



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΜΠΗΚΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΘΕΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2017



ΜΠΗΚΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΘΕΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ
ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του
Μεταπτυχιακού
Προγράμματος Σπουδών «Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον» με
ειδίκευση στην
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική
Γεωλογία» Τομέας Γεωλογίας
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης:

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής
Δρ. Μακεδών Θωμάς, Ε.ΔΙ.Π., Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής
Επιτροπής
Δρ. Χατζηγώγος Νικόλαος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής
Επιτροπής
Καθηγητής, Χατζηγώγος Θεόδωρος, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής
Επιτροπής
Επίκουρος Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς
Εξεταστικής Επιτροπής



©Μπήκας Στυλιανός Αλέξανδρος, 2017

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rightw reserved.

ΘΕΜΑΤΑ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΝΕΟΓΕΝΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξολοκλήρου 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 το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» του τμήματος Γεωλογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στην κατεύθυνση «Τεχνική Γεωλογία και Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία».

Αποτελεί διατριβή ειδίκευσης του Μπήκα Στυλιανού Αλέξανδρου, Γεωλόγου του Πανεπιστημίου Αριστοτελείου Θεσσαλονίκης υπό την επίβλεψη του κ. Μαρίνου Βασίλειου, Επίκουρου Καθηγητή Τεχνικής Γεωλογίας. Πραγματεύεται την εφαρμογή ανάλυσης ευστάθειας πρηνών σε περιβάλλον Νεογενών σχηματισμών, μέσω ειδικών λογισμικών. Η εφαρμογή της ανάλυσης έγινε σε Νεογενή μαργαϊκά πρηνή, σε παράκτιο περιβάλλον, στο ύψος της Επαρχιακής οδού Νέας Φώκαιας - Παλιουρίου, που παρουσίασαν αστοχίες – κατολισθήσεις στη χερσόνησο της Κασσάνδρας του νομού Χαλκιδικής.

Στην τριμελή συμβουλευτική επιτροπή συμμετείχαν ο κύριος Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής Τεχνικής Γεωλογίας, ο Δρ. Μακεδών Θωμάς Ε.ΔΙ.Π. του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και ο Δρ. του ΑΠΘ Χατζηγώγος Νικόλαος. Η τριμελής εξεταστική επιτροπή ορίστηκε από την συντονιστική επιτροπή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» και απαρτίζεται από τους κυρίους Μαρίνο Βασίλειο, επίκουρο καθηγητή, Χρηστάρα Βασίλειο, καθηγητή Τεχνικής Γεωλογίας και Χατζηγώγο Θεόδωρο, καθηγητή Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Μαρίνο Βασίλειο για τη δυνατότητα ενασχόλησης με το συγκεκριμένο ζήτημα, τη συνεχή καθοδήγηση και υποστήριξη για την ολοκλήρωση της διατριβής. Ευχαριστίες οφείλω στον Δρ. Μακεδόνα Θωμά για την καθοδήγησή του, όπως επίσης και στον Δρ. Χατζηγώγο Νικόλαο για τη σημαντική προσφορά του. Τέλος ευχαριστώ τον κύριο Χατζηγώγο Θεόδωρο για τη συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους φίλους που έκανα την περίοδο των μεταπτυχιακών σπουδών, Πανταζοπούλου Ζωή, Σαραντοπούλου Μαρία, Γρένδα Νικόλαο και Τζαλαμαρία Ιωάννη για την συνεχή συμπαράσταση. Επίσης ευχαριστώ τις υποψήφιες διδάκτορες Κοκκαλά Αλίκη και Βενετσάνου Παναγιώτα για

την βοήθεια και την στήριξή τους. Ένα μεγάλο ευχαριστώ και την αγάπη μου στους φίλους και την οικογένειά μου για την ανοχή και την ηθική, ψυχολογική και οικονομική συμβολή τους κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

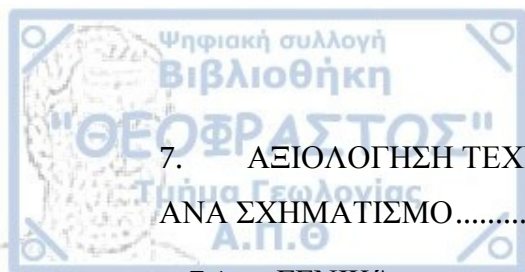
Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που οδηγούν στην εμφάνιση κατολισθητικών φαινομένων σε περιβάλλον Νεογενών αποθέσεων στην περιοχή της χερσονήσου της Κασσάνδρας στην Χαλκιδική. Στην περιοχή εντοπίζονται ιζηματογενείς σχηματισμοί του Νεογενούς και πιο συγκεκριμένα μαργαϊκές αποθέσεις, που περιέχουν μαργαϊκούς ασβεστόλιθους με ενστρώσεις μεγάλου πάχους πληρωμένες από αργιλικό έως αμμώδες υλικό. Εκτελέστηκε ανάλυση γεωλογικών και τεκτονικών στοιχείων στην περιοχή και αξιολόγηση των δειγμάτων των γεωτρήσεων που διανοίχθηκαν στα πλαίσια γεωτεχνικής μελέτης για λογαριασμό της Περιφέρειας Κ. Μακεδονίας, με σκοπό το διαχωρισμό τεχνικογεωλογικών ενοτήτων. Ο διαχωρισμός αυτός έγινε με στόχο την αναγνώριση της μηχανικής συμπεριφοράς και στον προσδιορισμό του μηχανισμού αστοχίας καθώς και τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας.

Ο μηχανισμός εκδήλωσης της αστοχίας ανήκει στην περίπτωση της αστοχίας λόγω υποσκαφής, όπου ασβεστολιθικοί ορίζοντες με μικρή γωνία κλίσης αντίρροπης ως προς την κλίση του πρανούς, αστοχούν λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής ασυνεχειών μετά από διάβρωση των υποκείμενων σχηματισμών μικρής αντοχής. Οι εξαλλοιωμένοι ορίζοντες μεταξύ των ασβεστολιθικών τεμαχών που είναι τα ασθενέστερα μέλη της σειράς, είναι περισσότερο επιρρεπείς σε διάβρωση εξαιτίας των πιο φτωχών μηχανικών χαρακτηριστικών τους. Έτσι δημιουργούνται φυσικές υποσκαφές στα πρανή με αποτέλεσμα τα ανθεκτικότερα ασβεστολιθικά στρώματα να χάνουν υποστήριξη και να επικρέμονται προκαλώντας καμπτική ροπή στα στρώματα αυτά. Όταν επέρχεται υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής των υγιών «γεφυρών» κατά μήκος των ασυνεχειών στη μάζα του ασβεστόλιθου έχουμε αστοχία και πρόκληση βραχύδους κατάπτωσης των ασβεστολιθικών οριζόντων. Επομένως τόσο ο μηχανισμός της αστοχίας όσο και ο συντελεστής ασφάλειας εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ασβεστολιθικής βραχομάζας, και από τη διαβρωσιμότητα των εδαφικών αποθέσεων.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1. ΓΕΝΙΚΑ	8
1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ-ΣΚΟΠΟΣ	8
1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	8
2. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ	10
2.1. ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ.....	10
2.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	11
3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΒΡΑΧΩΔΗ ΠΡΑΝΗ	13
3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	14
3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ.....	15
3.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ.....	15
4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	20
5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	22
5.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	22
5.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	24
5.3. ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	27
5.4. ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	29
5.5. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	31
6. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	34
6.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	34
6.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ	35
6.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ GSI.....	44



7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ.....	50
7.1 ΓΕΝΙΚΑ	50
7.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ	51
7.3 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	52
7.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	57
8. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ.....	66
8.1. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ	66
8.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ	69
8.3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ.....	71
8.4 ΥΠΟΣΚΑΦΗ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	83
8.5 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.....	86
9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	88
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΓΕΝΙΚΑ

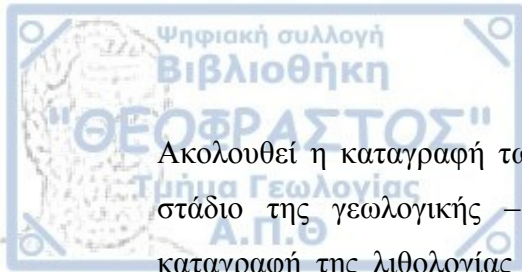
Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής μεταπτυχιακής εργασίας υλοποιείται η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας στα τεχνητά πρηνή της Επαρχιακής οδού Νέας Φώκαιας - Παλιουρίου που οδήγησαν στην εκδήλωση δύο σημαντικών αστοχιών – κατολισθήσεων βραχωδών πρανών. Οι αστοχίες είχαν ως αποτέλεσμα τον αποκλεισμό του συγκεκριμένου οδικού δικτύου, που αποτελούσε τη μοναδική οδό πρόσβασης στο υπόλοιπο τμήμα της χερσονήσου της Κασσάνδρας.

1.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ-ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της έρευνας, είναι η εφαρμογή μιας μεθοδολογίας ανάλυσης της ευστάθειας βραχωδών πρανών σε περιβάλλον Νεογενών σχηματισμών και προσδιορισμό του μηχανισμού αστοχίας τους, με σκοπό τον ασφαλή σχεδιασμό μέτρων πρόληψης και προστασίας στην ευρύτερη περιοχή του συνοικισμού Βάρκες επί της Επαρχιακής οδού Νέας Φώκαιας - Παλιουρίου, στη χερσόνησο της Κασσάνδρας του νομού Χαλκιδικής. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, αρχικά αναλύεται η γεωλογική έρευνα που περιλαμβάνει περιγραφή της γεωλογίας της περιοχής με πλήρη διερεύνηση γεωλογικών, γεωμορφολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν. Αναφέρονται οι γεωλογικές συνθήκες και η γεωτεκτονική εξέλιξη της γεωτεκτονικής ζώνης Παιονίας. Τα στοιχεία αυτά πρόκειται να συμβάλλουν στην κατανόηση του ευρύτερου τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος στο οποίο ανήκουν οι νεογενείς σχηματισμοί.

1.3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αξιολογείται το γεωτεχνικό πρόγραμμα που εκτελέστηκε στα πλαίσια της γεωτεχνικής μελέτης που προκήρυξε η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που ορίζονται κατά τα στάδια μελέτης προγραμμάτων γεωλογικών και γεωτεχνικών ερευνών. Καθώς αντικείμενο της διατριβής είναι ο έλεγχος ευστάθειας σε Νεογενείς αποθέσεις, αρχικά ορίζονται οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ευστάθεια και η μηχανική συμπεριφορά ενός πρανούς. Ακολούθως γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που ακολουθείται. Παρατίθεται βιβλιογραφική έρευνα που αφορά στις γεωλογικές συνθήκες, την τεκτονική τη σεισμικότητα και τον υδρομετεωρολογικό χαρακτήρα της περιοχής.



Ακολουθεί η καταγραφή των επί τόπου παρατηρήσεων που έλαβαν χώρα κατά το στάδιο της γεωλογικής – τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης. Πρόκειται για καταγραφή της λιθολογίας των σχηματισμών που συναντήθηκαν, μικροτεκτονικής δομής και ταξινόμησης της βραχομάζας. Κατόπιν, παρατίθεται στατιστική επεξεργασία των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών που διερευνήθηκαν, όπως αυτή προέκυψε από εργαστηριακή επεξεργασία ή επί τόπους δοκιμές στους διάφορους ορίζοντες των γεωτρήσεων.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία συμβάλλουν στην τεχνικογεωλογική ταξινόμηση των σχηματισμών που απαρτίζουν το πρανές με σκοπό να εντοπισθούν θέσεις υψηλού κινδύνου για πιθανές εκδηλώσεις αστοχιών. Λαμβάνονται οι κατάλληλες παράμετροι ώστε να γίνει διερεύνηση του συντελεστή ασφαλείας στο πρανές και ο τρόπος που η τιμή του ποικίλει ανάλογα με το εύρος των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται. Η εξαγωγή του συντελεστή ασφαλείας στις κατά τόπους θέσεις της περιοχής γίνεται για την ανάληψη των καταλληλότερων απαιτούμενων μέτρων προστασίας του πρανούς..

2. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΜΕΛΕΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

2.1. ΣΤΑΔΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

Οι γεωλογικές και γεωτεχνικές έρευνες και μελέτες αποτελούν τις υποστηρικτικές μελέτες υποδομής που είναι απαραίτητες για την εκπόνηση των μελετών έργων οδοποιίας. Λόγω αυτού θα πρέπει σ όλα τα στάδια εκπόνησης της μελέτης οδοποιίας και της εκπόνησης των μελετών των επιμέρους έργων στα πλαίσια αυτής να υπάρχει στενή συνεργασία του γεωλόγου και του γεωτεχνικού μελετητή τόσο μεταξύ τους όσο και με τους μελετητές των άλλων κατηγοριών μελετών ώστε να αλληλοτροφοδοτούνται με τις αναγκαίες για την αρτιότητα των μελετών πληροφορίες και στοιχεία και να αποφεύγονται ασυμβατότητες, δεδομένου ότι οι έρευνες και οι μελέτες για κάθε στάδιο μελέτης οδοποιίας εκπονούνται παράλληλα. Τα στάδια μελέτης ενός έργου οδοποιίας περιλαμβάνουν το στάδιο αναγνωριστικής μελέτης, το στάδιο προμελέτης και το στάδιο οριστικής μελέτης.

Σε περιπτώσεις αστοχιών (κατολισθήσεων) σε υφιστάμενο οδικά έργα προκύπτει η ανάγκη εκπόνησης τεχνικογεωλογικής ή/και γεωτεχνικής μελέτης που θα εκτιμήσει και θα αξιολογήσει τα αναγκαία γεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα στην περιοχή της κατολίσθησης.

Αναλυτικότερα, κατά το στάδιο αναγνωριστικής μελέτης πραγματοποιείται αναγνώριση του προβλήματος που στηρίζεται στη γεωλογική διερεύνηση της περιοχής και εκτελούνται γεωτεχνικές μελέτες και ανάλογα με το είδος του προβλήματος εγκατάσταση δικτύου παρακολούθησης του κατολισθητικού φαινομένου. Κατά το στάδιο της προμελέτης πραγματοποιούνται εξειδικευμένες γεωλογικές έρευνες με συμπληρωματικές γεωτεχνικές έρευνες εφόσον απαιτούνται. Κατά το στάδιο της οριστικής μελέτης είναι αναγκαία η επίλυση ειδικών προβλημάτων και η διασαφήνιση αβεβαιοτήτων, ενώ αν απαιτούνται συμπληρωματικές γεωτεχνικές έρευνες εκτελούνται ώστε να εκδοθεί η οριστική γεωτεχνική μελέτη έργων αποκατάστασης κατολίσθησης.

Το πρόγραμμα γεωτεχνικών ερευνών συντάσσεται με σκοπό την προσέγγιση του γεωτεχνικού μοντέλου της περιοχής, που περιλαμβάνει και τις μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών. Η γεωλογική μελέτη μιας κατολισθαίνουσας περιοχής συνίσταται στη συνεκτίμηση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής (στρωματογραφική

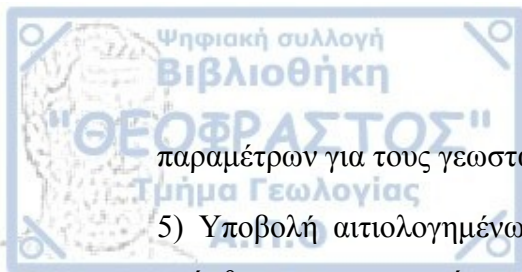
διάθρωση, τεκτονική εξέλιξη, μορφολογικές συνθήκες, υδρογεωλογικό καθεστώς) και των αποτελεσμάτων των ερευνών (στο ύπαιθρο και εργαστήριο), σχετικά με την κατολισθαίνουσα μάζα. Με τις έρευνες και τις αξιολογήσεις αυτές καθορίζονται η έκταση και ο τύπος της κίνησης, τα αίτια και ο μηχανισμός αυτής, ώστε να καθίσταται δυνατή η λήψη των πιο ενδεδειγμένων μέτρων και η μελέτη προστασίας και αποκατάστασης της κατολισθαίνουσας περιοχής. Σκοπός των γεωτεχνικών ερευνών είναι η αποσαφήνιση-διερεύνηση των εδαφικών συνθηκών της υπό μελέτη περιοχής και ειδικότερα ο προσδιορισμός των γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στα επιμέρους προβλεπόμενα έργα.

2.2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Αντικείμενο της γεωτεχνικής αξιολόγησης είναι η σύνταξη του γεωτεχνικού προσομοιώματος. Αυτό γίνεται με αξιολόγηση των στοιχείων της γεωτεχνικής έρευνας, συνεκτιμώντας και τα σχετικά στοιχεία από τη γεωλογική μελέτη. Οι γεωτεχνικές μελέτες αποτελούν υποστηρικτικές μελέτες στα πλαίσια των μελετών έργων οδοποιίας. Η σύνταξη της έκθεσης γεωτεχνικής αξιολόγησης και το περιεχόμενό της καθορίζονται από την υφιστάμενη νομοθεσία.

Η αξιολόγηση περιλαμβάνει:

- 1) α) Ταξινόμηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων των ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών
β) Προσδιορισμό της στάθμης του νερού των γεωτρήσεων.
- 2) Τομές υπεδάφους με τις παραλλαγές του υπεδάφους με το βάθος σε συσχετισμό με τα αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών (SPT κλπ.), φυσικής υγρασίας αντοχής, συμπιεστότητας κ.λ.π. Διαχωρισμό στρώσεων με απόλυτα υψόμετρα όπου είναι δυνατόν, αλλιώς με σχετικά υψόμετρα από τα σχέδια της μελέτης.
- 3) Λεπτομερή περιγραφή των διαφόρων στρώσεων υπεδάφους με βάση τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών ερευνών υπαίθρου και των εργαστηριακών δοκιμών με ιδιαίτερη έμφαση στα χαρακτηριστικά αντοχής και συμπιεστότητας.
- 4) Παρουσίαση των ορίων μεταβολής των γεωτεχνικών παραμέτρων υπεδάφους σε συσχετισμό με τη στρωματογραφία του υπεδάφους. Η παρουσίαση αυτή γίνεται κατά τρόπο σαφή και εποπτικό ώστε να επιτρέπει την επιλογή των πιο κατάλληλων



παραμέτρων για τους γεωστατικούς υπολογισμούς.

5) Υποβολή αιτιολογημένων προτάσεων σχετικά με το είδος και τον αριθμό των πρόσθετων γεωτεχνικών ερευνών που κρίνεται σκόπιμο να εκτελεσθούν για να καλύψουν τυχόν ανεπαρκή στοιχεία της έρευνας ή να απαντήσουν σε τυχόν ερωτηματικά που προέκυψαν από τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας, εφόσον απαιτηθεί από την παραπάνω αξιολόγηση.

3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΒΡΑΧΩΔΗ ΠΡΑΝΗ

Με τον όρο πρανή ορίζονται οι κεκλιμένοι φυσικοί ή τεχνητοί σχηματισμοί εδάφους ή βράχου. Οι δυνάμεις βαρύτητας καθώς και εξωτερικές δυνάμεις σε συνδυασμό με την παρουσία του νερού, δημιουργούν διατμητικές τάσεις στους σχηματισμούς που περιέχονται στη μάζα του πρανούς. Η διατμητική αντοχή των σχηματισμών αντιτίθεται στις διατμητικές τάσεις με αποτέλεσμα όταν οι τάσεις αυτές υπερβούν τη διατμητική αντοχή να προκαλείται αστοχία στο πρανές με θραύση και κατολίσθηση (Turner & Schuster, 1996). Οι παράγοντες που μπορούν να συμβάλλουν στην αστοχία ενός πρανούς είναι γεωλογικοί, γεωτεκτονικοί και φυσικοί.. Η μεταβολή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και η σεισμική κίνηση μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση της μάζας ενός φυσικού πρανούς. Επίσης, αστοχία μπορεί να προκληθεί και λόγω επέμβασης του ανθρώπου στην φύση με την κατασκευή τεχνικών έργων.

Η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών έχει ως στόχο τον εντοπισμό του πιθανού μηχανισμού αστοχίας. Ο μηχανισμός αυτός εξαρτάται από τη συμπεριφορά της βραχομάζας ως ισότροπου ή ανισότροπου μέσου όσον αφορά την αντοχή της. Οι μορφές της αστοχίας που αναμένονται αν το γεωυλικό είναι βραχώδες που διατέμνεται από ένα μικρό πλήθος συστημάτων ασυνεχειών χωρίς έντονο κερματισμό και αποσάθρωση, είναι η επίπεδη ολίσθηση, η σφηνοειδής ολίσθηση και η ανατροπή κατά μήκος αυτών των ασυνεχειών. Στα εδαφικά πρανά και τις έντονα διαρρηγμένες και αποσαθρωμένες βραχομάζες, οι οποίες πλέον αποκτούν χαρακτηριστικά ισότροπης αντοχής, αναμένεται περιστροφική (κυκλική) αστοχία. Εφόσον εντοπιστεί η δυνητική αστοχία του πρανούς, πραγματοποιείται ανάλυση ευστάθειας με μεθόδους οριακής ισορροπίας, σύμφωνα με την οποία ορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας που εκφράζει το βαθμό ασφαλείας ή την αντοχή του πετρώματος έναντι θραύσης ή ολίσθησης. Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται «Στατικός Συντελεστής Ασφαλείας» και συμβολίζεται με F.S. (ή F), ορίζεται δε ως ο λόγος του συνόλου των δυνάμεων ή ροπών που ανθίστανται στην ολίσθηση, προς τις αντίστοιχες δυνάμεις ή ροπές που συνεισφέρουν στην αστάθεια του πρανούς. Εάν ο συντελεστής ισούται με τη μονάδα, τότε έχουμε οριακή ισορροπία του πρανούς. Εάν είναι μικρότερος της μονάδας, τότε το πρανές είναι ασταθές και η εκδήλωση κάποιας αστοχίας είναι πιθανή.

Η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται από:

- 1) τη βαρύτητα, η οποία δρα ως παράγοντας αστάθειας του πρανούς, αφού τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους.
- 2) τη συνοχή και τη γωνία τριβής, που τείνουν να διατηρήσουν ενωμένα τα υλικά που συνθέτουν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση
- 3) τη στρώση και τη καταμητικότητα των σχηματισμών του πρανούς,
- 4) την αποστράγγιση του πρανούς,
- 5) την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών
- 6) τις χρονικές μεταβολές των τάσεων και των παραμορφώσεων
- 7) εξωτερικές δυνάμεις

Η εκδήλωση ενός σεισμού μπορεί να επιφέρει σημαντικές παραμορφώσεις και μετατοπίσεις, μόνιμες και μη, στα πρανή (Ambraseys & Srbulov, 1995). Τα πιο συνηθισμένα φαινόμενα που μπορούν να παρατηρηθούν σε πρανή μετά από την επίδραση σεισμικής κίνησης, είναι μόνιμες μετατοπίσεις όπως θραύσεις και ρηγματώσεις. Οι μετατοπίσεις παράγονται διότι λόγω της σεισμικής δόνησης, αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις μεγαλύτερες από τη διατμητική αντοχή των εδαφικών υλικών, προκαλώντας σε αυτά αστοχίες υπό την μορφή ολισθήσεων

3.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Η ευστάθεια βραχωδών πρανών που ελέγχεται από την παρουσία, γεωμετρία και τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των δομικών και τεκτονικών ασυνεχειών της βραχομάζας θεωρεί το πρανές ως σύνολο συμπαγών τεμαχίων των οποίων τα όρια καθορίζονται από τα επίπεδα των ασυνεχειών.

Η ανάλυση της ευστάθειας των βραχωδών πρανών γίνεται συνήθως σε 2 φάσεις:

1. *Κινηματική Ανάλυση:* Πρόκειται για την ανάλυση της γεωμετρίας και του προσανατολισμού των τεκτονικών και δομικών στοιχείων της βραχομάζας που ευνοούν την εκδήλωση συγκεκριμένου τύπου αστοχίας κατά μήκος αυτών των ασυνεχειών ή των τομών τους. Καθορίζει τις δυνατές αστοχίες.
2. *Καθορισμός συντελεστή ασφαλείας:* Όταν καθοριστεί επακριβώς ο τύπος αστοχίας ακολουθεί ο προσδιορισμός της σχέσης των δυνάμεων αντίστασης στην κίνηση (δυνάμεις ευστάθειας) και των δυνάμεων που προκαλούν την κίνηση. Ο λόγος των δυνάμεων αυτών είναι ο συντελεστής ασφαλείας, F , του πρανούς αναφοράς.

3.2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Ο υπολογισμός της ευστάθειας των εδαφικών πρανών ή των πρανών με «εδαφική» συμπεριφορά απαιτεί τη γνώση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής του γεωυλικού και ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας προκύπτει από χρήση μεθόδων οριακής ισορροπίας. Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι ο υπολογισμός του λόγου της διατμητικής αντοχής του εδαφικού υλικού προς τη διατμητική τάση που απαιτείται για ισορροπία. Ως κρίσιμη επιφάνεια ορίζεται η επιφάνεια αστοχίας στην οποία ο συντελεστής ασφάλειας λαμβάνει τη μικρότερή του τιμή. Όταν έχει ήδη λάβει χώρα το κατολισθητικό φαινόμενο, οι παράμετροι αντοχής βασίζονται στις συνθήκες την στιγμή εκδήλωσης του φαινομένου. Ο προσδιορισμός της αναμενόμενης μετακίνησης του εδαφικού υλικού απαιτεί γνώση των παραμέτρων τάσης παραμόρφωσης. Έχει παρατηρηθεί όμως ότι η πρόβλεψη των μετακινήσεων δεν είναι εύκολο να προσεγγιστεί ικανοποιητικά. (Duncan, 1992)

3.3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ

Ως μέτρο ευστάθειας υπολογίζεται, καταρχήν, ο συντελεστής ασφαλείας. Η ανάλυση αυτή αφορά τον προσδιορισμό της σχέσης μεταξύ των δυνάμεων αντίστασης στην κίνηση και των δυνάμεων που προκαλούν την κίνηση (συνιστώσες βαρύτητας). Ο λόγος των δυνάμεων αυτών είναι ο συντελεστής ασφαλείας, F , του πρανούς αναφοράς. Οι επιλογή της μεθόδου ανάλυσης συναρτάται με τον τύπο αστοχίας-μετακίνησης της βραχομάζας (επίπεδη ολίσθηση, ολίσθηση πρίσματος, ανατροπή). Όταν καθοριστεί επακριβώς ο τύπος αστοχίας ακολουθεί ο προσδιορισμός της σχέσης των δυνάμεων αντίστασης στην κίνηση (δυνάμεις ευστάθειας) και των δυνάμεων που προκαλούν την κίνηση. Ο βαθμός υπολογιστικής ακρίβειας κάθε μεθόδου ανάλυσης της ευστάθειας, εξαρτάται από την προσεγγιστική ισχύ (σε σχέση με την πραγματικές συνθήκες) των αναπόφευκτων απλουστευτικών παραδοχών με τις οποίες είναι συναρτημένη.

Η παρουσία των απλουστευτικών παραδοχών είναι επιβεβλημένη για την μαθηματική επίλυση του προβλήματος της ευστάθειας, αφού, οι χρησιμοποιούμενες εξισώσεις ισορροπίας (δυνάμεων και ροπών) είναι λιγότερες από τους αγνώστους που εμπλέκονται σ' αυτές. υπολογισμός της ευστάθειας: η ευστάθεια των πρανών αναλύεται, συνήθως, με μεθόδους οριακής ισορροπίας (limit equilibrium methods). Η

ανάλυση αυτή απαιτεί γνώση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής του γεωλογικού υλικού όχι όμως γνώση της σχέσης μεταξύ τάσης και παραμόρφωσης. Η μεθοδολογία που πρέπει να ακολουθείται για τον υπολογισμό της ευστάθειας βραχωδών πρανών ορυγμάτων σε κάθε θέση (διατομή) ελέγχου είναι η παρακάτω:

- 1) Βαθμονόμηση - κατάταξη βραχομάζας με κάποια από τις διεθνώς ισχύουσες θεωρήσεις (RMR, GSI, σύστημα Q κλπ) και εκτίμηση των χαρακτηριστικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής και ελαστικότητας της βραχομάζας.
- 2) Εκτίμηση του κυρίαρχου μηχανισμού αστοχίας με βάση τα δομικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της υπό έλεγχο περιοχής.
- 3) Εκτίμηση της διατμητικής αντοχής της βραχομάζας και των ασυνεχειών είτε από δοκιμές πεδίου είτε από κατάλληλες εργαστηριακές δοκιμές.

Οι υπολογισμοί ευστάθειας των βραχωδών πρανών ορυγμάτων θα συντάσσονται είτε για στατική είτε για σεισμική φόρτιση και ανάλογα με τις υποδείξεις του μοντέλου δυναμικών ολισθήσεων έναντι :

α. Σύνθετης μορφής ολίσθησης (πολυγωνική θραύση) με την παραδοχή σχηματισμού εφελκυστικής ρωγμής πίσω από το μέτωπο του πρανούς με τη χρήση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής που προεκτιμήθηκαν (ταξινομήσεις, εργαστηριακές δοκιμές κλπ).

β. Επίπεδης ολίσθησης πάνω σε καθορισμένη οικογένεια επιφανειών ασυνέχειας.

γ. Σφηνοειδούς ολίσθησης (π.χ. με την μέθοδο ανάλυσης τετραεδρικής σφήνας κατά Hoek - Bray).

δ. Αστοχίας από ανατροπή (κάμψης ή περιστροφικής).

Με βάση όσα ορίζουν οι Ο.Μ.Ο.Ε της Ε.Ο.Α.Ε η επίδραση της αύξησης υδροστατικής πίεσης των ασυνεχειών της βραχομάζας πρέπει να ελέγχεται έως το επίπεδο της καθοριζόμενης ως «Ανώτατη Πίεση 50-ετίας» με υδρογεωλογικά κριτήρια, ή έως το επίπεδο θεωρητικής κατάστασης κορεσμού των ασυνεχειών (περίπτωση σφηνοειδούς ολίσθησης). Ο Αντισεισμικός έλεγχος θα γίνεται με την «ψευδοστατική» μέθοδο με την επιβολή της αντίστοιχης οριζόντιας σεισμικής συνιστώσας στην εξωτερική επιφάνεια του πρανούς, ανάλογα με τον συντελεστή σεισμικότητας α της περιοχής ελέγχου. Οι υπολογισμοί ευστάθειας των πρανών σε βραχώδη ορύγματα θα γίνονται για 2 περιπτώσεις, έναντι αστοχίας του συνολικού

πρανούς (Πίνακα 1) και έναντι αστοχίας μεμονωμένου αναβαθμού μεταξύ 2 οριζόντιων βαθμίδων (Πίνακα 2).

Πίνακας 1 Συντελεστές Ασφαλείας Βραχώδους Πρανούς Θραύση Συνολικού πρανούς (ΟΜΟΕ, 2003)

α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	1	1,2	1,3

Πίνακας 2 Συντελεστές Ασφαλείας Βραχώδους Πρανούς – Πρανή μεταξύ οριζόντιων βαθμίδων (ΟΜΟΕ, 2003)

α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	1	1,2	1,3

Όταν οποιοδήποτε τμήμα έργου διέρχεται από υπάρχουσες κατολισθήσεις πρέπει να εκτελείται ειδική μελέτη ευστάθειας στην περιοχή και περιλαμβάνονται:

- Έλεγχος συνολικής ευστάθειας στην κρίσιμη διεπιφάνεια ολίσθησης με έλεγχο των παραμέτρων παραμένουσας διατμητικής αντοχής.
- Έλεγχος τοπικής αστάθειας στον πόδα της κατολίσθησης, όπου η πιθανή διάβρωση από ροή νερού μπορεί να προκαλέσει υποσκαφή (με απότομη κλίση) και να οδηγήσει σε κλιμακωτή διάβρωση προς τα ανάντη, με μεταγενέστερη εξέλιξη σε ολική αστάθεια.
- Έλεγχος ευστάθειας που μπορεί να προκληθεί από φόρτιση ή αποφόρτιση της κατολίσθησης από επιχώματα, τεχνικά έργα και εκσκαφές για τη νέα χάραξη.
- Έλεγχος ευστάθειας που μπορεί να επιβαρύνει τεχνικά έργα ή ανάλογα

να επιβάλλει πλάγιες φορτίσεις σε αυτά.

v. Έλεγχος προσωρινής αστάθειας κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

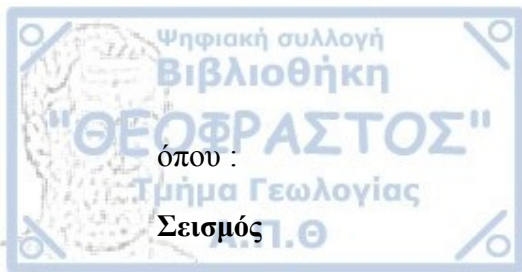
vi. Η ύπαρξη υπόγειου ύδατος παίζει καθοριστικό ρόλο και πρέπει να υπολογίζεται για τις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Τα υπόγεια νερά όπως μετρώνται στις γεωτεχνικές έρευνες.
- Η επίδραση έργων διευθετήσεων ποταμών στη στάθμη των υδάτων κατά τη διάρκεια πλημμυρών.
- Κανονικές ετήσιες διακυμάνσεις, όπως μετρώνται από πιεζόμετρα ή προβλέπονται βάσει εμπειρίας από παρόμοιες καταστάσεις.
- Η ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας, βάσει εμπειρίας και υδρογεωλογικών εκτιμήσεων.
- Η επίδραση έργων αποστράγγισης και ελέγχου επιφανειακών υδάτων για την ταπείνωση της στάθμης του υπογείου ορίζοντα στις παραπάνω περιπτώσεις.
- Η αστοχία των έργων αποστράγγισης και ελέγχου επιφανειακών υδάτων.

Οι ελάχιστοι απαιτούμενοι Συντελεστές Ασφαλείας για αποκατάσταση κατολισθήσεων δίνονται στον πίνακα 3

Πίνακας 3 Συντελεστές ασφαλείας για αποκατάσταση Κατολισθήσεων(ΟΜΟΕ, 2003)

α/α Συνδυασμού	1	2	3	4	5	6	7	8
Σεισμός	N	N	N	O	O		O	O
Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας	N	N	O	O	N	N	O	O
Αστοχία αγωγών αποστράγγισης	N	O	O	N	N	O	O	N
Περίπτωση φόρτισης (DIN 1054, Άρθρο 2.2)					3	2	1	
Απαιτούμενος συντελεστής ασφαλείας	-	-	1	-	1,2	1,3	1,4	-



N Σεισμός σχεδιασμού σύμφωνα με τον ΕΑΚ, παραγρ. 5.4.

O Όχι σεισμός.

Ανώτατη στάθμη υπογείου ορίζοντα 50-ετίας

N Προβλεπόμενη ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα 50-ετίας.

O Προβλεπόμενη ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα.

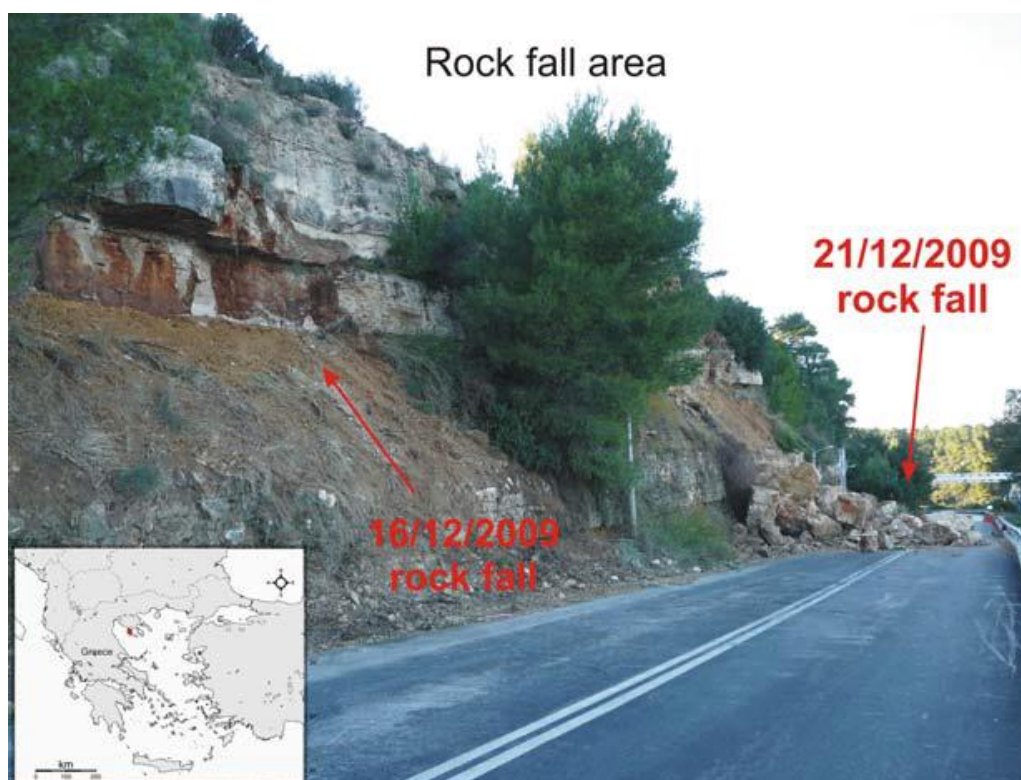
Αστοχία αγωγών αποστράγγισης

N Οι αγωγοί αποστράγγισης δεν έχουν καμία επίδραση στην ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα και στη στάθμη της 50-ετίας.

O Οι αγωγοί αποστράγγισης επιτυγχάνουν το στόχο τους να ταπεινώσουν την ετήσια ανώτατη στάθμη υπόγειου ορίζοντα και τη στάθμη της 50-ετίας.

4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Η περιοχή έρευνας ερευνήθηκε μετά την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων. Οι Christaras et al. (2010) εκτίμησαν τους παράγοντες που ενεργοποίησαν την κατολίσθηση στις 16 και 21 Δεκεμβρίου 2009, στα ανατολικά της χερσονήσου της Κασσάνδρας. Εξέτασαν αναλυτικά τη δραστηριότητα των βροχοπτώσεων, την στρωματογραφία και το τεκτονικό καθεστώς στην περιοχή (Εικόνα 1). Εξέτασαν το διαιρεμένο ασβεστολιθικό τέμαχος σε στρώματα εξαιτίας του πυκνού συστήματος ασυνεχειών στη βραχομάζα υπό την επίδραση της έκθεσης στις καιρικές συνθήκες. Συμπέραναν πως όλα τα βραχώδη τεμάχη που ολίσθησαν προέρχονται από τους ανώτερους ορίζοντες ασβεστολίθων που υπέρκεινται ερυθρού στρώματος αμμοπηλώδους σύστασης και πως η κατολίσθηση των βραχωδών τεμαχών στην περιοχή της Νέας Φώκαιας οφείλεται στην αποκοπή ερυθροκάστανου αργιλοαμμώδους στρώματος, ως συνέπεια της υψηλής βροχόπτωσης.



Εικόνα 1. Κατολισθητικά φαινόμενα κατά μήκος της επαρχιακής οδο υΝέων Μουδανιών – Κασσάνδρας στις 16 και τις 21 Δεκεμβρίου 2009 (Christaras et al., 2010.)

Για την εξαγωγή των συμπερασμάτων τους, οι ερευνητές στηρίχθηκαν στην επίδραση της στρωματογραφίας στην ενεργοποίηση κατολισθητικών φαινομένων. Ο Kotze

(2007) αναφέρει πως κάθε εδαφικό στρώμα που παρεμβάλλεται σε βραχομάζα μπορεί να θεωρηθεί ως «αδύναμος ορίζοντας» που υπόκειται σε διάβρωση εξαιτίας της έκθεσής του στις καιρικές συνθήκες. Η διάβρωση έχει ως αποτέλεσμα την υποσκαφή του υποκείμενου τεμάχους. Η προοδευτική υποσκαφή οδηγεί τελικά στην κατάρρευση του υπερκείμενου τεμάχους εξαιτίας της υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής με βραχώδη κατάπτωση των ασβεστολιθικών οριζόντων. Οι Makedon & Chatzigogos (2012) εξέτασαν το μηχανισμό αστοχίας σε ορίζοντες που αποτελούνται από στρώματα ιζηματογενών σχηματισμών με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Κατά τη μελέτη τους έδειξαν πως η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του ασβεστολίθου είναι μικρότερη από την τιμή που εξάγεται από τις εργαστηριακές δοκιμές, με αποτέλεσμα η ανάλυση της αστοχίας να οδηγεί σε υπερεκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας.

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η αξιολόγηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών και η ταξινόμηση των ιδιοτήτων κάθε γεωλογικού σχηματισμού που εντοπίζεται στο πρανές. Χρησιμοποιήθηκαν συνολικά δεδομένα 3 γεωτρήσεων από στοιχεία που παραχωρήθηκαν από τις εταιρίες ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ Α.Τ.Ε., ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΣ ΚΑΙ ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ Α.Τ.Ε. και ΙΕΡΩΝΥΜΑΚΗ ΖΩΗ Αγρ. Τοπ. Μηχ., ανάδοχες εταιρίες του έργου «ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ 2008». Ειδικότερα, η παρούσα εργασία στηρίζεται στην γεωτεχνική έρευνα και μελέτη αντιμετώπισης κατολίσθησης περιοχής Ν. Φώκαιας Χαλκιδικής στα πλαίσια του έργου «Γεωλογική διερεύνηση των συνθηκών αστοχίας βραχωδών πρανών στην περιοχή Αθύτου Χαλκιδικής» από την εταιρία TRIGER-ΓΕΩΛΟΓΟΙ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ. Στην ευρύτερη περιοχή έχουν εκτελεστεί κατά το παρελθόν γεωτεχνικές έρευνες από το γραφείο Μελετών Τεχνικών Έργων υποδομής «Δημήτρης Καραμπατάκης - Δρ. Πολιτικός Μηχανικός Α.Π.Θ» και αφορούσαν στην αντιμετώπιση κατολισθητικών φαινομένων και αποκατάσταση οδού Πευκοχωρίου - Αγ.Παρασκευής και της οδού Ν. Σκιώνης - Χανιώτης στο Δήμο Κασσάνδρας.

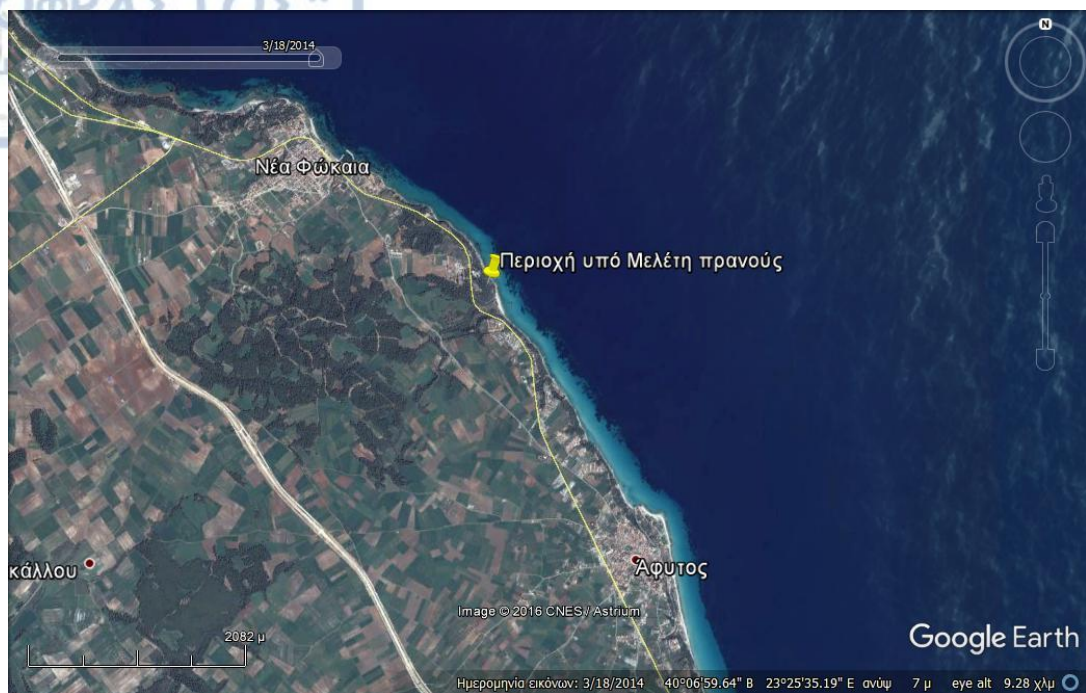
5. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αντικείμενο της γεωλογικής έρευνας αποτελεί η μελέτη της γεωλογικής δομής στην ευρύτερη και την στενότερη περιοχή έρευνας, σύμφωνα με την οποία πρόκειται να πραγματοποιηθεί προσέγγιση του τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος. Για τον σκοπό αυτό λαμβάνονται υπόψιν δεδομένα που αναφέρονται στη λιθολογική σύσταση των σχηματισμών, την στρωματογραφική διάρθρωση και εξέλιξη στην περιοχή, τη σεισμικότητα, τα γεωμορφολογικά στοιχεία που εντοπίζονται και τις υδρογεωλογικές συνθήκες. Η σύνθεση των αποτελεσμάτων σε συνδυασμό με προηγούμενες έρευνες που εκπονήθηκαν στην περιοχή αποδίδει ποσοτικά κριτήρια και παραμέτρους ενώ παράλληλα ερευνώνται οι συνθήκες ευστάθειας των πετρωμάτων. Το τεχνικογεωλογικό προσομοίωμα που εξάγεται λαμβάνει υπόψιν την ποσοτικοποίηση της πληροφόρησης με βάση τεχνικογεωλογικά κριτήρια.

5.1. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιοχή έρευνας εντάσσεται στην χερσόνησο της Κασσάνδρας στο νομό Χαλκιδικής, επί της Επαρχιακής Οδού Μουδανίων – Κασσάνδρας. Η χερσόνησος της Κασσάνδρας ανήκει γεωτεκτονικά στην υποζώνη της Παιονίας της ζώνης Αξιού. Είναι η δυτικότερη από τις τρεις χερσονήσους της Χαλκιδικής και είναι γνωστή από την αρχαιότητα με την ονομασία Παλλήνη. Η περιοχή παρουσιάζει σημαντικό τουριστικό ενδιαφέρον και είναι από τα πιο γνωστούς ταξιδιωτικούς προορισμούς στη Βόρεια Ελλάδα. Η έρευνα εντοπίζεται στη θέση Βαρκάς, στο δήμο Κασσάνδρας, μεταξύ των οικισμών Νέας Φώκαιας και Αφύτου.

Στην Εικόνα 2 σημειώνεται η θέση της υπό μελέτη περιοχής στην οποία σημειώθηκαν δύο κατολισθήσεις στο δυτικό πρανάς που δημιουργήθηκε κατά τη διάνοιξη στο 18^ο χιλιόμετρο της Ε. Ο. Νέων Μουδανίων – Κασσάνδρας που έχει διεύθυνση ΒΑ και αποτελεί περιοχή υψηλού κινδύνου. Εντοπίζεται στη γεωγραφική θέση με συντεταγμένες 40° 6' 14,43'' Β και 23° 25' 53.38'' Α και δομείται από ασβεστόλιθους όπου παρεμβάλλεται ορίζοντας από ανώτερες καστανόχρωες μάργες ηλικίας Νεογενούς.



Εικόνα 2. Δορυφορική εικόνα της ευρύτερης περιοχής έρευνας (GoogleEarth).



Εικόνα 3. Απόσπασμα Γεωλογικού Χάρτη που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης (IGME, 1981).



Προσχώσεις, πλευρικά κορήματα

NEOGENES



Ερυθρές Μάργες: Αμμούχες με παρουσία κροκαλοπαγών



Ανώτερος Ασβεστόλιθος: Στρωμένοι συμπαγείς λεπτόκοκκοι με ορίζοντες θραυσματοπαγούς ασβεστολίθου



Ανώτερες Καστανόχρες Μάργες: Αμμούχες με διασπαρμένα συγκρίματα εντός. Κατά τόπους περιέχονται ορίζοντες κροκαλοπαγών και καστανόχρων αριλούχων άμμων.

5.2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

5.2.1 Γεωτεκτονική εξέλιξη της υποζώνης Παιονίας

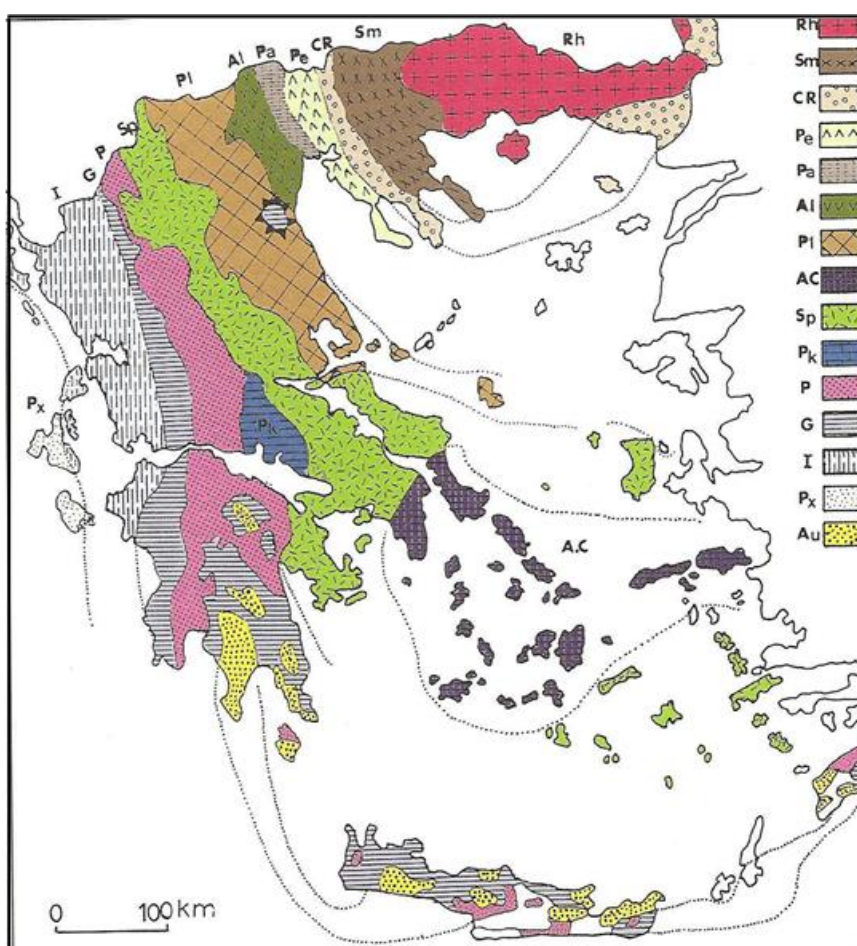
Κυρίαρχο χαρακτηριστικό της υποζώνης Παιονίας είναι η λεπιοειδής τεκτονική που προέρχεται από Τριτογενείς φάσεις πτυχώσεων. Θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει τμήμα της παλαιάς ωκεάνιας περιοχής της Τηθύος. Όπως όλες οι εσωτερικές Ελληνίδες αναδύθηκε προσωρινά κατά τη διάρκεια της πρώιμης ορογενετικής περιόδου (Α. Ιουρασικό – Κ. Κρητιδικό). Η τελική ορογενετική δράση, οπότε και αναδύθηκε η ζώνη, έλαβε χώρα μετά το Α. Κρητιδικό και πριν το Α. Ηώκαινο. Μετά την ορογένεση αυτή διαμορφώθηκε η Αύλακα Αξιού και ακολούθησε απόθεση μολассικών ιζημάτων με ταυτόχρονη φάση πτυχώσεων που αντιπροσωπεύει σχετικά επιφανειακό τεκτονισμό και το σχηματισμό διαφόρων ενοτήτων – μεγαλειών. Κατά το Κ. Ολιγόκαινο ακολούθησε βραδεία φάση τεκτονισμού. Στην περίοδο του Νεογενούς – Τεταρτογενούς αποτίθενται μεγάλου πάχους μεταλικά ιζήματα που κάλυψαν τους αλπικούς σχηματισμούς (Mountrakis et al., 1993).

5.2.2 Γεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης

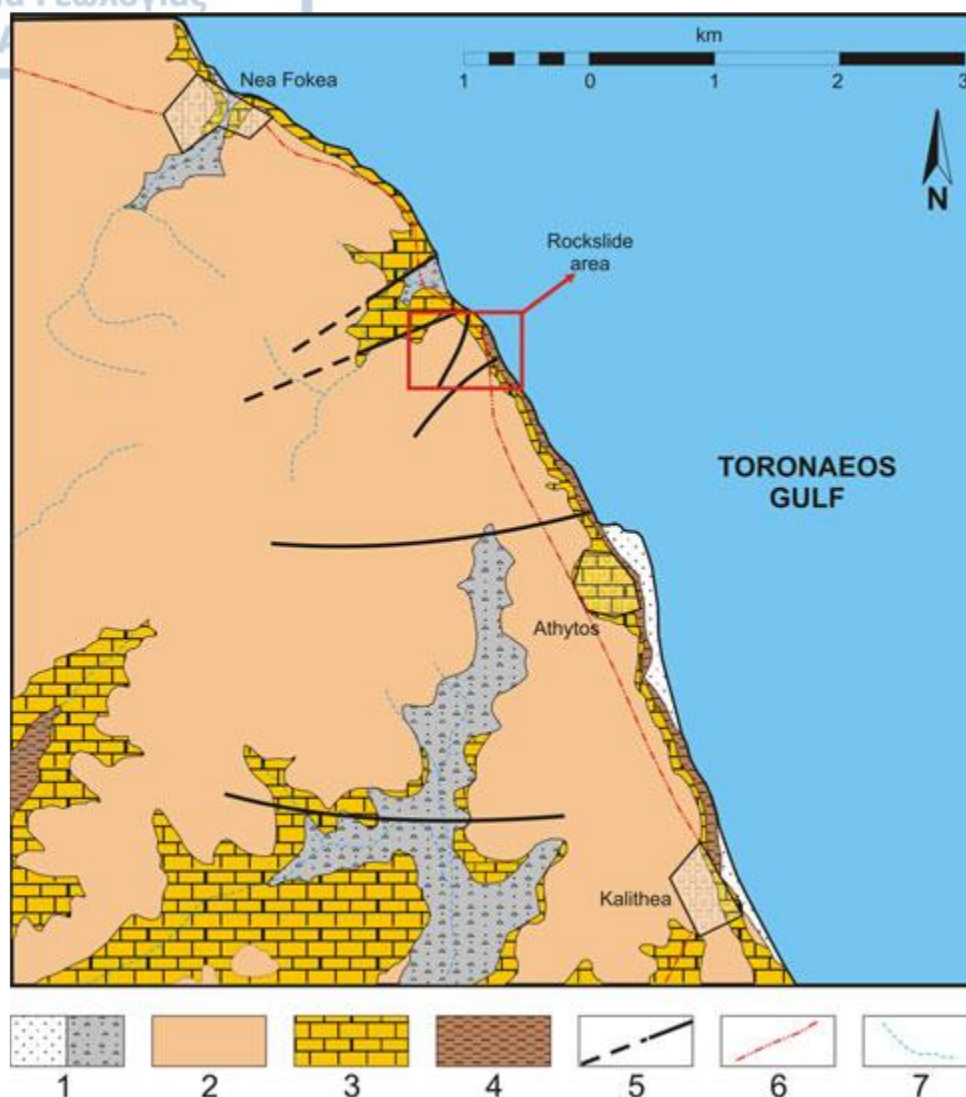
Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (Εικόνα 3, Φύλλο Κασσανδρεία 1:50000), στην παράκτια ζώνη προς τον Τορωναίο κόλπο εμφανίζονται λιμνιαίες χερσαίες και σύγχρονες αποθέσεις που αποτελούνται από κροκαλοπαγή, άμμους,

μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και αργίλους. Πρόκειται για την ενότητα Αντωνίου που εκτείνεται στο Ανατολικό τμήμα της χερσονήσου της Κασσάνδρας (Stoykova et al., 2003).

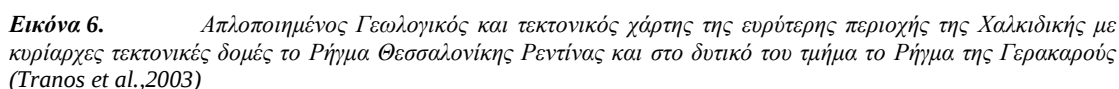
Οι απολιθωματοφόροι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται σε στρώματα πάχους της τάξης των 10 μέτρων. Παρεμβάλλονται ιλυώδεις έως αμμούχοι άργιλοι ηλικίας Άνω Μειοκαίνου (Syrides 1990). Οι ασβεστόλιθοι υπέρκεινται καστανόχρωμων μαργών ηλικίας Μειοκαίνου, οι οποίες καλύπτουν μεγάλη επιφανειακή έκταση στην περιοχή. Ο ασβεστόλιθος είναι ελαφρώς καρστικοποιημένος και παρουσιάζει ένα σχετικά μικρό βαθμό ρώγμωσης. Οι ασβεστόλιθοι καλύπτονται από ερυθρές μάργες ηλικίας Πλειο-Πλειστόκαινου και επικαλύπτουν τις καστανές μάργες. Η σειρά του καστανών άμμων και των μαρμαρυγιούχων αργίλων και μαργών έχει πάχος της τάξης των 80 με 150 μέτρα και κλίνει προς τα ΒΔ. Περιλαμβάνει λευκά συγκρίματα σε εναλλαγή με μικρής συνοχής κροκαλοπαγή και αργιλούχες άμμους (Guy et al. 1969).



Εικόνα 4. Γεωλογικός χάρτης όπου φαίνονται οι ισοτοπικές ζώνες (Κατά Mountrakis et al. 1983) (Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιανίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξίου, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιόνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παζών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα Ταλέα όρη – πλακώδεις ασβεστόλιθοι πιθανόν της Ιονίου ζώνης).



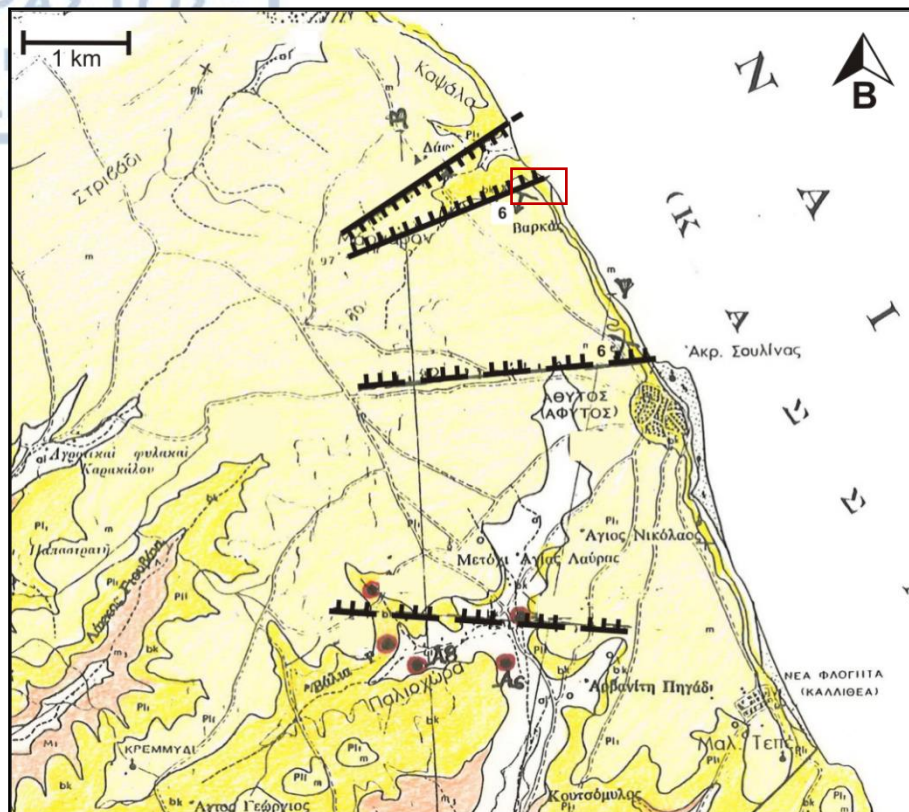
Εικόνα 5. Επικαιροποιημένος γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής με βάση τον χάρτη από Gutetal., 1969 (1. Τεταρτογενείς αποθέσεις, 2. Ερυθρές Μάργες ηλικίας Πλειο- Πλειστοκαίνου, 3. Ασβεστόλιθοι ηλικίας Άνω Μειοκαίνου, 4. Καστανές Μάργες Άνω Μειοκαίνου, 5. Ρήγματα, 6. Επαρχιακή οδός Μουδανίων – Παλιουρίου, 7. Υδρογραφικό δίκτυο)(Makedon&Chatzigogos, 2012).



Η περιοχή έρευνας δομείται από ρηξιγενείς δομές με διευθύνσεις ΒΑ -ΝΔ και κλίσεις Β-ΒΔ. Πρόκειται για κανονικά ρήγματα εφελκυστικής προέλευσης ηλικίας Πλειο – Τεταρτογενούς. Στην στενή περιοχή των αστοχιών (Εικόνες 7a, b) απαντώνται κανονικά ρήγματα με μετάπτωση της τάξης των 5 μέτρων δημιουργώντας ταφρογενή λεκάνη μεταξύ των θέσεων Δάφνη και Βαρκάς.



Εικόνα 7α. Μεταπρωτικό ρήγμα στο Νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης



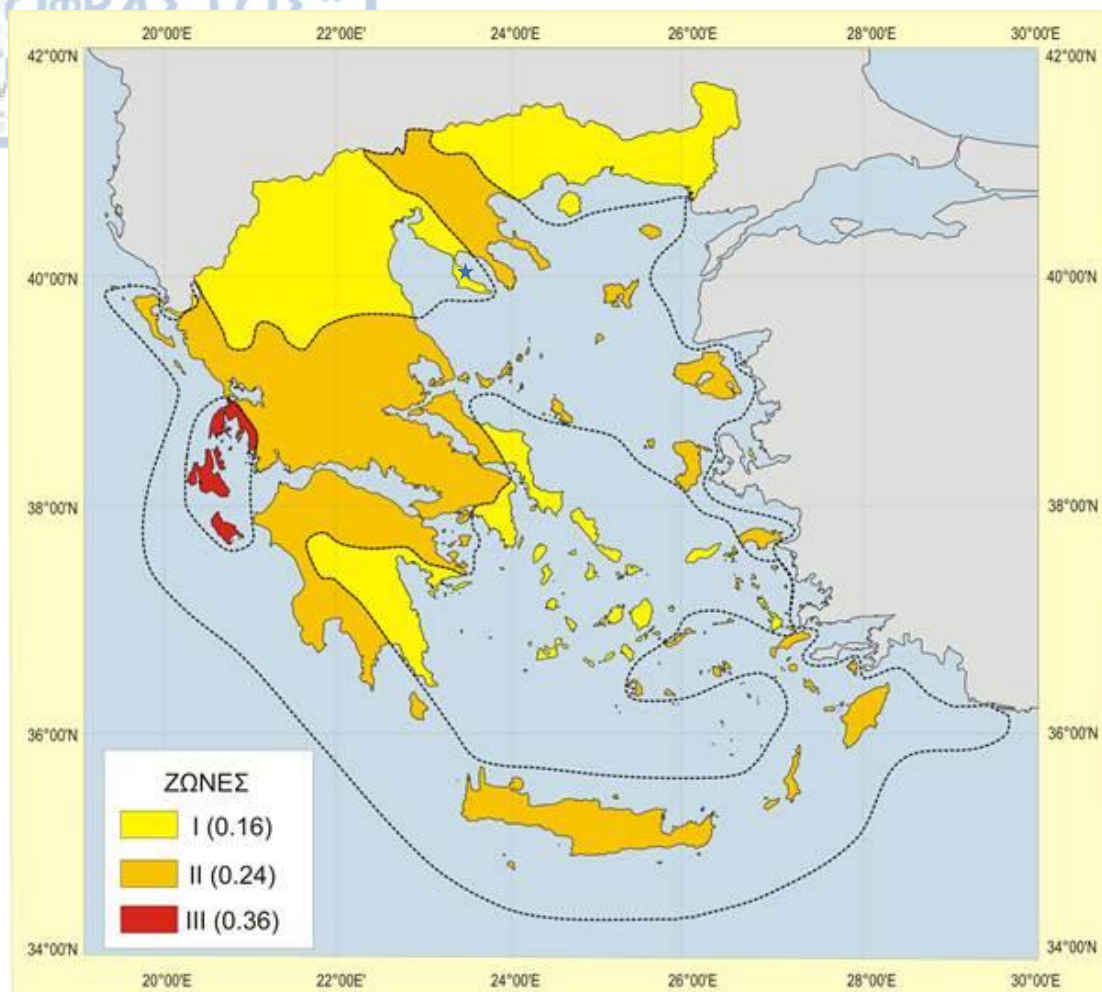
Εικόνα 7b. Απόσπασμα τεκτονικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής (από Θ. Μακεδών 1991) όπου σημειώνεται η θέση διέλευσης του μεταπτωτικού ρήγματος

5.4. ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η σεισμική δράση αποτελεί σημαντικό παράγοντα εκδήλωσης πολλών τύπων εμφάνισης κατολισθητικών φαινομένων σε βραχώδη και σε μικρής κλίσης εδαφικά πρανή. Όσον αφορά τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ – 2000) η ευρύτερη περιοχή έρευνας κατατάσσεται στην κατηγορία Ι σεισμικής επικινδυνότητας (Εικόνα 8). Η σεισμική επιτάχυνση εδάφους είναι:

$$A = a * g \quad (\text{Σχέση 1})$$

όπου $a = 0,16$ και g η επιτάχυνση της βαρύτητας ($g = 981 \text{ cm/sec}^2$), δηλαδή η αναμενόμενη μέγιστη σεισμική επιτάχυνση εδάφους είναι της τάξης του $0,16g$ ή 156.96 cm/sec^2 . Σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000, η ευστάθεια φυσικών και τεχνητών πρανών ελέγχεται με θεώρηση των ακολούθων πρόσθετων ενεργών επιταχύνσεων που δρουν στην εδαφική μάζα: οριζόντια $a_h = a_\pi = 0,08 g$ ή $78,48 \text{ cm/sec}^2$ και κατακόρυφη $a_v = \pm 0,5 * a_\pi = 0,04 g$ ή $39,24 \text{ cm/sec}^2$ ($a_\pi = 0,5 * a_{\text{για φυσικά πρανή}}$).



Εικόνα 8. Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση (ΦΕΚ Β' /2003). Στη θέση του αστερίσκου σημειώνεται η θέση μελέτης

Από την κατανομή των σεισμικών επικέντρων ενεργών ρηγμάτων στην περιοχή της Χαλκιδικής μπορούμε να παρατηρήσουμε πως η χερσόνησος της Κασσάνδρας είναι απαλλαγμένη από σημαντικά ρήγματα και στον κόλπο που σχηματίζεται μεταξύ της χερσονήσου της Κασσάνδρας και της Σιθωνίας, τα σεισμικά επίκεντρα είναι σχετικά ολιγάριθμα. Οι μεγαλύτεροι σεισμοί εμφανίζονται στα όρια του νομού της Χαλκιδικής με το νομό Θεσσαλονίκης (Ρήγμα Θεσσαλονίκης - Ρεντίνας) και επηρεάζουν κυρίως την περιοχή της Θεσσαλονίκης (Ρήγμα Γερακαρούς) και τις λίμνες Λαγκαδά και Βόλβης (Tranos et al., 2003). Στο Βορειοδυτικό τμήμα του Νομού Χαλκιδικής εντοπίζονται το ρήγμα Στρατωνίου – Βαρβάρας και το ρήγμα Γοματίου. Γενικότερα στην ηπειρωτική περιοχή της χερσονήσου η σεισμική δραστηριότητα συνδέεται με το βόρειο όριο της μετακίνησης της μικροπλάκας του Αιγαίου προς Δυσμάς. Γενικότερα, στους Νεογενείς σχηματισμούς δε

συγκεντρώνονται ελαστικές τάσεις που να προκαλούν υπολογίσιμους σεισμούς.

5.5. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

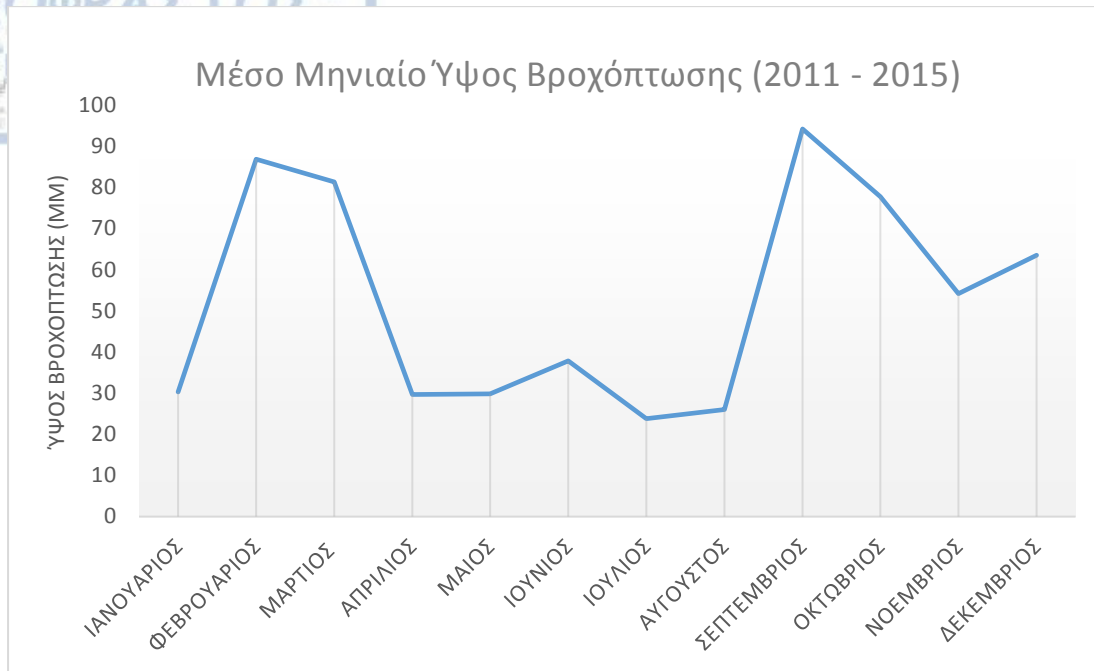
Η έντονη βροχόπτωση αποτελεί σημαντικό παράγοντα δημιουργίας κατολισθητικών κινήσεων καθώς αλλαγές στην ευστάθεια ενός πρανούς προκύπτουν εξαιτίας της δράσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων μέσα στα συστήματα ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα. Παράλληλα, το βάρος του νερού αυξάνει τις επί τόπου τάσεις. Για να εκδηλωθούν κατολισθητικές κινήσεις απαιτείται μεγάλης διάρκειας βροχόπτωση ώστε το νερό να έχει τον απαιτούμενο χρόνο να διεισδύσει σε μεγάλο βάθος. Σε περιοχές έντονης και συνεχούς παρουσίας φαινομένων αστάθειας η συνεχής μεταβολή του αναγλύφου έχει ως αποτέλεσμα τις μεταβολές των υδρολογικών, υδρογεωλογικών και τεχνικογεωλογικών παραμέτρων. Η εναλλαγή μεταξύ υγρής και ξηρής περιόδου έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον χαλάρωση της βραχομάζας.

Ακολουθεί συνοπτική παράθεση από βροχομετρικά στοιχεία που ελήφθησαν από καταγραφές της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας στον σταθμό της Κασσανδρείας που τέθηκε σε λειτουργία το Μάιο του 2011, (40,05115° Β, 23,41148° Α) με υψόμετρο παρατήρησης 29 μέτρα για διάστημα 5 ετών (2011 – 2015). Τα μέσα μηνιαία ύψη υετού για τα έτη 2011 μέχρι 2015 που προέκυψαν από καταγραφές του μετεωρολογικού σταθμού της Κασσανδρείας παρουσιάζονται στις Εικόνες 9 και 10. Παρατηρούμε πως η μηνιαία κατανομή των βροχοπτώσεων παρουσιάζει μέγιστο τους μήνες Φεβρουάριο και Σεπτέμβριο και ελάχιστο τους μήνες Απρίλιο και Ιούλιο. Η στατιστική ανάλυση του ύψους της βροχόπτωσης είναι ενδεικτική για την περιοχή και δεν παρουσιάζει αποκλίσεις. Το μέγιστο ύψος της βροχόπτωσης ξεπερνάει τα 150 mm, ικανό να πληρώσει τις ασυνέχειες στη βραχομάζα στο 33%.

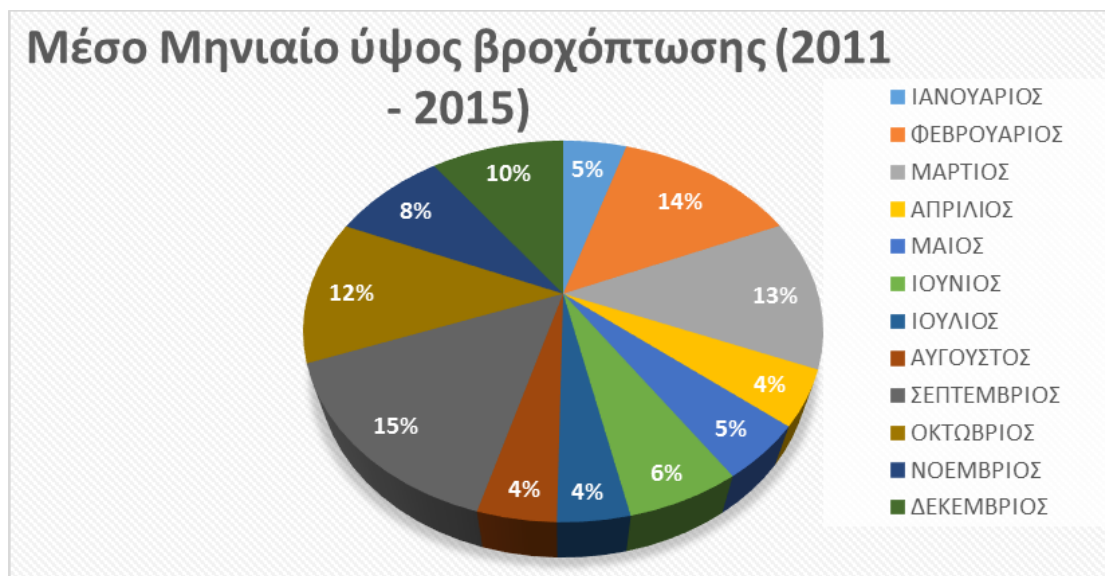
Πίνακας 4. Βροχομετρικά Στοιχεία του Σταθμού Κασσανδρεία

ΣΤΑΘΜΟΣ : ΚΑΣΣΑΝΔΡΕΙΑ					
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (φ): 40ο 05' 40,05115ο		ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (λ): 23ο 41'		ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΒΑΡΟΜΕΤΡΟΥ: 29 m	
ΜΗΝΙΑΙΟ ΥΨΟΣ ΥΕΤΟΥ (mm)					
ΕΤΟΣ	2011	2012	2013	2014	2015
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	-	10,8	23,8	46,7	40
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	-	106,4	146,6	21,8	72,6
ΜΑΡΤΙΟΣ	-	36	31,6	71,4	186,4
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	-	43,6	40,6	28,4	6
ΜΑΙΟΣ	42,2	79	3,8	17,6	19
ΙΟΥΝΙΟΣ	33,2	9	34,6	60	47,6
ΙΟΥΛΙΟΣ	21	0	35,8	47,6	11,8
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	16	0,8	26,8	37,6	39
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	60,4	75,4	22,8	78,2	200,4
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	49	26	25,6	112,8	146,5
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	21	73,2	29,6	91,8	22
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	118	57,4	33,8	144,8	18
ΕΤΗΣΙΟ	360,8	517,6	455,4	758,7	809,3

Πηγή: Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία

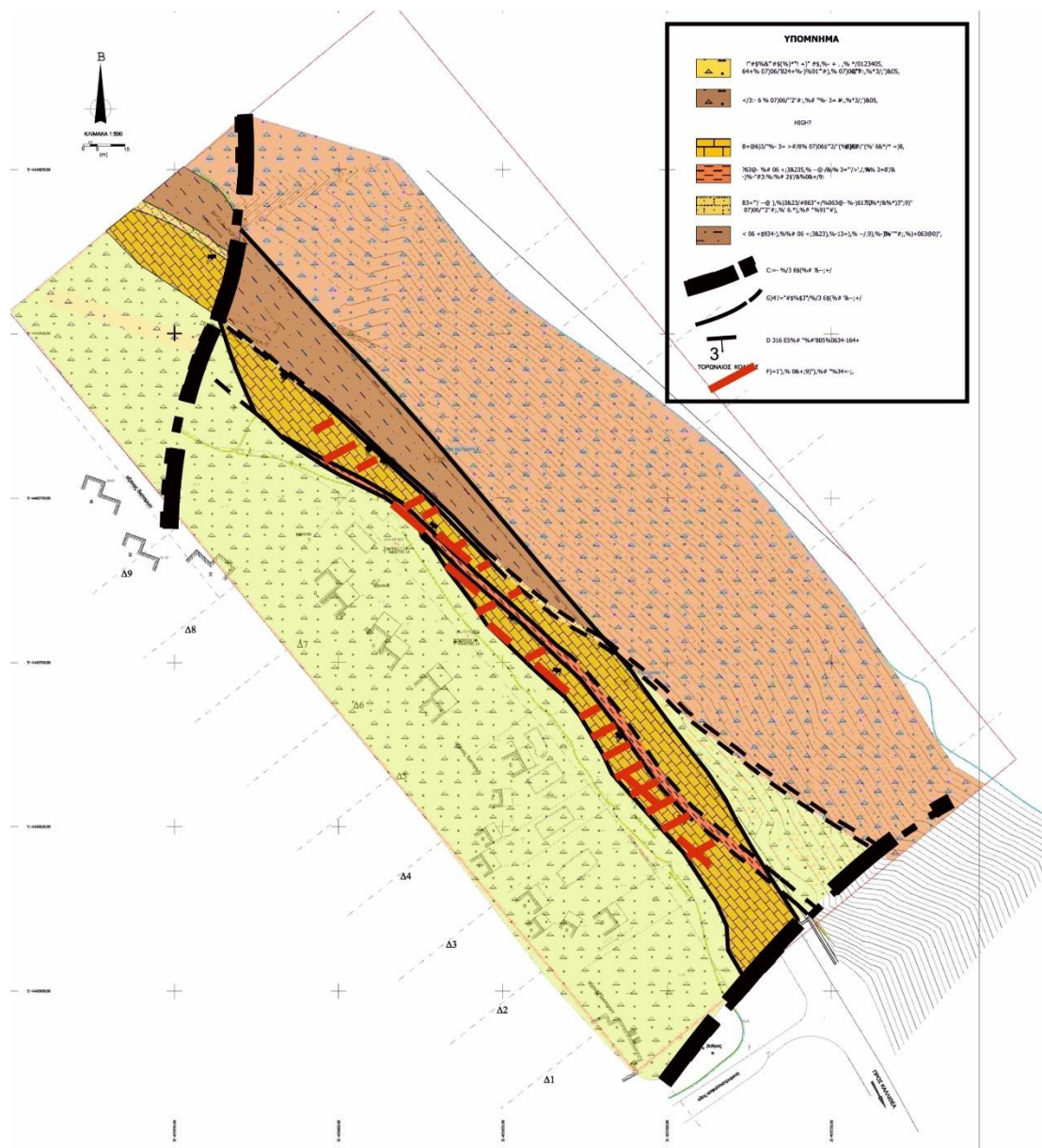


Εικόνα 9. Μέσο Μηνιαίο Ύψος Βροχόπτωσης (mm) για τα έτη 2011 – 2015, (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).



Εικόνα 10. Μηνιαία επί τοις εκατό κατανομή του μέσου ύψους βροχόπτωσης για τα έτη 2011 – 2015, (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Στα πλαίσια της γεωλογικής χαρτογράφησης χρησιμοποιήθηκαν ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ (Φύλλο Χερσόνησος Κασσανδρείας 1:50.000, 1978) και η γεωλογική χαρτογράφηση από τους Μακεδών & Χατζηγώγο 1:500, (Makedon & Chatzigogos, 2012) που συμπληρώθηκε και επικαιροποιήθηκε με επιτόπου παρατηρήσεις και καταγραφή στοιχείων από GPS. Στην Εικόνα 11 παρατίθεται η οριζοντιογραφία της περιοχής έρευνας.



Εικόνα 11. Οριζοντιογραφία της περιοχής έρευνας

6.1.2. ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Στην ευρύτερη περιοχή οι σχηματισμοί που κυριαρχούν στη γεωλογία κατά μήκος της οδοποιίας είναι οι ιζηματογενείς σχηματισμοί του Νεογενούς. Πρόκειται για χερσαίες και λιμνιαίες αποθέσεις που αποτελούνται κυρίως από καστανόχρωμες μάργες και υποκείμενους τεφρόλευκους ασβεστολίθους.

Οι υπερκείμενοι ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν μερική καρστικοποίηση επιτρέποντας την ελεύθερη διείσδυση του νερού στη μάζα τους. Εμφανίζονται σε δύο οριζόντιες στρώσεις πάχους της τάξης των 10 μέτρων. Ανάμεσα στις στρώσεις των ασβεστολιθικών μαζών εμφανίζεται οριζοντας μαργαϊκών αποθέσεων. Πρόκειται για καστανέρυθρες αμμώδεις έως αργιλικές μάργες με πάχος της τάξης των 2 μέτρων.

Κάτω από τον κατώτερο ασβεστολιθικό ορίζοντα στο μέσο του πρανούς (θέση Ξενοδοχείου «Αριστοτέλης») εμφανίζονται καστανές μάργες με μικρή συνοχή, ενώ στο υπόλοιπο πρανές συναντάται στρώμα πάχους της τάξης του 1 μέτρου που αποτελείται από λατυποπαγές και αποτελεί το στρώμα μετάβασης μεταξύ του κατώτερου ασβεστολίθου και των υποκείμενων καστανών μαργών.

6.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ – ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η ευστάθεια του τεχνητού πρανούς στην περιοχή έρευνας εξαρτάται αποκλειστικά από το πλήθος, το ανάπτυγμα, το άνοιγμα, τη γεωμετρία και το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών που έχουν αποτυπωθεί πάνω στη βραχομάζα. Η διαπίστωση ευνοϊκών προσανατολισμών σε σχέση με τη διεύθυνση κλίσης του τεχνητού πρανούς προκύπτει ύστερα από συλλογή παράσταση και αξιολόγηση στο δίκτυο Schmidt, όπου εκτελείται ανάλυση των μηχανισμών ολίσθησης που θα λάβουν χώρα στο πρανές. Συλλέγονται τόσες ασυνέχειες, ώστε οι συγκεντρώσεις των πόλων στο δίκτυο Schmidt να προσδιορίζουν σαφείς θέσεις των διαφόρων συστημάτων διακλάσεων που καταγράφονται στη βραχομάζα. Κατά τη συλλογή και καταγραφή των δεδομένων των ασυνεχειών των βραχώδων σχηματισμών πρέπει να τονισθεί πως η επιλογή των τεκτονικών στοιχείων πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικά της δομής. Πρέπει να αποφεύγονται περιπτώσεις αμέλειας μετρήσεων λόγω δυσκολίας της θέσης παρατήρησης, πυκνής βλάστησης ή

άλλων αποθαρρυντικών παραγόντων. Για να ερμηνευτούν και να επεξεργαστούν στατιστικά με όσο το δυνατόν λιγότερα σφάλματα πρέπει να εκτελούνται όσο το δυνατόν περισσότερες παρατηρήσεις από διαφορετικές θέσεις.

6.2.1. Συλλογή Δεδομένων Ασυνεχειών

Η στατιστική περιγραφή των ασυνεχειών επιτυγχάνεται με παραμέτρους οι οποίες προτείνονται και προδιαγράφονται από τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM, 1981). Η καταγραφή του προσανατολισμού μιας ασυνέχειας πραγματοποιείται με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας (CLAR). Οι ασυνέχειες θεωρούνται επίπεδες επιφάνειες με αποτέλεσμα ο προσανατολισμός τους να περιγράφεται είτε με την *παράταξη*, είτε με τη *διεύθυνση της μέγιστης κλίσης*. Η κλίση των ασυνεχειών περιγράφεται από τη *μέγιστη κλίση*, η οποία είναι η γωνία του διανύσματος της μέγιστης κλίσης του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο. Η διεύθυνση κλίσης εκφράζεται με τριψήφιο αριθμό ($0 - 360^\circ$) και η κλίση με διψήφιο ($0 - 90^\circ$). Η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών ελέγχει το μέγεθος των τεμαχών στα οποία αποχωρίζεται η βραχομάζα και καθορίζει, μεταξύ άλλων, τη διαπερατότητα των πετρωμάτων. Η μέτρησή της επιτυγχάνεται συνήθως με τον προσδιορισμό της μέσης απόστασης μεταξύ ασυνεχειών της ίδιας οικογένειας κατά μήκος μιας ευθείας μέτρησης.

Ως *μήκος* μιας ασυνέχειας καθορίζεται η *εμμονή* της στο χώρο και εκφράζει το βαθμό με τον οποίο τέμνει μια ασυνέχεια την έκταση της βραχομάζας. Όταν η ασυνέχεια είναι ορατή σε όλη την έκταση της βραχομάζας είναι πιθανή η ολίσθηση πάνω στην επιφάνειά της. Αντίθετα, όταν η ασυνέχεια παρουσιάζει μικρή εμμονή η αστοχία πιθανόν να λάβει χώρα σε σύνθετη επιφάνεια. Η καταγραφή της εμμονής εκτιμάται μακροσκοπικά σε σχέση με το εύρος της εξάπλωσης της βραχομάζας. Το *άνοιγμα* μιας ασυνέχειας ορίζεται ως η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων της ασυνέχειας αυτής. Μια ασυνέχεια μπορεί να χαρακτηριστεί από κλειστή έως πολύ ανοιχτή με ή χωρίς υλικά πλήρωσης άργιλο, ιλύ, λατυποπαγές κλπ. Το *υλικό πλήρωσης* περιγράφεται καθώς είναι καθοριστική η παρουσία του για τη διατμητική αντοχή της ασυνέχειας.

Η τιμή της διατμητικής αντοχής καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από την *τραχύτητα* των επιφανειών των τοιχωμάτων. Η επίδραση της τραχύτητας των ασυνεχειών στη διατμητική αντοχή τους εξετάστηκε από τον Patton (1966) που έδειξε πως η μέγιστη διατμητική αντοχή τραχείων επιφανειών ακολουθεί την σχέση:

$$\tau = \sigma_n * \tan(\varphi_b + i)$$

(Σχέση 2)

Όπου σ_n η επιβαλλόμενη ορθή τάση

φ_b η βασική γωνία τριβής και

i η γωνία που εκφράζει την τραχύτητα

Ο Barton με τους συνεργάτες του (1973, 1990) προτείνουν την παρακάτω σχέση:

$$\tau = \sigma_n * \tan\left(\varphi_b + JRC \log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right)\right)$$

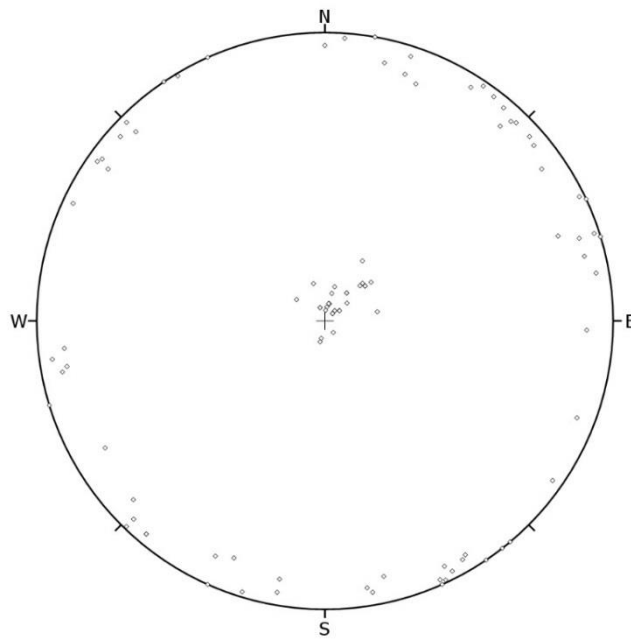
(Σχέση 3)

Όπου JRC (Joint Roughness Coefficient) είναι ο συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών και JCS (Joint wall Compression Strength) είναι η αντοχή στην ανεμπόδιση θλίψη των τοιχωμάτων της ασυνέχειας.

Το υλικό πλήρωσης επιδρά στη διατμητική αντοχή μιας τραχείας ασυνέχειας. Αύξηση του πάχους του μειώνει τη διατμητική αντοχή. Στην περίπτωση που υπάρχει μεγάλο πάχος υλικού και μικρή τραχύτητα, η διατμητική αντοχή της ασυνέχειας οριοθετείται από αυτήν του υλικού πλήρωσης. Στην περίπτωση αυτή εξετάζουμε την συμπεριφορά του υλικού πλήρωσης. Τέλος, το νερό που δύναται να βρεθεί μέσα σε ασυνέχειες προκαλεί αλλαγές στη μηχανική συμπεριφορά της βραχομάζας καθώς δρα ενεργά στη μεταβολή της ενεργής αντοχής της βραχομάζας και μπορεί να προκαλέσει αλλοίωσή της εξαιτίας της διαβρωτικής του δράσης.

6.2.2. Στατιστική Επεξεργασία Ασυνεχειών

Για την εκτίμηση της ευστάθειας του πρανούς αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις ασυνεχειών της ασβεστολιθικής μάζας που συλλέχθηκαν στα πλαίσια εκπόνησης της γεωλογικής - γεωτεχνικής μελέτης. Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων γίνεται ύστερα από μεταφορά τους στο δίκτυο Schmidt, από το οποίο θα προκύψουν οι πόλοι και οι επιφάνειες των αποχωριζόμενων γεωλογικών δομών στη βραχομάζας, οι οποίες θα προσδιορίσουν το μηχανισμό της αστοχίας και τις περιοχές επικινδυνότητας ολισθήσεων στο τεχνητό πρανές. Στην Εικόνα 12 απεικονίζεται σε ένα δίκτυο Schmidt η συγκέντρωση των πόλων όπως αυτή εξάγεται από το πρόγραμμα dips που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο και διατίθεται από τη Rocscience Inc.



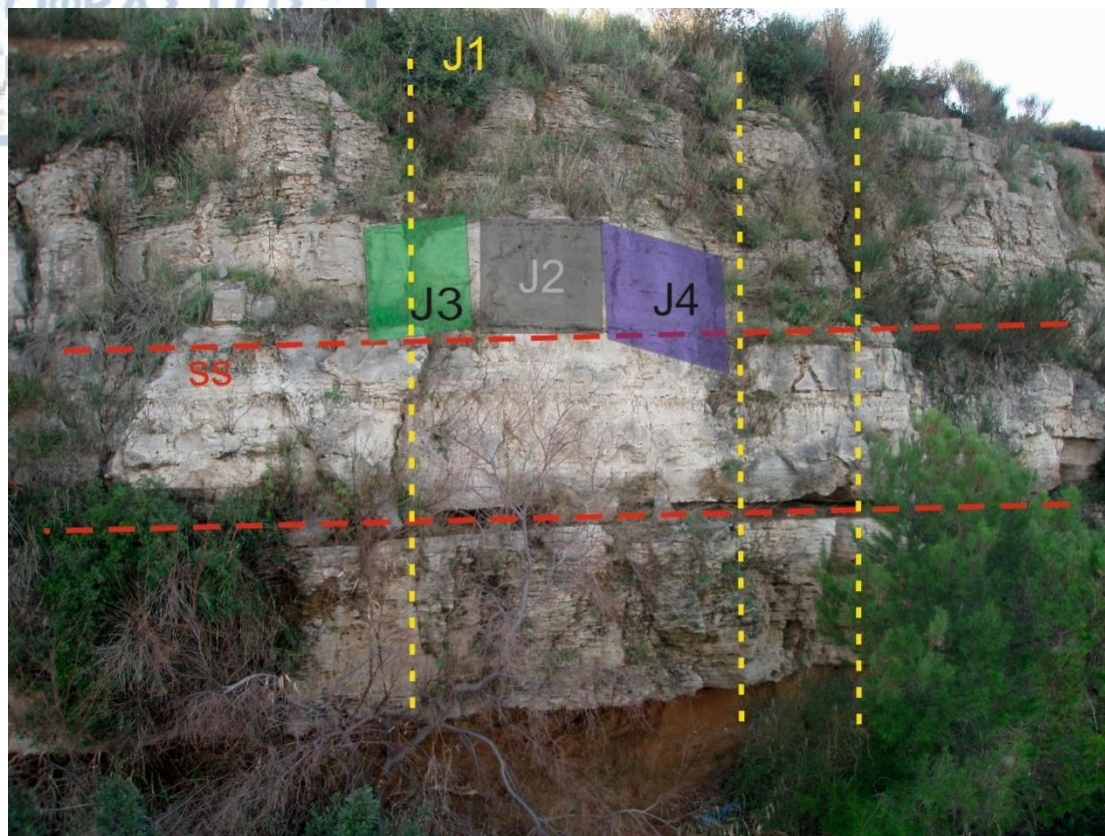
Symbol	Feature
○	Pole Vectors
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	100 (100 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Εικόνα 12. Στερεογραφική προβολή Schmidt διασποράς των πόλων των μετρήσεων των επιφανειών ασυνέχειας και στρώσης.

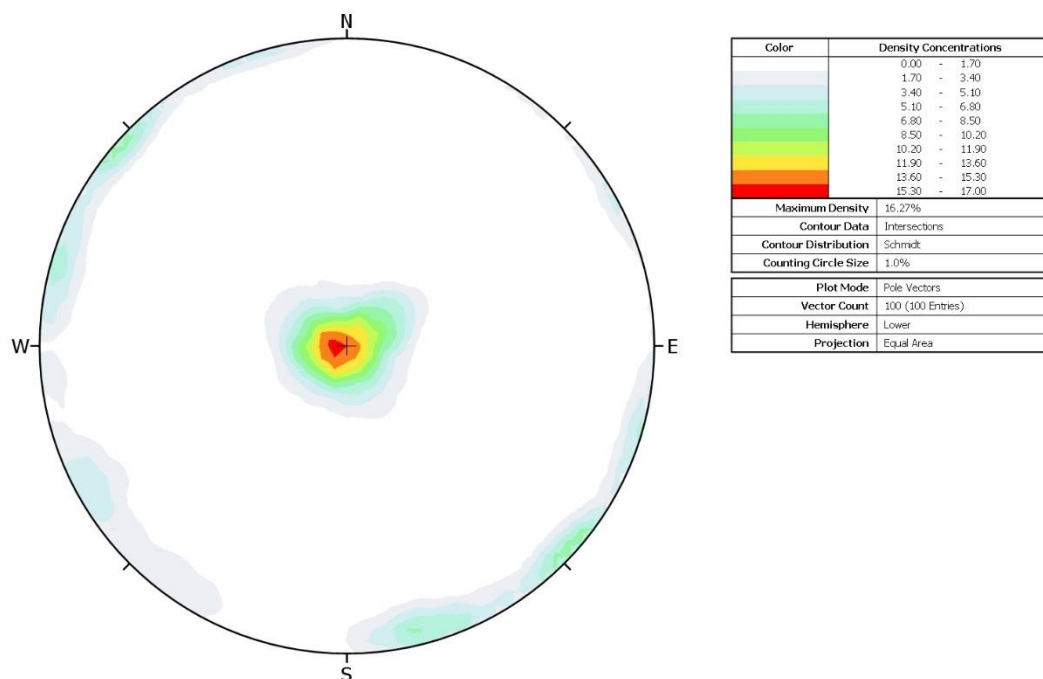
Στη συνέχεια καθορίζουμε τα στοιχεία των οικογενειών των ασυνεχειών με ένα μέσο πόλο και το αντίστοιχο μέγιστο κύκλο που αντιστοιχεί στην επιφάνεια της μέσης ασυνέχειας της συγκεκριμένης οικογένειας. Η στατιστική επεξεργασία απέδωσε τα στοιχεία των ασυνεχειών που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Ομαδοποίηση Στοιχείων Ασυνεχειών

Ομάδα Ασυνεχειών	Διεύθυνση Κλίσης	Γωνία Κλίσης	Απόσταση	Μήκος	Άνοιγμα
J1	335	88	3 - 5	>10	≥ 1
J2	220	89	0,1 - 1	3 - 5	Κλειστή
J3	255	90	0,1 - 0,3	3 - 5	Κλειστή
J4	013	90	0,1 - 0,3	1 - 2	Κλειστή
Στρώση	210	05			
Πρανές	055	80			

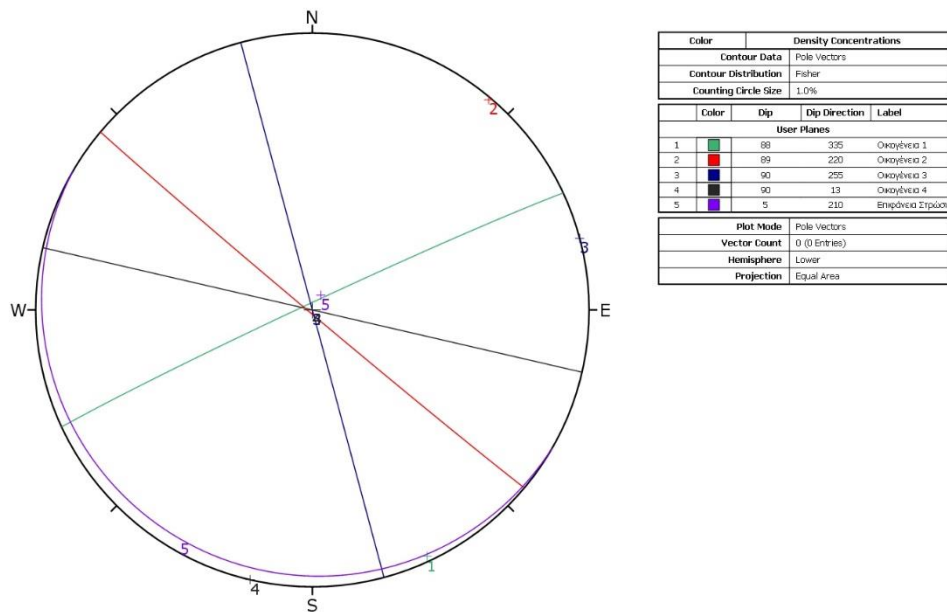


Εικόνα 13. Χαρακτηριστικές επιφάνειες των διαφορετικών ομάδων ασυνεχειών



Εικόνα 14. Στερεογραφική προβολή Schmidt καμπυλών ίσης συγκέντρωσης πόλων των μετρήσεων των επιφανειών ασυνέχειας και στρώσης

Ακολουθώς στο ίδιο διάγραμμα συμπληρώνονται τα τεκτονικά στοιχεία των τεκτονικών επιφανειών που εντοπίστηκαν κατά την υπαίθρια χαρτογράφηση. Στην παρούσα μελέτη πρόκειται για την επιφάνεια του πρανούς, τέσσερις κύριες ομάδες ασυνεχειών και την επιφάνεια στρώσης των στρωμάτων του ασβεστολίθου.



Εικόνα 15. Καταγραφή χαρακτηριστικών τεκτονικών στοιχείων κατόπιν ομαδοποίησης σε δίκτυο Schmidt

6.2.3 Κινηματική ανάλυση

Οι τύποι αστοχίας βραχώδους πρανούς κατά σειρά όπως προτείνονται είναι:

1. Κυκλική αστοχία
2. Επίπεδη αστοχία (αστοχία κατά επιφάνεια)
3. Αστοχία βραχώδους σφήνας και
4. Αστοχία με ανατροπή βραχωδών τεμαχίων.

Για την αξιολόγηση της ευστάθειας βραχωδών πρανών προτείνονται διάφορες δοκιμές.

6.2.3.1 Κινηματική ανάλυση επίπεδης αστοχίας (αστοχία κατά επιφάνεια)

Γενικά ένα βραχώδες τέμαχος που βρίσκεται σε επαφή με κεκλιμένη επιφάνεια γωνίας α δύναται να ολισθήσει ως προς την επιφάνεια αυτή. Στην περίπτωση αυτή η συνιστώσα της τριβής ϕ ενεργεί ως δύναμη συγκράτησης. Για να έχουμε ολίσθηση θα πρέπει να ισχύει η σχέση

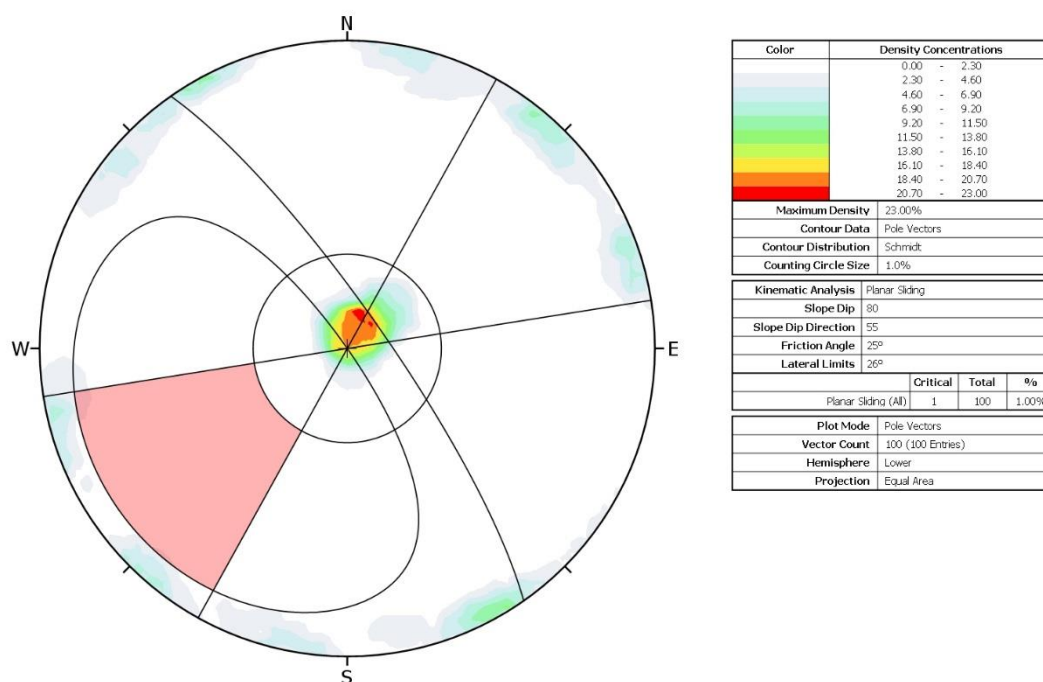
$$\phi_p > \phi_a > \phi \quad (\text{Σχέση 4})$$

Όπου ϕ_p η γωνία κλίσης του πρανούς

ϕ_a η γωνία κλίσης των επιφανειών και

ϕ η γωνία τριβής

Από την κινηματική ανάλυση ως προς πιθανή επίπεδη ολίσθηση για διεύθυνση κλίσης και γωνία κλίσης πρανούς 055/80 προκύπτει πως δεν υπάρχει κίνδυνος αυτού του είδους της αστοχίας και δεν επαληθεύεται η Σχέση 4.

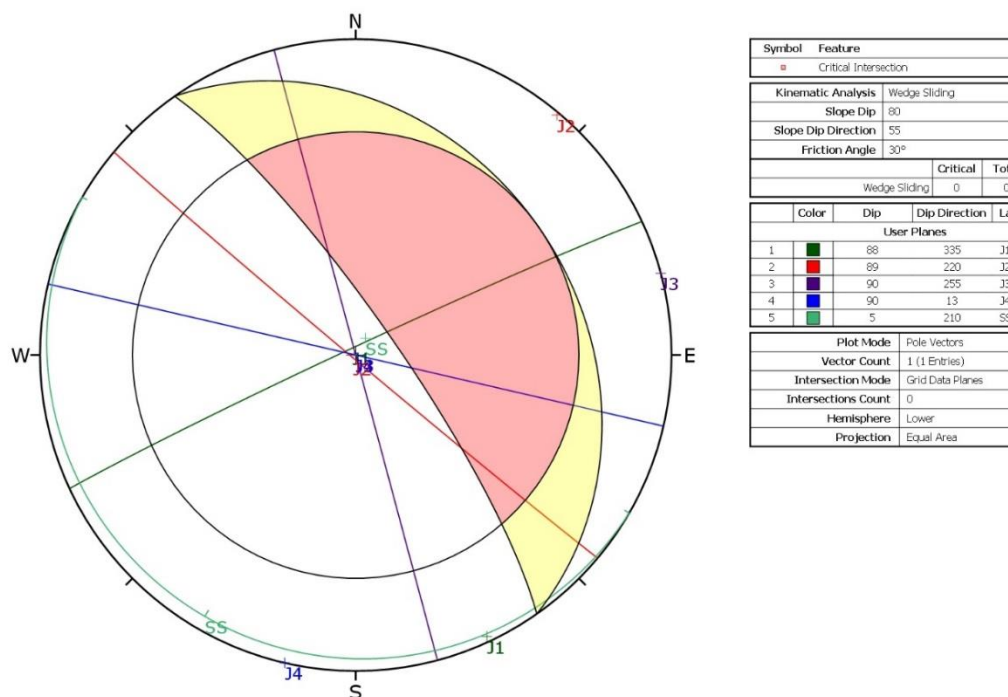


Εικόνα 16. Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης σε δίκτυο Schmidt με το πρόγραμμα dips.exe

6.2.3.2 Κινηματική ανάλυση αστοχίας βραχώδους σφήνας

Στην περίπτωση που οι δύο ασυνέχειες σχηματίζουν βραχοσφήνα η ανάλυση της

ευστάθειας αναλύεται σε στερεογραφικό δίκτυο Schmidt. Οι δυνατές διευθύνσεις της ολίσθησης εξαρτώνται από τη διάταξη στο χώρο των επιπέδων της σφήνας. Η πρώτη περίπτωση δημιουργείται όταν είναι κινηματικά δυνατή η ολίσθηση της σφήνας κατά τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης μιας από τις επιφάνειες ασυνέχειας. Επίσης η δεύτερη περίπτωση εξετάζεται όταν η θέση των ασυνεχειών είναι τέτοια ώστε σε περίπτωση ολίσθησης η σφήνα έρχεται σε επαφή και με τις 2 ασυνέχειες, οπότε η διεύθυνση ολίσθησης συμπίπτει με τη διεύθυνση της τομής τους. Και στις δύο περιπτώσεις ισχύει η παραδοχή πως η συνοχή είναι 0. Από την κινηματική ανάλυση προκύπτει πως δεν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας βραχώδους σφήνας.



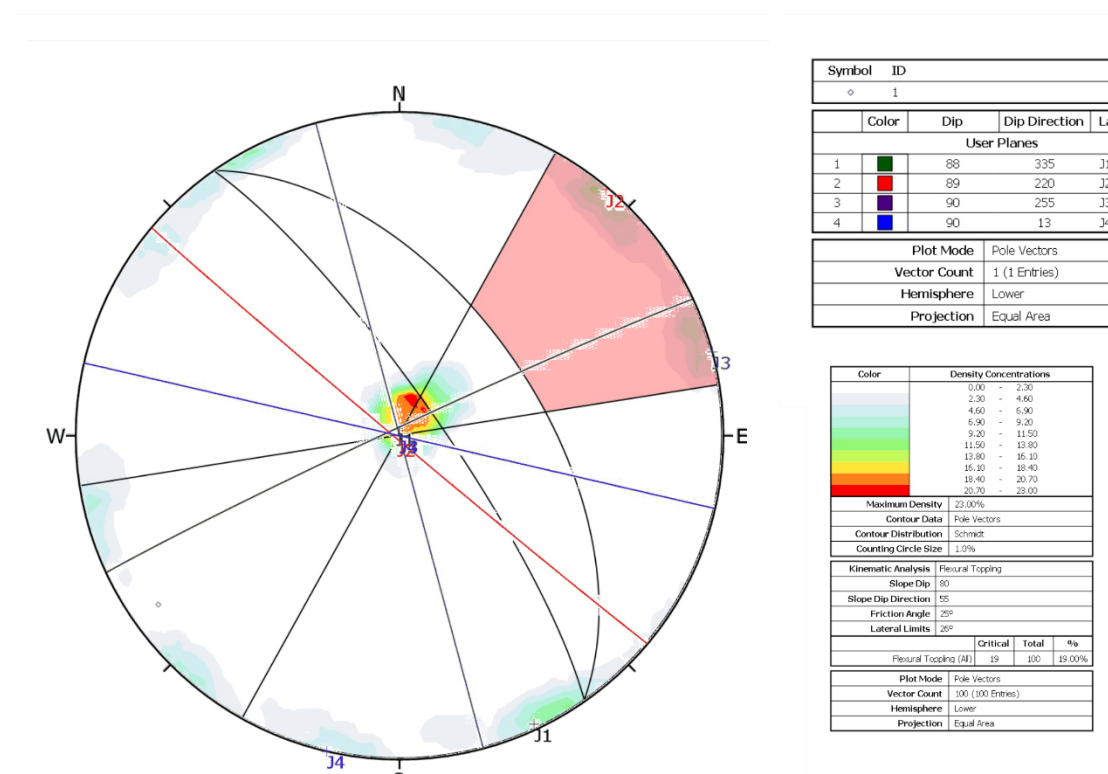
Εικόνα 17. Κινηματική ανάλυση έναντι ολίσθησης βραχώδους σφήνας σε δίκτυο Schmidt με το πρόγραμμα dips.exe

6.2.3.3 Κινηματική ανάλυση αστοχίας με ανατροπή βραχώδων τεμαχών

Η αστοχία με ανατροπή βραχωδών τεμαχών πραγματοποιείται με περιστροφή τεμαχών γύρω από σταθερή βάση. Εξαρτάται από το ύψος και το πλάτος των τεμαχών ενώ η συνοχή θεωρείται 0. Η συνθήκη ολίσθησης ικανοποιείται όταν το βάρος του τεμαχούς ανατροπής πέφτει εντός της βάσης έδρασής του και η κλίση του επιπέδου είναι μεγαλύτερη από τη γωνία εσωτερικής τριβής. Η ανατροπή εξελίσσεται σε πτώση ή ολίσθηση ανάλογα με τη γεωμετρία του πρηνούς και της μετακινούμενης μάζας. Η ταξινόμηση των ανατροπών βραχωδών τεμαχών γίνεται με

βάση το μηχανισμό που οδηγεί στην εκδήλωσή τους (Goodman & Bray ,1976 και Hoek & Bray,1977). Κατά την ανατροπή λόγω κάμψης, το σκληρό πέτρωμα αποχωρίζεται σε κολώνες εξαιτίας ενός καλά αναπτυγμένου συστήματος ασυνεχειών). Η ανατροπή τεμαχών διαφέρει από την ανατροπή λόγω κάμψης αφού η αστοχία οφείλεται στην παρουσία ενός δεύτερου συστήματος ασυνεχειών. Όταν λαμβάνει χώρα υποσκαφή της βάσης του πρανούς εξαιτίας φυσικών διεργασιών έχουμε περιπτώσεις δευτερογενών ανατροπών.

Από την κινηματική ανάλυση προκύπτει πως δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπής βραχωδών τεμαχών με διεύθυνση αντίρροπη προς τη διεύθυνση του πρανούς και μεγάλη γωνία κλίσης. Η μόνη περίπτωση αστοχίας που μπορεί γεωμετρικά και με βάση τον προσανατολισμό του πρανούς και των ασυνεχειών να δικαιολογηθεί είναι η περίπτωση της ανατροπής βραχωδών τεμαχών που αποκόπτονται από μεγάλου μήκους ασυνέχειες που βυθίζονται αντίρροπα ως προς την κλίση του πρανούς και με μεγάλη γωνία κλίσης. Τέτοια είναι η περίπτωση των ασυνεχειών J1 και J2 που σε σχέση με το πρανές είναι ικανές να δώσουν ανατροπή τεμαχών όταν είναι τελείως ανοιχτές.



Εικόνα 18. Κινηματική ανάλυση έναντι ολίσθησης με ανατροπή βραχωδών τεμαχώνσε δίκτυο Schmidt με το πρόγραμμα dips.exe

Από την καταγραφή και την κινηματική ανάλυση των ασυνεχειών που συλλέχθηκαν στην περιοχή προκύπτει πως ο προσανατολισμός και η γωνία κλίσης δεν μπορεί να προκαλέσει επίπεδη αστοχία ή αστοχία βραχώδους σφήνας. Η μικρή γωνία κλίσης της επιφάνειας στρώσης των βραχωδών σχηματισμών είναι γενικά ευνοϊκή σε σχέση με το πρανές του δρόμου. Υπάρχει ωστόσο πιθανότητα περιστροφής και ανατροπής τεμαχίων όταν οι ασυνέχειες J1 και J2 είναι τελείως ανοιχτές.

6.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΚΑΤΑ GSI

Ο σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή είναι μαργαϊκής σύστασης. Ως μάργα ορίζεται ο ιζηματογενής σχηματισμός, που χημικά και ορυκτολογικά κυμαίνεται μεταξύ ασβεστολίθου και αργίλου. Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί καλύπτουν ένα ευρύ τμήμα του Ελλαδικού χώρου και παρουσιάζουν σπουδαίο ενδιαφέρον από γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής σκοπιάς. Πρόκειται για σχηματισμούς λιμνιάας, ποταμολιμνιάας ή θαλάσσιας προέλευσης. Η χημική της σύσταση είναι κυρίως ασβεστιτική (σε ποσοστό 35 % ως 75%) με την υπόλοιπη σύστασή της να συμπληρώνεται από αργιλικό κλάσμα. Το ασβεστιτικό περιεχόμενο προέρχεται από διάλυση και απόθεση των ανθρακικών πετρωμάτων που περιβάλλουν τη λεκάνη, καθώς μειώνεται η διαλυτότητά τους.

Η δομή των μαργών εμφανίζει ενισχυμένο δεσμό μεταξύ μεμονωμένων σωματιδίων υπό τη μορφή συγκόλλησης που οφείλεται στην απόθεση ανθρακικού ασβεστίου κατά την ιζηματογένεση. Παρουσιάζουν λοιπόν υψηλή σκληρότητα και αντοχή σε χαμηλή ή μέση εφαρμογή ορθής τάσης, ιδιότητες που ελαττώνονται αισθητά όταν, εξαιτίας της ανηγμένης παραμόρφωσής της, οι δεσμοί μεταξύ των κόκκων της αποδομούνται (Kavvadas et al., 2003).

Η El Amrani Paaza με τους συνεργάτες της (1998) εξέτασαν τις μηχανικές ιδιότητες των μαργών στη λεκάνη της Γρανάδας και την επιδεκτικότητα τους στην αποσάθρωση. Αποκάλυψαν την ευπάθεια των σχηματισμών στις καιρικές συνθήκες, οι οποίες οφείλονται στην επίδραση του αργιλικού κλάσματος και την παρουσία θεικών αλάτων στη σύστασή τους. Ειδικότερα, τα ανώτερα στρώματα που παρουσιάζουν υψηλή διατμητική αντοχή και ξηρή πυκνότητα έχουν μικρή συμμετοχή του αργιλικού κλάσματος και μεγαλύτερη επιδεκτικότητα στην αποσάθρωση. Αντίθετα, οι κατώτεροι μαργαϊκοί ορίζοντες με μεγαλύτερο λόγο διόγκωσης και βέλτιστη περιεκτικότητα σε υγρασία εμφανίζουν μικρότερη επιδεκτικότητα στην

αποσάθρωση. Η μηχανική συμπεριφορά της μάργας φαίνεται να εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το ανθρακικό της περιεχόμενο και το βαθμό συμπαγοποίησης των σχηματισμών που αυξάνει τη διατμητική αντοχή.

Οι Hoek, Marinos & Marinos (2005) έδειξαν ότι οι τεχνικογεωλογικές ιδιότητες της μάργας δεν καθορίζονται αποκλειστικά από το λόγο κενών ή το ιστορικό των τάσεων όπως συμβαίνει με τα αργιλικά ιζήματα. Η παρουσία τους μεταξύ των ψαμμιτικών μελών σε μολάσσεσ ελαττώνει αισθητά την αντοχή τους στην ανεμπόδιστη θλίψη από 50 MPa σε 10 MPa. Ομοίως, αντοχή στην ανεμπόδιστη θλίψη των τυπικών ιλύολιθων είναι της τάξης των 15 MPa, τιμή που ελαττώνεται σε 5 με 10 MPa στους αργιλικούς σχιστόλιθους και τις μάργες. Στα βραχώδη τεμάχια όπου συναντώνται εδαφικοί ορίζοντες ή τεκτονικές ασυνέχειες εφαρμόζεται η ταξινόμηση της βραχομάζας κατά GSI με σκοπό τον καθορισμό της τιμής της αντοχής του αδιατάρακτου βράχου σε συμφωνία με το κριτήριο των Hoek – Brown.

Τα πλέον διαδεδομένα συστήματα ταξινόμησης της βραχομάζας είναι:

Το σύστημα GSI

Το σύστημα RMR (Bieniawski)

Το σύστημα Q (NGI)

Το σύστημα GSI βασίζεται στη συναξιολόγηση δυο παραμέτρων:

(α) Της δομής της βραχομάζας, που χαρακτηρίζει το βαθμό αλληλεμπλοκής των βραχωδών τεμαχίων.

(β) Της κατάστασης των επιφανειών των ασυνεχειών που χαρακτηρίζει το μέγεθος της διατμητικής αντοχής τους.

Οι αστοχίες που λαμβάνουν χώρα στα πρηνή της περιοχής έρευνας οφείλονται στην παρουσία των ασυνεχειών. Το άρρηκτο πέτρωμα παρουσιάζει μεγαλύτερη αντοχή σε σύγκριση με τις ασυνέχειες. Συνεπώς, στην αστοχία ενός πρηνούς βραχομάζας εξετάζεται η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών και όχι του άρρηκτου βράχου. Η διατμητική αντοχή έχει χαρακτηριστικά αστοχίας ανισότροπου μέσου και χαρακτηρίζεται από το σύνολο, τα χαρακτηριστικά και την αλληλεμπλοκή των συστημάτων ασυνεχειών.

Για λόγους πληρότητας της έρευνας αποφασίστηκε η ταξινόμησης της ασβεστολιθικής σύστασης βραχομάζα με το σύστημα GSI. Κατά την επί τόπου παρατήρηση σε διάφορες θέσεις στην περιοχή εκτελέστηκε ταξινόμηση των ασβεστολίθων. Πρόκειται για διαταραγμένη βραχομάζα στην οποία εντοπίζονται 4 οικογένειες ασυνεχειών, οι οποίες εμφανίζονται κλειστές, τραχείες πληρωμένες με υλικά αποσάθρωσης. Ειδικότερα οι ασυνέχειες της ομάδας J1 διατρέχουν το σύνολο του μετώπου του πρανούς (μήκος άνω των 10 μέτρων), οι ασυνέχειες που ανήκουν στις ομάδες J2 και J3 έχουν μήκος μεταξύ 2 και 3 μέτρων ενώ οι ασυνέχειες που ανήκουν στην ομάδα J4 παρουσιάζουν μικρότερη εμμόνη, από 1 έως 2 μέτρα. Ο δείκτης γεωλογικής αντοχής για τον ασβεστόλιθο δε μεταβάλλεται σε όλη την περιοχή έρευνας και έχει τιμή της τάξης $GSI = 50 - 60$.



Εικόνα 19, Καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι ΒΔ της περιοχής μελέτης στο ύψος των 5 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας,



Εικόνα 20. *Τεμαχώδεις Ασβεστόλιθοι με γωνιώδη τεμάχη στη θέση του Ξενοδοχείου Αριστοτέλης.*



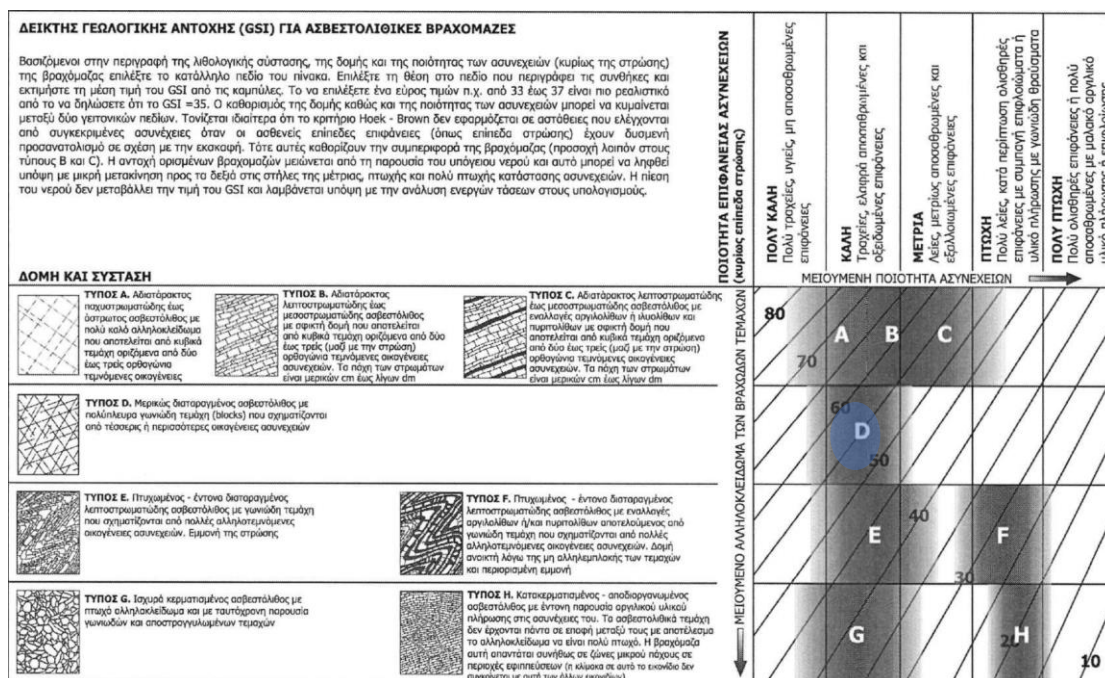
Εικόνα 21. *Ασβεστολιθικό στρώμα με εμφάνιση των υποκείμενων καστανέρυθρων Μαργών.*

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΟΥΣ ΒΡΑΧΟΥΣ (Hoek and Marinos, 2000) Βασίζόμενοι στην εμφάνιση της βραχόμαζας (περιγραφή δομής και κατάσταση επιφανείας ασυνεχειών) εκτιμήστε τη μέση τιμή του GSI, χωρίς υποχρεωτικά μεγάλη ακρίβεια. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 ως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι GSI=35. Σημειώνεται ότι ο Πίνακας δεν εφαρμόζεται σε κινηματικά ελεγχόμενες αστάθειες. Στην περίπτωση που οι ασθενείς επιπίεδες επιφάνειες έχουν μη ευνοϊκό προσανατολισμό σε σχέση με το πρηνές εκσκαφής, τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διατμητική αντοχή επιφανειών σε βράχους που υπόκεινται σε εξασθένιση λόγω διακύμανσης της περιεκτικότητας σε υγρασία, είναι περαιτέρω μειωμένη όταν υπάρχει νερό. Όταν, οι βραχόμαζες ανήκουν στις μέτριες έως πτωχές κατηγορίες και υπάρχει νερό τότε μετακινούμαστε προς τα δεξιά. Η υδροστατική πίεση λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων.		ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ				
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, μη αποσασθρωμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσασθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσασθρωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης, πολύ αποσασθρωμένες με σημαντική επιφλοιομια ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Επιφάνειες ολίσθησης πολύ αποσασθρωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης
ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 INTACT OR MASSIVE - Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	ΜΕΙΟΥΜΕΝΟ ΑΛΛΗΛΟΚΛΕΙΔΩΜΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ	90			N/A	N/A
 BLOCKY - Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80				
 VERY BLOCKY- Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		70				
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από πολλές αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας		60				
 DISINTEGRATED - Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιωδών και αποστρωγυλωμένων τεμαχίων		50				
 LAMINATED/SHEARED - Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η σχιστότητα επικρατεί έναντι οποιασδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιωδών τεμαχίων		40				
		30				
		20				
		10				
		N/A	N/A			

Εικόνα 22. Γεωλογικός δείκτης Αντοχής GSI σε ραγματωμένους βράχους. Σημειώνεται ο δείκτης της βραχόμαζας στη θέση παρατήρησης.

Τα ασβεστολιθικά πετρώματα γενικά ταξινομούνται και βαθμονομούνται ικανοποιητικά από το γεωλογικό δείκτη αντοχής GSI σε ρηγματωμένους βράχους αφού χαρακτηρίζονται από τον κερματισμό μέσα από συστήματα διακλάσεων και την δημιουργία συγκεκριμένων τεμαχών.

Χαρακτηριστικό της ποιότητας των ανθρακικών πετρωμάτων αποτελεί ο βαθμός κερματισμού τους και η ενδεχόμενη παρουσία αργιλικού υλικού ανάμεσα στις ασυνέχειες τους. Μια ασβεστολιθική βραχομάζα δεν παρουσιάζει τοπικά διατηρημένες-φυλλώδεις δομές λόγω της ψαθυρότητάς της. Επιπλέον, λόγω της ορυκτολογικής σύστασης του ασβεστόλιθου αυτός δεν αποσαθρώνεται σύμφωνα με τα άλλα πετρώματα. Η αλλοίωσή του αφορά τη διάλυση και τη δημιουργία καρστικών μορφών. Εφόσον οι βραχομάζες αυτές δεν μπορούν να ταξινομηθούν γεωτεχνικά με τα γνωστά συστήματα καθώς δεν έχουν τη λογική του κερματισμού και η συμπεριφορά τους βασίζεται σε εντελώς διαφορετικούς μηχανισμούς (ευστάθεια προσφάτων υλικών πλήρωσης και βραχομάζας με πολύ ανοικτές ασυνέχειες χωρίς καμία τριβή των τεμαχών της). Ο ασβεστόλιθος που συναντάται στην περιοχή χαρακτηρίζεται ως μερικώς διαταραγμένος με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια με ελαφρά αποσαθρωμένες και οξειδωμένες επιφάνειες ασυνεχειών σε όλο τον όγκο της βραχομάζας (ασβεστόλιθος τύπου D σύμφωνα με το Δείκτη Γεωλογικής Αντοχής για ασβεστολιθικές βραχομάζες, Εικόνα 23).



Εικόνα 23. Σύστημα ταξινόμησης βραχομάζας GSI (Geological Strength Index) για ασβεστολιθικές βραχομάζες όπως ο ασβεστόλιθος (Μαρίνος, 2007).

7. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ

ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΑΝΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

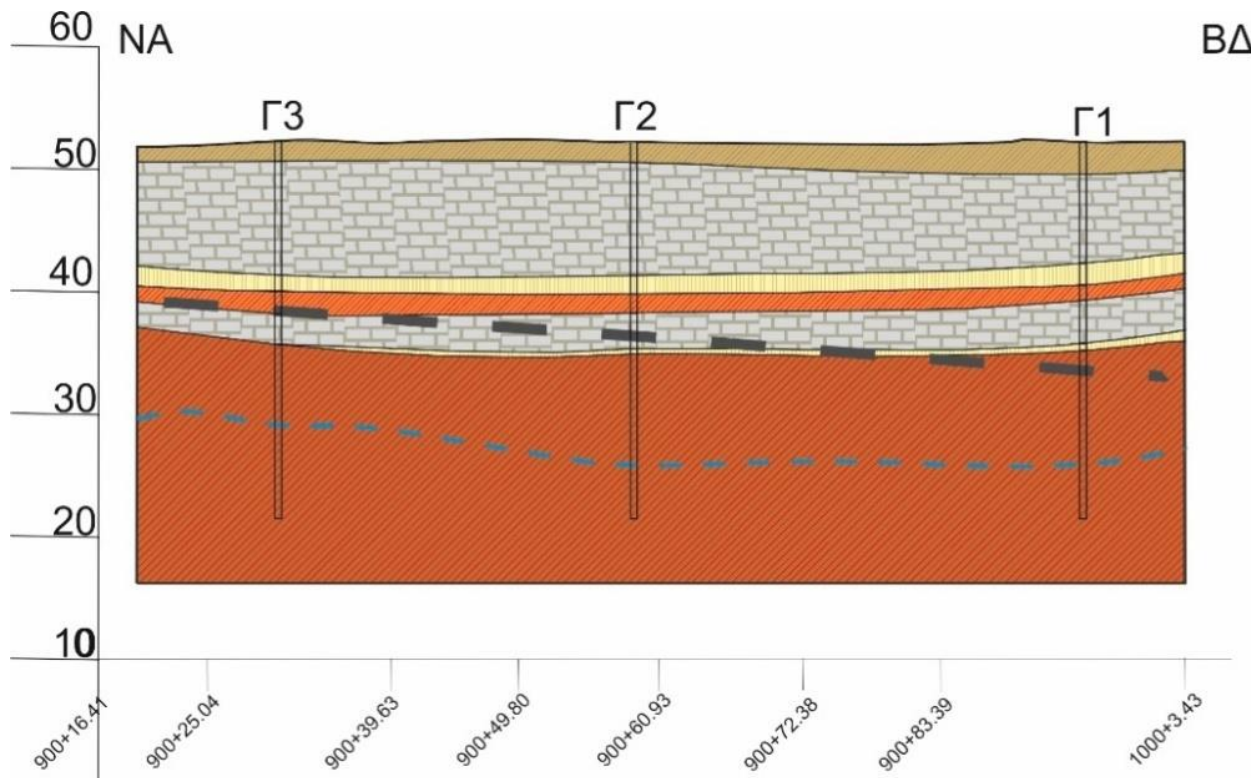
Οι εργαστηριακές και οι επί τόπου δοκιμές της εδαφομηχανικής έχουν ως σκοπό να μετρήσουν τις φυσικές και τις μηχανικές ιδιότητες δοκιμίων και θέσεων εμφάνισης των σχηματισμών αυτών. Τα αποτελέσματα από τις δοκιμές χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους. Η εκτέλεση των εργαστηριακών και των επί τόπου δοκιμών χαλαρών πετρωμάτων και βραχών έχει ως σκοπό την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις φυσικές ιδιότητες και τη μηχανική συμπεριφορά τους. Ο δείκτης GSI ταξινόμησης της βραχομάζας συμβάλλει στη γεωτεχνική ταξινόμηση και το χαρακτηρισμό του βραχώδους υλικού (ακέραιου πετρώματος). Τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά που επιλέχθηκαν να αξιολογηθούν παρουσιάζονται στον πίνακα 6.

Πίνακας 6. Μηχανικά και Φυσικά χαρακτηριστικά που αξιολογήθηκαν

	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ	ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ	ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ
ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΑΝΕΜΠΟΔΙΣΤΗ ΘΛΙΨΗ	ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΥ
	ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ		ΔΕΙΚΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ
ΕΔΑΦΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ	
	ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ		

7.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ

Με βάση τη λιθολογική σύσταση και το είδος των σχηματισμών που εντοπίζονται από τις καταγραφές στα φύλλα των γεωτρήσεων μπορούμε να εξάγουμε το γεωλογικό μοντέλο για την περιοχή όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 24.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

	Καστανή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης		Λευκότεφρος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, ελαφρά έως μέτρια αποσπασμένος και κατά θέσεις κερματισμένος
	Ανοιχτοκαστανή ΑΜΜΟΣ με αργιλοϊλύ		Υδροφόρος Ορίζοντας
	Ερυθρή ΑΡΓΙΛΟΣ τοπικά με χάλικες		

Εικόνα 24.

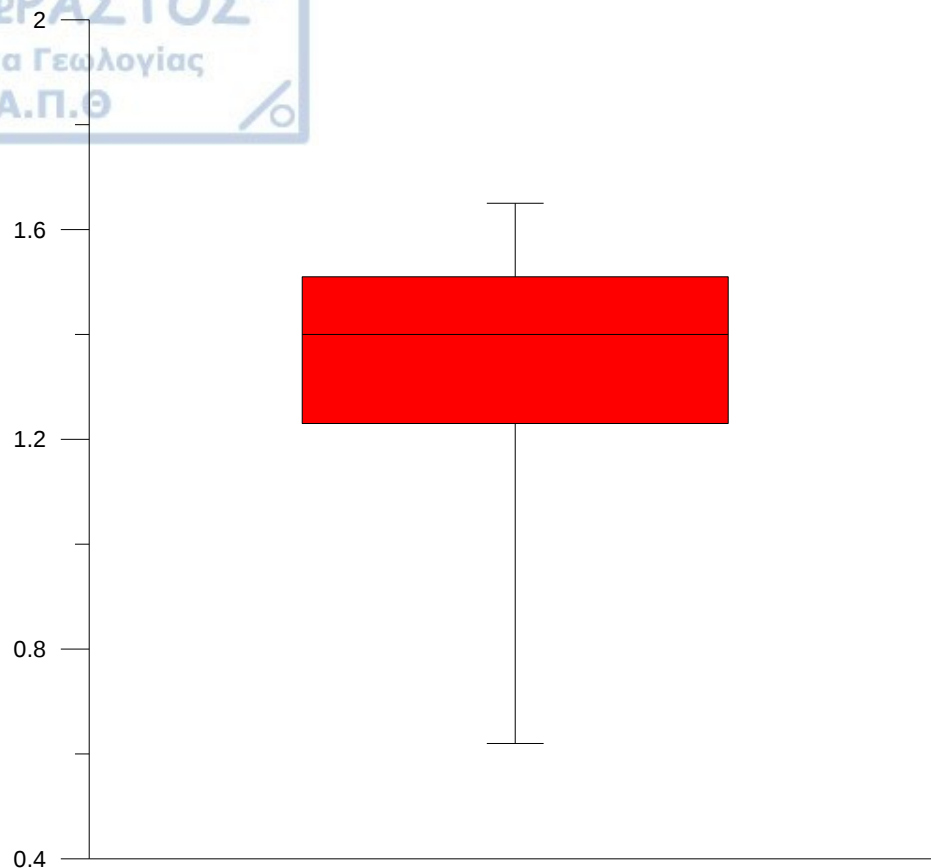
Γεωλογικό προσομοίωμα της μηκοτομής σύμφωνα με δεδομένα γεωτρήσεων.

7.3.1 Δοκιμή Αντοχής σε σημειακή Φόρτιση

Πρόκειται για δοκιμή που εκτελείται στην ύπαιθρο και δεν απαιτεί προετοιμασία του δείγματος. Το δείγμα υποβάλλεται σε αντιδιαμετρική σημειακή φόρτιση και προσδιορίζονται ο δείκτης σημειακής φόρτισης και ο δείκτης ανισοτροπίας. Η φόρτιση εκτελείται βαθμιαία μέχρι την θραύση του δείγματος. Από τον δείκτη σημειακής φόρτισης εξάγεται η αντοχή του υλικού σε μονοαξονική θλίψη σύμφωνα με την σχέση

$$\sigma_c = k * I_s \quad (\text{Σχέση 5})$$

Όπου σ_c η αντοχή του υλικού σε μονοαξονική θλίψη, I_s ο δείκτης σημειακής φόρτισης και k συντελεστής που λαμβάνει τιμές της τάξης 20 μέχρι 24 και η τιμή του εξαρτάται από τη διάμετρο των πυρηνών των δειγμάτων. Εκτελέστηκαν συνολικά 6 δοκιμές σε δείγματα από τον ανώτερο ορίζοντα των ασβεστολίθων και σε ένα από τον κατώτερο. Από την στατιστική ανάλυση των μετρήσεων προκύπτει μέση τιμή δείκτη σημειακής φόρτισης $I_s = 1.23 \text{ MPa}$, η οποία βρίσκεται κοντά στην τιμή $I_s = 1.03 \text{ MPa}$, που έδωσε το δείγμα του κατώτερου ορίζοντα.



Εικόνα 25. Θηκόγραμμα κατανομής αποτελεσμάτων δοκιμής σημειακής φόρτισης.

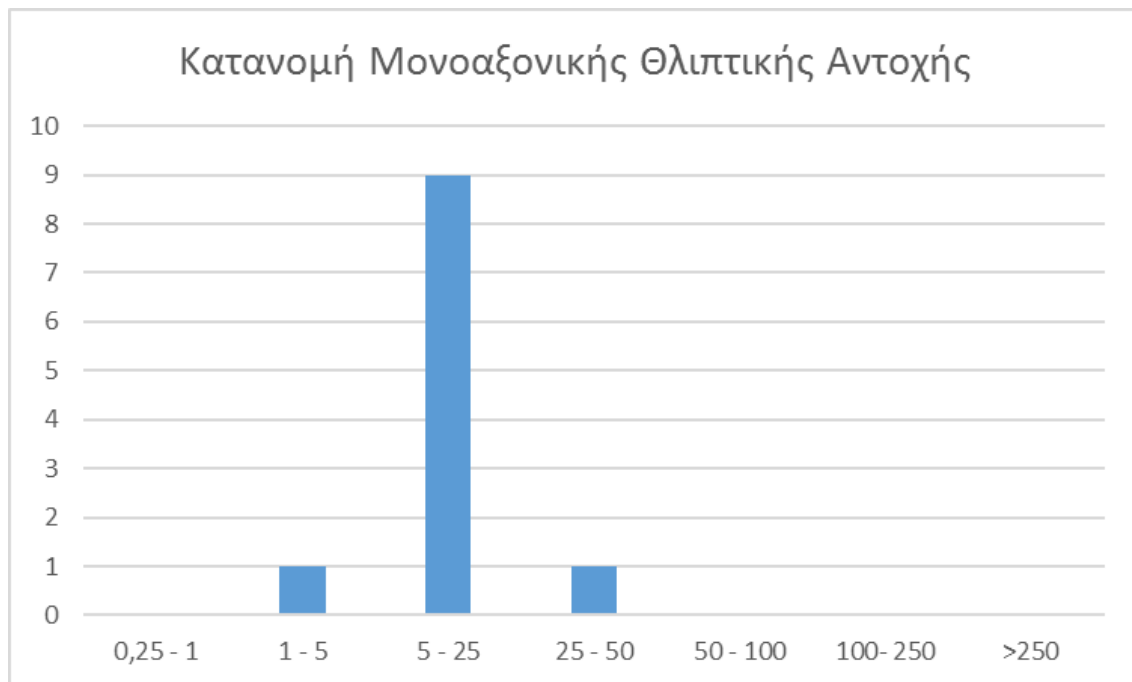
7.3.2 Αντοχή σε Ανεμπόδιση Θλίψη

Η δοκιμή αντοχής σε ανεμπόδιση θλίψη συμβάλλει στον προσδιορισμό της αντοχής των εδαφικών σχηματισμών. Με την επιβολή φορτίου προσδιορίζονται το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή στην ανεμπόδιση θλίψη. Για τον προσδιορισμό της συνοχής και της γωνίας τριβής απαιτούνται 3 δοκιμές όπου καθορίζεται ένα ζεύγος τιμών μέγιστης διατμητικής τάσης (τ) και εφαρμοζόμενης ορθής τάσης κατά τη διάτμηση (σ). Ο υπολογισμός των παραμέτρων της διατμητικής αντοχής (c , ϕ) βρίσκεται από την θέση της περιβάλλουσας του Coulomb.

Πίνακας 7.

Ταξινόμηση Βραχομάζας σύμφωνα με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΑΝΤΟΧΗ	σ_{ci} (MPa)
R6	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΥΨΗΛΗ	> 250
R5	ΠΟΛΥ ΥΨΗΛΗ	100 -250
R4	ΥΨΗΛΗ	50 - 100
R3	ΜΕΤΡΙΑ ΥΨΗΛΗ	25 - 50
R2	ΧΑΜΗΛΗ	5 - 25
R1	ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗ	1 -5
R0	ΕΞΑΙΡΕΤΙΚΑ ΧΑΜΗΛΗ	0,25 -1



Εικόνα 26. Κατανομή αποτελεσμάτων από τις δοκιμές Μονοαξονικής Θλίψης.

Από την στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων της Δοκιμής Μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής διαπιστώνουμε πως οι βραχώδεις ασβεστολιθικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από χαμηλή θλιπτική αντοχή.

7.3.3. Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης ασυνεχειών

Η δοκιμή εκτελείται σε βραχώδη δοκίμια πάνω σε ασυνέχειες του πετρώματος. Με τη δοκιμή αυτή υπολογίζεται η μεταβολή της αντοχής των ασυνεχειών σε προκαθορισμένο επίπεδο. Για τον προσδιορισμό της συνοχής και της γωνίας τριβής απαιτούνται 3 δοκιμές όπου καθορίζεται ένα ζεύγος τιμών ορθής τάσης (σ_N), διατμητικής τάσης θραύσης (τ_f) και παραμόρφωσης ΔI . Από τα διαγράμματα της διατμητικής τάσης σε συνάρτηση με την οριζόντια μετατόπιση υπολογίζεται η ορθή τάση και από τα διαγράμματα της διατμητικής τάσης σε συνάρτηση με την ορθή τάση υπολογίζονται η συνοχή και η γωνία τριβής του υλικού.

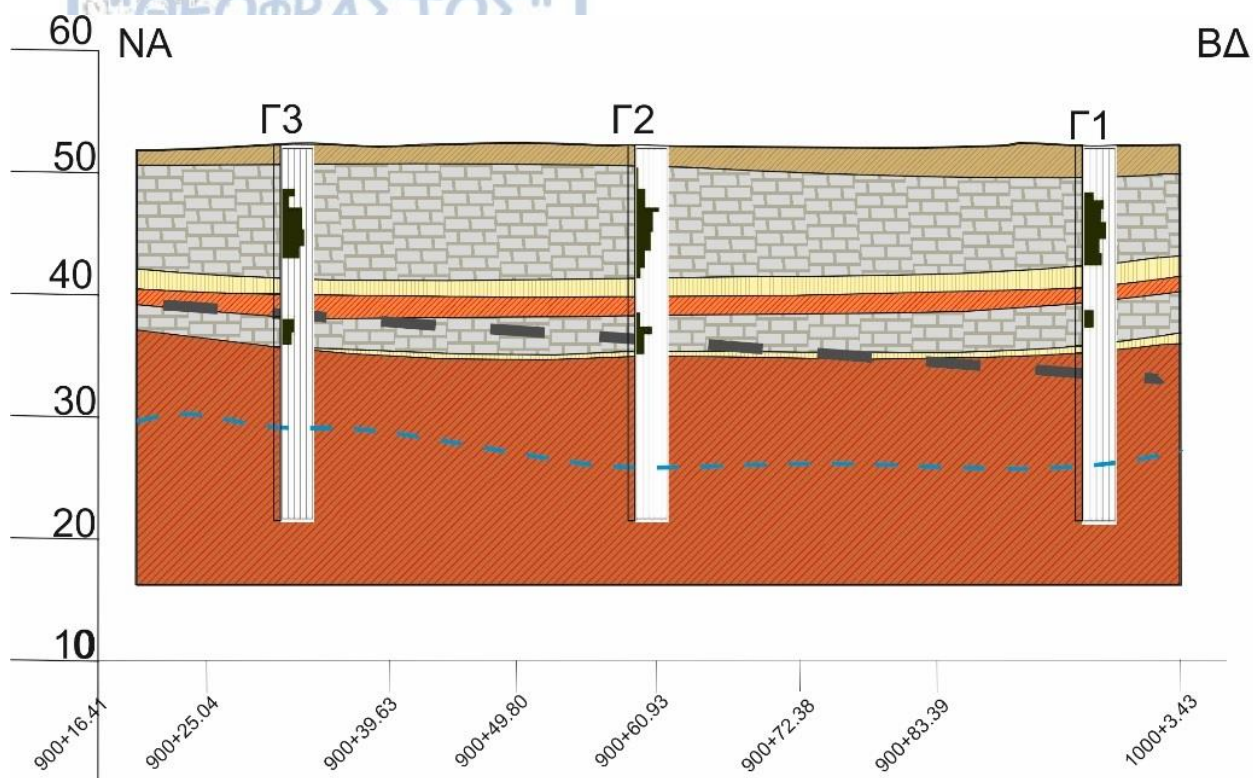
7.3.4 Δείκτης ποιότητας Βραχομάζας

Για την ταξινόμηση των βραχωδών σχηματισμών εκτελέστηκε στατιστική ανάλυση του δείκτη ποιότητας κερματισμού της βραχομάζας με το βάθος. Ο δείκτης ποιότητας ή κερματισμού της βραχομάζας (RQD) λαμβάνει υπόψιν μόνο την συχνότητα των ασυνεχειών και είναι ένα πρώτο δείγμα της τεκτονικής καταπόνησης που μπορεί να υποστούν οι βραχώδεις σχηματισμοί. Με βάση το δείκτη RQD η βραχομάζα διακρίνεται στις κατηγορίες που αναγράφονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8. Ταξινόμηση Βραχομάζας σύμφωνα με τον δείκτη κερματισμού (RQD)

R. Q. D (%)	Χαρακτηρισμός ποιότητας Βραχομάζας
100 - 90	Άριστη
90 - 75	Καλή
75 - 50	Μέτρια
50 - 25	Κακή
25 - 0	Πολύ Κακή

Στους βραχώδεις σχηματισμούς οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 32 και 72 % και παρουσιάζουν μεγάλο εύρος με το βάθος.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Καστανή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με
χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης



Λευκότεφρος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, ελαφρά έως μέτρια
αποσαθρωμένος και κατά θέσεις κερματισμένος



Ανοιχτοκάστανη ΑΜΜΟΣ
με αργιλοϊλύ



Ερυθρή ΑΡΓΙΛΟΣ τοπικά με χάλικες



Καστανή μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟΣ
με άμμο και τεμάχια ασβεστολίθου



Ύψος Οδοστρώματος



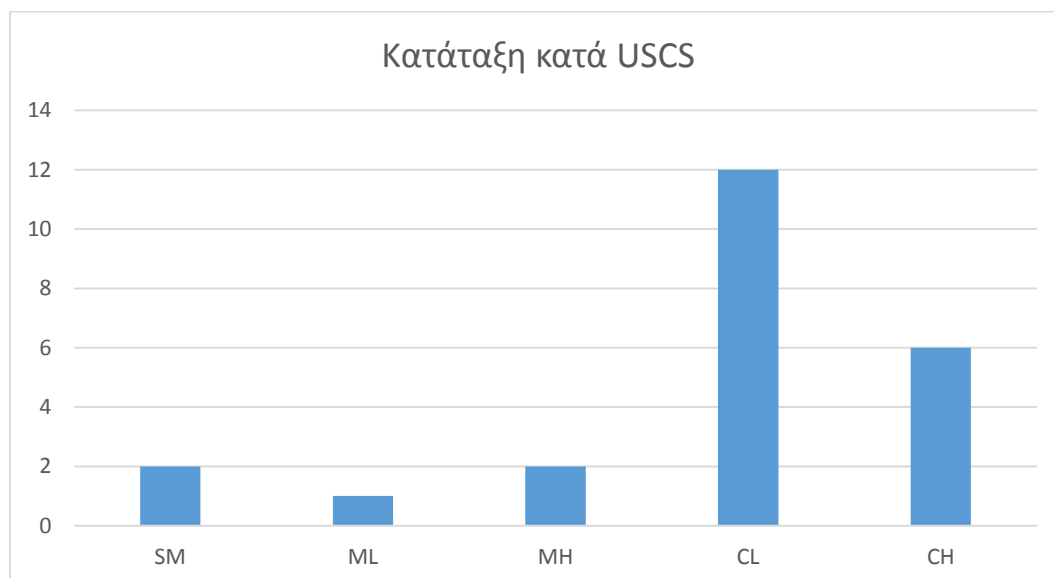
Υδροφόρος Ορίζοντας

Εικόνα 27.

Κατανομή τιμών δείκτη κερματισμού βραχομάζας με το ύψος στους πυρήνες των γεωτρήσεων.

7.4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Ο χαρακτηρισμός και η ταξινόμηση ενός εδαφικού σχηματισμού κατά το ενιαίο σύστημα ταξινόμησης (USCS) βασίζεται στο μέγεθος των κόκκων και την πλαστικότητα.. Τα εδάφη χωρίζονται σε δύο κατηγορίες τα λεπτόκοκκα και τα αδρόκοκκα. Όταν ένα έδαφος ταξινομείται ως αδρόκοκκο ο επιμέρους χαρακτηρισμός του γίνεται κυρίως με βάση την κοκκομετρία, ενώ όταν ένα έδαφος ταξινομείται ως λεπτόκοκκο ο χαρακτηρισμός γίνεται με βάση το όριο υδαρότητας και το δείκτη πλαστικότητας. Ο συμβολισμός της κάθε κατηγορίας γίνεται με δύο κεφαλαία γράμματα του λατινικού αλφαβήτου. Το πρώτο δηλώνει την κυρίαρχη κοκκομετρική διαβάθμιση και το δεύτερο δηλώνει το βαθμό της διαβάθμισης (χονδρόκοκκα εδάφη) ή την πλαστικότητα (λεπτόκοκκα εδάφη). Σε περιπτώσεις αδρόκοκκων υλικών με σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων το δεύτερο γράμμα δηλώνει το λεπτόκοκκο κλάσμα που επικρατεί. Στον Πίνακα 9 που ακολουθεί δίνεται η ταξινόμηση των εδαφών με βάση την κοκκομετρική τους διαβάθμιση και το δείκτη υδαρότητας.



Εικόνα 28. Ταξινόμηση των εδαφικών υλικών κατά USCS από ένα σύνολο 23 δοκιμών σε υλικά των Νεογενών Αποθέσεων.

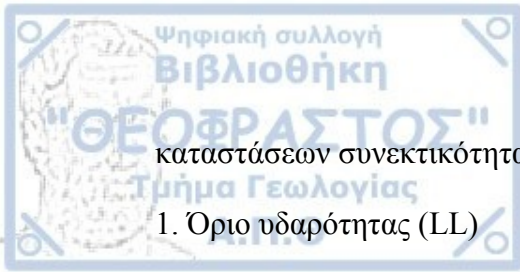
Πίνακας 9. *Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με κοκκομετρική διαβάθμιση και δείκτη Υδαρότητας (AUCS, ASTM-D-2487)*

Περιγραφή			Σύμβολο	Τυπική Ονομασία
Χονδρόκοκκα εδάφη	Χαλίκια Άνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος > 4.699 mm	Καθαρά χαλίκια	GW	Καλά διαβαθμισμένα χαλίκια
			GP	Χαλίκια χωρίς διαβάθμιση ή κακώς διαβαθμισμένα
		Χαλίκια με λεπτόκοκκες προσμίξεις	GM	Ιλυομιγή χαλίκια
			GC	Αργιλομιγή χαλίκια
	Άμμοι άνω του 50% του κλάσματος έχει μέγεθος <4.699mm	Καθαρές άμμοι	SW	Καλά διαβαθμισμένες άμμοι
			SP	Κακά διαβαθμισμένες άμμοι
		Άμμοι με λεπτόκοκκες προσμίξεις	SM	Ιλυομιγείς άμμοι
			SC	Αργιούχες άμμοι
Λεπτόκοκκα εδάφη	Ιλύες και Άργιλοι	LL < 50	ML	Ανόργανες ιλύες και πολύ λεπτόκοκκες άμμοι με ελαφρά πλαστικότητα
			CL	Ανόργανες άργιλοι χαμηλής ως μέτριας πλαστικότητας
			OL	Οργανικές ιλύες και ιλυούχες άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
		LL > 50	MH	Ανόργανες ιλύες ελαστικές ιλύες
			CH	Ανόργανες ιλύες υψηλής πλαστικότητας
			OH	Οργανικές άργιλοι μέτριας ως υψηλής πλαστικότητας
			PT	Τύρφη και άλλα οργανικά εδάφη

7.4.2 ΟΡΙΑ ATTERBERG

Ο προσδιορισμός των ορίων Atterberg παρέχει την χαρακτηριστική ικανότητα που έχουν τα συνεκτικά εδάφη να προσλαμβάνουν ή να αποβάλλουν μικρές ή μεγάλες ποσότητες νερού με αποτέλεσμα να μεταβαίνουν εύκολα ή δύσκολα από τη μια κατάσταση στην άλλη. Εδάφη με μεγάλη πλαστικότητα είναι αρκετά επικίνδυνα σε περιπτώσεις ταχείας πρόσληψης ή αποβολής νερού από τα κενά τους. Τέτοια στερεά εδάφη μπορούν πολύ εύκολα να μεταπέσουν σε υδαρή, ρέουσα κατάσταση με πρόσληψη μικρής ακόμη ποσότητας νερού και να καταστούν πολύ επικίνδυνα σε θέσεις ανοιχτών εκσκαφών.

Οι περιεχόμενες υγρασίες οι οποίες αντιστοιχούν στα όρια μεταξύ των διαφόρων



καταστάσεων συνεκτικότητας ονομάζονται όρια Atterberg. Πρόκειται για:

1. Όριο υδαρότητας (LL)
2. Όριο πλαστικότητας (PL)
3. Όριο συρρίκνωσης (SL)

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασία όπου το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση. Στην κατάσταση αυτή μπορεί να γίνει κύλινδρος διαμέτρου 3 mm χωρίς να θραύεται. Το φάσμα των υγρασιών για τις οποίες το έδαφος παραμένει σε πλαστική κατάσταση καλείται δείκτης πλαστικότητας PI και είναι η διαφορά του ορίου υδαρότητας μείον το όριο πλαστικότητας

$$PI = LL - LP$$

Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα με τις προδιαγραφές ASTM. Τα εδάφη με βάση το δείκτη πλαστικότητας διακρίνονται στις παρακάτω καταστάσεις:

PI = 0,5 έδαφος μη πλαστικό

PI = 5-15 έδαφος ελαφρά πλαστικό

PI = 15-40 έδαφος πλαστικό

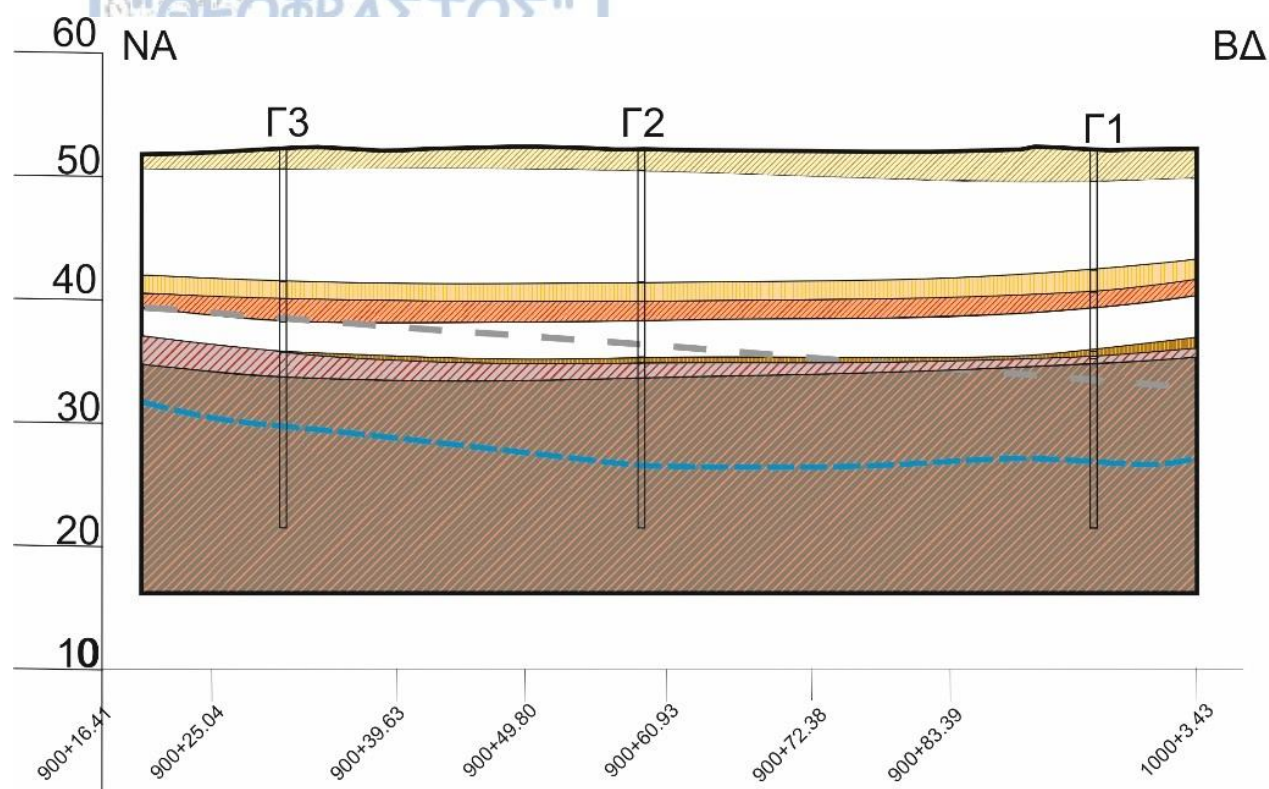
PI > 40 έδαφος πολύ πλαστικό

Από τη δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg εξάγεται το διάγραμμα κατανομής του δείκτη πλαστικότητας για τις εδαφικές αποθέσεις, συνολικά για την περιοχή έρευνας.



Εικόνα 29. Κατανομή αποτελεσμάτων τιμών ορίων υδαρότητας από 23 δοκιμές σε υλικά των Νεογενών Αποθέσεων.

Από τις μακροσκοπικές περιγραφές των γεωτρήσεων και τα αποτελέσματα δοκιμών κοκκομετρικής διαβάθμισης και ταξινόμησης σύμφωνα με το σύστημα USCS οι Νεογενείς μαργαϊκοί εδαφικοί σχηματισμοί που συναντώνται στην περιοχή παρουσιάζουν εμφανή επικράτηση της κατηγορίας CL και συνίστανται κυρίως από καστανέρυθρες έως καστανές αργίλους οξειδωμένες κατά τόπους με παρουσία οργανικών στοιχείων. Οι ανώτεροι ορίζοντες έχουν αυξημένη υγρασία. Κατά θέσεις παρουσιάζονται ενστρώσεις όπου το αμμώδες κλάσμα έχει μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

 CL	Καστανή αμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χάλικες ασβεστολιθικής σύστασης και ασβεστιτικά συγκρίματα	 CH	Καστανότεφρη μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟΣ με συμμετοχή άμμου
 SM/ML	Εναλλαγές πυκνής καστανής ιλυώδους ΑΜΜΟΥ με στιφρή αμώδη ΑΡΓΙΛΟ έως ΑΡΓΙΛΟΙΛΥ	 CL	Ερυθροκάστανη - ερυθρή αμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με κυμαινόμενο ποσοστό άμμου, μικρών χαλίκων και ενστρώσεις μαργαϊκής ΑΡΓΙΛΟΥ.
 CH	Στιφρή καστανή αμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ έως ΑΡΓΙΛΟΙΛΥΣ με κατά τόπους αμώδεις ενστρώσεις.		Υδροφόρος Ορίζοντας
 SM	Καστανή αργιλοϊλυώδης ΑΜΜΟΣ παρουσία χαλίκων		Ύψος Ερυθράς Οδοστρώματος

Εικόνα 30. Κατανομή εδαφικών σχηματισμών σύμφωνα με το σύστημα ενιαίας ταξινόμησης εδαφικών σχηματισμών.

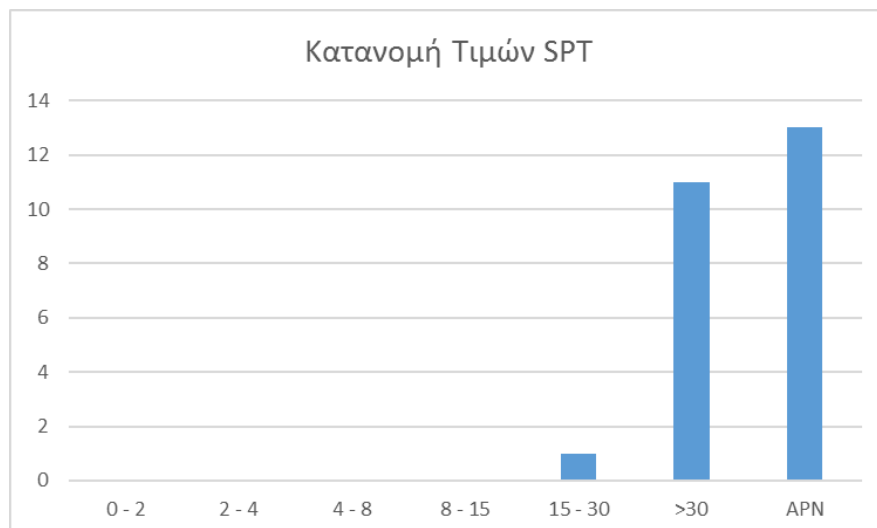
7.4.3 ΔΟΚΙΜΗ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Η δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης εφαρμόζεται για την ποιοτική ένδειξη της σχετικής πυκνότητας και την αντίσταση των εδαφικών σχηματισμών στη διείσδυση. Είναι δυνατός μέσω εμπειρικών συσχετίσεων ο καθορισμός παραμέτρων διατμητικής αντοχής των εδαφικών σχηματισμών. Μέσω της δοκιμής Πρότυπης διείσδυσης μπορεί να γίνει κατάταξη με βάση τη συνεκτικότητά των λεπτόκοκκων σχηματισμών σε 6 κατηγορίες και με βάση την πυκνότητα των αδρόκοκκων σχηματισμών σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 10. Κατάταξη συνεκτικότητας λεπτόκοκκων εδαφικών σχηματισμών και πυκνότητας αδρόκοκκων σχηματισμών με βάση τα αποτελέσματα Δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης (Παπαχαρίσης κ.α., 1999)

Αριθμός Κρούσεων (N)	Αδρόκοκκοι	0 - 4	Πυκνότητα	Πολύ Χαλαρή	Παράμετροι Διατμητικής Αντοχής	Γωνία Τριβής (φ°)	28 - 29
		4 - 10		Χαλαρή			29 - 30
		10 - 30		Μέση Πυκνή			30 - 36
		30 - 50		Πυκνή			36 - 41
		>50		Πολύ Πυκνή			41 - 44
	Λεπτόκοκκοι	0 - 2	Συνεκτικότητα	Πολύ Μαλακή		Αντοχή (Kpa)	<25
		2 - 4		Μαλακή			25 - 50
		4 - 8		Μέση			50 - 100
		8 - 15		Στιφρή			100 - 200
		15 - 30		Πολύ Στιφρή			200 - 400
		>30		Σκληρή			400 - 800

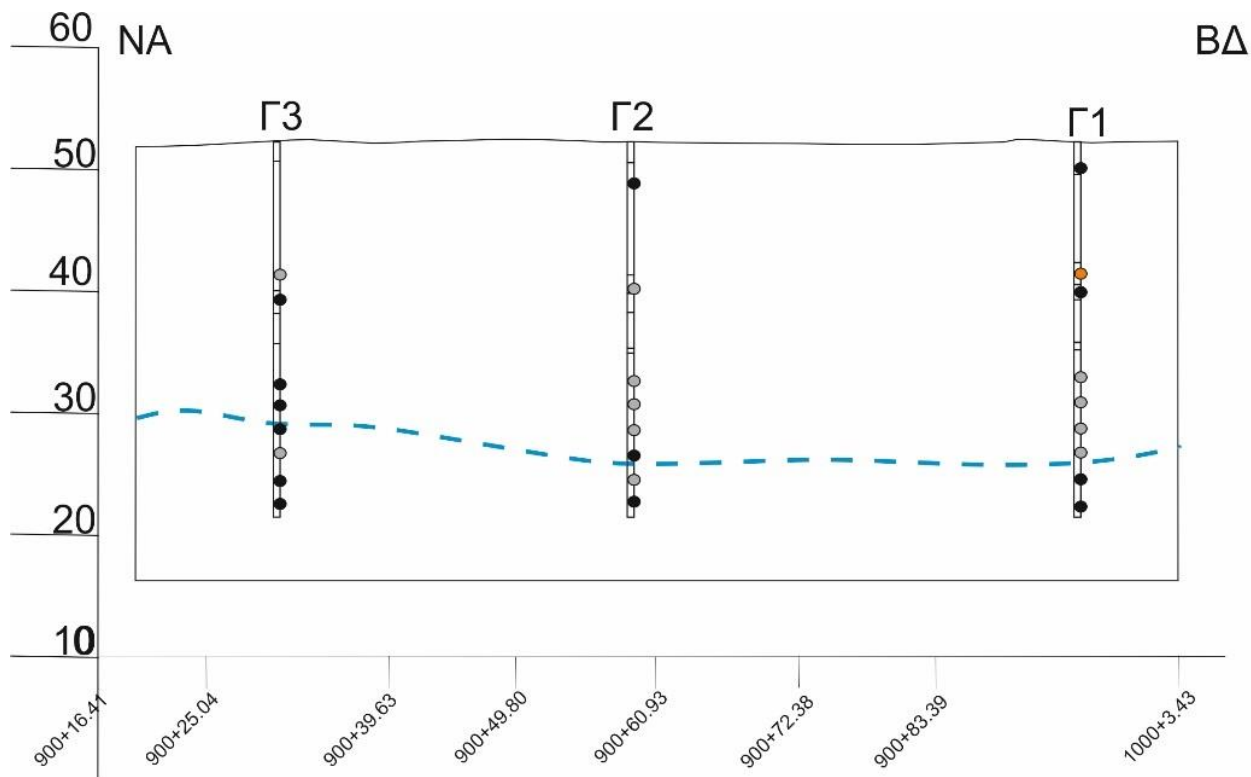
Οι δοκιμές πρότυπης διείσδυσης εκτελέστηκαν σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που επιλέχθηκαν προς αξιολόγηση για το συγκεκριμένο τμήμα (Εικόνα 31). Τα αποτελέσματα των δοκιμών SPT κατηγοριοποιήθηκαν σε έξι τάξεις, σύμφωνα με την συνεκτικότητα που αντιπροσωπεύεται από κάθε ομάδα μετρήσεων. Επιπλέον, επειδή στην πλειοψηφία των δοκιμών η τιμή των χτύπων NSPT υπερέβαινε την τιμή των 50 η δοκιμή διακόπηκε (APNHΣΗ).



Εικόνα 31. Κατανομή αποτελεσμάτων τιμών δοκιμών Πρότυπης διείσδυσης.

Στις Εικόνες 32 και 33 παρουσιάζεται η κατανομή των τιμών SPT με το βάθος για τις Νεογενείς αποθέσεις. Σε αυτό παρατηρείται μικρή διασπορά ως προς την κατανομή

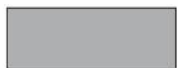
των τιμών με το σύνολο των μετρήσεων παίρνει ένα εύρος τιμών NSPT = 30-50, χαρακτηρίζοντας έτσι τις Νεογενείς αποθέσεις ως σκληρές και εντοπίζονται σε όλα τα βάθη των γεωτρήσεων.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



ΑΡΝΗΣΗ NSPT > 50



ΣΚΛΗΡΗ ΑΡΓΙΛΟΣ NSPT 50 - 30



ΠΟΛΥ ΣΤΙΦΡΗ NSPT 15 - 30



ΣΤΙΦΡΗ NSPT 8 - 15



ΜΕΣΗ ΜΑΛΑΚΗ NSPT < 8



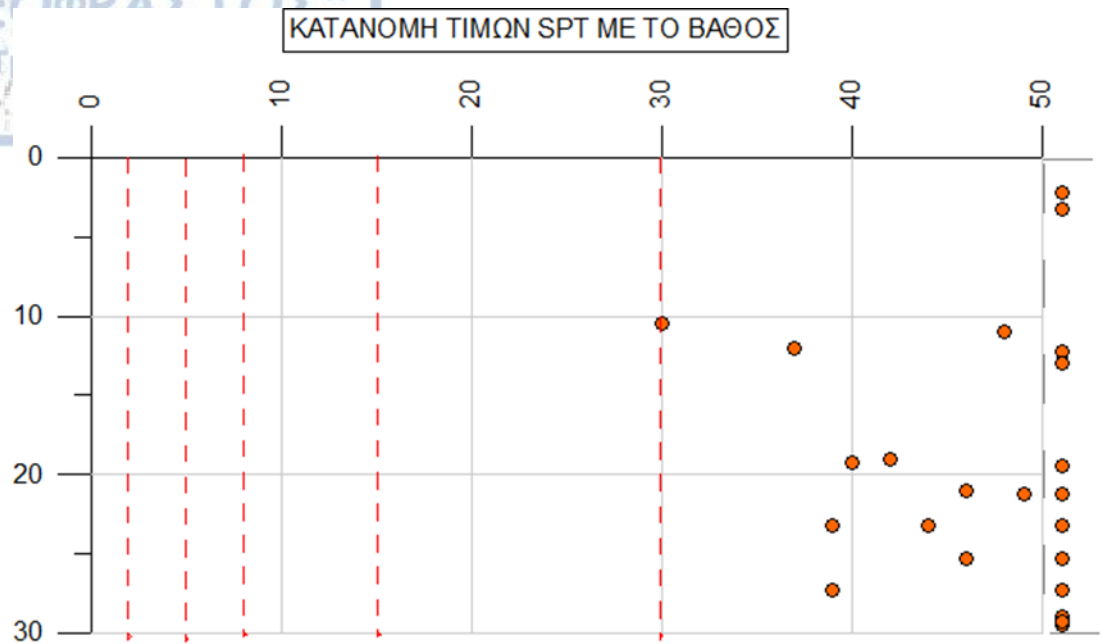
Ύψος Οδοστρώματος



Υδροφόρος Ορίζοντας

Εικόνα 32.

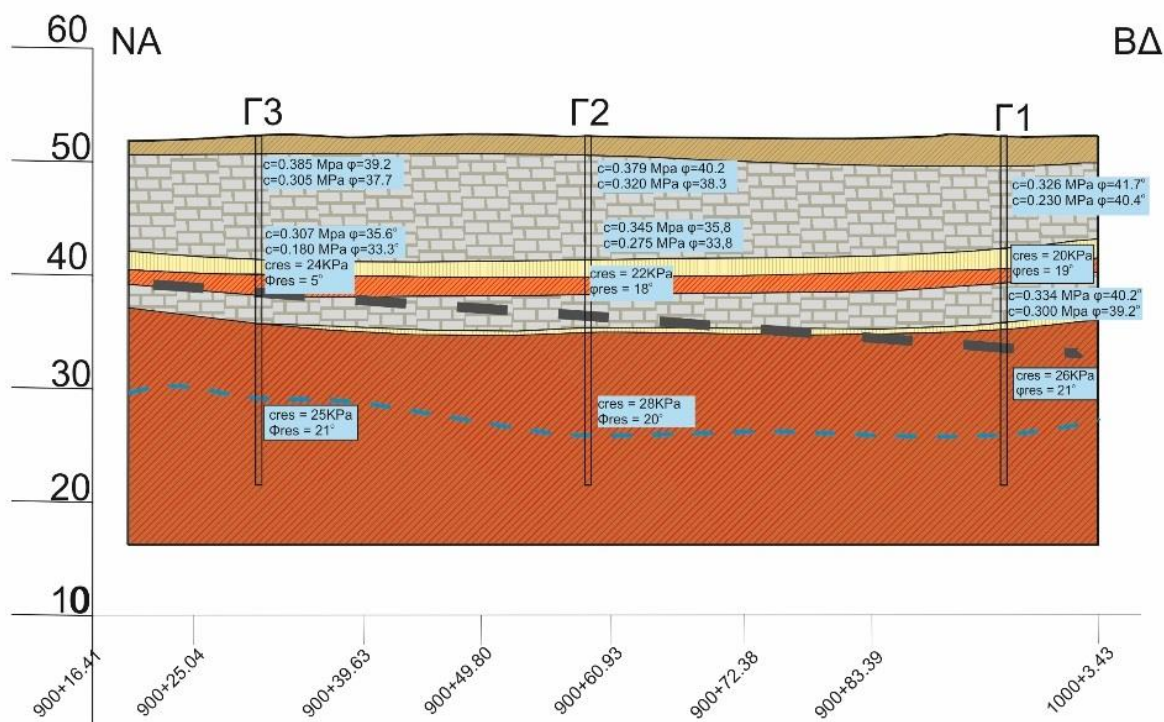
Κατανομή αποτελεσμάτων δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης στους πυρήνες των γεωτρήσεων.



Εικόνα 33. Στατιστική επεξεργασία αποτελεσμάτων δοκιμής Πρότυπης Διείσδυσης με το βάθος τιμών SPT.

7.4.4. ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Κατά την επιβολή της δοκιμής Άμεσης Διάτμησης σε εδαφικούς σχηματισμούς, το έδαφος θραύεται κατά οριζόντια επιφάνεια, που αποκαλείται επιφάνεια διάτμησης. Μετράται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με τη μεταβολή της ορθής τάσης στην επιφάνεια διάτμησης. Στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας εφαρμόστηκε βραδεία δοκιμή στερεοποιημένου δοκιμίου κατά την οποία το δείγμα οδηγείται σε βραδεία θραύσης με σκοπό την εκτόνωση του νερού των πόρων. Στην εικόνα 34 απεικονίζονται οι τιμές της διατμητικής αντοχής που ελήφθησαν κατόπιν εφαρμογής της μεθόδου σε δοκίμια που ελήφθησαν από βραχώδεις και εδαφικούς σχηματισμούς.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



Καστανή αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με
χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης



Λευκότεφρος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, ελαφρά έως μέτρια
αποσαθρωμένος και κατά θέσεις κερματισμένος



Ανοιχτοκάστανη ΑΜΜΟΣ
με αργιλοϊλύ



Ερυθρή ΑΡΓΙΛΟΣ τοπικά με χάλικες



Καστανή μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟΣ
με άμμο και τεμάχια ασβεστολίθου



Υδροφόρος Ορίζοντας



Υδροφόρος Ορίζοντας

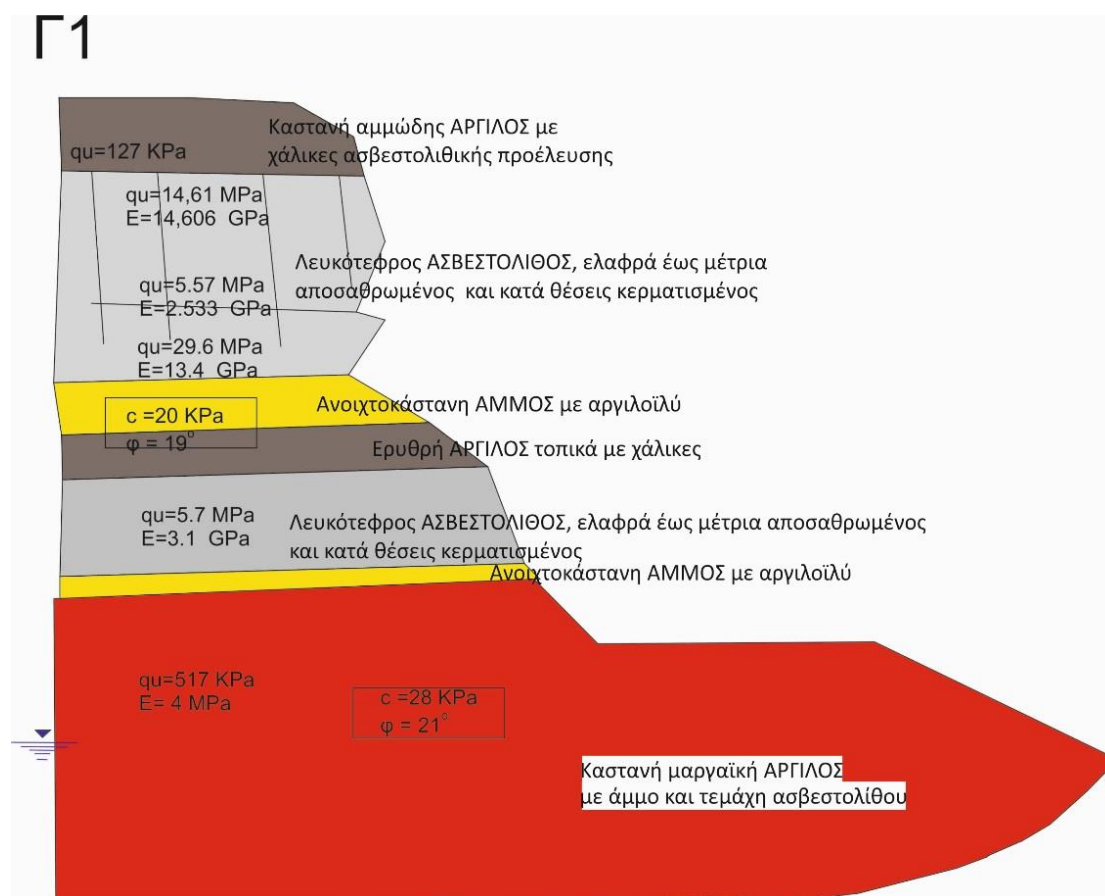
Εικόνα 34.

Κατανομή τιμών συνοχής και γωνίας τριβής στη διάφορες ενότητες.

8. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΙΑΚΡΙΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΖΩΝΕΣ

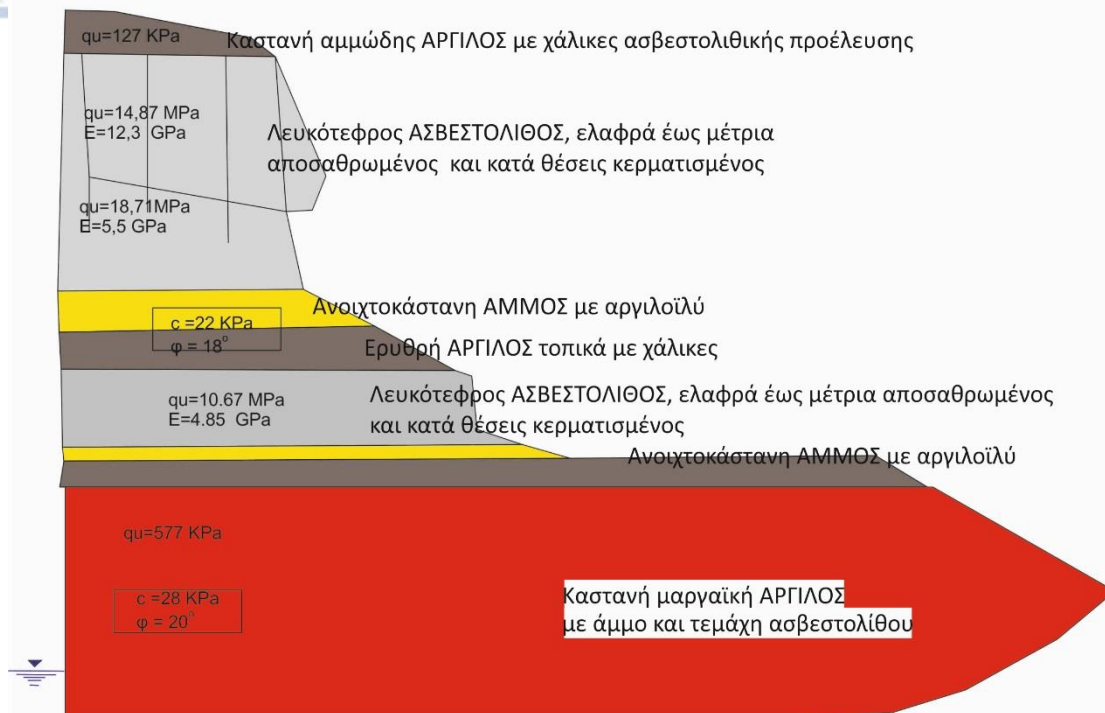
8.1. ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ

Η περιοχή ελέγχου ευστάθειας του πρανούς δομείται από μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και μάργες ηλικίας Νεογενούς. Η μάργα χημικά και ορυκτολογικά κυμαίνεται μεταξύ ασβεστολίθου και αργίλου. Η τυπική μάργα περιέχει 35-65% άργιλο. Στην περιοχή εντοπίστηκαν όλες οι ενδιάμεσες συστάσεις μεταξύ ασβεστολίθου και μάργας. Οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι εμφανίζονται σε δύο οριζόντιες στρώσεις. Ανάμεσα στις στρώσεις των ασβεστολιθικών μαζών εμφανίζεται εδαφικός ορίζοντας από υλικά με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά που προέρχεται από τα μαργαϊκά μέλη. Πρόκειται για καστανέρυθρες αμμώδεις έως αργλικές μάργες με πάχος της τάξης των 2 μέτρων. Με βάση τα lithολογικά στοιχεία και τα αποτελέσματα των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών καθορίζονται 3 επιμέρους Τεχνικογεωλογικές Ενότητες, οι οποίες συναντώνται σε ενδεικτικές διατομές.



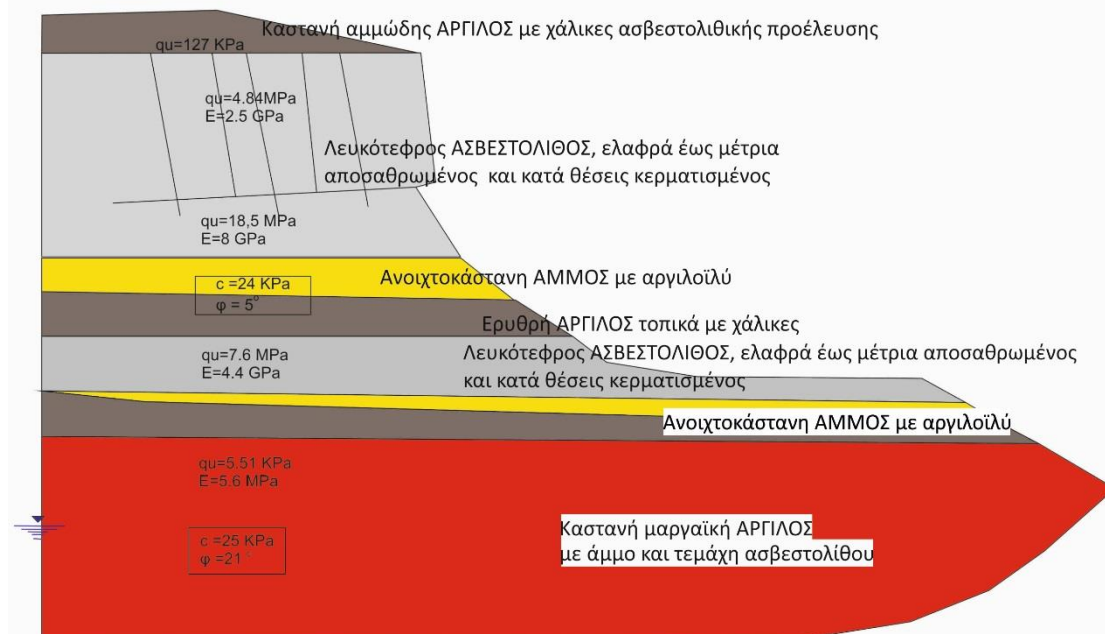
Εικόνα 35. Διατομή στο ύψος της γεώτρησης 1, περιοχή κατολίσθησης.

Γ2



Εικόνα 36. Διατομή στο ύψος της γεώτρησης 2, περιοχή κατολίσθησης.

Γ3



Εικόνα 37. Διατομή στο ύψος της γεώτρησης 3, περιοχή κατολίσθησης.

Κάθε Τεχνικογεωλογική Ενότητα διακρίνεται από συγκεκριμένη μηχανική συμπεριφορά και μοναδικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά. Για την ταξινόμηση των βραχωδών σχηματισμών εκτελέστηκε στατιστική ανάλυση του δείκτη ποιότητας κερματισμού της βραχομάζας με το βάθος, ενώ οι εδαφικοί σχηματισμοί διαχωρίστηκαν με βάση τα αποτελέσματα από τις επί τόπου δοκιμές πρότυπης διεύθυνσης (S.P.T), την κοκκομετρία τους και τις εργαστηριακές δοκιμές για τον καθορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφικών σχηματισμών (όρια Attenberg, Δοκιμή Άμεσης Διάτμησης). Πρόκειται για:

Τεχνικογεωλογική Ενότητα Ι:

Λευκότεφρος ασβεστόλιθος, ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένος και κατά θέσεις κερματισμένος. Ο σχηματισμός εμφανίζεται κατά θέσεις έντονα καρστικοποιημένος. Το μέσο πάχος του σχηματισμού είναι της τάξης των 6 μέτρων. Ο δείκτης GSI που δείχνει την αντοχή της βραχομάζας κυμαίνεται μεταξύ των τιμών 50 και 60. Εμφανίζει γωνιώδη τεμάχια και οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι επίπεδες με αποσαθρωμένο υλικό πλήρωσης. Ο δείκτης κερματισμού RQD της βραχομάζας ποικίλει με το βάθος, με τις μεγαλύτερες τιμές του να τις αποκτά στο ενδιάμεσο του τεμάχους. Καλύπτεται από επιφανειακό μανδύα αποσάθρωσης συνολικού πάχους της τάξης των 2 με 3 μέτρων αμμόδους συστάσεως με χάλικες. Η τιμή της συνοχής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης είναι της τάξης των 0,385 μέχρι 0,320 MPa στα ανώτερα τμήματά του, ενώ στα σημεία που ο κερματισμός της βραχομάζας είναι εντονότερος μειώνεται και αποκτάει τιμές μέχρι 0,180 MPa. Η γωνία τριβής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης παίρνει τιμές από 40° μέχρι 33° στα κατώτερα βάθη με ενδιάμεση τιμή τις 35°.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα ΙΙ:

Πρόκειται για εδαφικό στρώμα που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο βραχωδών σχηματισμών. Περιλαμβάνει εναλλαγές πυκνής ιλυώδους άμμου έως καστανής αμμόδους αργίλου με κατά τόπους αμμώδεις ενστρώσεις. Εντοπίζονται χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης. Η τιμή της συνοχής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης είναι της τάξης των 22 kPa και η γωνία τριβής παίρνει τιμές από 18° μέχρι 19° με σαφή μείωση της γωνίας τριβής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης προς τα Νοτιότερα τμήματα με τιμές της τάξης των 5°.

Τεχνικογεωλογική Ενότητα III:

Πρόκειται για σκληρή ερυθροκάστανη – ερυθρή αμμώδης άργιλο με ενστρώσεις άμμου, μικρών χαλίκων και παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων ή ενστρώσεις μαργαϊκής αργίλου. Καλύπτεται από στρώμα ανοικτής καστανής αργιλοϊλυώδους άμμου πάχους της τάξης των 50 εκατοστών. Η τιμή της συνοχής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης είναι της τάξης των 25 KPa και η γωνία τριβής όπως προσδιορίστηκε από δοκιμή Άμεσης Διάτμησης ορίζεται στις 20°.

8.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

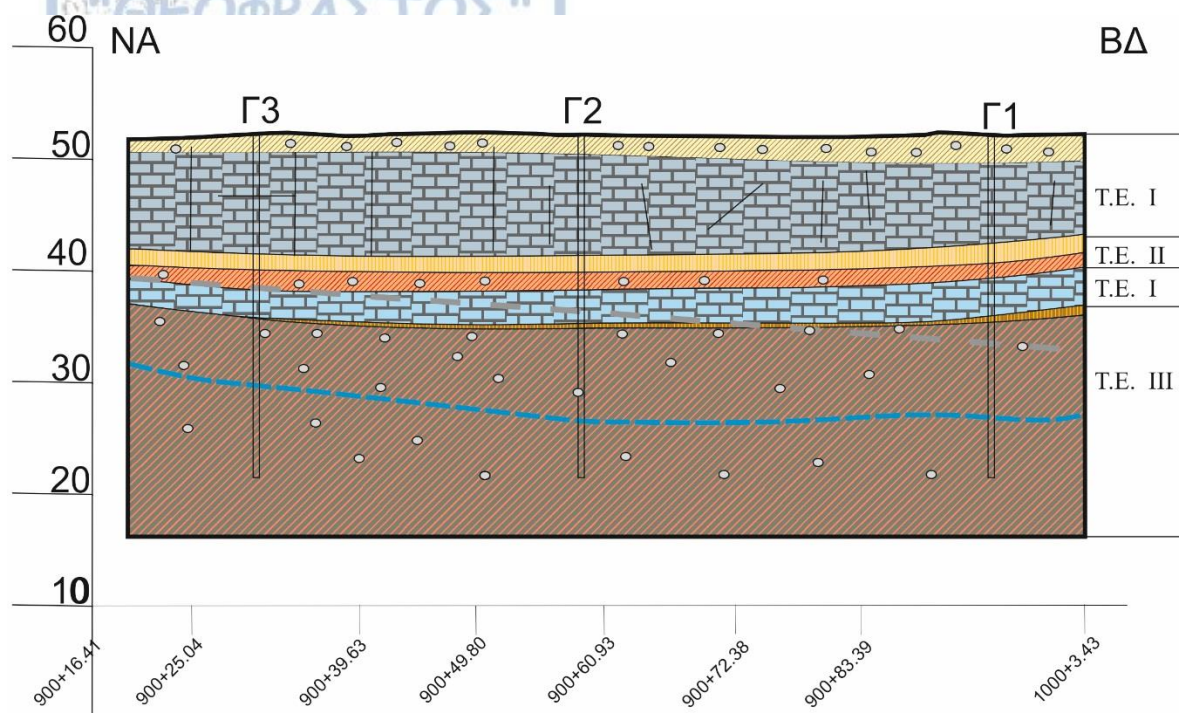
Οι γεωτεχνικές έρευνες στην περιοχή έχουν ως σκοπό τον προσδιορισμό των γεωτεχνικών συνθηκών και το γεωτεχνικό προσομοίωμα, βάσει του οποίου πρόκειται να εκπονηθεί η γεωτεχνική μελέτη. Για την πληρέστερη κατανόηση της αστοχίας στην περιοχή σχεδιάστηκαν ενδεικτικές διατομές στο επίπεδο που ορίζεται από τον άξονα των γεωτρήσεων, κάθετα στο οδόστρωμα. Με τον τρόπο αυτό πρόκειται να γίνει διερεύνηση του μηχανισμού δημιουργίας των κατολισθήσεων και θα εντοπιστούν προτεινόμενες θέσεις πιθανής νέας χάραξης ή μέτρα προστασίας. Τέλος μπορεί ικανοποιητικά να εξαχθούν συμπεράσματα για τον έλεγχο της συνολικής ευστάθειας με έλεγχο των παραμέτρων παραμένουσας διατμητικής αντοχής. Οι παράγοντες που καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις γεωτεχνικές συνθήκες και ευνοούν τις εκδηλώσεις κατολισθητικών φαινομένων είναι κυρίως η μορφολογία του αναγλύφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το γεωλογικό υπόβαθρο, οι υδρογεωλογικές συνθήκες, οι κλιματολογικές συνθήκες και η ανθρώπινη παρέμβαση.

Πίνακας 11.
και επικινδυνότητας

Διαχωρισμός Τεχνικογεωλογικών Ενοτήτων βάσει μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΒΑΘΟΣ (m)	ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ	ΣΥΣΤΑΣΗ	ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΓΝΩΡΙΣΜΑΤΑ
				c (KPa)	φ (°)	
I	0 – 10 13 - 16	ΒΡΑΧΟΣ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	350	40 - 35	Λευκότεφρος ασβεστόλιθος, ελαφρά έως μέτρια αποσθαρωμένος κατά θέσεις κερματισμένος και έντονα καρστικοποιημένος.
II	10 - 13	ΕΔΑΦΟΣ	ΑΜΜΟΣ	20	5	Εναλλαγές πυκνής ιλύδους άμμου έως καστανής αμμώδους αργίλου. με ενστρώσεις και χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης.
III	16 - 30	ΕΔΑΦΟΣ	ΑΡΓΙΛΟΣ	25	20	Σκληρή ερυθροκάστανη – ερυθρή αμμώδης άργίλος με ενστρώσεις άμμου, μικρών χαλίκων και παρουσία ασβεστιτικών συγκριμάτων ή ενστρώσεις μαργαϊκής αργίλου.

Για να ερευνήσουμε τις γεωτεχνικές συνθήκες υπό τις οποίες εκδηλώθηκαν οι αστοχίες, να καθορίσουμε τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, να ελέγξουμε την επικινδυνότητα του πρανούς και να λάβουμε τα απαραίτητα μέτρα προστασίας, είναι απαραίτητη η σύνταξη τεχνικογεωλογικού προσομοιώματος, όπου θα είναι φανερό η ομαδοποίηση των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων για την πληρέστερη έρευνα των συνθηκών στην περιοχή.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ



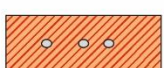
Καστανή αμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με
χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης



Λευκότεφρος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ, ελαφρά έως μέτρια
αποσαθρωμένος και κατά θέσεις κερματισμένος



Ανοιχτοκάστανη ΑΜΜΟΣ
με αργιλοϊλύ



Ερυθρή ΑΡΓΙΛΟΣ τοπικά με χάλικες



Κατώτερος Λευκότεφρος ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ
ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένος
και κατά θέσεις κερματισμένος



Καστανή μαργαϊκή ΑΡΓΙΛΟΣ
με άμμο και τεμάχια ασβεστολίθου



Υδροφόρος Ορίζοντας



Ύψος Ερυθράς Οδοστρώματος

Εικόνα 38.

Τεχνικογεωλογικό Προσομοίωμα της περιοχής των μαργαϊκών αποθέσεων.

8.3. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Κατά το στάδιο μετρήσεων και στατιστικής επεξεργασίας των τεκτονικών στοιχείων διαπιστώνεται πως προβλήματα δυνητικής αστοχίας είναι πιθανόν να προκύψουν εξαιτίας ανατροπής των βραχωδών σχηματισμών όταν οι ασυνέχειες είναι ανοιχτές. Ως ανατροπές ορίζονται οι αστοχίες σε βραχώδη πρηνή με μεγάλης κλίσης επίπεδα ασυνεχειών που μπορεί να συμβούν σε επίπεδα ασυνεχειών με μεγάλη κλίση, δηλαδή με συγκέντρωση πόλων κοντά στην περιφέρεια του δικτύου Schmidt και προς την πλευρά του επιπέδου του πρηνούς. Ο καθορισμός του συντελεστή ασφαλείας επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου Monte Carlo όπου ερευνώνται μεταβλητές τιμές που

αφορούν στη γεωμετρία, το φορτίο που ασκείται και τη διατμητική αντοχή.

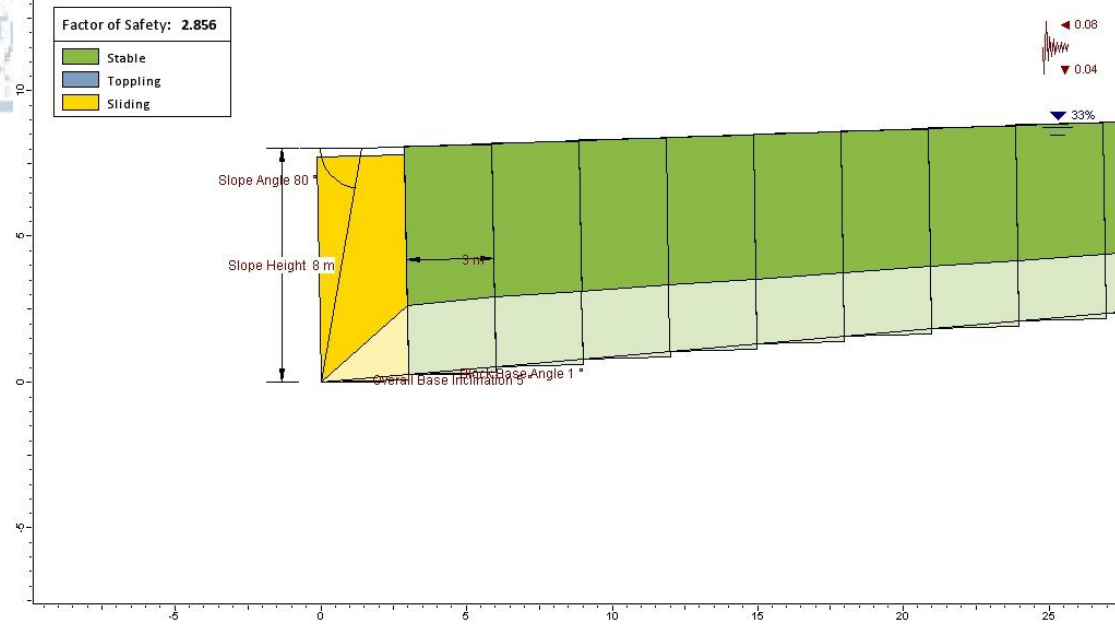
Για τον σκοπό αυτό γίνεται χρήση του λογισμικού RocToppie που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Τορόντο και διατίθεται από τη Rocscience Inc. Εφαρμόζεται πιθανοτική ανάλυση ώστε να διερευνηθεί ο συντελεστής ασφάλειας στις παραμέτρους του πρανού. Από την επί τόπου παρατήρηση τα δεδομένα που εξήχθησαν και θα χρησιμοποιηθούν στο πρόγραμμα είναι η γωνία κλίσης και το ύψος του πρανού και το ύψος του ενώ στις ασυνέχειες λαμβάνονται υπόψιν η γωνία κλίσης και το άνοιγμά τους. Παράλληλα θα εξετάσουμε πως ο συντελεστής αυτός διαμορφώνεται με την επιβολή υδροστατικής πίεσης και σεισμικού φορτίου. Το ύψος του πρανού εκτιμάται στα 10 μέτρα. Θέτοντας ως ειδικό βάρος των ασβεστολίθων την τιμή 28 KN/m^3 και ως στρώμα βάσης τις εναλλαγές πυκνής ιλυώδους άμμου έως καστανής αμμώδους αργίλου με αμμώδεις ενστρώσεις εξετάζουμε πως μεταβάλλεται ο Συντελεστής Ασφαλείας.

Πίνακας 12. Γεωμετρικά και Τεκτονικά χαρακτηριστικά πρανού και ασυνεχειών

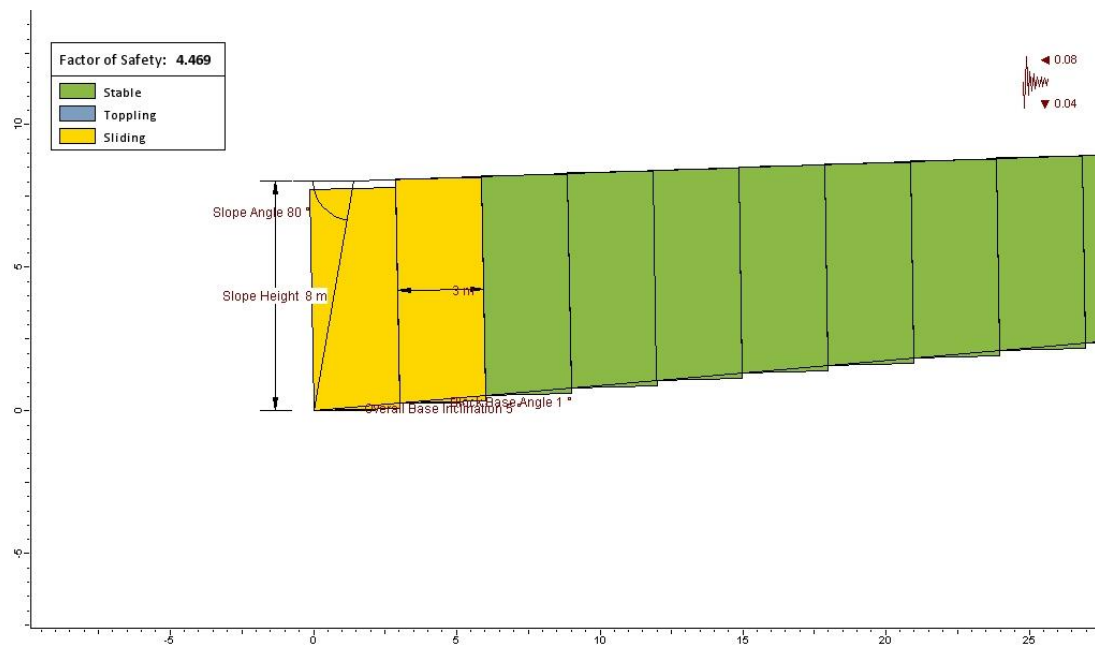
Ομάδα Ασυνεχειών	Διεύθυνση Κλίσης	Γωνία Κλίσης	Απόσταση	Μήκος	Άνοιγμα
J1	335	88	3 - 5	>10	≥ 1
J2	220	89	0,1 - 1	3 - 5	Κλειστή
Πρανές	055	80			
Στρώση	210	05			

Πίνακας 13. Εκτιμώμενος Συντελεστής ασφαλείας με στρώμα βάσης αμμώδη άργιλο $c = 22 \text{ KPa}$ και $\phi = 18^\circ$

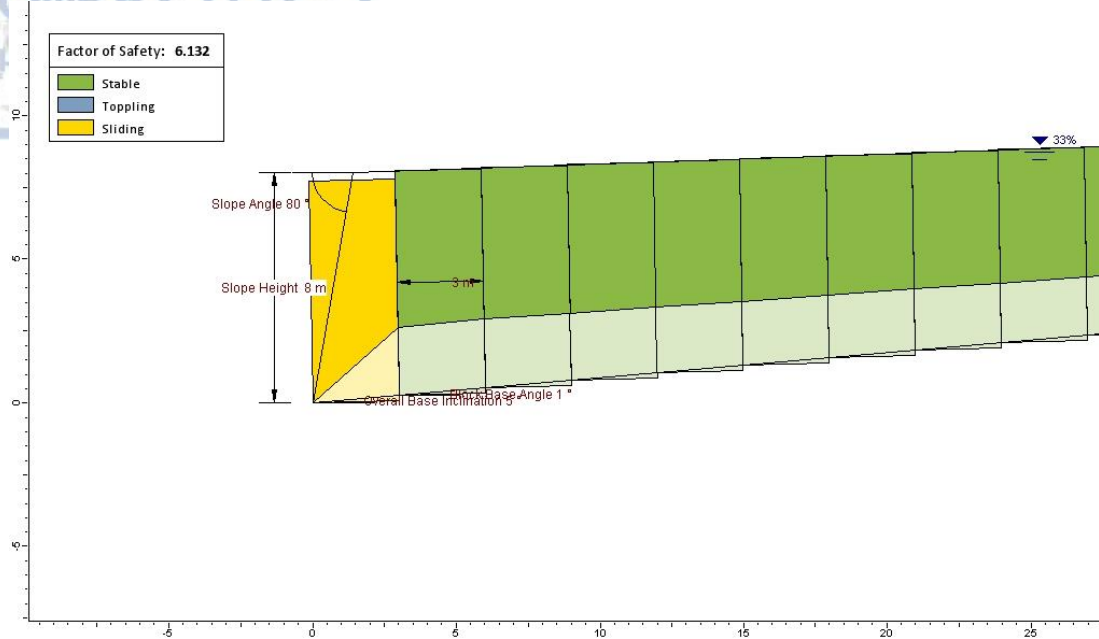
α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Εκτιμώμενος συντελεστής ασφαλείας	2,856	4,469	6,132	24,41



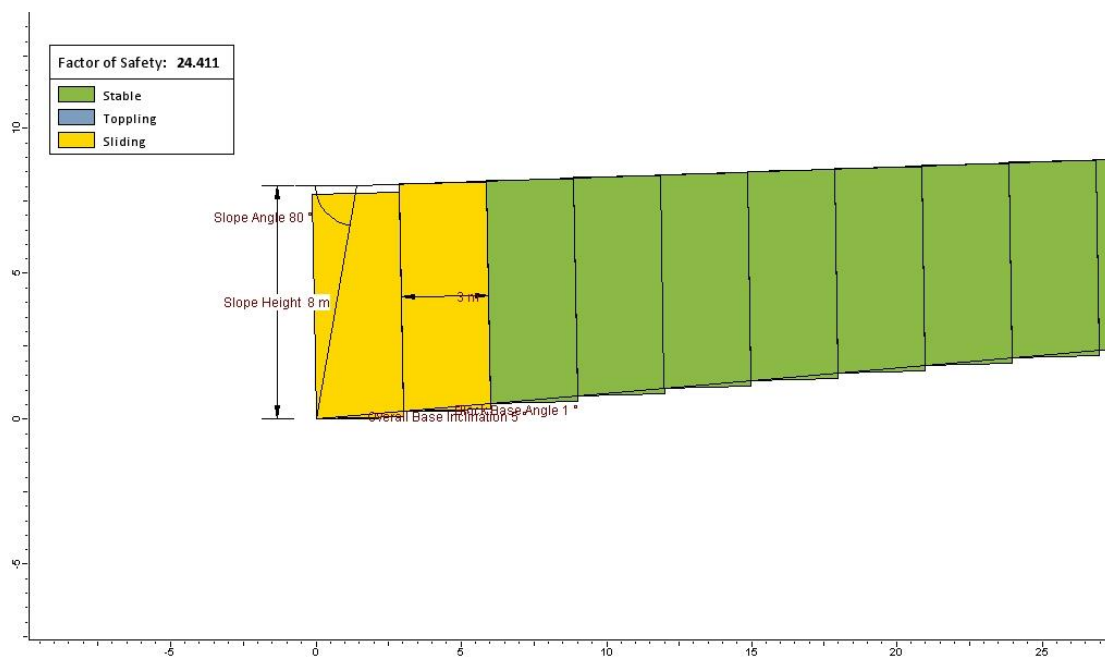
Εικόνα 39. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopples για συνθήκες πλήρωσης 33% και επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 40. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopples μόνο για επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 41. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe για συνθήκες πλήρωσης 33% δίχως επιβολή σεισμικού φορτίου.

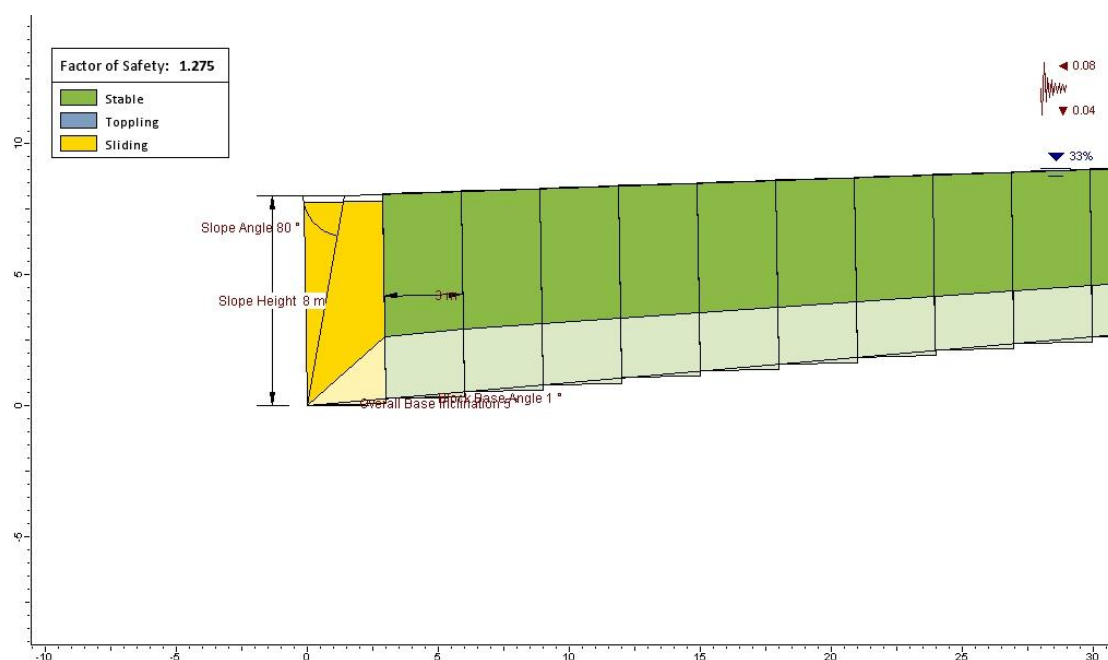


Εικόνα 42. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe απουσία επιβολής δυνάμεων ώθησης.

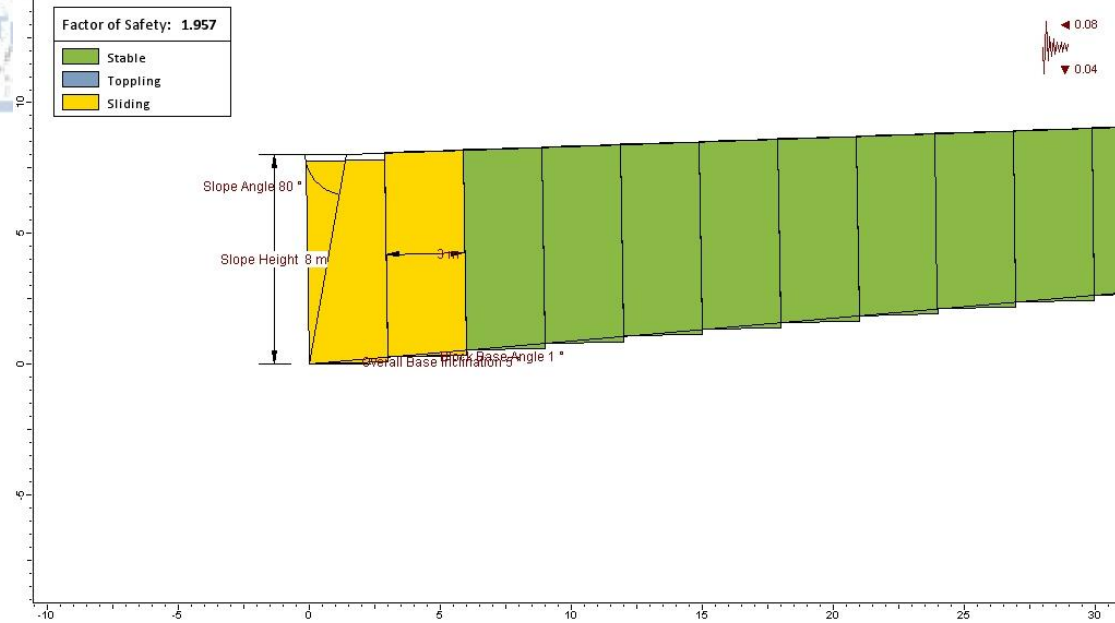
Πίνακας 14

Εκτιμώμενος Συντελεστής ασφαλείας με στρώμα βάσης αμμώδη άργιλο $c = 22 \text{ KPa}$ και $\phi = 5^\circ$

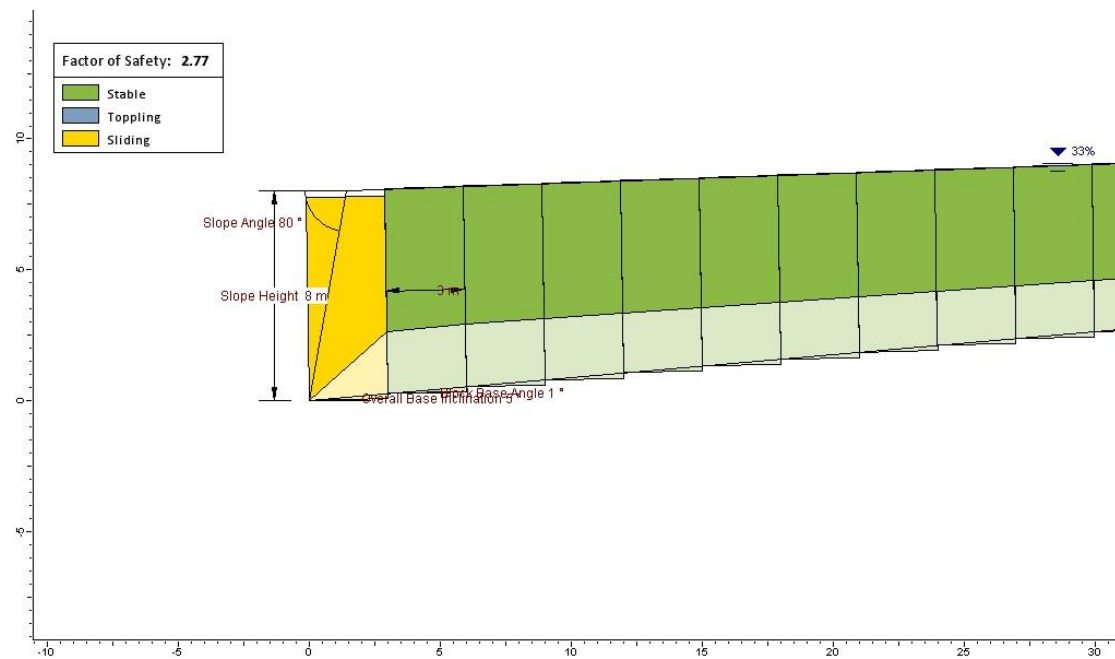
α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Εκτιμώμενος συντελεστής ασφαλείας	1,275	1,957	2,77	10,809



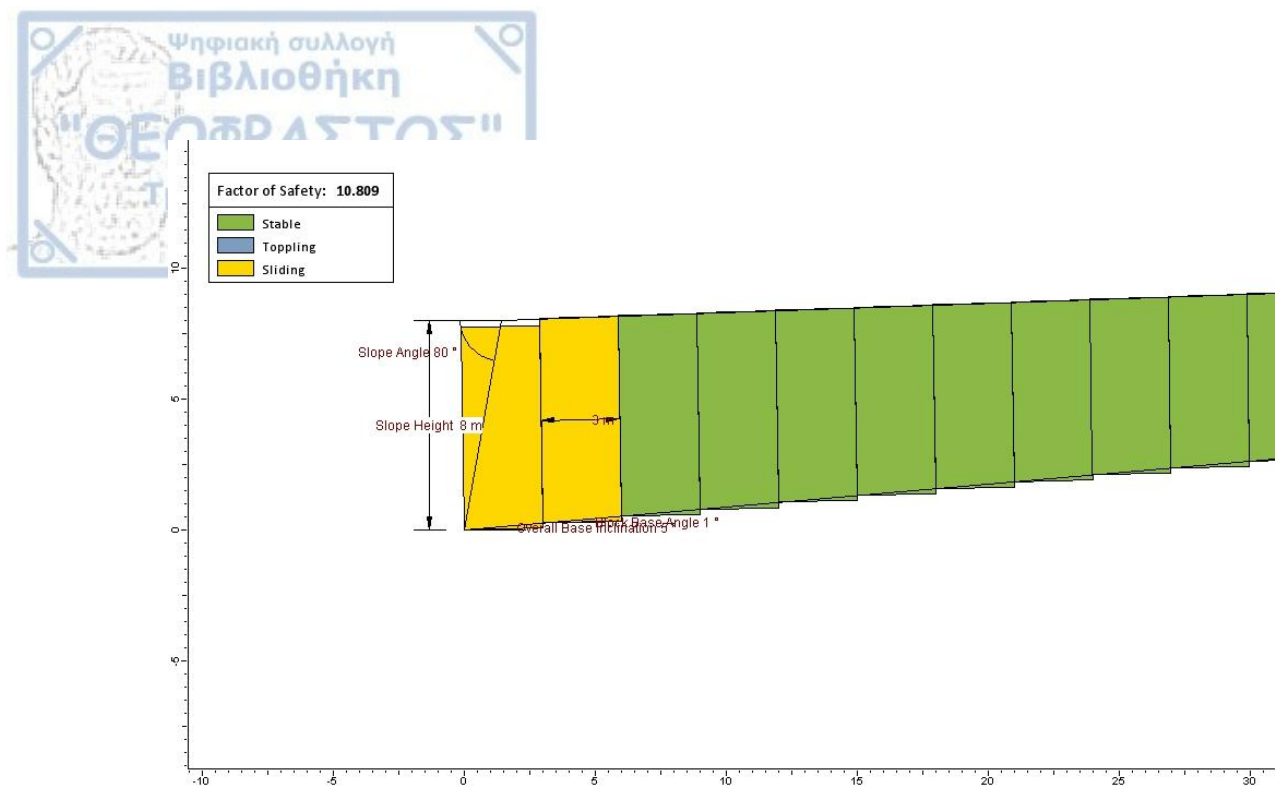
Εικόνα 43. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocToppie για συνθήκες πλήρωσης 33% και επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 44. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple μόνο για επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



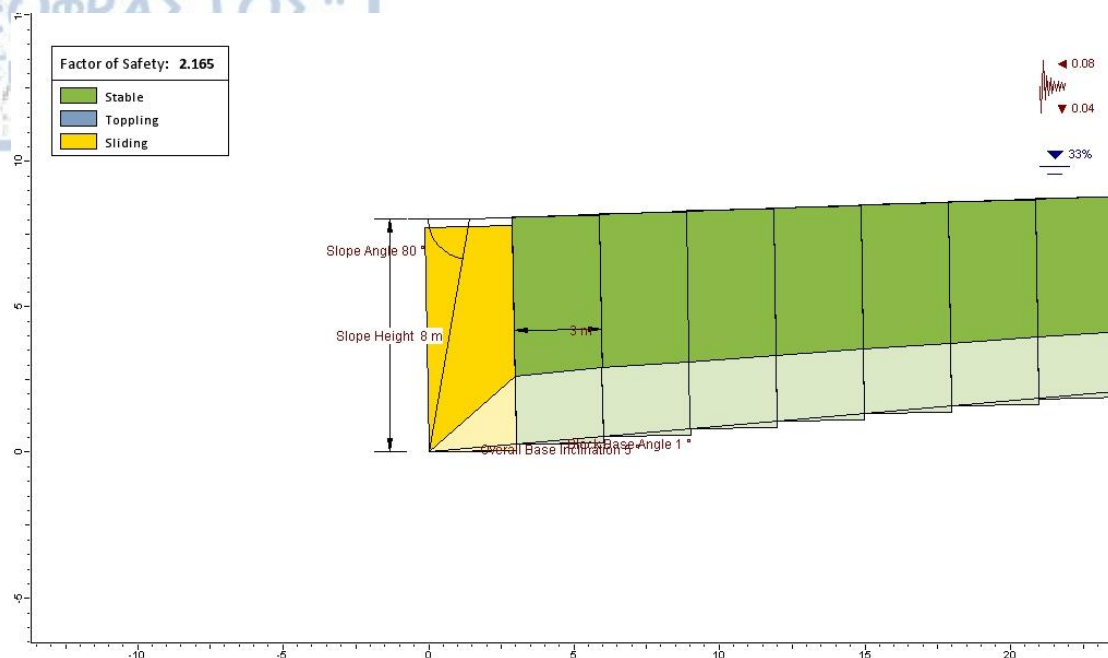
Εικόνα 45. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple για συνθήκες πλήρωσης 33% δίχως επιβολή σεισμικού φορτίου.



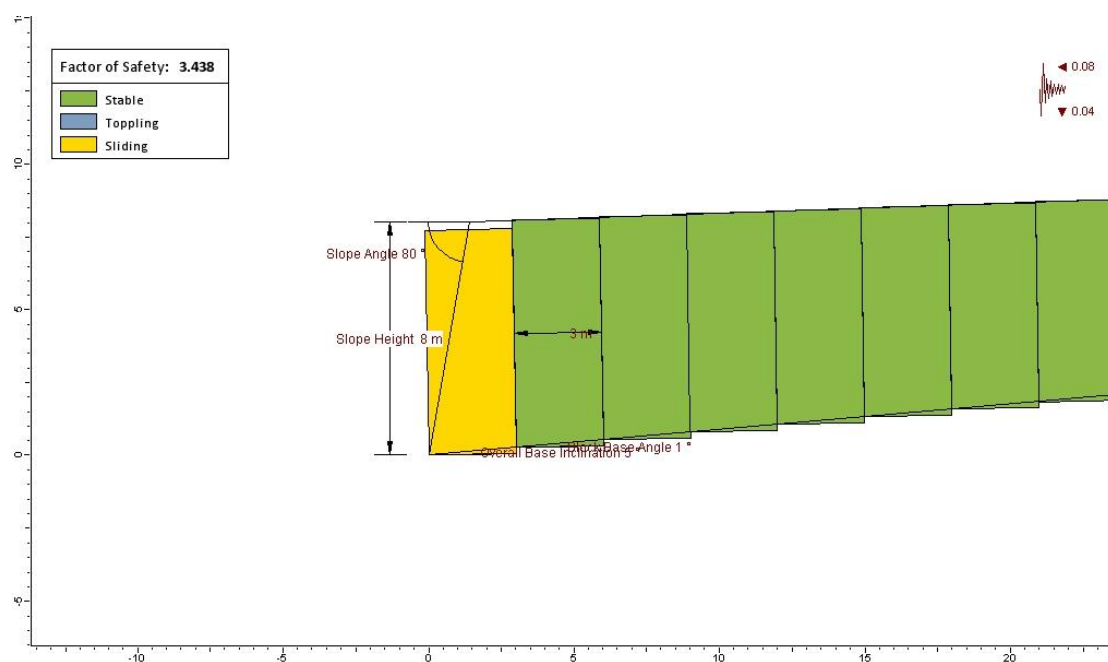
Εικόνα 46. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple απουσία επιβολής δυνάμεων ώθησης.

Πίνακας 15. Εκτιμώμενος Συντελεστής ασφαλείας με στρώμα βάσης αμμώδη άργιλο $c = 0 \text{ KPa}$ και $\varphi = 18^\circ$

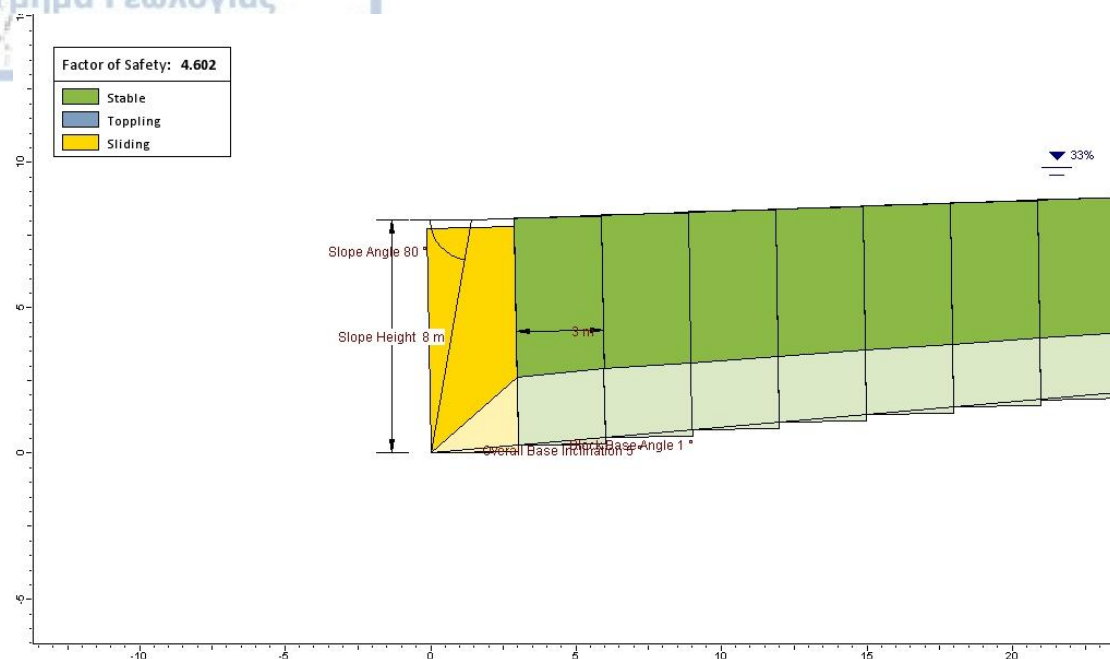
α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Εκτιμώμενος συντελεστής ασφαλείας	2,165	3,438	4,602	18,615



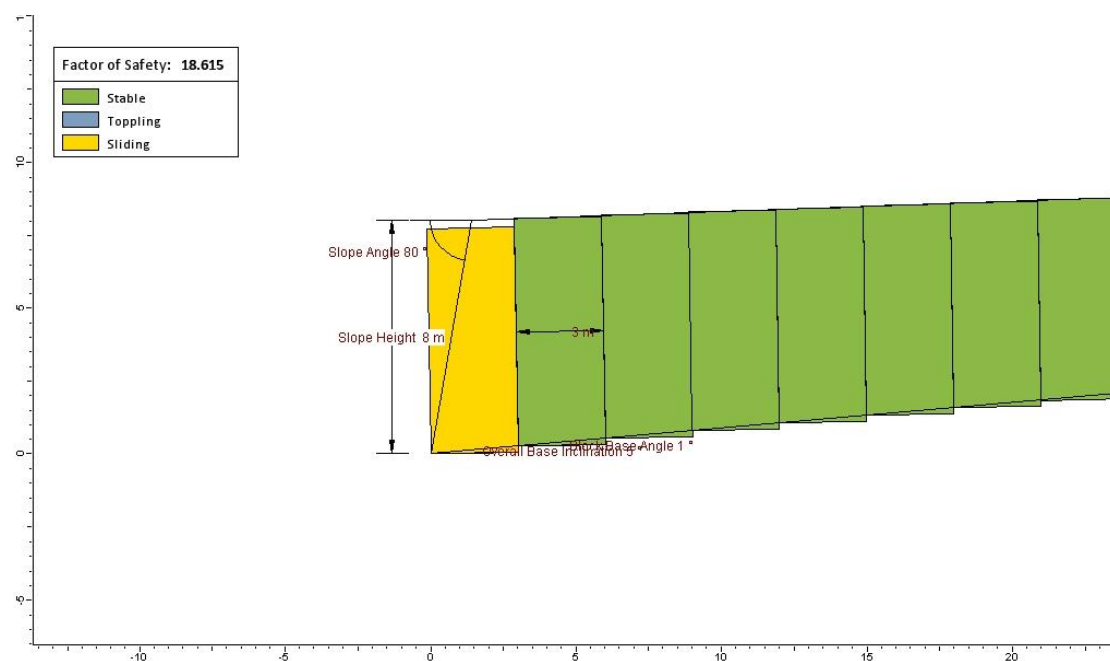
Εικόνα 47. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple για συνθήκες πλήρωσης 33% και επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 48. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple μόνο για επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 49. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe για συνθήκες πλήρωσης 33% δίχως επιβολή σεισμικού φορτίου.

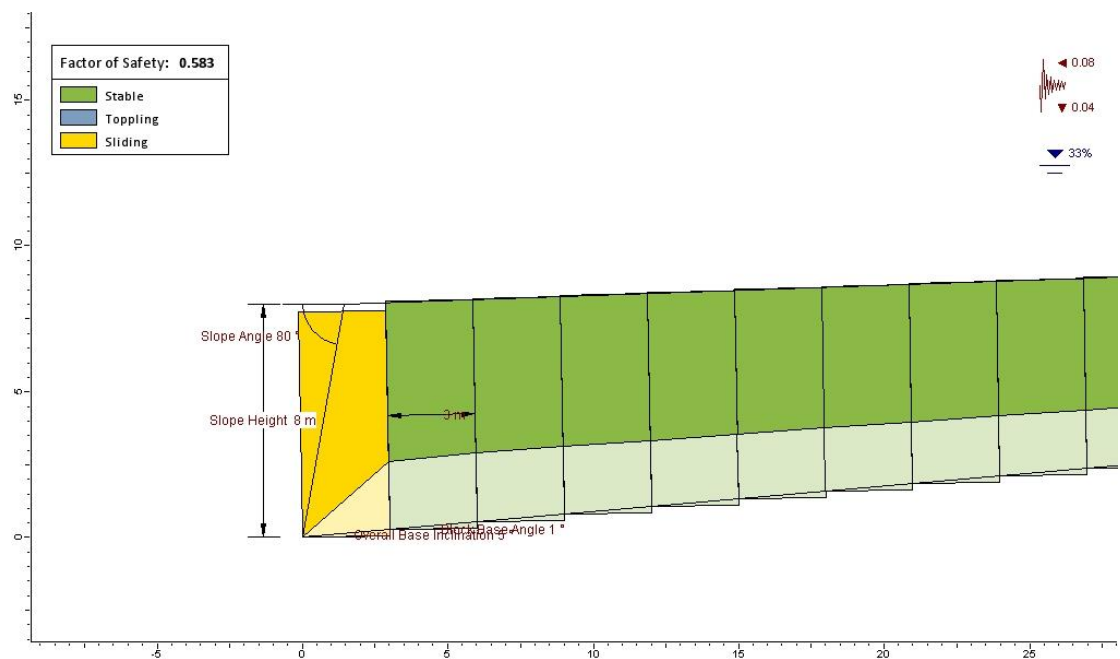


Εικόνα 50. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe απουσία επιβολής δυνάμεων ώθησης.

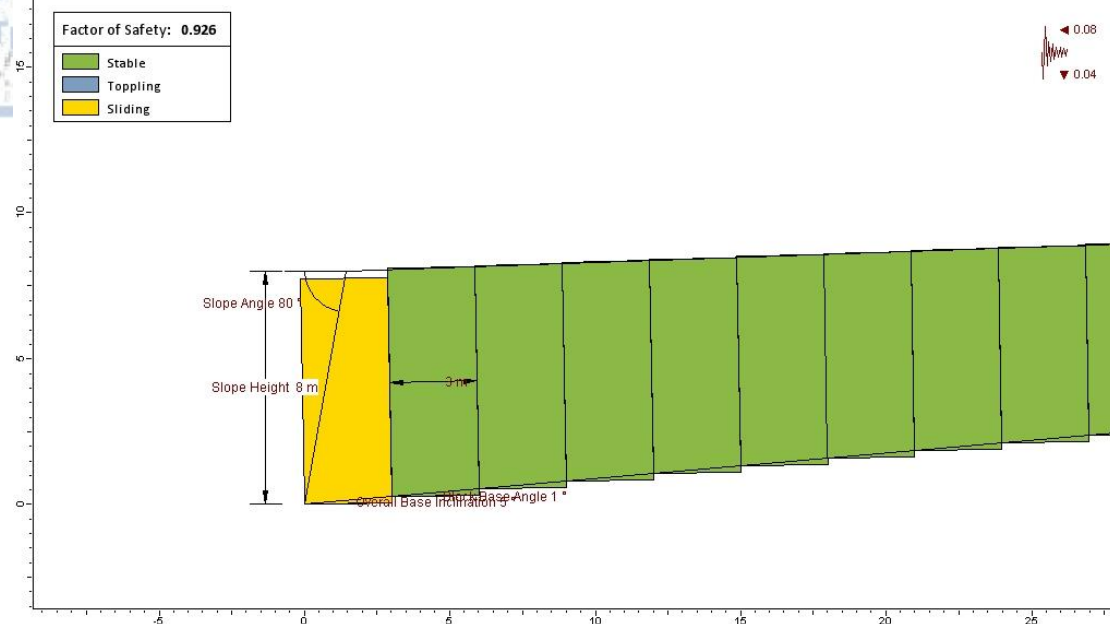
Πίνακας 16.

Εκτιμώμενος Συντελεστής ασφαλείας με στρώμα βάσης αμμώδη άργιλο $c = 0 \text{ KPa}$ και $\phi = 5^\circ$

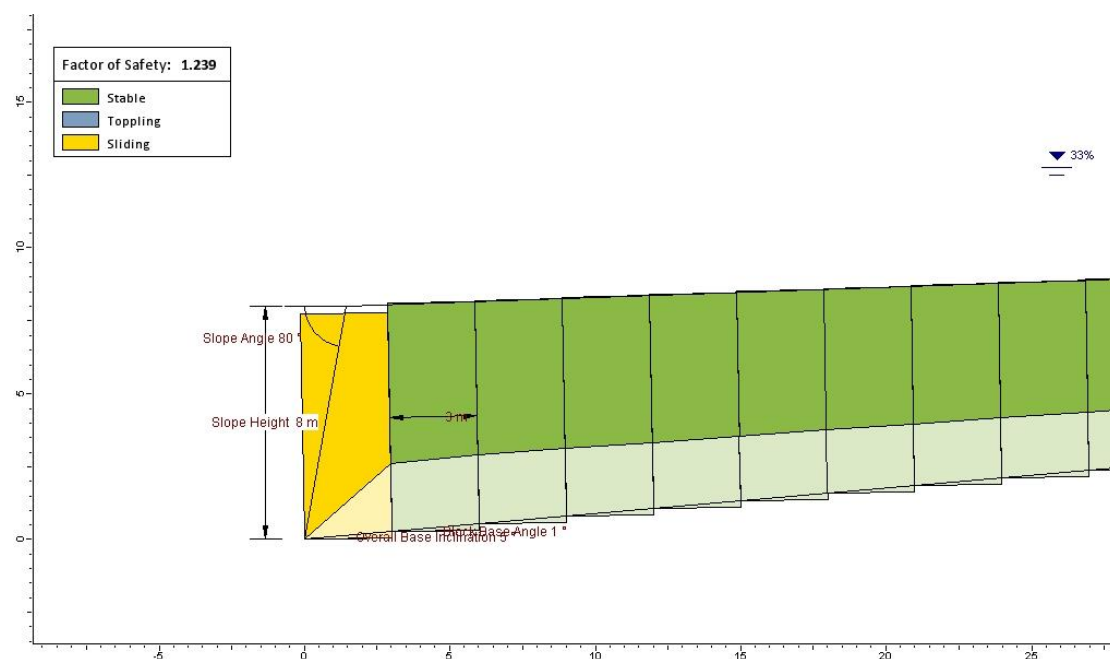
α/α Συνδυασμού	1	2	3	4
Σεισμός	N	N	O	O
Ανώτατη πίεση πόρων ασυνεχειών 50 -ετίας	N	O	N	O
Εκτιμώμενος συντελεστής ασφαλείας	0,583	0,926	1,239	5,012



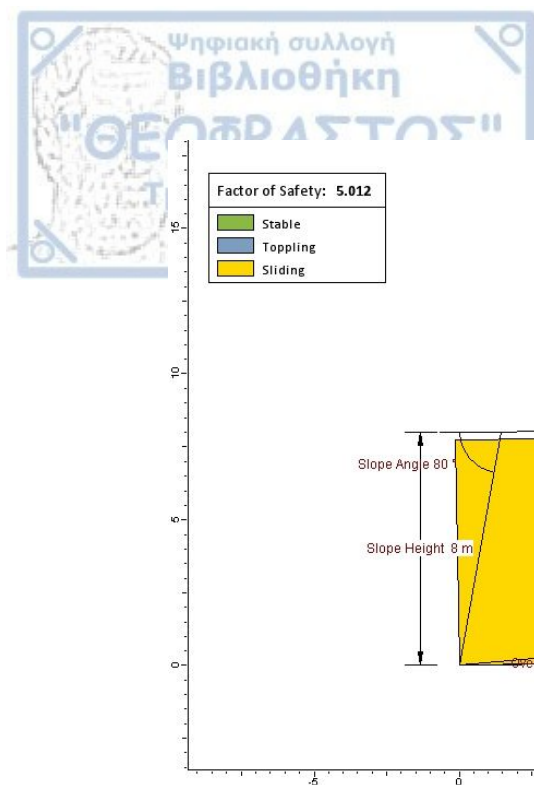
Εικόνα 51. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopples για συνθήκες πλήρωσης 33% και επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 52. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe μόνο για επιβολή σεισμικού φορτίου με μέγιστη οριζόντια σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,08g και κάθετη σεισμική επιτάχυνση εδάφους της τάξης των 0,04 g.



Εικόνα 53. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTorppe για συνθήκες πλήρωσης 33% δίχως επιβολή σεισμικού φορτίου.



Εικόνα 54. Προσομοίωση των συνθηκών με το πρόγραμμα RocTopple απουσία επιβολής δυνάμεων ώθησης.

Παρατηρούμε λοιπόν πως στο δυτικό τμήμα του πρανούς όπου η γωνία τριβής του υποκείμενου στρώματος είναι της τάξης των 5° ο Συντελεστής Ασφαλείας μειώνεται αισθητά με τιμές σε περίπτωση επιβολής σεισμικού φορτίου κάτω από τα επιτρεπτά όρια ασφαλείας. Η επίδραση της κλίμακας, τα σφάλματα στον υπολογισμό των πραγματικών επιφανειών αστοχίας και του μεγέθους του βραχώδους τεμάχους πριν την αστοχία συμβάλλουν στη διαφορά των τιμών (Frayssines and Hantz, 2009). Προτιμάται λοιπόν η ανάλυση δοκιμαστικού ελέγχου για να καθοριστούν ρεαλιστικότερες τιμές εφελκυστικής αντοχής και συνοχής για τον προσδιορισμό του μηχανισμού της αστοχίας.

Στην επί τόπου παρατήρηση εντοπίστηκαν έντονα οξειδωμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες και αργιλοαμμώδη στρώματα ενδιάμεσα στις ασβεστολιθικές μάζες με μηδενική συνοχή. Η τιμή αυτή οφείλεται στο μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης των αργιλικών ενστρώσεων εξαιτίας της έκθεσής τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες και τη διάβρωσή τους από τα κατακρημνίσματα και το θαλάσσιο άνεμο. Διαπιστώνουμε πως όταν η γωνία τριβής έχει τις μικρότερες τιμές της, ο Συντελεστής Ασφαλείας βρίσκεται κάτω από τα επιτρεπτά όρια ενώ όταν η γωνία τριβής είναι της τάξης των 22° , ο Συντελεστής Ασφαλείας βρίσκεται μέσα στα επιτρεπτά όρια. Για το λόγο αυτό ερευνούμε την συνοχή του εδαφικού σχηματισμού με βάση τις επί τόπου παρατηρήσεις και όχι τα εργαστηριακά αποτελέσματα. Στο μηχανισμό της αστοχίας

συμμετέχει το αργιλοαμμώδες στη βάση των ασβεστολιθικών σχηματισμών. Η έντονη κατά τόπους διάβρωσή του συντελεί στην μείωση του Συντελεστή Ασφαλείας και δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες ως προς την εκδήλωση αστοχιών.

8.4 ΥΠΟΣΚΑΦΗ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Εφαρμόζεται ισοστατικό μοντέλο (Εικόνα 55) όπου η κατανομή των τάσεων στα τεμάχια θεωρείται ασυνεχής μοντέλου σε αντίθεση από το κλασσικό μοντέλο αστοχίας, όπου η τάση είναι συνεχής (Makedon & Chatzigogos, 2012).

Σύμφωνα με το μοντέλο, θεωρείται μη σταθερή κανονική κατανομή τάσεων για την ισορροπία των δυνάμεων που συγκρατούν την ολίσθηση προς τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση.

Η ορθή τάση δίνεται από την εξίσωση:

$$\sigma = \frac{N}{H_r * l} \quad (\text{Σχέση 6})$$

Η διατμητική τάση δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau = \frac{S}{H_r * l} \quad (\text{Σχέση 7})$$

Η εφελκυστική τάση δίνεται από την εξίσωση:

$$\sigma_t = \sigma - \frac{6 * M_z}{H_r^2 * l} = \frac{W * (H_r * \cos \alpha - 6d)}{H_r^2 * l} \quad (\text{Σχέση 8})$$

Όπου

W η δύναμη του Βάρους του βράχου

M_z, η αντοχή στο άξονα των z,

N και S η ορθή και η διατμητική συνιστώσα του

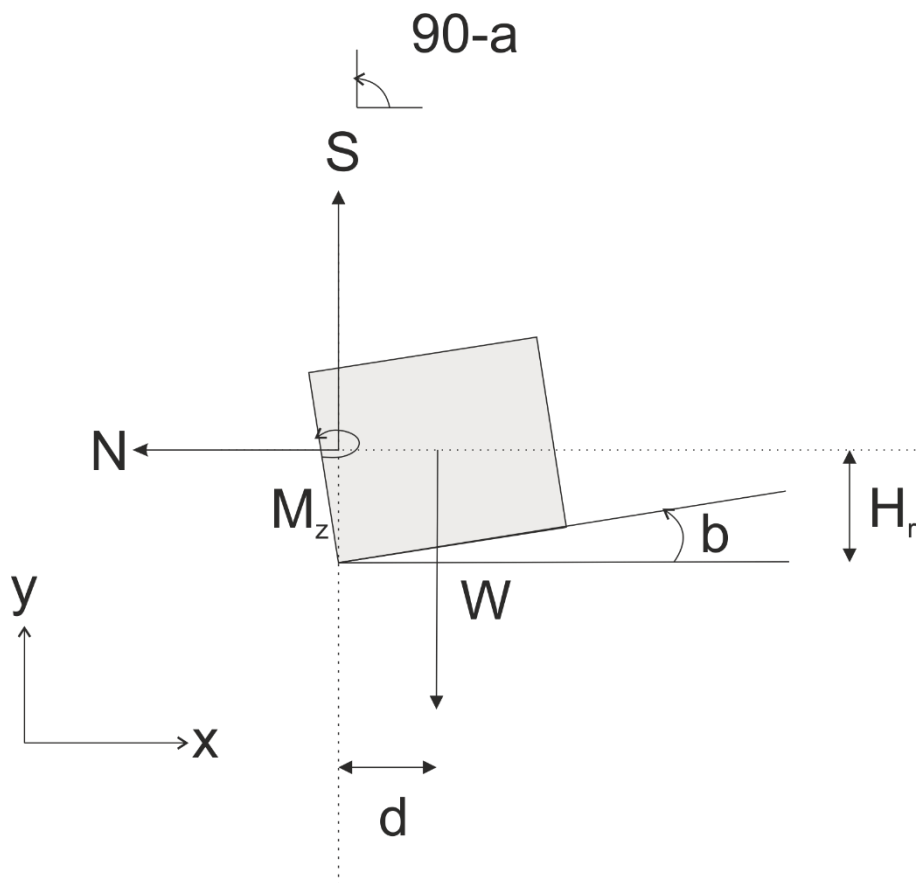
α η γωνία μεταξύ της βάσης και του οριζόντιου επιπέδου

d ο μοχλοβραχίονας ροπής, δηλαδή η κατακόρυφη απόσταση από ένα σημείο στο ήμισυ του μέσου βυθίσματος που αντιστοιχεί στην άθικτη κατάσταση έως

το κέντρο βάρους της πλευρικής επιφάνειας.,

Η H_r το ύψος της βράχου, ορίζεται από το μέγεθος των τεμαχών και έχει αντοχή ίση με την αντοχή των επιμέρους τμημάτων βράχου

l το πλάτος της επιφάνειας αστοχίας και β η γωνία της στρώσης.



Εικόνα 55.

Ισορροπία δυνάμεων και ροπών που δρουν στο τέμαχος.

Η τάση εφελκυσμού ασκείται στα βραχώδη τεμάχη ενώ η κανονική τάση έχει συμπιεστικό χαρακτήρα. Υποθέτοντας μια γραμμική κατανομή των ενεργών δυνάμεων, η εφελκυστική κανονική τάση (ελάχιστη) λόγω της ροπής βάρους δίνεται από την σχέση 7. Η εφαρμογή των σχέσεων 6, 7 και 8 δίνουν την τιμή της εφελκυστικής τάσης, που είναι συνάρτηση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών. Εφαρμόζεται το κριτήριο του Griffith σύμφωνα με την σχέση

$$\tau^2 = 4 * \sigma_t * (\sigma_n + \sigma_t) \quad (\text{Σχέση 9})$$

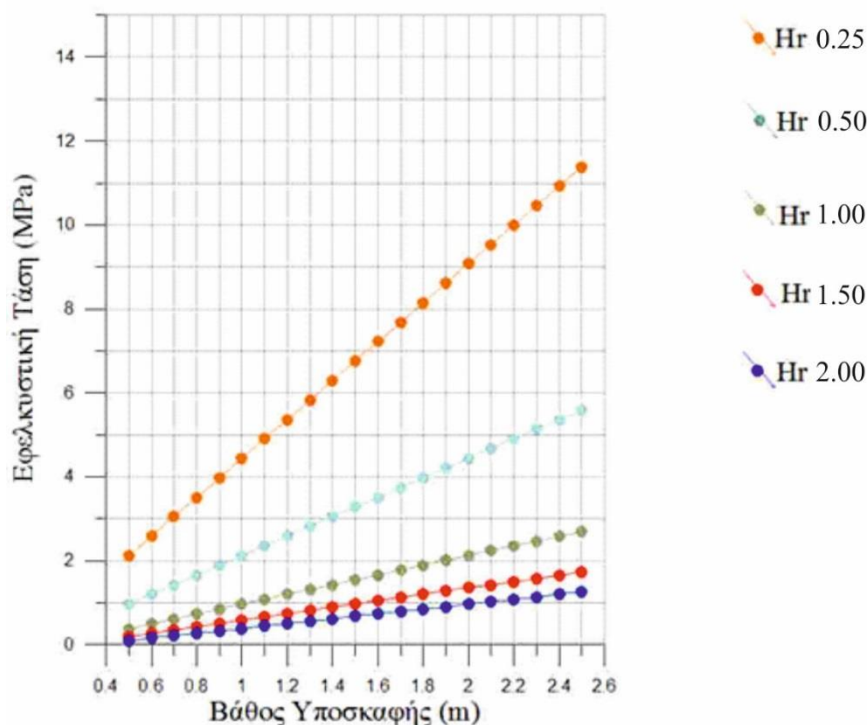
Η εφαρμογή των εξισώσεων 7 και 8 για την αστοχία που οφείλεται στην υποσκαφή

του υποκείμενου στρώματος παράγει τις τιμές της επί τόπου εφελκυστικής τάσης που δρα στη βραχομάζα.

Οι τιμές των W και $Hr \cdot l$ αντιστοιχούν σε τιμές πραγματικού τεμάχους βραχομάζας όπως εκτιμήθηκε από τους Makedon & Chatzigogos (2012) που αστόχησε

$$W = 1833 \text{ kN/m}^2, \quad Hr \cdot l = Ar = 5,18 \text{ m}^2.$$

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΑΠΟ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ



Εικόνα 56. Επί τόπου εφελκυστική τάση όπως υπολογίζεται για διάφορα βάθη υποσκαφής των βραχώδων τεμαχίων (Makedon & Chatzigogos, 2012).

Εξετάζοντας τα αποτελέσματα που εξάγονται από τον δοκιμαστικό έλεγχο για υποσκαφή του ενδιαμέσου εδαφικού ορίζονται σε βάθος πέραν του μισού μέτρου, μπορούμε να εκτιμήσουμε την εφελκυστική αντοχή για διάφορες τιμές ύψους της βραχομάζας. Στις επί τόπου δοκιμές η εφελκυστική αντοχή σε υποσκαφή μήκους 2 μέτρων με υπολογισμένο ύψος τεμάχους 0,5 μέτρα είναι $\sigma_t = 3 \text{ MPa}$ και $c = 7,5 \text{ MPa}$, αντίστοιχα. Ο συνδυασμός των γεωμετρικών αυτών παραμέτρων μπορεί να δώσει ζεύγη τιμών εφελκυστικής αντοχής και συνοχής, των οποίων ο λόγος στην περίπτωση που εξετάζουμε έχει την τιμή $c / \sigma_t = 2.5$. Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής είναι

μικρότερη από τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, που σημαίνει πως σύμφωνα με τις εργαστηριακές μετρήσεις δεν σημειώνεται αστοχία.

8.5 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή είναι έντονα. Πρόκειται για μια περιοχή με μεγάλο τουριστικό και περιβαλλοντολογικό ενδιαφέρον. Για τον σκοπό αυτό, τα μέτρα προστασίας που προτείνονται πρέπει να αφορούν στην προστασία του πρανούς από την εκδήλωση μελλοντικών αστοχιών εξασφαλίζοντας τον απαιτούμενο Συντελεστή ασφαλείας και να σχεδιαστούν σύμφωνα με τους περιβαλλοντικούς όρους.

Οι εργασίες σταθεροποίησης μίας κατολίσθησης, ακολουθούν έναν συγκεκριμένο τρόπο ιεράρχησης. Αρχικά εκτελείται σύλληψη και αποστράγγιση των νερών τα οποία οδηγούνται στην κατολισθαίνουσα περιοχή.. Το επόμενο βήμα είναι η άντληση του νερού στην κατολισθαίνουσα περιοχή με σκοπό τον υποβιβασμό της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα. Στη συνέχεια είναι απαραίτητο να πληρωθούν οι ρωγμές στην κατολισθαίνουσα μάζα με στεγανά υλικά, που πιθανόν να εντοπιστούν σε γειτονικές περιοχές. Εφόσον ληφθούν τα παραπάνω μέτρα εκτελούνται έργα αποστράγγισης (σήραγγες, οριζόντιες γεωτρήσεις και τοποθετούνται μέτρα αντιστήριξης. Σε περιοχές με μεγάλη ποσότητα βροχόπτωσης, διευθετείται ο υδρογραφικός άξονας. Είναι απαραίτητη η συνεχής παρακολούθηση όλων των έργων και των κατασκευών.

Για να επιτευχθεί ο επιθυμητός Συντελεστής Ασφαλείας εφαρμόζονται μέτρα αντιστήριξης του πρανούς, όπως αγκύρια βράχου και τοίχοι αντιστήριξης. Τα έργα αντιστήριξης είναι κατασκευές που δέχονται μεγάλα φορτία και θεωρούνται αντιστοιχοοικονομικές. Στην περιοχή μελέτης όμως σημαντικός παράγοντας που μεταβάλλει το Συντελεστή Ασφαλείας είναι η διάβρωση των αργιλικών στρώσεων εξαιτίας της έκθεσής τους στις επιφανειακές συνθήκες και της κατείσδυσης του νερού μέσα από την ασβεστολιθική βραχομάζα. Οι μέθοδοι αποστράγγισης δεν δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα σε λεπτόκοκκα αργιλικά εδάφη. Η χρήση εκτοξευμένου σκυροδέματος συμβάλλει στην προστασία και την αύξηση της συνοχής των ενδιάμεσων αργιλικών στρώσεων ενώ προτείνεται και η χρήση γεωφασμάτων για τον έλεγχο της επιφανειακής διάβρωσης των πρανών.

Τα ενέματα με τσιμέντο παρέχουν καλά αποτελέσματα σε επιφανειακές

κατολισθήσεις και σε συμπαγή υλικά, όπως μάργες, μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, αργιλικές μάργες τα οποία διαχωρίζονται από πυκνό δίκτυο διαρρήξεων, ενώ σε καθαρώς αργιλικά εδάφη δεν είναι δυνατόν να εφαρμοσθεί. Η τεχνική συνίσταται στην εφαρμογή πιέσεων, μεγαλύτερων από το βάρος των υπερκειμένων (4-6 ατμόσφαιρες) και έτσι επιτυγχάνεται η είσοδος του ενέματος εντός των ρωγμών και στην ενεργό επιφάνεια ολίσθησης. Στην περίπτωση καταπτώσεων βραχομαζών μικρών διαστάσεων από πρηνή μεγάλου σχετικά ύψους, κατασκευάζεται όρυγμα στον πόδα του πρηνούς παράλληλο προς τον άξονα του αυτοκινητόδρομου και στην εξωτερική του πλευρά (προς τον αυτοκινητόδρομο), θεμελιώνεται τοίχος παγίδευσης. Ο τοίχος αυτός εμποδίζει τους βράχους που πέφτουν να εισέλθουν στο κατάστρωμα του δρόμου, αλλά δεν είναι πάντα εφικτό να εξασφαλιστεί το κατάλληλο εύρος για το υπόψη όρυγμα αλλά και για το χώρο θεμελίωσης του τοίχου. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι για πρηνές ύψους 33μ. περίπου απαιτείται όρυγμα πλάτους 8 μέτρων και βάθους 2 μέτρων.



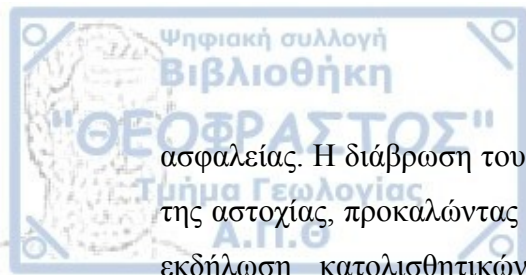


Εικόνα 57(a, b). Κάλυψη ενδιάμεσων στρωμάτων με εκτοξευμένο σκυρόδεμα.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα κατολισθητικά φαινόμενα που έλαβαν χώρα σε περιβάλλον Νεογενών σχηματισμών αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Η περιοχή γεωτεκτονικά ανήκει στην υποζώνη της Παιονίας και δομείται από μαργαϊκές αποθέσεις με ασβεστολιθικές βραχομάζες στη θέση έρευνας. Κάτω από την επιφάνεια στρώσης των ασβεστολίθων υπόκεινται καστανόχρωες μάργες οι οποίες βρίσκονται πάνω σε ένα χαμηλότερο στρώμα ασβεστολίθων. Κάτω από τον κατώτερο ορίζοντα του ασβεστολίθου εντοπίζεται ένα αργιλοαμμώδες ερυθροκίτρινο στρώμα που περιέχει ασβεστολιθικές λατύπες και χάλικες με κυμαινόμενο πάχος.

Η στατιστική επεξεργασία των τεκτονικών στοιχείων υπέδειξε 4 ομάδες ασυνεχειών ενώ ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται ως καλής ποιότητας με δείκτη GSI 50 με 60. Η ανάλυση των τεκτονικών στοιχείων είχε ως αποτέλεσμα να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ο μηχανισμός της αστοχίας που λαμβάνει χώρα είναι βραχοπτώσεις μετά από εφελκυστική αστοχία κατά μήκος κατακόρυφων ασυνεχειών στον ασβεστόλιθο. Η αστοχία προκύπτει όταν εξαιτίας της διάβρωσης των ασθενέστερων στρωμάτων, προκύπτει υποσκαφή των ασβεστολιθικών οριζόντων. Πραγματοποιήθηκε έλεγχος της μεταβολής του Συντελεστή Ασφαλείας με μεταβολή του Σεισμικού φορτίου, της υδροστατικής πίεσεως και της γωνίας τριβής και της συνοχής των σχηματισμών που παρεμβάλλονται ανάμεσα στους ορίζοντες των ασβεστολίθων και διαπιστώσαμε πως η μεταβολή της γωνίας τριβής έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του συντελεστή



ασφαλείας. Η διάβρωση του αργιλοαμμώδους στρώματος συμμετέχει στην εκδήλωση της αστοχίας, προκαλώντας εφελκυστικές τάσεις στη βραχομάζα, με αποτέλεσμα την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Η επί τόπου παρατήρηση υπέδειξε χαρακτηριστικά σημεία στις θέσεις των κατολισθήσεων, όπου οι επιφάνειες είναι έντονα εξαλλοιωμένες λόγω αποσάθρωσης.

Τα μέτρα προστασίας που προτείνονται να σχεδιαστούν στην περιοχή έχουν ως στόχο την αποφυγή της μελλοντικής διάβρωσης των εδαφικών σχηματισμών που παρεμβάλλονται. Για τον σκοπό εξετάστηκε η γεωμηχανική συμπεριφορά των μηχανισμών. Η χρήση ενέματος με σκυρόδεμα που εφαρμόζεται θεωρείται η πλέον κατάλληλη αφού ενισχύει τους αργιλικούς εδαφικούς σχηματισμούς που παρεμβάλλονται μεταξύ ασβεστολιθικής βραχομάζας, αποτρέπει την διάβρωσή τους, είναι η πιο οικονομική λύση και δεν αλλάζει αισθητά το φυσικό τοπίο.

ASTM, 1992. Standard Test Methods for Classification of Soils for Engineering Purposes 1992 *Annual Books of ASTM Standards*, vol. 04-08. ASTM, Philadelphia, PA, 326– 336. Section 4, Philadelphia.

Chatzigogos, N., Makedon, T., 2008. The effect of residual materials on the stability of slopes in highly weathered and stressed metamorphic rocks, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας.

Christaras B., Argyriadis M., Moraiti, E., 2014. Landslides in the marly slope of the Kapsali area in Kithira Island, Greece, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73, 839–844.

Christaras, B., Syrides, G., Papathanasiou, G., Chatzipetros, A., Mavromatis, T., Pavlides, S., 2010. Evaluating the triggering factors of the rock falls of the 16th and 21st December 2009 in Nea Fokea, Chalkidiki, Northern Greece, *Bulletin of the Geological Society of Greece, 12th International Congress, Patras*.

De Wet, A.P., Miller, J.A., Bickle, M.J. and Chapman, H.J., 1989. Geology and geochronology of the Arnea, Sithonia and Ouranopolis intrusions, Chalkidiki peninsula, northern Greece. *Tectonophysics*, 161, 65-79.

El Amrani Paaza, N., Lamas, F., Irigaray, C., Chacon, J., 1998, Engineering geological characterization of Neogene marls in the Southeastern Granada Basin, Spain. *Engineering Geology*, 50, 165 - 175

Frayssines M, Hantz D 2009. Modelling and back-analyzing failures in steep limestone cliffs. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 1115–1123.

Goodman, R., E., Asce, M., Bray., M., 1976. *Toppling of Rock Slopes, Rock Engineering for Foundations and Slopes*.

Hocking, G., 1976. A method for distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 13, 225-226.

Hoek, E., 1983. Strength of jointed rock masses. *Geotechnique*, 33, 187–223.

Hoek, E., Marinos, P., G., Marinos, V., P., 2005. Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*, 42, 277 – 285

Kavvadas, M., J., Anagnostopoulos, A., G., Georgiannou, V., N., Bardanis, M., E., 2003. Characterisation and engineering properties of the Corinth marl. *Characterisation and Engineering Properties of Natural Soils*, Vol.2, 1435 - 1460

Makedon, T., Chatzigogos, N., 2012. Failure mechanism of overhanging slopes in sedimentary rocks with dissimilar mechanical properties, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 71, 703–708.

Marinos, V., Fortsakis, P., Nikas, K., Marinos, P., 2012. Anisotropic behaviour of stratified rock masses in tunnelling, *Engineering Geology*, 141–142, 74-83.

Marinos, V., 2014. Tunnel behaviour and support associated with the weak rock masses of flysch, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6 (3), 227-239.

Markland, J., T., 1972. A useful technique for estimating the stability of rock slopes when a rigid wedge sliding type of failure is expected. *Imperial College Rock Mechanics Research Report No 19*.

Mountrakis D., 1993. *Geology of Greece*. University Studio Press, Thessaloniki.

Syrides, G., 1990, Lithostratigraphic, biostratigraphic and paleostratigraphic study of the Neogene – Quaternary sedimentary formations of Chalkidiki peninsula. *Ph.D. Thesis*, A.U.Th, in Greek.

Tranos, M., Papadimitriou, E., Kiliass, A., 2003. Thessaloniki - Gerakarou Fault Zone (TGFZ): The western extension of the 1978 Thessaloniki earthquake fault (Northern Greece) and seismic hazard assessment. *Journal of Structural Geology*, 2019 – 2123.

Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L., 1996. *Landslides— Investigation and mitigation*: National Research Council, Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 673

Δημόπουλος Γ., 1981. *Τεχνική Γεωλογία Βασικές Έννοιες Βραχομηχανικής και*



Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων, Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη.

Δημόπουλος Γ., 2000. *Εδαφικά και Βραχώδη πρανή*. Εκδόσεις Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας Α.Π.Θ.

Ι.Γ.Μ.Ε., 1978. Φύλλο Χάρτη Κασσανδρείας, Κλίμακας 1:50.000.

Μακεδών, Θ., 1991. Υδρογεωλογική έρευνα για τον εντοπισμό ευνοϊκών συνθηκών υδροφορίας στην ευρύτερη περιοχή της Κοινότητας «Αθύτου» χερσονήσου Κασσάνδρας και ανόρυξη παραγωγικών γεωτρήσεων. Κοινότητα Αθύτου.

Μαρίνος Β., 2007. Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σιηράγγων. *Διδακτορική διατριβή*

ΟΑΣΠ, ΣΠΜΕ «Ελληνικός Αντισεισμικός κανονισμός 2000».

Οδηγίες Μελετών Τεχνικών Έργων, 2003. Τεύχος 11.

Παπαχαρίσης Ν., Μάνου-Ανδρεάδη Ν., Γραμματικόπουλος Ι. 1999. *Γεωτεχνική Μηχανική (Έρευνα Γεωτρήσεις Εργαστήριο)*. Αφοι Κυριακίδη.

Χρηστάρας Β., 2002. *Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής*. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας.