπόψη από συμβατικά συστήματα ταξινόμησης εδαφών όπως το Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (USCS). Τα κυριότερα από αυτά είναι τα παρακάτω:

- Η ασυνήθιστη ορυκτολογική σύσταση τροπικών ή υποτροπικών αργιλικών εδαφών δημιουργεί μη συμβατά χαρακτηριστικά σε σχέση με αυτά της ομάδας στην οποία ταξινομούνται σύμφωνα με τα υπάρχοντα συστήματα ταξινόμησης.
- Η επί τόπου εδαφική μάζα εμφανίζει μία ακολουθία υλικών που καλύπτουν μεγάλο εύρος ξεκινώντας από το έδαφος και φτάνοντας μέχρι το μαλακό βράχο ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης. Αυτά δεν μπορούν να περιγραφούν από συστήματα ταξινόμησης που βασίζονται σε εδάφη που έχουν μεταφερθεί (transported soils).
- Τα συμβατικά συστήματα ταξινόμησης εδαφών εστιάζουν πρωτίστως στις ιδιότητες των εδαφών σε αναζυμωμένη κατάσταση (διαταραγμένα δείγματα). Το γεγονός αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα σε ότι αφορά τα υπολειμματικά εδάφη, τα οποία επηρεάζονται σημαντικά από επί τόπου δομικά χαρακτηριστικά, είτε κληρονομούμενα από το μητρικό πέτρωμα, είτε αναπτυσσόμενα κατά τη διαδικασία αποσάθρωσης.

Ο όρος υπολειμματικό έδαφος είναι δύσκολο να ερμηνευτεί με ακρίβεια. Κατά τη διαδικασία μετατροπής ενός βράχου σε έδαφος συντελείται σταδιακή μετάβαση, χωρίς να μπορεί να εξακριβωθεί το ακριβές σημείο κατά το οποίο το υλικό μεταβαίνει από πέτρωμα σε έδαφος. Στον πίνακα 1 οι τρεις ανώτεροι ορίζοντες (IV, V και VI) τείνουν να συμπεριφερθούν σαν εδάφη ενώ οι τρεις κατώτεροι (I, II και III) τείνουν να συμπεριφερθούν σαν βράχος. Επομένως ο όρος ‘‘υπολειμματικό έδαφος’’ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει υλικά που ανήκουν στους τρεις ανώτερους ορίζοντες. Ένας άλλος όρος που χρησιμοποιείται για τη περιγραφή ή την ταξινόμηση υπολειμματικών εδαφών είναι ο όρος σαπρόλιθος (saprolite). Ο όρος αυτός έχει επικρατήσει για την περιγραφή υπολειμματικών εδαφών με σαφή δομικά χαρακτηριστικά.

2.8: ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

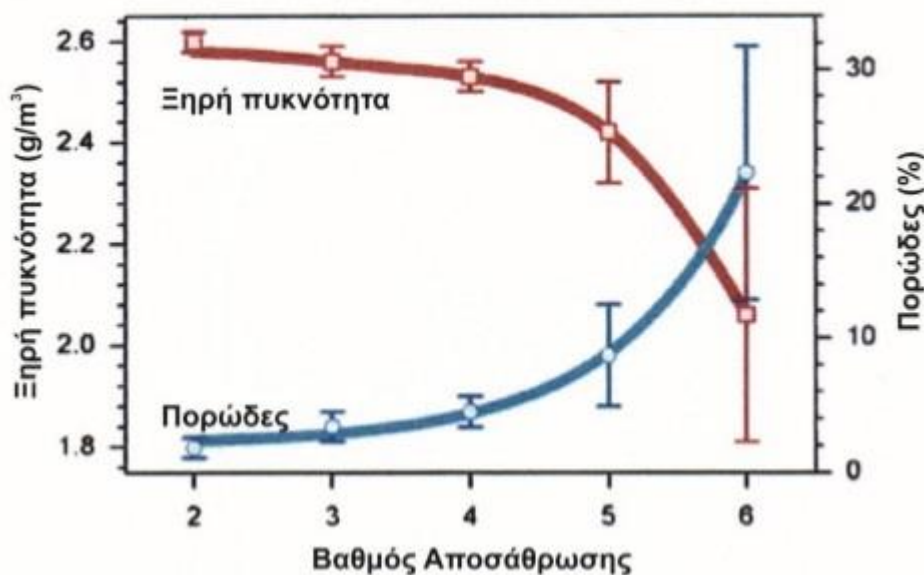
Η χρησιμότητα των συμβατικών δοκιμών ταξινόμησης καθώς και των συμβατικών συστημάτων ταξινόμησης όπως το Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών (USCS) έχει αμφισβητηθεί σε πολλές περιπτώσεις στη διεθνή βιβλιογραφία αναφορικά με την εφαρμογή τους στα υπολειμματικά εδάφη (De Craft-Johnson & Bhatia, 1969). Θεωρείται πως κατά τη διαδικασία προετοιμασίας δειγμάτων για την εκτέλεση δοκιμών καταστρέφεται ο επί τόπου χαρακτήρας του υπολειμματικού εδάφους, και επομένως τα αποτελέσματα δε μπορούν να αποτελέσουν ασφαλή ένδειξη των ιδιοτήτων αυτού στην επί τόπου (αδιατάρακτη) κατάσταση του.

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

α) Φυσική Υγρασία: Η μελέτη της διακύμανσης της επί τόπου φυσικής υγρασίας των υπολειμματικών εδαφών είναι πολύ σημαντική γιατί συνδέεται με τις μεταβολές των μηχανικών παραμέτρων και συγκεκριμένα των παραμέτρων αντοχής τους.

β) Όρια Atterberg: Ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την αξιολόγηση της μηχανικής συμπεριφοράς και το χαρακτηρισμό των υπολειμματικών εδαφών. Παρόλα αυτά, οι μεμονωμένες τιμές των ορίων υδαρότητας, πλαστικότητας και δείκτη πλαστικότητας δεν είναι τόσο σημαντικές όσο η θέση που καταλαμβάνει το έδαφος στο διάγραμμα δείκτη πλαστικότητας-ορίου υδαρότητας. Η θέση αυτή αποτελεί σαφή ένδειξη των μηχανικών παραμέτρων που χαρακτηρίζουν όλα τα εδάφη και ακόμα περισσότερο τα υπολειμματικά εδάφη.

γ) Ειδικό βάρος και ξηρό φαινόμενο βάρος: Το ειδικό βάρος αποτελεί μία παράμετρο, που πέρα από τη φυσική της σημασία, εμπεριέχεται σχεδόν σε όλους τους υπολογισμούς των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών (δείκτης κενών, βαθμός κορεσμού κλπ). Στα υπολειμματικά εδάφη η τιμή του ειδικού βάρους μπορεί να είναι ασυνήθιστα υψηλή ή χαμηλή και για το λόγο αυτό απαιτείται ο προσδιορισμός της στο εργαστήριο χρησιμοποιώντας μία αποδεκτή διαδικασία υπολογισμού της. Κατά τη διάρκεια της εξέλιξης της αποσάθρωσης, εκτός από τις ορυκτολογικές αλλαγές, αυξάνεται σημαντικά το πορώδες και μειώνεται αυτόματα το ξηρό φαινόμενο βάρος.



Εικόνα 13: Συσχέτιση του βαθμού αποσάθρωσης με την ξηρή πυκνότητα και το πορώδες (Thuro & Scholz, 2003)

δ) Κοκκομετρική διαβάθμιση: Η κατάσταση αναφορικά με την κοκκομετρική διαβάθμιση των υπολειμματικών εδαφών δε διαφέρει πολύ από αυτή των ιζηματογενών εδαφών. Επιπλέον στα υπολειμματικά εδάφη ισχύουν τα εξής:

- Συχνά τα υπολειμματικά εδάφη δεν αποτελούνται από διακριτά σωματίδια σε αδιατάρακτη κατάσταση και είναι η διαδικασία προετοιμασίας των δειγμάτων στο εργαστήριο αυτή που οδηγεί στο διαχωρισμό διακριτών σωματιδίων.
- Κάποια υπολειμματικά εδάφη, ιδίως αυτά που περιέχουν μεγάλα ποσοστά ορυκτών όπως είναι ο αλλοφανής και ο αλλοϋσίτης, εμφανίζουν πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά, παρόλο που είναι εξαιρετικά λεπτόκοκκα.

2.9: ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

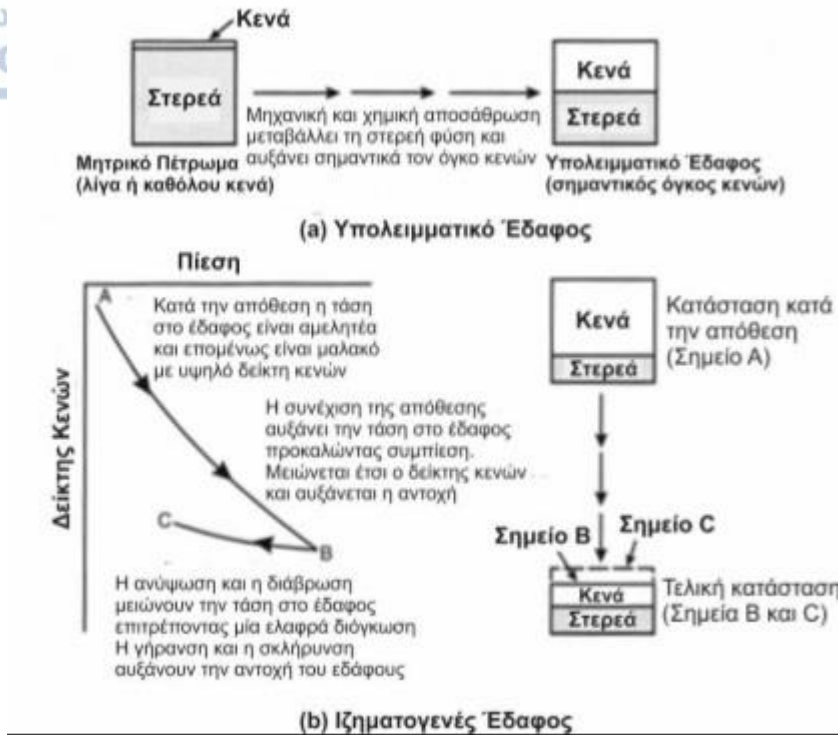
α) Περαιτότητα: Αν και οι γενικεύσεις στην εδαφομηχανική είναι πάντοτε επισφαλείς, εντούτοις θεωρείται ευρέως αποδεκτό ότι τα υπολειμματικά εδάφη τείνουν να έχουν υψηλότερη περαιτότητα από τα εδάφη μεταφοράς και απόθεσης. Αυτό οφείλεται κυρίως στη παρουσία των χαρακτηριστικών μικροδομής, όπως η συσσωμάτωση των αργιλικών σωματιδίων και η ικανότητα τους να σχηματίζουν δεσμούς, δημιουργώντας μία πιο "ανοιχτή" δομή. Η παρουσία αυτών των δομών είναι και ο λόγος των πολύ έντονων μεταβολών της περαιτότητας που παρατηρούνται σε μανδύα αποσάθρωσης υπολειμματικού εδάφους, τόσο σε κατακόρυφο όσο και σε οριζόντιο επίπεδο. Τυπικά προφίλ αποσάθρωσης υπολειμματικών εδαφών που έχουν παρουσιαστεί από τους Lumb (1961), Deere & Patton (1971), Vargas (1974), Blight (1988) και άλλους, παρουσιάζουν σαφείς διακυμάνσεις στη κοκκομετρική διαβάθμιση, στο λόγο κενών, στην ορυκτολογική σύσταση, στο βαθμό και τα χαρακτηριστικά των υπολειμματικών τεκτονικών δομών, οι οποίες επηρεάζουν τις τιμές περαιτότητας από περίπτωση σε περίπτωση. Η περαιτότητα των υπολειμματικών εδαφών ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την κληρονομούμενη από το μητρικό πέτρωμα δομή. Το μεγαλύτερο μέρος της ροής διεξάγεται κατά μήκος υπολειμματικών ασυνεχειών, χαλαζιακών φλεβών και βιοκαναλιών (π.χ. από τη δράση τερμιτών). Οι De Mello (1988) και Blight (1991) έχουν περιγράψει προβλήματα σε τεχνικά έργα από τη παρουσία ροών σε τέτοια κανάλια τερμιτών.

Πίνακας 2: Σχέση περατότητας-βαθμού αποσάθρωσης

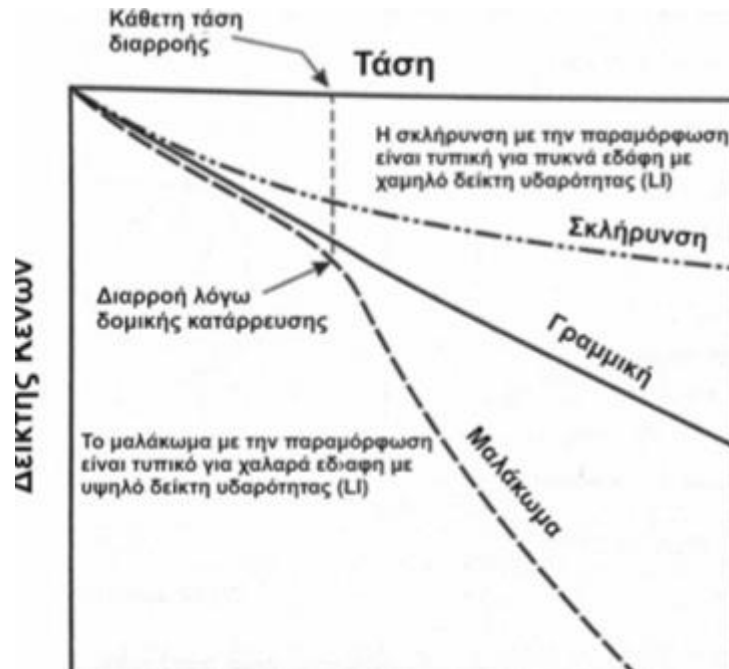
Ζώνη αποσάθρωσης	Σχετική διαπερατότητα
Οργανικά επιφανειακά εδάφη	Μέση έως υψηλή
Ωριμα υπολειμματικά εδάφη	Χαμηλή
Νέα υπολειμματικά εδάφη	Μέση
Σαπρόλιθοι	Υψηλή
Αποσαθρωμένος βράχος	Μέση έως υψηλή
Υγιής βράχος	Χαμηλή έως μέση

β) Συμπιεστότητα: Οι σημαντικότερες διαφορές στη συμπεριφορά των υπολειμματικών εδαφών σε σχέση με τα ιζηματογενή εδάφη εντοπίζονται κυρίως στα χαρακτηριστικά συμπιεστότητας και γενικότερα στα χαρακτηριστικά μεταβολής όγκου. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της χρήσης του συμβατικού διαγράμματος δείκτη κενών (e)-λογαρίθμου τάσης ($\log p$) για τη παρουσίαση των αποτελεσμάτων δοκιμών οιδημέτρου σε υπολειμματικά εδάφη. Τα υπολειμματικά εδάφη δεν αποτίθενται ούτε ακολουθούν διαδικασία στερεοποίησης, δεν έχουν επομένως αρχική καμπύλη στερεοποίησης. Παρά το γεγονός πως τα υπολειμματικά εδάφη συμπεριφέρονται ως υπερστερεοποιημένα εδάφη, γίνεται αντιληπτό πως η τάση προστερεοποίησης δεν αποτελεί μηχανικό χαρακτηριστικό αυτών, αλλά απλά μία απεικόνιση που οφείλεται καθαρά και μόνο στο τρόπο που παρουσιάζονται τα δεδομένα δοκιμών συμπίεσης. Θεωρητικά, όταν η τάση ξεπεράσει το ισοδύναμο της τάσης προστερεοποίησης, τότε η συμπιεστότητα αυξάνεται, όμως αυτό συμβαίνει για τα περισσότερα υπολειμματικά εδάφη σε πολύ υψηλές τιμές τάσεις. Οι τρεις συνήθεις τύποι συμπεριφοράς που συναντώνται στα υπολειμματικά εδάφη είναι γραμμική μεταβολή, μείωση συμπιεστότητας με αύξηση παραμόρφωσης (strain-hardening behavior) και αύξηση συμπιεστότητας με αύξηση της παραμόρφωσης (strain-softening behavior). Και οι τρεις τύποι συμπεριφοράς μπορεί να βρεθούν ακόμα και στο ίδιο υπολειμματικό έδαφος ή στο ίδιο προφίλ.

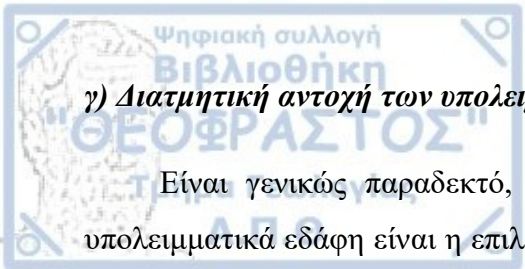
Κατά την αποσάθρωση ενός προφίλ υπολειμματικού εδάφους, αφ' ενός υπάρχει διόγκωση των ορυκτών, αφ' ετέρου χάνεται υλικό λόγω έκπλυσης των λεπτών σωματιδίων από την εσωτερική διάβρωση με αποτέλεσμα, οι πλευρικές τάσεις να είναι μικρότερες από την κατακόρυφη τάση.



Εικόνα 14: Τρόπος δημιουργίας υπολειμματικών και ιζηματογενών εδαφών



Εικόνα 15: Θεωρητική απεικόνιση της συμπεριφοράς συμπίεσης των υπολειμματικών εδαφών (Wesley, 2010)



γ) Διατμητική αντοχή των υπολειμματικών εδαφών

Είναι γενικώς παραδεκτό, πως το κρίσιμο πρόβλημα του γεωτεχνικού σχεδιασμού σε υπολειμματικά εδάφη είναι η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων αντοχής και η πρόβλεψη των παραμορφώσεων και συνοδών αστοχιών σε αυτά. Μέχρι και σήμερα ακολουθείται η συμβατική οδός αναφορικά με τις δοκιμές αντοχής σε υπολειμματικά εδάφη, δηλαδή τριαξονικές δοκιμές και δοκιμές άμεσης διάτμησης στο εργαστήριο και κάποιες μορφές δοκιμών διείδσδυσης στο πεδίο (Tsuchida, Athapathu, Kano & Suga, 2011). Η πλήρης κατανόηση των διαφορών των υπολειμματικών εδαφών από τα υπόλοιπα εδάφη είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό των παραμέτρων αντοχής τους. Η γνώση του μηχανισμού γένεσης των υπολειμματικών εδαφών σε συνδυασμό με τον εντοπισμό των παραγόντων που επηρεάζουν τη διατμητική τους αντοχή οδηγούν στην εκτίμηση των ιδιαιτεροτήτων στην απόκριση τους στη διάτμηση και τη παραμόρφωση και επομένως στην επιλογή των αντιπροσωπευτικότερων παραμέτρων σχεδιασμού.

Τα υπολειμματικά εδάφη αναπτύσσουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στην υφή, τη δομή των κόκκων και τη διαβάθμιση κατά θέσεις, τα οποία τα καθιστούν εξ'αντικειμένου διαφορετικά από τα ιζηματογενή εδάφη, των οποίων η υφή αναπτύσσεται σαν αποτέλεσμα του τρόπου απόθεσης και του ιστορικού των τάσεων.

i) Ιστορικό τάσεων: Η τιμή του δείκτη πόρων και η διάταξη των σωματιδίων τους διαμορφώνεται από την επίδραση του ιστορικού μεταβολών των ενεργών τάσεων στα εδάφη μετά την απόθεση τους. Η αποσάθρωση είναι μία διαδικασία αποδυνάμωσης και μπορεί να προκαλέσει αποφόρτιση σε κάθετο και οριζόντιο επίπεδο εξαιτίας της απώλειας ορυκτής ύλης. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε μία προοδευτική μεταβολή των επί τόπου τάσεων. Είναι επομένως λογικό η υπάρχουσα δομή των υπολειμματικών εδαφών να είναι σε ισορροπία και σε σύνδεση με την υφιστάμενη κατάσταση τάσεων και ως εκ τούτου η επίδραση του ιστορικού των τάσεων να θεωρείται μικρή (Vaughan, 1988).

ii) Αντοχή κόκκων/σωματιδίων: Τα ορυκτολογικά στοιχεία των πετρωμάτων προσβάλλονται από την αποσάθρωση και δημιουργούνται εδαφικά σωματίδια, κόκκοι και συσσωματώματα που παρουσιάζουν μεγάλη μεταβλητότητα στην θλιπτική αντοχή τους.

iii) Βαθμός συγκόλλησης (bonding): Ένα κύριο χαρακτηριστικό των υπολειμματικών εδαφών είναι η ύπαρξη δεσμών συγκόλλησης ανάμεσα στα σωματίδια τους. Δεσμοί συγκόλλησης μπορούν να συναντηθούν και σε ιζηματογενή εδάφη μεγάλης γεωλογικής ηλικίας, σε περιπτώσεις δηλαδή όπου οι δεσμοί αναπτύσσονται σε ικανό χρόνο. Οι κυριότερες αιτίες ανάπτυξης δεσμών συγκόλλησης είναι (Vaughan, 1988):

- Συγκόλληση μέσω της απόθεσης ανθρακικών, υδροξειδίων και οργανικών υλικών
- Διάλυση και εναπόθεση συγκολλητικών παραγόντων όπως πυριτικών υλικών
- Ανάπτυξη δεσμών κατά τη διάρκεια της χημικής εξαλλοίωσης των ορυκτών

Πίνακας 3 Χαρακτηριστικά επίδρασης στην αντοχή σε σχέση με υπολειμματικά και ιζηματογενή εδάφη

Χαρακτηριστικό επίδρασης στην αντοχή	Επίδραση σε υπολειμματικά εδάφη	Επίδραση σε ιζηματογενή εδάφη
Ιστορικό τάσεων	Συνήθως όχι σημαντική	Προκαλεί το φαινόμενο της υπερστερεοποίησης
Αντοχή κόκκων/σωματιδίων	Πιθανή παρουσία κόκκων μικρής αντοχής	Ομοιομορφία κόκκων, λιγότεροι κόκκοι μικρής αντοχής
Βαθμός συγκόλλησης	Επίδραση στη συνοχή και δημιουργία ενδοτικών δυνάμεων	Συναντάται σε αποθέσεις μεγάλης γεωλογικής ηλικίας
Υπολειμματική δομή και ασυνέχειες	Αναπτύσσεται από προϋπάρχουσες δομές του μητρικού πετρώματος	Αναπτύσσεται από τους κύκλους απόθεσης και το ιστορικό των τάσεων
Ανισοτροπία	Προέρχεται από την υπολειμματική υφή του μητρικού πετρώματος	Προέρχεται από τη διαδικασία απόθεσης και το ιστορικό των τάσεων
Λόγος κενών/ξηρό φαινόμενο βάρος	Εξαρτάται από το βαθμό αποσάθρωσης, ανεξάρτητα από το ιστορικό τάσεων	Εξαρτάται από το ιστορικό των τάσεων

iv) Υπολειμματική δομή και ασυνέχειες: Το μητρικό πέτρωμα ενός υπολειμματικού εδάφους είναι δυνατό να περιέχει ασυνέχειες μικρής διατμητικής αντοχής, όπως για παράδειγμα αποσπασμένες διακλάσεις ή πληρωμένες με χαμηλής αντοχής λεπτόκοκκο υλικό, επιφάνειες σχιστότητας κλπ. Όταν οι δομές αυτές υπόκεινται σε επαναλαμβανόμενες διατμήσεις π.χ. εξαιτίας εποχιακών μεταβολών της περιεχόμενης υγρασίας, Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη λείων και

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

στιλβωμένων επιφανειών πολύ μικρής αντοχής ($\phi < 10^\circ$). Αυτές οι αδύναμες ζώνες "κληρονομούνται" στο υπολειμματικό έδαφος μετά την αποδόμηση του μητρικού πετρώματος και καθορίζουν τη μηχανική συμπεριφορά του, μιας και οι ενδεχόμενες αστοχίες θα συμβούν κατά μήκος των ζωνών αυτών. Επιπρόσθετα, αυτές οι δομές απαιτούν εμπειρία στον εντοπισμό τους επί τόπου και είναι πολύ δύσκολο να αποκαλυφθούν μέσω γεωτρητικής έρευνας (Cowland & Carbray, 1988). Είναι επομένως γενικά παραδεκτό, ότι η αντοχή των υπολειμματικών εδαφών καθορίζεται από την κληρονομούμενη υφή και τεκτονική δομή.

ν) Ανισοτροπία: Η μηχανική συμπεριφορά ενός ανισότροπου εδάφους εξαιτίας της εφαρμογής μιας διατμητικής τάσης καθορίζεται από τη διεύθυνση εφαρμογής της τάσης. Στα ιζηματογενή εδάφη η ανισοτροπία σχετίζεται άμεσα με τον τρόπο απόθεσης και το ιστορικό των τάσεων. Στα υπολειμματικά εδάφη η ανισοτροπική συμπεριφορά έχει κληρονομηθεί από τη δομή του μητρικού πετρώματος, όμως σε ειδικές περιπτώσεις οι επί τόπου τάσεις μπορούν να παίξουν κάποιο ρόλο. Αυτό έχει εφαρμογή σε περιπτώσεις μεταμορφωμένων πετρωμάτων όπου αφθονούν οι μαρμαρυγίες.

vi) Μερικώς κορεσμένες ή ακόρεστες συνθήκες: Σε τροπικές και εύκρατες περιοχές όπου συναντώνται διακριτές ξηρές περίοδοι, η εξατμισοδιαπνοή είναι δυνητικά μεγαλύτερη της διήθησης του νερού στο έδαφος κατά τη διάρκεια αυτών με αποτέλεσμα την απώλεια υγρασίας από το έδαφος και τη ταπείνωση των υδροφόρων οριζόντων. Για το λόγο αυτό τα υπολειμματικά εδάφη συχνά βρίσκονται σε μερικώς κορεσμένη ή ακόρεστη κατάσταση με ύπαρξη συνεχούς αέρα στα κενά τους λόγω αποξήρανσης μεγάλου βάθους

2.10: ΔΙΟΓΚΩΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΙΚΩΝ ΕΔΑΦΩΝ

Δύο φαινόμενα τα οποία παρατηρούνται πολύ συχνά στα υπολειμματικά εδάφη και κυρίως στις εύκρατες κλιματικές ζώνες είναι αυτά της *διόγκωσης* και της *κατάρρευσης*.

α) Διόγκωση υπολειμματικών εδαφών

Το φαινόμενο της διόγκωσης συναντάται κυρίως σε εδάφη προερχόμενα από αποσάθρωση αργιλικών σχιστολίθων, ιλυολίθων και πυριγενών πετρωμάτων. Δηλαδή σε αργιλικά υπολειμματικά εδάφη, κυρίως σε όσα εμπεριέχουν αργιλικά ορυκτά της ομάδας του σμεκτίτη. Η διόγκωση είναι αποτέλεσμα της μείωσης της μύζησης λόγω αύξησης της υγρασίας. Συνήθως αυτό συμβαίνει όταν υπάρχουν μεταβολές στη χρήση γης μιας περιοχής που διευκολύνουν τη

κυκλοφορία και κατείσδυση του νερού (εκσκαφές, επιφανειακές διαμορφώσεις, αποσάθρωση), μειώνοντας τη μύζηση και οδηγώντας σε διόγκωση. Το φαινόμενο της διόγκωσης έχει εποχιακό χαρακτήρα, ειδικά σε εύκρατες περιοχές με διακριτές ξηρές και υγρές περιόδους, όπου το εδαφικό προφίλ υπόκειται σε κύκλους διόγκωσης-συρρίκνωσης για τις αντίστοιχες περιόδους ύγρανσης-ξήρανσης.

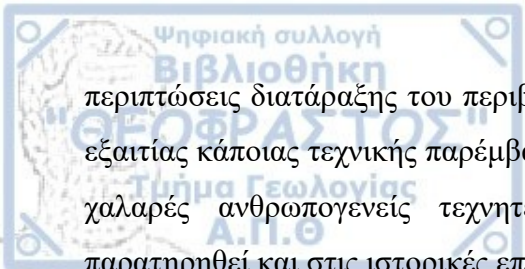
Ο βαθμός κατά τον οποίο θα διογκωθεί ένα εδαφικό προφίλ εξαρτάται επίσης και από το βάθος στο οποίο εκτείνεται το διογκούμενο υλικό στο προφίλ. Το πάχος της ακόρεστης ζώνης ή το σημείο αλλαγής εδαφικού υλικού μπορεί να θεωρηθεί ως το μέγιστο βάθος διόγκωσης ενός εδαφικού προφίλ. Για παράδειγμα σε περιπτώσεις που το διογκούμενο υλικό φτάνει τα 50 μέτρα βάθος, έχουν παρατηρηθεί επιφανειακές διογκώσεις της τάξης των πέντε μέτρων, και στην ίδια περιοχή διογκώσεις δύο μέτρων σε βάθος δέκα μέτρων από την επιφάνεια (Williams, 1991). Συνήθως βέβαια οι επιφανειακές διογκώσεις είναι πολύ μικρότερες και σπάνια υπερβαίνουν τα δύο μέτρα.

β) Κατάρρευση υπολειμματικών εδαφών

Το φαινόμενο της κατάρρευσης συμβαίνει σε δύο τύπους υπολειμματικών εδαφών. Ο πρώτος είναι εδάφη ασβεστούχου πηλού (loess) προερχόμενα από αιολική διάβρωση (wind-blown soils) και ο δεύτερος υπολειμματικά εδάφη εξαιρετικά έντονης αποσάθρωσης, προερχόμενα από όξινα πυριγενή πετρώματα (γρανιτικά) με υψηλή περιεκτικότητα σε χαλαζία. Το μητρικό πέτρωμα εξαιτίας της αποσάθρωσης και της έκπλυσης ορυκτών μεταπίπτει σε ιλυώδη ή αργιλώδη άμμο με μεγάλο δείκτη πόρων και ασταθή, καταρρεύσιμη κοκκώδη δομή (Εικόνα)

Παρόλο που η ενεργός τάση ελέγχει τη μηχανική συμπεριφορά ενός εδάφους ελέγχεται πριν και μετά τη κατάρρευση του, αυτή δε μπορεί να προβλεφθεί σε αυτή τη βάση (της ενεργού τάσης) αλλά ελέγχεται από τις μεταβολές της υγρασίας (δηλαδή της μύζησης). Το φαινόμενο της κατάρρευσης μπορεί να εξελιχθεί προοδευτικά και να μην εκδηλωθεί ως μία απότομη καθίζηση, ανάλογα με τη περιεχόμενη υγρασία του εδάφους και το εύρος μεταβολής της. Είναι γεγονός πως αν το έδαφος φορτιστεί σε τιμή υψηλής περιεχόμενης υγρασίας τότε στερεοποιείται χωρίς να υποστεί κατάρρευση. Αν όμως κατά τη φόρτιση έχει μικρή τιμή περιεχόμενης υγρασίας και στη συνέχεια υγρανθεί, τότε διογκώνεται εάν η τάση είναι μικρότερη από 100 kPa ή θα καταρρεύσει εάν η τάση είναι μεγαλύτερη από 200 kPa.

Το φαινόμενο της φαινομενικής αυτής κατάρρευσης ονομάζεται υδροστερεοποίηση (hydroconsolidation). Συμβαίνει μόνο μία φορά, κατά την ύγρανση του εδάφους, με κατάρρευση της δομής και δημιουργία νέας πιο σταθερής. Το φαινόμενο αυτό συναντάται κυρίως σε

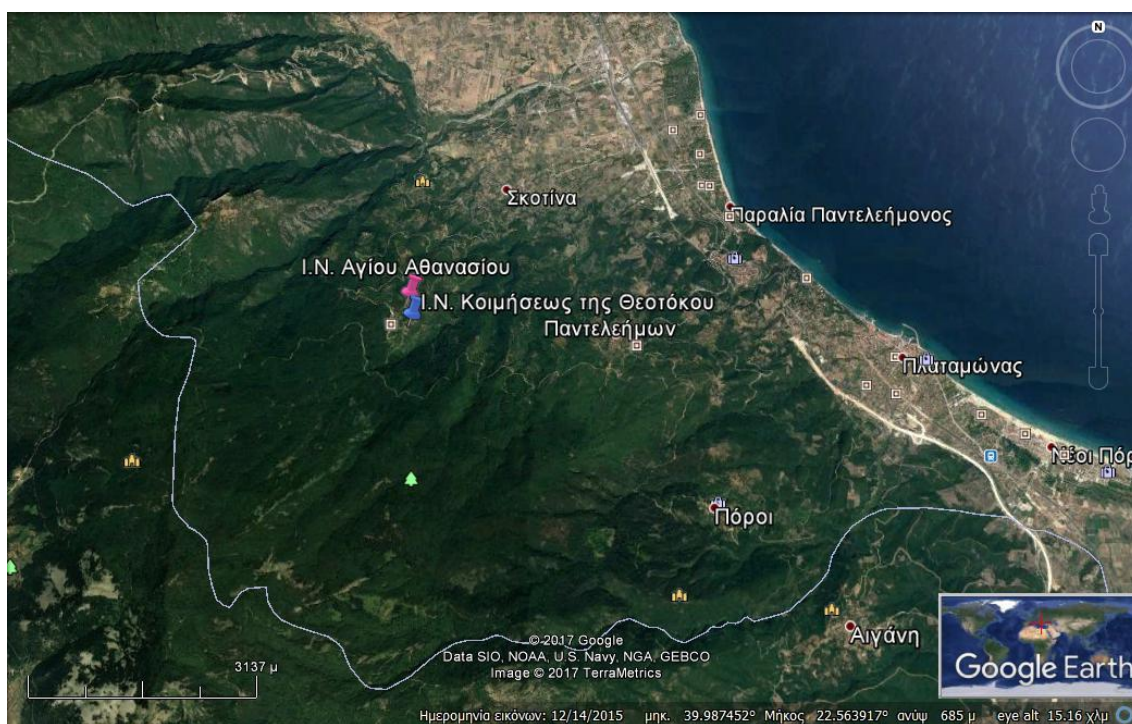


περιπτώσεις διατάραξης του περιβάλλοντος υγρασίας σε ένα έδαφος ασταθούς κοκκώδους δομής εξαιτίας κάποιας τεχνικής παρέμβασης και, εκτός από τα υπολειμματικά εδάφη, συναντάται και σε χαλαρές ανθρωπογενείς τεχνητές ή ιστορικές επιχωματώσεις. Τέτοια φαινόμενα έχουν παρατηρηθεί και στις ιστορικές επιχωματώσεις της Θεσσαλονίκης κατά τη κατασκευή του Μετρό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ 2 ΝΑΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΩ ΣΚΟΤΙΝΑ

3.1: ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟ ΕΡΓΟ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στον παραδοσιακό οικισμό της Άνω Σκοτίνας Πιερίας και η γεωτεχνική έρευνα εκτελέστηκε στον προαύλιο χώρο των δύο Βυζαντινών Ναών, Κοιμήσεως της Θεοτόκου και Αγίου Αθανασίου, σε υψόμετρο 715-735 μέτρων. Οι δύο λιθόκτιστοι Ναοί είναι θεμελιωμένοι στα όρια της στέψης των φυσικών πρανών της περιοχής, τα οποία διαμορφώνονται με έντονες κλίσεις και γενική διεύθυνση προς Α-ΝΑ. Στα κτίρια εντοπίζονται εμφανείς παραμορφώσεις, ρωγμές κατακόρυφες και κεκλιμένες, κυρίως στις λιθοδομές κατά τη διεύθυνση Δ-Α. Η γεωμετρία και η συνεχής εξέλιξη των παρατηρούμενων παραμορφώσεων υποδηλώνει την ύπαρξη ερπυστικών ολισθητικών μετακινήσεων του υπεδάφους προς τα κατάντη (Ανατολικά). Οι ερπυστικές αυτές μετακινήσεις και ολισθήσεις εμφανίζουν μία σειρά από μορφολογικά χαρακτηριστικά στην ευρύτερη περιοχή των ναών, όπως μεταβολή του απότομου αναγλύφου, κυρτώσεις δέντρων, αναβαθμοί όπως φαίνεται στις εικόνες 17&18.



Εικόνα 16: Ακριβής θέση των δύο ναών μέσω του Google Earth

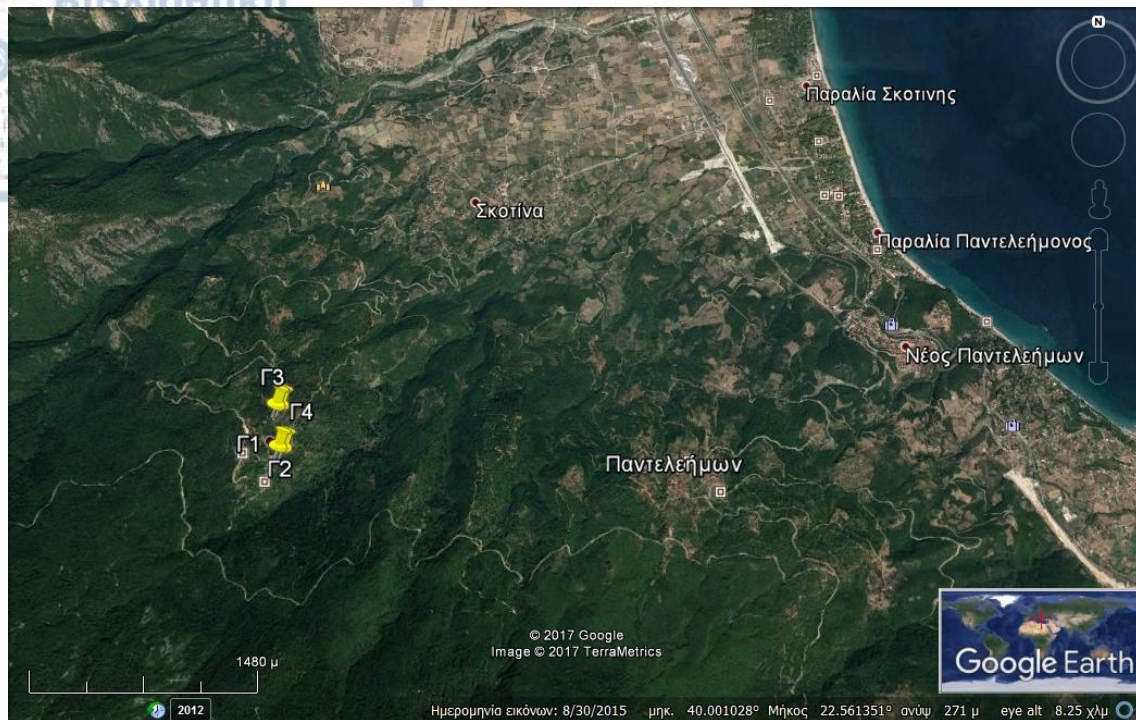


Εικόνα 17: Χαρακτηριστική εικόνα κύρτωσης δέντρου σε συνθήκες ερπυσμού



Εικόνα 18: Χαρακτηριστική εικόνα κύρτωσης δέντρου σε συνθήκες ερπυσμού

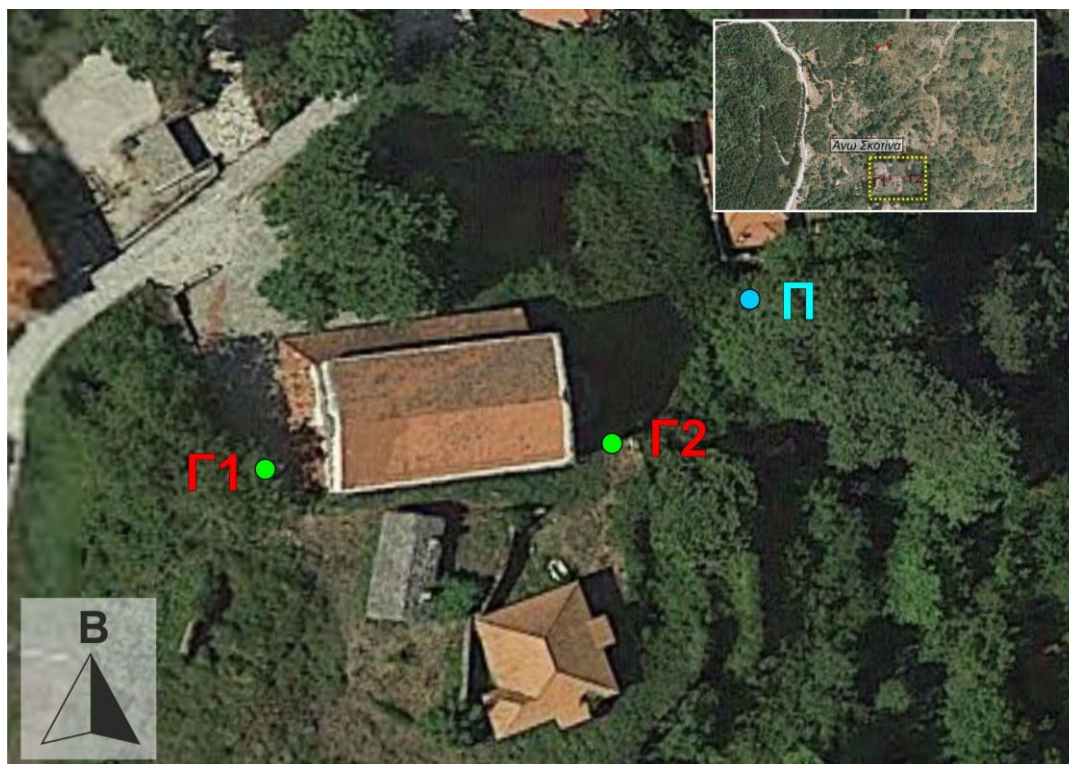
Εκτελέστηκαν τέσσερις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και εγκαταστάθηκαν δύο πιεζόμετρα τύπου Standpipe σε δύο εξ αυτών (Γ1, Γ3) και ινκλινομετρικοί σωλήνες στις άλλες δύο, στα κατάντη των Ναών (Γ2, Γ4). Οι θέσεις εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων φαίνονται στην εικόνα 16 και στην εικόνα 17.



Εικόνα 19: Θέση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στη θέση θεμελίωσης των δύο ναών



Εικόνα 20: Θέσεις διεξαγωγής δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ-3 και Γ-4 στο Ναό Αγίου Αθανασίου



Εικόνα 21: Θέσεις διεξαγωγής δειγματοληπτικών γεωτρήσεων Γ-1 και Γ-2 στο Ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου και επισημάνση θέσεως πηγής στα κατάντη του πρανούς (σημείο Π)

[illegible]

3.2: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ψηφιακή συλλογή
Βιβλιοθήκη
"ΘΕΟΦΡΑΣΤΟΣ"
Τμήμα Γεωλογίας
Α.Π.Θ.

ασβεστόλιθους ηλικίας Ιουρασικού που συναντώνται N-NA του οικισμού της Άνω Σκοτίνας. Εξαιτίας της υψηλής αποσάθρωσιμότητας των αμφιβολιτικών σχιστολίθων και σε συνδυασμό με την τεκτονική καταπόνηση της περιοχής από τις επωθήσεις του τεκτονικού καλύμματος, αναμένεται να συναντηθεί μανδύας αποσάθρωσης σημαντικού πάχους, αλλά και ζώνες έντονης αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης. Επιπρόσθετα, το μορφολογικό ανάγλυφο της περιοχής φαίνεται να καθορίζεται από τις διαδικασίες απόσυρσης του επωθημένου τεκτονικού καλύμματος που αποτυπώνεται με την ύπαρξη κανονικών ρηγμάτων μεγάλου μήκους και διεύθυνσης NΔ-BA και ΒΔ-NA.



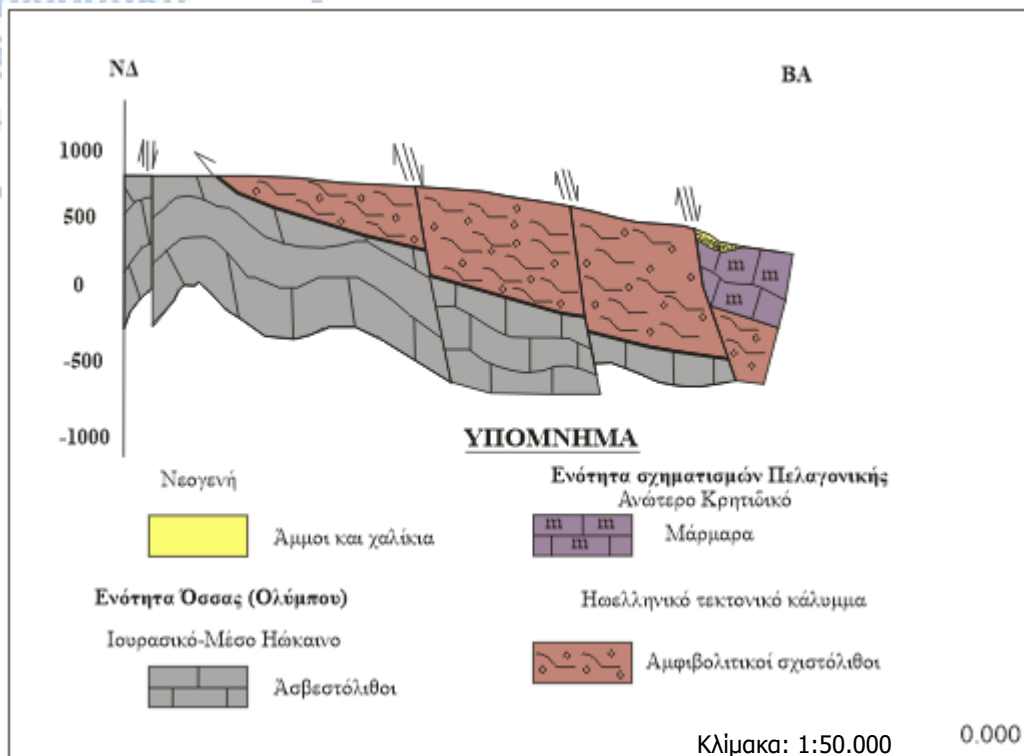
Εικόνα 24: Χαρακτηριστική εικόνα ασταθούς μανδύα αποσάθρωσης αμφιβολιτών όπως αποτυπώνεται σε τεχνητά ορύγματα της οδού στα ανατολικά του οικισμού Άνω Σκοτίνας



Εικόνα 25: Χαρακτηριστική εικόνα ασταθούς μανδύα αποσάθρωσης αμφιβολιτών



Εικόνα 26: Αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι όπως εμφανίζονται στην ευρύτερη περιοχή



Εικόνα 27: Γεωλογική τομή από χάρτη ΓΜΕ που απεικονίζει τη γεωλογία στην ευρύτερη περιοχή μελέτης

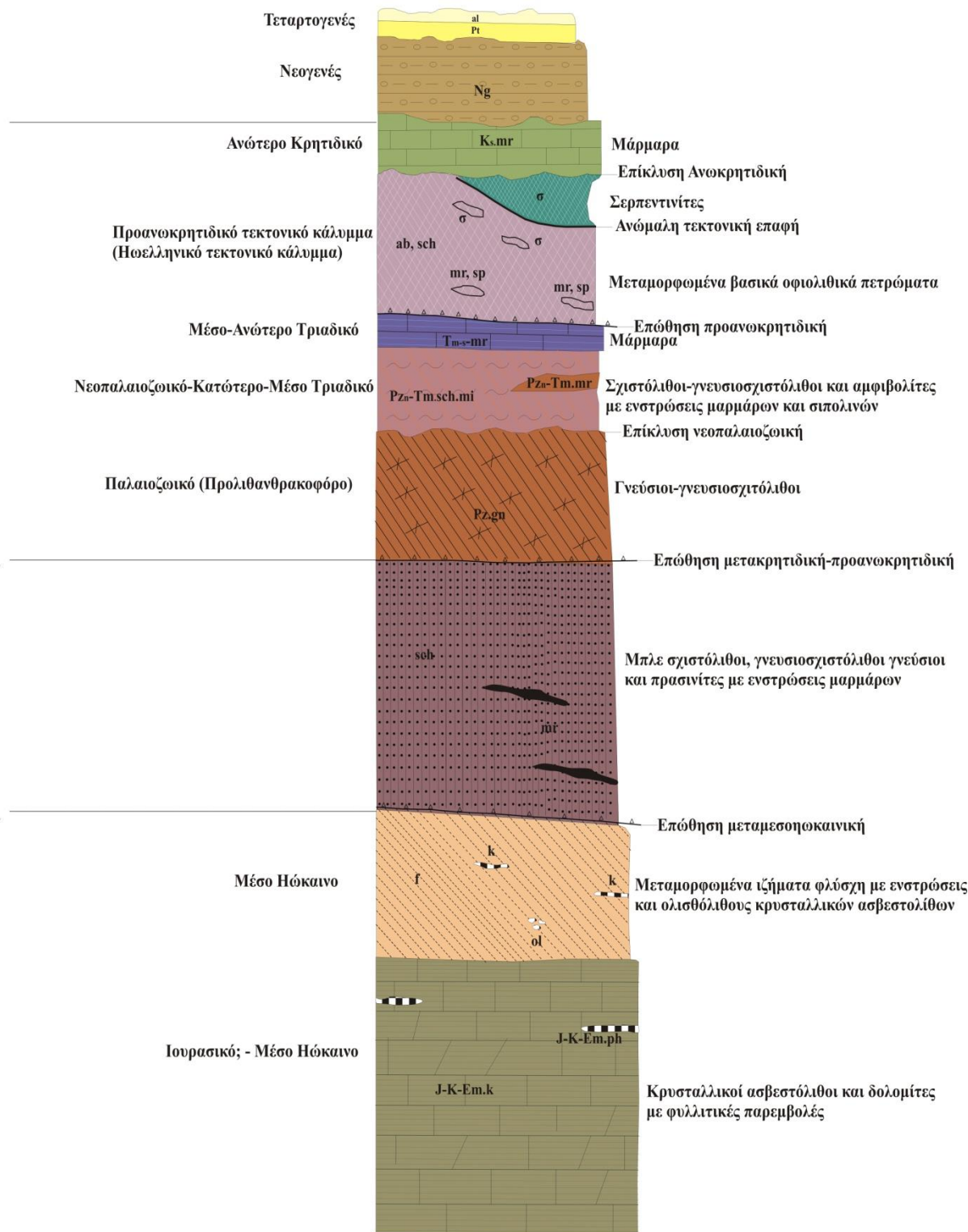
Φαίνεται καθαρά οι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι της Πελαγονικής ζώνης (ab.sch) που αποτελούν το Ηωελληνικό τεκτονικό κάλυμμα της σειράς του Ολύμπου. Τα πετρώματα αυτά είναι επωθημένα στους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους ηλικίας Ιουρασικού που συναντώνται N-NA του οικισμού της Άνω Σκοτίνας.

ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΤΗΣ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ

ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ
(ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΠΛΕ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΩΝ)

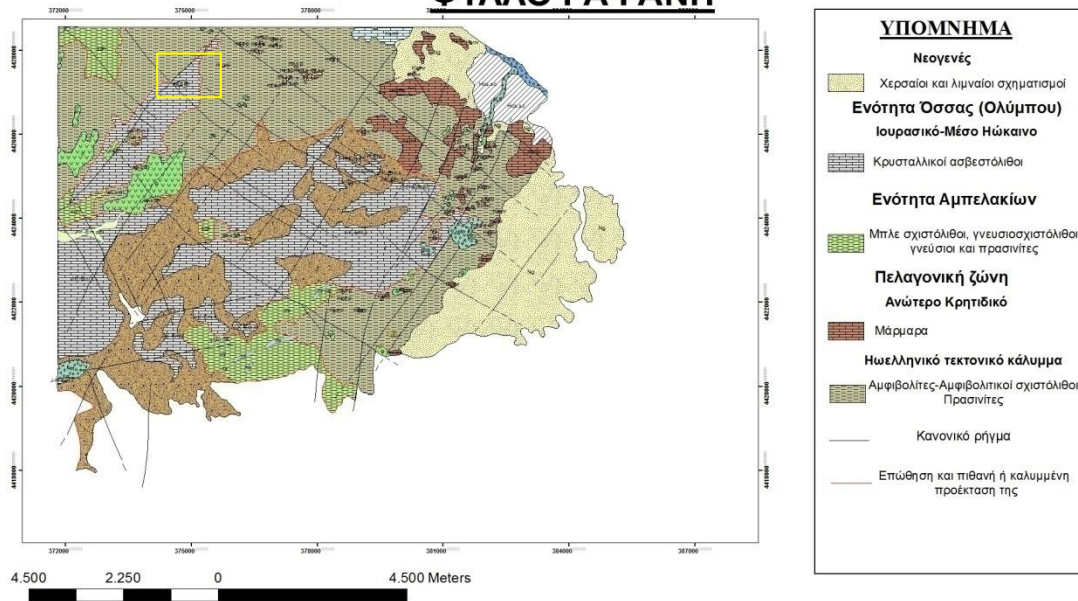
ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΣΣΑΣ - (ΟΛΥΜΠΟΥ)



Εικόνα 28: Τεκτονοστρωματογραφική στήλη Πελαγονικής ζώνης. Τροποποιημένη από ΙΓΜΕ.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ

ΦΥΛΛΟ ΡΑΨΑΝΗ



Εικόνα 29: Γεωλογικός χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε. (Φύλλο Ραψάνη, κλ. 1:50.000). Με το κίτρινο τετράγωνο απεικονίζεται η περιοχή μελέτης των δύο νάων. Τροποποιημένος από ΙΓΜΕ

3.3: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σε πρώτο επίπεδο πρέπει να σημειωθεί, πως οι σχηματισμοί που απαντώνται στη περιοχή μελέτης αποτελούν αδιαπέρατους σχηματισμούς. Ωστόσο η επιφανειακή απορροή της περιοχής οριοθετείται από ρέματα πρώτης τάξης Ανατολικής διεύθυνσης, τα οποία ξεκινούν Ανατολικά του οικισμού και συνεχίζουν με διεύθυνση ΝΑ. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως μπορεί να υπάρχει υπόγεια ροή στο υψόμετρο του οικισμού, πιθανότατα εντός του μανδύα αποσάθρωσης, η οποία σε χαμηλότερα υψόμετρα (ανατολικότερα) γίνεται επιφανειακή με την εμφάνιση πηγών. Πρόκειται δηλαδή για πηγές επαφής οι οποίες δημιουργούνται όταν ένας περατός σχηματισμός βρίσκεται σε επαφή με έναν αδιαπέρατο. Στη συγκεκριμένη περίπτωση πρόκειται για τον αποσαθρωμένο μανδύα των αμφιβολιτικών σχιστολίθων που υπέρκεινται των πρσινιτών. Οι πηγές αυτές συνδέονται με επικρεμάμενα υδροφόρα στρώματα και έχουν συνήθως μικρές ή μεσαίες παροχές. Είναι συνήθως εποχικές με μεταβαλλόμενη παροχή.

Η παραπάνω διαπίστωση ενισχύει τη σχέση που πιθανότατα υπάρχει μεταξύ της υπόγειας ροής και των ερπυστικών φαινομένων στις θέσεις μελέτης. Αυτή θα τεκμηριωθεί με τα συνδυαζόμενα αποτελέσματα των μετρήσεων στάθμης στα πιεζόμετρα και των κλισιομετρικών μετρήσεων.



Εικόνα 30: Άποψη της πηγής όπως εμφανίζεται στα κατάντη του πρανούς

3.4: ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή της Άνω Σκοτίνας εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι, με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση $a=0,16g$ (όπου g , επιτάχυνση της βαρύτητας) με πιθανότητα υπέρβασης 10% στα 50 έτη, το δε υπέδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β έως Γ, έτσι όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης ο οποίος είναι απαραίτητος για τον υπολογισμό της κατασκευής, δίδεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 με τον τύπο:

$$R_d(T) = \gamma_1 A \eta \theta \beta_0 / q \quad (1)$$

Όπου:

γ_1 : ο συντελεστής σπουδαιότητας του κτιρίου (παρ.2.3.4)

$A = a_g$: μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση του εδάφους

η : διορθωτικός συντελεστής για ποσοστό κρίσιμης απόσβεσης $\neq 5\%$

θ : συντελεστής επιρροής της θεμελίωσης (παρ. 2.3.7)

β_o : συντελεστής φασματικής ενίσχυσης

q : συντελεστής συμπεριφοράς της κατασκευής (παρ.2.3.5)

Σύμφωνα με τα στοιχεία του έργου οι ανωτέρω συντελεστές έχουν τις εξής τιμές:

$\gamma_1 = 1.3$ (παρ.2.3.4 ΕΑΚ 2000) για κτίρια σπουδαιότητας Σ4.

$A = 0.16g$

$\eta=1$ για $\zeta=5$

$\theta = 1.0$ (παρ 2.3.7, ΕΑΚ 2000)

$\beta_o = 2.5$

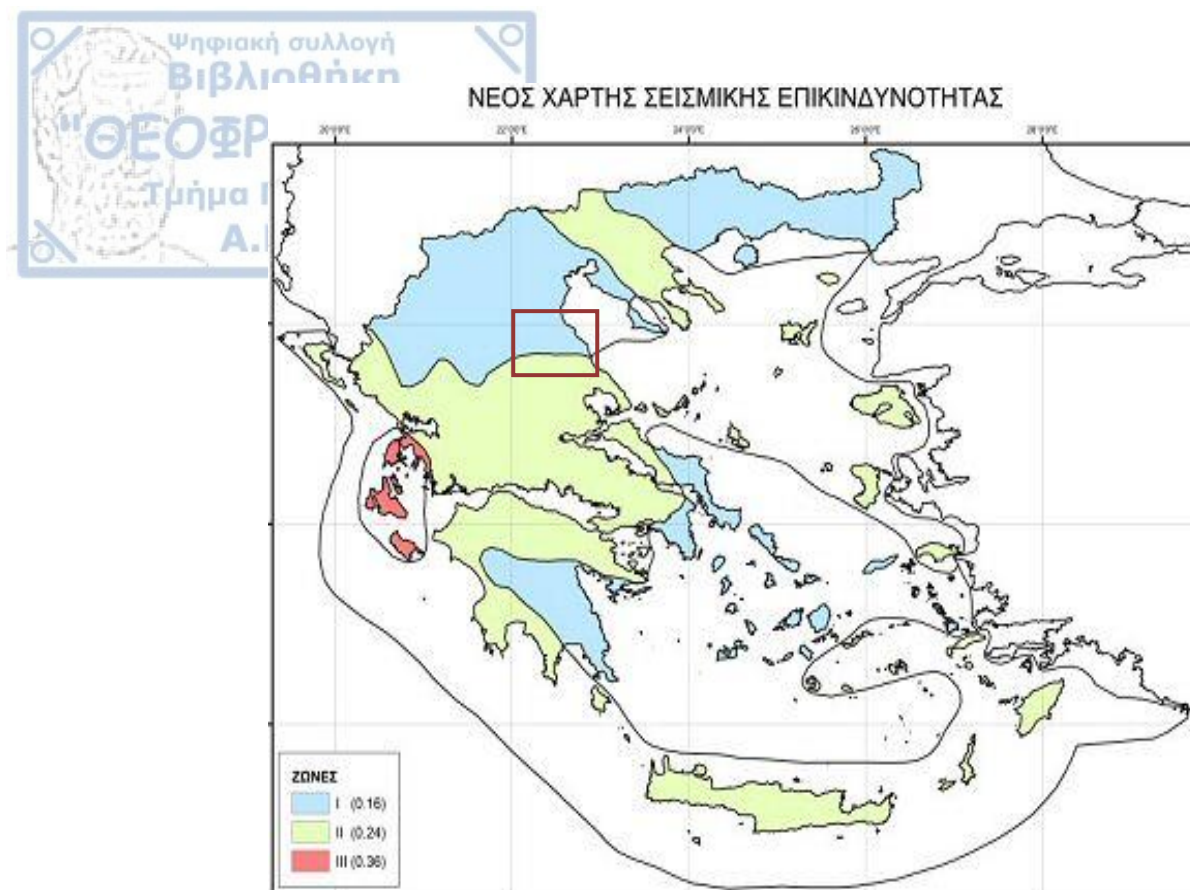
$q = 2.0$ (παρ 2.3.5, ΕΑΚ 2000)

Σύμφωνα με την εξίσωση 1, ισχύει:

$$R_d(T) = 0.26$$

Οι υψηλές τιμές του συντελεστή σεισμικής επιβάρυνσης οφείλονται στη μέτρια συμπεριφορά της άοπλης λιθοδομής έναντι σεισμού. Σημειώνεται ότι σε περίπτωση όπου η ιδιοπερίοδος του κτιρίου δεν είναι μεταξύ των τιμών 0.2 sec και 0.8 sec η τιμή του $R_d(T)$, μειώνεται με βάση το τροποποιημένο ελαστικό φάσμα σχεδιασμού σύμφωνα με τους τύπους 2.1.α και 2.1.γ του ΕΑΚ 2000. Η ευστάθεια των φυσικών ή τεχνητών πρανών σε σεισμό ελέγχεται με τη θεώρηση των ακόλουθων πρόσθετων ενεργών επιταχύνσεων:

- κατά την οριζόντια διεύθυνση προκύπτει: $\alpha_h=0,5*a*\gamma_1=0,104$
- κατά την κατακόρυφο διεύθυνση προκύπτει: $\alpha_v=0,25*a*\gamma_1=0,052$



Εικόνα 31: Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003)

Επίσης, σύμφωνα με τον σεισμοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδας, η περιοχή κατασκευής του έργου δεν βρίσκεται στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων, τα οποία θα μπορούσαν να θεωρηθούν δυνητικώς ενεργά. Τέλος, η σύσταση των στρωμάτων στο υπέδαφος του συγκεκριμένου χώρου, καθιστά μη πιθανό το φαινόμενο ρευστοποίησής τους σε περίπτωση ενός ισχυρού σεισμού.

3.5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΤΩΝ ΝΑΩΝ

Με βάση τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος στη θέση του Ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου και μέχρι το βάθος των 11m περίπου, συνίσταται κυρίως από το μανδύα αποσάθρωσης του σχηματισμού των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, με συγκρίματα οφειολιθικής προέλευσης βαθυπράσινου χρώματος και ερυθρό ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας. Βαθύτερα συναντάται ο σχηματισμός των πρασινιτών, σαφώς μικρότερου βαθμού αποσάθρωσης και καλύτερης μηχανικής συμπεριφοράς. Επιφανειακά και μέχρι το βάθος των 2,00-2,60m περίπου, εντοπίζεται μανδύας αποσάθρωσης που χαρακτηρίζεται από ερυθρές αργίλους με μικρότερο ποσοστό χαλικιών. Είναι πιθανόν το επιφανειακό αυτό στρώμα να είναι φερτό, να

επιστρώθηκε δηλαδή περιμετρικά του Ναού για να διαμορφωθεί η ομαλή γεωμετρία του προαύλιου χώρου του Ναού. Επίσης στη γεώτρηση Γ2, κατάντη του Ναού, εντοπίζεται ζώνη έντονης εξαλλοίωσης του σχηματισμού των πρασινιτών σε βάθη από 8,0-13,0m περίπου. Η ζώνη αυτή δεν εντοπίζεται στη γεώτρηση Γ1 και φαίνεται ότι προς το μέτωπο του φυσικού πρανούς αυξάνεται ο βαθμός αποσάθρωσης των πρασινιτών.

Στη θέση του Ναού του Αγίου Αθανασίου συναντήθηκε η ίδια στρωματογραφική ακολουθία, με τις μαλακές ερυθρές αργίλους να εντοπίζονται στα πρώτα 3,5-4,10m και στη συνέχεια να συναντάται ο μανδύας αποσάθρωσης των αμφιβολιτών, πάχους 6,0-10,0m. Βαθύτερα εντοπίζεται ο ίδιος σχηματισμός με βραχώδη δομή και μικρότερο βαθμό αποσάθρωσης μέχρι το τελικό βάθος έρευνας. Στη συγκεκριμένη θέση δεν εντοπίστηκε ο σχηματισμός των πρασινιτών μέχρι το βάθος των 15,8m.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, οι γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες του υπεδάφους θεμελίωσης των Ναών διαμορφώνουν δυσμενείς συνθήκες ως προς την ευστάθεια των φυσικών πρανών στα οποία είναι θεμελιωμένα τα υπό μελέτη κτίρια, οι οποίες είναι:

- Η ύπαρξη μανδύα αποσάθρωσης σημαντικού πάχους, που κρίνοντας μακροσκοπικά έχει "φτωχά" μηχανικά χαρακτηριστικά.
- Η επαφή του μανδύα αποσάθρωσης με σχηματισμό (πρασινίτες) μικρού βαθμού αποσάθρωσης και γενικότερα καλής μηχανικής συμπεριφοράς, από μακροσκοπικής άποψης, δημιουργεί διεπιφάνειες δυνητικών ολισθήσεων
- Η ύπαρξη υπόγειας ροής που ακολουθεί τη γεωμετρία των σχηματισμών όπως θα αναφερθεί παρακάτω.
- Η αύξηση του βαθμού αποσάθρωσης των σχηματισμών προς το μέτωπο των φυσικών πρανών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ-ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

4.1: ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Η έρευνα του υπεδάφους στις θέσεις των υπό μελέτη Ναών πραγματοποιήθηκε με τη διεξαγωγή τεσσάρων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων (Γ1, Γ2, Γ3, Γ4), όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 4 : Στοιχεία γεωτρήσεων

Γεωτρήσεις	Υψόμετρο (m)	Βάθος έρευνας (m)	Στάθμη υπόγειου υδάτινου ορίζοντα (m)	X	Ψ
Γ-1	721,9	15,00	12,90 (709,0)	374.686,17	4.427.726,67
Γ-2	715,8	15,50	14,00 (701,8)	374.720,35	4.427.727,65
Γ-3	736,6	15,80	11,70 (724,9)	374.656,2	4.428.053,17
Γ-4	734,1	15,00	11,70 (722,4)	374.684,57	4.428.059,56

Οι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν με συνεχή δειγματοληψία αντιπροσωπευτικών δειγμάτων εδάφους και μετά το πέρας αυτών εγκαταστάθηκαν πιεζόμετρα (στις Γ1, Γ3) για παρακολούθηση της διακύμανσης της υπόγειας στάθμης και κλισιόμετρα (στις Γ2, Γ4) για παρακολούθηση των μετακινήσεων του υπεδάφους. Η τεχνική δειγματοληψίας έγινε με διαιρούμενη καροταρία με κοπτικό διαμάντι για τους βραχώδεις σχηματισμούς και με μονή καροταρία για τους επιφανειακούς εδαφικούς σχηματισμούς.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το υπέδαφος στη θέση του συγκεκριμένου οικοπέδου συνίσταται κυρίως από εναλλαγές στρωμάτων αμμώδους αργιλοίλου χαμηλής πλαστικότητας και γνευσιακής προέλευσης και στρωμάτων ιλυώδους άμμου. Η στρωματογραφία του υπεδάφους είναι κεκλιμένη και παρουσιάζεται στις εδαφικές τομές που ακολουθούν.

Πιο συγκεκριμένα, στη γεώτρηση Γ-1 διακρίθηκαν τα εξής στρώματα:

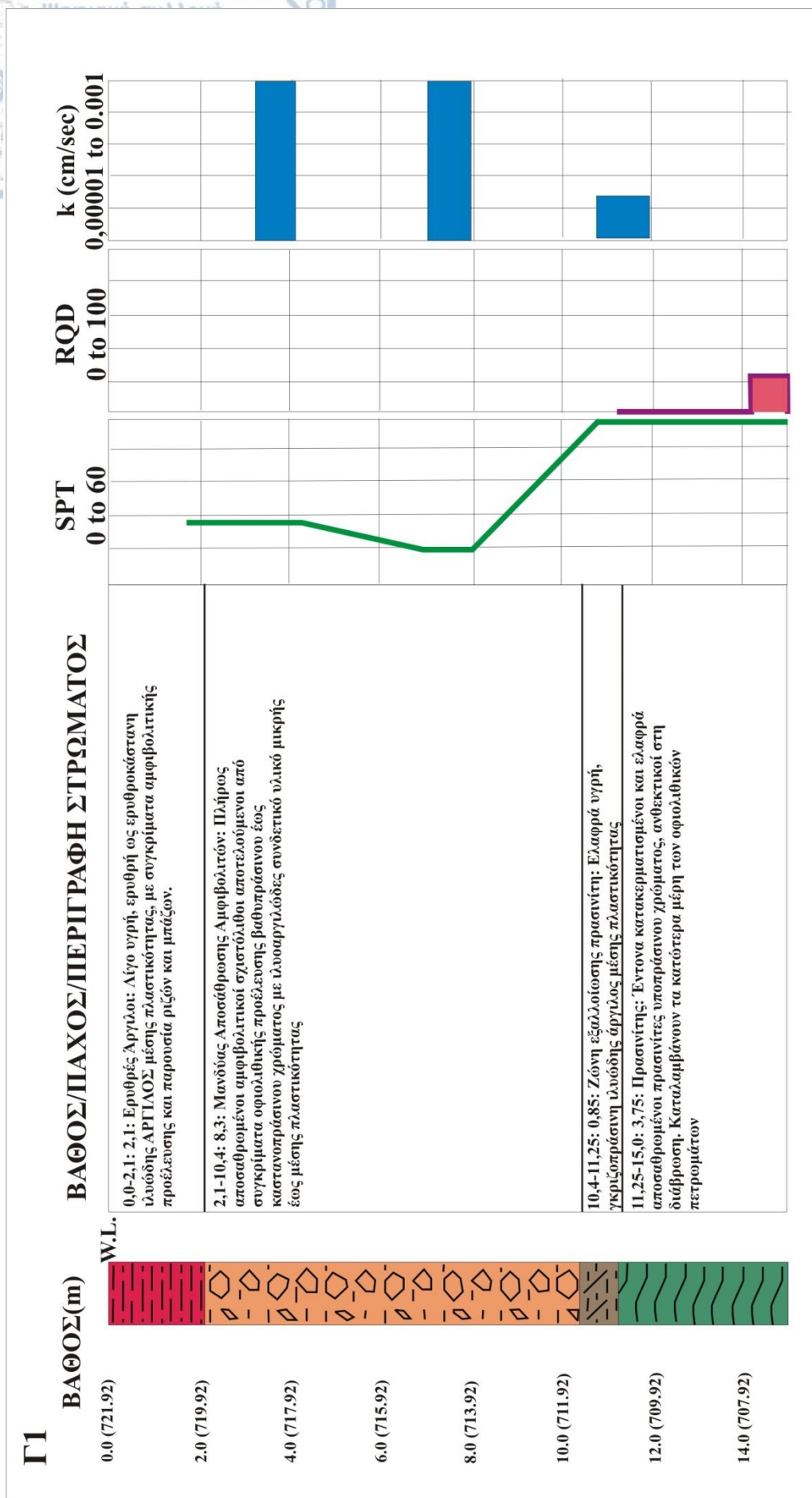
Στρώμα “Α” : Επιφανειακά και μέχρι βάθος 2,1m περίπου, συναντήθηκε λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μπάζων (κατάταξη κατά USCS: CI). Είναι πιθανό το στρώμα αυτό να αποτελεί φερτό υλικό για τη

διαμόρφωση των περιμετρικών των Ναών χώρων. Εκτιμάται πως δεν υπάρχει κάτω από τη θεμελίωση των Ναών.

Στρώμα "B" : Από βάθος 2,1m μέχρι βάθος 10,4m εντοπίστηκαν πλήρως αποσαθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι αποτελούμενοι από συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλυσσαργιλώδεις συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: GC/SC-CL). Αποτελεί ζώνη αδυναμίας με υποβαθμισμένα μηχανικά χαρακτηριστικά σε σχέση με το υπερκείμενο και το υποκείμενο στρώμα. Ενδεικτικές είναι οι πολύ χαμηλές τιμές NSPT που παρουσιάζονται στις τομές των γεωτρήσεων. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω η εδαφική αυτή ζώνη μπορεί να χαρακτηριστεί ως μανδύας αποσάθρωσης των αμφιβολιτικών σχιστολίθων ενώ ο βαθμός αποσάθρωσης είναι 6 σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Little.

Στρώμα "C" : Από βάθος 10,4m μέχρι βάθος 11,25m περίπου, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, γκριζοπράσινη ιλυώδης άργιλος χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: CL).

Στρώμα "D" : Από βάθος 11,25m μέχρι βάθος 15,0m, συναντήθηκαν έντονα κατακερματισμένοι και ελαφρά αποσαθρωμένοι πρασινίτες υποπράσινου χρώματος, ανθεκτικοί στη διάβρωση. Καταλαμβάνουν τα κατώτερα μέρη των οφιολιθικών πετρωμάτων.



Εικόνα 32: Εδαφικό προφίλ της γεώτρησης Γ1

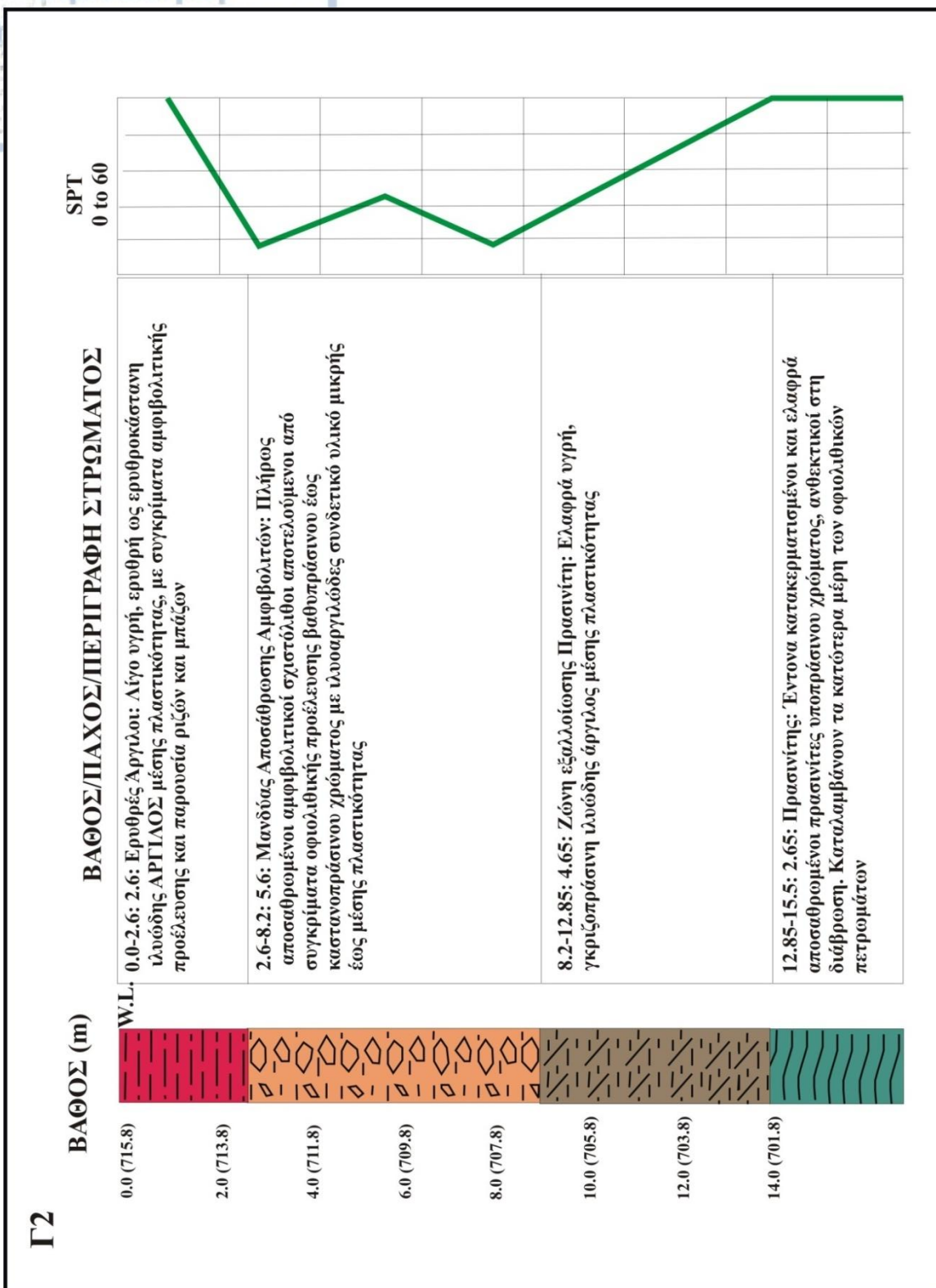
Στη γεώτρηση Γ-2 διακρίθηκαν τα εξής στρώματα :

Στρώμα "Α" : Επιφανειακά και μέχρι βάθος 2,6m περίπου, συναντήθηκε λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μπάζων (κατάταξη κατά USCS: CI).

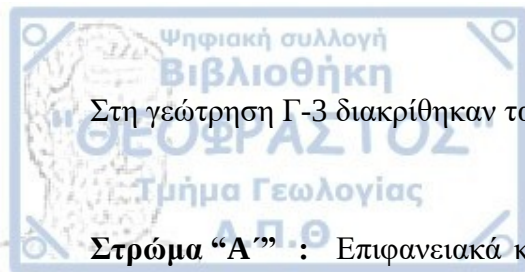
Στρώμα "Β" : Από βάθος 2,6m μέχρι βάθος 8,2m εντοπίστηκαν πλήρως αποσαθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι αποτελούμενοι από συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: GC-SC).

Στρώμα "C" : Από βάθος 8,2m μέχρι βάθος 12,85m περίπου, συναντήθηκε ελαφρά υγρή, γκριζοπράσινη ιλυώδης άργιλος χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: CI). Αποτελεί ζώνη εξαλλοίωσης των πρασινιτών, πλήρως αποσαθρωμένη και αργιλοποιημένη. Η ύπαρξη του εν λόγω στρώματος αποτελεί δείκτη κυκλοφορίας υπόγειου νερού και πιθανόν των διατμητικών παραμορφώσεων του υπεδάφους.

Στρώμα "D" : Από βάθος 12,85m μέχρι βάθος 15,5m, συναντήθηκαν έντονα κατακερματισμένοι και ελαφρά αποσαθρωμένοι πρασινίτες υποπράσινου χρώματος, ανθεκτικοί στη διάβρωση. Καταλαμβάνουν τα κατώτερα μέρη των οφιολιθικών πετρωμάτων.



Εικόνα 33: Εδαφικό προφίλ της γεώτρησης Γ2



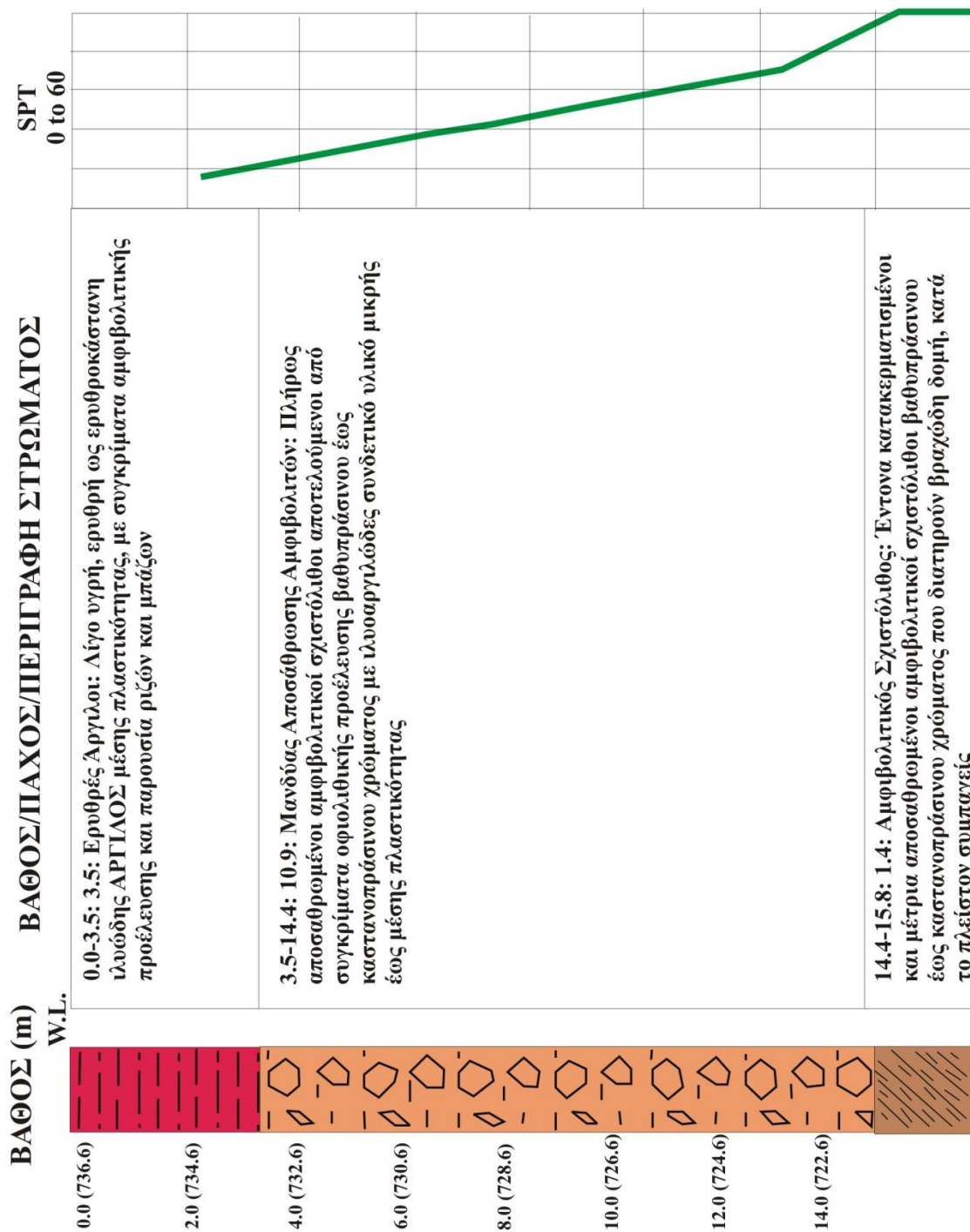
Στη γεώτρηση Γ-3 διακρίθηκαν τα εξής στρώματα:

Στρώμα “Α” : Επιφανειακά και μέχρι βάθος 3,5m περίπου, συναντήθηκε λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μπάζων (κατάταξη κατά USCS: CL).

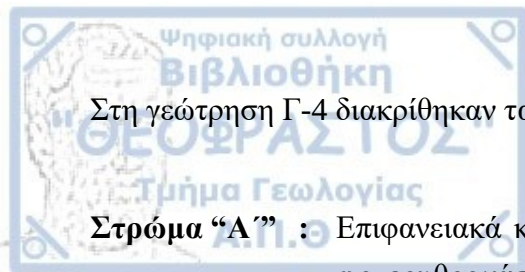
Στρώμα “Β” : Από βάθος 3,5m μέχρι βάθος 14,4m εντοπίστηκαν πλήρως αποσαθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι αποτελούμενοι από συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: GC/SC-SP). Το στρώμα αυτό αποτελεί το μανδύα αποσάθρωσης των αμφιβολιτικών σχιστολίθων με βαθμό αποσάθρωσης 6 σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Little.

Στρώμα “C” : Από βάθος 14,4m μέχρι βάθος 15,8m, συναντήθηκαν έντονα κατακερματισμένοι και μέτρια αποσαθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος που διατηρούν βραχώδη δομή, κατά το πλείστον συμπαγείς.

Γ3



Εικόνα 34: Εδαφικό προφίλ της γεώτρησης Γ3

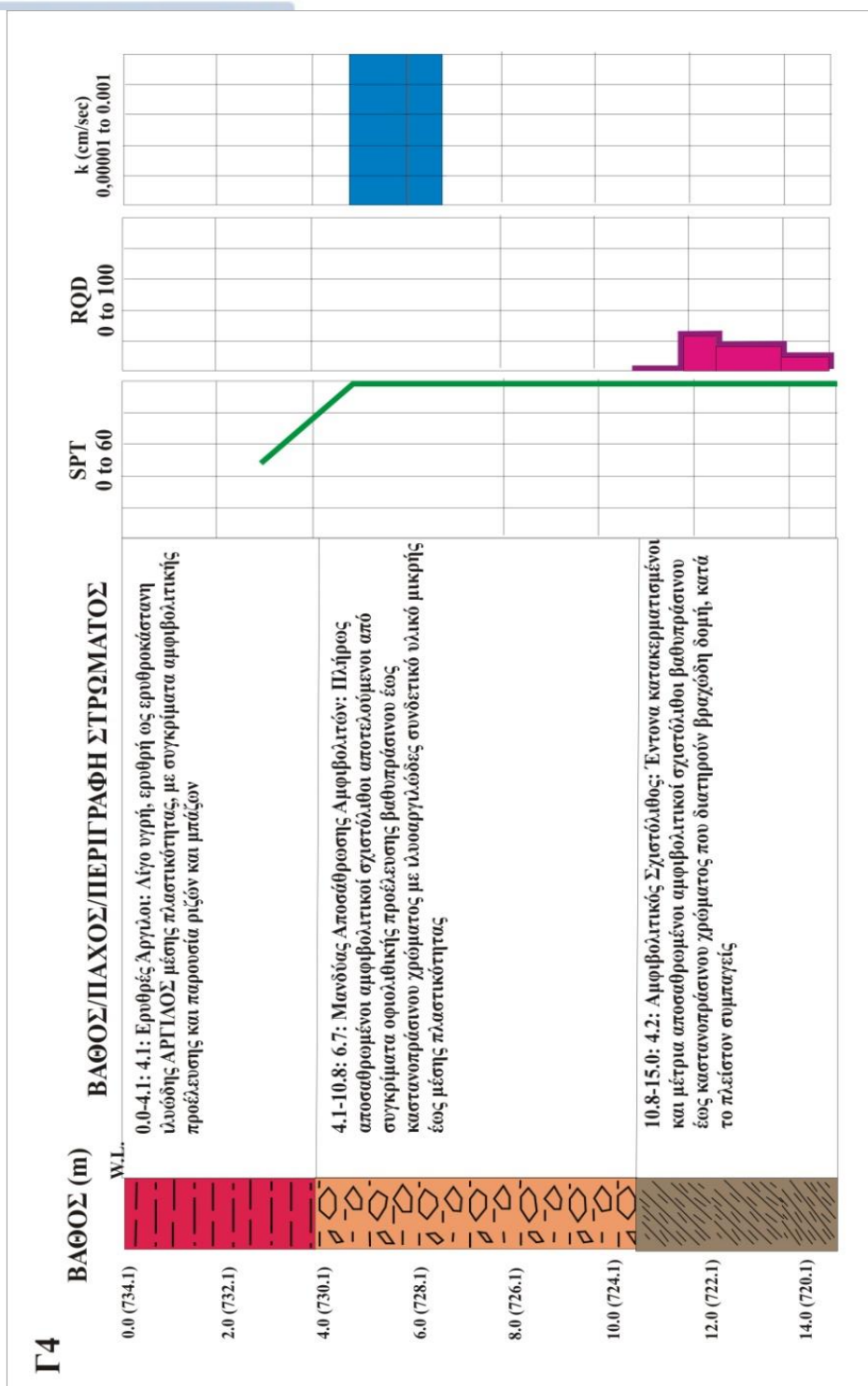


Στη γεώτρηση Γ-4 διακρίθηκαν τα εξής στρώματα:

Στρώμα “Α” : Επιφανειακά και μέχρι βάθος 4,1m περίπου, συναντήθηκε λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μπάζων (κατάταξη κατά USCS: SC).

Στρώμα “Β” : Από βάθος 4,1m μέχρι βάθος 10,8m εντοπίστηκαν πλήρως αποσάθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι αποτελούμενοι από συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας (κατάταξη κατά USCS: GC/SC-SM). Το στρώμα αυτό αποτελεί το μανδύα αποσάθρωσης των αμφιβολιτικών σχιστολίθων με βαθμό αποσάθρωσης 6 σύμφωνα με τη ταξινόμηση κατά Little.

Στρώμα “C” : Από βάθος 10,8m μέχρι βάθος 15,0m, συναντήθηκαν έντονα κατακερματισμένοι και μέτρια αποσάθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος που διατηρούν βραχώδη δομή, κατά το πλείστον συμπαγείς.



Εικόνα 35: Εδαφικό προφίλ της γεώτρησης Γ4



Εικόνα 36: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ1 για βάθος από 5-10m. Από το βάθος των 5μ μέχρι και το βάθος των 10μ φαίνεται ο σχηματισμός των αμφιβολιτικών σχιστολίθων.



Εικόνα 37: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ1 για βάθος από 10-15m. Από το βάθος των 11.25μ μέχρι και το βάθος των 15μ φαίνεται ο σχηματισμός των πρασινιτών που εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι και ελαφρά αποσπασμένοι.



Εικόνα 38: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ2 για βάθος από 5-10m. Από το βάθος των 5μ μέχρι και το βάθος των 8.2μ φαίνεται ο σχηματισμός των πρασινιτών που εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι και ελαφρά αποσαθρωμένοι.



Εικόνα 39: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ2 για βάθος από 10-15m. Από το βάθος των 12.85μ μέχρι και το βάθος των 15μ φαίνεται ο σχηματισμός των πρασινιτών.



Εικόνα 40: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ3 για βάθος από 0-5m. Από το βάθος των 0m μέχρι και το βάθος φαίνονται οι τεχνητές επιχώσεις.



Εικόνα 41: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ3 για βάθος από 5-10m. Από το βάθος των 5 έως και το βάθος των 10μ φαίνεται ο σχηματισμός των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, πλήρως αποσαθρωμένοι.



Εικόνα 42: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ3 για βάθος από 10-15m. Από το βάθος των 10 έως και το βάθος των 15μ φαίνεται ο σχηματισμός των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μέτρια αποσθρωμένοι.



Εικόνα 43: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ4 για βάθος από 0-5μ. Από το βάθος των 0 έως και το βάθος των 5μ φαίνονται οι τεχνητές επιχώσεις.



Εικόνα 44: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ4 για βάθος από 5-10m. Από το βάθος των 5 έως και το βάθος των 10μ φαίνεται ο σχηματισμός των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, πλήρως αποσαθρωμένοι.



Εικόνα 45: Δειγματοληπτική γεώτρηση Γ4 για βάθος από 10-15μ. Από το βάθος των 10 έως και το βάθος των 15μ φαίνεται ο σχηματισμός των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, μέτρια αποσαθρωμένοι.

4.2: ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Κατά την εποχή διεξαγωγής της έρευνας (Ιούνιος-Αύγουστος 2014) διενεργήθηκαν μετρήσεις της υπόγειας στάθμης στα εγκατεστημένα πιεζόμετρα. Η έρευνα της διακύμανσης της υπόγειας στάθμης θα συνεχιστεί για τουλάχιστον 8 μήνες παράλληλα με τις κλισιομετρικές μετρήσεις ώστε να εξακριβωθεί η σχέση διακύμανσης στάθμης-ερπυστικών μετακινήσεων. Τα αποτελέσματα της έρευνας της υπόγειας στάθμης παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 5: Αποτελέσματα έρευνας υπόγειας στάθμης

Ημερομηνία				
Γεωτρήσεις	4/6/14	5/6/14	7/8/14	28/8/14
Στάθμη Γ-1 (m)	13,7	13,2	13,4	12,90
Στάθμη Γ-2 (m)			14,0	
Στάθμη Γ-3 (m)		11,7	12,1	12,15
Στάθμη Γ-4 (m)		11,7		

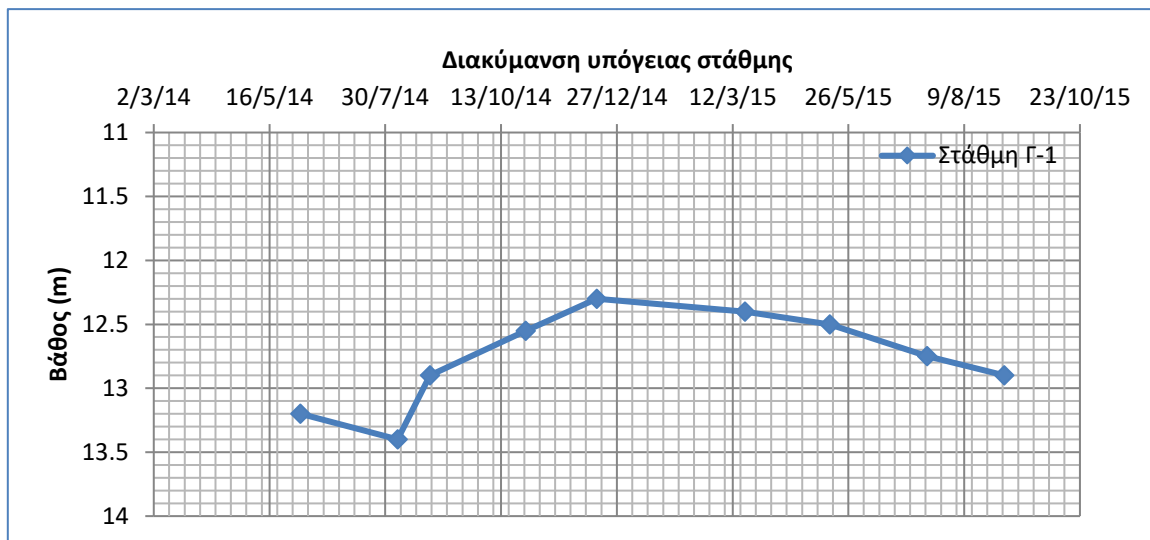
Σημειώνεται πως οι παραπάνω στάθμες μετρήθηκαν τους καλοκαιρινούς μήνες και αποτελούν τις βαθύτερες εποχιακά τιμές στάθμης της υπόγειας υδροφορίας. Εκτιμάται πως η υπόγεια στάθμη ανυψώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν κάποιες επιπλέον μετρήσεις στα πιεζόμετρα στις γεωτρήσεις Γ-1 και Γ-3 στα ανάντη των υπό μελέτη Ναών. Στόχος των μετρήσεων είναι να συσχετισθούν οι πιθανές καταγραφωμένες μετακινήσεις του υπεδάφους θεμελίωσης με τυχόν μεταβολές της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Οι τιμές της διακύμανσης του βάθους της υπόγειας στάθμης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

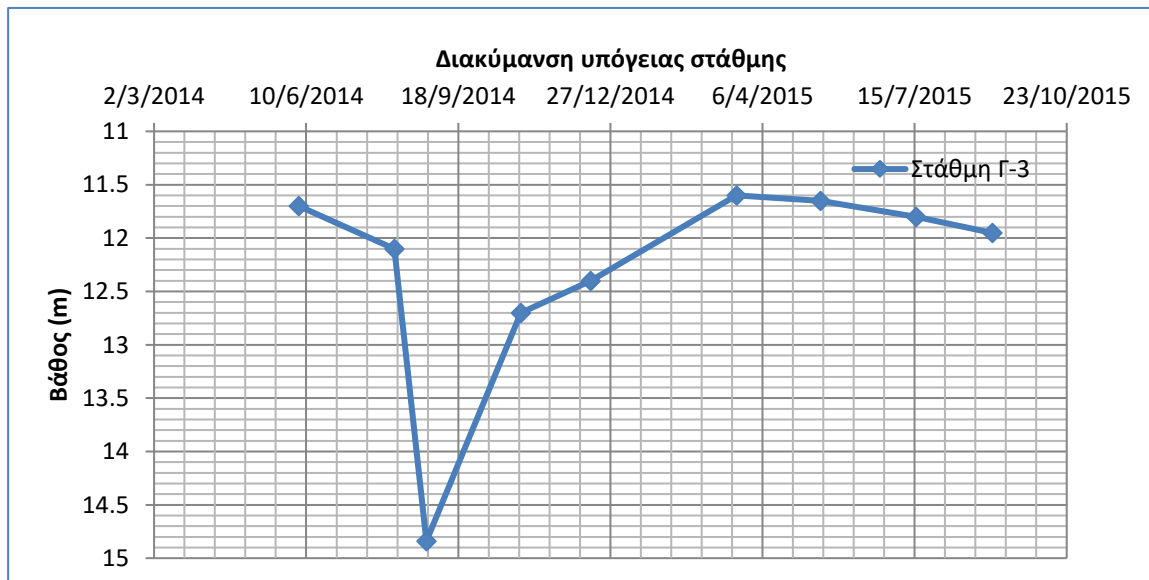
Πίνακας 6: Βάθος υπόγειας στάθμης για τις γεωτρήσεις Γ1 και Γ3

Ημερομηνία	Βάθος Υπόγειας Στάθμης (m)	
	Γ1	Γ3
28/8/2014	12,90	14,84
29/10/2014	12,55	12,70
14/12/2014	12,3	12,40
20/3/2015	12,40	11,60
14/5/2015	12,5	11,65
16/7/2015	12,75	11,8
4/9/2015	12,9	11,95

Παρατηρήθηκε μία, εποχιακού χαρακτήρα, ανύψωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα από τις 29/10/2014 μέχρι τις 14/5/2015 της τάξης των 50-55cm στη γεώτρηση Γ-1 (Διάγραμμα 1) και 110cm στη γεώτρηση Γ-3 (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 1: Διακύμανση υπόγειας στάθμης για τη γεώτρηση Γ1



Διάγραμμα 2: Διακύμανση υπόγειας στάθμης για τη γεώτρηση Γ3

4.3: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στα πλαίσια της εκπονείθης γεωτεχνικής μελέτης τα δείγματα των γεωτρήσεων εξετάστηκαν μακροσκοπικά και ορισμένα αντιπροσωπευτικά εξ αυτών υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής, που εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και στο Τμήμα Εργαστηριακών Δοκιμών της εταιρείας Γεωστατική Α.Ε κατά τρόπο σύμφωνο με τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε106-85).

Σε επιλεγμένα δείγματα των γεωτρήσεων εκτελέστηκε ένα πρόγραμμα εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής κατάλληλα προσαρμοσμένο στη σύσταση των δειγμάτων, στις απαιτήσεις σχεδιασμού του έργου και των προβλημάτων ευστάθειας του υπεδάφους που έχουν παρατηρηθεί.

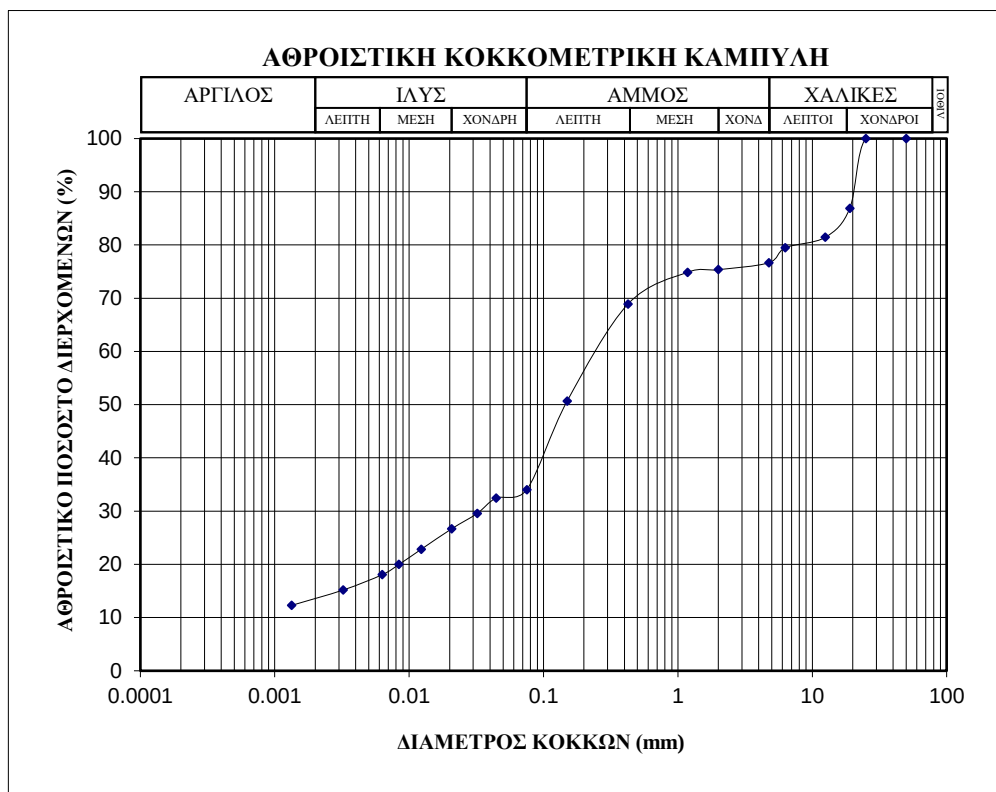
Οι εργαστηριακές δοκιμές περιελάμβαναν :

- Δοκιμές κατάταξης του εδάφους (κοκκομετρικές αναλύσεις με κόσκινα, κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο, μετρήσεις ορίων υδαρότητας - πλαστικότητας).
- Δοκιμές προσδιορισμού φυσικών χαρακτηριστικών (φυσική υγρασία, φαινόμενο βάρος και εξ αυτών προσδιορισμό του λόγου κενών και του βαθμού κορεσμού του εδάφους).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων συμπίεστότητας (δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης).
- Δοκιμές προσδιορισμού των παραμέτρων αντοχής (δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, δοκιμή άμεσης διάτμησης)
- Οι επί τόπου δοκιμές περιέλαβαν δοκιμές SPT και δοκιμές περατότητας MAAG

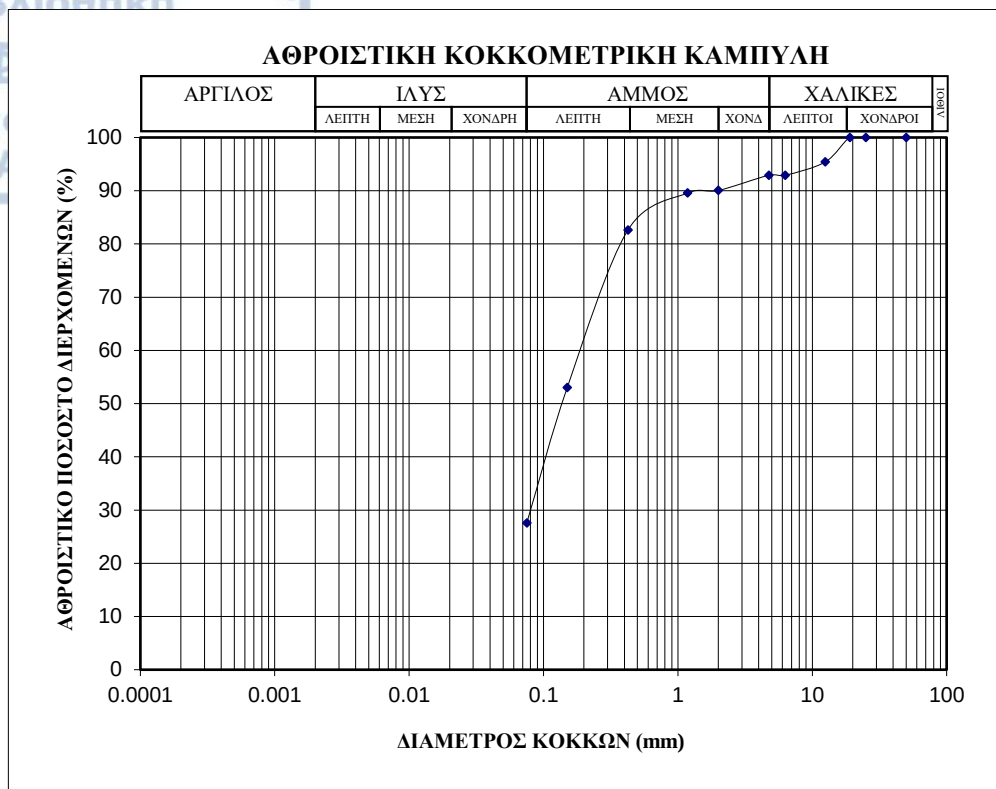
Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων **Γ1**, **Γ2**, **Γ3** και **Γ4**. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών. Ομοίως οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπίεστότητας εκτιμώνται ως οι μέσοι όροι των τιμών των εργαστηριακών δοκιμών.

Εξάιρεση αποτελούν οι τιμές διατμητικής αντοχής των στρωμάτων **B** και **C**. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός των εν λόγω στρωμάτων είναι πολύ δύσκολος διότι πρόκειται για χονδρόκοκκα υλικά με λεπτόκοκκο συνδετικό υλικό. Αν αυτά δοκιμαστούν αδιατάρακτα στη συσκευή άμεσης διάτμησης τότε δημιουργούνται φαινόμενα κλίμακας (scale effects) με αποτέλεσμα η αντοχή και κυρίως η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' να είναι αυξημένη. Στην περίπτωση αντικατάστασης του χονδρόκοκκου κλάσματος με πιο λεπτομερές τότε δίνεται αυξημένο το αποτέλεσμα της συνοχής c' . Η πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι να θεωρηθεί ως χαρακτηριστική τιμή συνοχής αυτή που προκύπτει από δοκιμή άμεσης διάτμησης χωρίς αντικατάσταση του χονδρόκοκκου κλάσματος ($c'=11\text{kPa}$) και ως

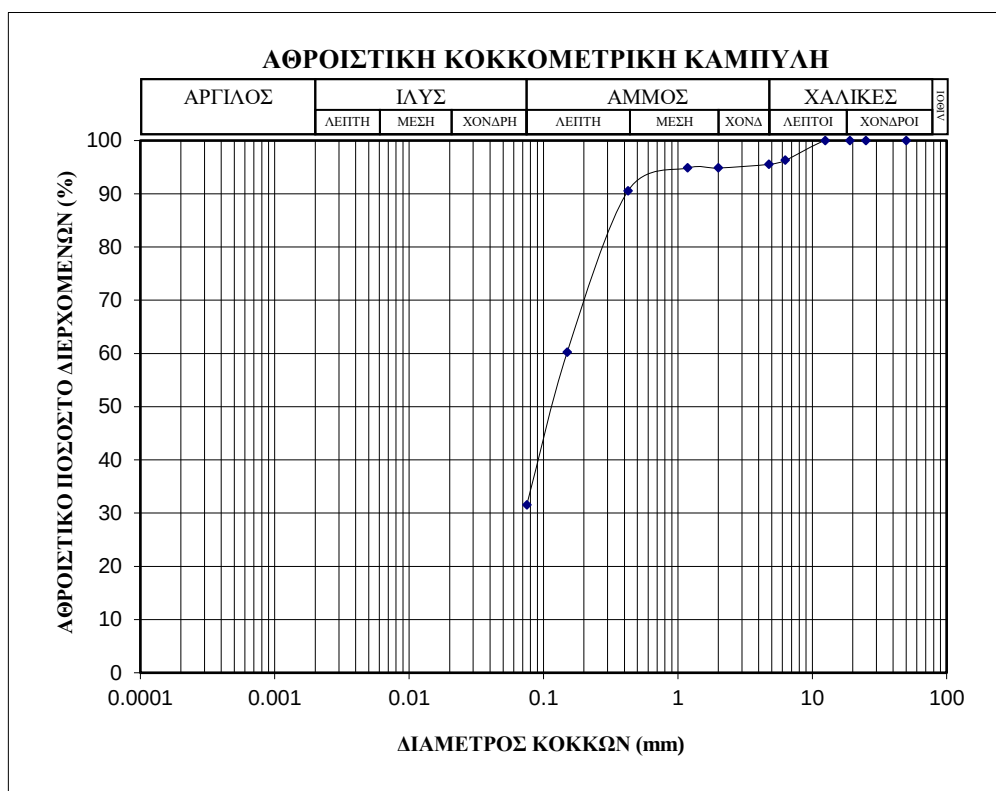
χαρακτηριστική τιμή γωνίας τριβής αυτή που προκύπτει από δοκιμή άμεσης διάτμησης με αντικατάσταση του χονδρόκοκκου κλάσματος ($\phi'=25^\circ$).



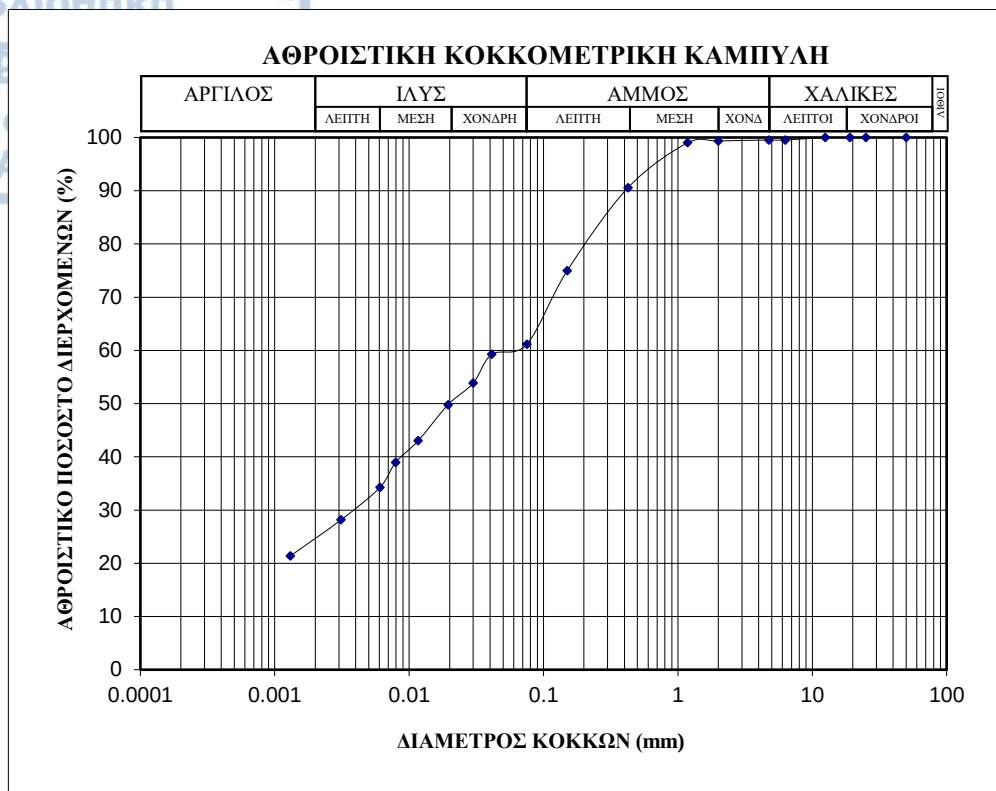
Διάγραμμα 3: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 0-2m από γεωτεχνική μελέτη Ν. Χατζηγώγου



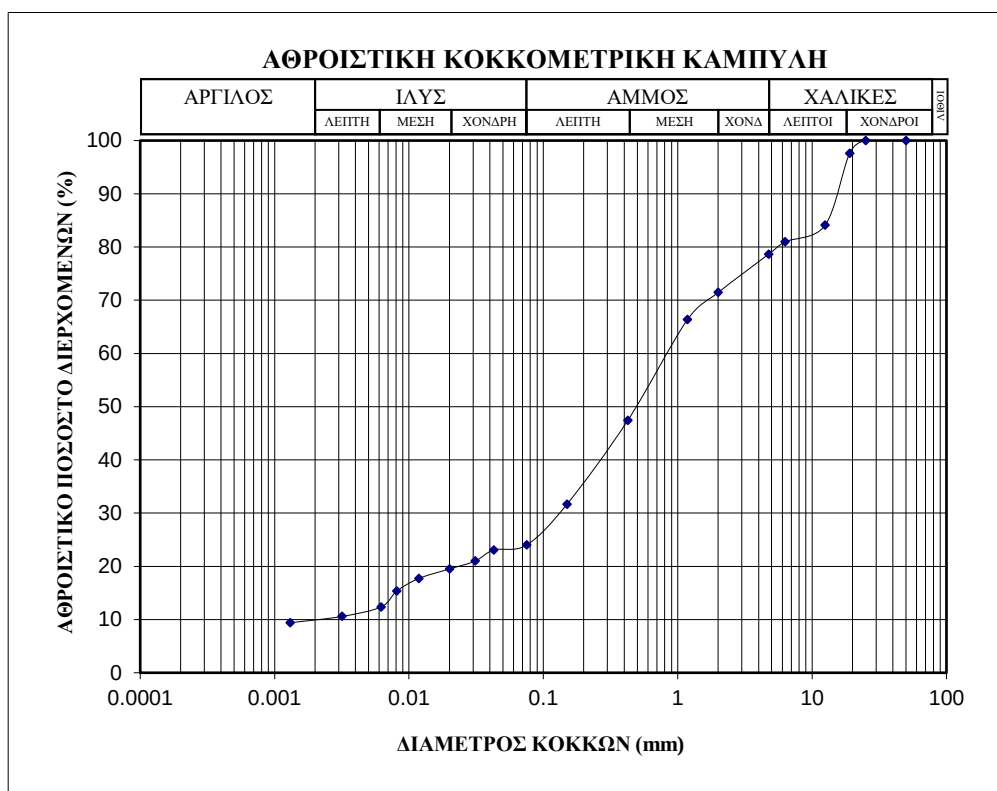
Διάγραμμα 4: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 3-4m από γεωτεχνική μελέτη Ν. Χατζηγώγου



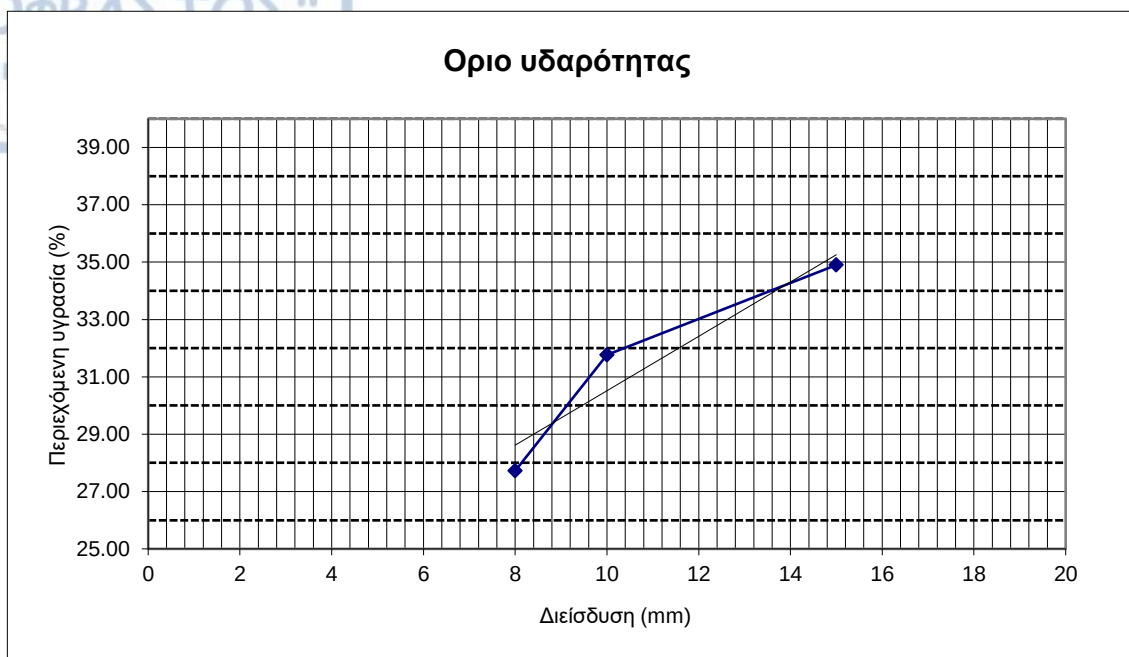
Διάγραμμα 5: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 4.45-5m από γεωτεχνική μελέτη Ν. Χατζηγώγου



Διάγραμμα 6: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 6-6.7m από γεωτεχνική μελέτη Ν. Χατζηγώγου



Διάγραμμα 7: Αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 10.3-10.9m από γεωτεχνική μελέτη Ν. Χατζηγώγου



Διάγραμμα 8: Όριο υδαρότητας για τη γεώτρηση Γ1 και βάθος 0-2m

➤ Υγρασία & φαινόμενο βάρος

Πίνακας 7: Υγρασίες και φαινόμενο βάρος για τη γεώτρηση Γ1

Βάθος	0,5-1	2,2	3,5-4,1	6,65-8
Υγρασία (%)	11	26,9	16	7,6
Φαινόμενο βάρος (gr/cm ³)	1,97			

Όλες οι δοκιμές διεξήχθησαν κατά τρόπο σύμφωνο προς τις σχετικές Δημόσιες Τεχνικές Προδιαγραφές (ΥΠΕΧΩΔΕ, Ε105-86).



Εικόνα 46: Χαρακτηριστική εικόνα του πλήρως εξαλλοιωμένου πρασινίτη (αριστερά) σε αντιπαράβολή με τον πρασινίτη ελαφρής αποσάθρωσης.

Οι τιμές των παραμέτρων των εδαφικών στρώσεων προκύπτουν από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα δείγματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων **Γ1, Γ2, Γ3** και **Γ4**. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές των διαφόρων χαρακτηριστικών κατάταξης και φυσικής κατάστασης των διαχωριζόμενων στρωμάτων, προκύπτουν γενικά ως οι μέσοι όροι των τιμών των αντιστοίχων εργαστηριακών δοκιμών. Ομοίως οι τιμές των χαρακτηριστικών αντοχής και συμπίεστότητας εκτιμώνται ως οι μέσοι όροι των τιμών των εργαστηριακών δοκιμών ή κατά περίπτωση ως οι ελάχιστες χαρακτηριστικές τιμές κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας με διάστημα εμπιστοσύνης 95%.

Εξαίρεση αποτελούν οι τιμές διατμητικής αντοχής των στρωμάτων **B** και **B'**. Ο εργαστηριακός προσδιορισμός των εν λόγω στρωμάτων είναι πολύ δύσκολος διότι πρόκειται για χονδρόκοκκα υλικά με λεπτόκοκκο συνδετικό υλικό. Αν αυτά δοκιμαστούν αδιατάρακτα στη συσκευή άμεσης διάτμησης τότε δημιουργούνται φαινόμενα κλίμακας (scale effects) με αποτέλεσμα η αντοχή και κυρίως η γωνία εσωτερικής τριβής ϕ' να είναι αυξημένη. Στην περίπτωση αντικατάστασης του χονδρόκοκκου κλάσματος με πιο λεπτομερές τότε δίνεται αυξημένο το αποτέλεσμα της συνοχής c' . Η πιο ρεαλιστική προσέγγιση είναι να θεωρηθεί ως χαρακτηριστική τιμή συνοχής αυτή που προκύπτει από δοκιμή άμεσης διάτμησης χωρίς αντικατάσταση του χονδρόκοκκου κλάσματος ($c'=11\text{kPa}$) και ως χαρακτηριστική τιμή γωνίας τριβής αυτή που προκύπτει από δοκιμή άμεσης διάτμησης με αντικατάσταση του χονδρόκοκκου κλάσματος ($\phi'=25^\circ$).

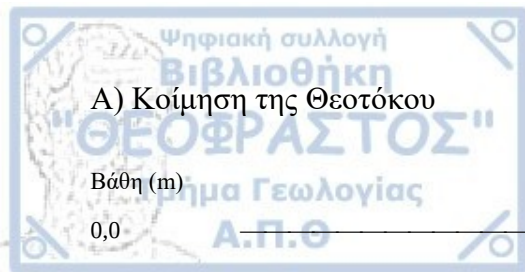
Για τις ανάγκες της μελέτης, εκτός από τις εργαστηριακές τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τις αναλύσεις ευστάθειας, χρησιμοποιήθηκαν επίσης κάποιες εμπειρικές σχέσεις ώστε να συγκριθούν οι τελικές τιμές. Γι αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τύποι:

- $C_u = 0,6 * N_{SPT}$ (Terzaghi&Peck)
- $\phi' = 0,3 * N_{SPT} + 27^\circ$ (Peck)
- $E_s = 5 * (N_{SPT} + 15)$ (Webb, 1969)

Πίνακας 8 : Σχέση τιμών που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές σε σχέση με εμπειρικές σχέσεις

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Μέσο Πάχος(m)	N_{SPT}	C_{uspt} (kPa)	E_{sspt} (MPa)	c' (kPa)	ϕ' ($^\circ$)	ϕ'_{spt} ($^\circ$)
Γ1	8,45-10	9,2	24	14,4	195	11	25	34,2
Γ2	8,5-9	8,75	18	10,8	165	11	25	32,4
Γ3	11,5-12,5	12	40	24	275	-	-	39
Γ4	2,45-3,5	2,9	>50	30	325	17	30	42

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω στον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου και στον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου διακρίνονται 4 τεχνικογεωλογικές ενότητες ενώ στον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου διακρίνονται 3 τεχνικογεωλογικές ενότητες που έχουν διαφορετικά λιθολογικά, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω με τη μορφή εδαφικής τομής.



A) Κοίμηση της Θεοτόκου

Βάθος (m)

0,0

Φυσικό έδαφος

Στρώμα A: Λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μάζων. [CI]

$W \approx 23-26$	$\gamma \approx 18,5-20,5$	$WL=41-45$	$PI=19$
$Cu \approx 49-54$	$Es \approx 2,5$	$Cc \approx 0,17$	$Cv \approx 12,8$
$NSPT \approx 21$	$e \approx 0,67$	$k \approx 1,5 \cdot 10^{-6}$	

2,1-2,6

Στρώμα B: Συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλοαργιλώδες συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας. [GC-SC]

$W \approx 18-20$	$\gamma \approx 19-22$	$WL=38-46$	$PI=15-22$
$Cu \approx 112$	$Es \geq 10$	$c' \approx 11$	$\phi' \approx 25^\circ$
$NSPT \approx 10-21$	$e \approx 0,55$	$k \leq 1,0 \cdot 10^{-3}$	

8,2-10,4

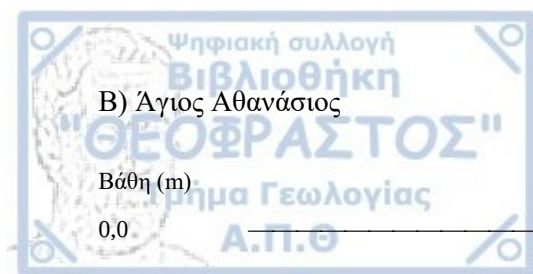
Στρώμα C :Ελαφρά υγρή, γκριζοπράσινη ιλυώδης άργιλος χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. [CI]

$W \approx 11-15$	$\gamma \approx 21-23$	$WL=40$	$PI=20$
$e \approx 0,35$	$NSPT \approx 10-21$	$c' \approx 11$	$\phi' \approx 25^\circ$

11,2-12,9

Υ.Υ.Ο 12,9 Στρώμα D: Έντονα κατακερματισμένος (RQD=0-20), ελαφρά αποσαθρωμένος πρασινίτης με πρπσανατολισμένη βραχώδη δομή.

15,5



B) Άγιος Αθανάσιος

Βάθη (m)

0,0

Φυσικό έδαφος

Στρώμα Α': Λίγο υγρή, ερυθρή ως ερυθροκάστανη ιλυώδης άργιλος μέσης πλαστικότητας, με συγκρίματα αμφιβολιτικής προέλευσης και παρουσία ριζών και μάζων. **[CI]**

$W \approx 17-22$	$\gamma \approx 19,0-20,0$	$WL = 38-40$	$PI = 11-14$
$(Cu \approx 49-54)$	$(Es \approx 2,5)$	$(Cc \approx 0,17)$	$(Cv \approx 12,8)$
$N_{SPT} \approx 9-29$	$e \approx 0,65$	$(k \approx 1,5 \cdot 10^{-6})$	

3,5-4,1

Στρώμα Β': Συγκρίματα οφιολιθικής προέλευσης, βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος με ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μικρής έως μέσης πλαστικότητας.. **[GC-SC]**

$W \approx 14-20$	$\gamma \approx 18-22$	$WL = 32-44$	$PI = 10-17$
$(Cu \approx 112)$	$(Es \geq 10)$	$(c' \approx 11)$	$(\phi' \approx 25^\circ)$

Y.Y.O 11,7

$N_{SPT} \approx 29-60$	$e \approx 0,4-0,6$	$k \leq 1,7 \cdot 10^{-3}$
-------------------------	---------------------	----------------------------

10,8-14,4

Στρώμα C': Έντονα κατακερματισμένοι και μέτρια αποσθρωμένοι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι βαθυπράσινου έως καστανοπράσινου χρώματος που διατηρούν βραχώδη δομή, κατά το πλείστον συμπαγείς.

15,8

Υπόμνημα :

Y.Y.O.: Υπόγειος υδάτινος ορίζοντας (m)

W : Φυσική υγρασία (%)

WL : Όριο υδαρότητας

γ : Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m³)

PI : Δείκτης πλαστικότητας

e : Λόγος κενών

ϕ' : Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)

C_u : Αστράγγιστη συνοχή (kPa)

C_c : Δείκτης συμπιεστότητας (περιοχή τάσεων κανονικής στερεοποίησης)

C_v : Συντελεστής στερεοποίησης (cm²/sec*10⁻⁴)

E_s : Μέτρο συμπιεστότητας (MPa)

k : Συντελεστής διαπερατότητας (cm/sec)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

5.1: ΚΟΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ

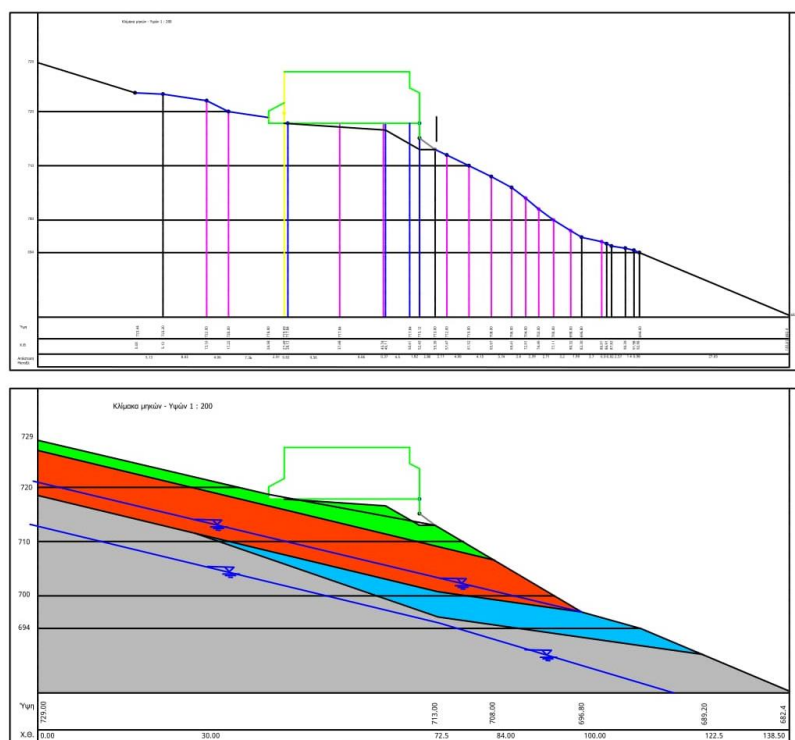
Η συγκεκριμένη θέση διακρίνεται από τη παρουσία αμφιβολιτικών σχιστολίθων και πρασινιτών που ανήκουν γεωτεκτονικά στη πελαγονική ζώνη. Τεχνικογεωλογικά διακρίνουμε 4 ενότητες με διαφορετικά γεωλογικά, λιθολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 9: Τεχνικογεωλογικές ενότητες για την Κοίμηση της Θεοτόκου

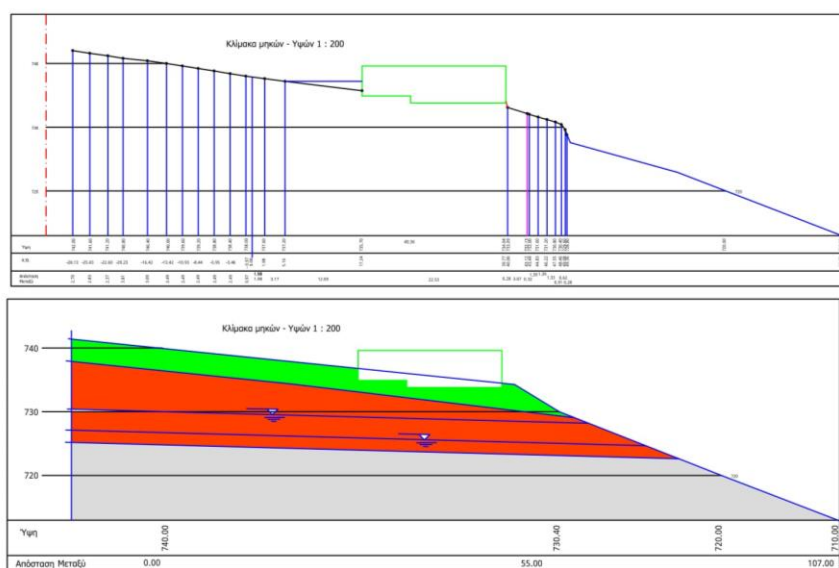
Στρώμα	Φυσική υγρασία (%)	Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m3)	RQD	Αστράγγιστη συνοχή (kPa)	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)	Nspt	Συντελεστής διαπερατότητας (cm/sec)	Μέτρο συμπίεστικότητας (MPa)	Ενεργή συνοχή (kPa)
A	23-26	18.8-20.5		49-54		21	$1,5 \cdot 10^{-6}$	2.5	
B	18-20	19-22		112	25	10-21		10	11
C	11-15	21-23			25	10-21			11
D			20						

Η 1^η ενότητα αφορά την ερυθρή έως ερυθροκάστανη ιλυώδη άργιλο η οποία θεωρείται ότι αποτελεί φερτό υλικό που χρησιμοποιήθηκε στη θέση θεμελίωσης του Ναού, επιστρώθηκε δηλαδή περιμετρικά για να διαμορφωθεί η ομαλή γεωμετρία του προαύλιου χώρου του Ναού. Η 2^η ενότητα αποτελείται από σχηματισμούς της πελαγονικής ζώνης, και συγκεκριμένα από πλήρως αποσάθρωμένους αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους. Η ζώνη αυτή, που φτάνει μέχρι το βάθος των 11m περίπου, αποτελεί το μανδύα αποσάθρωσης του σχηματισμού των αμφιβολιτικών σχιστολίθων, με συγκρίματα οφειολιθικής προέλευσης βαθυπράσινου χρώματος και ερυθρό ιλυοαργιλώδες συνδετικό υλικό μέσης πλαστικότητας. Η συνοχή είναι $c'=11\text{kPa}$ και η γωνία τριβής $\phi'=25^\circ$.

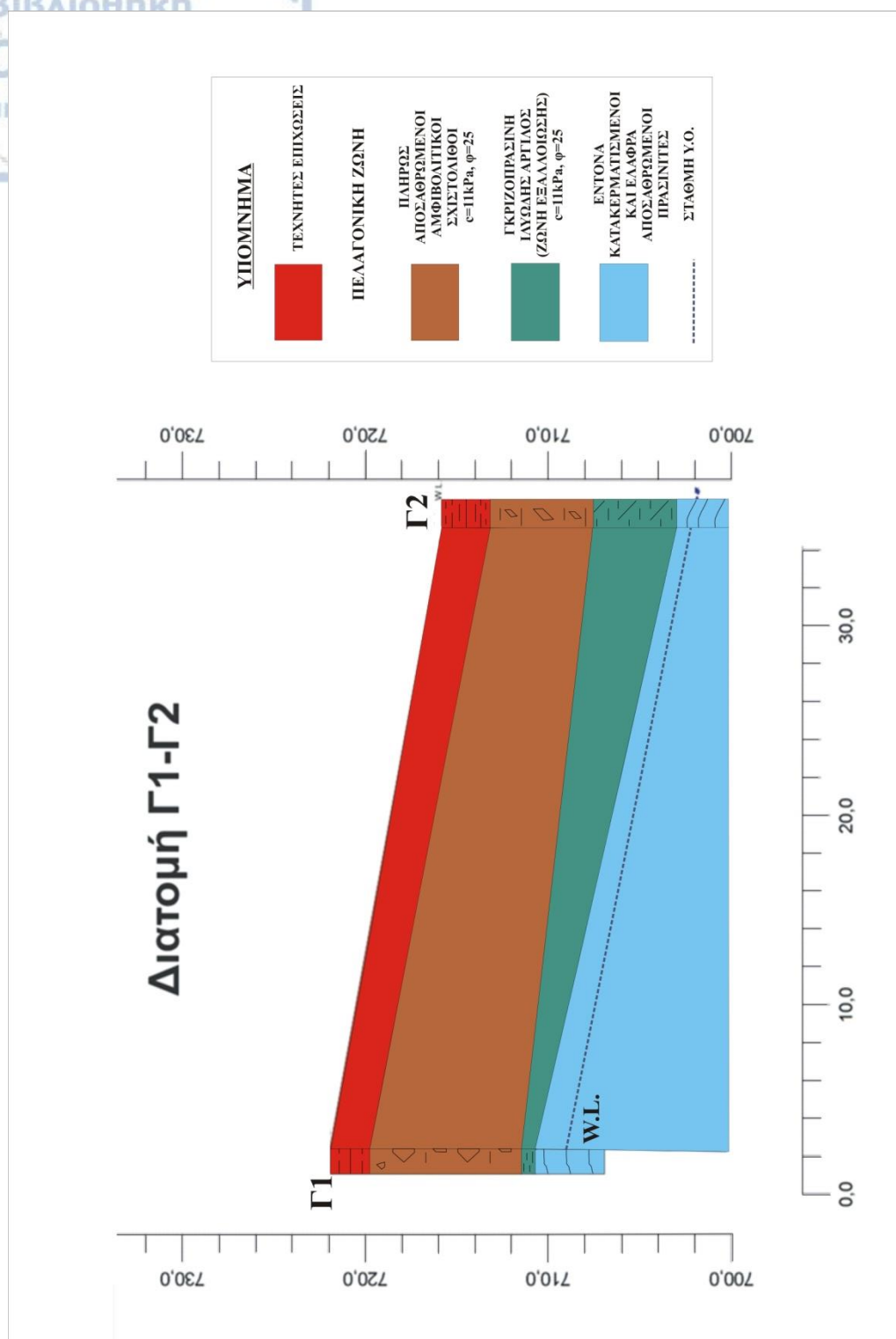
Η 3^η ενότητα αποτελείται από το σχηματισμό των πρασινιτών, σαφώς μικρότερου βαθμού αποσάθρωσης και καλύτερης μηχανικής συμπεριφοράς. Η 4^η ενότητα εντοπίζεται στη γεώτρηση Γ2, κατάντη του Ναού και αποτελεί ζώνη έντονης εξαλλοίωσης του σχηματισμού των πρασινιτών σε βάθη από 8,0-13,0m περίπου. Η ζώνη αυτή δεν εντοπίζεται στη γεώτρηση Γ1 και φαίνεται ότι προς το μέτωπο του φυσικού πρανούς αυξάνεται ο βαθμός αποσάθρωσης των πρασινιτών.



Εικόνα 47: Τεχνικογεωλογική μηκοτομή για τον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου



Εικόνα 48: Τεχνικογεωλογική μηκοτομή για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου



Εικόνα 49: Τεχνικογεωλογικό μοντέλο στον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

5.2: ΑΓΙΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

Η συγκεκριμένη θέση διακρίνεται από τη παρουσία αμφιβολιτικών σχιστολίθων και πρασινιτών που ανήκουν γεωτεκτονικά στη πελαγονική ζώνη. Τεχνικογεωλογικά διακρίνουμε 3 ενότητες με διαφορετικά γεωλογικά, λιθολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.

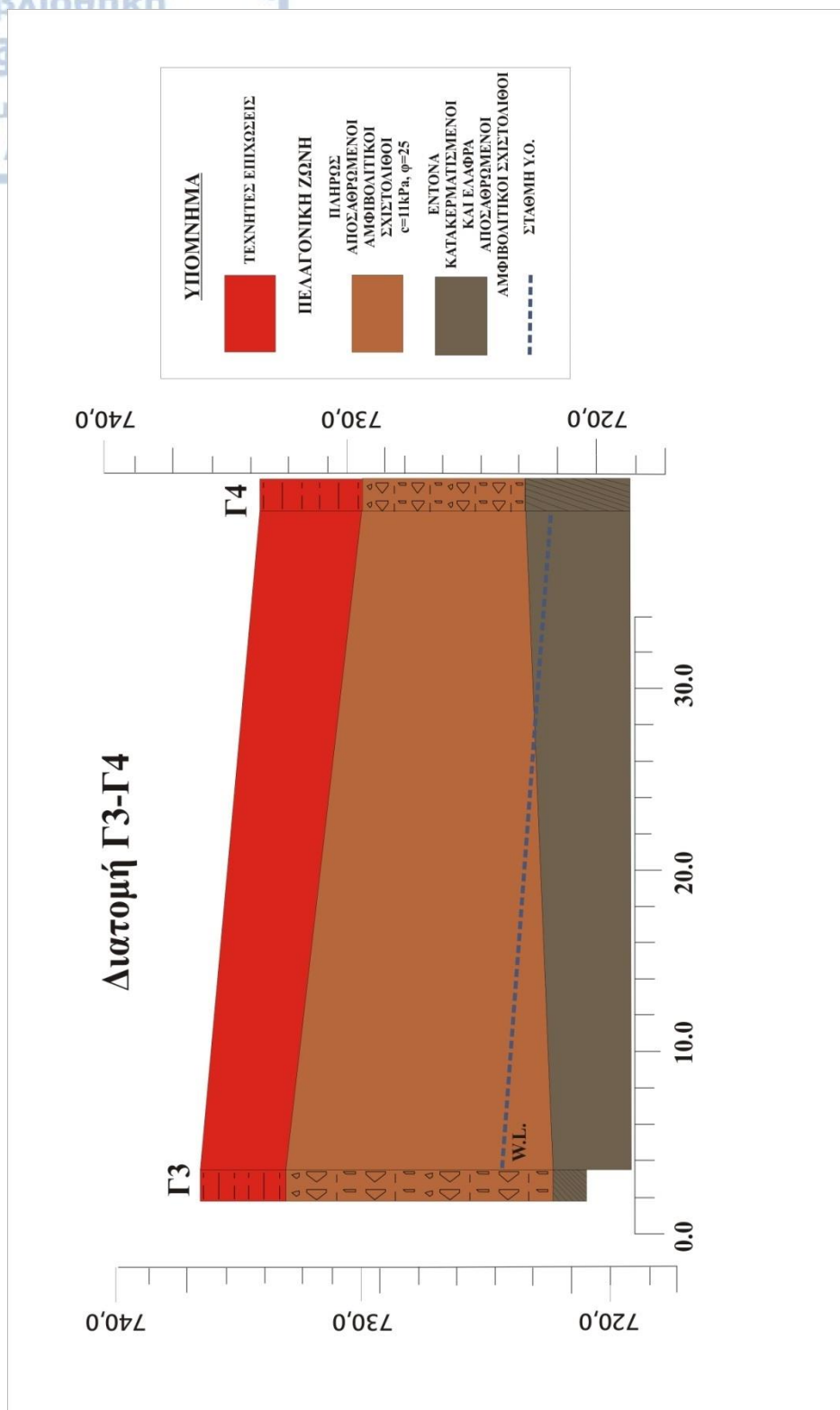
Πίνακας 10: Τεχνικογεωλογικές ενότητες για τον Άγιο Αθανάσιο

Στρώμα	Φυσική υγρασία (%)	Υγρό φαινόμενο βάρος (kN /m ³)	RQD	Αστράγγιστη συνοχή (kPa)	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (Deg)	Nspt	Συντελεστής διαπερατότητας (cm/sec)	Μέτρο συμπίεστότητας (MPa)	Ενεργή συνοχή (kPa)
A	17-22	19-20		49-54		9-29	1,5*10 ⁻⁶	2.5	
B	14-20	18-22		112	25	29-60		10	11
C									

Αναλυτικά, στη θέση του Ναού του Αγίου Αθανασίου συναντήθηκε η ίδια στρωματογραφική ακολουθία, με τις μαλακές ερυθρές αργίλους να εντοπίζονται στα πρώτα 3,5-4,10m, οι οποίες αποτελούν τη 1^η τεχνικογεωλογική ενότητα. Στη συνέχεια συναντάται ο μανδύας αποσάθρωσης των αμφιβολιτών, πάχους 6,0-10,0m, με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά ο οποίος αποτελεί τη 2^η τεχνικογεωλογική ενότητα. Η συνοχή είναι **c'=11kPa** και η γωνία τριβής **φ'=25°**.

Βαθύτερα εντοπίζεται η 3^η τεχνικογεωλογική ενότητα, δηλαδή ο ίδιος σχηματισμός με βραχώδη δομή και μικρότερο βαθμό αποσάθρωσης μέχρι το τελικό βάθος έρευνας. Στη συγκεκριμένη θέση δεν εντοπίστηκε ο σχηματισμός των πρασινιτών μέχρι το βάθος των 15,8m.

Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω, ο αναμενόμενος μηχανισμός αστοχίας έχει ισότροπη συμπεριφορά και στη περίπτωση του Ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου εκτιμάται ότι η ζώνη ολίσθησης βρίσκεται εντός της ζώνης εξαλλοίωσης των πρασινιτών ενώ στη περίπτωση του Ναού του Αγίου Αθανασίου εκτιμάται ότι η ζώνη ολίσθησης βρίσκεται εντός του μανδύα αποσάθρωσης των αμφιβολιτικών σχιστολίθων.



Εικόνα 50: Τεχνικογεωλογικό μοντέλο στον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου



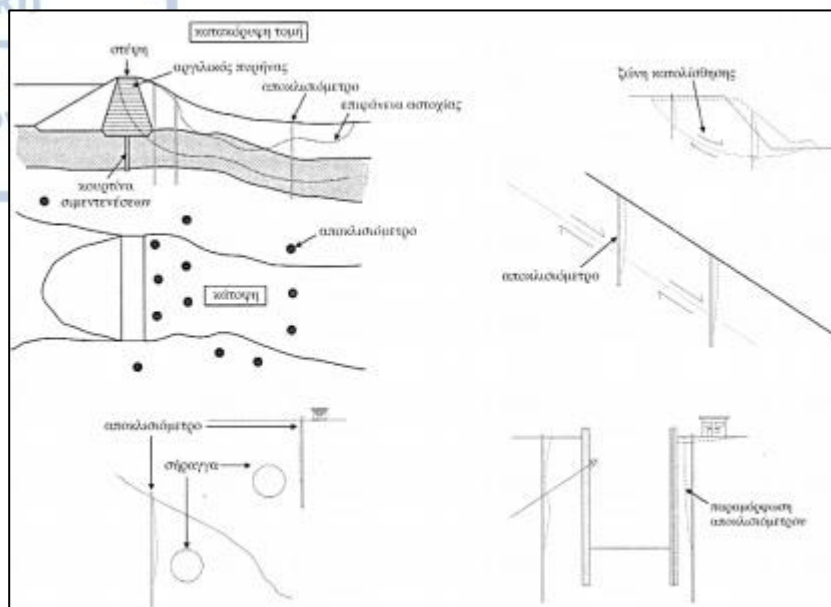
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΝΟΡΓΑΝΗ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ

Στα πλαίσια του γεωερευνητικού προγράμματος εγκαταστάθηκαν δύο κλισιομετρικοί σωλήνες (ένας σε κάθε ναό) με σκοπό την ενόργανη παρακολούθηση των μετακινήσεων του υπεδάφους και τον ακριβή προσδιορισμό του βάθους και του ρυθμού μετακίνησης της ασταθούς μάζας. Επίσης εγκαταστάθηκαν αντίστοιχα δύο πιεζόμετρα τύπου Standpipe για την παρακολούθηση της διακύμανσης της υπόγειας στάθμης.

6.1: ΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΑ (INCLINOMETERS)

Πρόκειται για διατάξεις υψηλής ακρίβειας που εγκαθίστανται μέσα σε μια γεώτρηση με αποστολή την καταγραφή της μετακίνησης εγκάρσια στον άξονά τους. Η χρήση τους είναι πολλαπλή και ιδιαίτερος δημοφιλής. Ειδικότερα, βρίσκουν εφαρμογή στις ακόλουθες περιπτώσεις:

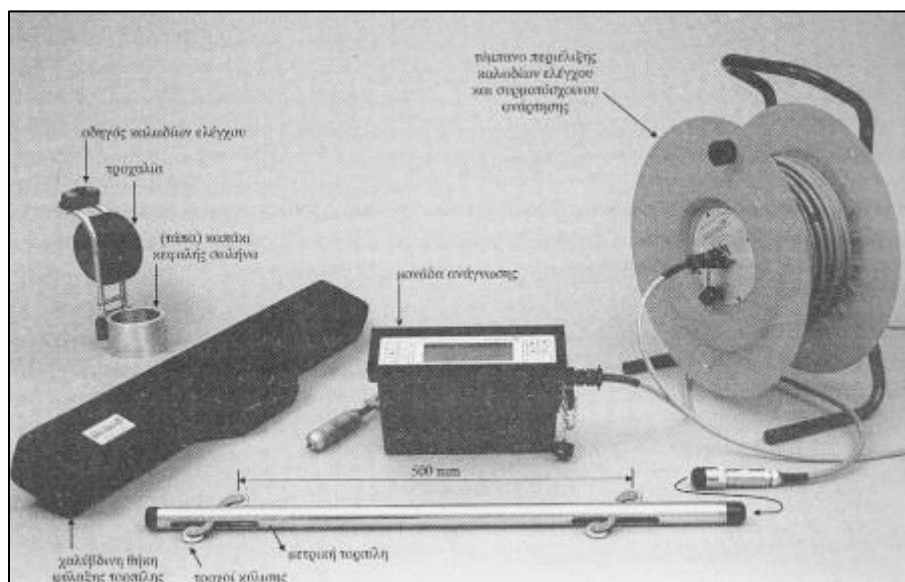
- Σε περιπτώσεις κατολισθήσεων όπου προσδιορίζεται η εξέλιξη του φαινομένου και γίνεται εντοπισμός του κύκλου ολίσθησης.
- Σε χωμάτινες κατασκευές (φράγματα, επιχώματα) για να εντοπιστούν πιθανές αστοχίες πρανών και να ελεγχθούν οι παράμετροι που υιοθετήθηκαν κατά το σχεδιασμό.
- Σε κατασκευές αντιστήριξης (τοίχοι βαρύτητας, διαφράγματα, οπλισμένη γη κτλ.) τόσο για τον έλεγχο της ίδιας της κατασκευής, όσο και για την ασφάλεια των παρακείμενων κτιρίων.
- Κατά τη διάνοιξη σήραγγας με στόχο την εκτίμηση του κινδύνου υπερεκσκαφής, καθώς και των ενδεχόμενων συγκλίσεων των παρειών της σήραγγας, ώστε να εκτιμηθεί η ενδεχόμενη λήψη πρόσθετων μέτρων υποστήριξης.



Εικόνα 51: Πεδία εφαρμογής κλισιομέτρων

Κάθε διάταξη κλισιόμετρου αποτελείται από τέσσερα κύρια στοιχεία:

- την ειδική σωλήνωση,
- τη μετρητική βολίδα,
- το καλώδιο ελέγχου και
- την ψηφιακή μονάδα ανάγνωσης των μετρήσεων.



Εικόνα 52: Τυπική διάταξη κλισιομέτρου

Η σωλήνωση του κλισιόμετρου, συνήθως από πλαστικό, έχει αύλακες εσωτερικά και κατά μήκος του άξονά της ώστε να εξασφαλίζεται κατ' αρχήν η ευθυγράμμιση των στελεχών. Εξυπηρετεί τρεις σκοπούς:

α. Παρέχει πρόσβαση στη μετρητική βολίδα επιτρέποντας μετρήσεις στο εσωτερικό του υπεδάφους,

β. Παραμορφώνεται όπως και το παρακείμενο έδαφος, έτσι ώστε οι μετακινήσεις της σωλήνωσης να αντιπροσωπεύουν τις μετακινήσεις του εδάφους,

γ. Οι εσωτερικοί αύλακες ελέγχουν τον προσανατολισμό της βολίδας (η εγκατάσταση της σωλήνωσης πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το ένα ζεύγος αυλακώσεων να έχει τη διεύθυνση της αναμενόμενης μετακίνησης).

Η μέτρηση της γωνίας που σχηματίζει το σώμα της βολίδας από την κατακόρυφο επιτυγχάνεται με μετρητική βολίδα που φέρει αισθητήρα. Η βολίδα τοποθετείται κατά τη διεύθυνση Α, δηλαδή τη διεύθυνση της αναμενόμενης μετακίνησης, και λαμβάνονται μετρήσεις. Στη συνέχεια, τοποθετείται κατά τη διεύθυνση Β (κάθετη της Α) και οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται. Συνήθως οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ανά 0.5m κατά μήκος της γεώτρησης. Από τις διαδοχικές μετρήσεις δημιουργείται το προφίλ των οριζόντιων μετακινήσεων με το βάθος.

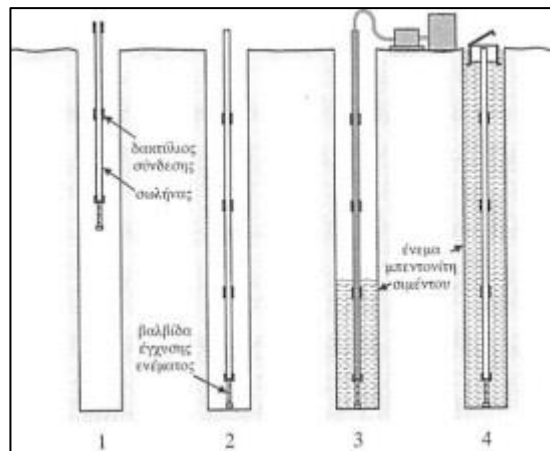
Η μετρητική βολίδα εισέρχεται στη σωλήνωση με τη βοήθεια του καλωδίου ελέγχου. Το καλώδιο αυτό φέρει ενδείξεις ανά 0.50m για τον προσδιορισμό του βάθους της βολίδας. Επίσης, το καλώδιο μεταφέρει ρεύμα και σήματα μεταξύ του αισθητήρα της βολίδας και της ψηφιακής μονάδας ανάγνωσης των μετρήσεων.

Η τεχνική εγκατάστασης περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Άνοιγμα γεώτρησης έως το επιθυμητό βάθος. Αν πρόκειται για κατολίσθηση, πρέπει η γεώτρηση να εκτείνεται 3.-6m βαθύτερα από τη ζώνη ολίσθησης, ενώ αν πρόκειται για τοίχο βαρύτητας, πρέπει πάλι η γεώτρηση να βρίσκεται βαθύτερα από τη βάση του τοίχου κατά 3.0m. Αυτό πραγματοποιείται ώστε το κάτω τμήμα της σωλήνωσης να βρίσκεται σε σταθερό έδαφος και οι μετρήσεις να προσφέρουν ένα επίπεδο αναφοράς.
- Καθαρισμός της γεώτρησης
- Εγκατάσταση σωλήνωσης στη γεώτρηση. Γίνεται με σταδιακή προσαρμογή στελεχών και δακτυλίων σύνδεσης μέχρι το προβλεπόμενο βάθος. Χρειάζεται μια αρχική εκτίμηση για τη διεύθυνση των αναμενόμενων μετακινήσεων ώστε η διεύθυνση Α της σωλήνωσης να ταυτίζεται με αυτήν. Αν και αυτό είναι εύκολο στην περίπτωση των τοίχων αντιστήριξης, πρόκειται για μια δύσκολη διαδικασία στην περίπτωση των κατολισθήσεων. Επίσης, θα πρέπει να διασφαλιστεί ότι η σωλήνωση είναι ευθυγραμμισμένη και δεν έχει περιστραφεί

κατά την εγκατάστασή της. Η πιθανότητα περιστροφής της σωλήνωσης αυξάνεται με το μήκος της και με την προχειρότητα εγκατάστασης. Μία ακόμα παράμετρος της σωλήνωσης που πρέπει να καθοριστεί είναι η διάμετρός της. Στο εμπόριο συνήθως υπάρχουν διαμέτροι των 48, 70 και 85mm. Μικρής διαμέτρου σωλήνωση συνεπάγεται μικρότερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης. Ωστόσο, μια μικρή σωλήνωση ακολουθώντας τις παραμορφώσεις του εδάφους μπορεί να φράξει εύκολα με αποτέλεσμα την αδυναμία διεύθυνσης της βολίδας και υλοποίησης των μετρήσεων. Η διάμετρος των 48.0mm ταιριάζει καλύτερα σε μικρής διαμέτρου γεωτρήσεις σε βράχο, σκυρόδεμα κτλ. Συνεπώς, η βέλτιστη επιλογή διαμέτρου σωλήνωσης εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους και το μέγεθος των αναμενόμενων μετακινήσεων.

- Έγχυση κονιάματος μεταξύ γεώτρησης και σωλήνωσης Το κονίαμα αποτελείται από τσιμέντο, μπετονίτη και νερό. Θεωρητικά, οι μηχανικές ιδιότητες του κονιάματος πρέπει να είναι παρόμοιες με αυτές του περιβάλλοντος εδάφους ώστε η σωλήνωση να ακολουθεί τις παραμορφώσεις του εδάφους. Ωστόσο, κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει. Η γενική αρχή είναι ότι όσο πιο μαλακό είναι το έδαφος, τόσο πιο μεγάλος χρειάζεται να είναι ο λόγος νερού προς τσιμέντο.
- Κάλυψη της κεφαλής της σωλήνωσης με καπάκι

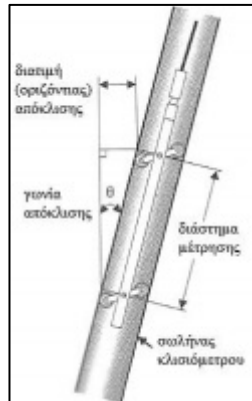


Εικόνα 53: Τεχνική εγκατάστασης κλισιόμετρου

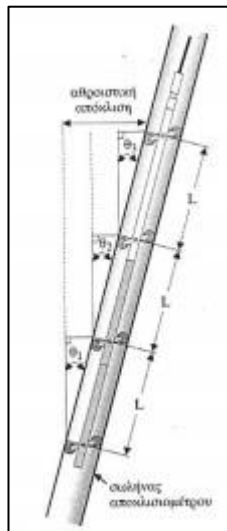
Ο αισθητήρας που φέρει η βολίδα καταγράφει τη γωνία θ που σχηματίζει το σώμα της βολίδας με την κατακόρυφο. Οπότε, η οριζόντια μετατόπιση Δx που παρουσιάζει το σώμα της βολίδας σε απόσταση L δίνεται από τη σχέση: $\Delta x = L \cdot \sin\theta$, όπου L το μήκος μεταξύ των τροχών της βολίδας.

Για να είναι δυνατή η εξαγωγή συμπερασμάτων από τη χρήση του κλισιόμετρου χρειάζεται ο υπολογισμός των οριζόντιων μετακινήσεων σε όλο το βάθος της γεώτρησης. Αυτό πραγματοποιείται με διαδοχικές μετρήσεις ανά διαστήματα ίσα με την απόσταση μεταξύ των

τροχών, L. Ενώνοντας τα δεδομένα από κάθε μέτρηση προκύπτει η συνολική οριζόντια μετακίνηση της επιφάνειας του εδάφους και το προφίλ των οριζόντιων μετακινήσεων με το βάθος



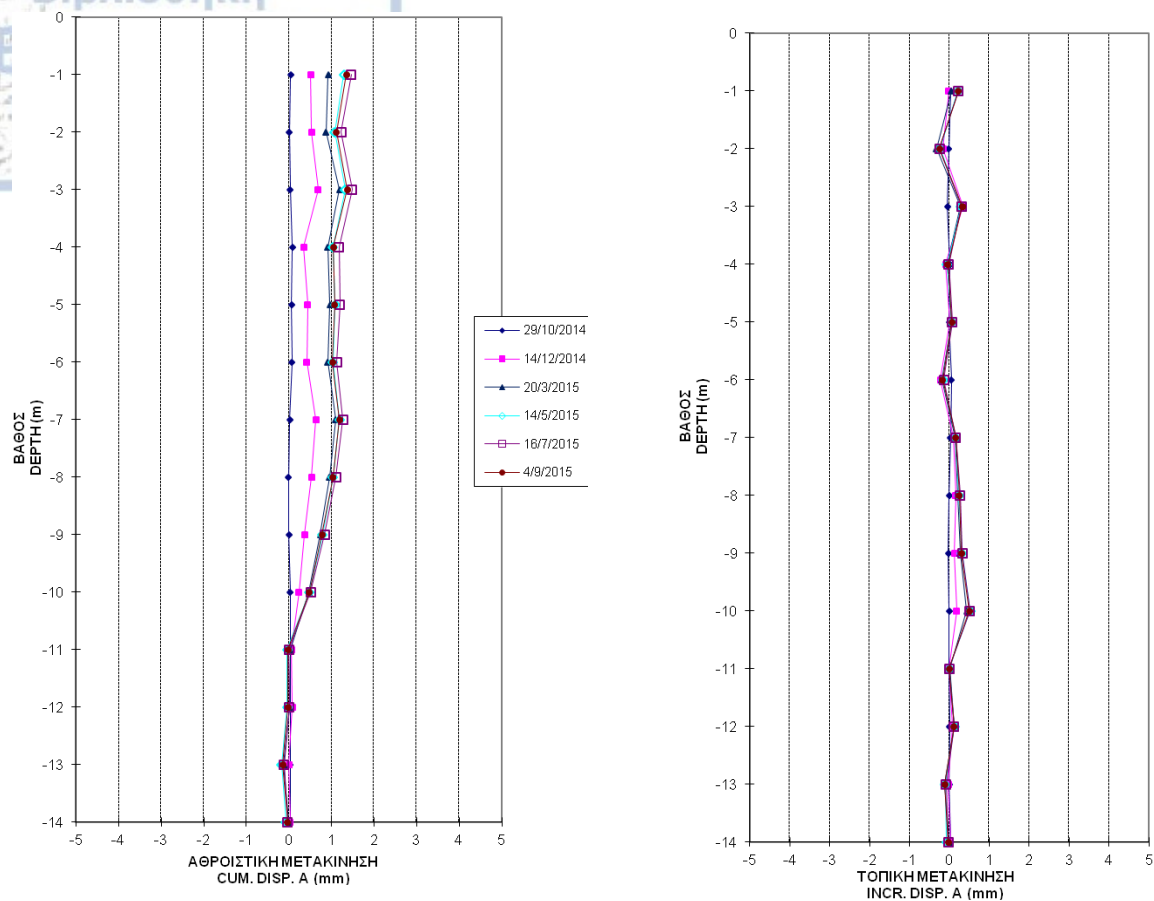
Εικόνα 54: Συναγωγή εγκάρσιων μετακινήσεων (α)



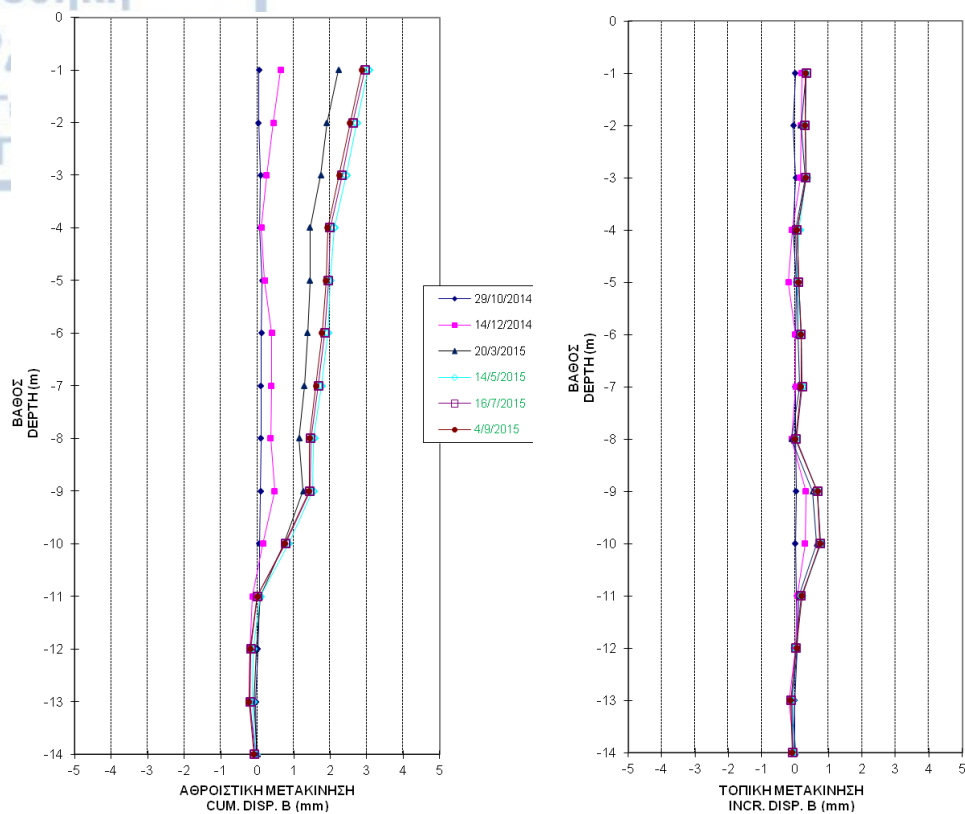
Εικόνα 55: Συναγωγή εγκάρσιων μετακινήσεων (β)

Κλισιομετρικά διαγράμματα

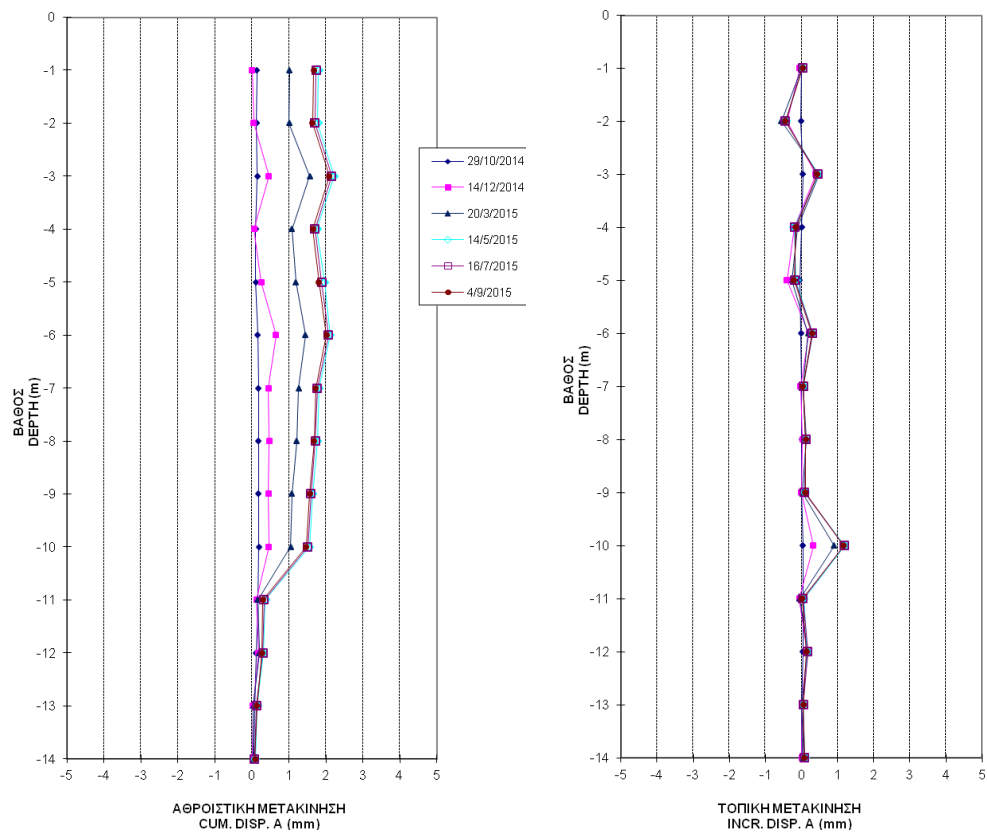
Οι μετρήσεις των κλισιομέτρων εκτελέστηκαν έτσι ώστε να καλύπτουν ένα ημερολογιακό έτος και πιο συγκεκριμένα από τις 28/8/2014 έως τις 4/9/2015. Η μέτρηση αναφοράς έγινε στις 28/8/2014 σε ξηρή περίοδο. Στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η διακύμανση με το βάθος των μετακινήσεων, αθροιστικών και τοπικών, στις κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις Α και Β των γεωτρήσεων Γ-2 και Γ-4.



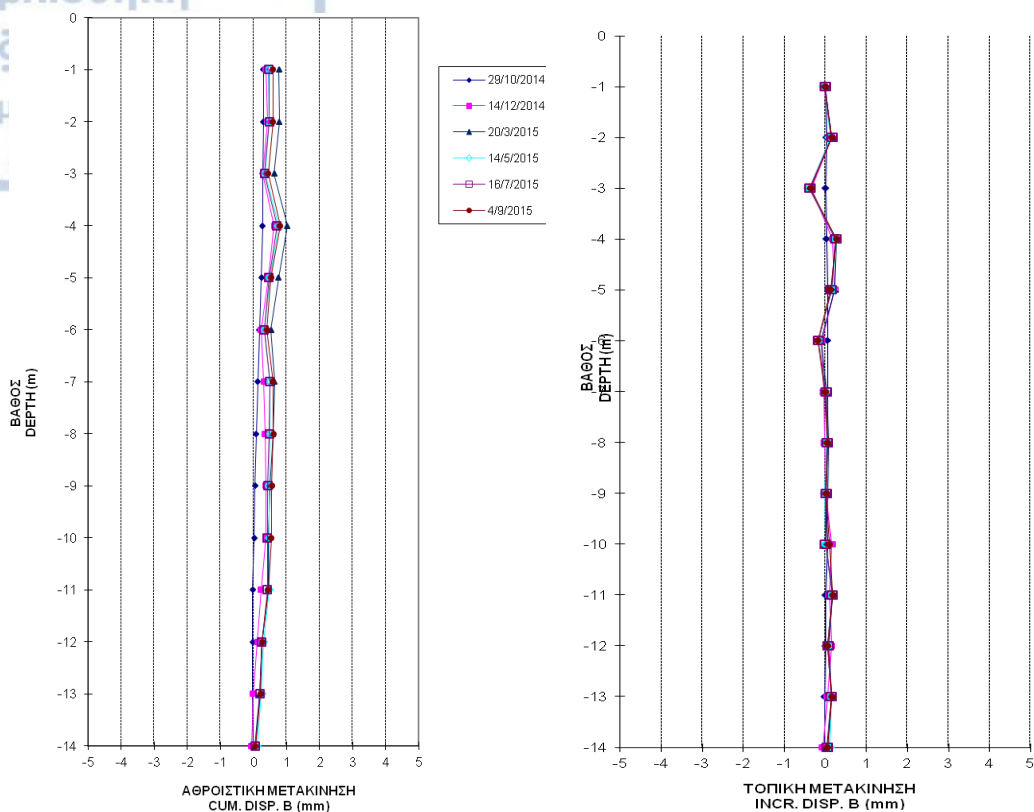
Διάγραμμα 9 : Διαγράμματα διακύμανσης με το βάθος της αθροιστικής και τοπικής μετακίνησης στη Γεώτρηση Γ-2 κατά τη διεύθυνση Α



Διάγραμμα 10 : Διαγράμματα διακύμανσης με το βάθος της αθροιστικής και τοπικής μετακίνησης στη Γεώτρηση Γ-2 κατά τη διεύθυνση Β



Διάγραμμα 11: Διαγράμματα διακύμανσης με το βάθος της αθροιστικής και τοπικής μετακίνησης στη Γεώτρηση Γ-4 κατά τη διεύθυνση Α



Διάγραμμα 12: Διαγράμματα διακύμανσης με το βάθος της αθροιστικής και τοπικής μετακίνησης στη Γεώτρηση Γ-4 κατά τη διεύθυνση Β

Αποτελέσματα μετρήσεων κλισιομέτρων

Στα παρακάτω διαγράμματα και πίνακες παρουσιάζονται οι αθροιστικές μετακινήσεις στις κεφαλές των κλισιομέτρων των γεωτρήσεων και οι τοπικές στο βάθος εντοπισμού των επιφανειών μετακίνησης.

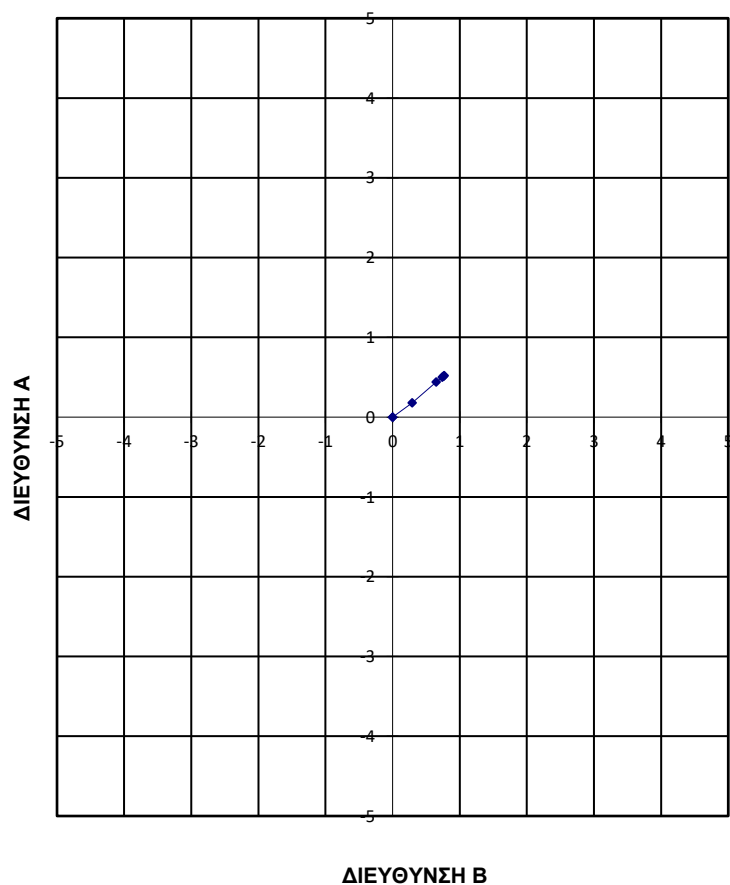
Πιο συγκεκριμένα, στη Γεώτρηση Γ-2 η αθροιστική μετακίνηση στην κεφαλή είναι 1,46mm στη διεύθυνση Α, 3,04mm στη διεύθυνση Β και συνολικά 3,30mm/έτος με διεύθυνση μετακίνησης 108° Α. Αντίστοιχα οι τοπικές μετακινήσεις είναι 0,52mm και 0,77mm στις διευθύνσεις Α και Β αντίστοιχα σε βάθος 10m και συνολικά 0,93mm με ίδια διεύθυνση μετακίνησης. Η μετακίνηση εντοπίζεται σε βάθος 8-11m με το βάθος της μέγιστης τοπικής μετακίνησης να εντοπίζεται στα 10m. Παρατηρείται αύξηση του ρυθμού μετακίνησης στο διάστημα 14/12/2014-14/5/2015 με υψηλότερη τιμή 6,4mm/έτος στο διάστημα 14/12/2014-20/3/2015 και μηδενισμό του ρυθμού την ξηρή περίοδο 14/5/2015 έως 4/9/2015.

Πίνακας 11: Αποτελέσματα αθροιστικών μετακινήσεων στην κεφαλή της Γεώτρησης Γ-2

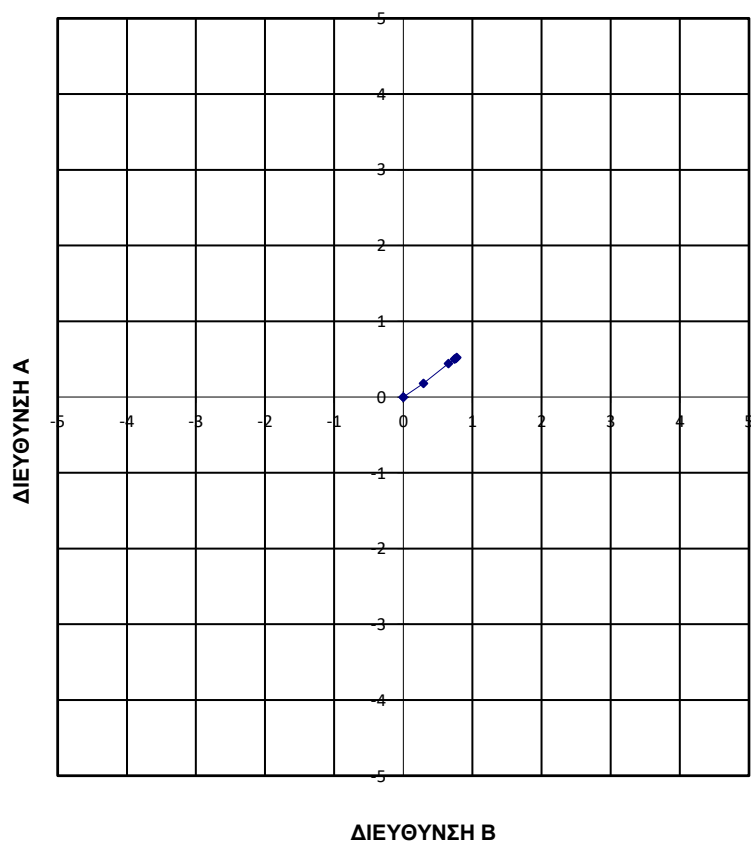
ΘΕΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ Γ2		ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ: 0		
Α.Π.Θ. ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ					
A/A	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΔΙΕΥΘ. Α	ΔΙΕΥΘ.Β	cd	ΒΑΘΟΣ
1	28/8/2014	0,00	0,00	0,00	0,00
2	29/10/2014	0,04	0,05	0,06	0,00
3	14/12/2014	0,51	0,64	0,82	0,00
4	20/3/2015	0,94	2,23	2,42	0,00
5	14/5/2015	1,29	3,04	3,30	0,00
6	16/7/2015	1,46	2,95	3,29	0,00
7	4/9/2015	1,35	2,86	3,16	0,00

Πίνακας 12 Αποτελέσματα τοπικών μετακινήσεων σε βάθος 10,0m στη Γεώτρηση Γ-2

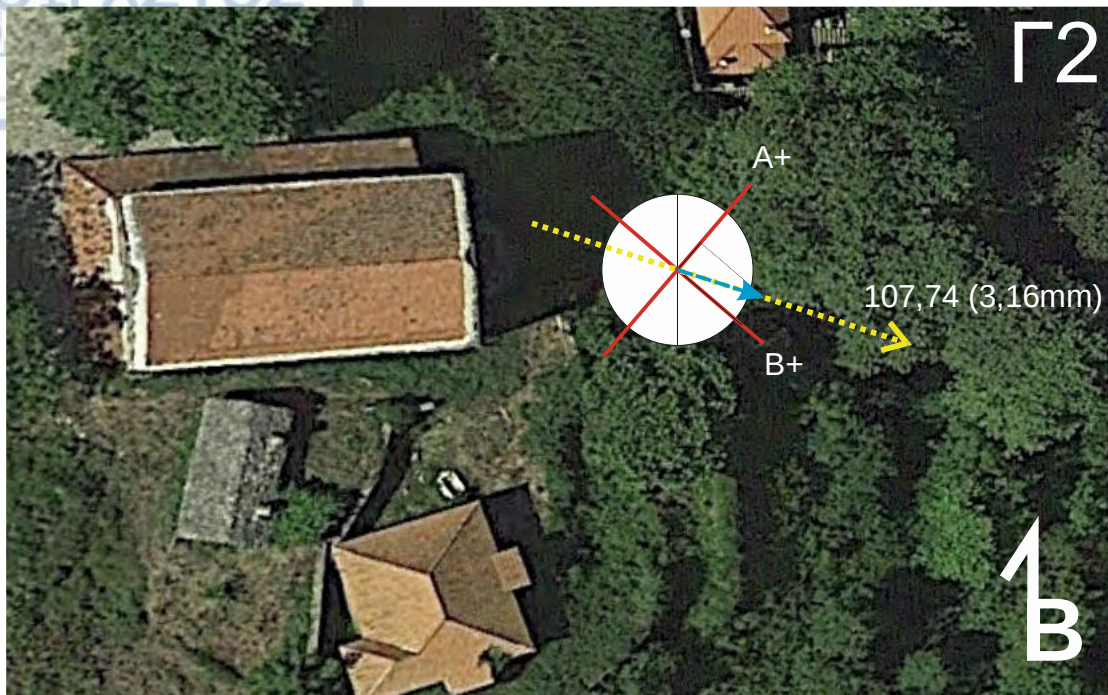
ΘΕΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ		ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ2		ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ: 0	
ΤΟΠΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ					
A/A	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΔΙΕΥΘ. Α	ΔΙΕΥΘ.Β	id	ΒΑΘΟΣ
1	28/8/2014	0,00	0,00	0,00	10,00
2	29/10/2014	0,00	0,00	0,00	10,00
3	14/12/2014	0,18	0,29	0,34	10,00
4	20/3/2015	0,44	0,65	0,78	10,00
5	14/5/2015	0,52	0,77	0,93	10,00
6	16/7/2015	0,51	0,76	0,92	10,00
7	4/9/2015	0,50	0,74	0,89	10,00



Διάγραμμα 13: Αθροιστική μετακίνηση στην κεφαλή της Γεώτρησης Γ-2

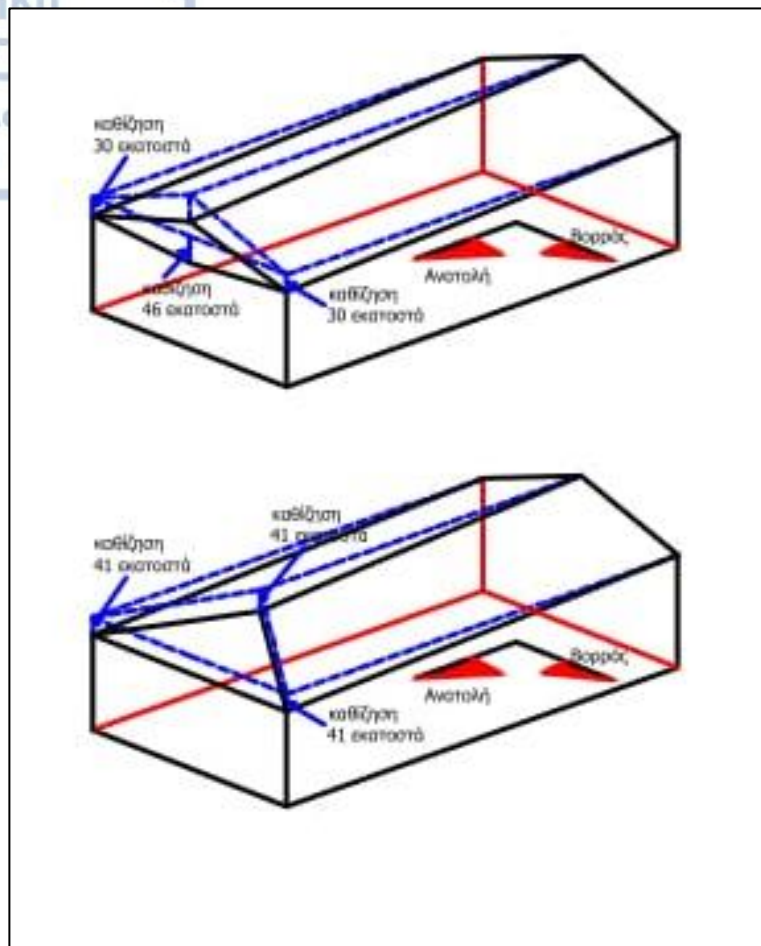


Διάγραμμα 14: Τοπική μετακίνηση σε βάθος 10m στη Γεώτρηση Γ-2



Εικόνα 56: Αποτελέσματα κλισιομετρικών μετρήσεων στη Γεώτρηση Γ-2 στα κατάντη του Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου

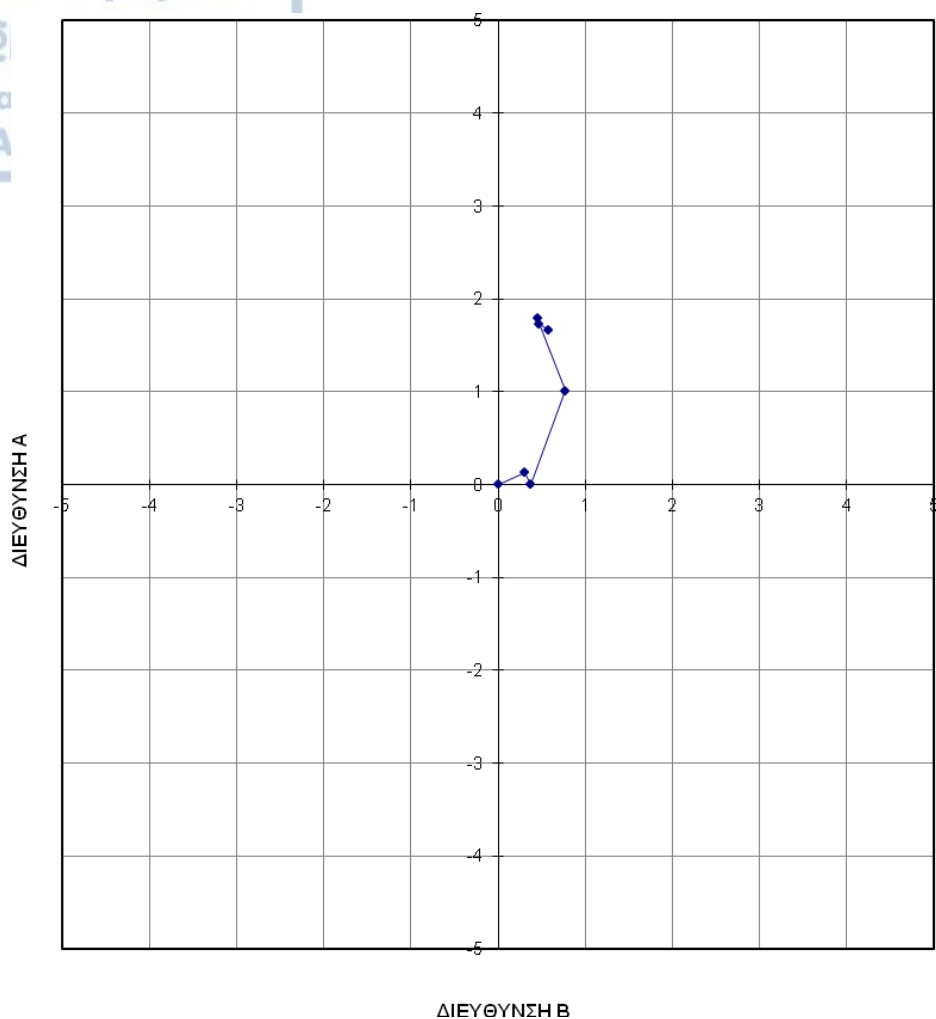
Στη Γεώτρηση Γ-4 η αθροιστική μετακίνηση στην κεφαλή είναι 1,80mm/έτος στη διεύθυνση A, 0,77mm στη διεύθυνση B και συνολικά 1,86mm με διεύθυνση μετακίνησης 77° A. Οι τοπικές μετακινήσεις είναι 1,19mm και 0,15mm στις διευθύνσεις A και B αντίστοιχα, σε βάθος 10m και συνολικά 1,19mm με ίδια διεύθυνση μετακίνησης. Η μετακίνηση εντοπίζεται σε βάθος 9-11m με το βάθος της μέγιστης τοπικής μετακίνησης να εντοπίζεται στα 10m. Παρατηρείται επίσης αύξηση του ρυθμού μετακίνησης στο διάστημα 14/12/2014-14/5/2015.



Εικόνα 57: Προσομοίωση καθίζησης για τον Ι.Ν. του Αγίου Αθανασίου

Πίνακας 13: Αποτελέσματα αθροιστικών μετακινήσεων στην κεφαλή της γεώτρησης Γ-4

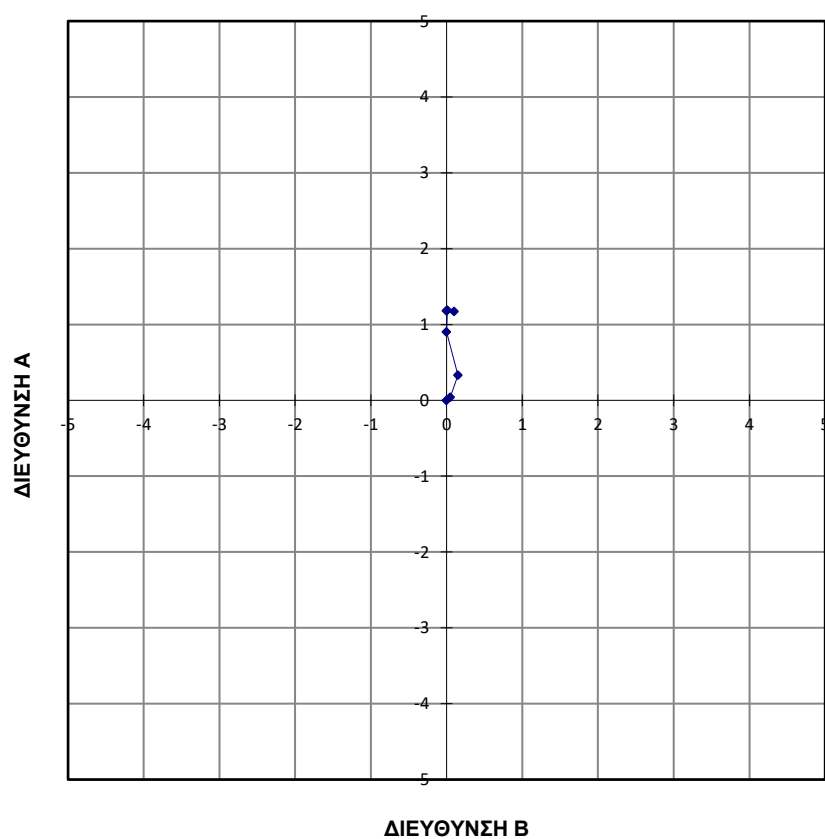
ΘΕΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ4				ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ:0
ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΣΤΗΝ ΚΕΦΑΛΗ					
A/A	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΔΙΕΥΘ. Α	ΔΙΕΥΘ.Β	cd	ΒΑΘΟΣ
1	28/8/2014	0,00	0,00	0,00	0,00
2	29/10/2014	0,13	0,30	0,33	0,00
3	14/12/2014	0,00	0,37	0,37	0,00
4	20/3/2015	1,01	0,77	1,27	0,00
5	14/5/2015	1,80	0,45	1,86	0,00
6	16/7/2015	1,73	0,47	1,79	0,00
7	4/9/2015	1,67	0,58	1,77	0,00



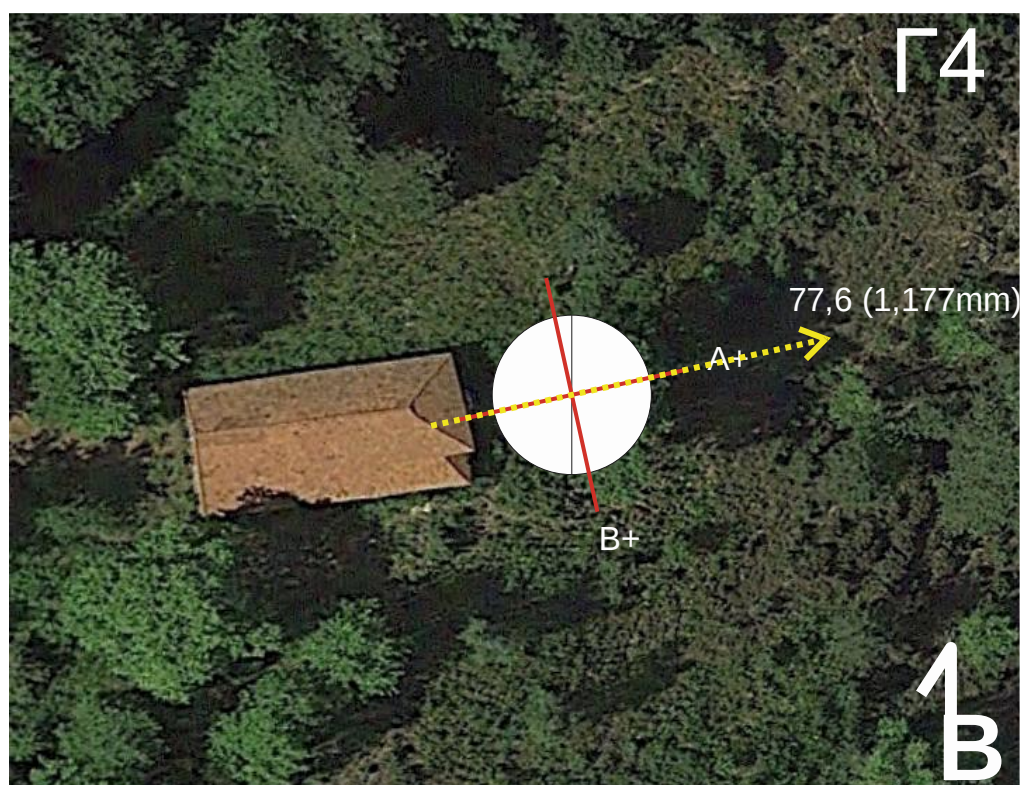
Διάγραμμα 15: Αθροιστική μετακίνηση στην κεφαλή της Γεώτρησης Γ-4

Πίνακας 14: Αποτελέσματα τοπικών μετακινήσεων σε βάθος 10,0m στη Γεώτρηση Γ-4

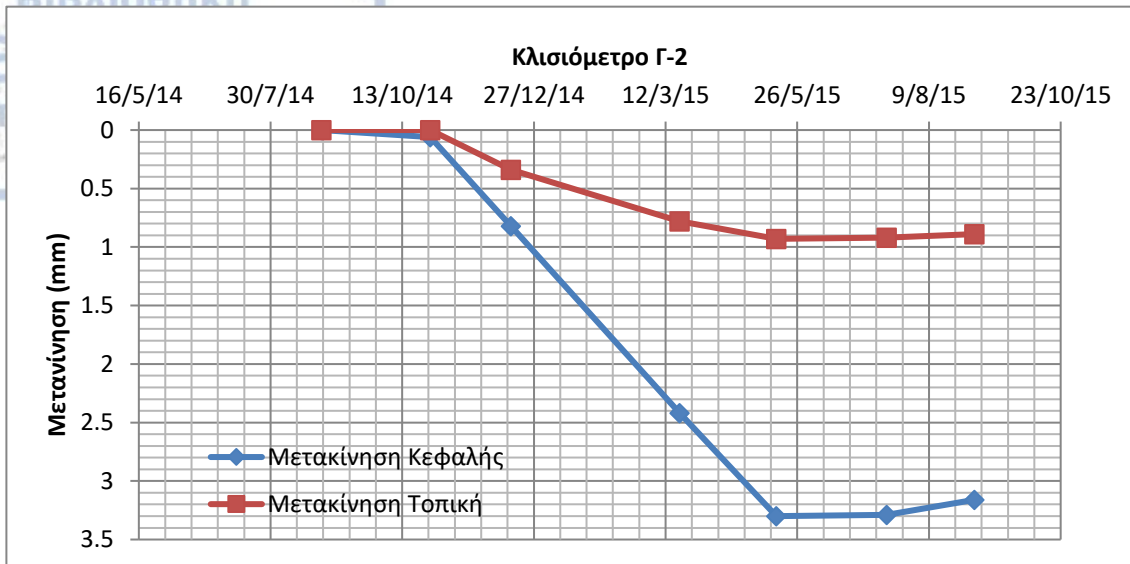
ΘΕΣΗ ΕΛΕΓΧΟΥ		ΓΕΩΤΡΗΣΗ: Γ4		ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ:0	
ΤΟΠΙΚΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ					
A/A	ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΔΙΕΥΘ. Α	ΔΙΕΥΘ.Β	Id	ΒΑΘΟΣ
1	28/8/2014	0,00	0,00	0,00	10,00
2	29/10/2014	0,04	0,05	0,06	10,00
3	14/12/2014	0,33	0,15	0,36	10,00
4	20/3/2015	0,90	0,00	0,90	10,00
5	14/5/2015	1,19	0,01	1,19	10,00
6	16/7/2015	1,18	0,00	1,18	10,00
7	4/9/2015	1,17	0,10	1,17	10,00



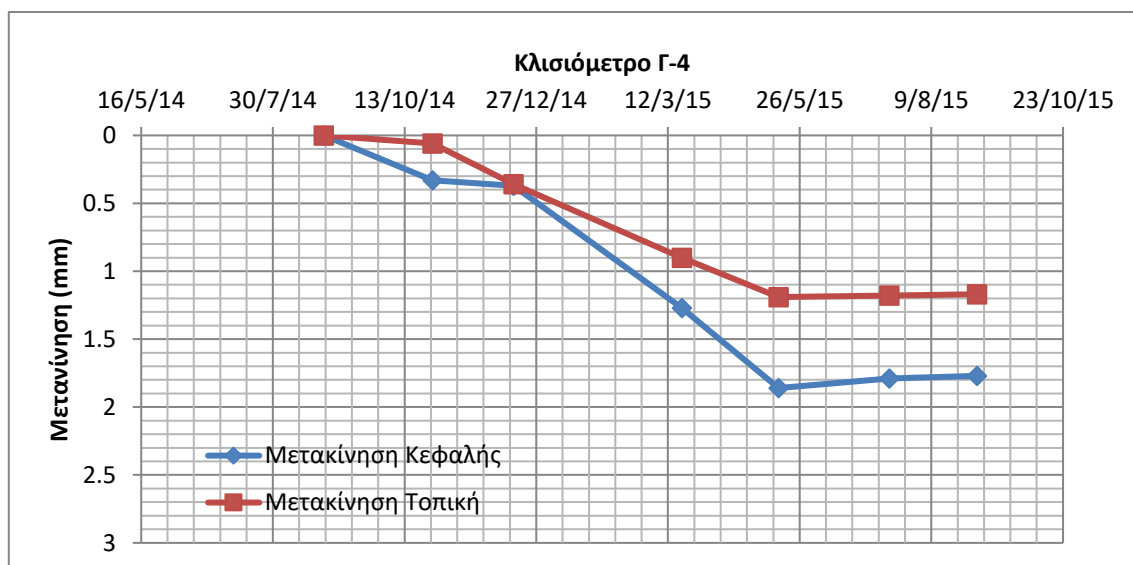
Διάγραμμα 16: Τοπική μετακίνηση σε βάθος 10m στη Γεώτρηση Γ-4



Εικόνα 58: Αποτελέσματα κλισιομετρικών μετρήσεων στη Γεώτρηση Γ-4 στα κατάντη του Ναού Αγ. Αθανασίου



Διάγραμμα 17: Μετακινήσεις κλισιομέτρου στη θέση του Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου



Διάγραμμα 18: Μετακινήσεις κλισιομέτρου στη θέση του Ναού Αγ. Αθανασίου

6.2: ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ

Η πίεση του νερού των πόρων αποτελεί μία από τις πιο καθοριστικές παραμέτρους στη Γεωτεχνική Μηχανική και η γνώση της συνεπάγεται καλύτερη κατανόηση του υδραυλικού καθεστώτος του διερευνούμενου πεδίου και της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους. Έχει αποδειχθεί ότι αν χρησιμοποιηθούν σωστά και εγκαίρως τα αποτελέσματα των μετρήσεων, είναι δυνατόν να αποφευχθούν αρκετά γεωτεχνικά προβλήματα, όπως στερεοποίηση εδαφών, ολισθήσεις, ερπυσμοί και καθιζήσεις. Τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πίεσης

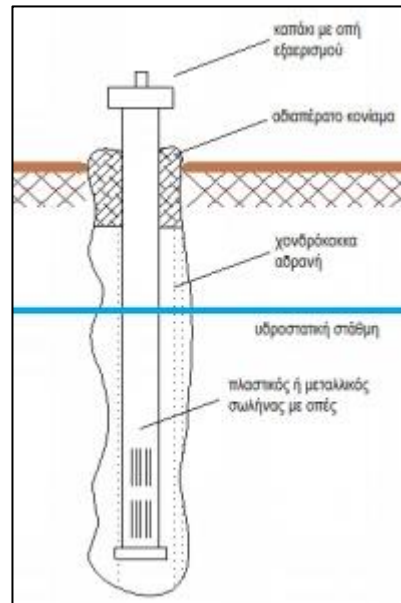
του νερού των πόρων ονομάζονται πιεζόμετρα. Τα είδη των πιεζόμετρων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ανοικτού τύπου (φρεάτια παρατήρησης, Casagrande) ή κλειστού τύπου (υδραυλικά, πνευματικά, ηλεκτρικά).

α) Πιεζόμετρα ανοικτού τύπου (open piezometers)

Είναι συσκευές απλής μορφής και χρησιμοποιούνται όταν αναζητείται κατά κύριο λόγο η υψομετρική θέση του υπόγειου ορίζοντα ή της φρεατικής γραμμής και οι εποχιακές διακυμάνσεις τους, καθώς και η ανίχνευση επικραμάμενου ορίζοντα ή αρτεσιανισμού. Σε όλες τις άνω περιπτώσεις η ζητούμενη απόκριση της συσκευής είναι γενικώς μακροχρόνια. Στα πιεζόμετρα ανοικτού τύπου το νερό εισχωρεί από το διάτρητο τμήμα της σωλήνωσης (φίλτρο) έως ότου εξισορροπηθεί με την πιεζομετρική στάθμη. Το ύψος του νερού που αντιστοιχεί στην πιεζομετρική στάθμη καθορίζεται με τη βοήθεια βολίδας που παράγει ήχο μόλις εισέλθει σε αυτό.

ι) Πηγάδια παρατήρησης (observation wells) Τα πηγάδια παρατήρησης προσφέρουν με εύκολο, απλό και φθηνό τρόπο πληροφορίες σχετικά με τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα. Για την κατασκευή ενός πηγαδιού παρατήρησης:

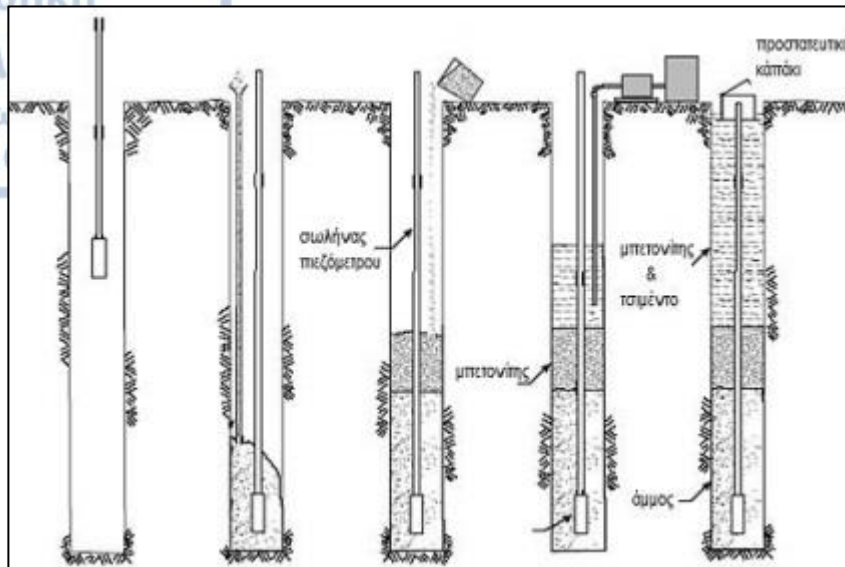
- ανοίγεται γεώτρηση,
- τοποθετείται ένας πλαστικός ή μεταλλικός σωλήνας που φέρει οπές ώστε να επιτρέπεται η είσοδος του νερού στο σώμα του σωλήνα,
- ο σωλήνας καλύπτεται από προστατευτικό κάλυμμα που εμποδίζει το νερό της βροχής να εισέλθει στο εσωτερικό του σωλήνα, αλλά ταυτόχρονα επιτρέπει τον αερισμό,
- ο χώρος ανάμεσα στο σωλήνα και στη γεώτρηση γεμίζει με διαπερατό υλικό (χονδρόκοκκα αδρανή) ώστε να επιτρέπεται η εύκολη ροή του νερού,
- επιφανειακά τοποθετείται αδιαπέρατο κονίαμα ώστε να αποτρέπεται η διείσδυση του νερού της βροχής στη γεώτρηση
- ο καθορισμός της στάθμης του νερού στο σωλήνα γίνεται με χρήση ειδικής βολίδας που εισέρχεται στη σωλήνωση και παράγει ηχητικό σήμα μόλις εισέλθει στο νερό.



Εικόνα 59: Τυπική διάταξη πηγαδιού παρατήρησης

Το βασικό μειονέκτημα που παρουσιάζουν τα πηγάδια παρατήρησης είναι ότι μπορεί να οδηγήσουν σε παραπλανητικά αποτελέσματα σε περιπτώσεις εδαφών με διαφορετική διαπερατότητα. Η γεώτρηση δημιουργεί μια κατακόρυφη στήλη μεγάλης διαπερατότητας. Αν τα εδάφη που διαπερνά έχουν διαφορετική διαπερατότητα, τότε το ύψος του νερού που θα καταγραφεί, θα αφορά αυτό του εδάφους με τη χαμηλότερη διαπερατότητα. Έτσι, τα αποτελέσματά του μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο σε εδάφη με ομοιόμορφη διαπερατότητα.

ii) Πιεζόμετρα ανοικτού σωλήνα (open standpipe piezometers) Η λειτουργία του πιεζόμετρου ανοικτού σωλήνα είναι παρόμοια με αυτή των πηγαδιών παρατήρησης με τη σημαντική διαφορά ότι δεν επιτρέπεται η κατακόρυφη κίνηση του νερού λόγω της παρουσίας αδιαπέρατων κονιαμάτων.



Εικόνα 60: Τεχνική εγκατάστασης πιεζόμετρου ανοιχτού σωλήνα Casagrande

Συγκεκριμένα:

- Στο χώρο κοντά στο πιεζόμετρο τοποθετείται άμμος που επιτρέπει το νερό να κινείται εύκολα στην οριζόντια διεύθυνση και να μειώνεται ο χρόνος απόκρισης του πιεζόμετρου,
- πάνω από την άμμο τοποθετείται μπετονίτης με νερό που δημιουργεί ένα αδιαπέρατο μείγμα και αποτρέπει την κίνηση του νερού κατά την κατακόρυφη διεύθυνση,
- πιο πάνω τοποθετείται μείγμα τσιμέντου, μπετονίτη και νερού προσφέροντας στεγανότητα και μηχανικές ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του εδάφους,
- η στήλη του νερού μέσα στο σωλήνα αντιπροσωπεύει την πίεση του νερού στο συγκεκριμένο βάθος που βρίσκεται το πιεζόμετρο.

Για να μετρηθεί η πίεση του νερού των πόρων στο βάθος που βρίσκεται το πιεζόμετρο απαιτείται ο προσδιορισμός της στάθμης του νερού μέσα στο σωλήνα. Η μέτρηση αυτή πραγματοποιείται με κατάλληλες βολίδες όπως και στα πηγάδια παρατήρησης.

Το συγκεκριμένο όργανο μέτρησης προσφέρει αξιοπιστία σε συνδυασμό με την εύκολη και φθηνή τοποθέτηση. Ωστόσο, δεν ενδείκνυται για μετρήσεις σε περιπτώσεις όπου η πίεση πόρων παρουσιάζει γρήγορες μεταβολές. Επίσης, για να καταγραφεί η πίεση του νερού των πόρων απαιτείται ροή του νερού από το έδαφος μέσα στο σωλήνα. Αν το έδαφος είναι αργιλικό, η ροή του νερού θα ολοκληρωθεί μετά από αρκετό χρονικό διάστημα. Συνεπώς, το όργανο παρουσιάζει αργή απόκριση.

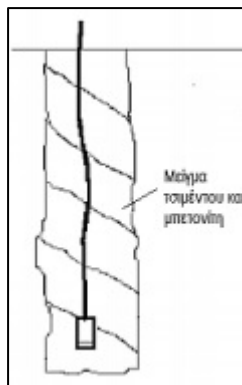
β) Πιεζόμετρα κλειστού τύπου (closed piezometers)

Είναι συσκευές κλειστού κυκλώματος διαφόρων τύπων. Χρησιμοποιούνται όταν αναζητείται η καταγραφή της ταχείας διακύμανσης των πιέσεων πόρων στα διάφορα στάδια της κατασκευής. Η ζητούμενη απόκριση της συσκευής είναι, λοιπόν, βραχυχρόνια και οι απαιτήσεις στην ακρίβεια των μετρήσεων είναι αυξημένες. Διακρίνονται σε υδραυλικά, πνευματικά και ηλεκτρονικά.

i) Πνευματικά πιεζόμετρα (pneumatic piezometers)

Κάθε διάταξη πνευματικού πιεζόμετρου αποτελείται από:

- το εύκαμπτο διάφραγμα,
- το δίδυμο σωλήνα,
- το μετρητή πιέσεων.



Εικόνα 61: Διάταξη πνευματικού πιεζόμετρου

Η διαδικασία εγκατάστασής τους είναι παρόμοια, με αυτήν των πιεζόμετρων ανοικτού σωλήνα. Η διαφορά τους είναι ότι τα πνευματικά πιεζόμετρα δε χρειάζονται το φίλτρο άμμου καθώς μια και μόνο μικρή ποσότητα νερού μπορεί να προσφέρει ικανοποιητικές μετρήσεις. Τοποθετείται, επομένως, μόνο το μείγμα τσιμέντου, μπετονίτη και νερού γεγονός που επιτρέπει την πιο γρήγορη, οικονομική και χωρίς σφάλματα τοποθέτηση. Το μείγμα πρέπει να έχει το μέγιστο μία με δύο τάξεις μεγαλύτερη διαπερατότητα από το έδαφος.

Το πιεζόμετρο βρίσκεται μέσα στο έδαφος και δέχεται εξωτερικά την πίεση του νερού των πόρων αναγκάζοντας το διάφραγμα να καμφθεί προς το εσωτερικό. Για να μετρηθεί η πίεση πόρων, προσαρτάται στο όργανο μια ειδική συσκευή που τροφοδοτεί με άζωτο το σωλήνα εισόδου. Η πίεση του αζώτου αυξάνεται βαθμιαία έως ότου η τιμή της ξεπεράσει την πίεση των

πόρων, επιτρέποντας τη ροή του αζώτου προς το σωλήνα εξόδου. Όταν η συσκευή αντιληφθεί την παρουσία αζώτου στο σωλήνα εξόδου σταματάει την τροφοδοσία του αερίου μειώνοντας την πίεσή του και το διάφραγμα σταδιακά επανέρχεται στην αρχική του θέση.

ii) Ηλεκτρονικά πιεζόμετρα (electrical piezometers)

Κάθε διάταξη πνευματικού πιεζόμετρου αποτελείται από:

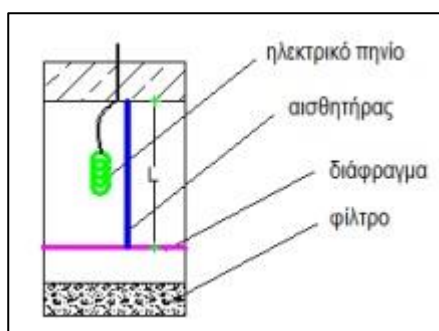
- το εύκαμπτο διάφραγμα,
- τον αισθητήρα (δονούμενης χορδής ή ηλεκτρικής αντίστασης)



Εικόνα 62: Ηλεκτρονικά πιεζόμετρα

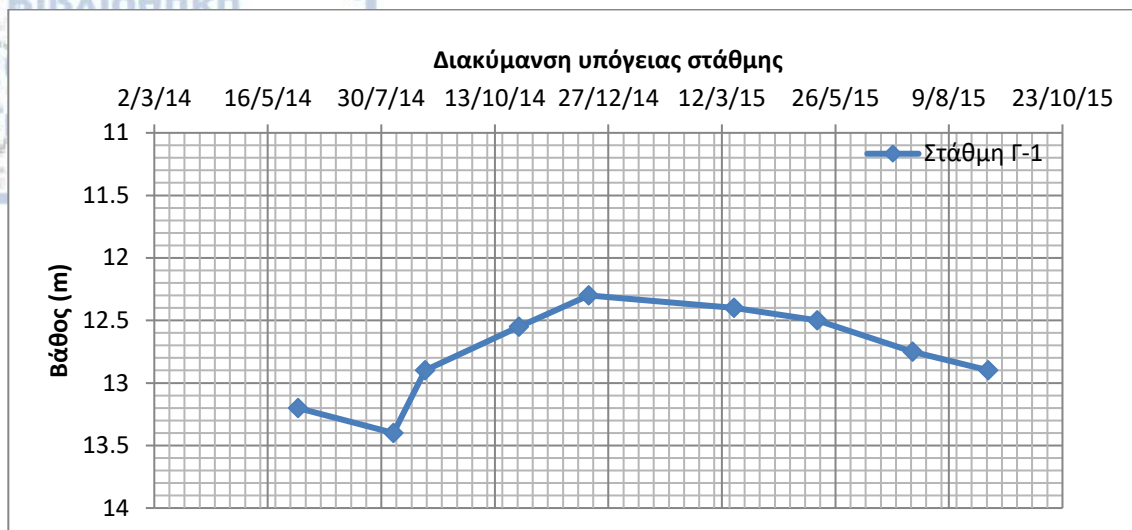
Η διαδικασία εγκατάστασής τους είναι παρόμοια, με αυτήν των πιεζόμετρων ανοικτού σωλήνα. Στην περίπτωση μαλακών εδαφών δεν απαιτείται η τοποθέτηση άμμου καθώς το πιεζόμετρο μπορεί να διεισδύσει στο επιθυμητό βάθος.

Το πιεζόμετρο βρίσκεται μέσα στο έδαφος και δέχεται εξωτερικά την πίεση του νερού των πόρων αναγκάζοντας το διάφραγμα να καμφθεί προς το εσωτερικό. Η καμπυλότητα του διαφράγματος εκτιμάται με τον αισθητήρα παραμόρφωσης. Ανάλογα με τον αισθητήρα, σταθερές συνδέουν την εκτιμώμενη παραμόρφωση με την πίεση του νερού των πόρων.

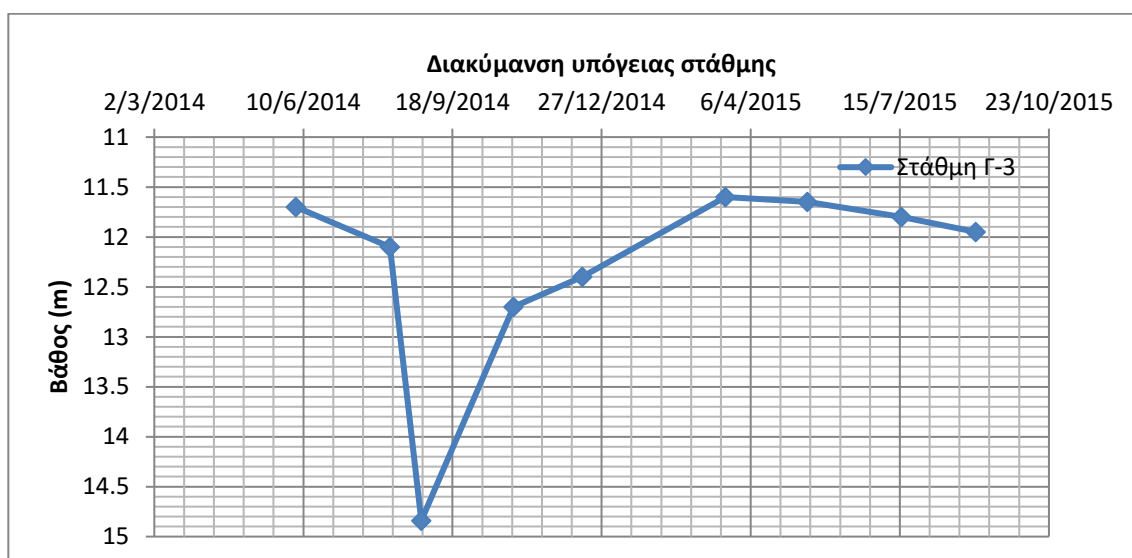


Εικόνα 63: Διάταξη ηλεκτρονικού πιεζόμετρου

Τα ηλεκτρονικά πιεζόμετρα χαρακτηρίζονται από τον πολύ μικρό χρόνο υστέρησης και είναι εύκολα στη χρήση. Εφόσον δεν παρεμβάλλεται νερό στη λειτουργία τους, δε δημιουργούν προβλήματα κατά την ψύξη του νερού. Προσφέρουν τη δυνατότητα μέτρησης και αρνητικών πιέσεων. Τέλος, η ηλεκτρονική φύση του οργάνου το καθιστά επιρρεπή σε κεραυνούς και απαιτείται προστασία.



Διάγραμμα 19: Διακύμανση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα



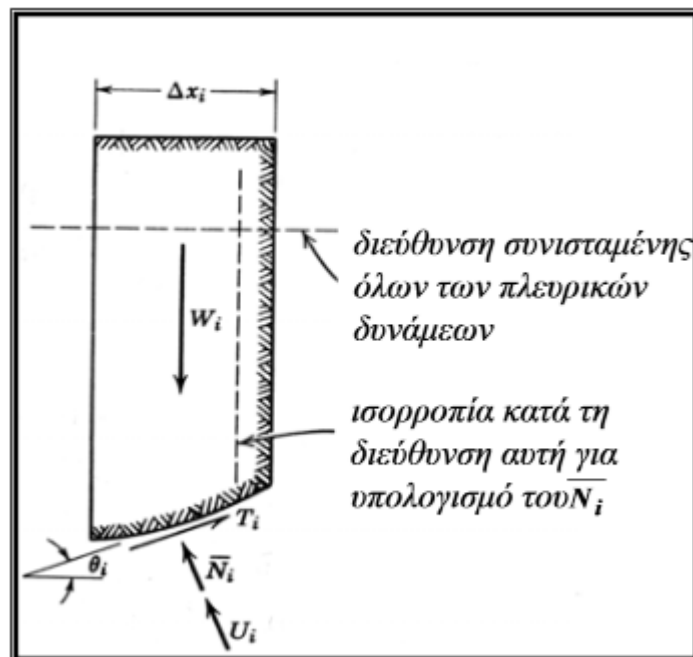
Διάγραμμα 20: Διακύμανση στάθμης υδροφόρου ορίζοντα

Εκτιμάται πως ο μηχανισμός ενεργοποίησης των μετακινήσεων είναι όμοιος για τις δύο θέσεις μελέτης. Η στρωματογραφία χαρακτηρίζεται από την παρουσία επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης σχετικά υψηλής διαπερατότητας συγκριτικά με το υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο. Το περιβάλλον αυτό δημιουργεί εποχιακή "επικρεμάμενη" υδροφορία κατά τις υγρές περιόδους, με όριο τη διεπιφάνεια των εν λόγω σχηματισμών, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση μετακινήσεων. Οι μετακινήσεις αυτές οφείλονται πιθανόν στις δυνάμεις ροής της υπόγειας υδροφορίας και στη μείωση της αντοχής των γεωυλικών της διεπιφάνειας λόγω αύξησης του βαθμού κορεσμού τους. Το βάθος εκδήλωσης των μετακινήσεων οριοθετείται από τις στρωματογραφικές συνθήκες της περιοχής μελέτης με τον επιφανειακό χαλαρό σχηματισμό να ολισθαίνει κατά μήκος του ορίου με το σταθερό βραχώδες υπόβαθρο. Οι έως σήμερα, οι παρατηρούμενες μετακινήσεις είναι μικρές, γεγονός που συμφωνεί με την ιστορικά αργή αλλά σταθερή εκδήλωση των φαινομένων ερπυσμού στις θέσεις μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Για την προσομοίωση του μηχανισμού ολίσθησης καθώς και τη δυνατότητα διαστασιολόγησης των μέτρων αντιστήριξης των κατολισθητικών φαινομένων στην Άνω Σκοτίνα χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ανάλυσης ευστάθειας Slide της RocScience. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η στρωματογραφία χαρακτηρίζεται από την παρουσία επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης σχετικά υψηλής διαπερατότητας συγκριτικά με το υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο. Το περιβάλλον αυτό δημιουργεί εποχιακή "επικρεμάμενη" υδροφορία κατά τις υγρές περιόδους, με όριο τη διεπιφάνεια των εν λόγω σχηματισμών, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση μετακινήσεων. Οι μετακινήσεις αυτές οφείλονται πιθανόν στις δυνάμεις ροής της υπόγειας υδροφορίας και στη μείωση της αντοχής των γεωυλικών της διεπιφάνειας λόγω αύξησης του βαθμού κορεσμού τους. Το βάθος εκδήλωσης των μετακινήσεων οριοθετείται από τις στρωματογραφικές συνθήκες της περιοχής μελέτης με τον επιφανειακό χαλαρό σχηματισμό να ολισθαίνει κατά μήκος του ορίου με το σταθερό βραχώδες υπόβαθρο. Με βάση το μηχανισμό αστοχίας που περιγράφεται έχουμε μία συμπεριφορά αστοχίας με τη μορφή πλαστικών παραμορφώσεων που οδηγεί στη τρέχουσα κατάσταση των δύο ναών. Οι καταστάσεις ελέγχου των κατολισθητικών φαινομένων ανταποκρίνονται στις εξής παραδοχές. Οι αναλύσεις που έγιναν αφορούν τόσο τη χειμερινή όσο και τη θερινή περίοδο με ή χωρίς σεισμική φόρτιση. Πραγματοποιήθηκαν δηλαδή αναλύσεις ευστάθειας με τις υπάρχουσες εδαφικές συνθήκες, αναζητώντας τη δυσμενέστερη επιφάνεια ολίσθησης σε κάθε μία από τις δύο περιπτώσεις. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι στάθμες που μετρήθηκαν από τα πιεζόμετρα και θεωρήθηκε ως η πιο κατάλληλη για να χρησιμοποιηθεί η υψηλότερη στάθμη για την χειμερινή περίοδο και η χαμηλότερη στάθμη για τη θερινή περίοδο στη διάρκεια ενός έτους. Το κριτήριο αστοχίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το κριτήριο Mohr-Coulomb. Στις μελέτες ευστάθειας των δύο ναών που πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν οι παράμετροι αντοχής, δηλαδή συνοχή (c) και γωνία τριβής (ϕ) που προσδιορίστηκαν εργαστηριακά για κορεσμένες συνθήκες μέσω δοκιμών καθώς και δεδομένα από τις μετρήσεις των πιεζομέτρων. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις (back analysis), στις οποίες, γνωρίζοντας το βάθος ολίσθησης από τις μετρήσεις των κλισιομέτρων και θεωρώντας ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αυτός για συνθήκες οριακής ισορροπίας ($\Sigma.A.=1$), προσεγγίστηκαν οι παράμετροι αντοχής, δηλαδή συνοχή (c) και γωνία τριβής (ϕ) για κάθε έναν από τους δύο ναούς, που δίνουν ως αποτέλεσμα αστοχία για τη συγκεκριμένη επιφάνεια. Ακόμα, ακολουθώντας τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΦΕΚ 1154B', 12-8-2003), η ευρύτερη περιοχή της Άνω Σκοτίνας εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση

$\alpha=0,16g$, με οριζόντια συνιστώσα 0.08 και κάθετη συνιστώσα 0.04. Πραγματοποιήθηκαν επίσης αναλύσεις χωρίς τη παρουσία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, με ή χωρίς σεισμική φόρτιση για κάθε έναν από τους δύο ναούς. Τέλος, υπολογίστηκε και η φόρτιση στο έδαφος που αφορά τον κάθε έναν από τους δύο ναούς και έχει ως εξής. Για την Κοίμηση της Θεοτόκου είναι 150 kN/m^2 ενώ για τον Άγιο Αθανάσιο υπολογίστηκε 75 kN/m^2 . Το κριτήριο αστοχίας που χρησιμοποιήθηκε είναι το κριτήριο Mohr-Coulomb. Όλες οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν, βασίστηκαν στη μέθοδο Bishop. Η βασική παραδοχή αυτής της μεθόδου είναι ότι η συνισταμένη των πλευρικών δυνάμεων που ασκούνται σε κάθε λωρίδα έχει οριζόντια διεύθυνση. Στη περίπτωση αυτή η ορθή δύναμη στην βάση της λωρίδας N_i , υπολογίζεται από ισορροπία των κατακόρυφων δυνάμεων που ασκούνται στη λωρίδα. Ο Συντελεστής Ασφάλειας **FS** υπολογίζεται από ισορροπία ροπών του ολισθαίνοντος πρίσματος, λαμβανομένου ως ενιαίου στερεού. Η παραδοχή που γίνεται για τις πλευρικές δυνάμεις φαίνεται να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, μια και οδηγεί σε λύσεις που ικανοποιούν κάποιες θεμελιώδεις γεωτεχνικές συνθήκες (π.χ. ότι η γωνία κλίσης της συνισταμένης πλευρικής δύναμης δεν ξεπερνά τη γωνία τριβής και ότι η απόσταση εφαρμογής της από την βάση κυμαίνεται μεταξύ $\frac{1}{2}$ και $\frac{1}{3}$ του ύψους).



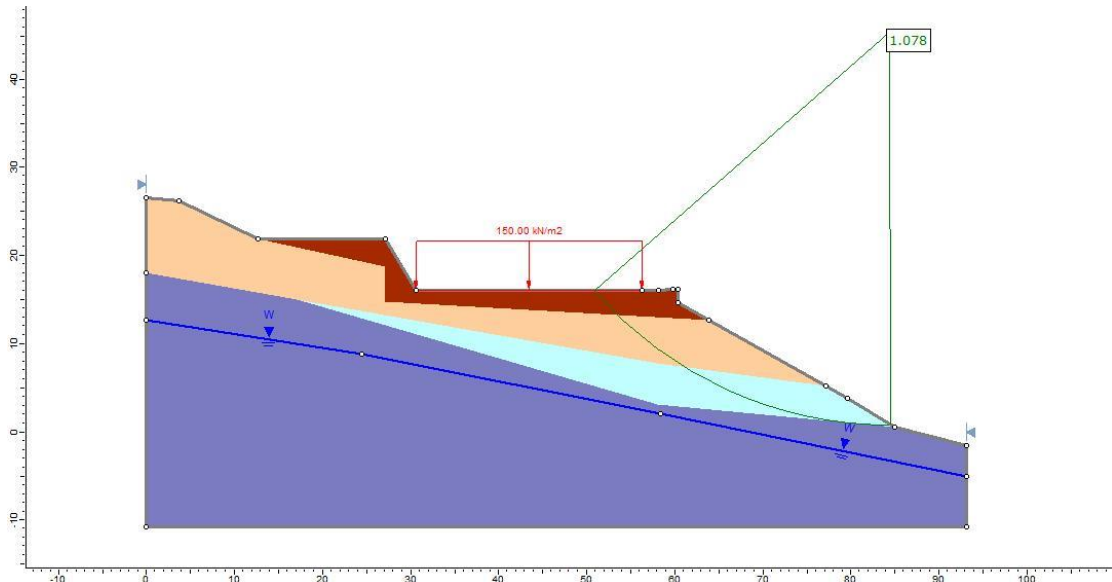
Εικόνα 64: Μεθοδολογία Bishop

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις ευστάθειας μέσω του προγράμματος Slide για τους δύο ναούς είναι τα εξής:

1) Κοίμηση της Θεοτόκου

A. Χωρίς σεισμική φόρτιση

i. Θερινή περίοδος



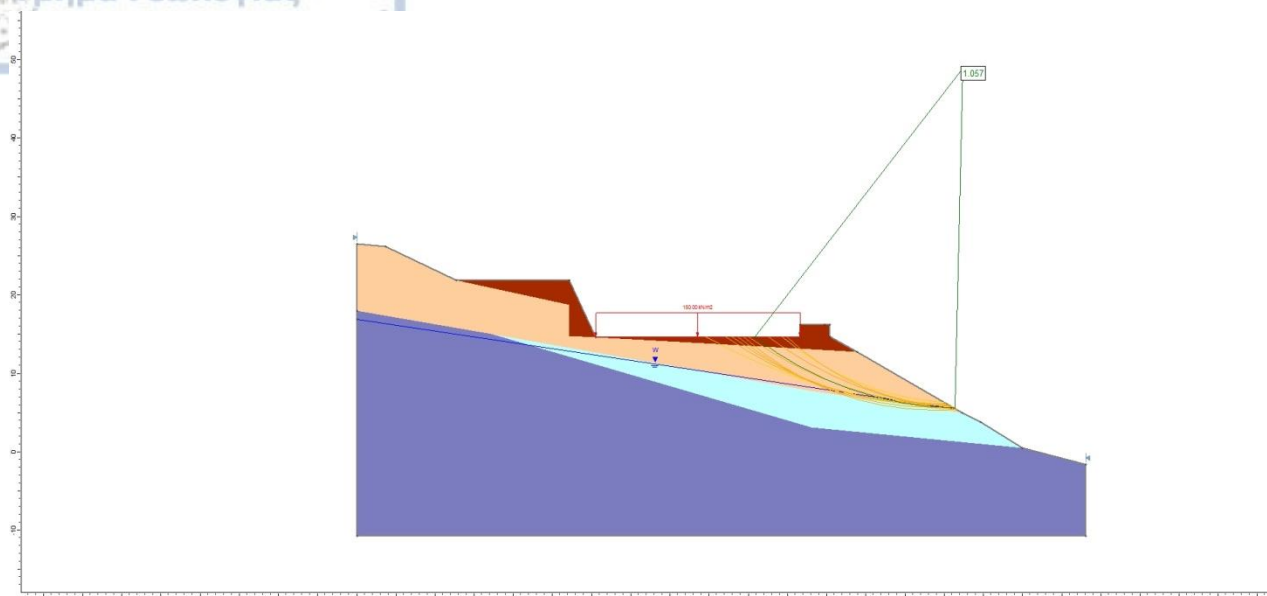
Εικόνα 65: Θερινή περίοδος χωρίς σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, κατά τη θερινή περίοδο χωρίς σεισμική φόρτιση σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με $\Sigma.A.=1.078$. Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.A.$ οριακά είναι ίσως με 1, άρα έχουμε συνθήκες οριακής ισορροπίας.

Πίνακας 15: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B	19	20	Mohr- Coulomb	11	25	0
C	19.5		Mohr- Coulomb	11	25	0
D	20					0

ii. Χειμερινή περίοδος

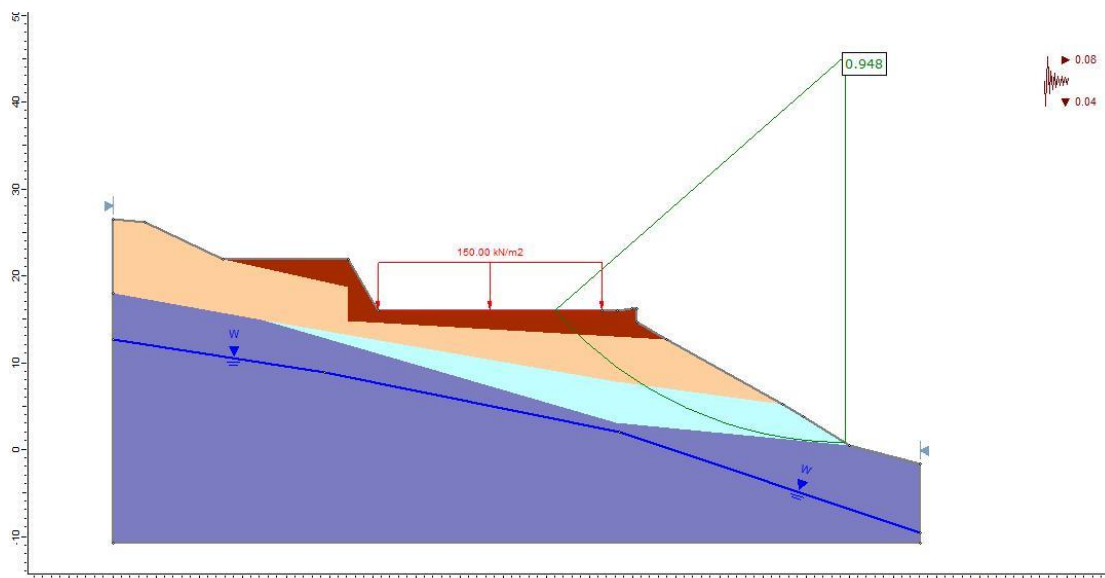


Εικόνα 66: Χειμερινή περίοδος χωρίς σεισμική φόρτιση για τον I.N. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

Πίνακας 16: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B	19	20	Mohr- Coulomb	11	25	0
C	19.5		Mohr- Coulomb	11	25	0
D	20					0

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη χειμερινή περίοδο χωρίς σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με **Σ.Α.=1.057**. Αυτό σημαίνει ότι ο Σ.Α. είναι μεγαλύτερος του 1, άρα έχουμε συνθήκες ευστάθειας.



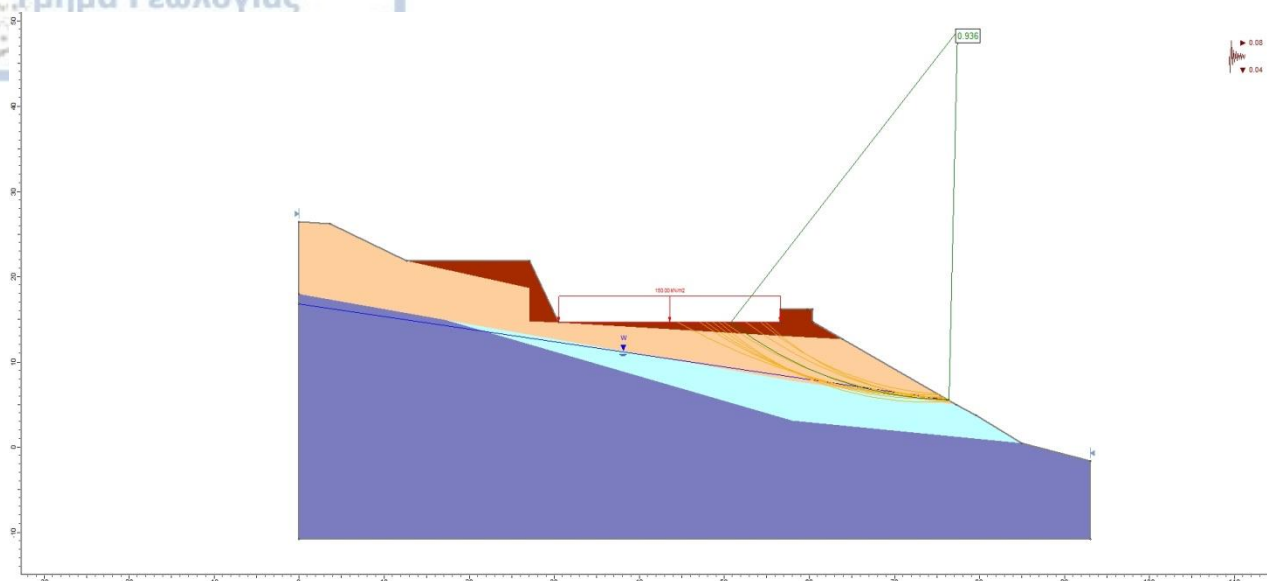
Εικόνα 67: Θερινή περίοδος με σεισμική φόρτιση για τον I.N. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη θερινή περίοδο με σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με $\Sigma.Α.=0.948$. Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.Α.$ είναι μικρότερος του 1, άρα έχουμε συνθήκες αστοχίας.

Πίνακας 17: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B	19	20	Mohr- Coulomb	11	25	0
C	19.5		Mohr- Coulomb	11	25	0
D	20					0

ii. Χειμερινή περίοδος



Εικόνα 68: Χειμερινή περίοδος με σεισμική φόρτιση για τον I.N. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

Σε αυτή τη περίπτωση, δηλαδή κατά τη χειμερινή περίοδο με σεισμική φόρτιση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με $\Sigma.A.=0.936$. Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.A.<1$ άρα έχουμε συνθήκες αστοχίας, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από την παρουσία ρωγμών στο ανατολικό μέρος του ναού.

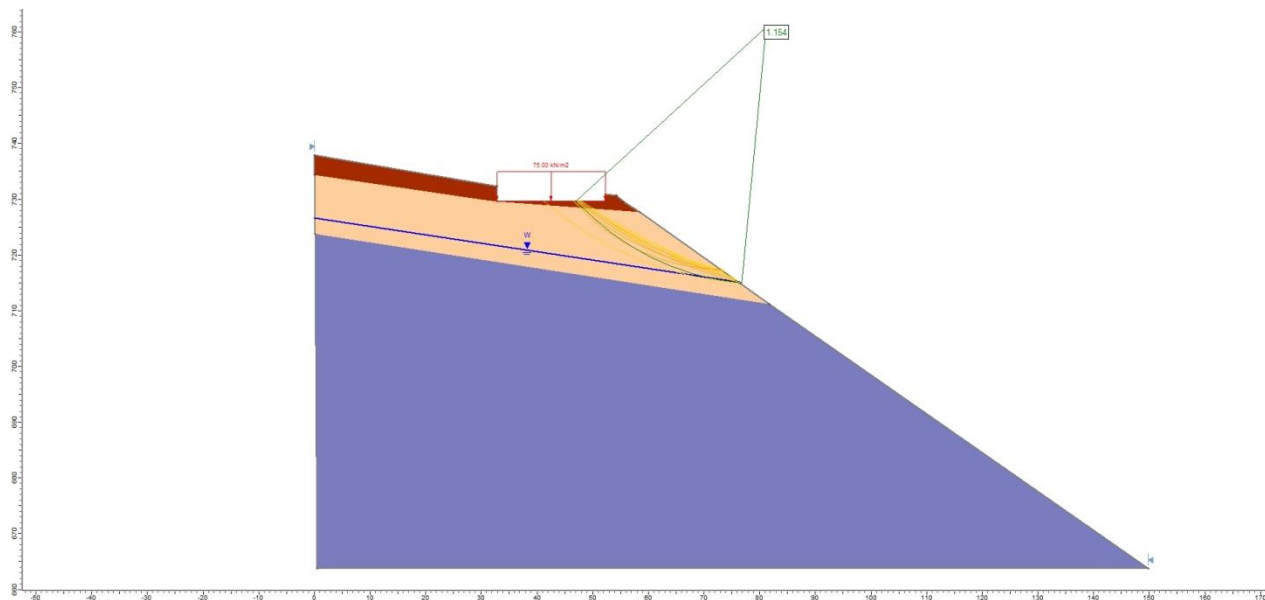
Πίνακας 18: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B	19	20	Mohr- Coulomb	11	25	0
C	19.5		Mohr- Coulomb	11	25	0
D	20					0

2) Άγιος Αθανάσιος

Α. Χωρίς σεισμική φόρτιση

ι. Θερινή περίοδος

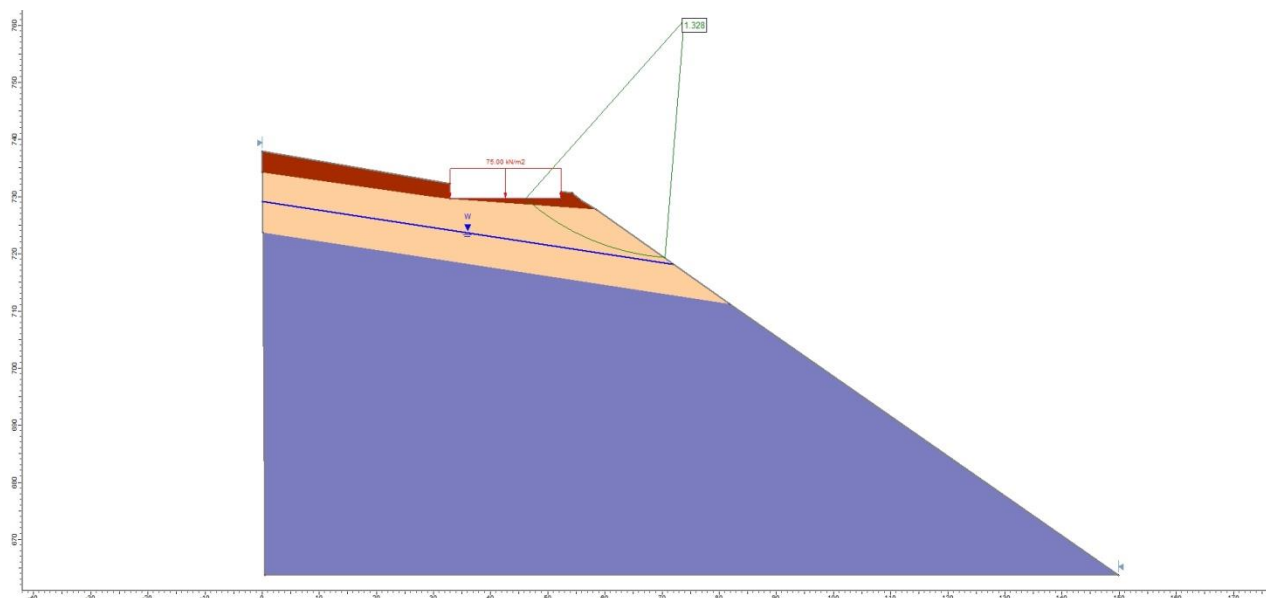


Εικόνα 69: Θερινή περίοδος χωρίς σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη θερινή περίοδο χωρίς σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με **Σ.Α.=1.154**. Αυτό σημαίνει ότι ο Σ.Α. οριακά είναι ίσος με 1, άρα έχουμε συνθήκες οριακής ισορροπίας.

Πίνακας 19: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A'	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B'	19	21	Mohr- Coulomb	11	25	
C'	20					

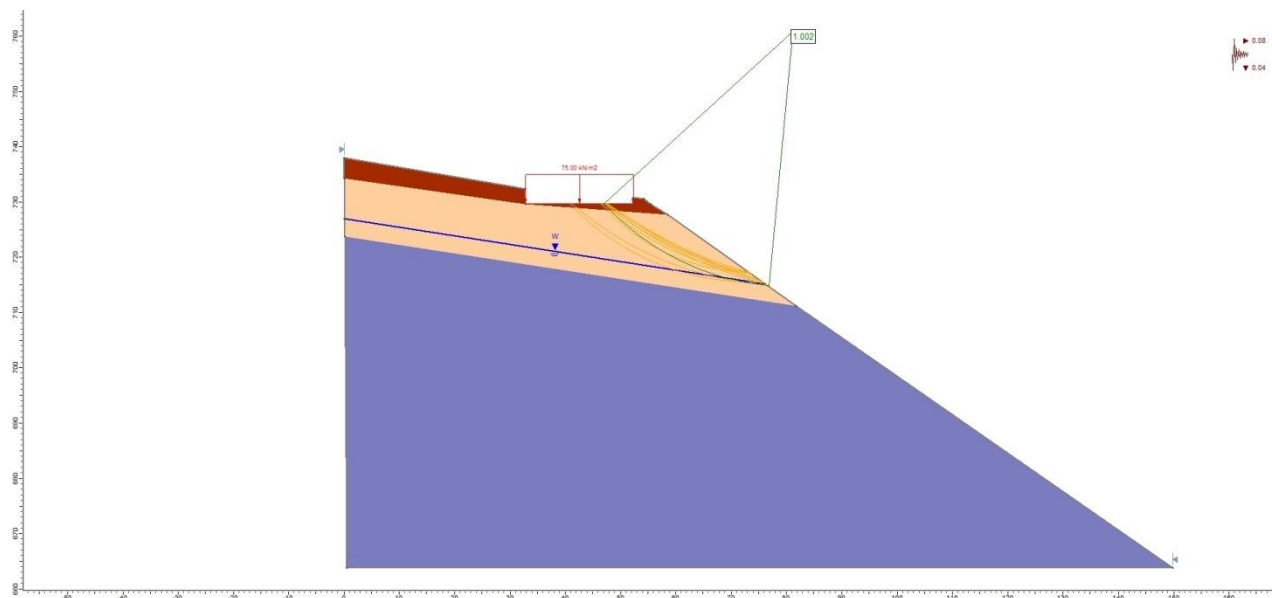


Εικόνα 70: Χειμερινή περίοδος χωρίς σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη χειμερινή περίοδο χωρίς σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με **$\Sigma.A.=1.328$** . Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.A.$ είναι μεγαλύτερος του 1, άρα έχουμε συνθήκες ισορροπίας.

Πίνακας 20: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m^3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m^3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (o)	Πίεση πόρων
A'	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B'	19	21	Mohr- Coulomb	11	25	
C'	20					



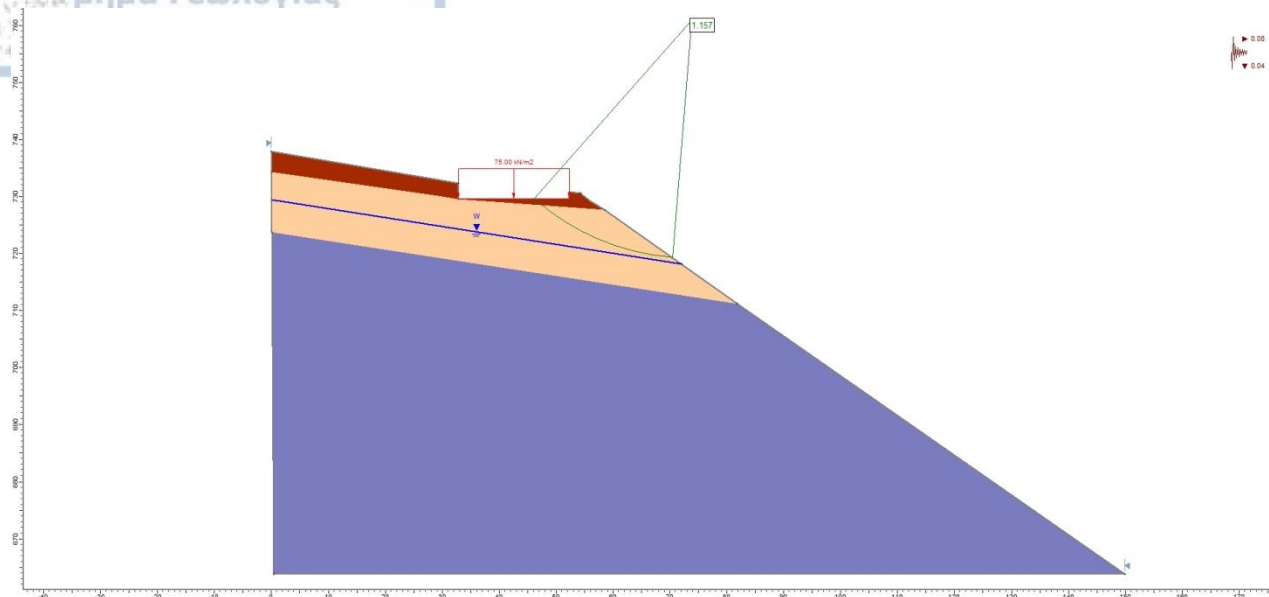
Εικόνα 71: Θερινή περίοδος με σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη θερινή περίοδο με σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με **$\Sigma.A.=1.002$** . Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.A.$ είναι οριακά μεγαλύτερος του 1, άρα έχουμε συνθήκες ευστάθειας.

Πίνακας 21: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m^3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m^3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (o)	Πίεση πόρων
A'	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B'	19	21	Mohr- Coulomb	11	25	
C'	20					

ii. Χειμερινή περίοδος



Εικόνα 72: Χειμερινή περίοδος με σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

Σε αυτή τη περίπτωση βλέπουμε ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας κατά τη χειμερινή περίοδο με σεισμική φόρτιση, δηλαδή ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν έναντι ολίσθησης προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση, σύμφωνα με τις εδαφικές συνθήκες που επικρατούν εκεί υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Slide και είναι ίσος με $\Sigma.A.=1.157$. Αυτό σημαίνει ότι ο $\Sigma.A.$ είναι μεγαλύτερος του 1, άρα έχουμε συνθήκες ευστάθειας.

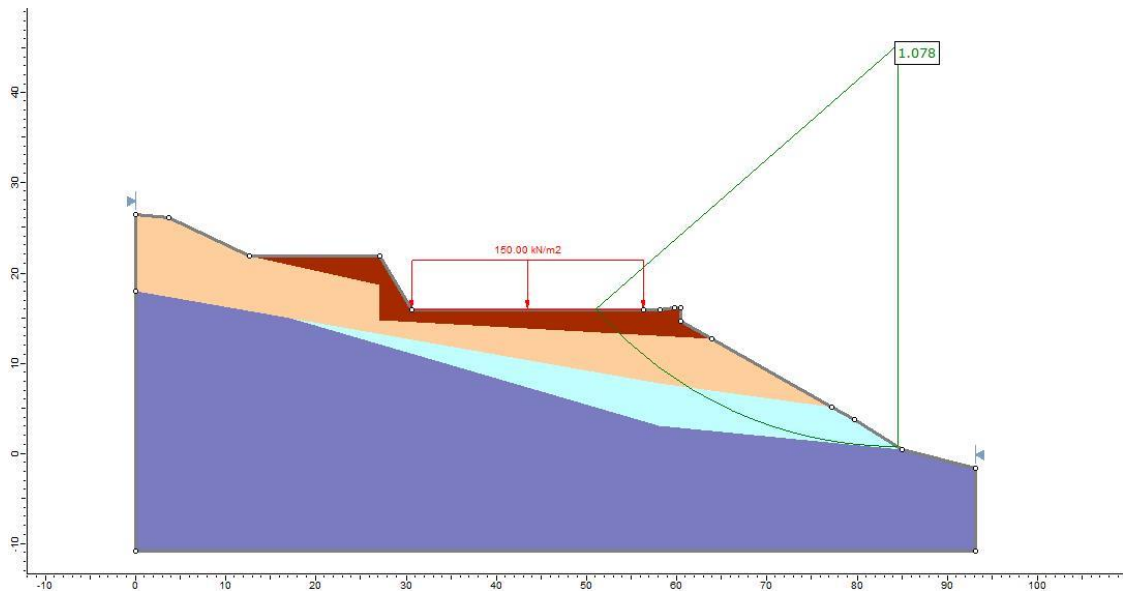
Πίνακας 22: Παράμετροι και ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων

Στρώμα	Ειδικό βάρος (Kn/m3)	Κορεσμένο ειδικό βάρος (Kn/m3)	Τύπος αντοχής	Συνοχή (Kpa)	Γωνία τριβής (ο)	Πίεση πόρων
A'	20	20	Αστράγγιστη	50		0
B'	19	21	Mohr- Coulomb	11	25	
C'	20					

Για τις ανάγκες της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκαν επίσης αναλύσεις ευστάθειας για τους δύο ναούς χωρίς την επιρροή του υδροφόρου ορίζοντα ώστε να συγκριθούν με τις προηγούμενες τιμές. Αυτές έχουν ως εξής:

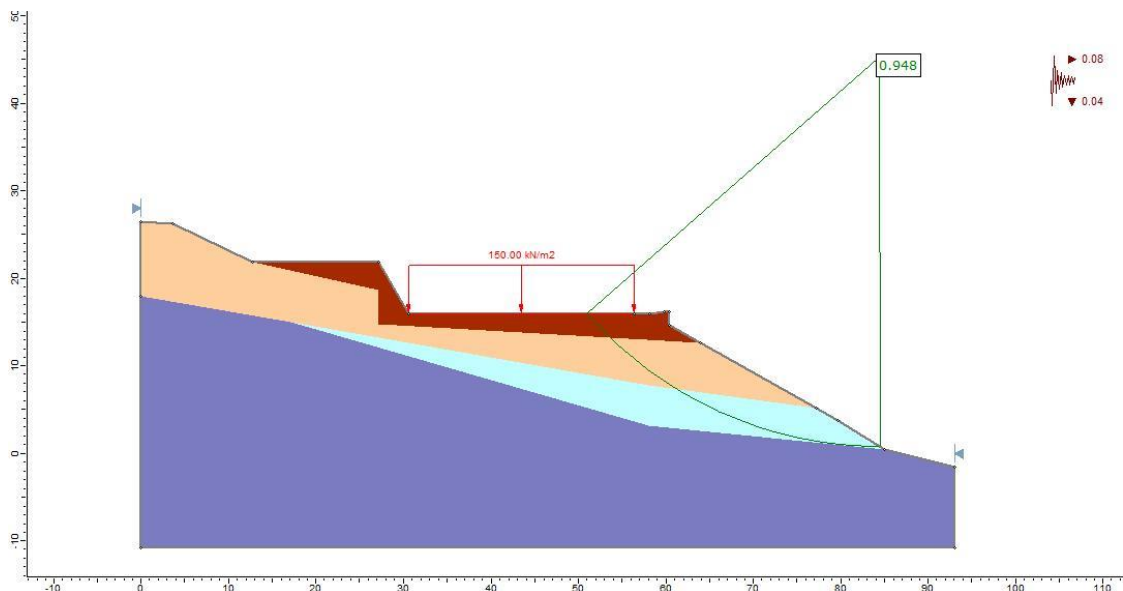
A) Κοίμηση της Θεοτόκου

i) Χωρίς σεισμική φόρτιση



Εικόνα 73: Ανάλυση χωρίς σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

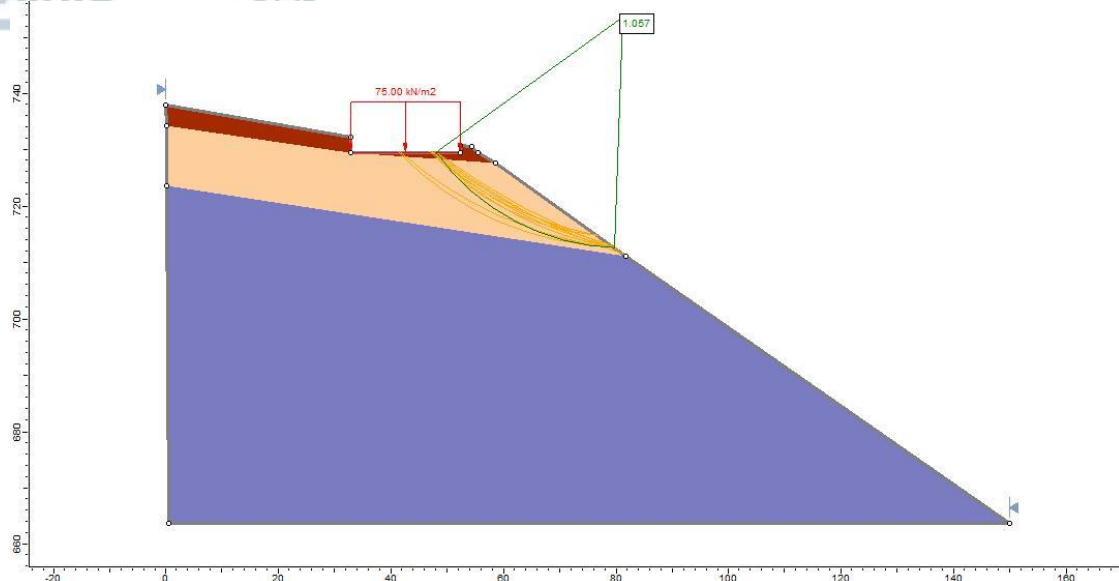
ii) Με σεισμική φόρτιση



Εικόνα 74: Ανάλυση με σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου

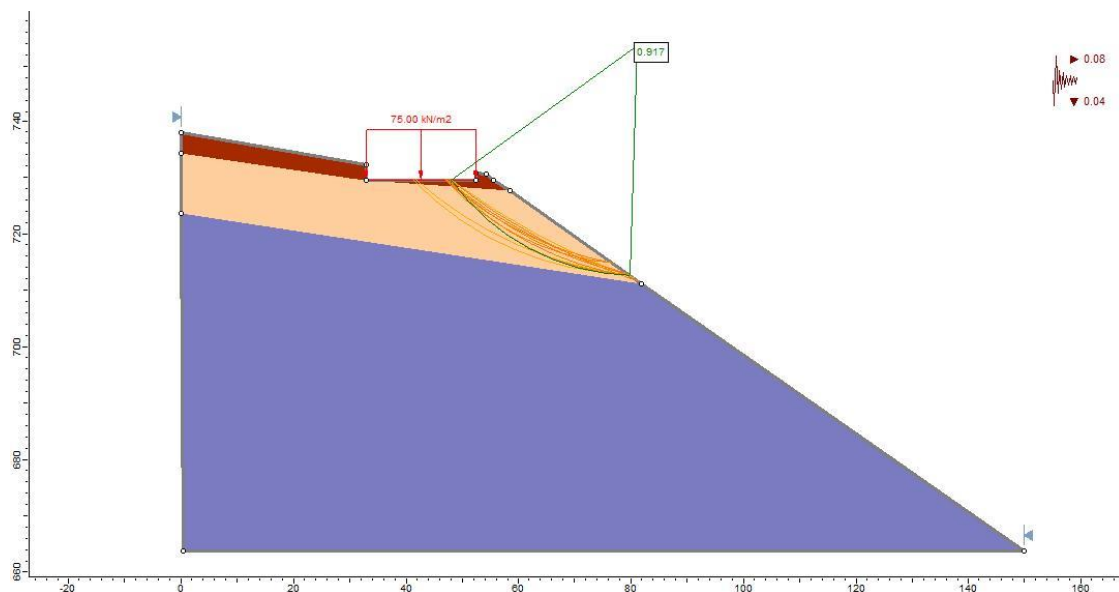
Β) Άγιος Αθανάσιος

i) Χωρίς σεισμική φόρτιση



Εικόνα 75: Ανάλυση χωρίς σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

ii) Με σεισμική φόρτιση



Εικόνα 76: Ανάλυση με σεισμική φόρτιση για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου

Βλέπουμε ότι και στις δύο περιπτώσεις ο Συντελεστής Ασφαλείας για τους δύο ναούς χωρίς σεισμική φόρτιση είναι οριακά μεγαλύτερος του 1 και συγκεκριμένα για τη κοίμηση της Θεοτόκου είναι $\Sigma.A.=1.078$ ενώ για τον Άγιο Αθανάσιο είναι $\Sigma.A.=1.057$. Αντίστοιχα για τους δύο ναούς με σεισμική φόρτιση είναι οριακά μικρότερος του 1 και συγκεκριμένα για τη κοίμηση της Θεοτόκου είναι $\Sigma.A.=0.948$ ενώ για τον Άγιο Αθανάσιο είναι $\Sigma.A.=0.917$.

Συνοπτικά τα αποτελέσματα της διακύμανσης του Συντελεστή Ασφαλείας για τους δύο ναούς έχουν ως εξής:

I. Κοίμηση της Θεοτόκου

Πίνακας 23: Συντελεστές ασφάλειας για Κοίμηση της Θεοτόκου

Συντελεστής Ασφαλείας	Χωρίς σεισμική φόρτιση	Με σεισμική φόρτιση
Θερινή περίοδος	1.078	0.948
Χειμερινή περίοδος	1.057	0.936
Χωρίς υδροφόρο ορίζοντα	1.078	0.948

II. Άγιος Αθανάσιος

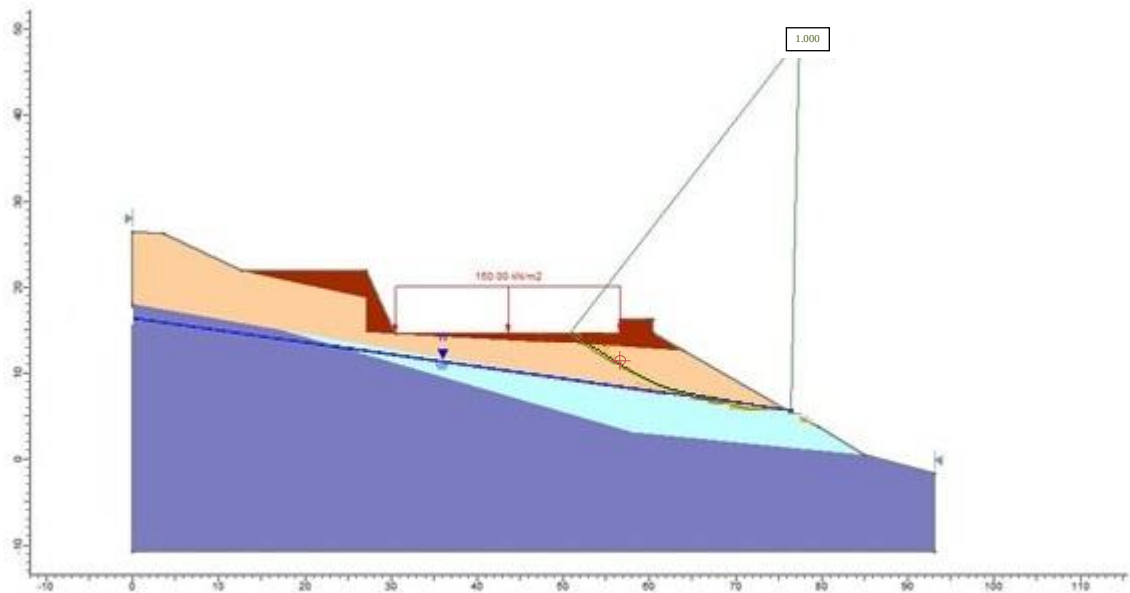
Πίνακας 24: Συντελεστές ασφάλειας για Άγιο Αθανάσιο

Συντελεστής Ασφαλείας	Χωρίς σεισμική φόρτιση	Με σεισμική φόρτιση
Θερινή περίοδος	1.154	1.002
Χειμερινή περίοδος	1.328	1.157
Χωρίς υδροφόρο ορίζοντα	1.057	0.917

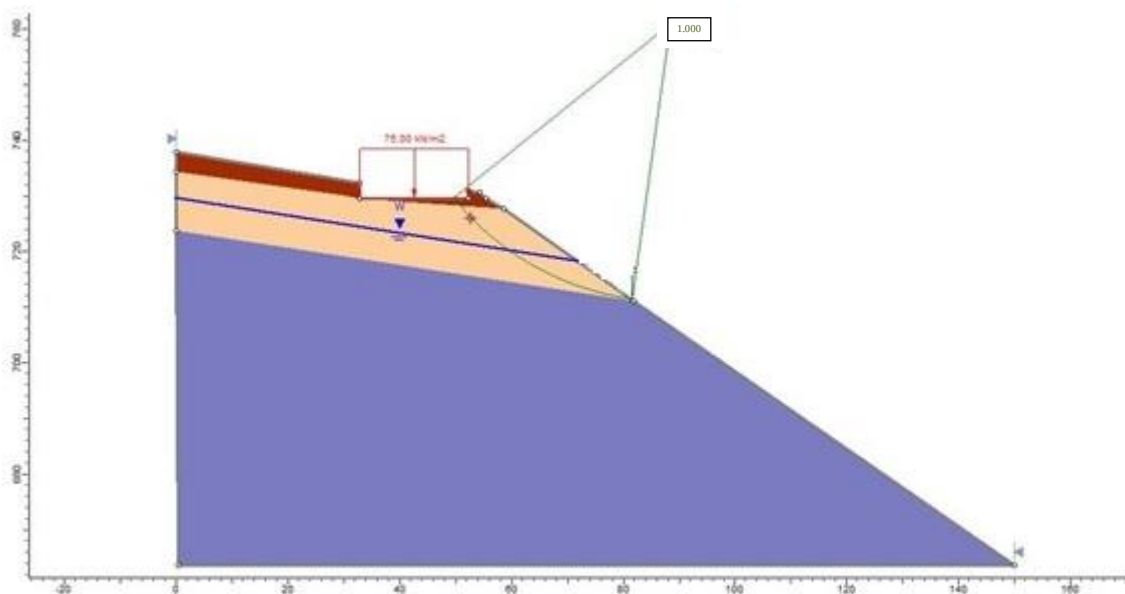
Παρατηρούμε ότι υπάρχει μία τάση μείωσης του Συντελεστή Ασφάλειας όσο προχωράμε στη χειμερινή περίοδο και ιδιαίτερα με την επίδραση της σεισμικής φόρτισης ο Συντελεστής Ασφάλειας παίρνει τη μικρότερη του τιμή.

Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις (back analysis), στις οποίες, γνωρίζοντας το βάθος ολίσθησης από τις μετρήσεις των κλισιομέτρων και θεωρώντας ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αυτός για συνθήκες οριακής ισορροπίας ($\Sigma.A.=1$), προσεγγίστηκαν οι παράμετροι αντοχής, δηλαδή συνοχή (c) και γωνία τριβής (ϕ) για κάθε έναν από τους δύο ναούς, που δίνουν ως αποτέλεσμα αστοχία για τη συγκεκριμένη επιφάνεια. Πραγματοποιήθηκε ως εξής: από τις μετρήσεις των κλισιομέτρων, βρέθηκε το βάθος αυτό στο οποίο διαπιστώθηκαν οι μέγιστες μετακινήσεις. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Slide και ακολουθώντας τη διαδικασία επιλογής σημείου διέλευσης της επιφάνειας ολίσθησης σημειώνεται το σημείο των μέγιστων μετακινήσεων επάνω στο μοντέλο. Η ακολουθία των πλήκτρων έχει ως εξής: Surfaces → Focus search → Add point. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το ζεύγος τιμών συνοχής

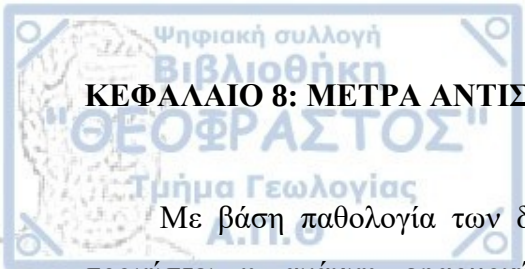
και γωνίας τριβής (c , ϕ) ώστε ο Συντελεστής Ασφαλείας να ισούται με 1, δηλαδή συνθήκες οριακής ισορροπίας. Στη περίπτωση της Κοιμήσεως της Θεοτόκου, οι τιμές είναι ίδιες με αυτές που προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, δηλαδή $c'=11\text{kPa}$ και $\phi'=25^\circ$. Ενώ στη περίπτωση του Αγίου Αθανασίου οι τιμές που προκύπτουν είναι $c'=5\text{ kPa}$ και $\phi'=22^\circ$. Σύμφωνα λοιπόν με τα προηγούμενα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:



Εικόνα 77: Back analysis για τον Ι.Ν. Κοιμήσεως της Θεοτόκου για Συντελεστή Ασφαλείας ($\Sigma.A.=1$)



Εικόνα 78: Back analysis για τον Ι.Ν. Αγίου Αθανασίου για Συντελεστή Ασφαλείας ($\Sigma.A.=1$)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ

Με βάση παθολογία των δύο εξεταζόμενων μνημείων και τις αναλύσεις ευστάθειας προκύπτει η ανάγκη εφαρμογής μέτρων αποκατάστασης-σταθεροποίησης των θέσεων θεμελίωσης των δύο ναών. Ως εκ τούτου εξετάστηκαν και προτείνονται στη συνέχεια μια σειρά μέτρων σταθεροποίησης - αντιστήριξης (τόσο ενεργητικών όσο και παθητικών) με στόχο την επίτευξη του απαιτούμενου συντελεστή ασφάλειας με βάση τον Ευρωκώδικα 7.

Η λειτουργικότητα όλων των έργων και κατασκευών αυτών, που αναλύονται λεπτομερώς στα επόμενα, θα πρέπει να παρακολουθείται και να ελέγχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα. Μόνον έτσι τα έργα αυτά θα αποδώσουν σε μόνιμη βάση.

1) Αποστράγγιση. Είναι ένα μέτρο που συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς των γεωλικών ενέχει όμως μια αβεβαιότητα ως προς την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος σε βάθος χρόνου. Διακρίνεται σε επιφανειακή και υπόγεια.

α) Η επιφανειακή αποστράγγιση, συμβάλλει στη σταθεροποίηση του πρανούς μέσω του ελέγχου των νερών που συρρέουν στην ασταθή περιοχή (έλεγχος κατολίσθησης). Όλα τα νερά θα πρέπει να διευθετηθούν έξω από την κατολισθαίνουσα περιοχή και να οδηγηθούν προς τα κατάντη υδρορέματα με την κατασκευή υδατοστεγών αποστραγγιστικών δικτύων, ή μεταλλικών εύκαμπτων αγωγών (π.χ. φρακάσο). Επίσης, στην κεφαλή της κατολίσθησης είναι απαραίτητη η κατασκευή περιφερειακής στεγανής τάφρου σε μόνιμη βάση, με κατάλληλη κλίση και γενική διαμόρφωση τέτοια, ώστε να μην πληρώνεται εύκολα από τα υλικά των σχηματισμών της περιοχής.

β) Υπόγεια αποστράγγιση

Δεδομένου ότι το υπόγειο νερό είναι ο κύριος παράγοντας αστάθειας πρανών, η υπόγεια αποστράγγιση αποτελεί ένα από τα πλέον αποτελεσματικά μέτρα θεραπείας. Ένα πρανές που αποστραγγίζεται κανονικά, μπορεί να είναι ευσταθές με μεγαλύτερη κλίση από ένα μη αποστραγγιζόμενο. Τα μειονεκτήματα της υπόγεια αποστράγγισης είναι ότι μπορεί να σχεδιασθεί μόνον με τη συμπλήρωση της γεωλογικής και υδρογεωλογικής έρευνας και ο έλεγχος της αποτελεσματικότητάς της είναι δυσχερής. Εάν υπάρχουν παλιές γεωτρήσεις και φρέατα στη γειτονία της κατολίσθησης, θα πρέπει να εξαντληθούν, για τον υποβιβασμό της στάθμης του νερού. Η λειτουργία παλαιών ή νέων γεωτρήσεων και φρεάτων, δύναται να αποτελέσει τη βάση σχεδίασης των μονίμων αποστραγγιστικών έργων. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθούν στραγγιστήριες τάφροι, απαραίτητη όμως προϋπόθεση για την κατασκευή τους, είναι η πλήρης γνώση των γεωλογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών.

2) Τοίχοι αντιστήριξης

Οι υψηλοί και μεγάλοι τοίχοι αντιστήριξης είναι δαπανηροί και επομένως η στατική τους ανάλυση απαιτεί ειδική προσοχή. Οι τοίχοι αυτοί υποβάλλονται σε μεγάλες οριζόντιες δυνάμεις, για να επιτευχθεί η αύξηση της ευστάθειας πρανούς ή για τη σταθεροποίηση μαζών που κατολισθαίνουν.

3) Τοίχοι από συρματοκιβώτια

Οι τοίχοι από συρματοκιβώτια που τοποθετούνται κλιμακωτά στο πρανές και με κατάλληλη θεμελίωση, ενώ συνήθως συνδυάζονται και με την τοποθέτηση στο εσωτερικό της βάσης τους κατάλληλου στραγγιστηρίου, είναι η πλέον κατάλληλη λύση. Χαρακτηρίζονται από ευκολία κατασκευής και ευκαμψία καθώς και η ευχέρεια στην αποστράγγιση εξασφαλίζοντας χαμηλές πιέσεις πόρων.

4) Χρήση Πασσάλων

Η χρήση πασσάλων, έχει εφαρμοσθεί πολλές φορές στη σταθεροποίηση ασταθών μαζών αλλά με την εξαίρεση αβαθών σχετικά κατολισθήσεων, οι δυνάμεις που ενεργοποιούνται είναι πολύ μεγάλες και δεν είναι εύκολο να αναχαιτισθούν από μία σειρά πασσάλων

5) Οριζόντιες αναβαθμίδες

Οριζόντιες αναβαθμίδες με κλίση στην επιφάνεια εφαρμόζονται για τα μεγάλης κλίσης πρανή. Η αποστράγγιση του νερού από τις αναβαθμίδες, καθώς και η συντήρηση αυτών, είναι απαραίτητα στοιχεία για την επιτυχία του μέτρου αυτού.

Η μέθοδος αγκύρωσης βραχωδών μαζών σήμερα εφαρμόζεται και στη σταθεροποίηση εδαφικών πρανών. Οι τρεις κύριοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη όταν σχεδιάζουμε ένα σύστημα αγκυρώσεων για τη σταθεροποίηση ενός κατολισθαίνοντος πρανούς, είναι το στατικό αποτέλεσμα των αγκυρίων ή ήλων, ο παράγων χρόνος για την κατασκευή και η διάρκεια ζωής τους.

Η ευστάθεια του πρανούς μπορεί να αυξηθεί ουσιαστικά, με την ελάττωση του βάρους στην κεφαλή αυτού και την επέκταση του πόδα της κατολίσθησης. Εάν π.χ. από τον κατολισθαίνοντα όγκο απομακρυνθεί 4% από την κεφαλή προς τον πόδα του πρανούς, η ευστάθεια αυτού αυξάνεται κατά 10%. Εάν το υλικό που αφαιρείται δεν είναι κατάλληλο για την φόρτιση του πόδα, είναι προτιμότερο να μεταφερθεί κατάλληλο υλικό από άλλο μέρος και το εκσκαπτόμενο να τοποθετείται μακριά από την κατολίσθηση.

Η αποφόρτιση της κεφαλής είναι συνήθως η πλέον αποτελεσματική μέθοδος και το κόστος της εξαρτάται από τη δυνατότητα πρόσβασης στο πρανές. Όταν μάλιστα τα υλικά είναι δυνατόν να αποτίθενται κατάντη, τότε η μέθοδος γίνεται ακόμη πιο πρόσφορη. Γενικά όμως, αφαιρώντας υλικά από την κεφαλή, θα πρέπει να μην διαταραχθεί η ισορροπία του πρανούς στο τμήμα αυτό, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην επιδείνωση του φαινομένου.

Οι εξομαλύνσεις πρέπει να σχεδιασθούν συγχρόνως με την αποστράγγιση του πρανούς, διότι έτσι ελαττώνεται ο όγκος των χωματουργικών έργων, τα οποία θα απαιτηθούν για την ευστάθειά του. Γενικά στους εδαφικούς σχηματισμούς δεν συνιστάται η σχεδίαση πρανών με κλίση μεγαλύτερη του 1:2 (βάση προς ύψος).

Η φυτοκάλυψη γίνεται κατά το τελευταίο στάδιο θεραπείας ενός πρανούς και κυρίως όταν πρόκειται για επιφανειακές, στρωματοειδείς ολισθήσεις. Κατολισθήσεις με βαθιά επίπεδα ολίσθησης, δεν μπορεί να αναχαιτισθούν με τη φυτοκάλυψη, αλλά αυτή βοηθά στην ελάττωση της κατείσδυσης του επιφανειακού νερού στο πρανές και επομένως συμβάλλει έμμεσα στη σταθεροποίηση αυτού. Τα πιο κατάλληλα δένδρα είναι αυτά που εξασφαλίζουν τη μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή και είναι βαθύρριζα.

Στη περίπτωση της θέσης θεμελίωσης των 2 Ναών τα μέτρα που προτείνεται να εφαρμοστούν είναι:

- Μικροπάσσαλοι
- Αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης με κεφαλόδεσμο

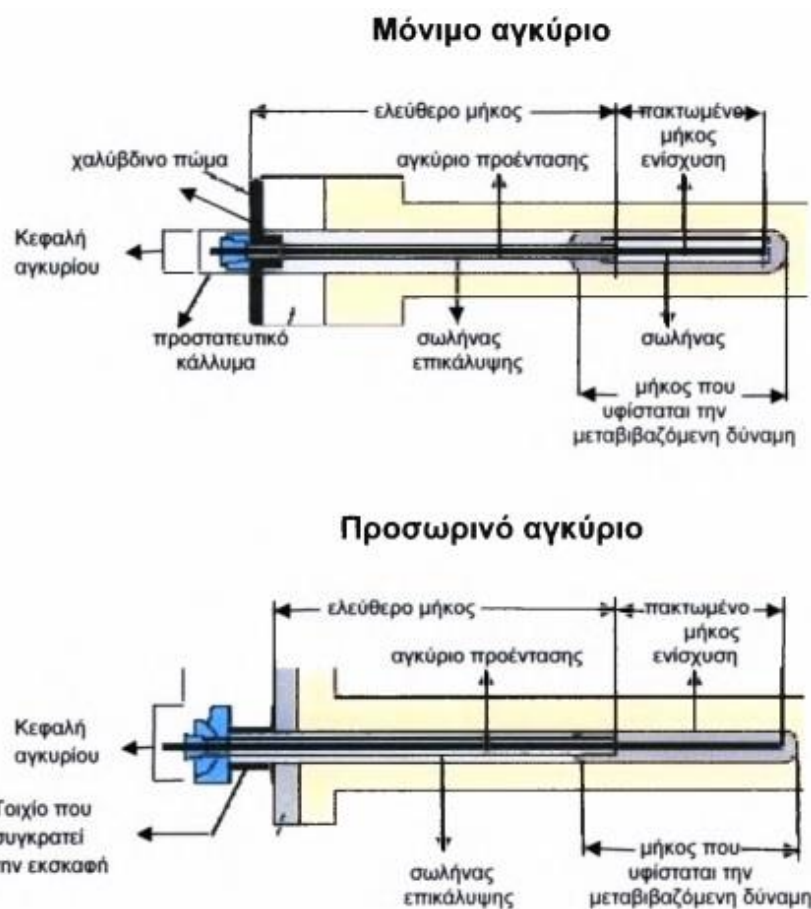
Και στις 2 περιπτώσεις η πάκτωση τους προτείνεται να γίνει εντός του υγιούς υποβάθρου.

A) Χρήση αγκυρώσεων

Πρόκειται για μεταλλικά αγκύρια (ηλώσεις). Οι αγκυρώσεις διακρίνονται ανάλογα με την προένταση της μεταλλικής ράβδου σε προεντεταμένες με εφαρμογή ενεργητικής υποστήριξης και σε μη προεντεταμένες με εφαρμογή παθητικής υποστήριξης. Η παθητική αγκύρωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως προενίσχυση των στοιχείων ενός πρανούς με απότομη κλίση, προκειμένου να περιοριστεί η αποσυμπίεση/διόγκωση του πρανούς.

Σε κάθε διάταξη αγκύρωσης διακρίνονται τα ακόλουθα επιμέρους τμήματα:

- Η κεφαλή: το σύνολο των στοιχείων (πλάκα αγκυρίου, μηχανισμός σύσφιγξης, κλπ.) με σκοπό να μεταδώσουν τη δύναμη έλξης του αγκυρίου στην αγκυρωμένη διάταξη ή το βράχο.
- Ο οπλισμός: Τμήμα του αγκυρίου που τοποθετείται μέσα στην οπή και ενεματώνεται. Μπορεί να αποτελείται από μεταλλικά καλώδια ή ράβδους οπλισμού κλπ.
- Το μήκος πάκτωσης: Είναι το τμήμα του αγκυρίου το οποίο πακτώνεται στο βράχο με εισπίεση ενέματος (τσιμεντένεματος και μίας διογκωτικής ουσίας ή επιταχυντή) και έτσι μεταφέρεται το φορτίο στον βράχο.
- Το ελεύθερο μήκος: Το μη ενεμετωμένο τμήμα του αγκυρίου.



Εικόνα 79: Διάταξη αγκυρίων

Όταν η αγκύρωση ενεργεί σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα ορίζεται ως άκαμπτη. Πρόκειται για ένα συγκεκριμένο τύπο αγκύρωσης, μη συνδεδεμένο κατασκευαστικά με το ελεύθερο μήκος, που αποτελείται από υλικό ανθεκτικό στον εφελκυσμό, συνήθως ράβδο χάλυβα λιγότερο από 12 μ., με αντιδιαβρωτική προστασία λόγω του περιβλήματος από

σκυρόδεμα. Η μέθοδος πάκτωσης μέσα στο έδαφος μπορεί να είναι χημική , μηχανική ή με ενεμάτωση.

Στην πρώτη περίπτωση, τοποθετούνται κυλινδρικά περιβλήματα από κάποια ρητίνη πολυεστέρα στο διάτρημα για να γεμίσουν τον κυλινδρικό χώρο γύρω από το τελευταίο τμήμα του αγκυρίου. Το κύριο πλεονέκτημα αυτού του τύπου αγκύρωσης έγκειται στην απλότητα και στην ταχύτητα της εγκατάστασης. Το κύριο μειονέκτημα είναι περιορισμένη αντοχή του.

Στη δεύτερη περίπτωση, η αγκύρωση απαρτίζεται από χαλύβδινες σφήνες που εισάγονται στα τοιχώματα της οπής. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου αγκύρωσης έγκειται στην ταχύτητα της εγκατάστασης και στο γεγονός ότι προένταση μπορεί να επιτευχθεί άμεσα μόλις τοποθετηθεί αγκύρωση. Το κύριο μειονέκτημα με αυτόν τον τύπο αγκύρωσης είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε σκληρά πετρώματα βράχου. Επιπλέον, μέγιστη δύναμη έλξης προέντασης είναι περιορισμένη (<800 kN)

Στην τρίτη περίπτωση η αγκύρωση προέρχεται από την ενεμάτωση όλης της μεταλλικής ράβδου. Αυτή είναι μέθοδος που χρησιμοποιείται περισσότερο αφού τα υλικά είναι φθηνά και η εγκατάσταση απλή. Τα ενέματα σκυροδέματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλούς τύπους εδάφους, επιπλέον το περίβλημα από σκυρόδεμα προστατεύει την μεταλλική ράβδο από διάβρωση. Το συγκεκριμένο μείγμα αποτελείται από νερό και τσιμέντο σε αναλογία της τάξεως του $W/C = 0.40-0.45$, δεδομένου ότι με αυτό τον τρόπο ένα αρκετά ρευστό μίγμα επιτρέπει την εισπίεση στην οπή ενώ την ίδια στιγμή παρέχει υψηλή μηχανική αντοχή.

B) Χρήση μικροπασσάλων

Αφορούν στην κατασκευή μικροπασσάλων των παρακάτω κατηγοριών:

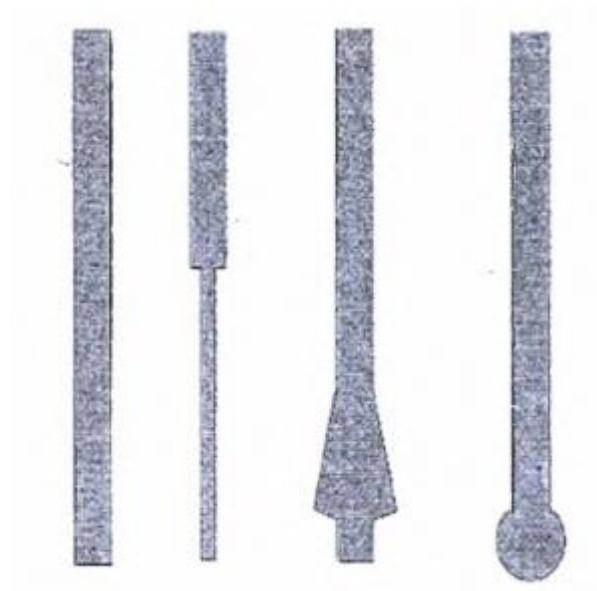
- Μικροπάσσαλοι που κατασκευάζονται με αφαίρεση του εδαφικού υλικού και έχουν διάμετρο μέχρι 300 mm , και
- Μικροπάσσαλοι που κατασκευάζονται με έμπηξη στο έδαφος και έχουν διάμετρο μέχρι 150 mm. ή συνδυασμού των ανωτέρω.
- Συνδυασμός των ανωτέρω.

Ανάλογα με τα γεωμετρικά τους στοιχεία, οι μικροπάσσαλοι διακρίνονται σε:

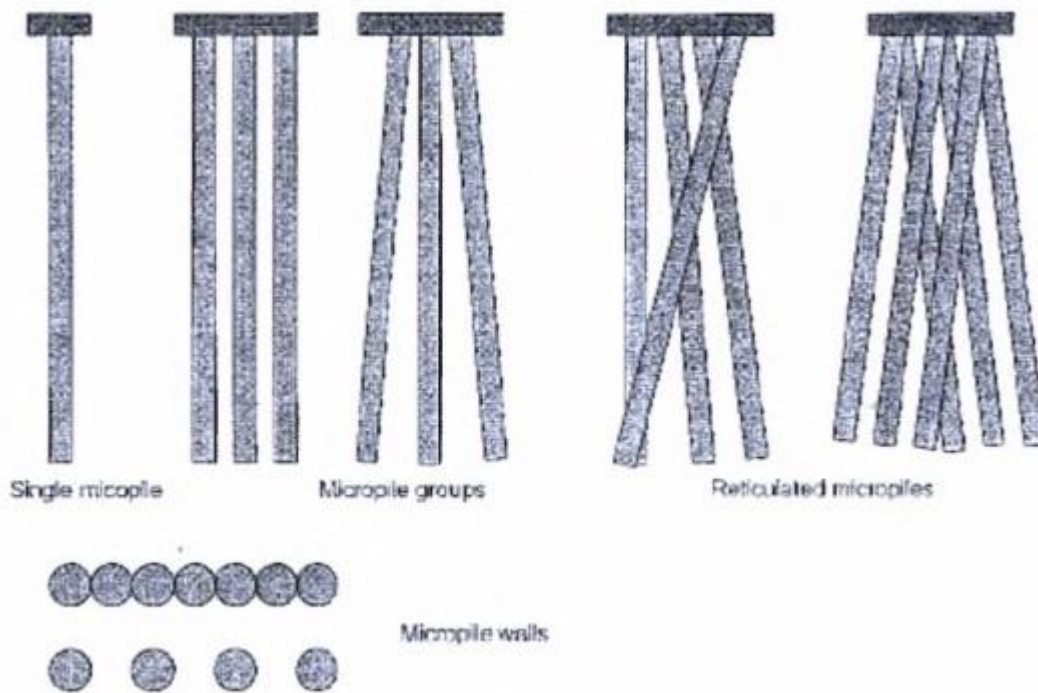
- ομοιόμορφης διατομής σε όλο το μήκος τους,

- μεταβαλλόμενης διατομής (π.χ. με διαπλάτυνση της έδρασης, με τοπικές διευρύνσεις του κατακόρυφου φρέατος εκσκαφής ή με τηλεσκοπική συνεχή μεταβολή των διαστάσεων του φρέατος εκσκαφής των) (σχήμα 1).

Δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός όσον αφορά το μήκος, την κλίση, την δυσκαμψία, τη διαπλάτυνση έδρασης και την πλευρική διεύρυνση.



Εικόνα 80: Παραδείγματα μικροπασσάλων



Εικόνα 81: Διατάξεις μικροπασσάλων

Οι μικροπασσάλοι είναι δομικά στοιχεία που έχουν ως σκοπό να μεταφέρουν φορτία στο έδαφος, και συνεπώς να βελτιώσουν τη θεμελίωση με στόχο την αύξηση της φέρουσας ικανότητας και τη μείωση των παραμορφώσεων. Τυπικά, εφαρμόζονται στις παρακάτω περιπτώσεις:

- Σε περιορισμένο χώρο ή όταν το ελεύθερο ύψος εργασίας είναι μικρό.
- Στη θεμελίωση νέων κατασκευών σε ανομοιόμορφα εδάφη ή βραχώδεις σχηματισμούς.
- Στην υποστήριξη της θεμελίωσης παλαιών κατασκευών.
- Στην κατασκευή τοίχου αντιστήριξης.
- Στη βελτίωση και ενίσχυση του εδάφους θεμελίωσης ή πρανών.
- Στην ανάληψη φορτίων σε κατασκευές υπό άνωση (uplift) κλπ.

ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΤΡΩΝ ΣΤΑΘΕΡΟΠΙΗΣΗΣ

Στην περίπτωση των δύο ναών στην Άνω Σκοτίνα, τα μέτρα σταθεροποίησης που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν είναι συστοιχία μικροπασσάλων (micro piles) και αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης (grouted tieback) με κεφαλόδεσμο. Το κυριότερο κριτήριο επιλογής των παραπάνω είναι ο διαθέσιμος χώρος και η προσβασιμότητα μηχανολογικού εξοπλισμού για την εφαρμογή

άλλων μεθόδων σταθεροποίησης (τοίχοι βαρύτητας, φρεατοπάσσαλοι, επιχώσεις κλπ) εξαιτίας της παρουσίας του οικισμού στα κατάντη.

Η διαστασιολόγηση των μέτρων σταθεροποίησης γίνεται σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 7, όπου στον έλεγχο των γεωτεχνικών (GEO) οριακών καταστάσεων αστοχίας τύπου ολικής ευστάθειας γεωτεχνικών έργων χωρίς ή με δομικά στοιχεία αντιστήριξης εφαρμόζεται ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3) για στατικές συνθήκες. Οι σταθεροποιητικές δράσεις των δομικών στοιχείων αντιστήριξης (δηλαδή δυνάμεις ή ροπές στήριξης εκ των δομικών στοιχείων ενίσχυσης, όπως ηλώσεων, αγκυρώσεων ή πασσάλων) θα θεωρούνται ως ευνοϊκές δράσεις (favourable actions) με επιμέρους συντελεστή δράσεων $\gamma_F = 1$. Ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3) θα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την σχέση (2.6α) για τις δράσεις :

$$E_d = E(F_d, X_d) = E(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \quad (2.6\alpha)$$

και την σχέση (2.7α) για τις αντιστάσεις :

$$R_d = R(F_d, X_d) = R(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \quad (2.7\alpha)$$

δηλαδή με εφαρμογή της σχέσης (2.5) :

$$E_d \leq R_d \Rightarrow E(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \leq R(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M) \quad (2.5)$$

και τις εξής ομάδες επιμέρους συντελεστών δράσεων και εδαφικών παραμέτρων (γ_F, γ_M) του

Παράρτηματος Α του EN1997-1 :

- (A1) για δομικές δράσεις (από την ανωδομή), όπως φορτία κτιρίων και κυκλοφορίας στην επιφάνεια του εδάφους,
- (A2) για δράσεις από το έδαφος (γεωτεχνικές δράσεις), περιλαμβανομένου και του βάρους του εδάφους,
- (M2) για τις εδαφικές παραμέτρους.

Ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3) αφορά μόνον στον έλεγχο τις ολικής ευστάθειας των γεωτεχνικών έργων. Για παράδειγμα, σε βαθιά εκσκαφή αντιστηριζόμενη με κατακόρυφο εύκαμπτο πέτασμα και προεντεταμένες αγκυρώσεις, το βάθος έμπηξης και η καμπτική επιπόνηση του πετάσματος, οι δυνάμεις αγκύρωσης και ο σχεδιασμός τις αγκύρωσης (μήκος πάκτωσης και αριθμός τενόντων) θα υπολογίζονται με τον Τρόπο Ανάλυσης 2 (DA-2), όπως περιγράφεται κατωτέρω. Στη συνέχεια, θα γίνεται ανάλυση τις ολικής ευστάθειας του συστήματος (έδαφος + αντιστήριξη) με τον Τρόπο DA-3 προκειμένου να υπολογισθεί η επάρκεια τις εκσκαφής έναντι συνολικής διατμητικής αστοχίας και να προσδιορισθεί το απαιτούμενο ελεύθερο μήκος των αγκυρίων.

Ο συντελεστής προσομοιώματος εξαρτάται από τις παραδοχές των υδραυλικών συνθηκών και θα λαμβάνει τις εξής τιμές :

- (1) Για συνήθεις δυσμενείς παραδοχές υδραυλικών συνθηκών : $\gamma_m = 1.1$.

Η χρήση του ανωτέρω συντελεστή προσομοίωσης γίνεται ώστε ο ισοδύναμος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας (FS) έναντι ολικής ευστάθειας να είναι :

- $FS = \gamma_M \gamma_m = 1.25 \times 1.1 = 1.38$ για αναλύσεις μέσω ενεργών τάσεων με χρήση ενεργών παραμέτρων αντοχής (c' , ϕ').
- $FS = \gamma_M \gamma_m = 1.40 \times 1.1 = 1.54$ για αναλύσεις μέσω ολικών τάσεων με χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (c_u).

(2) Για πολύ δυσμενείς παραδοχές υδραυλικών συνθηκών : $\gamma_m = 1$.

Στην περίπτωση αυτή, ο ισοδύναμος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας (FS) έναντι ολικής ευστάθειας είναι :

- $FS = \gamma_M \gamma_m = 1.25 \times 1 = 1.25$ για αναλύσεις μέσω ενεργών τάσεων με χρήση ενεργών παραμέτρων αντοχής (c' , ϕ').
- $FS = \gamma_M \gamma_m = 1.40 \times 1 = 1.40$ για αναλύσεις μέσω ολικών τάσεων με χρήση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής.

Αντίστοιχα, η ανάλυση υπό σεισμικές δράσεις των γεωτεχνικών έργων που μελετώνται κατά τον Ευρωκώδικα EN1997-1 γίνεται σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στον Ευρωκώδικα 8 - Μέρος 5 (EN 1998-5), του Εθνικού του Προσαρτήματος, και τις ακόλουθες παρατηρήσεις:

- (1) Οι επιμέρους συντελεστές των σεισμικών δράσεων και των αποτελεσμάτων των σεισμικών δράσεων θα λαμβάνονται ίσοι με τη μονάδα ($\gamma_F = \gamma_E = 1$).
- (2) Θα χρησιμοποιούνται μοναδιαίες τιμές των επιμέρους συντελεστών υλικού (γ_M) και αντιστάσεων (γ_R), δηλαδή: $\gamma_M = \gamma_R = 1$ με το εξής σκεπτικό:
 - στον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (ΕΑΚ-2000) απαιτείται ενιαίος συντελεστής ασφαλείας (global safety factor) τουλάχιστον ίσος με ένα ($FS=1.00$) κατά τον σχεδιασμό πρανών και αναχωμάτων υπό τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού που δίνονται στο Κεφάλαιο 2.
 - Στους περισσότερους Κανονισμούς Μελετών (π.χ. ΟΣΜΕΟ της ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε.) υπάρχει απαίτηση τουλάχιστον μοναδιαίου ενιαίου συντελεστή ασφαλείας ($FS=1$) κατά τον σχεδιασμό γεωτεχνικών έργων με τις σεισμικές δράσεις του ΕΑΚ-2000.
- (3) Οι συντελεστές προσομοίωσης (γ_m) λαμβάνονται ίσοι με την τιμή που εφαρμόζεται στις αναλύσεις υπό στατικές δράσεις. Συνεπώς, στην ανάλυση της στατικής αξονικής

φέρουσας ικανότητας πασσάλων όπου επιβάλλεται συντελεστής προσομοίωσης $\gamma_m=1.30$, ο συντελεστής αυτός διατηρείται και στην ανάλυση της φέρουσας ικανότητας υπό σεισμικές δράσεις. Τούτο έχει ως αποτέλεσμα ο ισοδύναμος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας πασσάλων υπό σεισμικές δράσεις να είναι ίσος με $FS = \gamma_E \gamma_R \gamma_m = 1 \times 1 \times 1.30 = 1.30$, γεγονός που συμφωνεί και με τις απαιτήσεις της Εγκυκλίου Ε39/1999 του ΥΠΕΧΩΔΕ (Εγκύκλιος για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών).

- (4) Εφαρμόζεται ο Τρόπος Ανάλυσης 2 (Παραλλαγή DA-2*) σε όλες τις περιπτώσεις ανάλυσης, δηλαδή ακόμη και στις αναλύσεις ολικής ευστάθειας όπου κατά την ανάλυση υπό στατικές δράσεις εφαρμόζεται ο Τρόπος Ανάλυσης 3 (DA-3). Η επιλογή αυτή γίνεται για την απλοποίηση των υπολογισμών, αφού στην ανάλυση υπό σεισμικές δράσεις οι επιμέρους συντελεστές δράσεων, αντιστάσεων και υλικών είναι μοναδιαίοι και συνεπώς ο Τρόπος Ανάλυσης 2* είναι ισοδύναμος με τον Τρόπο Ανάλυσης 3. Επιπλέον, δεν υφίσταται η δυσχέρεια εφαρμογής του Τρόπου DA-2* στις αναλύσεις ολικής ευστάθειας όπως στις αναλύσεις υπό στατικές δράσεις.

Από τα ανωτέρω μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι, υπό τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού που δίνονται στο Κεφάλαιο 2 του ΕΑΚ-2000, οι αναλύσεις γεωτεχνικών έργων κατά τους Ευρωκώδικες EN1997-1 και EN1998-5 μπορούν να γίνονται με χρήση μοναδιαίων τιμών των επιμέρους συντελεστών εδαφικών παραμέτρων και αντιστάσεων, δηλαδή: $\gamma_M = \gamma_R = 1$ ώστε να επιτυγχάνεται μοναδιαίος ενιαίος συντελεστής ασφαλείας ($FS=1$), δηλαδή βαθμός ασφάλειας συμβατός με τον έως σήμερα αποδεκτό (βλ. Εθνικό Προσάρτημα). Εξαιρέση αποτελεί η φέρουσα ικανότητα πασσάλων όπου επιτυγχάνεται ενιαίος συντελεστής ασφαλείας $FS=1.30$ και η ανάλυση της ολικής ευστάθειας (π.χ. ευστάθεια πρανών) υπό συνήθεις υδραυλικές συνθήκες όπου επιτυγχάνεται ενιαίος συντελεστής ασφαλείας $FS=1.10$.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η διαστασιολόγηση των μέτρων σταθεροποίησης πρέπει να οδηγεί σε ελάχιστη τιμή Συντελεστή Ασφάλειας **1.38** σύμφωνα με τον τρόπο ανάλυσης 2 για στατικές συνθήκες ενώ υπό σεισμική φόρτιση σε ελάχιστη τιμή **1.1** σύμφωνα με τον τρόπο ανάλυσης 3. Ο ολικός έλεγχος ευστάθειας για συνθήκες υπό σεισμική δράση γίνεται σύμφωνα με τον τρόπο ανάλυσης 3 (για τυχαίες επιφάνειες).

Με βάση τα παραπάνω εκτελέστηκαν αναλύσεις ευστάθειας με εφαρμογή μέτρων σταθεροποίησης έτσι ώστε να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι Συντελεστές Ασφαλείας. Στις αναλύσεις ο υδροφόρος ορίζοντας θεωρήθηκε στην υψηλότερη καταγεγραμμένη ετήσια στάθμη. Τα μέτρα σταθεροποίησης που εφαρμόστηκαν στην ανάλυση είναι κατακόρυφοι

μικροπιάσσσαλοι μήκους $L=14,5\text{m}$ και διαξονική απόσταση $S_1=0,80\text{m}$ και αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους $L=12\text{m}$, με κλίση $15^\circ-20^\circ$ από την οριζόντια και απόσταση $S_2=1,25\text{m}$ (Εικόνα 82). Ο οπλισμός και η ενεμάτωση των μικροπασσάλων και των αγκυρίων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προκύπτουν οι ιδιότητες του παρακάτω Πίνακα για την κοίμηση της Θεοτόκου:

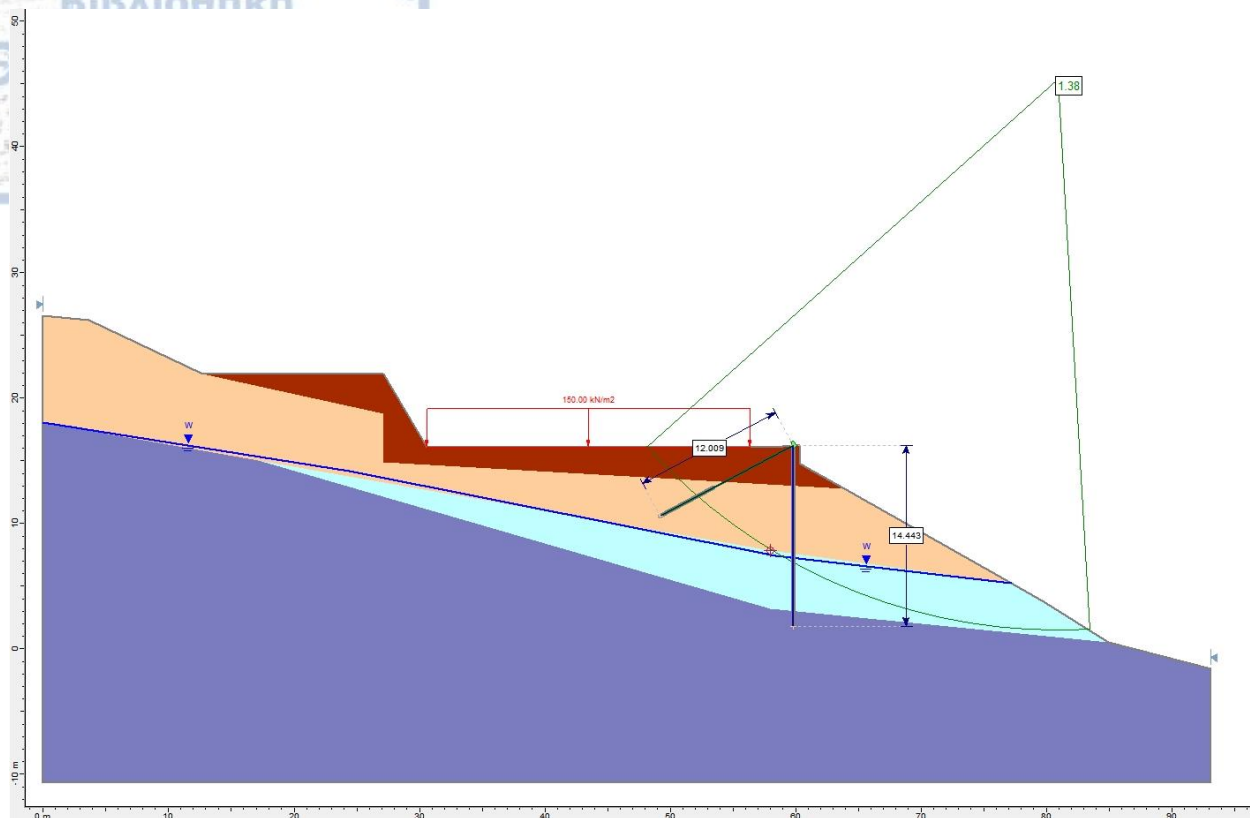
Πίνακας 25: Μέτρα αντιστήριξης για την κοίμηση της Θεοτόκου

Μέτρα υποστήριξης	Out-of-plane spacing (m)	Pile shear strength (kN)	Tensile capacity (kN)	Plate capacity (kN)	Adhesion (kN/m ²)	Friction Angle (°)	Bond length
Micro pile (passive)	0.8	350					
Grouted tieback (passive)	1.25		200	200	5	40	40%

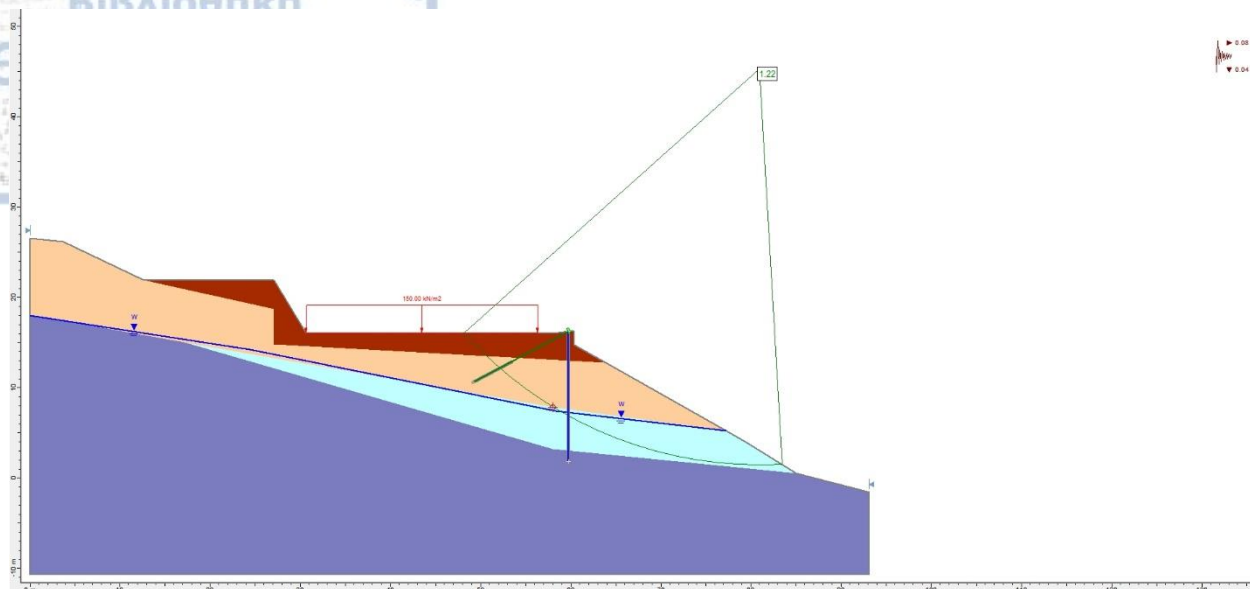
Για την περίπτωση του Ναού της Κοιμήσεως της Θεοτόκου, τα προτεινόμενα μέτρα οδηγούν στους Συντελεστές Ασφάλειας του παρακάτω πίνακα, βάσει των αναλύσεων που παρουσιάζονται στις Εικόνες 82-84.

Πίνακας 26: Αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας με έργα σταθεροποίησης για το Ναό Κοιμήσεως της Θεοτόκου

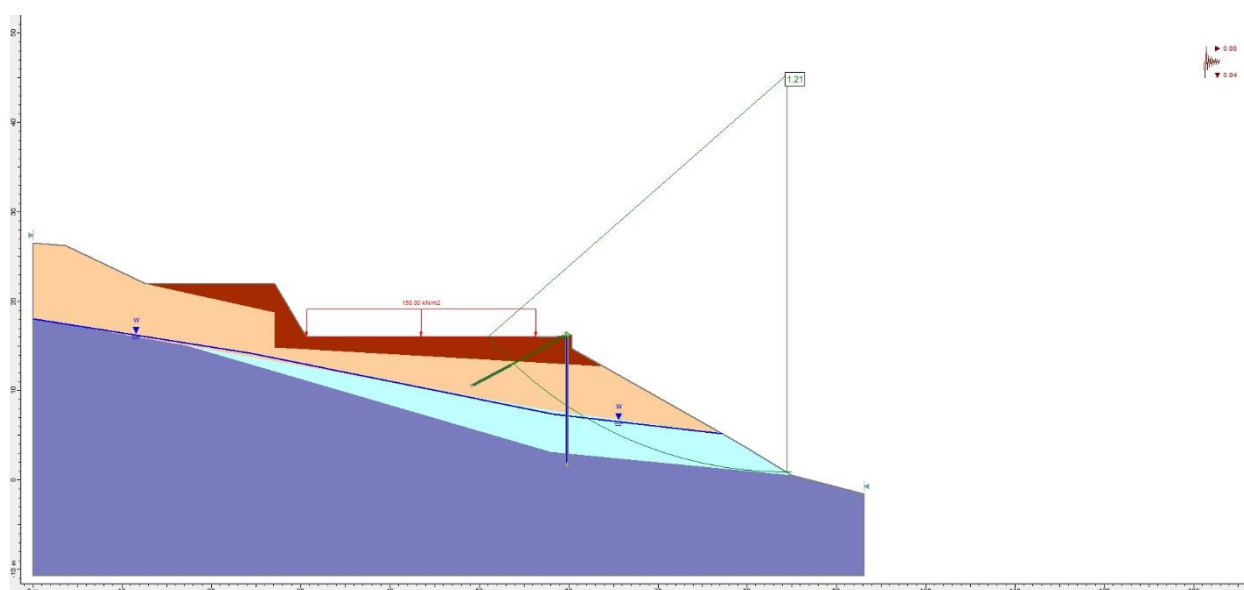
Συνδυασμοί Ανάλυσης	Απαιτούμενος Σ.Α. βάσει Ευρωκώδικα 7	Παραγόμενος Σ.Α.
Στατικές συνθήκες με συνήθη νερά	1.38	1.38
Σεισμός με συνήθη νερά	1.1	1.22
Ολική ευστάθεια με σεισμό και συνήθη νερά	1.1	1.21



Εικόνα 82: Διαστασιολόγηση μέτρων σταθεροποίησης Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου-Ανάλυση για στατικές συνθήκες



Εικόνα 83: Διαστασιολόγηση μέτρων σταθεροποίησης Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου-Ανάλυση με σεισμική επιβάρυνση



Εικόνα 84: Έλεγχος ολικής ευστάθειας με εφαρμογή μέτρων σταθεροποίησης Ναού Κοιμήσεως της Θεοτόκου-Ανάλυση για σεισμική επιβάρυνση

Με βάση τα παραπάνω εκτελέστηκαν αναλύσεις ευστάθειας με εφαρμογή μέτρων σταθεροποίησης έτσι ώστε να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι Συντελεστές Ασφαλείας. Στις αναλύσεις ο υδροφόρος ορίζοντας θεωρήθηκε στην υψηλότερη καταγεγραμμένη ετήσια στάθμη. Τα μέτρα σταθεροποίησης που εφαρμόστηκαν στην ανάλυση είναι κατακόρυφοι μικροπασσάλιοι μήκους $L=15,0\text{m}$ και διαξονική απόσταση $S_1=1,00\text{m}$ και αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους $L=12\text{m}$, με κλίση 30° από την οριζόντια και απόσταση $S_2=1,50\text{m}$ (Εικόνα 85). Ο οπλισμός και η ενεμάτωση των μικροπασσάλων και των αγκυρίων θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να προκύπτουν οι ιδιότητες του παρακάτω Πίνακα:

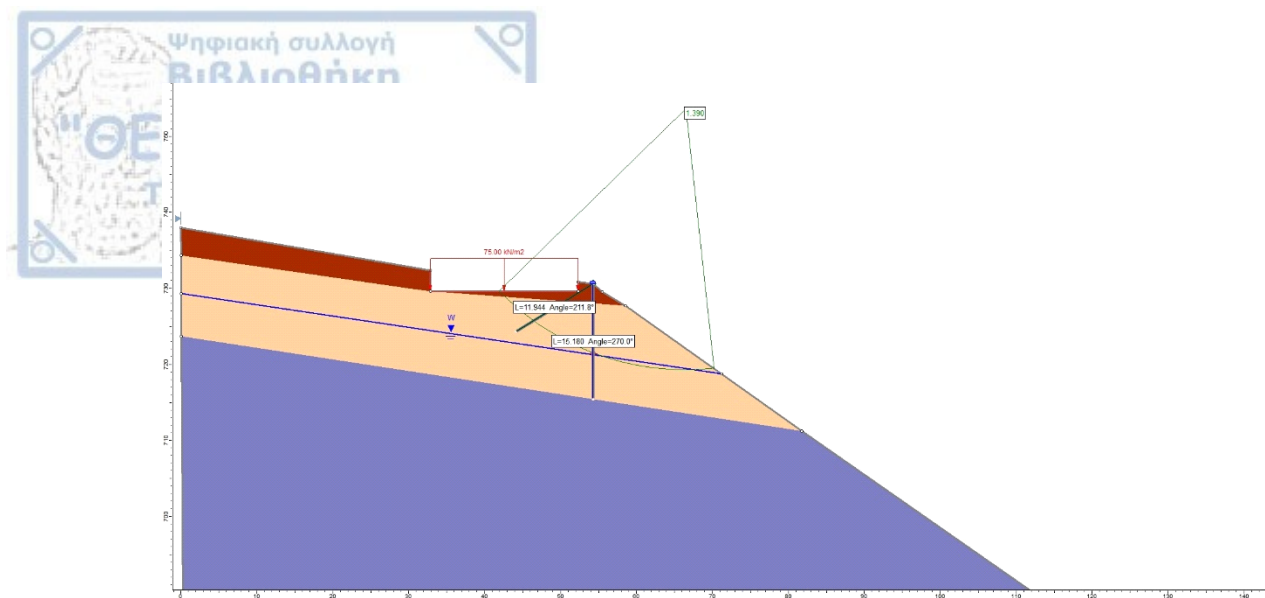
Πίνακας 27: Μέτρα αντιστήριξης για τον Άγιο Αθανάσιο

Μέτρα υποστήριξης	Out-of-plane spacing (m)	Pile shear strength (kN)	Tensile capacity (kN)	Plate capacity (kN)	Adhesion (kN/m ²)	Friction Angle (°)	Bond length
Micro pile (passive)	1.5	230					
Grouted tieback (passive)	1.5		150	150	5	40	40%

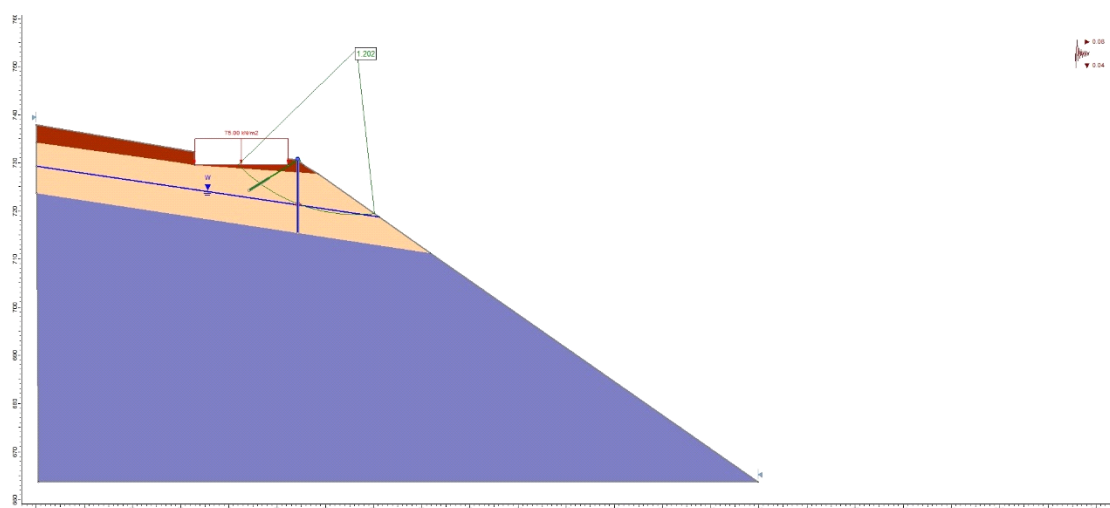
Για την περίπτωση του Ναού του Αγίου Αθανασίου, τα προτεινόμενα μέτρα οδηγούν στους Συντελεστές Ασφάλειας του παρακάτω πίνακα, βάσει των αναλύσεων που παρουσιάζονται στις Εικόνες 85-87.

Πίνακας 28: Αποτελέσματα ελέγχων ευστάθειας με έργα σταθεροποίησης για το Ναό Αγίου Αθανασίου

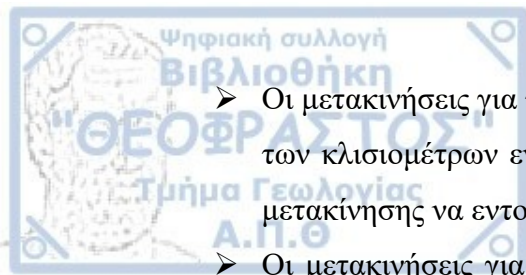
Συνδυασμοί Ανάλυσης	Απαιτούμενος Σ.Α. βάσει Ευρωκώδικα 7	Παραγόμενος Σ.Α.
Στατικές συνθήκες με συνήθη νερά	1.38	1.39
Σεισμός με συνήθη νερά	1.1	1.20
Ολική ευστάθεια με σεισμό και συνήθη νερά	1.1	1.13



Εικόνα 85: Διαστασιολόγηση μέτρων σταθεροποίησης Ναού Αγίου Αθανασίου-Ανάλυση για στατικές συνθήκες



Εικόνα 86: Διαστασιολόγηση μέτρων σταθεροποίησης Ναού Αγίου Αθανασίου-Ανάλυση με σεισμική επιβάρυνση



- Οι μετακινήσεις για το Ναό της Κοιμήσεως της Θεοτόκου σύμφωνα με τις μετρήσεις των κλισιομέτρων εντοπίζονται σε βάθος 8-11m με το βάθος της μέγιστης τοπικής μετακίνησης να εντοπίζεται στα 10m.
- Οι μετακινήσεις για το Ναό του Αγίου Αθανασίου σύμφωνα με τις μετρήσεις των κλισιομέτρων εντοπίζονται σε βάθος 9-11m με το βάθος της μέγιστης τοπικής μετακίνησης να εντοπίζεται στα 10m .
- Εκτιμάται πως ο μηχανισμός ενεργοποίησης των μετακινήσεων είναι παρόμοιος για τις δύο θέσεις μελέτης. Η στρωματογραφία χαρακτηρίζεται από την παρουσία επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης σχετικά υψηλής διαπερατότητας συγκριτικά με το υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο. Το περιβάλλον αυτό δημιουργεί εποχιακή "επικρεμάμενη" υδροφορία κατά τις υγρές περιόδους, με όριο τη διεπιφάνεια των εν λόγω σχηματισμών, με αποτέλεσμα την ενεργοποίηση μετακινήσεων. Οι μετακινήσεις αυτές οφείλονται πιθανόν στις δυνάμεις ροής της υπόγειας υδροφορίας και στη μείωση της αντοχής των γεωυλικών της διεπιφάνειας λόγω αύξησης του βαθμού κορεσμού τους. Το βάθος εκδήλωσης των μετακινήσεων οριοθετείται από τις στρωματογραφικές συνθήκες της περιοχής μελέτης με τον επιφανειακό χαλαρό σχηματισμό να ολισθαίνει κατά μήκος του ορίου με το σταθερό βραχώδες υπόβαθρο. Μέχρι σήμερα, οι παρατηρούμενες μετακινήσεις είναι μικρές, γεγονός που συμφωνεί με την ιστορικά αργή αλλά σταθερή εκδήλωση των φαινομένων ερπυσμού στις θέσεις μελέτης.
- Οι αστοχίες που εντοπίζονται είναι μεσαίου μεγέθους (ερπυστικά φαινόμενα) και επηρεάζονται περισσότερο κατά τη χειμερινή περίοδο λόγω αυξημένων βροχοπτώσεων (εύκρατο κλίμα).
- Οι αστοχίες που οφείλονται στα ερπυστικά φαινόμενα σύμφωνα με το τεχνικογεωλογικό μοντέλο επιδρούν και στις δύο περιπτώσεις στο ανατολικό κομμάτι του ναού, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από τις ρωγμές που παρουσιάζονται στο ανατολικό εσωτερικό και εξωτερικό κομμάτι του ναού, όπως φαίνεται και στις φωτογραφίες.
- Πραγματοποιήθηκαν ανάδρομες αναλύσεις (back analysis), στις οποίες, γνωρίζοντας το βάθος ολίσθησης από τις μετρήσεις των κλισιομέτρων και θεωρώντας ότι ο Συντελεστής Ασφάλειας σε αυτές τις περιπτώσεις είναι αυτός για συνθήκες οριακής ισορροπίας ($\Sigma.A.=1$), προσεγγίστηκαν οι παράμετροι αντοχής, δηλαδή συνοχή (c) και γωνία τριβής (ϕ) για κάθε έναν από τους δύο ναούς, που δίνουν ως αποτέλεσμα αστοχία για τη συγκεκριμένη επιφάνεια. Πραγματοποιήθηκε ως εξής: από τις

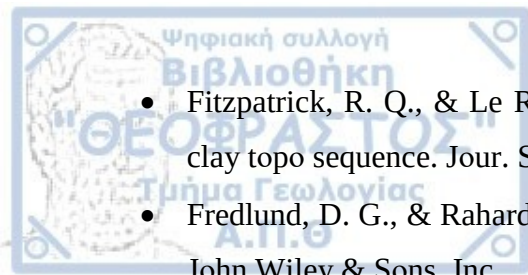
μετρήσεις των κλισιομέτρων , βρέθηκε το βάθος αυτό στο οποίο διαπιστώθηκαν οι μέγιστες μετακινήσεις.

- Τα μέτρα σταθεροποίησης που εφαρμόστηκαν στην ανάλυση για την Κοίμηση της Θεοτόκου είναι κατακόρυφοι μικροπάσσαλοι μήκους $L=14,5\text{m}$ και διαξονική απόσταση $S_1=0,80\text{m}$ και αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους $L=12\text{m}$, με κλίση $15^\circ\text{-}20^\circ$ από την οριζόντια και απόσταση $S_2=1,25\text{m}$
- Τα μέτρα σταθεροποίησης που εφαρμόστηκαν στην ανάλυση για τον Άγιο Αθανάσιο είναι κατακόρυφοι μικροπάσσαλοι μήκους $L=15,0\text{m}$ και διαξονική απόσταση $S_1=1,00\text{m}$ και αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης μήκους $L=12\text{m}$, με κλίση 30° από την οριζόντια και απόσταση $S_2=1,50\text{m}$
- Λόγω κύκλων ξήρανσης-ύγρυνσης υπάρχει μία μεταβολή όγκου η οποία αποτυπώνεται επί τόπου με τη μορφή παραμορφώσεων και ερπυστικών συμπεριφορών.
- Κατά θέσεις, είναι δύσκολο να διαχωριστεί κατά πόσο οι παρατηρούμενες παραμορφώσεις οφείλονται σε φαινόμενα καθιζήσεων λόγω υδροστερεοποίησης ή σε παραμορφώσεις λόγω διατμητικής αστοχίας.
- Στις συγκεκριμένες θέσεις, τα ερπυστικά φαινόμενα είναι αποτέλεσμα τριών παραγόντων και αυτοί είναι οι εξής: ενυδάτωση της περιοχής, μείωση της διατμητικής αντοχής εξαιτίας της αύξησης του βαθμού κορεσμού και στις δυνάμεις ροής της υπόγειας κυκλοφορίας.

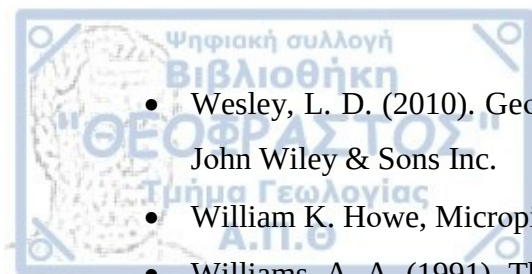
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γ. Κούκης, Ν. Σαμπατακάκης, 2002 «Τεχνική Γεωλογία», *Εκδόσεις Παπασωτηρίου*
- Γ. Κούκης, Ν. Σαμπατακάκης, 2007 «Γεωλογία Τεχνικών έργων», *Εκδόσεις Παπασωτηρίου*
- Δ. Μουντράκης, 2010 «Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας», *University Studio Press*
- ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ «Ελληνικός Αντισεισμικός κανονισμός 2000»
- Ευρωκώδικας 7
- Μ. Καββαδάς «Εφαρμογές του Ευρωκώδικα 7 (EN 1997-1) σε θέματα σχεδιασμού Γεωτεχνικών Έργων», *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ)*
- ΙΓΜΕ (1981), Φύλλον Ραψάνη
- Μαρίνος Π., Τσιαμπάος Γ. (2009) Παρουσιάσεις «Τεχνικής Γεωλογίας» τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ. Έκδοση Γεωτεχνικού Τομέα Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ.
- Μαρίνος Μ., (2012) Παρουσιάσεις «Τεχνικής Γεωλογίας» τμήματος Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Καλλέργης Γ. (1999). « Τεχνικό επιμελητήριο Ελλάδος», PressLine, Αθήνα
- Α. Αναγνωστόπουλος, Μ. Καββαδάς, Β. Παπαδόπουλος, 2009 «Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7 (EN 1997)», *Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος (ΤΕΕ)*
- Στιμάραντζης Θ, Δημόπουλος Γ.Χ., Κίλιας Α.Α., Χατζηαγγέλου Μ., Χατζηγώγος Ν. & Χρηστάρας Β. (2004). Διερεύνηση Συνθηκών Ευστάθειας Υψηλού Ανοικτού Ανοίγματος Κατά Μήκος της Εγνατίας Οδού, Ασπροβάλτα-Μακεδονία. Δελτίον Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. 36, σελ. 1833-1842. ΕΛ.Γ.Ε.
- Χατζηγώγος Ν. Θ., & Μακεδών Θ. Κ. (2008). Η Επίδραση της Παρουσίας Υπολειμματικών Εδαφών στην Ευστάθεια Πρανών σε Μεταμορφωμένα Πετρώματα με Έντονη Αποσάθρωση και Καταπόνηση. Πρακτικά 3^{ου} Π.Σ.Α.Μ.Η.Τ.Σ. Αθήνα
- Ι. Ρίσβα, 2012 «Κατολισθητικές κινήσεις στην περιοχή Προυσού, Ευρυτανίας» Διπλωματική εργασία – Τμήμα Γεωλογίας Πατρών
- Τομπουλίδου Σοφία, 2013, «Έλεγχος της διακινδύνευσης έργων αντιστήριξης με ενόργανες καταγραφές», Διπλωματική εργασία – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή – Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.
- Αντιμετώπιση των κατολισθήσεων με πασσάλους, 1988 Αναγνωστόπουλος Χρήστος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

- Εγνατία οδός, 2004 «Γέφυρες Εγνατίας Οδού, Γεωτεχνικά Θέματα στην Εγνατία Οδό» Τεχνικά χρονικά
- Barnes, G. E. (2000). Soil Mechanics: Principles and Practice. Palgrave MacMillan
- Blight, G. E. (1988). Construction in tropical soils. Proc. 2nd Int. Conf. on Geomechanics in Tropical Soils, II, σσ. 449-467. Singapore.
- Blight, G. E. (1997). Mechanics of Residual Soils. Rotterdam, Netherlands: Balkema.
- Cantoni, R, Collotta, T, Ghionna, V N, Moretti, P C, 1985, A design method for reticulated micropile structures in sliding slopes.
- Chatzigogos, N. T., Makedon, T., Tsotsos, S., & Christaras, B. (2006). Implementation of a ground investigation strategy on urban fills. 10th IAEG Congress. Nottingham, UK.
- Ching, R. K., Sweeney, D. J., & Fredlund, D. G. (1984). Increase in factor of safety due to soil suction in two Jong Kong slopes. Proc. 4th Int. Symp. on Landslides (σελ. 617-623). Toronto: BiTech.
- Chatziaggelou, M., & Christaras, B. (2005). Influence of Rainfall on Slope Stability at Egnatia Highway, Asprovalta-Strymonas Part. Journal of the Mechanical Behavior of Materials , 16 (1-2), 21-26.
- Chatziaggelou, M., & Christaras, B. (2006). Instability of Sopes Along the Nymphopetra to Strymonas Section of the Egnatia Highway in N. Greece. 10th IAEG Congress: Engineering Geology for Tomorrow's Cities. Nottingham: IAEG.
- Chatzigogos, N., Makedon, T., & Tsotsos, S. (2007). The mechanical behaviour of gneissous rocks and the selection of strength parameters for stability analysis of excavated slopes. 1st SLGS Int. Conf. on Soil and Rock Engineering. Colombo, Sri Lanka.
- Ching, R. K., Sweeney, D. J., & Fredlund, D. G. (1984). Increase in factor of safety due to soil suction in two Jong Kong slopes. Proc. 4th Int. Symp. on Landslides (σσ. 617-623). Toronto: BiTech
- Craig, R. F. (1992). Soil Mechanics. London: Chapman & Hall
- Cowland, J. W., & Carbray, A. M. (1988). Three cut slop[e failures in relict discontinuities in saprolitic soils. Proc. 2nd Int. Conf. Geomechanics in Tropical Soils, 1, σσ. 253-258. Singapore.
- De Graft-Johnson, J. W., & Bhatia, H. S. (1969). General report-engineering characteristics. Proc. Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineerin, 2, σσ. 13-43. Mexico.
- Deere, D. V., & Patton, F. D. (1971). Slope stability in residual soils. Proc. 4th Pan. Am. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, I, σσ. 87-170. Puerto Rico.



- Fitzpatrick, R. Q., & Le Roux, J. (1977). Mineralogy and chemistry of a Transvaal black clay topo sequence. Jour. Soil Sci. , 28, σσ. 165-179.
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (1993). Soil Mechanics for Unsaturated Soils. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- GCO. (1988). Guide to Rock and Soil Descriptions. Geoguide 3. Geotechnical Control Office, Hong Kong.
- Geotechnical Manual for Slopes (2nd εθδ.). (2000). Hong Kong: Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, The Government of Hong Kong
- Gidigas, M. D. (1976). Lateritic Soil Engineering. Amsterdam: Elsevier.
- Lumb, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engng Geology (8), σσ. 31-65.
- Mason, B. (1949). Oxidation and reduction in geochemistry. Jour.Geol. , 57 (1), σσ. 62-72.
- Mitchel, J. K. (1976). Fundamentals of soil behavior. New York: Wiley .
- M. Budhu, 2011 « Soil Mechanics and Foundations»_John Wiley & Sons, Inc
- Morin, W. J., & Ayetey, J. (1971). Formation and properties of red tropical clays. 5th Reg. Conf. for Africa on Soil Mech. & Found. Eng., (σσ. 45-53). Luanda, Angola
- Strakhov, N. M. (1967). The principles of lithogenesis (Σφκ. 1). Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Tan, Y. C., & Gue, S. S. (2001). The determination of shear strength in residual soils for slope stability analysis. Seminar Cerun Kebangsaan. Cameron Highlands.
- Townsend, F. C. (1985). Geotechnical characteristics of residual soils. Journal of Geotechnical Engineering (1), σσ. 77-94.
- Uehara, G. (1982). Soil science for the tropics. Engineering and construction in tropical and residual soils. ASCE Geotch. Div. Spec. Conf., (σσ. 13-26). Honolulu, Hawai.
- Van der Merwe, D. H. (1965). The soils and their engineering properties of an area between Pretoria and Brits, Transvaal. DSc Thesis, University of Pretoria.
- Vargas, M. (1974). Engineering properties of residual soils from South-Central Region of Brazil. 2nd Int. Conf. of the Int. Assoc. of Engng. Geology, 1, ζζ. 5.1-5.26. Sao Paolo.
- Vaughan, P. R. (1988). Keynote paper: Characterising the mechanical properties of in situ residual soil. Proc. 2nd Int. Conf. Geomechanics in Tropical Soils, 2, σσ. 469-487. Singapore
- Weinert, H. H. (1974). A climatic index of weathering and its application in road construction. Geotechnique , 23 (4), σσ. 471-494.



- Wesley, L. D. (2010). Geotechnical Engineering in Residual Soils. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- William K. Howe, Micropiles for Slope Stabilization, Biennial Geotechnical Seminar 2010
- Williams, A. A. (1991). The extraordinary phenomenon of chemical heaving and its effect on buildings and roads. Proc. 10th Reg. Conf. for Africa on Soil Mech. and Found. Eng., 1, σσ. 91-98. Maseru, Lesotho.
- Y.D. Zhou C.Y. Cheuk, L.G. Tham, Numerical modeling of soil nails in loose fill slope under surcharge loading, Computers and Geotechnics
Volume 36, Issue 5, June 2009, Pages 837–850
- Zaruba, O., & Mencl, V. (1976). Engineering Geology. Amsterdam: Elsevier Scientific.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. ΚΟΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΟΤΟΚΟΥ

- i) Χειμερινή περίοδος
- Με σεισμική φόρτιση

Slide Analysis Information

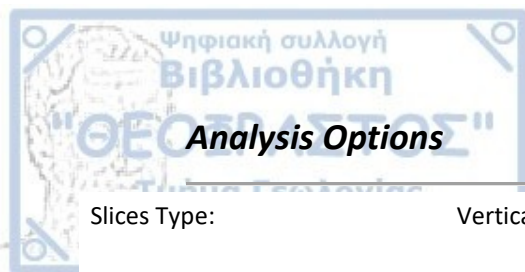
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide Θ(γ₁ X₂ X₃ X₄ X₅)
Last saved with Slide version: 7.017
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: seconds
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20



Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified
 Janbu corrected
 Ordinary/Fellenius
 Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50
 Check $m_{\alpha} < 0.2$: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

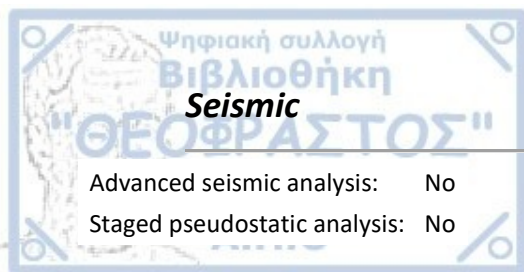
Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
 Use negative pore pressure cutoff: Yes
 Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
 Advanced Groundwater Method: Excess Pore Pressure

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined
 Minimum Area: Not Defined
 Minimum Weight: Not Defined



Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.08

Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.04

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 150
Orientation: Normal to boundary
Creates Excess Pore Pressure: No

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5
Color				
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	19	21	
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	21	23	
Cohesion [kPa]		11	11	
Friction Angle [deg]		25	25	
Cohesion Type	50			
Water Surface	None	Water Table	Water Table	None
Hu Value		Automatically Calculated	Automatically Calculated	
Ru Value	0			0
Material Weight Causes Excess Pore Pressure		Yes	Yes	
B_bar value	0			0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-6.50305	17.3795

78.6904 5.33504

Distributed Load

X	Y
56.5693	14.6123
30.5492	14.6123

External Boundary

X	Y
0	-10.7469
93.09	-10.7469
93.09	-1.6
84.953	0.5
79.637	3.8
77.256	4.974
63.8996	12.7097
60.384	14.7
60.384	16.2
59.769	16.2
56.5693	16.2
56.5693	14.6123
30.5492	14.6123
27.11	21.9
12.681	21.9
3.655	26.2
0	26.5
0	18.0226

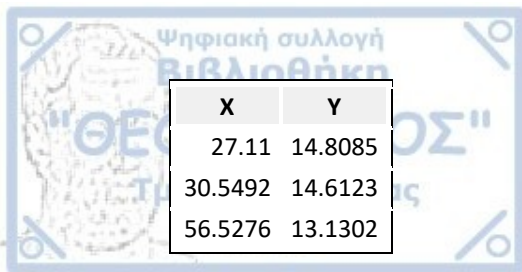
Material Boundary

X	Y
27.11	18.728
27.11	21.9

Material Boundary

X	Y
12.681	21.9
27.11	18.728
27.11	14.8085

Material Boundary



X	Y
27.11	14.8085
30.5492	14.6123
56.5276	13.1302

Material Boundary

X	Y
0	18.0226
17.1481	15.0002
58	7.8
77.256	4.974

Material Boundary

X	Y
58	3.15
84.953	0.5

Material Boundary

X	Y
17.1481	15.0002
58	3.15

Material Boundary

X	Y
56.5276	13.1302
63.8996	12.7097

➤ Χωρίς σεισμική φόρτιση

➤ **Slide Analysis Information**

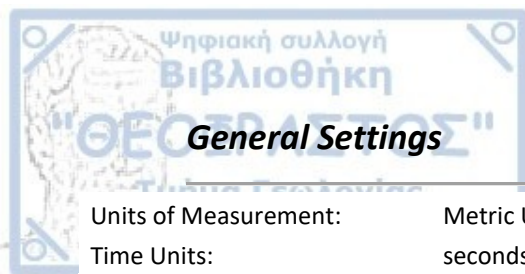
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide Θ(γ^π) Χ_Θ

Last saved with Slide version: 7.017

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program



General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	seconds
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
--------------	----------

Analysis Methods Used

	Bishop simplified
	Janbu simplified
	Janbu corrected
	Ordinary/Fellenius
Number of slices:	25
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	50
Check malpha < 0.2:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

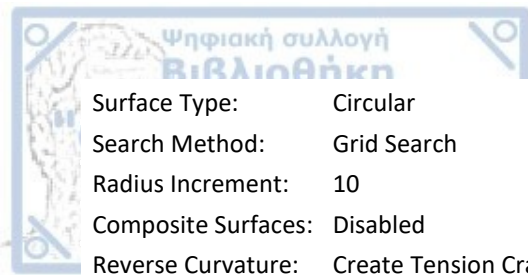
Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	Excess Pore Pressure

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options



Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined
 Minimum Area: Not Defined
 Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
 Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
 Magnitude [kPa]: 150
 Orientation: Normal to boundary
 Creates Excess Pore Pressure: No

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5
Color				
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	19	21	
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	21	23	
Cohesion [kPa]		11	11	
Friction Angle [deg]		25	25	
Cohesion Type	50			
Water Surface	None	Water Table	Water Table	None
Hu Value		Automatically Calculated	Automatically Calculated	
Ru Value	0			0
Material Weight Causes Excess Pore Pressure		Yes	Yes	
B_bar value	0			0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-6.50305	17.3795
78.6904	5.33504

Distributed Load

X	Y
56.5693	14.6123
30.5492	14.6123

External Boundary

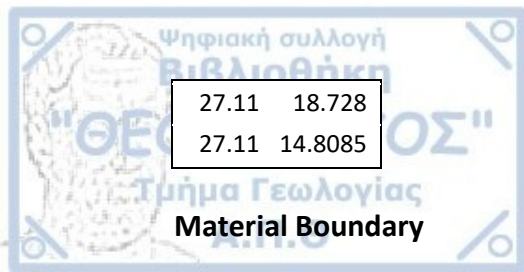
X	Y
0	-10.7469
93.09	-10.7469
93.09	-1.6
84.953	0.5
79.637	3.8
77.256	4.974
63.8996	12.7097
60.384	14.7
60.384	16.2
59.769	16.2
56.5693	16.2
56.5693	14.6123
30.5492	14.6123
27.11	21.9
12.681	21.9
3.655	26.2
0	26.5
0	18.0226

Material Boundary

X	Y
27.11	18.728
27.11	21.9

Material Boundary

X	Y
12.681	21.9



27.11	18.728
27.11	14.8085

Material Boundary

X	Y
27.11	14.8085
30.5492	14.6123
56.5276	13.1302

Material Boundary

X	Y
0	18.0226
17.1481	15.0002
58	7.8
77.256	4.974

Material Boundary

X	Y
58	3.15
84.953	0.5

Material Boundary

X	Y
17.1481	15.0002
58	3.15

Material Boundary

X	Y
56.5276	13.1302
63.8996	12.7097

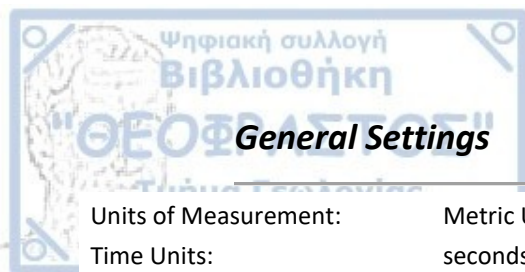
- ii) Θερινή περίοδος
Με σεισμική φόρτιση

➤ Slide Analysis Information

Project Summary

File Name: Slide Θ(ζη Xη, ζιη Xη, ζιη Xη)

Last saved with Slide version: 7.017



General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	seconds
Permeability Units:	meters/second
Failure Direction:	Left to Right
Data Output:	Standard
Maximum Material Properties:	20
Maximum Support Properties:	20

Analysis Options

Slices Type:	Vertical
--------------	----------

Analysis Methods Used

	Bishop simplified
	Janbu simplified
	Janbu corrected
	Ordinary/Fellenius
Number of slices:	25
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	50
Check $m\alpha < 0.2$:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

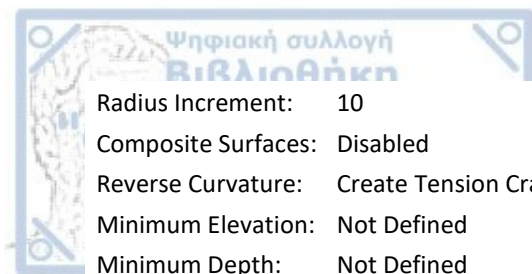
Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	Excess Pore Pressure

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Grid Search



Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined
 Minimum Area: Not Defined
 Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
 Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.08
 Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.04

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
 Magnitude [kPa]: 150
 Orientation: Normal to boundary
 Creates Excess Pore Pressure: No

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5
Color				
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	20		
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	20		
Cohesion [kPa]		11	11	
Friction Angle [deg]		25	25	
Cohesion Type	50			
Water Surface	None	None	Water Table	None
Hu Value			Automatically Calculated	
Ru Value	0	0		0
Material Weight Causes Excess Pore Pressure				
B_bar value	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	12.692
24.4278	8.8508
58.3711	2.03079
93.09	-9.57108

Distributed Load

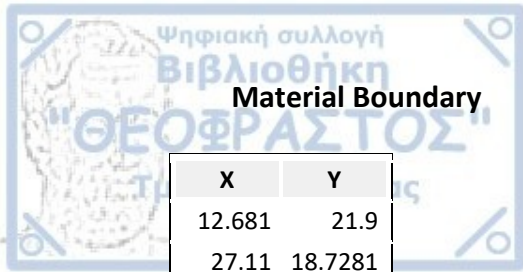
X	Y
56.3375	16
30.6186	16

External Boundary

X	Y
0	-10.7469
93.09	-10.7469
93.09	-1.6
84.953	0.5
79.637	3.8
77.1842	5.18863
63.8996	12.7097
60.384	14.7
60.384	16.2
59.769	16.2
58.139	16
30.6186	16
27.11	21.9
12.681	21.9
3.655	26.2
0	26.5
0	18.0226

Material Boundary

X	Y
27.11	18.7281
27.11	21.9



Material Boundary

X	Y
12.681	21.9
27.11	18.7281
27.11	14.8085
63.8996	12.7097

Material Boundary

X	Y
27.11	14.8085
56.4113	14.8085

Material Boundary

X	Y
0	18.0226
17.1481	15.0002
58	7.8
77.1842	5.18863

Material Boundary

X	Y
58	3.15
84.953	0.5

Material Boundary

X	Y
17.1481	15.0002
58	3.15

- Χωρίς σεισμική φόρτιση

➤ ***Slide Analysis Information***



Project Summary

File Name: Slide Θ(z X)

Last saved with Slide version: 7.017

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: seconds
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

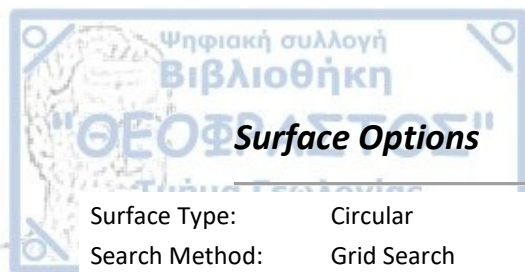
Bishop simplified
Janbu simplified
Janbu corrected
Ordinary/Fellenius
Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check $m\alpha < 0.2$: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: Excess Pore Pressure

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3



Surface Options
 Surface Type: Circular
 Search Method: Grid Search
 Radius Increment: 10
 Composite Surfaces: Disabled
 Reverse Curvature: Create Tension Crack
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined
 Minimum Area: Not Defined
 Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
 Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
 Magnitude [kPa]: 150
 Orientation: Normal to boundary
 Creates Excess Pore Pressure: No

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 4	Material 5
Color				
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	20		
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	20		
Cohesion [kPa]		11	11	
Friction Angle [deg]		25	25	
Cohesion Type	50			
Water Surface	None	None	Water Table	None
Hu Value			Automatically Calculated	
Ru Value	0	0		0

Material Weight Causes Excess Pore Pressure

B_bar value

0

0

0

0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	12.692
24.4278	8.8508
58.3711	2.03079
93.09	-5.10734

Distributed Load

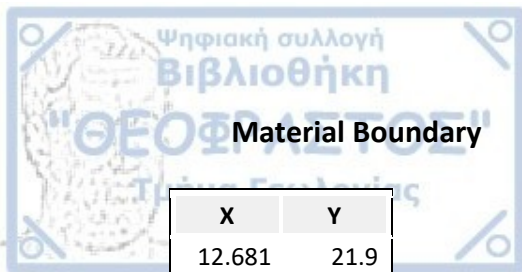
X	Y
56.3375	16
30.6186	16

External Boundary

X	Y
0	-10.7469
93.09	-10.7469
93.09	-1.6
84.953	0.5
79.637	3.8
77.1842	5.18863
63.8996	12.7097
60.384	14.7
60.384	16.2
59.769	16.2
58.139	16
30.6186	16
27.11	21.9
12.681	21.9
3.655	26.2
0	26.5
0	18.0226

Material Boundary

X	Y
27.11	18.7281
27.11	21.9



Material Boundary

X	Y
12.681	21.9
27.11	18.7281
27.11	14.8085
63.8996	12.7097

Material Boundary

X	Y
27.11	14.8085
56.4113	14.8085

Material Boundary

X	Y
0	18.0226
17.1481	15.0002
58	7.8
77.1842	5.18863

Material Boundary

X	Y
58	3.15
84.953	0.5

Material Boundary

X	Y
17.1481	15.0002
58	3.15

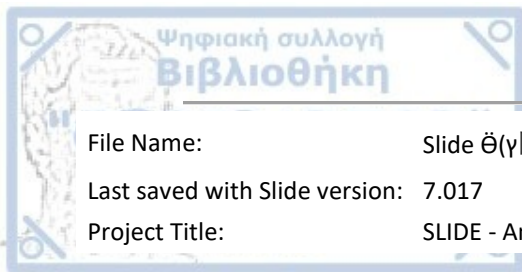
2) Άγιος Αθανάσιος

i) Χειμερινή περίοδος

➤ Με σεισμική φόρτιση

Slide Analysis Information ***SLIDE - An Interactive Slope Stability Program***

Project Summary



File Name: Slide Θ(γ₁ X₂, ζ₁ ζ₂, ζ₃)
Last saved with Slide version: 7.017
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: seconds
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

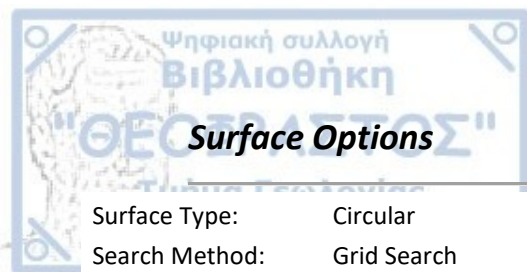
Bishop simplified
Janbu simplified
Janbu corrected
Ordinary/Fellenius
Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check $m\alpha < 0.2$: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3



Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.08
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.04

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 75
Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 5
Color			
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	19	
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	21	
Cohesion [kPa]		11	
Friction Angle [deg]		25	
Cohesion Type	50		
Water Surface	None	Water Table	None
Hu Value		Automatically Calculated	
Ru Value	0		0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.7374	729.868
81.9266	716.813

Distributed Load

X	Y
52.3149	729.576
32.8424	729.576

External Boundary

X	Y
0.437	663.76
149.874	663.76
81.7965	711.217
58.497	727.715
55.468	729.57
54.268	730.61
52.3149	730.848
52.3149	729.576
32.8424	729.576
32.8424	732.34
0	737.96
0.0216571	734.283
0.0838896	723.716

Material Boundary

X	Y
0.0216571	734.283
30	730
32.8424	729.576
58.497	727.715

Material Boundary

X	Y
0.0838896	723.716
81.7965	711.217

➤ Χωρίς σεισμική φόρτιση



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide Θ(γ^Γ X^Γ)
Last saved with Slide version: 7.017
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: seconds
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

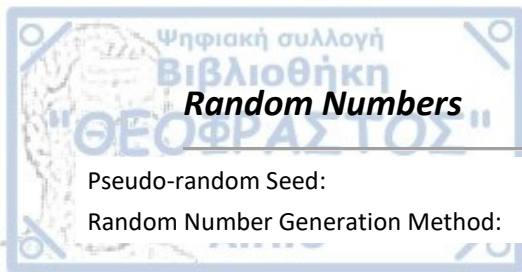
Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified
Janbu corrected
Ordinary/Fellenius
Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None



Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 75
Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 5
Color			
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20	19	
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20	21	
Cohesion [kPa]		11	
Friction Angle [deg]		25	
Cohesion Type	50		
Water Surface	None	Water Table	None

Hu Value

Automatically Calculated

Ru Value

0

0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.7374	729.868
81.9266	716.813

Distributed Load

X	Y
52.3149	729.576
32.8424	729.576

External Boundary

X	Y
0.437	663.76
149.874	663.76
81.7965	711.217
58.497	727.715
55.468	729.57
54.268	730.61
52.3149	730.848
52.3149	729.576
32.8424	729.576
32.8424	732.34
0	737.96
0.0216571	734.283
0.0838896	723.716

Material Boundary

X	Y
0.0216571	734.283
30	730
32.8424	729.576
58.497	727.715

Material Boundary

X	Y
0.0838896	723.716

81.7965 711.217

ii)Θερινή περίοδος

➤ Με σεισμική φόρτιση

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide Θ(ζη Xη, 짐짚뽀뽀)
Last saved with Slide version: 7.017
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: seconds
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

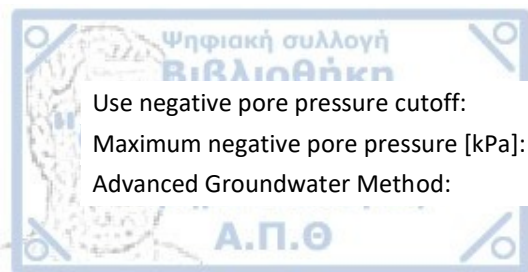
Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified
Janbu corrected
Ordinary/Fellenius
Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50
Check malpha < 0.2: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]: 9.81



Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius Increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.08
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.04

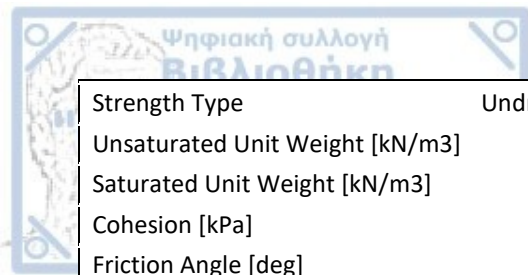
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 75
Orientation: Normal to boundary

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 5
Color			



Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20	19	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	
Cohesion [kPa]		11	
Friction Angle [deg]		25	
Cohesion Type	50		
Water Surface	None	Water Table	None
Hu Value	Automatically Calculated		
Ru Value	0		0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.75381	727.466
81.9102	714.411

Distributed Load

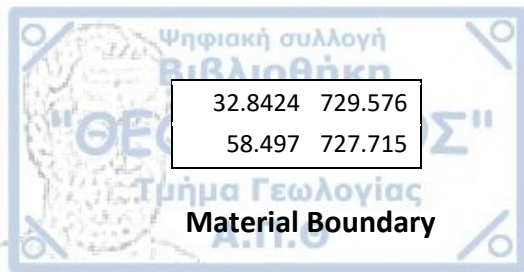
X	Y
52.3149	729.576
32.8424	729.576

External Boundary

X	Y
0.437	663.76
149.874	663.76
81.7965	711.217
58.497	727.715
55.468	729.57
54.268	730.61
52.3149	730.848
52.3149	729.576
32.8424	729.576
32.8424	732.34
0	737.96
0.0216571	734.283
0.0838896	723.716

Material Boundary

X	Y
0.0216571	734.283
30	730



32.8424	729.576
58.497	727.715

Material Boundary

X	Y
0.0838896	723.716
81.7965	711.217

➤ Χωρίς σεισμική φόρτιση

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Slide Θ(ζ X) X

Last saved with Slide version: 7.017

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

Units of Measurement: Metric Units

Time Units: seconds

Permeability Units: meters/second

Failure Direction: Left to Right

Data Output: Standard

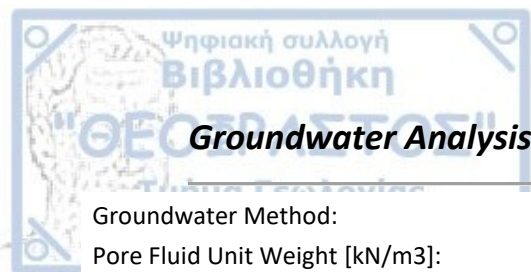
Maximum Material Properties: 20

Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
	Janbu simplified
	Janbu corrected
	Ordinary/Fellenius
Number of slices:	25
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	50
Check malpha < 0.2:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes



Groundwater Analysis

Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m ³]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type:	Circular
Search Method:	Grid Search
Radius Increment:	10
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Create Tension Crack
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth:	Not Defined
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	75
Orientation:	Normal to boundary

Material Properties

Property	Material 2	Material 3	Material 5
Color			
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Infinite strength
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20	19	
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	
Cohesion [kPa]		11	
Friction Angle [deg]		25	
Cohesion Type	50		
Water Surface	None	Water Table	None
Hu Value	Automatically Calculated		
Ru Value	0		0

List Of Coordinates

Water Table

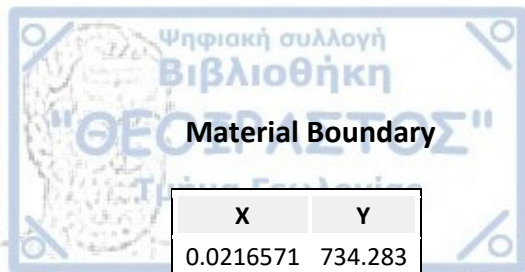
X	Y
-1.75381	727.466
81.9102	714.411

Distributed Load

X	Y
52.3149	729.576
32.8424	729.576

External Boundary

X	Y
0.437	663.76
149.874	663.76
81.7965	711.217
58.497	727.715
55.468	729.57
54.268	730.61
52.3149	730.848
52.3149	729.576
32.8424	729.576
32.8424	732.34
0	737.96
0.0216571	734.283
0.0838896	723.716



Material Boundary

X	Y
0.0216571	734.283
30	730
32.8424	729.576
58.497	727.715

Material Boundary

X	Y
0.0838896	723.716
81.7965	711.217