



Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας

Π.Μ.Σ Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας-Τεχνική
Γεωλογία και Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία



ΓΛΥΚΕΡΙΑ Κ. ΑΜΠΑΤΖΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ
ΤΗΣ ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ Ι.Μ. ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ, ΆΓΙΟΝ
ΌΡΟΣ, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LIDAR

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

ΓΛΥΚΕΡΙΑ Κ. ΑΜΠΑΤΖΗ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΗΣ
ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΖΩΝΗΣ ΤΗΣ Ι.Μ. ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ, ΆΓΙΟΝ ΌΡΟΣ, ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LIDAR

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής

Μαρίνος Βασίλειος, Επίκουρος Καθηγητής Τμήμα Γεωλογίας

Χατζηγώγος Θεόδωρος, Καθηγητής Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

Χρηστάρας Βασίλειος, Καθηγητής Τμήμα Γεωλογίας

Ευχαριστίες

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας" και κατεύθυνσης Τεχνικής Γεωλογίας και Περιβαλλοντικής Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της παρούσας μελέτης Βασίλειο Π.Μαρίνο, Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας για την παρότρυνση στην επιλογή του συγκεκριμένου θέματος και την συνεχή καθοδήγηση για την επίτευξη του βέλτιστου δυνατού αποτελέσματος.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στην εταιρία Trigger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι για την εκτέλεση της υπαίθριας έρευνας και όλα τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Γεωλογίας ΑΠΘ Παπαθανασίου Γ. χωρίς την συμβολή του οποίου δε θα ήταν δυνατή η χρήση του λογισμικού Split-Fx, πολύτιμο εργαλείο για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης αλλά και για τις χρήσιμες υποδείξεις του.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Δρ. Γεωλογίας ΑΠΘ Μακεδών Θ. για τα πρωτογενή δεδομένα, της υπαίθριας εργασίας, που μου έδωσε, αναπόσπαστο κομμάτι της μελέτης αυτής, και την βοήθεια του που ήταν σημαντική και απαραίτητη.

Για τη διαρκή στήριξη θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου που ήταν πάντα δίπλα μου και ένα ιδιαίτερα μεγάλο ευχαριστώ στον Παπαδημητρίου Μιχαήλ για την συμπαράσταση, κατανόηση και πίστη στις ικανότητές μου καθ' όλη τη διάρκεια αυτού του μεταπτυχιακού κύκλου σπουδών, πράγμα που ήταν για μένα κινητήριος δύναμη να συνεχίσω την προσπάθεια.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην οικογένεια μου και κυρίως στους γονείς μου Κώστα και Μαρία για την διαχρονική συμπαράστασή τους και την υλική και ηθική στήριξη των επιλογών μου.

Περιεχόμενα

Abstract	13
1.Εισαγωγή.....	15
1.1 Αντικείμενο διατριβής.....	15
1.2 Ιστορικό αστοχιών-Διαθέσιμα στοιχεία	15
1.3 Μεθοδολογία έρευνας	16
2. Το φαινόμενο των κατολισθήσεων.....	16
3. Γεωμορφολογία - γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	28
3.1. Γεωμορφολογία	28
3.2 Γεωτεκτονική τοποθέτηση - στρωματογραφία.....	30
3.3 Τεκτονική	32
3.4 Υδρολογικό καθεστώς.....	33
3.5 Σεισμικότητα	33
4. Γεωλογία της στενής περιοχής έρευνας	34
4.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία.....	34
4.2 Λιθολογία - Στρωματογραφία	36
4.3 Τεκτονικά στοιχεία.....	39
4.4 Υδρογεωλογία σχηματισμών.....	39
4.5 Σεισμική επικινδυνότητα.....	39
5. Μικροτεκτονική ανάλυση της βραχόμαζας.....	41
5.1 Επεξεργασία μετρήσεων υπαίθρου	41
5.2 Σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων	41
6. Τεχνική LIDAR.....	46
6.1 Εισαγωγή.....	46
6.2 Πλεονεκτήματα χρήσης.....	47
6.3 Αρχές λειτουργίας	47
6.4 Επεξεργασία δεδομένων.....	49
6.5 Εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή της Μονής.....	50
6.6 Προσδιορισμός τεκτονικών δομών με τη χρήση της τεχνικής Lidar	52
6.7 Συγκριτική αξιολόγηση των τεκτονικών μετρήσεων	58
7. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της περιοχής της Μονής	63
7.1 Χαρακτηριστικά αντοχής της βραχόμαζας.....	63
7.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά ασυνεχειών	64

7.3 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση - συμπεριφορά της βραχομάζας	68
7.4 Ταξινόμηση βραχομάζας με βάση το SMR Romana (1985, 1995).....	68
8. Διερεύνηση πιθανών μηχανισμών αστοχίας.....	73
8.1 Γενικά.....	73
8.2 Κινηματική ανάλυση ανά θέση	78
9. Αξιολόγηση μηχανισμών αστοχίας	84
9.1 Προσδιορισμός μηχανισμών αστοχίας	84
9.2 Εκτίμηση βαθμού επικινδυνότητας.....	92
10. Προτάσεις αντιμετώπισης αστοχιών	93
11. Συμπεράσματα.....	96
12. Παράρτημα	100
13. Βιβλιογραφία.....	110

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Πανοραμική λήψη της Ι.Μ Παντοκράτορα με τη θέση του νεκροταφείου(κόκκινο βέλος), πριν την πραγματοποίηση της ολίσθησης, http://agioros.tripod.com/ και δίπλα η σημερινή εικόνα στην ίδια θέση, http://www.newsit.gr/	15
Εικόνα 2 Περιστροφική ολίσθηση βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος	21
Εικόνα 3 Επίπεδη ολίσθηση, φωτογραφία του Roozbeh Geraili Mikola	21
Εικόνα 4 Σφηνοειδής ολίσθηση, φωτογραφία του Omen Necrofis.....	21
Εικόνα 5 Αστοχία ανατροπής, από παρουσίαση του Riccardo Fanti στο http://www.geologimarche.it/	22
Εικόνα 6 Η χερσόνησος του Άθω από δορυφόρο από Google Earth	29
Εικόνα 7 Δορυφορική εικόνα της θέσης της Ιεράς Μονής του Παντοκράτορα(Google Earth)	35
Εικόνα 8 Αεροφωτογραφία της Ιεράς Μονής του Παντοκράτορα, http://agioros.tripod.com/	35
Εικόνα 9 Γεωλογικός χάρτης, στη θέση της Ι.Μ. Παντοκράτορα (Τροποποιημένο από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι).....	36
Εικόνα 10 Αμφιβολίτες με χαρακτηριστικές παρεμβολές πηγματοειδών φλεβών.....	37
Εικόνα 11 Προβολή σφαίρας σε ένα επίπεδο κάθετο στον ισημερινό, καθώς και παράλληλο στον ισημερινό, από παρουσίαση του Ρόζου Δ. στο http://www.legah.metal.ntua.gr/	42
Εικόνα 12 Τρόπος αποτύπωσης στην στερεογραφική προβολή νότιου ημισφαιρίου, από παρουσίαση του Ρόζου Δ. στο http://www.legah.metal.ntua.gr/	42
Εικόνα 13 Αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 2	43
Εικόνα 14 Νέα αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 2	43
Εικόνα 15 Οικογένειες ασυνεχειών και κύρια επίπεδα -θέση 2	44
Εικόνα 16 Αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 9	44
Εικόνα 17 Νέα αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 9	45

Εικόνα 18 Οικογένειες ασυνεχειών και κύρια επίπεδα-θέση 9	45
Εικόνα 19 Γενικό τεκτονικό διάγραμμα των κυρίων συστημάτων ασυνεχειών, όπως προέκυψε από την υπαίθρια εργασία.....	46
Εικόνα 20 Τυπική εικόνα ενός point cloud	48
Εικόνα 21 Βασικά μέρη συσκευής LIDAR εδάφους.	49
Εικόνα 22 Πραγματοποίηση σαρώσεων με τη συσκευή LIDAR στη θέση 2	50
Εικόνα 23 Χάρτης πληροφόρησης περιοχής μελέτης, 1:100. Με κόκκινο κύκλο τα δύο πρηνή τα οποία θα αναλυθούν με την τεχνική του LIDAR(Τροποποιημένο από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι)	51
Εικόνα 24 Φωτογραφία από τη θέση 9, (φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι) ...	51
Εικόνα 25 Πρηνές στη θέση 2 χωρίς καμιά επεξεργασία (με θόρυβο)	52
Εικόνα 26 Πρηνές στη θέση 2 μετά από αφαίρεση του θορύβου.....	53
Εικόνα 27 Δημιουργία πλέγματος-θέση 2	53
Εικόνα 28 Απεικόνιση επιπέδων ασυνεχειών-θέση 2	54
Εικόνα 29 Οριοθέτηση επιπλέον επιπέδων ασυνεχειών χειροκίνητα-θέση 2	55
Εικόνα 30 Στερεογραφική προβολή όλων των επιπέδων και ορισμός οικογενειών των επιπέδων των ασυνεχειών με χρήση του Split-Fx-θέση 2	55
Εικόνα 31 Εμφάνιση οικογενειών ασυνεχειών στο πρηνές-θέση 2	56
Εικόνα 32 Εικόνα από το λογισμικό Split-Fx. Με μπλε γραμμή σημειώνεται το σημείο μέτρησης της αποστάσης μιας ασυνέχειας	56
Εικόνα 33 Πρηνές στη θέση 9 μετά από αφαίρεση του θορύβου.....	57
Εικόνα 34 Δημιουργία πλέγματος-θέση 9	57
Εικόνα 35 Στερεογραφική προβολή όλων των επιπέδων και ορισμός οικογενειών των επιπέδων των ασυνεχειών με χρήση του Split-Fx-θέση 9	58
Εικόνα 36 Εμφάνιση οικογενειών ασυνεχειών στο πρηνές-θέση 9	58
Εικόνα 37 Πόλοι ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2	59
Εικόνα 38 Ορισμός οικογενειών ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2.....	59
Εικόνα 39 Κύρια επίπεδα ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2	60
Εικόνα 40 Σύγκριση στερεοδιαγραμμάτων των δύο τεχνικών-θέση 2.....	60
Εικόνα 41 Πόλοι ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9	61
Εικόνα 42 Ορισμός οικογενειών ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9.....	61
Εικόνα 43 Κύρια επίπεδα ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9	62
Εικόνα 44 Σύγκριση στερεοδιαγραμμάτων των δύο τεχνικών-θέση 9.....	62
Εικόνα 45 Δοκιμή σημειακής φόρτισης σε δείγμα αμφιβολίτη, φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι.....	64
Εικόνα 46 Δοκιμή σημειακής φόρτισης σε δείγμα γνευσίου, φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι.....	64
Εικόνα 47 Υπόμνημα καταγραφής στοιχείων ασυνεχειών στο υπαίθριο	65
Εικόνα 48 Κύρια συστήματα ασυνεχειών και για τις δύο θέσεις-καταγραφή από την υπαίθρια έρευνα.....	66
Εικόνα 49 Τεκτονικό διάγραμμα των κύριων επιπέδων ασυνεχειών στις θέσεις 2 και 9 της περιοχής μελέτης με την συσκευή του LIDAR.....	67
Εικόνα 50 Ταξινόμηση RMR, Bieniawski (1989).....	70

Εικόνα 51 Δυνητική επίπεδη ολίσθηση χωρίς πλευρικά όρια.....	74
Εικόνα 52 Δυνητική σφηνοειδής ολίσθηση χωρίς πλευρικά όρια.....	75
Εικόνα 53 Δυνητική ολίσθηση από ανατροπή (direct toppling).....	76
Εικόνα 54 Κύριες και δευτερεύουσες ζώνες του direct toppling, https://www.rocsience.com	77
Εικόνα 55 Δυνητική ολίσθηση από ανατροπή (Flexural toppling)	78
Εικόνα 56 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 2(δεδομένα υπαίθρου)	78
Εικόνα 57 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα υπαίθρου)	79
Εικόνα 58 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)	79
Εικόνα 59 Δυνητική σφηνοειδής αστοχία-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου).....	80
Εικόνα 60 Δυνητική ανατροπή-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)	80
Εικόνα 61 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 2(δεδομένα LIDAR)	81
Εικόνα 62 Δυνητική σφηνοειδής ολίσθηση-θέση 2(δεδομένα LIDAR).....	81
Εικόνα 63 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα LIDAR)	82
Εικόνα 64 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα LIDAR)	82
Εικόνα 65 Δυνητική σφηνοειδής αστοχία-θέση 9 (δεδομένα LIDAR)	83
Εικόνα 66 Δυνητική ανατροπή-θέση 9(δεδομένα LIDAR)	83
Εικόνα 67 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα υπαίθρου).....	85
Εικόνα 68 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση καμπτικής ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα υπαίθρου).....	86
Εικόνα 69 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)	86
Εικόνα 70 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)	87
Εικόνα 71 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση καμπτικής ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)	87
Εικόνα 72 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)	88
Εικόνα 73 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου).....	88
Εικόνα 74 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου).....	89
Εικόνα 75 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου).....	89
Εικόνα 76 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9(δεδομένα LIDAR)	90
Εικόνα 77 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα LIDAR)	90
Εικόνα 78 Ενδεικτική εφαρμογή αγκύριου στη θέση 2 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες...	94
Εικόνα 79 Ενδεικτική εφαρμογή αγκυρίων στη θέση 9 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες ..	95
Εικόνα 80 Ενδεικτική εφαρμογή αγκυρίων στη θέση 9 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες ..	96
Εικόνα 81 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες	100
Εικόνα 82 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	100
Εικόνα 83 Καμπτική ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες.....	101

Εικόνα 84 Καμπτική ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	101
Εικόνα 85 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	101
Εικόνα 86 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	102
Εικόνα 87 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	102
Εικόνα 88 Καμπτική ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	103
Εικόνα 89 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	103
Εικόνα 90 Καμπτική ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες.....	104
Εικόνα 91 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	104
Εικόνα 92 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες.....	105
Εικόνα 93 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	105
Εικόνα 94 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	106
Εικόνα 95 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	106
Εικόνα 96 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	107
Εικόνα 97 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	107
Εικόνα 98 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες.....	107
Εικόνα 99 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	108
Εικόνα 100 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες.....	108
Εικόνα 101 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες.....	109
Εικόνα 102 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες.....	109

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Τυπικές τιμές παραμέτρων των σχηματισμών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης (Τροποποιημένο από Τσιαμπάος Γ. "Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων").....	63
Πίνακας 2 Παράδειγμα καταγραφής τεκτονικών στοιχείων.....	65
Πίνακας 3 Βασικές παράμετροι ασυνεχειών σύμφωνα με το κριτήριο Barton(1977).....	68
Πίνακας 4 Αποτελέσματα υπολογισμού J_v	69
Πίνακας 5 Αποτελέσματα υπολογισμού RQD.....	69
Πίνακας 6 Χαρακτηρισμός πετρώματος με βάση τον δείκτη RQD, Deere(1964).....	69
Πίνακας 7 Αποτελέσματα υπολογισμού RMR _{bas}	70
Πίνακας 8 Ταξινόμηση βραχώδους για βραχώδη πρανή SMR, Συντελεστές F1,F2,F3, Τροποποιημένο Romana(1985) όπου P: επίπεδη ολίσθηση, T: ανατροπή, , as: φορά κλίσης πρανούς, aj: φορά κλίσης ασυνέχειας, bs: κλίση πρανούς, bj: κλίση ασυνέχειας.....	71
Πίνακας 9 Ταξινόμηση βραχώδους για βραχώδη πρανή SMR, Συντελεστής F4, Τροποποιημένο Romana(1985).....	72
Πίνακας 10 Αποτελέσματα συστήματος ταξινόμησης SMR με βάση δεδομένα υπαίθρου... 72	
Πίνακας 11 Αποτελέσματα συστήματος ταξινόμησης SMR με βάση δεδομένα της μεθόδου LIDAR.....	72
Πίνακας 12 Περιγραφή κατηγοριών SMR, Τροποποιημένο από Romana(1985).....	73
Πίνακας 13 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνητικών αστοχιών στις δύο θέσεις με τη χρήση δεδομένων και των δύο τεχνικών.....	84
Πίνακας 14 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της επίπεδης ολίσθησης.....	91
Πίνακας 15 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της σφηνοειδούς ολίσθησης.....	91

Πίνακας 16 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της καμπτικής ανατροπής	92
Πίνακας 17 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της άμεσης ανατροπής.....	92

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes(1978)	18
Σχήμα 2 Κύριοι τύποι αστοχίας πρανών και στερεοδιαγράμματα τεκτονικών δομών (Τροποποιημένο κατά Muller(1963), Hoek & Bray(1981))	19
Σχήμα 3 Ισότροπη συμπεριφορά βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος	20
Σχήμα 4 Ανισότροπη συμπεριφορά βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος	20
Σχήμα 5 Στερεοδιάγραμμα Schmidt μιας σφηνοειδούς ολίσθησης.....	24
Σχήμα 6 Σχέση γωνίας τριβής και οδόντωσης (Patton), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο http://www.geo.auth.gr/	25
Σχήμα 7 Προφίλ τραχύτητας επιφανειών και αντίστοιχες τιμές συντελεστή JRC (Barton και Choubey, 1977), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο http://www.geo.auth.gr/	25
Σχήμα 8 Νομόγραμμα υπολογισμού του συντελεστή JRC από το πλάτος (εύρος) της τραχύτητας χρησιμοποιώντας ευθύ άκρο κατά Barton(1982), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο http://www.geo.auth.gr/	26
Σχήμα 9 Εκτίμησης του JRC με βάση τη σκληρότητα Schmidt κατά Deere και Miller(1966), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο http://www.geo.auth.gr/	27

Κατάλογος τομών

Τομή 1 Εγκάρσια τομή στη θέση 2	37
Τομή 2 Εγκάρσια τομή στη θέση 9	38

Κατάλογος χαρτών

Χάρτης 1 Γεωφυσικός χάρτης Ελλάδος. Στο μαύρο πλαίσιο σημειώνεται η γεωγραφική θέση της χερσονήσου της Χαλκιδικής, http://www.slideshare.net/JH4/greece-and- history?related=1	28
Χάρτης 2 Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος. Σε πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης, http://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas	30
Χάρτης 3 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ, φύλλο Χερσόνησος Άθω, 1:50.000(Τροποποιημένο), με κόκκινο βέλος η περιοχή μελέτης.....	31
Χάρτης 4 Διεύθυνση κύριων εφελκυστικών τάσεων στην Μακεδονία, Μουντράκης(2004), Παυλίδης & Κίλιας(1987)	32
Χάρτης 5 Σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης τα τελευταία 50 χρόνια, http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/xartes	34
Χάρτης 6 Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας	40

Abstract

The scope of this thesis is to investigate the failure mechanisms of the coastal zones' slopes of Pantocratora's Holy Monastery on Mount Athos, using the LIDAR device for the 3D mapping of the structures of the rock mass.

The fieldwork prior of implementation of the LIDAR methodology included the study of the area's overall geomorphology and especially the orientation of the slopes and of the tectonic structures, the geology of the main formations and also information about their stage of weathering, stratification etc. Also the mechanical characteristics of the discontinuities have been estimated via in situ tests.

Subsequently all slopes were scanned by LIDAR device in order to capture their structure and tectonic diagrams were produced in correlation with data of fieldwork and LIDAR technique for two of the slopes in the area mentioned above.

Kinematic analysis was carried out for the estimation of all potential failures. Slope stability included the calculation of safety factors for every potential failure mechanism, based on the results of both methods.

The conclusions include remedial measures for the potential failures and for the overall condition of the area. Furthermore the thesis results discuss the applicability and reliability of the technique for the investigation of slope failure mechanisms via the LIDAR scanning method in conjunction with field data.

1.Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο διατριβής

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής αποτελεί η εφαρμογή της μεθοδολογίας σάρωσης με τη χρήση της συσκευής LIDAR προσαρμοσμένης στη διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας των πρανών της παράκτιας ζώνης της Ιεράς Μονής Παντοκράτορα του Αγίου Όρους. Επιπλέον εξετάζεται η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας για την τρισδιάστατη αποτύπωση των δομών της βραχόμαζας και την επέκταση της υπαίθριας έρευνας σε θέσεις με δυσκολίες πρόσβασης.

1.2 Ιστορικό αστοχιών-Διαθέσιμα στοιχεία

Στην περιοχή μελέτης έχουν συμβεί πολλά γεγονότα βραχοπτώσεων κατά το παρελθόν, εξαιτίας του απότομου ανάγλυφου και των δυσμενών, προς την κλίση των πρανών, ασυνεχειών. Το μεγαλύτερης έκτασης καταγεγραμμένο συμβάν συνέβη πριν από 40 περίπου χρόνια κατά το οποίο προκλήθηκε κατολίσθηση του χώρου του παλιού κοιμητηρίου της Μονής, εικόνα 1.



<http://www.newsit.gr/>

Εικόνα 1 Πανοραμική λήψη της Ι.Μ Παντοκράτορα με τη θέση του νεκροταφείου(κόκκινο βέλος), πριν την πραγματοποίηση της ολίσθησης, <http://agioros.tripod.com/> και δίπλα η σημερινή εικόνα στην ίδια θέση, <http://www.newsit.gr/>

Οι συνεχείς ολισθήσεις διαμόρφωσαν το σημερινό τοπίο το οποίο εξακολουθεί να είναι αρκετά απότομο και να προκαλεί αστοχίες.

Δεδομένα για αυτήν την μελέτη αποτέλεσαν οι μετρήσεις του προσανατολισμού των πρανών και οι μετρήσεις των τεκτονικών δομών σε κάθε πρανές που συγκεντρώθηκαν στα πλαίσια σχετικής γεωτεχνικής μελέτης που εκπονήθηκε για λογαριασμό της Ι. Μονής από την "Triger, Γεωλόγοι-Σύμβουλοι". Στα πλαίσια της ίδιας μελέτης έγιναν δοκιμές σημειακής φόρτισης (point load test) στους σχηματισμούς και καταγραφή κατά τόπους των μηχανικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών της βραχόμαζας. Τέλος χρησιμοποιήθηκαν εικόνες σάρωσης από την

συσκευή LIDAR στις οποίες έγινε η κατάλληλη επεξεργασία και εφαρμογή μιας πρότυπης μεθοδολογίας εντοπισμού και διάκρισης τεκτονικών στοιχείων της βραχόμαζας.

1.3 Μεθοδολογία έρευνας

Αρχικά μέσω της επιτόπιας έρευνας έγινε καταγραφή της γενικότερης γεωμορφολογίας της περιοχής, ο προσανατολισμός των πρηνών, αλλά και της γεωλογίας αυτής, εξετάστηκαν οι σχηματισμοί οι οποίοι εμφανίζονται και τα τεκτονικά τους στοιχεία καθώς και στοιχεία της δομής τους όπως στάδιο αποσάθρωσης, σχιστότητα κ.ο.κ. Στη συνέχεια σαρώθηκαν επιλεγμένες θέσεις των πρηνών με την συσκευή LIDAR.

Προσδιορίστηκαν τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας και των ασυνεχειών και κατασκευάστηκαν τεκτονικά διαγράμματα με τα στοιχεία υπαίθρου και ξεχωριστά με τα δεδομένα της συσκευής LIDAR για δύο θέσεις σε αυτά τα πρηνή. Έγινε κινηματική ανάλυση για περαιτέρω διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας και της ευστάθειας των πρηνών.

Τέλος προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης των αστοχιών και δίνονται συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της διερεύνησης των μηχανισμών αστοχίας με βάση δεδομένα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας LIDAR.

2. Το φαινόμενο των κατολισθήσεων

Κατολίσθηση είναι το φυσικό φαινόμενο κατά το οποίο εδαφικές ή βραχώδεις μάζες κινούνται προς χαμηλότερα ύστερα από διατάραξη της ισορροπίας τους λόγω εσωτερικών ή εξωτερικών μεταβολών. Το φαινόμενο αυτό έχει τις περισσότερες φορές αρκετά καταστροφικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν αφορά μεγάλους όγκους υλικού.

Από κινηματική άποψη στο φαινόμενο επιδρούν η κατακόρυφη συνιστώσα (ορθή τάση) και ταυτόχρονα η οριζόντια (διατμητική τάση) η οποία συνήθως είναι μεγαλύτερη της διατμητικής αντοχής του εδάφους ή της ασυνέχειας μιας βραχόμαζας.

Οι κατολισθήσεις διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το υπό εξέταση κριτήριο. Έτσι μία κατολίσθηση ανάλογα:

- με το στάδιο δράσης μπορεί να είναι ενεργή, απενεργοποιημένη, αδρανής, ανενεργή, αρχαία ή απολιθωμένη
- με το είδος της κίνησης μπορεί να είναι πτώση(fall), ανατροπή(topple), ολίσθηση(slide), εξάπλωση(spread) και ροή(flow)
- με την ταχύτητα κίνησης μπορεί να είναι εξαιρετικά γρήγορη, πολύ γρήγορη, γρήγορη, μέτρια, αργή, πολύ αργή, εξαιρετικά αργή (Varnes,1978)

Γενικότερα έχουν προταθεί ταξινομήσεις των κατολισθήσεων μιας και κρίθηκε από πολύ νωρίς ότι ήταν σκόπιμο να ερευνηθεί ο μηχανισμός δράσης τους προκειμένου να αντιμετωπισθούν οι συνέπειες του. Κάθε ταξινόμηση δίνει μεγαλύτερη σημασία σε κάποιον ή κάποιους παράγοντες και έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Παρακάτω αναφέρονται ενδεικτικά ορισμένες από τις πρώτες ταξινομήσεις αλλά και μεταγενέστερες.

1. Ταξινόμηση κατά Heim(1885)

Η παλαιότερη μιας και έχει προταθεί από το 1885 και περιλαμβάνει

- Κατολισθήσεις λεπτής φέτας
- Κατολισθήσεις με αποκοπή
- Κατολισθήσεις-ολισθήσεις κατά τη διεύθυνση της στρώσης
- Κατολισθήσεις με περιστροφή
- Καταπτώσεις

καθώς και σύνθετους τύπους με ένα συνδυασμό συνδυασμό των απλών.

2. Ταξινόμηση κατά Penta(1954)

- Κατολισθήσεις γαιών, βραχωδών πετρωμάτων και κλαστικών υλικών
- Κατακρημνίσεις επιφανειακές και μεγάλων μαζών
- Καταρρεύσεις
- Καθιζήσεις
- Μικτές και πολύπλοκοι τύποι κατολισθήσεων

3. Ταξινόμηση κατά Desio(1961)

- Κατολισθήσεις με κατάρρευση
- Κατολισθήσεις με διάρρευση
- Κατολισθήσεις με ολίσθηση
- Κατολισθήσεις με θραύση
- Κατολισθήσεις με κατακρήμνιση
- Κατολισθήσεις πολύπλοκες

4. Ταξινόμηση κατά Zaruba - Mencl(1967, 1970)

Οι Zaruba - Mencl διακρίνουν τύπους κατολισθήσεων ανάλογα με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά του σχηματισμού. Έτσι διακρίνονται:

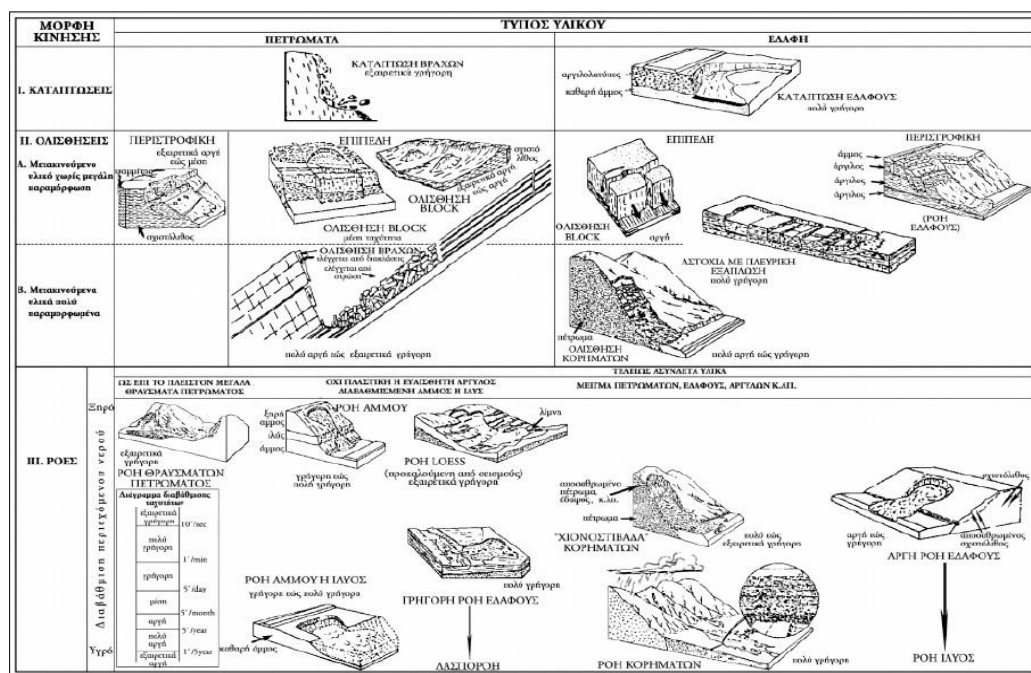
- Μετακινήσεις αργιλικών αποθέσεων
 - Ερπυσμός κορημάτων και κάμψεις κεφαλών στρωμάτων
 - Ολίσθηση του επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης
 - Ροές γαιών
 - Ροές κορημάτων
- Μετακινήσεις σε αργιλικά πετρώματα
 - Ολίσθηση κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης
 - Ολίσθηση κατά μήκος σύνθετων επιφανειών
 - Μετακίνηση σε πλαστικά πετρώματα
- Ολισθήσεις συμπαγών πετρωμάτων
 - Ολίσθηση κατά μήκος υφιστάμενης ασυνέχειας
 - Ολίσθηση βαρύτητας

- Πτώση βράχων
- Ειδικές περιπτώσεις μετακινήσεων
 - Εδαφική ροή
 - Ροή αργίλων
 - Ημι-υγρή ολίσθηση

5. Ταξινόμηση κατά Varnes(1978)

Θεωρείται μία από τις πληρέστερες μιας και λαμβάνεται υπόψη το είδος της κίνησης, το υλικό, η μορφή της κίνησης . Διακρίνονται διάφορα είδη:

- Καταπτώσεις
- Ολισθήσεις
- Ροές

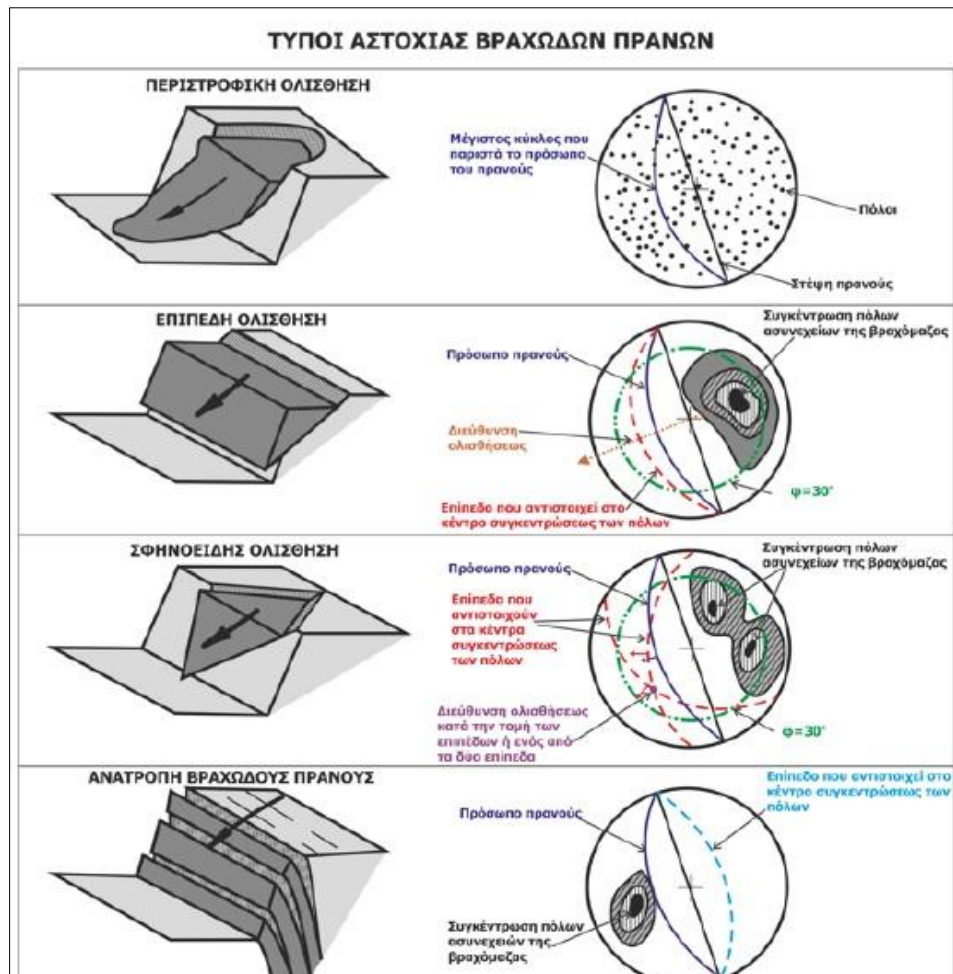


Σχήμα 1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων κατά Varnes(1978)

6. Ταξινόμηση κατά Hoek - Bray(1981)

Η ταξινόμηση κατά Hoek - Bray αφορά κατολισθήσεις αποκλειστικά σε βραχώδεις μάζες, οι οποίες διακρίνονται σε:

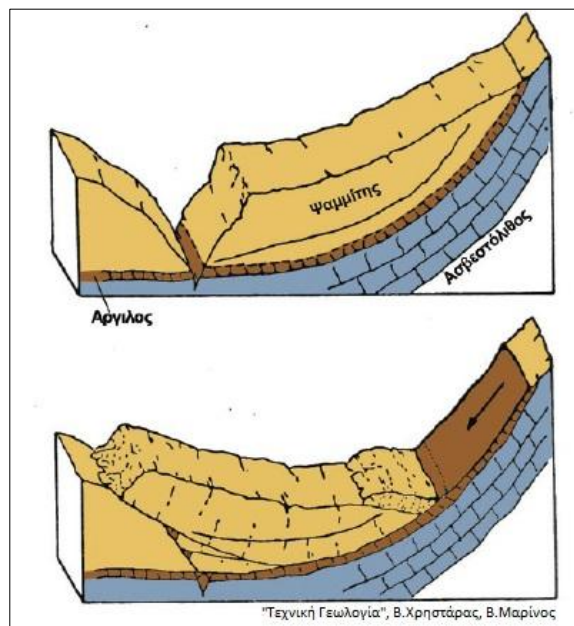
- Απλές θραύσεις
 - Επίπεδη
 - Σφηνοειδής
 - Κυκλική
 - Ανατροπή



Σχήμα 2 Κύριοι τύποι αστοχίας πρανών και στερεοδιαγράμματα τεκτονικών δομών (Τροποποιημένο κατά Muller(1963), Hoek & Bray(1981))

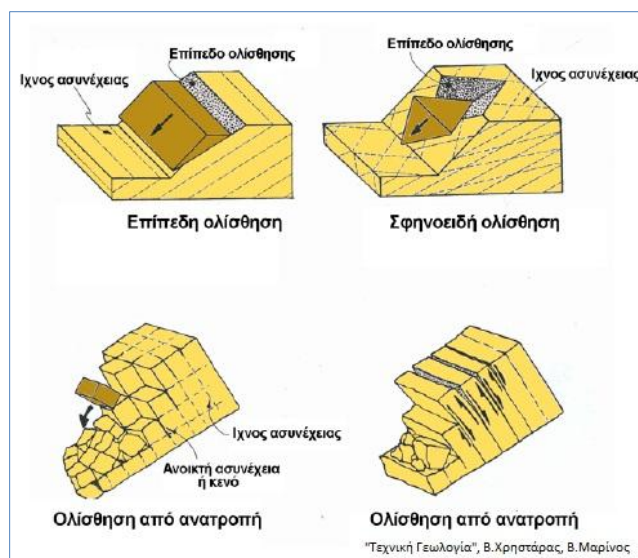
- Σύνθετες θραύσεις
 - Θραύσεις σε δύο επιφάνειες
 - Θραύσεις από διόγκωση
 - Ολίσθηση και ανατροπή
 - Θραύσεις από επαγωγικές τάσεις
 - Προοδευτική θράυση
- Εκτόξευση βράχων

Όπως θα αναφερθεί και στα επόμενα κεφάλαια στην περιοχή μελέτης υπάρχουν κατά κύριο λόγο **βραχώδεις σχηματισμοί** και για αυτό και επιλέχθηκε ως πληρέστερη να χρησιμοποιηθεί η κατάταξη Hoek - Bray(1981) .



Σχήμα 3 Ισότροπη συμπεριφορά βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος

Με βάση τα παραπάνω οι βραχώδεις σχηματισμοί μπορεί να συμπεριφερθούν ισότροπα, προκαλώντας μια περιστροφική ολίσθηση, σχήμα 3 και εικόνα 1 είτε ανισότροπα με συνέπεια μια **επίπεδη/σφηνοειδή ολίσθηση** ή μια **ανατροπή**, σχήμα 4 και εικόνες 2,3,4.



Σχήμα 4 Ανισότροπη συμπεριφορά βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος



Εικόνα 2 Περιτροφική ολίσθηση βράχου, από "Τεχνική Γεωλογία" Β.Χρηστάρας, Β.Μαρίνος



Εικόνα 3 Επίπεδη ολίσθηση, φωτογραφία του Roozbeh Geraili Mikola



Εικόνα 4 Σφηνοειδής ολίσθηση, φωτογραφία του Omen Necrofis



Εικόνα 5 Αστοχία ανατροπής, από παρουσίαση του Riccardo Fanti στο <http://www.geologimarche.it/>

Περιστροφική ολίσθηση : Η ολίσθηση αυτή πραγματοποιείται μέσα από τη συνολική μάζα της βραχώμαζας, θραύοντας τόσο τις ασυνέχειες όσο και το άρρηκτο πέτρωμα. Συμβαίνει στις περιπτώσεις έντονα κερματισμένης βραχώμαζας. Στην περίπτωση αυτή η βραχώμαζα συμπεριφέρεται σαν έδαφος, ισότροπα.

Επίπεδη ολίσθηση: Συμμετέχει μία μόνο επιφάνεια ασυνέχειας η οποία προβάλλει στο μέτωπο του πρηνούς και η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος αυτής.

Σφηνοειδής ολίσθηση: Η ολίσθηση τύπου σφήνας πραγματοποιείται κατά μήκος της ακμής του διέδρου που σχηματίζεται από την τομή δύο ασυνεχειών η οποία έχει κλίση προς το μέτωπο του πρηνούς.

Ανατροπή: Αυτή η αστοχία περιλαμβάνει πλάκες ή κολώνες βράχου και συμβαίνει όταν μία ασυνέχεια βυθίζεται αντίθετα με τη φορά του πρηνούς και με μεγάλη κλίση. Λόγω βαρύτητας, κολώνες κάμπτονται, αποκολλούνται και πέφτουν.

Για την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου συνήθως απαιτείται η συνύπαρξη πολλών παραγόντων τόσο γεωλογικών, γεωτεχνικών, μορφολογικών, περιβαλλοντολογικών όσο και ανθρώπινων. Η παρουσία αυτών των παραγόντων δρα καταλυτικά μειώνοντας στην ουσία την ευστάθεια των μαζών. Οι παράγοντες αυτοί πιο αναλυτικά μπορεί να είναι:

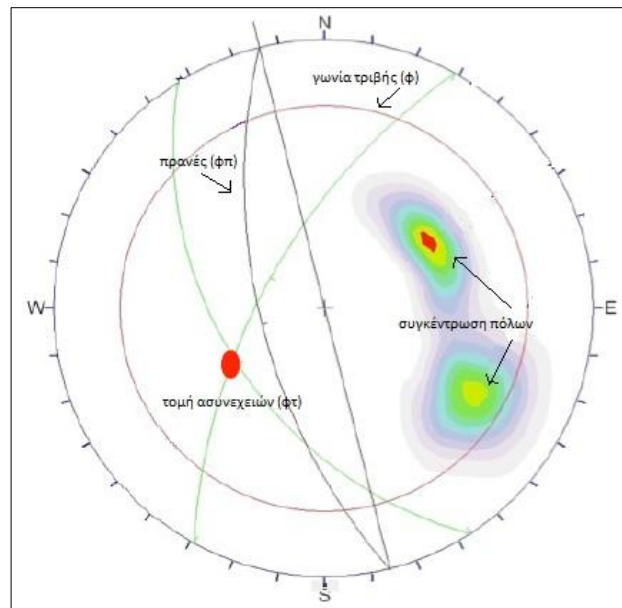
- Ποτάμια ή χείμαρροι: Η διαβρωτική δράση του νερού προκαλεί υποσκαφές και μετακινήσεις ασταθών μαζών.
- Κύματα ή παλίρροιες: Υποσκαφές των ακτών και κατάπτωση των υπερκείμενων όγκων
- Παγετώνες: Υποσκαφές λόγω μετακίνησης αυτών
- Άνεμος: Υποσκαφές σε απότομα πρηνή με χαλαρούς σχηματισμούς να υπόκεινται συνεκτικούς με αποτέλεσμα να επέρχεται σταδιακά απώλεια στήριξης των υπερκείμενων μαζών

- Σημαντική κατακόρυφη συνιστώσα κίνησης: Σε μεγάλες ρηξιγενείς ζώνες όπου αφαιρείται υποστήριξη λόγω ανύψωσης ενός τεμάχους σε σχέση με το εκατέρωθεν
- Λατομικές ή μεταλλευτικές δραστηριότητες: Υποσκαφές που δημιουργούνται με αφαίρεση υλικού
- Κατασκευή τεχνικών έργων: Υποσκαφές και αφαίρεση υλικού για τη δημιουργία οδικών αρτηριών, θεμελιώσεων κτλ
- Κατεισδύον νερό: Διόγκωση λόγω εμποτισμού των πετρωμάτων
- Νερό σε ρωγμές: Η παρουσία του εκεί έχει σαν συνέπεια την εξάσκηση πλευρικών δυνάμεων στα τοιχώματα όταν αυτό ψυχθεί και αυξηθεί ο όγκος του
- Επιπλέον βάρος: Πρόσθετη φόρτιση λόγω μεταφοράς και απόθεσης υλικών στην περιοχή, ανάπτυξης βλάστησης, αύξηση της μάζας του νερού στους πόρους των πετρωμάτων, κατασκευή κτηρίων, απόρριψη αδρανών υλικών ή και σκουπιδιών, δημιουργία επιχωμάτων
- Σεισμός: Αύξηση της διατμητικής τάσης λόγω της επιτάχυνσης του
- Δονήσεις: Η ανθρώπινη δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει δονήσεις λόγω εκρήξεων σε λατομεία ή κυκλοφορίας βαρέων οχημάτων και να αυξηθεί και πάλι η διατμητική τάση
- Ηφαίστειο: Αύξηση των διατμητικών τάσεων λόγω καταβύθισης της καλδέρας ή επιπρόσθετη φόρτιση νέων υλικών όπως λάβα, τέφρα κ.α
- Μορφολογία: Αύξηση της κλίσης του πρανούς επιφέρει αύξηση των διατμητικών τάσεων και μετακίνηση μαζών. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω ενδογενών διεργασιών, λόγω διάβρωσης, λόγω ρήγματος, μετά από εκσκαφή για τη δημιουργία κάποιου τεχνικού έργου

Από την επιτόπια έρευνα που πραγματοποιήθηκε διαπιστώθηκε παρ' όλα αυτά ότι η βραχώμαζα συμπεριφέρεται **ανισότροπα** και έτσι θα δοθεί μια λεπτομερέστερη ανάλυση των μηχανισμών αυτών.

Ανισότροπα συμπεριφέρεται μια βραχώμαζα όταν λαμβάνει χώρα ολίσθηση επάνω σε μία ή περισσότερες ασυνέχειες της (επίπεδη, σφηνοειδής, ανατροπή). Η θραύση και η ολίσθηση ευνοούνται από τον δυσμενή προσανατολισμό των ασυνεχειών σε σχέση με αυτόν του πρανούς.

Η διαπίστωση ευνοϊκών προσανατολισμών ή όχι προκύπτει με τη σύνταξη στερεοδιαγραμμάτων στο δίκτυο Schmidt όπου γίνεται αναπαράσταση των ασυνεχειών ενός πρανούς, της κλίσης αυτού και της γωνίας τριβής των ασυνεχειών που εμπλέκονται στην ολίσθηση καθώς και κινηματική ανάλυση για τον εντοπισμό του μηχανισμού αστοχίας, σχήμα 5.



Σχήμα 5 Στερεοδιάγραμμα Schmidt μιας σφηνοειδούς ολίσθησης

Για τη συλλογή των δεδομένων των ασυνεχειών κατά την υπαίθρια έρευνα καταγράφονται:

- Η ταυτότητα των ασυνεχειών(στρώση, ρήγμα, διάκλαση)
- Η διεύθυνση και η γωνία κλίσης τους
- Το μήκος
- Το άνοιγμα
- Η αποσάθρωση
- Η μέση απόσταση της κάθε οικογένειας
- Η εμμονή, δηλαδή η συνέχεια τους στο χώρο
- Η τραχύτητα
- Η παρουσία υλικού πλήρωσης
- Η παρουσία υγρασίας ή νερού

Οι βασικές μηχανικές παράμετροι που καθορίζουν την κινηματική συμπεριφορά των διακλάσεων είναι η συνοχή τους (ή αυτή του υλικού πλήρωσης) και η γωνία τριβής τους. Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών προσδιορίζεται με τη γενική εξίσωση Mohr-Coulomb κατά την οποία

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$$

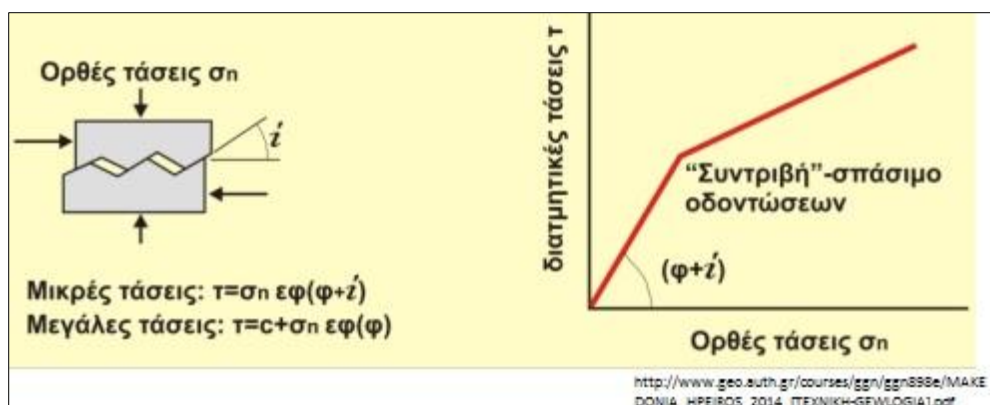
όπου τ η διατμητική τάση κατά την αστοχία, c η συνοχή, σ η ορθή τάση κατά την αστοχία και φ η γωνία τριβής.

Η βασική γωνία τριβής ϕ_b είναι σημαντική στην κατανόηση της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών. Θεωρούμε βασική γωνία τριβής ϕ_b αυτήν που υπολογίζεται για επίπεδες βραχώδεις επιφάνειες που έχουν τεχνητά κοπεί.

Ο Patton(1966) πρότεινε τη σχέση

$$\tau = \sigma \cdot \tan(\phi_b + i)$$

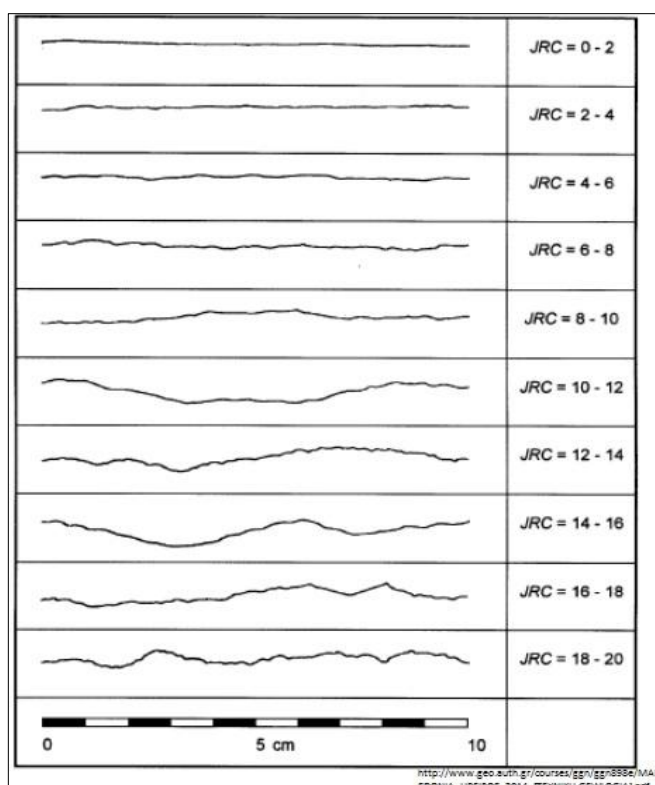
όπου ϕ_b η βασική γωνία τριβής και i η γωνία της οδόντωσης, σχήμα 6.



Σχήμα 6 Σχέση γωνίας τριβής και οδόντωσης (Patton), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο <http://www.geo.auth.gr/>

Για μεγάλες τιμές ορθής τάσης οι οδοντώσεις των ασυνεχειών κατά τη διάτμηση θραύονται και η αντοχή των επιφανειών περιγράφεται καλύτερα από την εμπειρική σχέση που προτάθηκε από τον Barton (1973)

$$\tau = \sigma' \cdot \tan \left(JRC \cdot \log \frac{JCS}{\sigma'} + \phi_b \right)$$

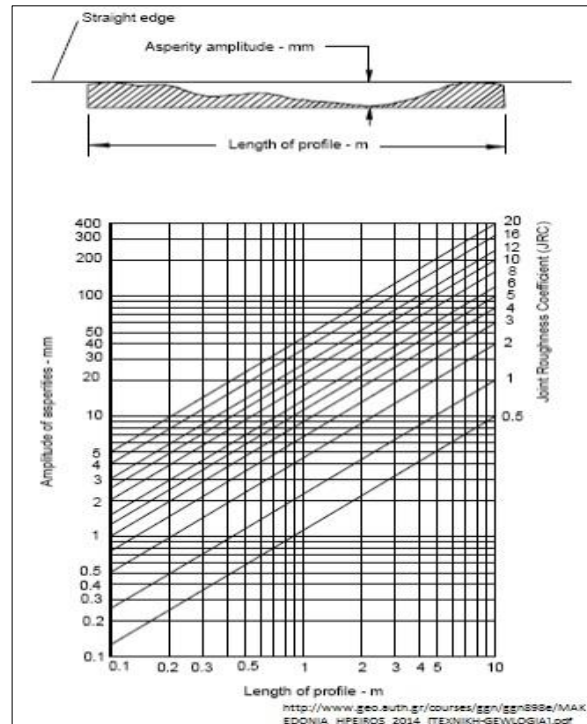


όπου τ η μέγιστη διατμητική αντοχή, σ' η ενεργή ορθή τάση, JRC ο συντελεστής τραχύτητας ασυνεχειών, JCS ο συντελεστής συμπίεστικής αντοχής ασυνεχειών και ϕ_b η βασική γωνία τριβής.

Για την επί τόπου μέτρηση της τιμής JRC των ασυνεχειών συγκρίνουμε την τραχύτητα της επιφάνειας της ασυνέχειας με τυπικό προφίλ όπως προτείνουν οι Barton and Choubey(1977), σχήμα 7.

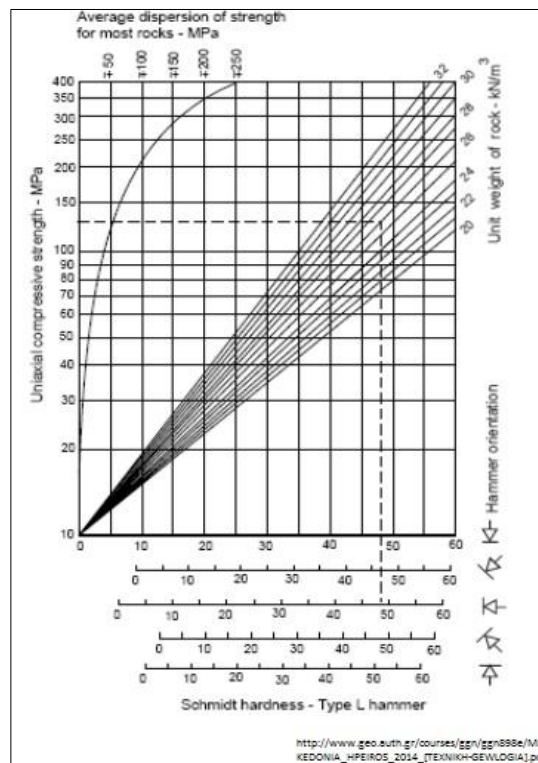
Σχήμα 7 Προφίλ τραχύτητας επιφανειών και αντίστοιχες τιμές συντελεστή JRC (Barton και Choubey, 1977), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο <http://www.geo.auth.gr/>

Στην περίπτωση που θέλουμε να μετρήσουμε το JRC μιας επιφάνειας μεγάλου μήκους τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το νομόγραμμα του Barton (1982) στο οποίο υπεισέρχεται το συνολικό μήκος της επιφάνειας και η απόσταση του βαθύτερου σημείου από τη νοητή οριζόντια που διέρχεται από το υψηλότερο σημείο της επιφάνειας, σχήμα 8.



Σχήμα 8 Νομόγραμμα υπολογισμού του συντελεστή JRC από το πλάτος (εύρος) της τραχύτητας χρησιμοποιώντας ευθύ άκρο κατά Barton(1982), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο <http://www.geo.auth.gr/>

Για τον επί τόπου υπολογισμό της τιμής της JCS κατά μήκος μιας επιφάνειας ασυνέχειας χρησιμοποιείται συνήθως η σφύρα Schmidt όπως προτάθηκε από τους Deere και Miller(1966) και υπολογίζεται μέσω του αριθμού των αναπηδήσεων της στην επιφάνεια αυτή, σχήμα 9.



Σχήμα 9 Εκτίμησης του JRC με βάση τη σκληρότητα Schmidt κατά Deere και Miller(1966), από ηλεκτρονικά μαθήματα "Τεχνική Γεωλογία" στο <http://www.geo.auth.gr/>

Η ποσοτικοποίηση της ευστάθειας ή της αστοχίας γίνεται μέσω του προσδιορισμού του συντελεστή ασφαλείας. Αυτός ορίζεται γενικά ως ο λόγος των δυνάμεων που αντιτίθεται στην αστοχία ή ολίσθηση προς τις δυνάμεις που την προκαλούν, δηλαδή

$$F = \frac{\text{δυνάμεις συγκράτησης}}{\text{δυνάμεις ολίσθησης}}$$

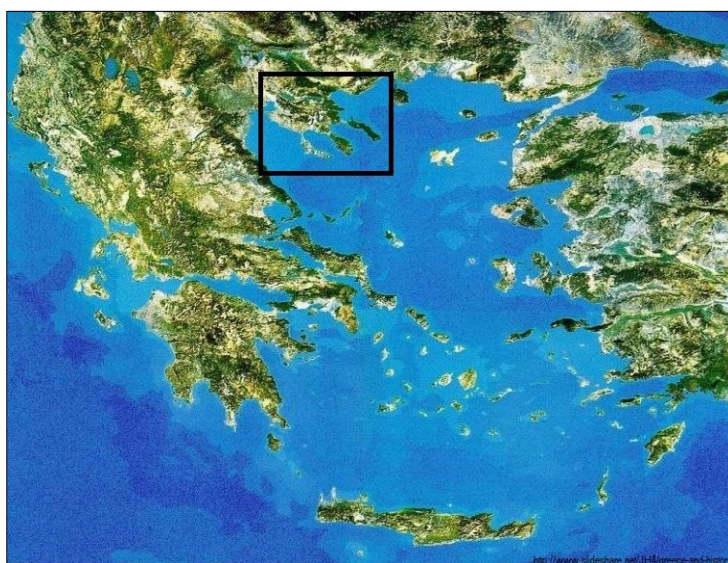
Έτσι όσο μεγαλύτερες τιμές από τη μονάδα παίρνει ο συντελεστής αυτός τόσο μεγαλύτερη η ευστάθεια. Αντίθετα τιμές μικρότερες της μονάδας δείχνουν δυνητική αστοχία.

Οι δυνάμεις συγκράτησης είναι το βάρος(κάθετη συνιστώσα), η τριβή και η συνοχή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης ενώ οι δυνάμεις που ωθούν σε ολίσθηση είναι το βάρος(παράλληλη συνιστώσα), η πίεση του νερού ανάμεσα στις ασυνέχειες, η δύναμη από πιθανό σεισμό και κάποιο εξωτερικό φορτίο.

3. Γεωμορφολογία - γεωλογία της ευρύτερης περιοχής

3.1. Γεωμορφολογία

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης οριοθετείται στη χερσόνησο της Χαλκιδικής, η οποία γεωγραφικά αποτελεί την απόληξη της Κεντρικής Μακεδονίας στο Αιγαίο πέλαγος. Γεωγραφικώς η Χαλκιδική διαχωρίζεται από την υπόλοιπη Μακεδονία από μια νοητή γραμμή που εκτείνεται από το ακρωτήριο του Καραμπουρνού, διαπερνά το Χορτιάτη, τους λόφους νότια του Λαγκαδά και της λίμνης Βόλβης και καταλήγει στην περιοχή νότια του περάσματος της Ρεντίνας. Περιβρέχεται από το Αιγαίο πέλαγος και μόνο ΒΒΔ είναι ενωμένη με τον κορμό της Μακεδονίας διαμέσου της περιοχής της Θεσσαλονίκης, χάρτης 1. Ολόκληρος ο Νομός καλύπτει μια περιοχή 2.886 τ. χλμ.



Χάρτης 1 Γεωφυσικός χάρτης Ελλάδος. Στο μαύρο πλαίσιο σημειώνεται η γεωγραφική θέση της χερσονήσου της Χαλκιδικής, <http://www.slideshare.net/JH4/greece-and-history?related=1>

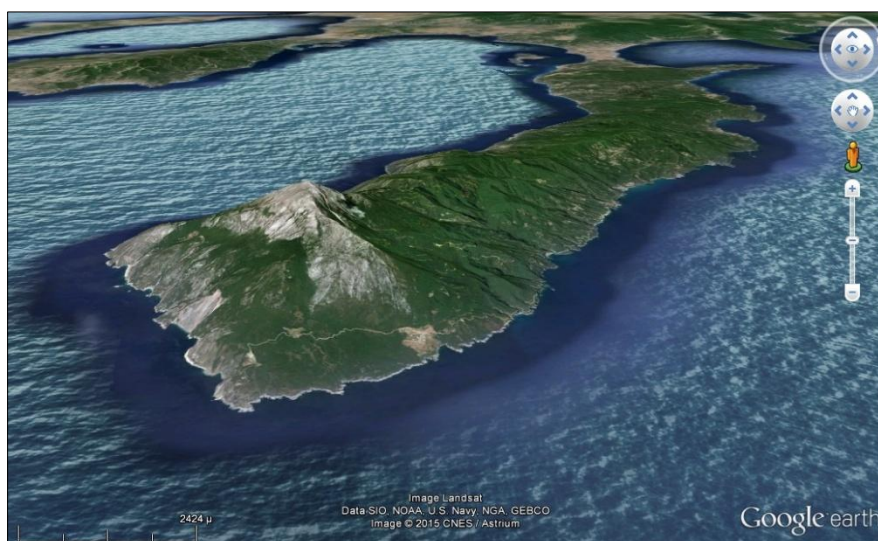
Η Χαλκιδική στο Νότιο τμήμα της αποτελείται και η ίδια από τρεις μικρότερες επιμήκεις χερσονήσους οι οποίες δίνουν το χαρακτηριστικό σχήμα σε αυτήν ("πόδια Χαλκιδικής"). Από Δυτικά προς Ανατολικά αυτές είναι: η χερσόνησος της Κασσάνδρας, η χερσόνησος της Σιθωνίας και η χερσόνησος του Άθω. Αυτές οι τρεις χερσονήσοι καθιστούν την Χαλκιδική τον ηπειρωτικό Νομό με το μεγαλύτερο μήκος ακτογραμμών (>500 χλμ.)

Διοικητικά η Χαλκιδική χωρίζεται στον Νομό Χαλκιδικής, με πληθυσμό 80.000 κατοίκων και στην αυτόνομη μοναστική πολιτεία του Αγίου Όρους, χερσόνησος του Άθω. Πρωτεύουσα του Νομού Χαλκιδικής είναι ο Πολύγυρος, ο οποίος έχει περίπου 7.000 κατοίκους, ενώ διοικητικό κέντρο του Αγίου Όρους είναι οι Καρυές.

Γεωμορφολογικά η Χαλκιδική παρουσιάζει μικτή εικόνα. Στα Δυτικά είναι κυρίως πεδινή, ενώ όσο οδεύει κανείς προς τα Ανατολικά το τοπίο γίνεται όλο και πιο ορεινό

με κυρίαρχα τα όρη του Χορτιάτη (1.201 μ.), του Χολομώντα (1.165 μ.) και του Άθω (2.033 μ.).

Σε μια πιο στενή προσέγγιση, η περιοχή μελέτης αφορά την ανατολικότερη χερσόνησο της Χαλκιδικής, τη χερσόνησο του Άθω η οποία εισέρχεται σε βάθος 47.750 μ. στο Αιγαίο πέλαγος έως το ακρωτήριο Άκραθως και χωρίζεται με φυσικό σύνορο από τον Νομό Χαλκιδικής με τη ράχη του βουνού Μέγας Ζυγός, με ψηλότερη κορυφή τη Μεγάλη Βίγλα (510 μ). Έχει συνολική έκταση 385 τ. χλμ, μήκος 50 χλμ και πλάτος από 5,5 έως 9 χλμ. Έχει πάρει το όνομα της από το ομώνυμο όρος που υψώνεται στο Νότιο τμήμα της και έχει σχήμα πυραμίδας, με μια θεόρατη βελοειδή κορυφή και μέγιστο υψόμετρο τα 2.033 μ. Στα ΝΑ βρέχεται από τον κόλπο Ορφανού (Στρυμονικό) και Δυτικά από τον κόλπο Αγίου Όρους (Σιγγιτικό), εικόνα 6.



Εικόνα 6 Η χερσόνησος του Άθω από δορυφόρο από Google Earth

Έχει έντονο γεωγραφικό ανάγλυφο. Οι πολλές κρημνώδεις ακτές, διαμόρφωσαν πολυάριθμα ακρωτήρια, όπως οι Πίννες (Νυμφαίο), Φονιάς, Σμέρνα, Χαλκιάς, Αράπης κ.ά.. Αντιστοίχως διαμορφώθηκαν μικροί όρμοι, όπως αυτός της Δάφνης, της Λαύρας και του Βατοπεδίου. Η μορφολογία του εδάφους είναι ορεινή και σε πολλές περιπτώσεις δυσπρόσιτη λόγω και της έντονης δασοκάλυψης. Υπάρχει έλλειψη ποταμών λόγω του ορεινού χαρακτήρα του τοπίου. Αντίθετα οι χειμάρροι είναι αρκετοί και τα νερά τους προέρχονται από τις βροχές και τα χιόνια που λιώνουν. Οι ακτές, ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα, είναι σε πολλά σημεία βραχώδεις, απόκρημνες, με ισχυρή πτύχωση και σχηματίζουν μικρούς όρμους και φαράγγια, γεγονός που εξηγεί την απουσία φυσικών λιμανιών και την ύπαρξη ακρωτηρίων όπως αυτά των Άκραθως (ή Αγίου Όρους), Πίννες (Νυμφαίο), Βατοπεδίου, Σταυρονικήτα.

Το κλίμα της περιοχής της χερσονήσου του Άθω επηρεάζεται από τους ΒΑ ανέμους, οι οποίοι κυριαρχούν στην περιοχή, καθώς και από τους ανοδικούς και καθοδικούς ανέμους που δημιουργούνται λόγω της ύπαρξης ενός τόσο μεγάλου ορεινού όγκου. Είναι γενικά μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες στις χαμηλότερες ζώνες προς τη θάλασσα και παγερούς στις ψηλότερες, ενώ τα καλοκαίρια είναι σχετικά ξηρά. Το

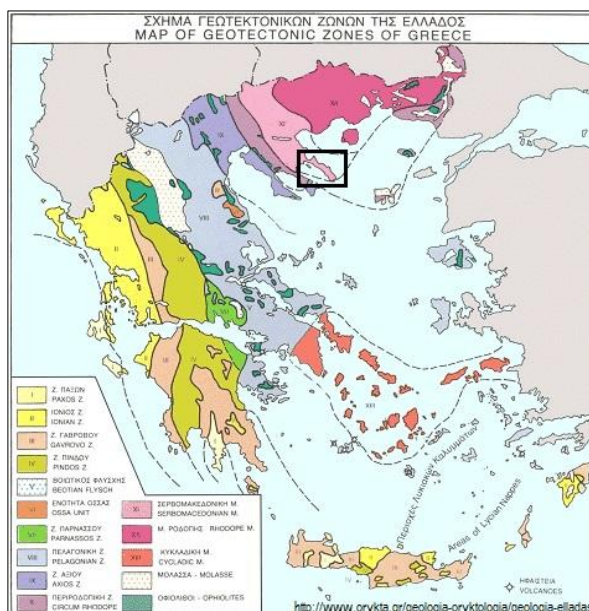
ύψος των βροχοπτώσεων κυμαίνεται από 600 μέχρι 800 χιλιοστόμετρα, αλλά στην υψηλότερη κορυφή της, τον Άθω, ξεπερνά τα 1.000 χιλιοστόμετρα.

3.2 Γεωτεκτονική τοποθέτηση - στρωματογραφία

Από γεωτεκτονικής πλευράς η περιοχή της χερσονήσου του Άθω ανήκει κυρίως στην Σερβομακεδονική μάζα, ενώ δευτερευόντως στην Περιφοδοπική ζώνη σε ένα μικρό τμήμα στο νότιο άκρο της, χάρτης 2.

Η Σερβομακεδονική αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα πιθανόν της παλαιάς Ευρασιατικής πλάκας. Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής διαιρείται σε δύο μεγάλες σειρές πετρωμάτων: την κατώτερη σειρά των Κερδυλίων και την ανώτερη σειρά του Βερτίσκου. Μεταξύ των δύο υπάρχει τεκτονική επαφή.

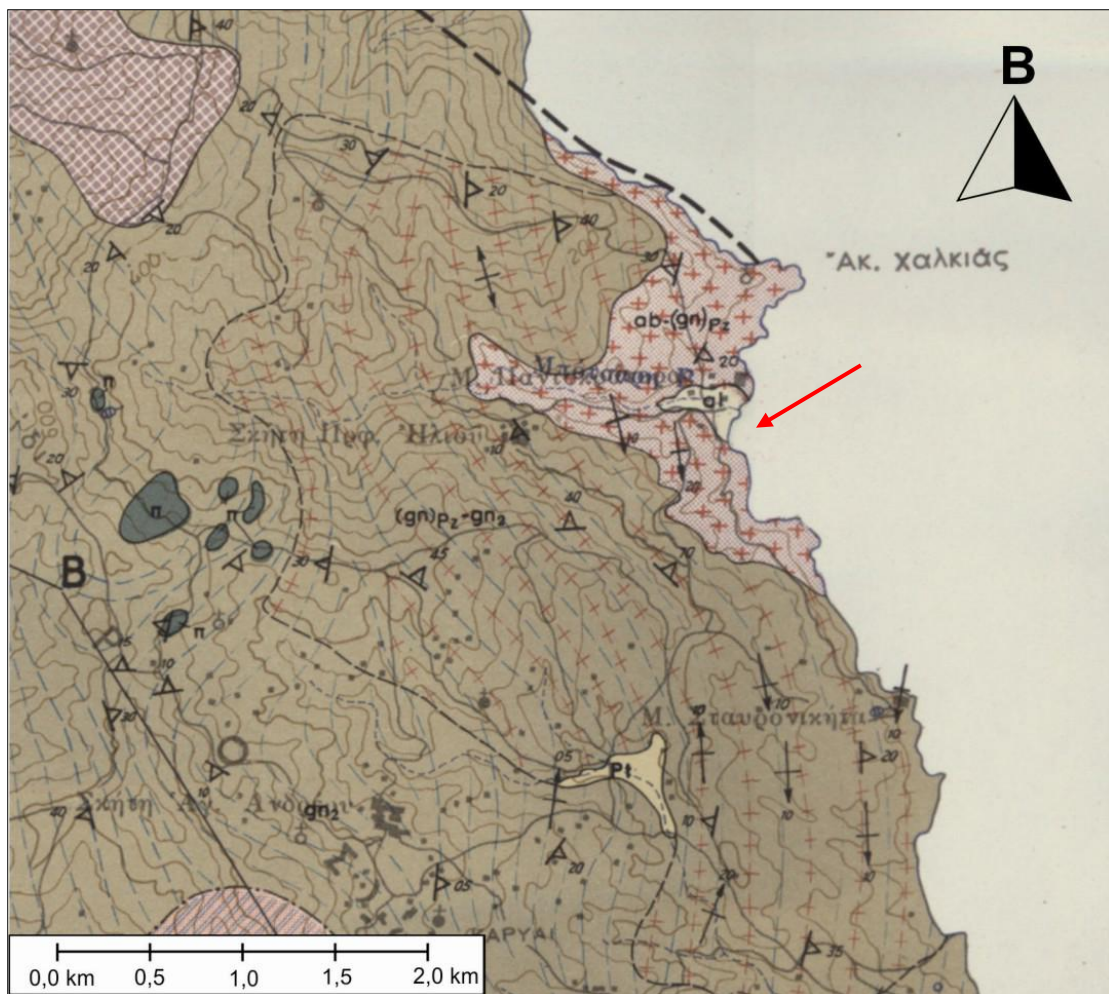
Η χερσόνησος του Άθω ανήκει στη σειρά του Βερτίσκου. Αυτή αποτελεί το δυτικό τμήμα της Σερβομακεδονικής μάζας, έχει διεύθυνση ΒΒΔ/ΝΝΑ, φτάνει μέχρι τα σύνορα της Ελλάδας με τη Βουλγαρία και τα Σκόπια και επεκτείνεται και στο έδαφος των δύο



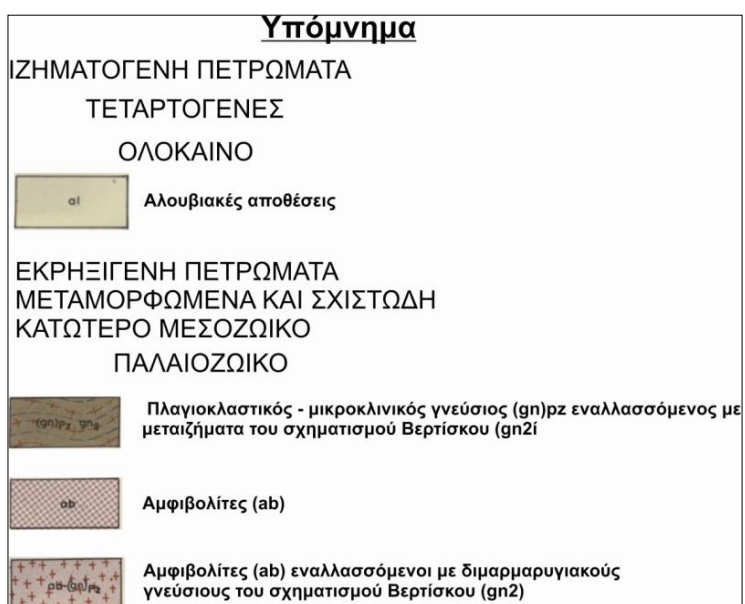
Χάρτης 2 Γεωτεκτονικές ζώνες Ελλάδος. Σε πλαίσιο σημειώνεται η περιοχή μελέτης, <http://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas>

αυτών χωρών. Σύμφωνα με τον Δ. Μουντράκη(1985) "συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ιδίως ορίζοντές της επικρατούν οι μεταγάββροι – μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά στρώματα. Τα πετρώματα της σειράς του Βερτίσκου μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες αλμανδικής-αμφιβολιτικής φάσης". Η συνέχεια των πετρωμάτων διακόπτεται από μεγάλους πυριγενείς όγκους. Κατά περιοχές, επάνω στα πετρώματα της Σερβομακεδονικής τοποθετούνται μετα-αλπικά ιζήματα.

Αυτό αποτυπώνεται και στο απόσπασμα του Γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Χερσόνησος Άθω, 1:50.000, χάρτης 3.



Χάρτης 3 Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ, φύλλο Χερσόνησος Αθω, 1:50.000(Τροποποιημένο), με κόκκινο βέλος η περιοχή μελέτης

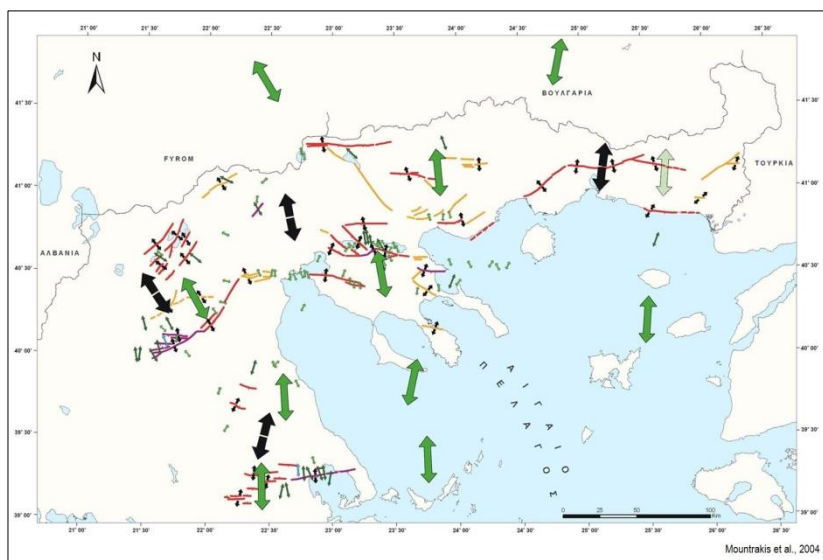


Οι χαρτογραφημένες περιοχές μας δίνουν δύο γρανιτικούς όγκους, τον γρανίτη Γρηγορίου και τον γρανοδιορίτη Χιλιανδαρίου. Ο γρανίτης Γρηγορίου έχει έκταση 20 τ.χλμ ενώ η τελευταίες ραδιοχρονολογήσεις έδειξαν ηλικία 50 εκ. χρόνων. Παλαιότεροι των γρανιτών συναντώνται οι γνεύσιοι, οι αμφιβολίτες και οι σχιστόλιθοι.

3.3 Τεκτονική

Η γεωτεκτονική ζώνη της Σερβομακεδονικής υπόκειται σε συνεχή τεκτονική δράση από το Παλαιozoικό, όπου συνέβη η πρώτη φάση, έως τέλος Κρητιδικού - αρχές Ολιγοκαίνου που έδρασε η τελευταία. Η νεοτεκτονική δράση στην περιοχή χαρακτηρίζεται από ρήγματα κανονικά, μεγάλης γωνίας κλίσης και αποτέλεσμα αυτής της είναι αρκετές ενδοηπειρωτικές διαρρήξεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από πολλά τεκτονικά κέρατα και τεκτονικές τάφρους στην περιοχή.

Τα μεγάλα ρήγματα που δεσπόζουν στην ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου της Χαλκιδικής παρουσιάζουν τρεις γενικές διευθύνσεις ανάπτυξης (Mountrakis, 2004, Pavlides & Kiliass 1987): ένα μεγάλο μέρος από αυτά προσανατολίζονται σε μία ΒΔ-ΝΑ ως ΒΒΔ-ΝΝΑ κατεύθυνση, ένα δεύτερο σύστημα έχει διεύθυνση περίπου Α-Δ ως ΔΒΔ-ΑΝΑ και ένα τρίτο σύστημα έχει μία ΒΑ-ΝΔ κατεύθυνση, ενώ μερικά ρήγματα τείνουν περίπου σε μία Β-Ν κατεύθυνση. Όπως φαίνεται και στον χάρτη 4 οι εφελκυστικές τάσεις έχουν γενική διεύθυνση Βορράς - Νότος και προκαλούν κανονικά ρήγματα, κυρίως Ανατολικής-Δυτικής διεύθυνσης.



Χάρτης 4 Διεύθυνση κύριων εφελκυστικών τάσεων στην Μακεδονία, Μουντράκης(2004), Παυλίδης & Κίλιας(1987)

Από τα κυριότερα ρήγματα της περιοχής είναι:

- το ρήγμα Στρατωνίου το οποίο είναι γενικής διεύθυνσης Α-Δ με μήκος 30 χλμ., εκ των οποίων τα 15 χλμ είναι στην ξηρά και αποτελεί το χαρτογραφικό όριο της σειράς Βερτίσκου με τη σειρά των Κερδυλίων,

- το ρήγμα Βαρβάρας που αποτελεί στην ουσία τη συνέχεια του προηγούμενου προς τα ΒΔ, παρουσιάζει όμως διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και έχει μήκος περίπου 6 χλμ. και
- το ρήγμα Γοματίου που είναι διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, 15,5 χλμ. περίπου μήκος και αριστερόστροφο

3.4 Υδρολογικό καθεστώς

Καθοριστικό λόγο στη διαμόρφωση του υδρολογικού καθεστώτος έπαιξε η λιθολογία και η τεκτονική της ευρύτερης περιοχής όπως αυτές περιγράφηκαν παραπάνω. Η επιφανειακή απορροή δεν είναι ιδιαίτερη και προέρχονται από τα λίγα νερά των χειμάρρων που προκύπτουν από τα νερά της βροχής και τα χιόνια που λιώνουν. Η τροφοδοσία αυτών είναι ανάλογη της εκάστοτε εποχής. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι γενικά δενδριτικής μορφής με γενική διεύθυνση Δ-Α και μήκος 3,5km περίπου, με κλάδους που φτάνουν μέχρι 3^{ης} τάξης ενώ το ρέμα που εκβάλλει στον όρμο Μορφωνού είναι 4^{ης} τάξης.

Η κατείσδυση δεν ευνοείται επίσης. Οι σχηματισμοί είναι πρακτικά αδιαπέρατοι. Οι μόνες υπόγειες εμφανίσεις νερού, οι οποίες τροφοδοτούν επιφανειακές πηγές με νερό όλο τον χρόνο, είναι σε δευτερογενώς υδατοπερατούς σχηματισμούς, λόγω τεκτονισμού ή αποσάθρωσης.

Με βάση τη λιθο-στρωματογραφία και την τεκτονική δομή των κυριότερων γεωλογικών σχηματισμών της ευρύτερης περιοχής μελέτης, σημειώνονται τα ακόλουθα γενικά σχόλια και παρατηρήσεις:

- Στις περιοχές όπου αναπτύσσονται οι πάσης φύσεως προσχωματικές αποθέσεις οι οποίες είναι κυρίως υδροπερατοί σχηματισμοί, δημιουργείται φρεάτιος ορίζοντας, μικρής όμως δυναμικότητας.
- Οι συγκεντρώσεις των κορημάτων και ο μανδύας αποσάθρωσης είναι γενικά ημιπερατοί έως τοπικά αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Σε αυτούς, κατά τη διάρκεια κυρίως του χειμώνα αναπτύσσονται ασθενείς φρεάτιοι ορίζοντες χωρίς υδρολογικό ενδιαφέρον, οι οποίοι επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθειά τους.

3.5 Σεισμικότητα

Στην περιοχή αυτή συναντώνται δυο σεισμικές ζώνες, η ζώνη που ακολουθεί τη Σερβομακεδονική μάζα και έχει διεύθυνση ΒΔ και η σεισμική ζώνη που ακολουθεί την Τάφρο του Βορείου Αιγαίου και έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Για το λόγο αυτό η σεισμικότητα στην περιοχή είναι σημαντική. Επιπλέον τα ρήγματα της περιοχής, Στρατωνίου και Γοματίου είναι δύο ενεργά ρήγματα.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι περισσότεροι σεισμοί είναι επιφανειακοί, δηλαδή δεν υπερβαίνουν τα 60 χλμ. και είναι μικρού μεγέθους. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη τα στοιχεία του οποίου πάρθηκαν από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο Αθηνών, τα τελευταία 50 χρόνια τα σεισμικά φαινόμενα ήταν κατά κύριο λόγο μεγέθους $M_L < 4$ ενώ μόνο τον Μάρτιο και τον Φεβρουάριο του 2012 σημειώθηκαν δύο σεισμοί μεγέθους 5,2 βαθμών.



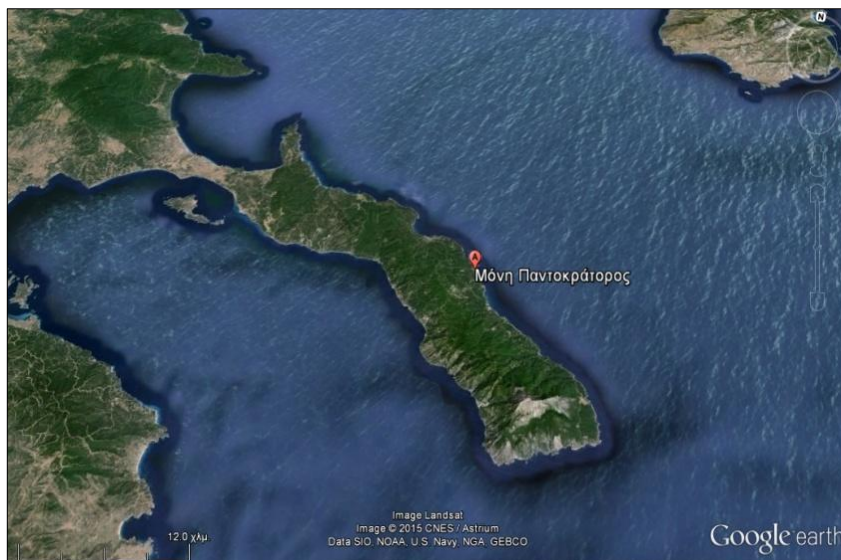
Χάρτης 5 Σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή μελέτης τα τελευταία 50 χρόνια,
<http://www.gein.noa.gr/el/seismikotita/xartes>

4. Γεωλογία της στενής περιοχής έρευνας

4.1 Γεωμορφολογικά στοιχεία

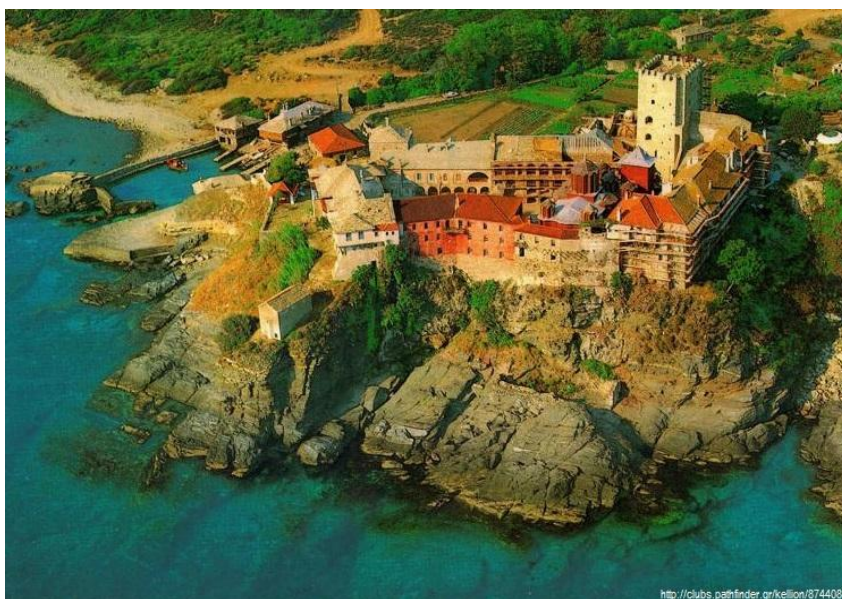
Η στενή περιοχή έρευνας εντοπίζεται στη θέση της Ιεράς Μονής Παντοκράτορα και πιο συγκεκριμένα στην παράκτια ζώνη αυτής. Περιμετρικά της χερσονήσου του Αγίου Όρους είναι κτισμένες γύρω στις 20 Μονές.

Στην εικόνα 7 φαίνεται δορυφορικά η θέση της Μονής η οποία βρίσκεται στη ΒΑ πλευρά της χερσονήσου του Άθω.



Εικόνα 7 Δορυφορική εικόνα της θέσης της Ιεράς Μονής του Παντοκράτορα(Google Earth)

Η Ιερά Μονή του Παντοκράτορα είναι κτισμένη επάνω σε βραχώδες έξαρμα, στην απόληξη δασωμένης πλαγιάς εικόνα 8.

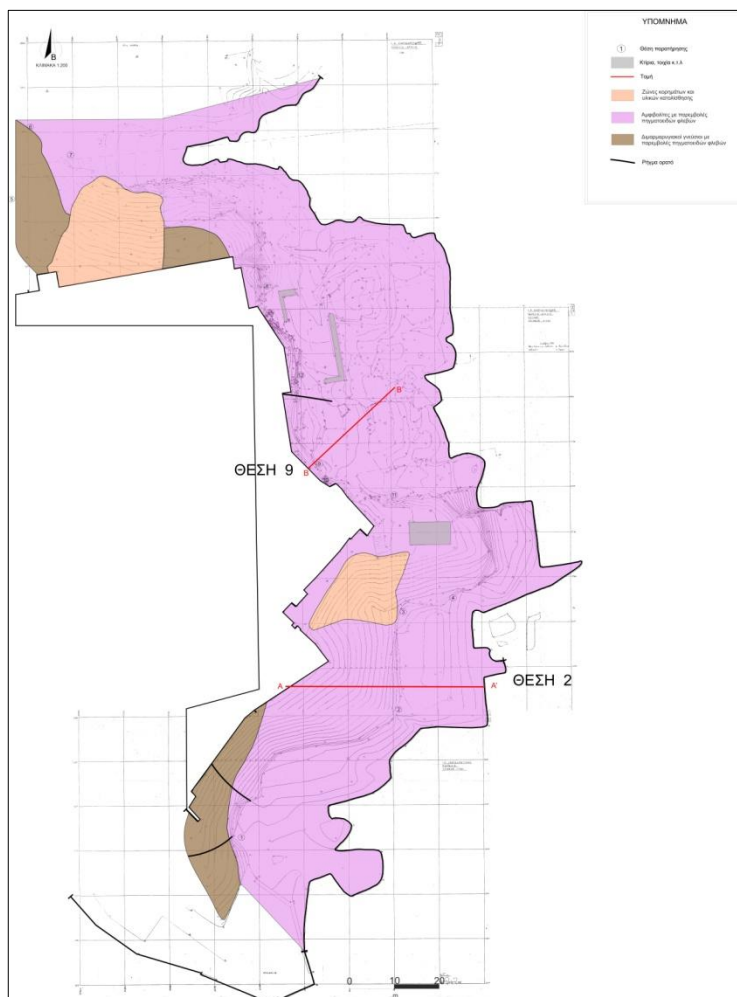


Εικόνα 8 Αεροφωτογραφία της Ιεράς Μονής του Παντοκράτορα,
<http://agioros.tripod.com/>

Τα απότομα πρανή βρίσκονται ακριβώς δίπλα στη θάλασσα η οποία λειτουργεί ως διαβρωτικός παράγοντας και υποσκάπτει τον πόδα των πρανών, αφαιρώντας φορτίο και διαμορφώνοντας το γενικό τοπίο. Τα μέγιστα ύψη των πρανών είναι 30 μέτρα και οι απότομες κλίσεις εντοπίζονται κυρίως στο ανατολικό τμήμα της Ι.Μ (έως και 90°).

4.2 Λιθολογία - Στρωματογραφία

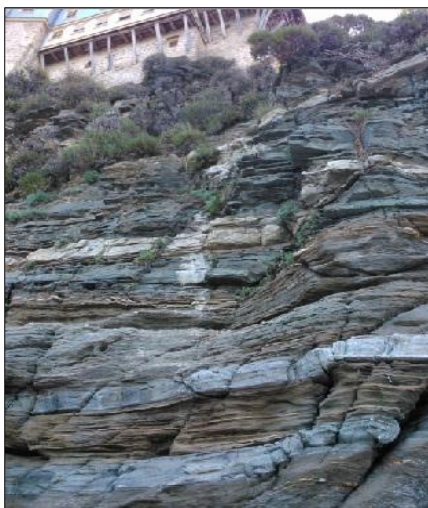
Η μονή είναι κτισμένη, όπως αναφέρθηκε επάνω σε μεταμορφωμένα πετρώματα. Η γεωλογική χαρτογράφηση που έγινε στα πλαίσια της προαναφερθείσας γεωτεχνικής μελέτης έδειξε κατά κύριο λόγο αμφιβολίτες με παρεμβολές πηγματοειδών φλεβών και διμαρμαρυγιακούς γνεύσιους με τις ίδιες παρεμβολές, εικόνα 9.



Εικόνα 9 Γεωλογικός χάρτης, στη θέση της Ι.Μ. Παντοκράτορα
(Τροποποιημένο από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι)

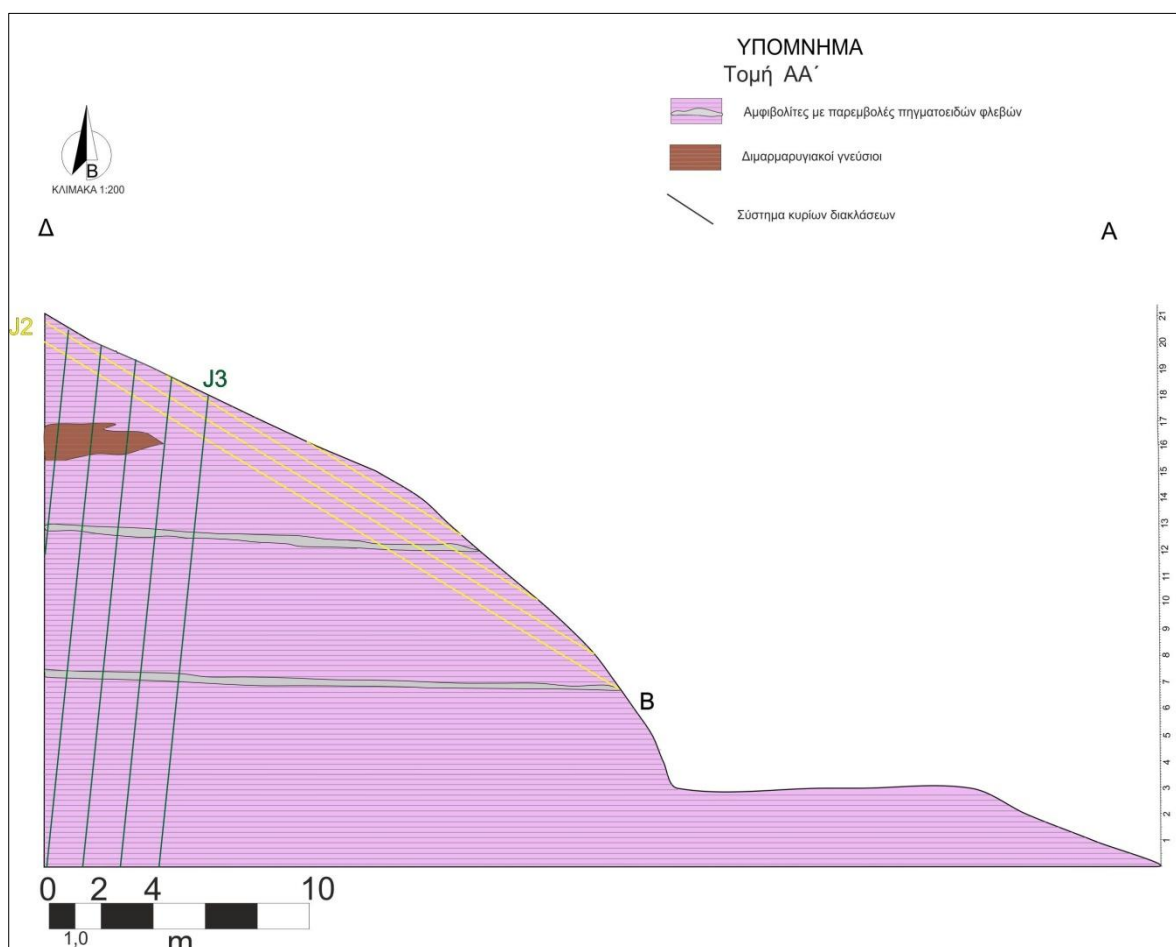
Το τοπίο ολοκληρώνουν υλικά κατολίσθησης τα οποία βρίσκονται κατά τόπους.

Στην εικόνα 10 φαίνεται η χαρακτηριστική αυτή παρεμβολή πηγματοειδών φλεβών.

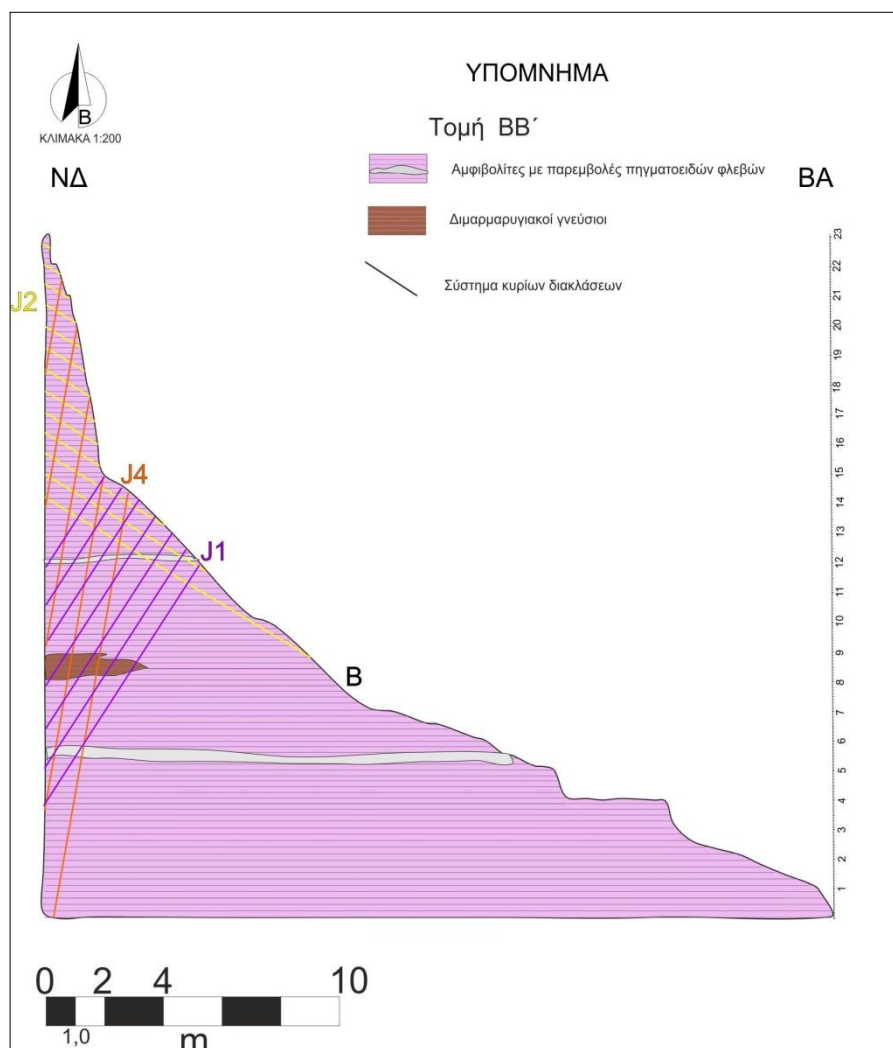


Εικόνα 10 Αμφιβολίτες με χαρακτηριστικές παρεμβολές πηνματοειδών φλεβών

Με κόκκινη γραμμή, στην εικόνα 9, σημειώνονται οι θέσεις των τομών που δημιουργήθηκαν, για τα δύο υπό μελέτη πρανή αυτής της διατριβής. Η τομή ΑΑ' αφορά το πρανές της θέσης 2 και η ΒΒ' το πρανές της θέσης 9. Στις τομές αυτές, Τομή 1 και 2 φαίνεται η μορφολογία, λιθολογία και η γενικότερη δομή των πρανών καθώς και τα κύρια συστήματα των ασυνεχειών όπως αυτά προέκυψαν από την υπαίθρια έρευνα.



Τομή 1 Εγκάρσια τομή στη θέση 2



Τομή 2 Εγκάρσια τομή στη θέση 9

Το πρανές στη θέση 2 είναι ύψους 21m ενώ το μήκος του είναι περίπου 11m και το πλάτος του 44m. Αποτελείται από τον συγκεκριμένο αμφιβολίτη με τις πηγματοειδείς φλέβες και έχει μια εμμένουσα σχιστότητα ανά 20 cm η οποία έχει δυσμενή προσανατολισμό ως προς το πρανές, όπως θα αναπτυχθεί και στα επόμενα κεφάλαια.

Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με το πρανές της θέσης 9 το οποίο είναι ένα πρανές ύψους 23m, συνολικού μήκους 9m και πλάτους 33m. Αποτελείται και αυτό από αμφιβολίτη με φλέβες πηγματίτη και μία ανάλογη σχιστότητα.

Υπογραμμίζεται ότι τα συστήματα ασυνεχειών συνεχίζονται κατά παρόμοιο τρόπο στο χώρο, αλλά για λόγους εύκολης παρατήρησης αυτών σχεδιάστηκε μόνο ένα μέρος τους.

4.3 Τεκτονικά στοιχεία

Η χερσόνησος του Άθω είναι μια ρηξιγενής περιοχή, που περιορίζεται από μεταπτώσεις και κατά τις τρεις πλευρές της. Ρήγματα εγκάρσια προς τον άξονα της χερσονήσου έχουν προκαλέσει τον κατατεμαχισμό της σε τεμάχια διαφόρου ύψους. Εστία μεγάλων σεισμών φιλοξενείται στο ΒΔ τμήμα του Κόλπου της Ιερισσού.

Από μετρήσεις με υπαίθρια εργασία έχουν εντοπιστεί ίχνη 3 διαφορετικών ρηγμάτων, ένα κανονικό ρήγμα ΒΔ/ΝΑ διεύθυνσης, ένα ΒΒΔ/ΝΝΑ διεύθυνσης και ένα διεύθυνσης Α/Δ τα οποία βρίσκονται στο υπόβαθρο θεμελίωσης της Ι.Μ.

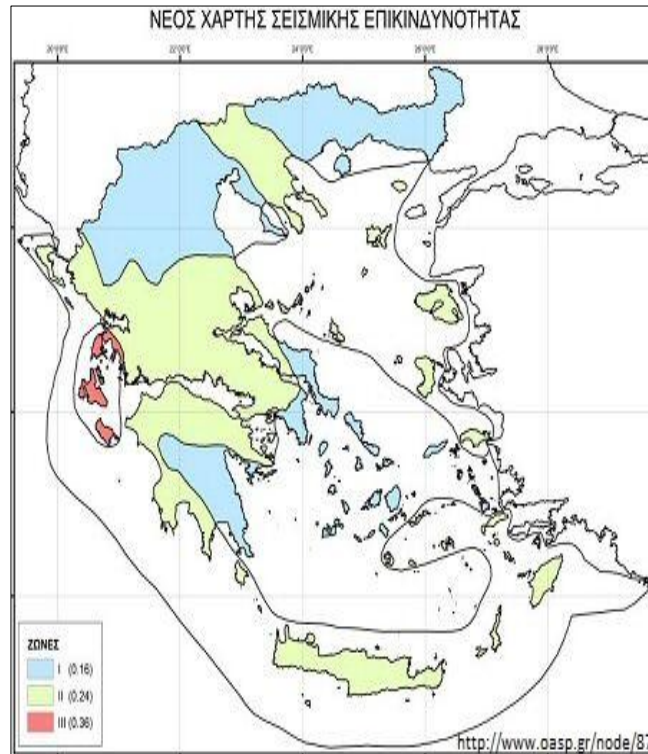
4.4 Υδρογεωλογία σχηματισμών

Οι σχηματισμοί στην περιοχή της Μονής είναι από λιθολογική άποψη αδιαπέρατοι μιας και πρόκειται για μεταμορφωμένα πετρώματα χωρίς πρωτογενές πορώδες (αμφιβολίτες και γνεύσιοι). Η τεκτονική καταπόνηση και η παρουσία σχιστότητας παρ' όλα αυτά έχουν δημιουργήσει ευαίσθητες ως προς την αποσάθρωση ζώνες. Με τη βοήθεια της τελευταίας και της δράσης των κυμάτων και των δυνατών ανέμων που εντείνουν το φαινόμενο της αποσάθρωσης δημιουργούνται ζώνες αυξημένης περατότητας οι οποίες οφείλονται στο δευτερογενές αυτό πορώδες. Η υδροφορία αυτή είναι είτε εγκλωβισμένη ή εκφορτίζεται κατά μήκος αδιαπέρατων οριζόντων και είναι περιορισμένης έκτασης.

Εντοπίζεται σε ρηξιγενείς επιφάνειες ή κατά τη σχιστότητα που παρουσιάζουν αυξημένη περατότητα. Το νερό αυτό εκφορτίζεται γρήγορα μόλις βρεθεί σε μη περατό ορίζοντα χωρίς την ανάπτυξη σημαντικών υδροστατικών πιέσεων στη βραχύμαζα. Γενικά το κατεισδύον νερό στη θέση της Μονής κρίνεται περιορισμένο λόγω και της παρουσίας των κτιρίων. Στο εσωτερικό της Μονής υπάρχει πηγάδι με στάθμη 10 μ. από την επιφάνεια περίπου, κυρίως λόγω αυτής της περιορισμένης ποσότητας που μπορεί και εγκλωβίζεται μεταξύ ασυνεχειών και στρωμάτωσης.

4.5 Σεισμική επικινδυνότητα

Σύμφωνα με το νέο χάρτη ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ-2000, χάρτης 6, όπως αυτός τροποποιήθηκε με την Υ.Α. Δ17α/115/9/ΦΝ275/2003, η χερσόνησος του Άθω ανήκει στην ζώνη II με σεισμική επιτάχυνση 0,24 για πιθανότητα υπέρβασης 10% στα επόμενα 50 χρόνια και τα πετρώματα της κατατάσσονται στην κατηγορία Α.



Χάρτης 6 Νέος χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας

Σεισμική επικινδυνότητα ενός τόπου είναι η αναμενόμενη σε αυτό τον τόπο τιμή της σεισμικής έντασης Y , σε καθορισμένο χρονικό διάστημα και με ορισμένη πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής. Ο όρος σεισμική ένταση μπορεί να αντιστοιχεί στην μακροσεισμική ένταση I, ή σε μέτρο μιας από τις παραμέτρους της σεισμικής κίνησης [π.χ. λογάριθμος της εδαφικής επιτάχυνσης (A), ταχύτητας (V) ή μετάθεσης (D)]. Η νέα σχέση απόσβεσης για τον Ελληνικό χώρο, διατυπώθηκε από τον Skarlatoudis(2003) και τους συνεργάτες του και αφορά την σεισμική εδαφική επιτάχυνση, την εδαφική ταχύτητα και την εδαφική μετάθεση. Στις σχέσεις αυτές λαμβάνεται υπόψη ο τύπος του εδάφους κι έτσι υπάρχει απόσβεση σε βράχο, σε μαλακό έδαφος και σε ενδιάμεσο τύπο εδάφους. Μια τέτοια ανάλυση όμως ξεφεύγει από τα πλαίσια έρευνας αυτής της μελέτης και δε θα αναλυθεί παραπάνω.

5. Μικροτεκτονική ανάλυση της βραχόμαζας

5.1 Επεξεργασία μετρήσεων υπαίθρου

Για την παρούσα διατριβή έγινε χρήση από την υπαίθρια έρευνα όλων εκείνων των απαραίτητων στοιχείων για το χαρακτηρισμό αλλά και για την αξιολόγηση τόσο της βραχόμαζας, όσο και των ασυνεχειών αυτής.

Σημαντικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να αποτυπωθούν σε μια τέτοια εργασία είναι:

- οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι επαφές τους
 1. λιθολογία
 2. τεκτονική κατάσταση
 3. δομή
 4. αποσάθρωση
- ο προσανατολισμός των δομών (γωνία κλίσης/διεύθυνση κλίσης) και η κατάσταση τους
- οι ζώνες παλαιών κατολισθήσεων
- πιθανές εμφανίσεις υδάτων
- τα όρια των ανθρωπογενών/τεχνητών επιχώσεων

Έτσι καταγράφηκε η κατά θέσεις λιθολογία, οι θέσεις αμφιβολιών και γενεσίων με τις παρεμβολές των πηματοειδών φλεβών και οι επαφές τους ανά θέση.

Καταγράφηκαν οι διάφορες οικογένειες ασυνεχειών μαζί με τα ιδιαίτερα γνωρίσματα τους, όπως την κλίση και διεύθυνση κλίσης, το άνοιγμα, το μήκος, την απόσταση μεταξύ τους, την τραχύτητα, την πλήρωση και την αποσάθρωση. Σε κάθε θέση επίσης πάρθηκε και εικόνα του πρηνούς με τη συσκευή LIDAR.

Εντοπίστηκαν διάσπαρτες εκφορτίσεις νερού, όπως έχει αναφερθεί και υλικά παλιών κατολισθήσεων.

Τέλος πάρθηκαν δείγματα για την αξιολόγηση της αντοχής τους.

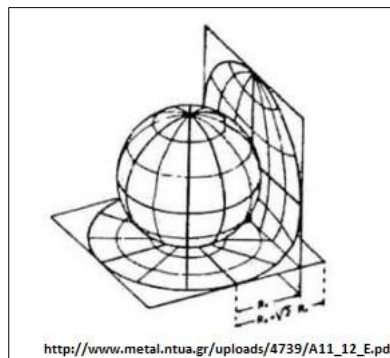
Δεδομένα για την εργασία αυτή υπήρξαν 145 καταγραφές τεκτονικών στοιχείων σε διάφορες θέσεις με την υπαίθρια έρευνα (3 στη θέση 2 και 15 στη θέση 9).

5.2 Σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων

Με τη βοήθεια του λογισμικού Dips 6.0 της Rocscience δημιουργήθηκαν τεκτονικά διαγράμματα για κάθε θέση με βάση τους προσανατολισμούς που καταγράφηκαν. Στην παρούσα διατριβή θα αναφερθούν λεπτομερώς οι δύο θέσεις που αναφέρθηκαν, η θέση 2 και 9 οι οποίες θα συσχετισθούν με τα ανάλογα αποτελέσματα των στερεοδιαγραμμάτων που προέκυψαν με τη βοήθεια μετρήσεων με τη συσκευή LIDAR. Οι θέσεις αυτές επιλέχθηκαν με κριτήριο την βέλτιστη αποτύπωση-σάρωση

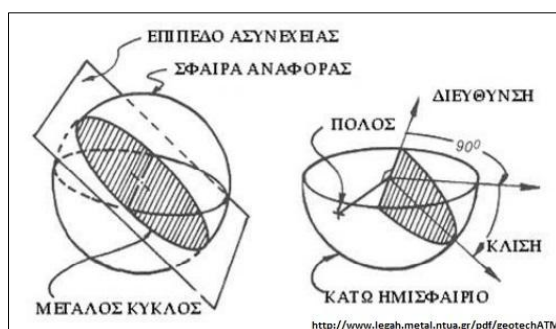
με τη μεθοδολογία LIDAR και την απουσία μεγάλου αριθμού μετρήσεων λόγω αδυναμίας προσπέλασης υψηλότερων θέσεων του πρανούς. Αυτό το στοιχείο δίνει, με βάση την εφαρμοζόμενη μεθοδολογία, μια λύση στον εντοπισμό και την αναγνώριση τεκτονικών δομών σε θέσεις απροσπέλαστες ή δύσβατες

Να σημειωθεί ότι στο λογισμικό αυτό χρησιμοποιήθηκε προβολή ίσης έκτασης (Equal Area) ως πιο κατάλληλη και με τις λιγότερες παραμορφώσεις. Το κέντρο μιας τέτοιας προβολής βρίσκεται στο αντιδιαμετρικό σημείο επαφής του επιπέδου, εικόνα 11. Τα σφαιροειδή τετράπλευρα που προκύπτουν από την τομή των ισημερινών και των μεσημβρινών είναι ίσου εμβαδού, διαφορετικού όμως σχήματος, για το λόγο αυτό χαρακτηρίζονται και ως δίκτυα ίσης έκτασης. Όταν τα σφαιροειδή τετράπλευρα είναι ίσης γωνίας (Equal angle) και όχι ίσης έκτασης τότε πρόκειται για το δίκτυο Wulff.



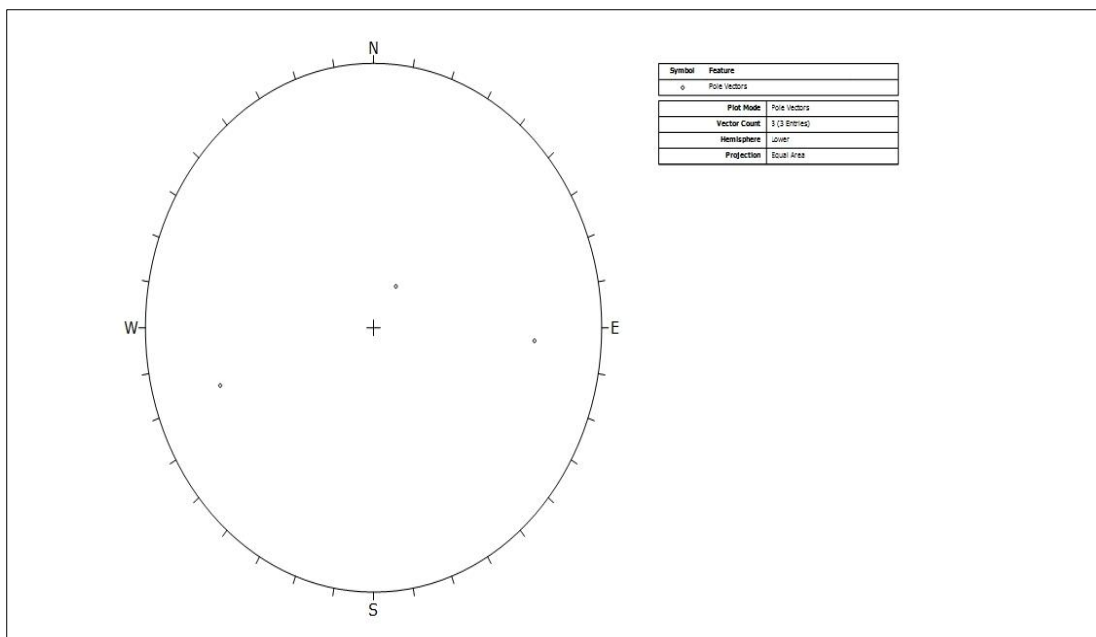
Εικόνα 11 Προβολή σφαίρας σε ένα επίπεδο κάθετο στον ισημερινό, καθώς και παράλληλο στον ισημερινό, από παρουσίαση του Ρόζου Δ. στο <http://www.legah.metal.ntua.gr/>

Τέλος η γεωμετρική διάταξη των προβολών γίνεται με τη χρήση του νότιου ημισφαιρίου, εικόνα 12, όπως είναι και το εξαγόμενο στερεοδιάγραμμα του λογισμικού Split-Fx, επεξεργασίας των εικόνων σάρωσης του LIDAR, κεφάλαιο 6 .



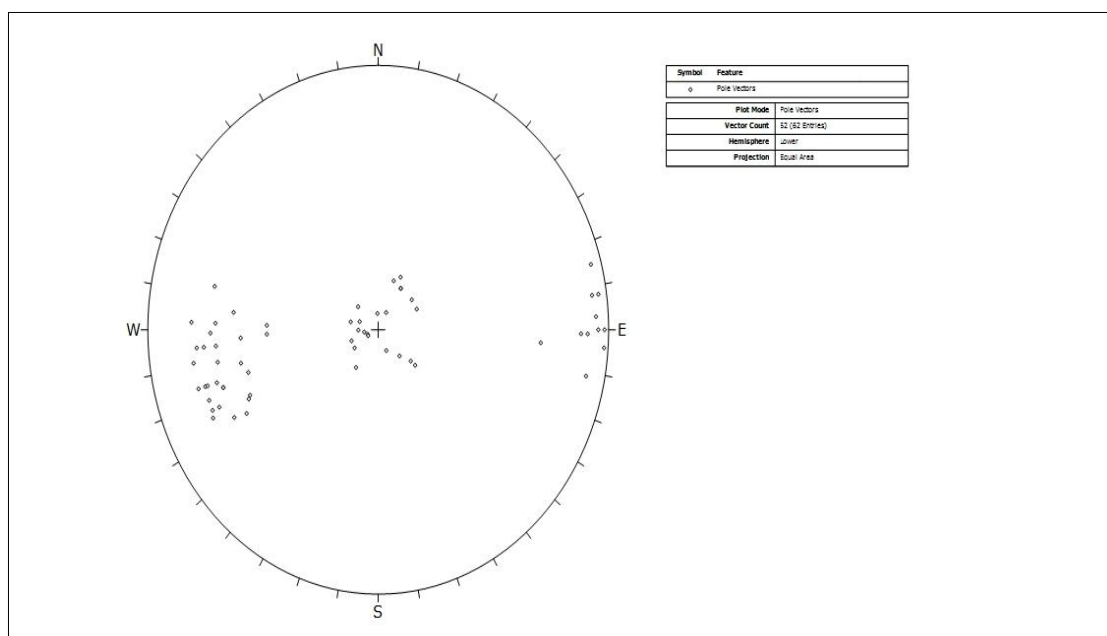
Εικόνα 12 Τρόπος αποτύπωσης στην στερεογραφική προβολή νότιου ημισφαιρίου, από παρουσίαση του Ρόζου Δ. στο <http://www.legah.metal.ntua.gr/>

Οι πόλοι των ασυνεχειών που καταγράφηκαν στην θέση 2 φαίνονται στο παρακάτω στερεοδιάγραμμα, εικόνα 13.



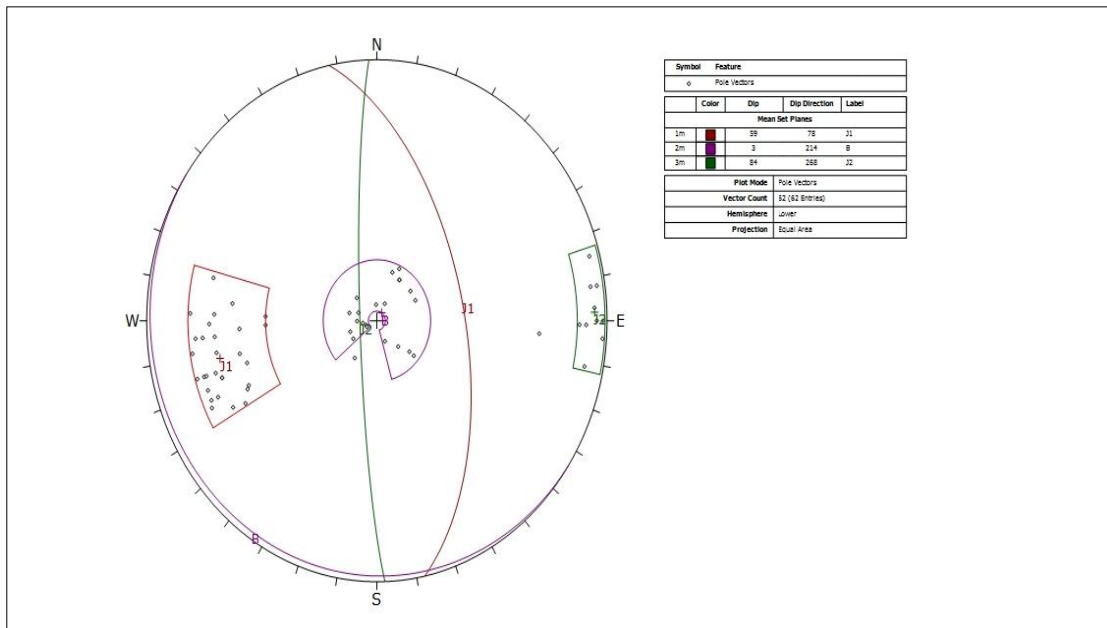
Εικόνα 13 Αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 2

Όπως φαίνεται στο πρανές αυτό εντοπίστηκαν μόνο 3 ασυνέχειες(περιορισμένος αριθμός). Για την αξιολόγηση των συνθηκών ευστάθειας πάρθηκαν υπ' όψιν και τα στοιχεία των ασυνεχειών του ίδιου συστήματος από άλλες θέσεις της υπό μελέτη ακτογραμμής της Μονής. Το αποτέλεσμα της αποτύπωσης του νέου συνόλου των πόλων των ασυνεχειών φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 14 Νέα αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 2

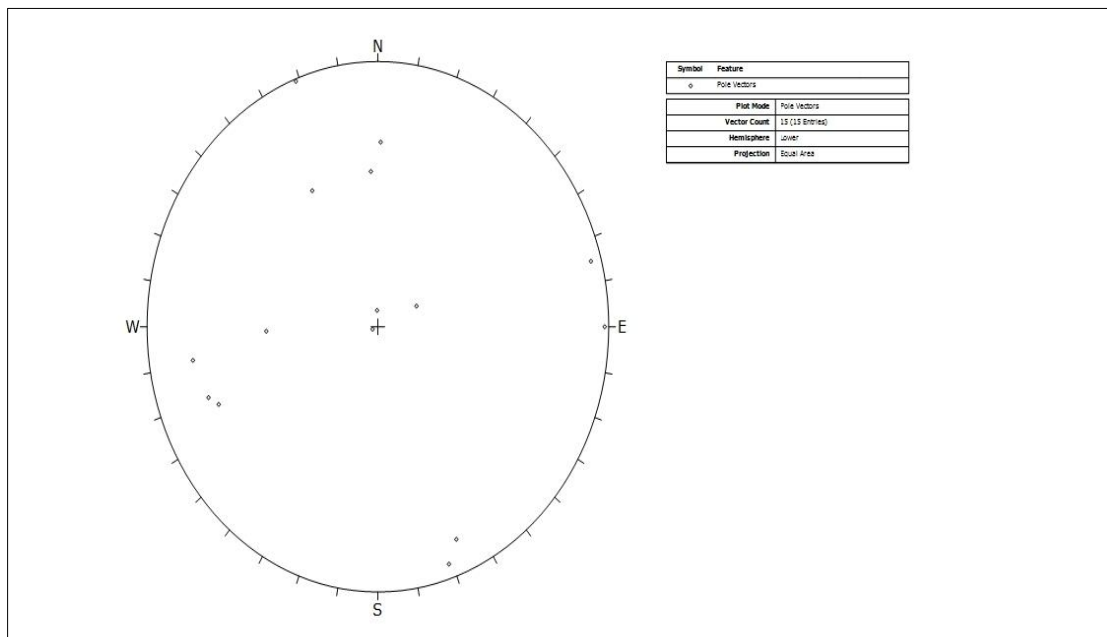
Στη συνέχεια ορίσθηκαν τα όρια των οικογενειών-ομάδων ασυνεχειών και εντοπίσθηκαν τα κύρια(μέσα) επίπεδα τους, εικόνα 15.



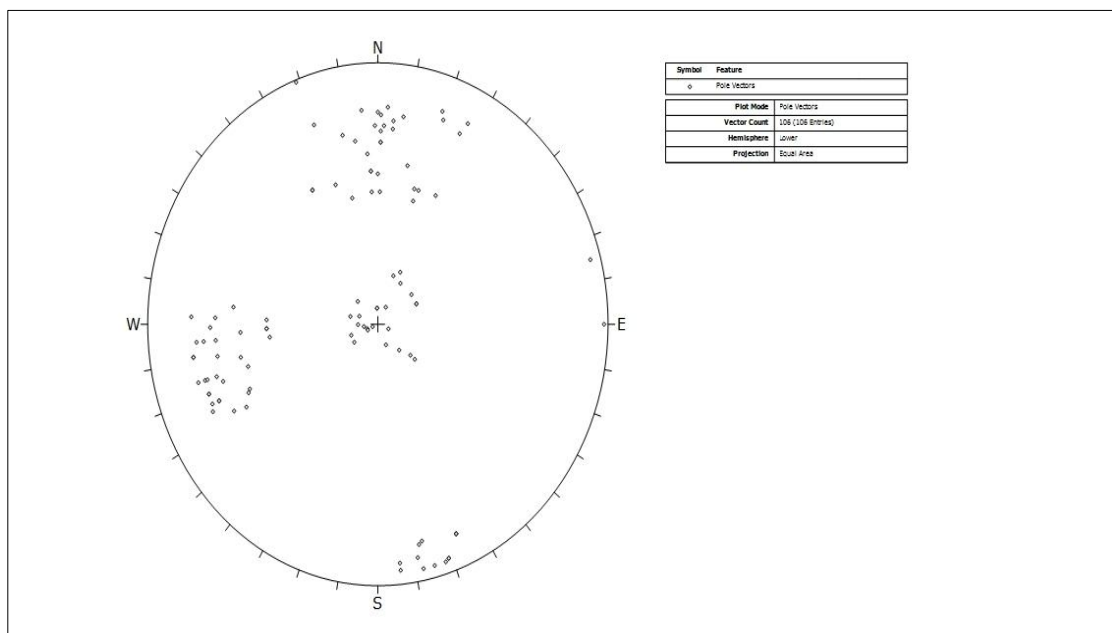
Εικόνα 15 Οικογένειες ασυνεχειών και κύρια επίπεδα -θέση 2

Αναγνωρίσθηκαν λοιπόν στη θέση 2 με χαρακτηριστικά πρανούς $058^{\circ}/096^{\circ}$ τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών. Πρόκειται για δύο οικογένειες διακλάσεων με στοιχεία $059^{\circ}/078^{\circ}$ και $084^{\circ}/268^{\circ}$ και μία οικογένεια σχιστότητας με στοιχεία $003^{\circ}/214^{\circ}$.

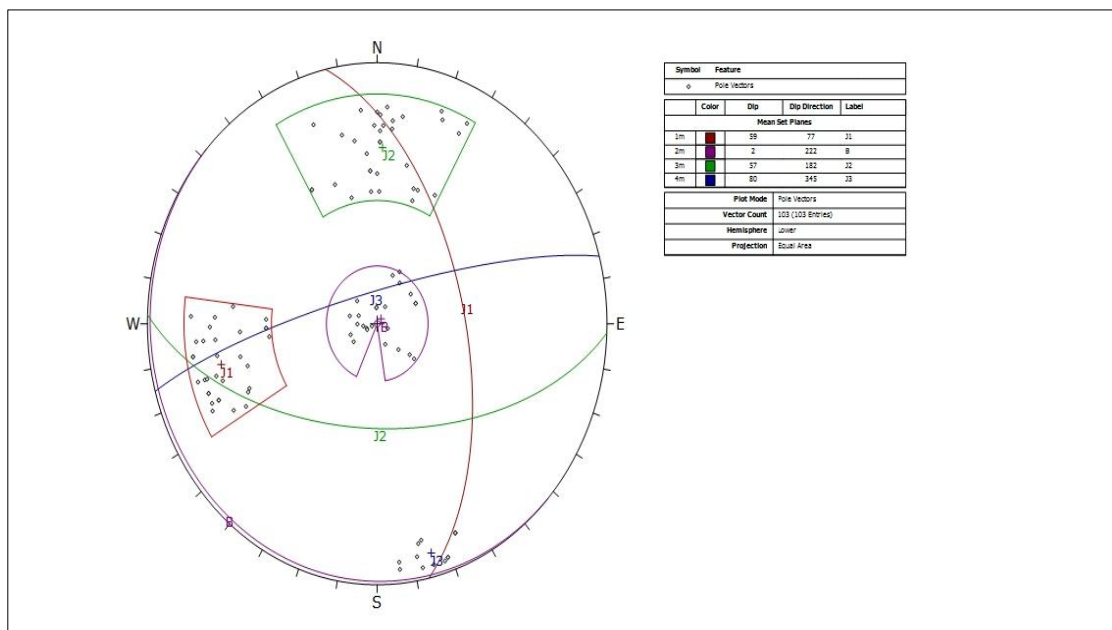
Ανάλογη εργασία έγινε και στη θέση 9, όπως φαίνεται στις εικόνες 16, 17 και 18.



Εικόνα 16 Αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 9



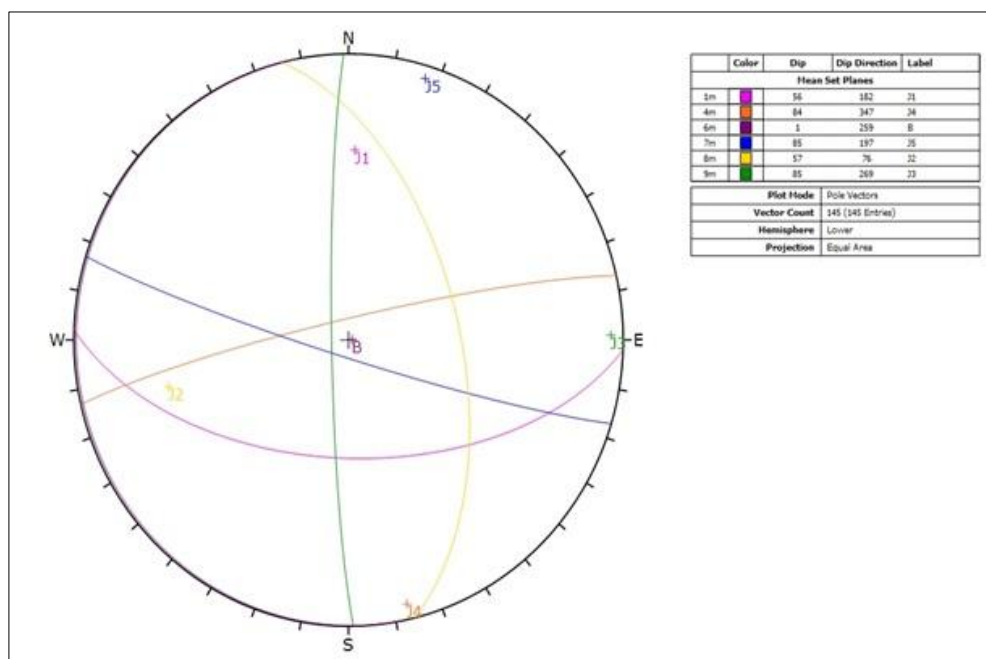
Εικόνα 17 Νέα αποτύπωση πόλων ασυνεχειών-θέση 9



Εικόνα 18 Οικογένειες ασυνεχειών και κύρια επίπεδα-θέση 9

Στη θέση 9 με χαρακτηριστικά πρανούς $082^{\circ}/058^{\circ}$ ορίσθηκαν τέσσερα κύρια επίπεδα. Τρεις οικογένειες διακλάσεων με στοιχεία $059^{\circ}/077^{\circ}$, $080^{\circ}/345^{\circ}$ και $057^{\circ}/182^{\circ}$ και η σχιστότητα με στοιχεία $002^{\circ}/222^{\circ}$.

Συντάχθηκε τέλος ένα γενικό στερεοδιάγραμμα για όλες τις θέσεις παρατήρησης το οποίο φαίνεται στην εικόνα 19.



Εικόνα 19 Γενικό τεκτονικό διάγραμμα των κυρίων συστημάτων ασυνεχειών, όπως προέκυψε από την υπαίθρια εργασία

Πρόκειται λοιπόν 6 κύρια επίπεδα ασυνεχειών, 5 επιφάνειες διακλάσεων και μία επιφάνεια σχιστότητας.

6. Τεχνική LIDAR

6.1 Εισαγωγή

Πολλές φορές η αναγνώριση μορφών, δομών και εμφανίσεων περιορίζεται στην επί τόπου μελέτη και εργασία υπαίθρου για προβλήματα που σχετίζονται με τη γεωργία, την αρχαιολογία, τη γεωλογία, τις επιφανειακές και υπόγειες εξορύξεις και άλλες.

Πιο συγκεκριμένα στην γεωλογία και ειδικά στην Τεχνική γεωλογία πολλές φορές οι γεωμορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες δεν επιτρέπουν την πρόσβαση, την καταγραφή και απεικόνιση όλων εκείνων των απαραίτητων στοιχείων για την μελέτη μιας περιοχής. Υπάρχουν για παράδειγμα περιπτώσεις πρανών με μεγάλο ύψος και απότομη μορφολογία τα οποία είναι απροσπέλαστα και άλλα τα οποία αποτελούνται από χαλαρούς σχηματισμούς επικίνδυνους για διέλευση.

Το Light Detection and Ranging (LIDAR) είναι μία συσκευή νέας τεχνολογίας που αφορά την απεικόνιση τρισδιάστατης πληροφορίας στην ύπαιθρο από κάποια σχετική απόσταση. Η τεχνική LIDAR βασίζεται στην εκπομπή παλμικής ακτινοβολίας λέιζερ (υπεριώδης, ορατή ή σχεδόν υπέρυθρη) στην ατμόσφαιρα και

ακολουθώς, στην καταγραφή της οπισθοσκεδαζόμενης ακτινοβολίας λέιζερ. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία συλλέγεται από ένα οπτικό τηλεσκόπιο και οδηγείται στο σύστημα λήψης και καταγραφής των σημμάτων.

Η πρώτη συσκευή LIDAR κατασκευάστηκε στις αρχές του 1960, αμέσως μετά την εφεύρεση των ακτίνων λέιζερ και συνδυάστηκε με την ικανότητα των ραντάρ να υπολογίζουν αποστάσεις μετρώντας το χρόνο που κάνει η ακτίνα να επιστρέψει. Η πρώτη της εφαρμογή ήταν στην μετεωρολογία, στο εθνικό κέντρο ερευνών της ατμόσφαιρας (NCAR) στο Κολοράντο, με την οποία μελετούσαν τα σύννεφα. Ευρέως έγινε γνωστή με τη χρήση της συσκευής στην αποστολή του Apollo 15, το 1971, για την χαρτογράφηση της επιφάνειας της σελήνης.

Η τεχνική LIDAR εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα το 1993 στο Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας του Αριστοτέλειου Πανεπιστήμιου Θεσσαλονίκης και αργότερα, το 1999 στο Εργαστήριο Ανάπτυξης Λέιζερ και Εφαρμογές τους του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου από τον Αναπληρωτή Καθηγητή Αλέξανδρο Παπαγιάννη.

Η συσκευή μπορεί να θεωρήσει ως στόχο ένα μεγάλο εύρος υλικών, μη μεταλλικά, βράχους, την βροχή, διάφορα χημικά στοιχεία, τα σύννεφα, ορισμένα αερολύματα ακόμη και μόρια, για αυτό και χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Οι κυριότερες χρήσεις από αυτές είναι γεωματικής, γεωργίας, αρχαιολογίας, γεωγραφίας, γεωλογίας, γεωμορφολογίας, σεισμολογίας, αστρονομίας, ρομποτικής, βιολογίας, δασοκομίας, τηλεπισκόπησης, χαρτογράφησης, φυσικής της ατμόσφαιρας, εξόρυξης μεταλλευμάτων, αυτόνομων οχημάτων, στην τροχαία, στο στρατό, στις συγκοινωνίες, σε διαστημικές πτήσεις, σε αιολικά πάρκα, σε ηλιακά φωτοβολταϊκά και πολλές ακόμα.

Στην Τεχνική Γεωλογία μπορεί να βρει εφαρμογή στο χαρακτηρισμό βραχομαζών, για τον υπολογισμό της ευστάθειας πρανών, στον υπολογισμό ευστάθειας των τοιχωμάτων ορυγμάτων, στην καταγραφή βραχοπτώσεων είτε οποιασδήποτε κίνησης με μικρή εξέλιξη στο χρόνο.

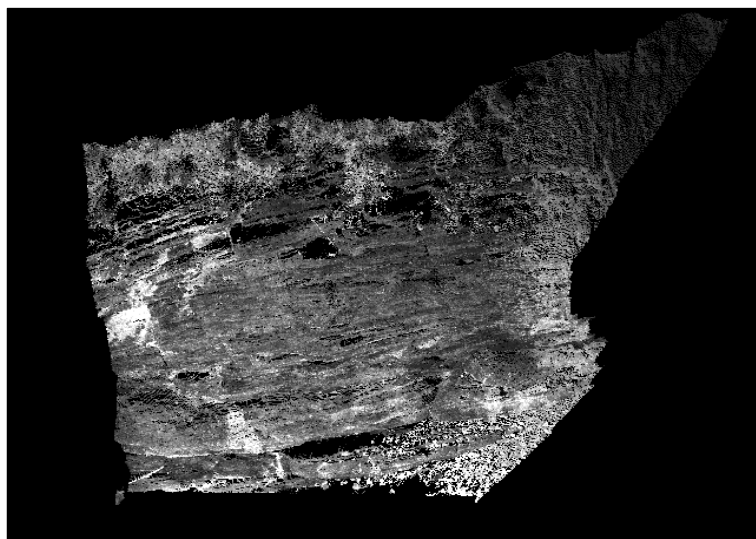
6.2 Πλεονεκτήματα χρήσης

Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι το εύρος των εφαρμογών της μεθόδου. Επίσης η σάρωση μέσω του LIDAR γίνεται από ορισμένη απόσταση, ακόμη και σε μέρη πολλές φορές δύσβατα ή απρόσιτα για τον άνθρωπο. Τα εξαγόμενα αποτελέσματα είναι υψηλής ανάλυσης. Η σάρωση και η επεξεργασία των σαρώσεων γίνεται πολύ γρήγορα.

6.3 Αρχές λειτουργίας

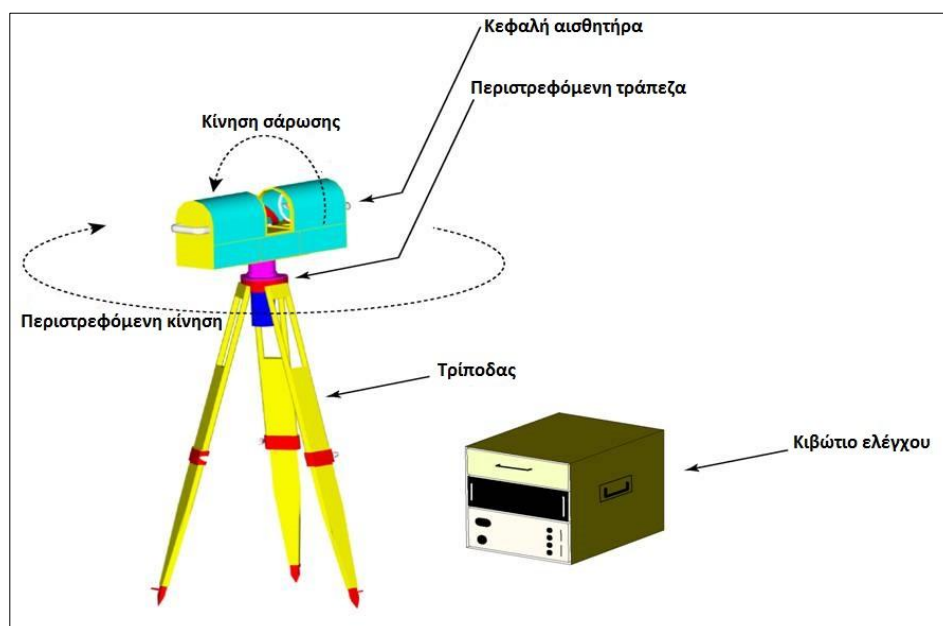
Το εξαγόμενο προϊόν σάρωσης με τη συσκευή LIDAR ονομάζεται point cloud και αποτελείται από εκατομμύρια σημεία τα οποία αναπαριστούν σε τρισδιάστατη μορφή την εκάστοτε επιφάνεια, εικόνα 20. Μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι η απόσταση που επιλέγεται μεταξύ των σημείων σε ένα point cloud. Σάρωση με πολλή μικρή απόσταση σημείων συνεπάγεται μεγάλη λεπτομέρεια στο αποτέλεσμα αλλά και

περισσότερες σαρώσεις ώστε να καλυφθεί όλη η επιθυμητή επιφάνεια και μεγαλύτερου μεγέθους αρχεία. Με κατάλληλα λογισμικά αυτό το τρισδιάστατο μοντέλο μπορεί να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία και να προβούμε μέσω αυτών σε υπολογισμούς και μετρήσεις.



Εικόνα 20 Τυπική εικόνα ενός point cloud

Μία τυπική συσκευή LIDAR αποτελείται από έναν σαρωτή ο οποίος εκπέμπει ακτίνα λέιζερ και είναι εξοπλισμένος με περιστρεφόμενα κάτοπτρα. Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία αντανακλάται πάνω στο αντικείμενο ενδιαφέροντος και συλλέγεται. Η απόσταση μεταξύ του σαρωτή και του αντικειμένου υπολογίζεται με ακρίβεια χρησιμοποιώντας τον χρόνο στον οποίο ταξίδεψε η ακτίνα και την ταχύτητα της. Η ακριβής θέση (x,y,z) του αντικειμένου καθορίζεται σε σχέση πάντα με τον προσανατολισμό της συσκευής. Αντικείμενα κοντά στον σαρωτή είναι υψηλότερης ανάλυσης όπως και αυτά που είναι ανοιχτόχρωμα. Η ανάλυση εξαρτάται επίσης από την γωνία πρόσπτωσης και την τραχύτητα της επιφάνειας (όσο πιο λείες τόσο μεγαλύτερης ανάλυσης εξαγόμενο point cloud). Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται και μια υψηλής ευκρίνειας κάμερα, μπορεί να εξαχθεί ένα έγχρωμο point cloud, πράγμα που προτιμάται περισσότερο. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν δυσκολίες που πρέπει να αντιμετωπιστούν όπως οι σκιές από τον ήλιο και θέματα ευαισθησίας της κάμερας. Στην εικόνα 21 παρουσιάζονται τα κύρια μέρη μιας συσκευής LIDAR εδάφους.



Εικόνα 21 Βασικά μέρη συσκευής LIDAR εδάφους.

Υπάρχουν διάφορες μορφές της συσκευής αυτής. Συναντάται είτε ως συσκευή εδάφους πάνω σε τρίποδο (επίγεια), κινούμενη πάνω σε οποιοδήποτε όχημα ή εν πλω (κινητή) είτε σε αεροσκάφη (αερομεταφερόμενη). Στην κινητή και αερομεταφερόμενη συσκευή είναι απαραίτητο ένα GPS και αισθητήρες κίνησης ώστε να παρακολουθούν τη θέση του σαρωτή ανά πάσα στιγμή και να εξομαλύνουν τις οποιεσδήποτε δονήσεις και περιστροφές. Γενικότερα μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνει κανείς με το επίγειο LIDAR.

Πιο αναλυτικά μεταξύ των επίγειων συσκευών LIDAR υπάρχουν διάφορες προδιαγραφές. Υπάρχουν για παράδειγμα συσκευές με συλλογή 8.000 σημείων ανά δευτερόλεπτο και άλλες με 970.000 ανά δευτερόλεπτο. Επίσης συσκευές με εύρος ακρίβειας 4-10 χιλ. σε απόσταση 50-100 μ. ενώ άλλες 1-2 χιλ. σε απόσταση 25 μ.

6.4 Επεξεργασία δεδομένων

Μετά τη σάρωση χρειάζεται ένα κατάλληλο λογισμικό, στο γραφείο, ώστε να μπορεί να επεξεργασθεί το point cloud και να βγουν τα συμπεράσματα που μας ενδιαφέρουν. Υπάρχουν πολλά τέτοια λογισμικά και συνήθως κάθε κατασκευαστής συνοδεύει τη συσκευή του με το δικό του λογισμικό. Στην παρούσα διατριβή για τις ανάγκες της επεξεργασίας των εικόνων σάρωσης στο ύπαιθρο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Split-FX (Split Engineering 2010).

Το λογισμικό αυτό έχει σχεδιαστεί ειδικά για γεωτεχνική ανάλυση των δεδομένων της σάρωσης, συμπεριλαμβανομένης της οριοθέτησης των ασυνεχειών μιας βραχώμαζας, της στερεογραφικής προβολής, των εγκάρσιων τομών και της ανίχνευσης αλλαγών σε ένα τοπίο κατά την σύγκριση της ίδιας επιφάνειας σε προγενέστερη λήψη, καθώς και της μέτρησης των αποστάσεων των ασυνεχειών.

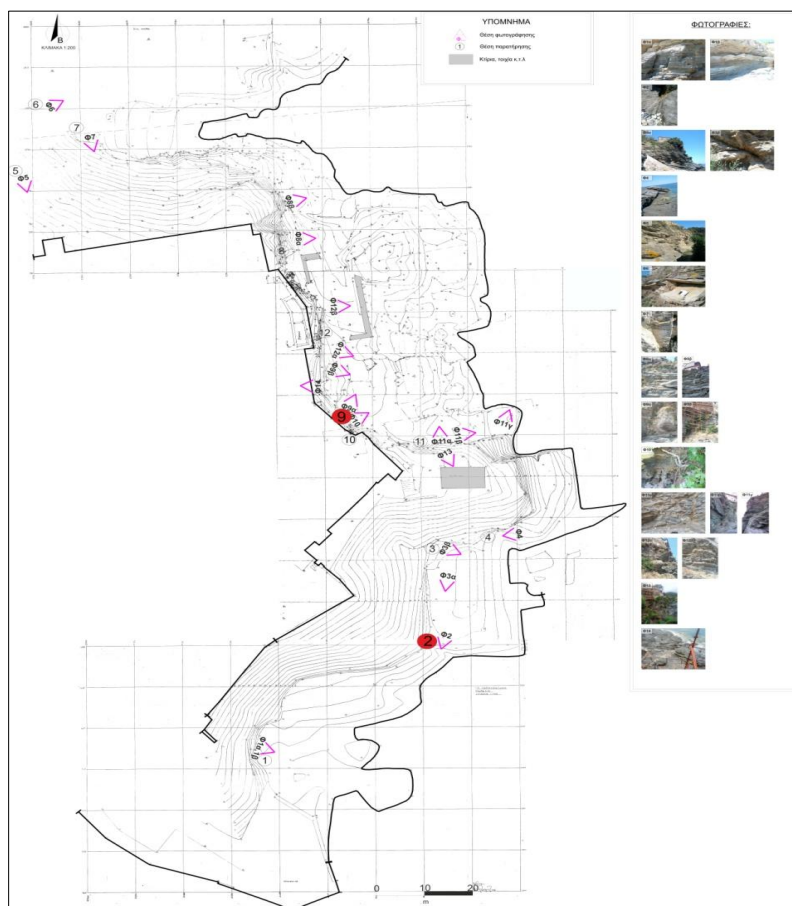
6.5 Εφαρμογή της μεθόδου στην περιοχή της Μονής

Στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε η συσκευή "LIDAR scanner" της εταιρίας Ortech με προδιαγραφές σάρωσης αποστάσεων 3 έως 1000m και ακρίβεια από 14mm. Η περιοχή σαρώθηκε με τη συσκευή αυτή σε διάφορες θέσεις οι οποίες βρίσκονται όλες στην παραλιακή και εξεταζόμενη ζώνη, εικόνα 22.



Εικόνα 22 Πραγματοποίηση σαρώσεων με τη συσκευή LIDAR στη θέση 2

Όπως έχει αναφερθεί στην παρούσα διατριβή θα αναλυθούν λεπτομερώς 2 από αυτές τις θέσεις, η θέση 2 και η 9, εικόνα 23 .

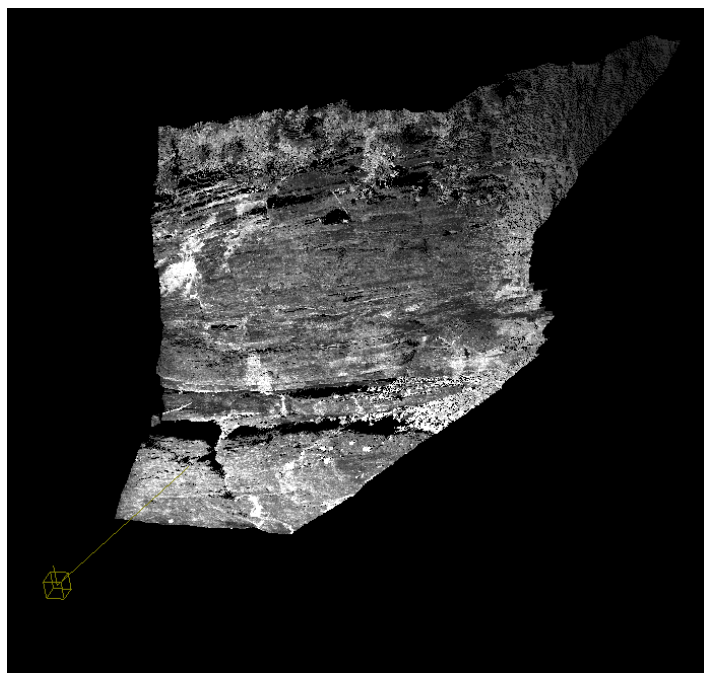


Εικόνα 23 Χάρτης πληροφόρησης περιοχής μελέτης, 1:100. Με κόκκινο κύκλο τα δύο πρανή τα οποία θα αναλυθούν με την τεχνική του LIDAR (Τροποποιημένο από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι)



Εικόνα 24 Φωτογραφία από τη θέση 9, (φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι)

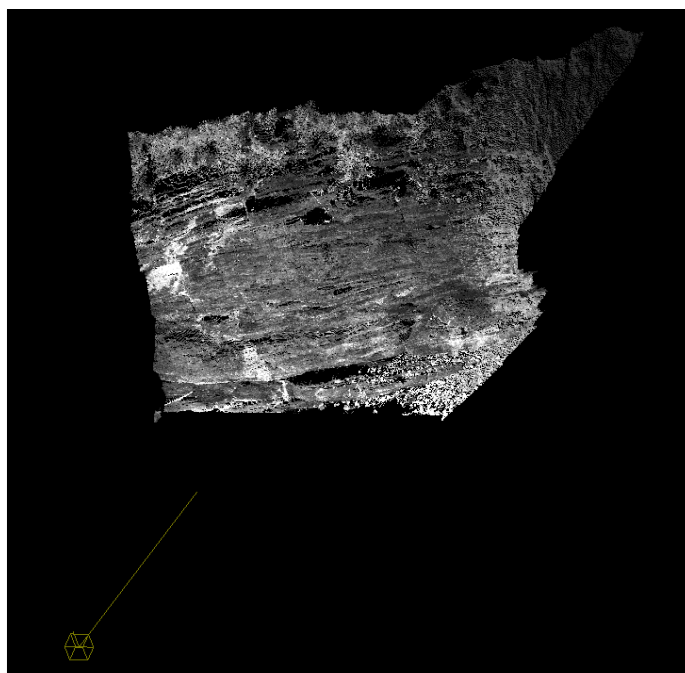
Παρακάτω, εικόνα 25 βλέπουμε το προϊόν της σάρωσης, point cloud, με θόρυβο, δηλαδή χωρίς καθαρισμό το οποίο πάρθηκε στη θέση 2. Να σημειωθεί ότι η σάρωση μπορεί να εκτελεσθεί και με φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, όπως για παράδειγμα πυκνή βλάστηση ή ακόμα και μια σκαλωσιά, όπως στην περίπτωση της σάρωσης στη θέση 9. Το λογισμικό Split-Fx δίνει τη δυνατότητα καθαρισμού του θορύβου στο γραφείο. Επίσης υπάρχει δυνατότητα σάρωσης μιας περιοχής στην οποία δεν υπάρχει αρκετό φως και μια φωτογραφία της με συμβατική φωτογραφική μηχανή θα ήταν σκοτεινή. Η σάρωση και στην περίπτωση αυτή θα είναι καθαρή και λεπτομερής μιας και η συσκευή χρησιμοποιεί ακτίνες λέιζερ.



Εικόνα 25 Πρανές στη θέση 2 χωρίς καμιά επεξεργασία (με θόρυβο)

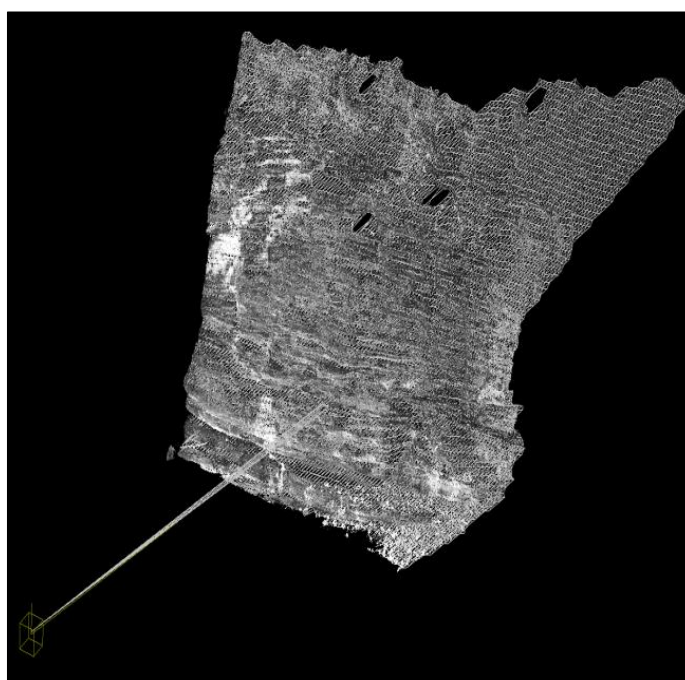
6.6 Προσδιορισμός τεκτονικών δομών με τη χρήση της τεχνικής Lidar

Το προϊόν σάρωσης, point cloud, μεταφέρθηκε στο γραφείο και με τη βοήθεια του λογισμικού Split-FX, έγινε αρχικά καθορισμός του εκάστοτε αξιμούθιου με το οποίο πραγματοποιήθηκε η σάρωση και στη συνέχεια ο καθαρισμός αυτής από τον οποιονδήποτε θόρυβο. Στην εικόνα 26 φαίνεται το παραπάνω πρανές της θέσης 2 με γωνία κλίσης/διεύθυνση κλίσης 058°/096° μετά τον καθαρισμό.



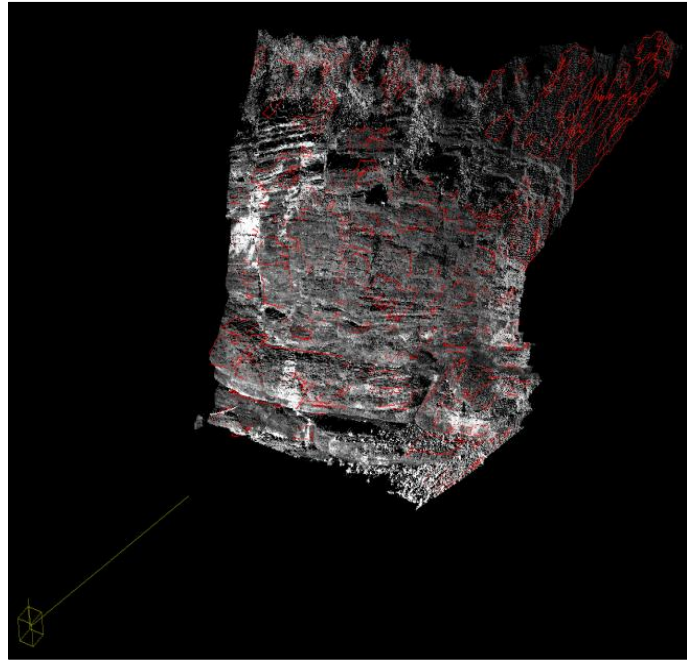
Εικόνα 26 Πρανές στη θέση 2 μετά από αφαίρεση του θορύβου

Στη συνέχεια ορίστηκαν οι παράμετροι του πλέγματος (mesh parameters), και πιο συγκεκριμένα ο αριθμός των σημείων σε κάθε κυψέλη, εικόνα 27. Στην προκειμένη περίπτωση δοκιμάσθηκαν πλέγματα διαφόρων σημείων και διαπιστώθηκε ότι η καλύτερη αποτύπωση της πληροφορίας γινόταν με 15.000 σημεία σε κάθε κυψέλη, μιας και αριθμός μικρότερος εμφάνιζε ελάχιστες δομές (ασυνέχειες), ενώ αριθμός μεγαλύτερος εμφάνιζε τόσα πολλά σημεία τα οποία πλέον έπαυαν να είναι χρήσιμα και επεξεργάσιμα.



Εικόνα 27 Δημιουργία πλέγματος-θέση 2

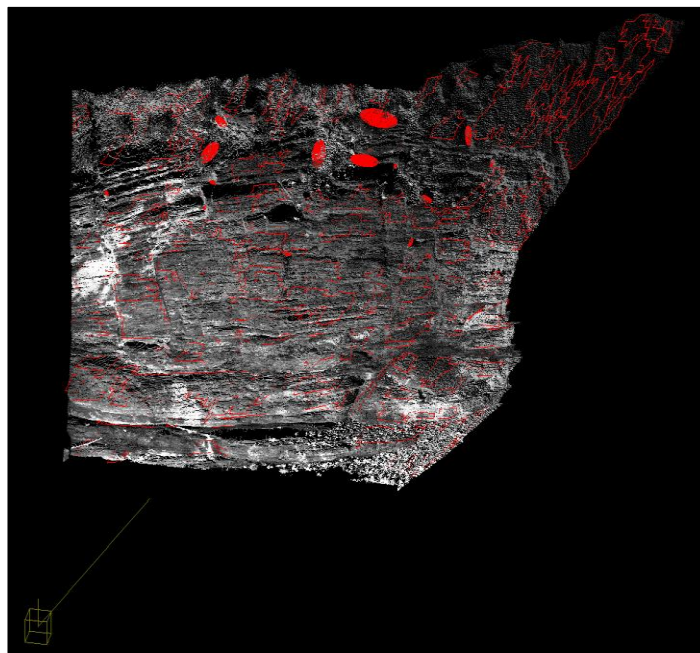
Το επόμενο βήμα ήταν να ορισθούν όλες οι επιφάνειες οι οποίες αποτελούν ασυνέχειες στην επιφάνεια σάρωσης, εικόνα 28 και οι οποίες δημιουργούνται αρχικά από την ομαδοποίηση γειτονικών κυψελών στο πλέγμα ανάλογα με την ομοιότητα των πλευρών τους και έπειτα από τη χρήση ελαχίστων τετραγώνων τα οποία δημιουργούν επίπεδα μέσα στον ορισμένο από τις ομαδοποιημένες κυψέλες χώρο. Αυτό εξαρτάται και εδώ από τις παραμέτρους που έχουμε ορίσει. Ορίζεται έτσι ένας ελάχιστος αριθμός κυψελών του πλέγματος που μπορεί να ομαδοποιηθεί για να δημιουργήσει επιφάνειες ασυνεχειών και μια μέγιστη διαφορά γωνίας της πλευράς της μιας κυψέλης με τη γειτονική της. Έτσι εάν η διαφορά των γωνιών τους είναι μικρότερη της ορισμένης γωνίας, τότε οι κυψέλες ομαδοποιούνται. Παρ' όλα αυτά εάν ο αριθμός των κυψελών με παρόμοιες πλευρές είναι μικρότερος του ορισμένου ελάχιστου αριθμού



Εικόνα 28 Απεικόνιση επιπέδων ασυνεχειών-θέση 2

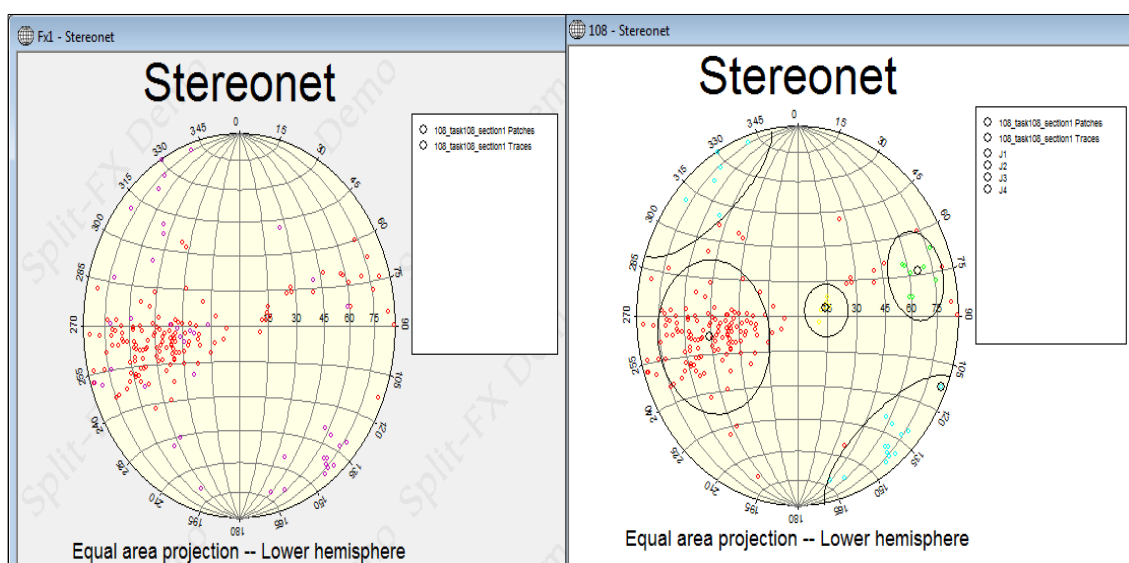
η ομαδοποίηση δεν ολοκληρώνεται. Στις δύο αυτές θέσεις της Μονής επιλέχθηκαν 10 ως οι ελάχιστες κυψέλες για δημιουργία ασυνέχειας και μέγιστη διαφορά γωνιών μεταξύ των κυψελών οι 10° .

Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν επιφάνειες στο πρανές οι οποίες δεν είναι παράλληλες στον σαρωτή κι έτσι δεν μπορούν να απεικονιστούν τυχόν ασυνέχειες κατά τα επίπεδα αυτά. Στις περιπτώσεις αυτές το λογισμικό δίνει την δυνατότητα να οριοθετήσει κανείς τις πιθανές επιφάνειες ασυνεχειών χειροκίνητα, εικόνα 29.

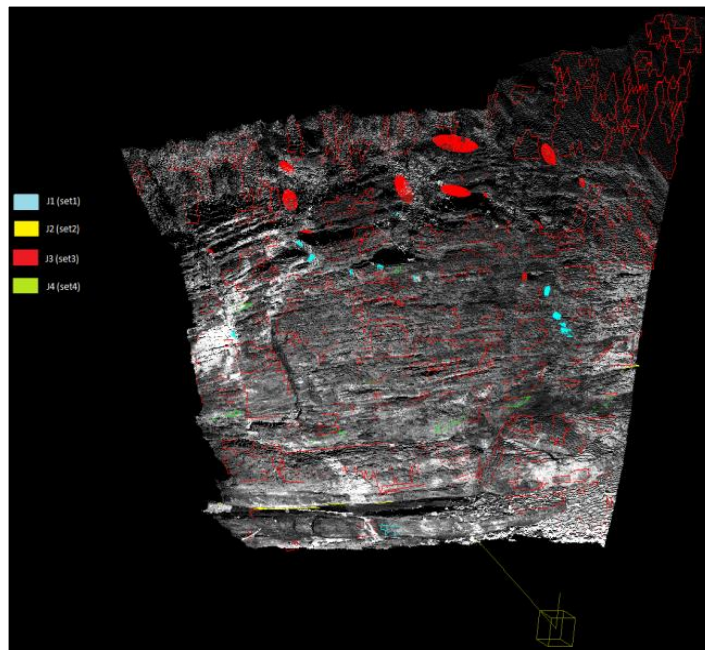


Εικόνα 29 Οριοθέτηση επιπλέον επιπέδων ασυνεχειών χειροκίνητα-
θέση 2

Στη συνέχεια σημαντικό είναι να γίνει μια ομαδοποίηση των ασυνεχειών, να ορισθούν οικογένειες. Αυτό γίνεται με βάση κυρίως την κλίση και την διεύθυνση κλίσης τους. Το Split-FX παρέχει την δυνατότητα της αποτύπωσης της εικόνας της στερεογραφικής προβολής σε δίκτυο Schmidt, εικόνα 30. Από αυτή την εργασία μπορούμε να πάρουμε τα εξαγόμενα στοιχεία των κλίσεων και διευθύνσεων κλίσης σε αναλυτική λίστα. Στην εικόνα 31 τέλος, φαίνεται το πρανές μετά τον ορισμό των οικογενειών.

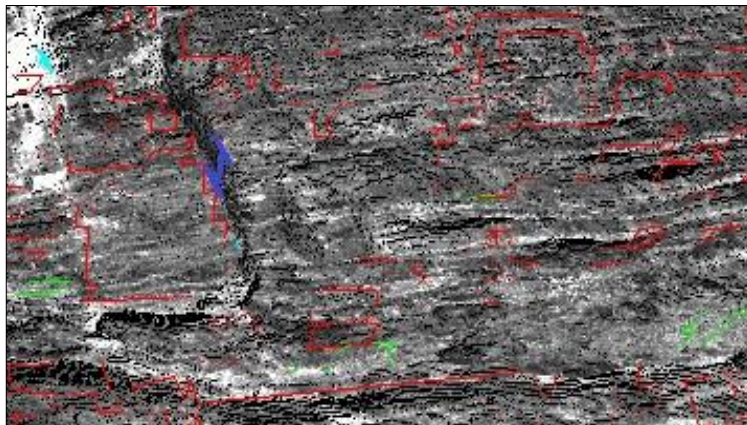


Εικόνα 30 Στερεογραφική προβολή όλων των επιπέδων και ορισμός οικογενειών των επιπέδων των ασυνεχειών με χρήση του Split-Fx-θέση 2



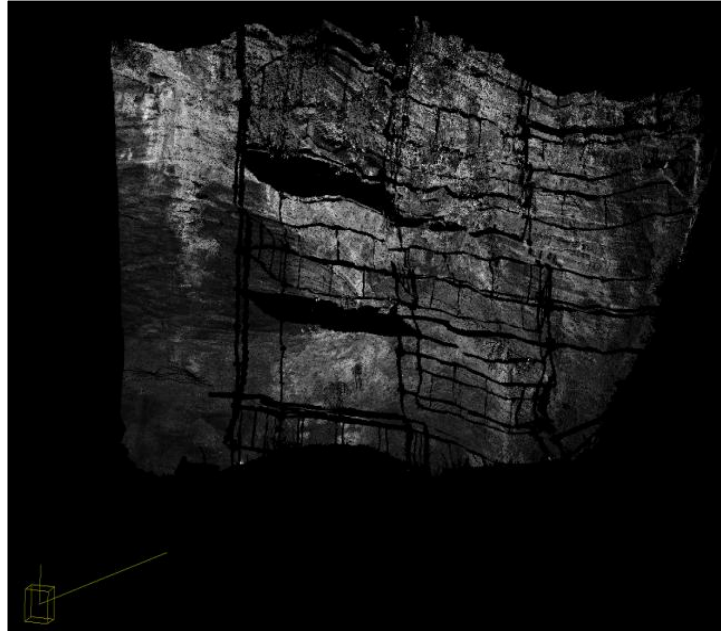
Εικόνα 31 Εμφάνιση οικογενειών ασυνεχειών στο πρανές-θέση 2

Τέλος έγινε μέτρηση της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών κάθε οικογένειας, εικόνα 32.

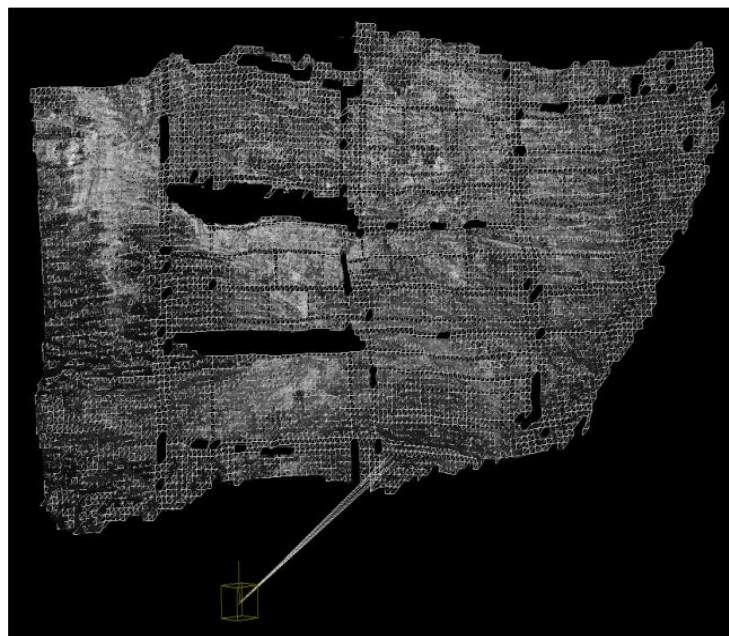


Εικόνα 32 Εικόνα από το λογισμικό Split-Fx. Με μπλε γραμμή σημειώνεται το σημείο μέτρησης της απόστασης μιας ασυνέχειας

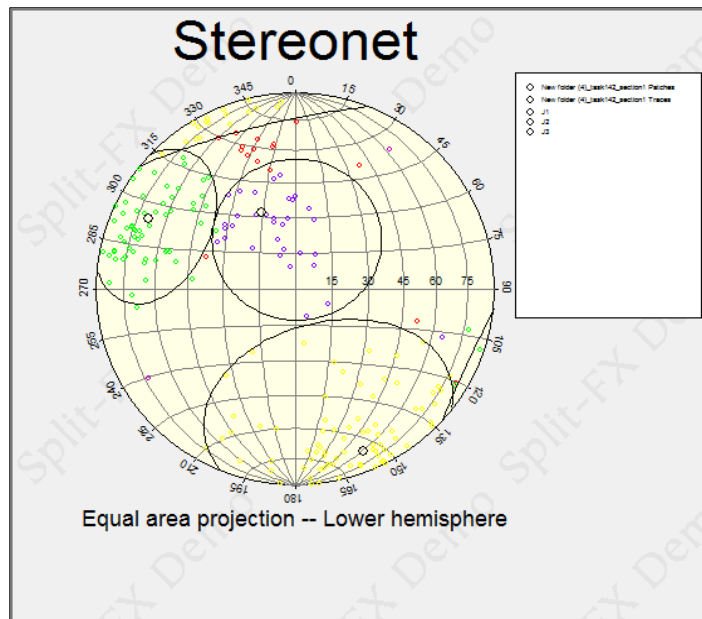
Ακολουθεί η ίδια διαδικασία και για το πρανές στη θέση 9 με γωνία κλίσης/διεύθυνση κλίσης $082^{\circ}/058^{\circ}$.



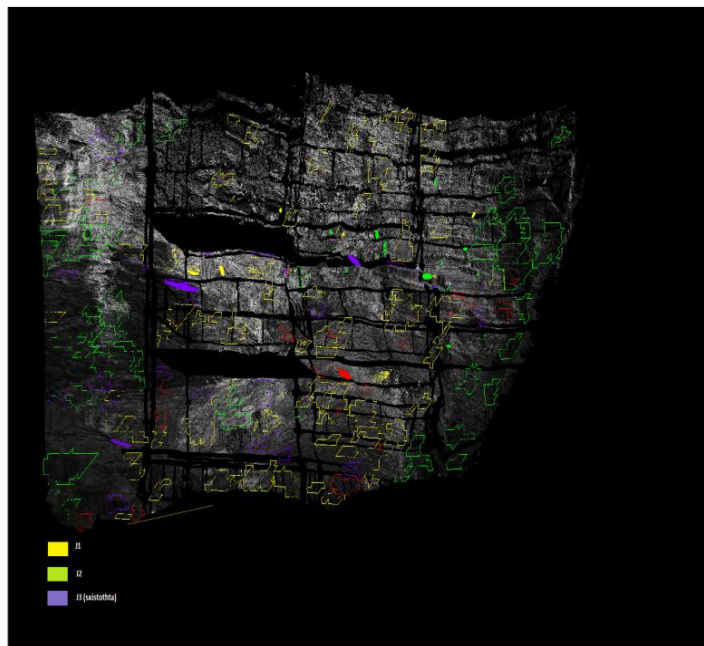
Εικόνα 33 Πρανές στη θέση 9 μετά από αφαίρεση του θορύβου



Εικόνα 34 Δημιουργία πλέγματος-θέση 9



Εικόνα 35 Στερεογραφική προβολή όλων των επιπέδων και ορισμός οικογενειών των επιπέδων των ασυνεχειών με χρήση του Split-Fx-θέση 9

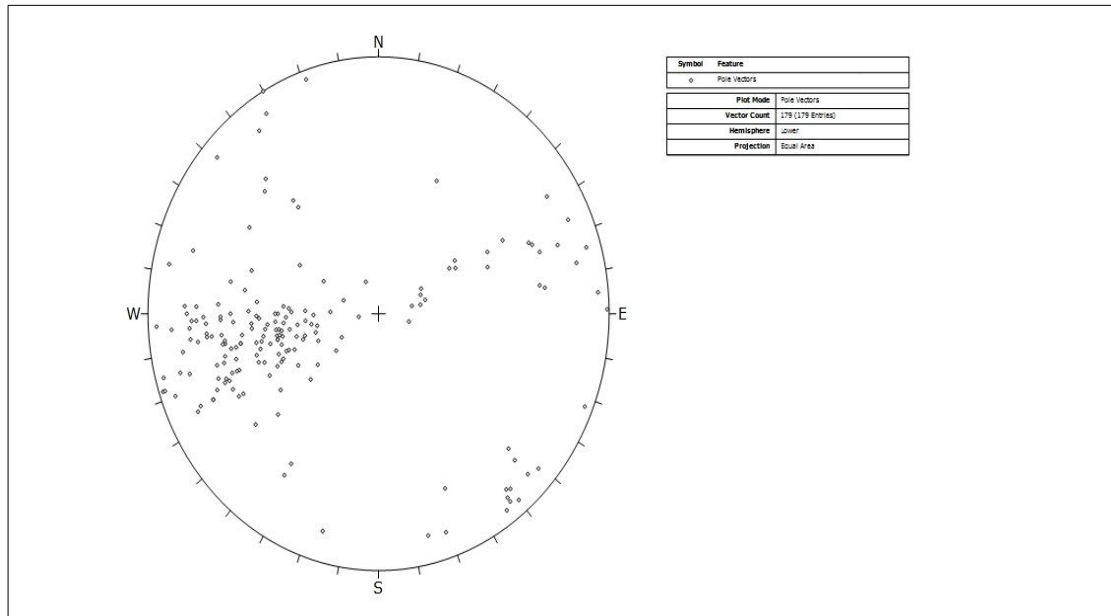


Εικόνα 36 Εμφάνιση οικογενειών ασυνεχειών στο πρηνές-θέση 9

6.7 Συγκριτική αξιολόγηση των τεκτονικών μετρήσεων

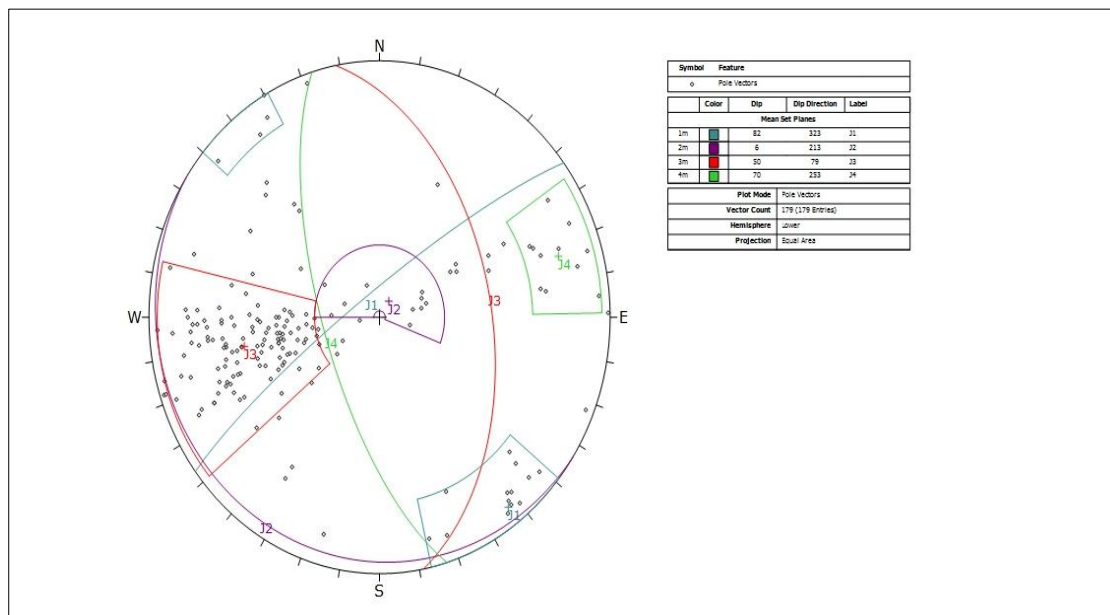
Με την εξαγωγή, από το Split-Fx, των τεκτονικών στοιχείων έγινε χρήση του λογισμικού Dips 6.0 της Rocscience με απεικόνιση αυτών σε δίκτυο Schmidt για την αποτύπωση των κύριων επιπέδων κάθε οικογένειας και έπειτα την κινηματική τους ανάλυση. Τα δεδομένα λοιπόν ήταν 387 καταγραφές τεκτονικών δομών με τη

συσκευή LIDAR (179 στη θέση 2 και 208 στη θέση 9). Έτσι στη θέση 2 υπάρχουν οι παρακάτω πόλοι ασυνεχειών, εικόνα 37.



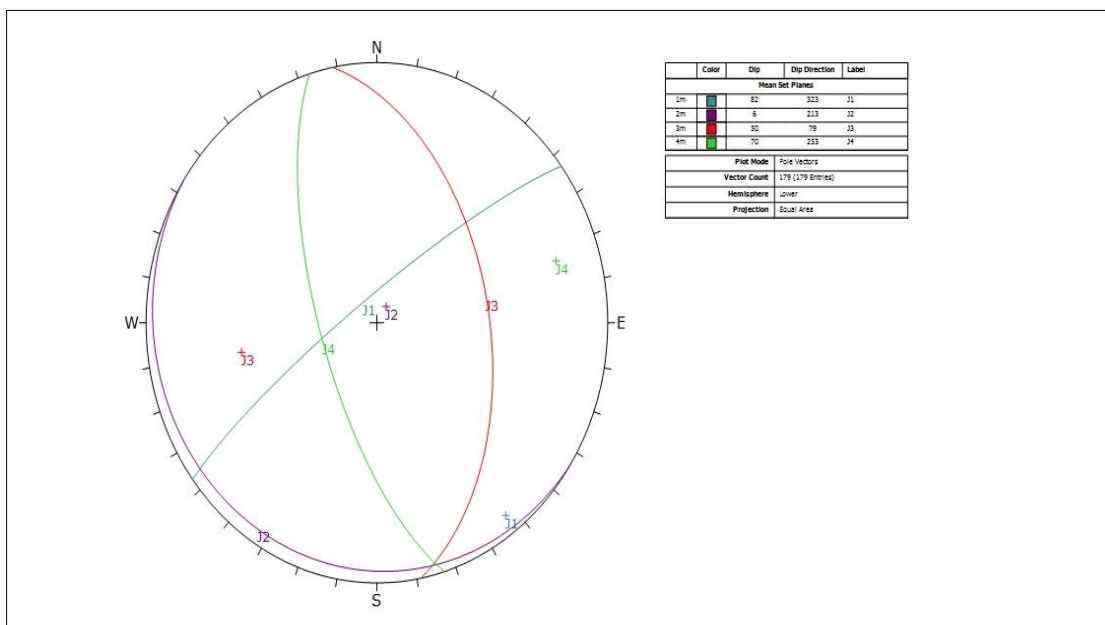
Εικόνα 37 Πόλοι ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2

Ορίσθηκαν οι παρακάτω οικογένειες ασυνεχειών, εικόνα 40.



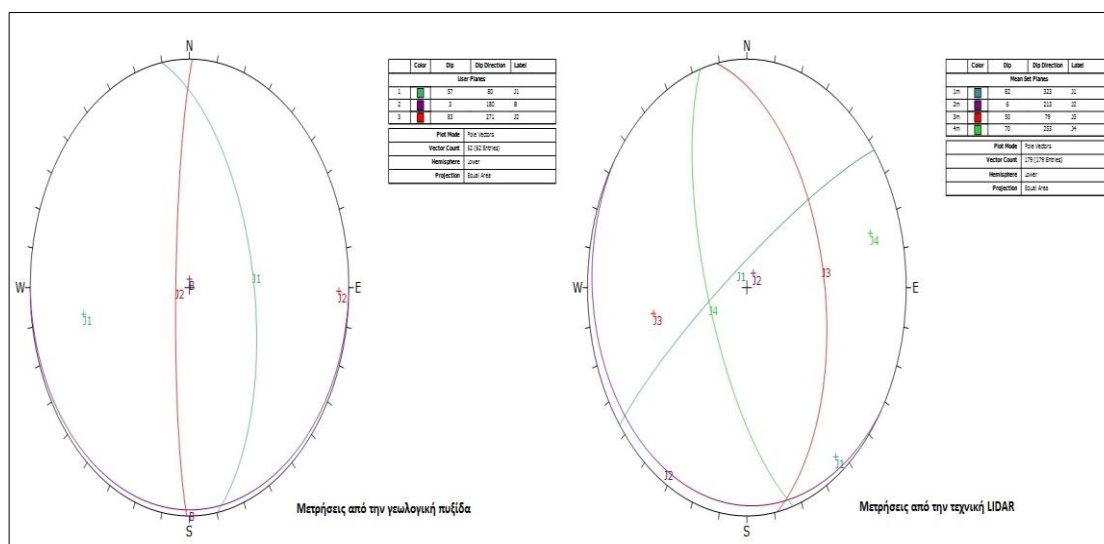
Εικόνα 38 Ορισμός οικογενειών ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2

Οπότε και προκύπτουν τα παρακάτω κύρια επίπεδα, εικόνα 39.



Εικόνα 39 Κύρια επίπεδα ασυνεχειών σε στερεοδιαγράμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 2

Όπως γίνεται αντιληπτό υπάρχει **σημαντική ταύτιση** του στερεοδιαγράμματος αυτού όπως προέκυψε από τα δεδομένα που πάρθηκαν με τη συσκευή LIDAR και του στερεοδιαγράμματος που προέκυψε με τις μετρήσεις υπαίθρου, εικόνα 40 .

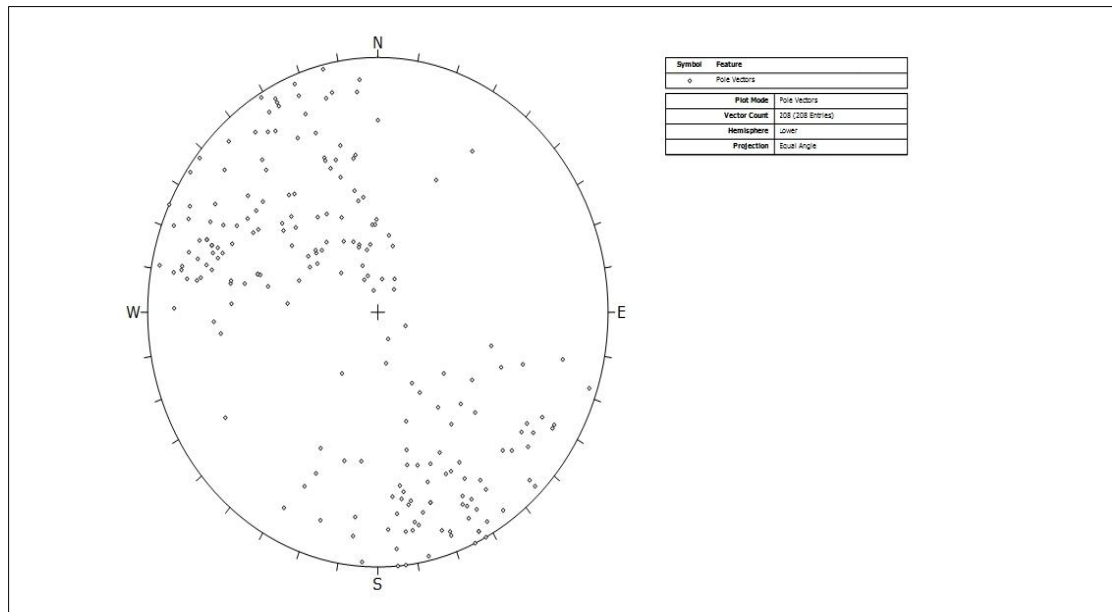


Εικόνα 40 Σύγκριση στερεοδιαγραμμάτων των δύο τεχνικών-θέση 2

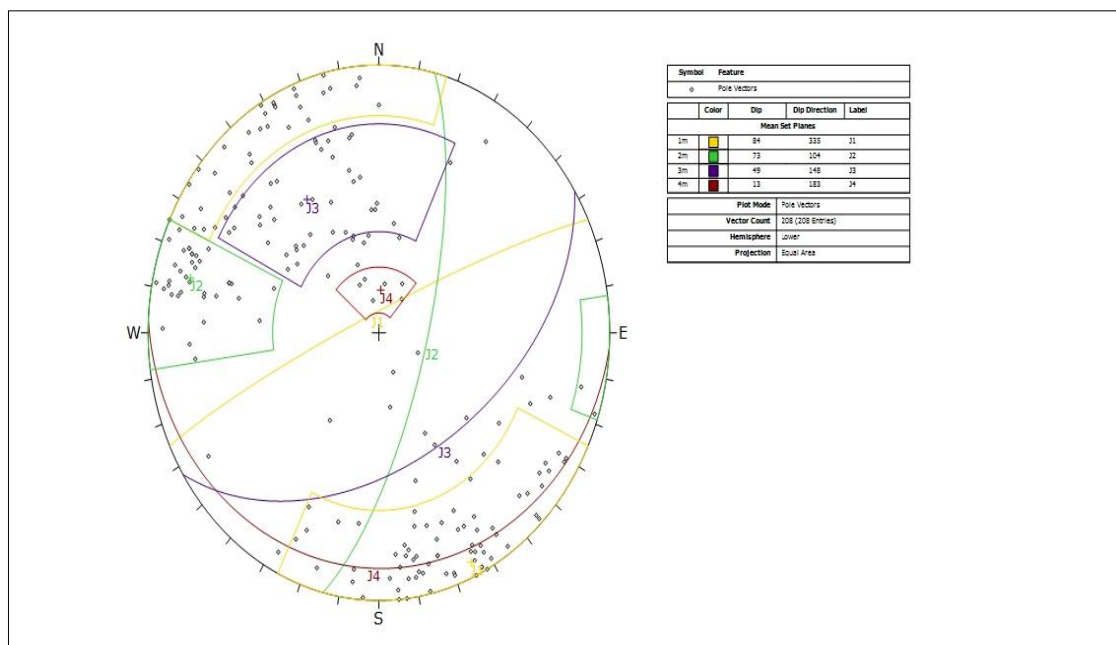
Έτσι το κύριο επίπεδο J2 των υπαίθριων παρατηρήσεων είναι παρόμοιο σε κλίση και βύθιση με το J4 των μετρήσεων του LIDAR, το επίπεδο J1 με το J3 και το επίπεδο B της σχιστότητας παρόμοιο με το J2 του παραπάνω στερεοδιαγράμματος. Παρατηρείται ότι με την συσκευή του LIDAR **εντοπίστηκε ένα επιπλέον σύστημα**

ασυνεχειών που στην επί τόπου υπαίθρια διερεύνηση δεν εντοπίσθηκε στη συγκεκριμένη θέση.

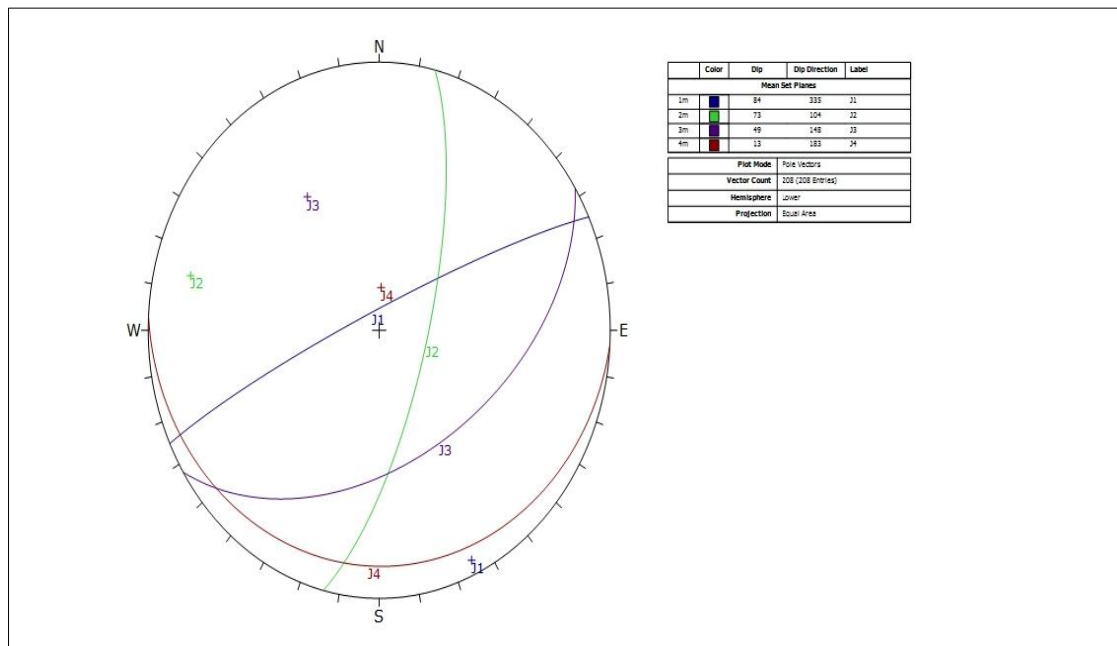
Αντίστοιχα, στη θέση 9 δημιουργούνται τα παρακάτω στερεοδιαγράμματα.



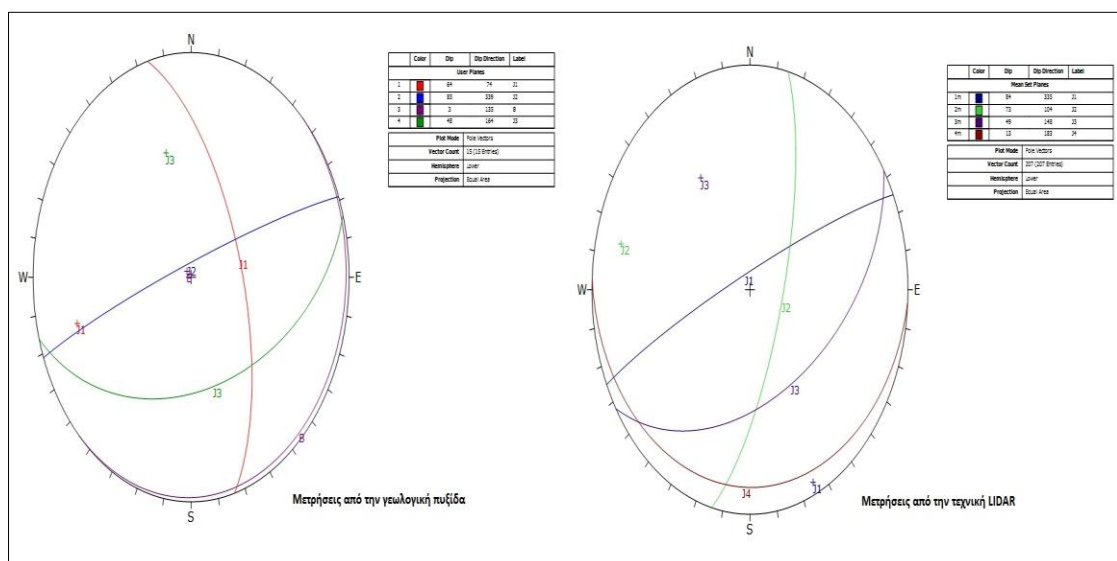
Εικόνα 41 Πόλοι ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9



Εικόνα 42 Ορισμός οικογενειών ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9



Εικόνα 43 Κύρια επίπεδα ασυνεχειών σε στερεοδιάγραμμα με χρήση του Dips 6.0-θέση 9



Εικόνα 44 Σύγκριση στερεοδιαγραμμάτων των δύο τεχνικών-θέση 9

Πάλι φαίνεται να υπάρχει **σημαντική ταύτιση** του στερεοδιαγράμματος που προέκυψε από τους υπολογισμούς με την τεχνική του LIDAR και του στερεοδιαγράμματος που προέκυψε με τις μετρήσεις με τη γεωλογική πυξίδα, εικόνα 43.

Έτσι το κύριο επίπεδο J2 των υπαίθριων παρατηρήσεων είναι παρόμοιο σε κλίση και βύθιση με το J1 των μετρήσεων του LIDAR, το επίπεδο J3 με το J3 του παραπάνω στερεοδιαγράμματος, το επίπεδο J1 με το J2, αν και έχουν μια διαφορά 30° στην

γωνία βύθισης και το κύριο επίπεδο B παρόμοιο με το J4 του στερεοδιαγράμματος της τεχνικής LIDAR(+/-40°) .

7. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της περιοχής της Μονής

Για τη διεξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών θα πρέπει να αναλυθούν όλοι εκείνοι οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Η συμπεριφορά αυτή καθορίζεται από την λιθολογική σύσταση τους, την τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί, την επιδεκτικότητά τους σε αποσάθρωση και διάβρωση, τη δράση του επιφανειακού και υπόγειου νερού κ.α.

7.1 Χαρακτηριστικά αντοχής της βραχόμαζας

Η περιοχή όπως αναφέρθηκε δομείται από βραχώδη συνεκτικά πετρώματα (γνεύσιοι, αμφιβολίτες) που όταν εμφανίζονται άρρηκτα και χωρίς έντονη αποσάθρωση κατατάσσονται γενικά στους γεωλογικούς σχηματισμούς με αυξημένη αντοχή, πίνακας 1.

Σχηματισμός	γ (MN/m ³)	m_i	σ_{ci} (MPa)	E(GPa)	ϕ (°)	c(KPa)
Γνεύσιος	0,026	28+/- 5	100-250	40-120	23-29	32-35
Αμφιβολίτης	0,026	26+/-6	100-250	80-100	30-35	55-60

Πίνακας 1 Τυπικές τιμές παραμέτρων των σχηματισμών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης (Τροποποιημένο από Τσιαμπάος Γ. "Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων")

όπου γ το ειδικό βάρος του πετρώματος, m_i σταθερά η οποία εξαρτάται από το βαθμό αλληλοκλειδώματος των κόκκων, σ_{ci} η αντοχή μοναξονικής θλίψης, E το μέτρο παραμόρφωσης, ϕ η γωνία τριβής και c η συνοχή.

Η συνολική εικόνα της βραχόμαζας όμως επηρεάζεται από την παρουσία των ασυνεχειών και το διαφορετικό βαθμό αποσάθρωσης. Στην περίπτωση της Μονής Παντοκράτορα η βραχόμαζα παρουσιάζει μια έντονη ανισοτροπία λόγω της παρουσίας 3-4 επιφανειών διακλάσεων (κατά περίπτωση) και μιας εμμένουσας επιφάνειας ασυνέχειας (σχιστότητα). Επομένως τα μηχανικά χαρακτηριστικά αυτών των επιφανειών είναι καθοριστικά για την ευστάθεια της βραχόμαζας κι έτσι έγινε αναλυτική περιγραφή τους και προσδιορισμός της συνοχής και της γωνίας τριβής τους. Επιπρόσθετα έγινε και αξιολόγηση της επί τόπου αντοχής των πετρωμάτων που δομούν τη βραχόμαζα. Για τον προσδιορισμό της αντοχής τους σε ανεμπόδιστη θλίψη έγινε δειγματοληψία επιφανειακών δειγμάτων στα οποία εκτελέστηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης, εικόνα 45 και 47. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά η μονοαξονική αντοχή των γνευσίων κυμαίνεται από 11,9 - 36,6 MPa και των αμφιβολιτών από 7,6 – 55,5 MPa ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιφανειών σχιστότητας αλλά και το βαθμό αποσάθρωσης. Πρόκειται επομένως για πετρώματα μέσης αντοχής κατά ISRM που έχουν όμως σαφώς ανισότροπη συμπεριφορά ανάλογα με τον προσανατολισμό των επιφανειών σχιστότητας ως προς τη διεύθυνση επιβολής του φορτίου.



Εικόνα 45 Δοκιμή σημειακής φόρτισης σε δείγμα αμφιβολίτη, φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι



Εικόνα 46 Δοκιμή σημειακής φόρτισης σε δείγμα γνευσίου, φωτογραφίες από Triger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι

7.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά ασυνεχειών

Σύμφωνα με Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (I.S.R.M.,1981) η μηχανική συμπεριφορά των ασυνεχειών καθορίζεται από τα εξής χαρακτηριστικά τους:

- Προσανατολισμός
- Απόσταση
- Συνέχεια
- Τραχύτητα
- Άνοιγμα
- Υλικό πλήρωσης
- Παρουσία υπόγειου νερού

Στον πίνακα 2 που ακολουθεί φαίνεται ενδεικτικά ο τρόπος καταγραφής των χαρακτηριστικών αυτών για κάθε ασυνέχεια που εντοπίστηκε από την υπαίθρια έρευνα.

Κλίση	Βύθιση	Είδος	Απόσταση	Μήκος	Άνοιγμα	Τραχύτητα	Πλήρωση	Αποσάθρωση	Θέση
80	200	J	4	3	2	SM	0	2	1
89	6	J	3	2	1	SR	0	3	6
67	70	J	2	1	1	SR	0	4	9

Πίνακας 2 Παράδειγμα καταγραφής τεκτονικών στοιχείων

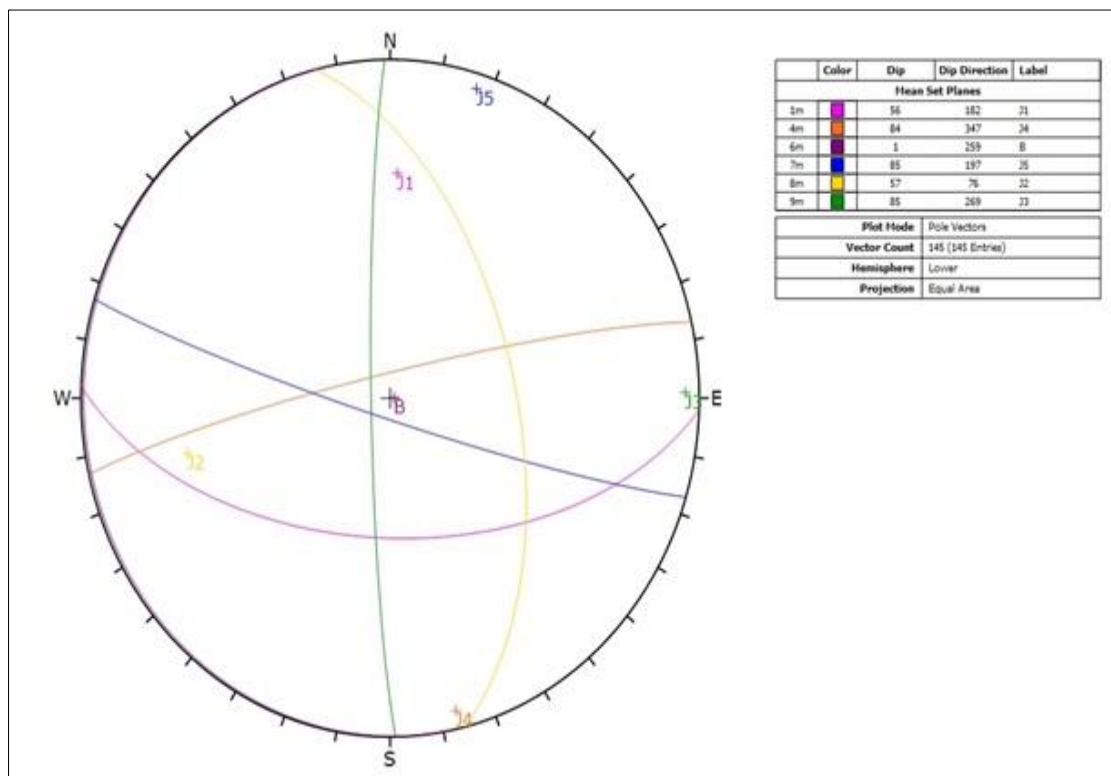
Για την αποκωδικοποίηση του παραπάνω πίνακα απαραίτητο είναι το παρακάτω υπόμνημα, εικόνα 47.

ΕΙΔΟΣ	F. ΡΗΓΜΑ	B. ΣΤΡΩΣΗ	J. ΔΙΑΚΛΑΣΗ	S. ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑ	SZ. ΖΩΝΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	
ΑΠΟΣΤΑΣΗ (m)	1. < 0,06	2. 0,06 – 0,2	3. 0,2 – 0,6	4. 0,6 – 2	5. >2	
ΜΗΚΟΣ (m)	1. < 1	2. 1 – 3	3. 3 – 10	4. 10 – 20	5. > 20	
ΑΝΟΙΓΜΑ	1. Κλειστή	2. < 0,1 mm	3. 0,1 – 1 mm	4. 1-5 mm	5. >5 mm	
ΝΕΡΟ	1. Ξηρή	2. Κηλίδες	3. Νωπή	4. Ροή περιοδική	5. Ροή συνεχής	
ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ	I	II	III	IV	V	VI
	Υγιής	Ελαφρά	Μέτρια	Έντονα	Πλήρως	Υ.Ε.
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	VR. Πολύ τραχεία	R. Τραχεία	S.R. Ελαφρά τραχεία	SM. Λεία	P. Στιλπνή	SL. Στιλπνή με γραμμώσεις
ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ	0. Κανένα	1. Στιφρό <5mm	2. Στιφρό >5mm	3. Μαλακό <5mm	4. Μαλακό >5mm	

Εικόνα 47 Υπόμνημα καταγραφής στοιχείων ασυνεχειών στο υπαίθριο

Οι ασυνέχειες που καταγράφηκαν στην υπαίθρια χαρτογράφηση ανήκουν όπως αναφέρθηκε σε 5 συστήματα διακλάσεων και μιας σχιστότητας,. Πρόκειται για 6 κύρια επίπεδα ασυνεχειών, εικόνα 50, των οποίων η κλίση/διεύθυνση κλίσης μετρημένη με γεωλογική πυξίδα είναι:

- J1: 056°/182°
- J2: 057°/076°
- J3: 085°/269°
- J4: 084°/347°
- J5: 085°/197°
- B: 001/259°



Εικόνα 48 Κύρια συστήματα ασυνεχειών και για τις δύο θέσεις-καταγραφή από την υπαίθρια έρευνα

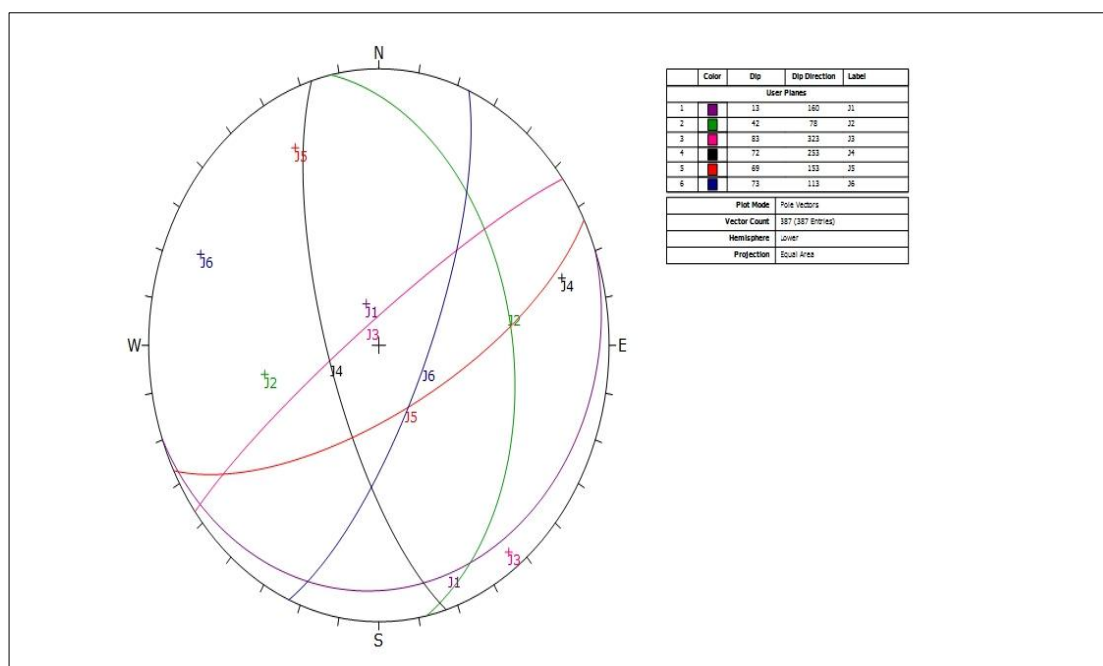
Οι αντίστοιχες αποστάσεις των επιπέδων αυτών είναι:

- J1: 0,2-1,3m
- J2: 0,2-1,3m
- J3: 1,3m
- J4: 0,4-1,3m
- J5: 0,2-1,3m
- B: 0,2m

Επικρατεί δηλαδή μεγάλη απόσταση ασυνεχειών εκτός από την περίπτωση των επιπέδων σχιστότητας η οποία είναι μικρή.

Ο υπολογισμός του μέσου όρου της απόστασης έγινε και με το λογισμικό Spli-Fx για κάθε σύστημα ασυνέχειας και στις δύο προαναφερθείσες θέσεις, 2 και 9.

Τα αποτελέσματα εξήχθησαν από τα 7 κύρια συστήματα ασυνεχειών τα οποία φαίνονται στο στερεοδιάγραμμα της εικόνας 49 και αφορούν συνολικά και τις δύο θέσεις.



Εικόνα 49 Τεκτονικό διάγραμμα των κύριων επιπέδων ασυνεχειών στις θέσεις 2 και 9 της περιοχής μελέτης με την συσκευή του LIDAR.

Τα αποτελέσματα αυτής της μέτρησης είναι:

- J1: 0,04-0,17m
- J2: 1,3-2,3m
- J3: 0,3-1m
- J4: 0,3-0,9m
- J5: 0,2-1,3m
- J6: 0,3-1,2m

Παρατηρείται **σημαντική συσχέτιση** με τις υπαίθριες μετρήσεις.

Όσον αφορά την εμμόνη των ασυνεχειών πρόκειται για διακλάσεις με σημαντική εμμόνη και μία επίσης εμμένουσα σχιστότητα.

Η αντοχή μετρήθηκε με τη βοήθεια της σφύρας Schmidt και αποτυπώνεται στον πίνακα 3.

Η τραχύτητα με βάση τα προφιλόμετρα για JRC_{20mm} και JRC_{100mm} εντοπίζεται ως:

- J1: κλιμακωτή τραχεία
- J2: κυματοειδής τραχεία
- J3: κυματοειδής τραχεία
- J4: επίπεδη ολισθηρή
- J5: επίπεδη λεία
- B: επίπεδη λεία.

Οι ασυνέχειες χαρακτηρίζονται κατά κύριο λόγο ως κλειστές με κάποιες από αυτές να είναι ανοικτές με 1-5mm άνοιγμα.

Υλικό πλήρωσης θεωρείται ότι δεν υπάρχει.

Τέλος οι ασυνέχειες θεωρούνται εντελώς ξηρές, με παντελή απουσία υγρασίας.

7.3 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση - συμπεριφορά της βραχομάζας

Με την βοήθεια της τραχύτητας και της αντοχής των επιφανειών ασυνέχειας (με τη βοήθεια της σφύρας Schmidt) έγινε υπολογισμός της γωνίας τριβής ϕ , για κάθε κύριο επίπεδο, σύμφωνα με το κριτήριο Barton(1977)

$$\tau = \sigma' \cdot \tan \left(\text{JRC} \cdot \log \frac{\text{JCS}}{\sigma'} + \phi_b \right), \text{ Πίνακας 3.}$$

Σημειώνεται ότι η γωνία ϕ_b πάρθηκε βιβλιογραφικά και η συνοχή c κατά μήκος των ασυνεχειών θεωρείται μηδέν.

Σύστημα ασυνεχειών	J1	J2	J3	J4	J5	B
ϕ_b (°)	26	26	26	26	26	26
JRC	20	14	14	0,5	1,5	1,5
JCS	8,5	28,5	28,5	39	10,5	15
ϕ (°)	37	42	42	27	27	27

Πίνακας 3 Βασικές παράμετροι ασυνεχειών σύμφωνα με το κριτήριο Barton(1977)

Δεν θεωρήθηκε σκόπιμο να ορισθεί ο δείκτης GSI για την βραχομάζα διότι όπως αναφέρθηκε αυτή δεν πρόκειται να αστοχήσει ισότροπα αλλά κατά μήκος μιας ασυνέχειας ή της τομής αυτών(ανισότροπη συμπεριφορά). Αυτή η ανισότροπη συμπεριφορά μελετήθηκε παρακάτω όπου από τα τεκτονικά διαγράμματα εκτελέστηκε κινηματική ανάλυση σε κάθε θέση με δεδομένα του LIDAR αλλά και με αυτά της υπαίθριας παρατήρησης για τον προσδιορισμό των δυνητικών αστοχιών.

7.4 Ταξινόμηση βραχομάζας με βάση το SMR Romana (1985, 1995)

Έγινε ταξινόμηση της βραχομάζας με βάση το σύστημα ταξινόμησης SMR(Slope mass rating), Romana (1985, 1995) ,τόσο με βάση τα δεδομένα υπαίθρου όσο και με αυτά της μεθόδου LIDAR. Το σύστημα SMR βοηθά στο χαρακτηρισμό της ευστάθειας ενός πρανούς, στον προσδιορισμό των πιθανότερων μηχανισμών αστοχίας που αναμένεται να εκδηλωθούν και των μέτρων αντιστήριξης που είναι απαραίτητα. Ο υπολογισμός του γίνεται με τη βοήθεια του συστήματος ταξινόμησης βραχομάζας RMR, Bieniawski (1989), ο οποίος αντανάκλα τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχομάζας και με κάποιους επιπλέον παράγοντες οι οποίοι περιγράφουν τις σχέσεις πρανούς-ασυνέχειας.

Αρχικά υπολογίστηκε ο ογκομετρικός βαθμός κατακερματισμού(volumetric joint count) J_v , Palmstrom, (1982) σύμφωνα με τον τύπο:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n}$$

όπου $S_1, S_2, \dots, S_n$ η μέση απόσταση για κάθε σύστημα ασυνεχειών.

Τα αποτελέσματα του οποίου φαίνονται στον πίνακα 4.

J_v	ΘΕΣΗ	
	2	9
δεδομένα υπαίθρου	7,1	8,84
δεδομένα από LIDAR	13,4	14,5

Πίνακας 4 Αποτελέσματα υπολογισμού J_v

Με τη βοήθεια του J_v έγινε υπολογισμός του δείκτη RQD και για τις δύο περιπτώσεις, πίνακας 5, ο οποίος σύμφωνα με τον Palmstrom(1975) βρίσκεται με τη σχέση

$$RQD = 110 - 2,5 J_v.$$

Αυτός ο τύπος χρησιμοποιήθηκε μιας και δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από γεωτρήσεις στην περιοχή. Τα αποτελέσματα της υπαίθριας έρευνας δείχνουν μια βραχώμαζα καλή έως εξαιρετική στις θέσεις 2 και 9 αντίστοιχα, ενώ σύμφωνα με δεδομένα της συσκευής LIDAR εκτιμάται ότι αυτή είναι μέτρια έως καλή, σύμφωνα με τον πίνακα 6.

RQD (%)	ΘΕΣΗ	
	2	9
δεδομένα υπαίθρου	92,2	87,8
δεδομένα από LIDAR	76,4	73,6

Πίνακας 5 Αποτελέσματα υπολογισμού RQD

RQD(%)	Ποιότητα πετρώματος
0-25	πολύ πτωχή
25-50	πτωχή
50-75	μέτρια
75-90	καλή
90-100	εξαιρετική

Πίνακας 6 Χαρακτηρισμός πετρώματος με βάση τον δείκτη RQD, Deere(1964)

Υπολογίσθηκε έτσι ο δείκτης RMR_{bas} , Bieniawski (1989) για κάθε μεθοδολογία και σε κάθε πρηνές σύμφωνα με τις παραμέτρους που φαίνονται στην εικόνα 50

A. Classification Parameters And Their Ratings							
PARAMETER		RANGES OF VALUES					
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range uniaxial compressive test is preferred
		Uniaxial compressive strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5-25 MPa 1-5 MPa < 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2 1 0
2	Drill core quality RQD		90%-100%	75% -90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%
	Rating		20	17	13	8	3
3	Spacing of discontinuities		>2m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	<60 mm
	Rating		20	15	10	8	5
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces Or Gouge < 5 mm thick Or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick Or Separation > 5 mm. Continuous
	Rating		30	25	20	10	0
5	Ground water	Inflow per 10 m tunnel length	None	<10 litres/min	10-25 litres/min	5 - 125 litres/min	>125 litres/min
		Ratio= (Joint water pressure)/ (major principal stress)	0	0,0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
	Rating		15	10	7	4	0
B Rating Adjustment For Joint Orientations							
Strike and dip orientations of joints		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable	
Ratings	Tunnels	0	-2	-5	-10	-12	
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25	
	Slopes	0	-5	-25	-50	-60	

Εικόνα 50 Ταξινόμηση RMR, Bieniawski (1989)

όπου RMR_{bas} : η βασική βαθμολογία της βραχώμαζας σύμφωνα με το σύστημα RMR (δηλαδή δεν έχει ληφθεί υπόψη η απομείωση από τον προσανατολισμό των ασυνεχειών)

RMR	ΘΕΣΗ	
	2	9
δεδομένα υπαίθρου	82	82
δεδομένα από LIDAR	82	73

Πίνακας 7 Αποτελέσματα υπολογισμού RMR_{bas}

Τέλος έγινε υπολογισμός του SMR(Slope mass rating), Romana (1985, 1995). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται για κάθε θέση και για κάθε ασυνέχεια. Γίνεται με τη βοήθεια του RMR και με κάποιους επιπλέον παράγοντες οι οποίοι περιγράφουν τη σχέση πρανούς-ασυνέχειας και ενός παράγοντα ανάλογου του τρόπο εκσκαφής, μέσα από τον τύπο:

$$SMR = RMR_{bas} - (F_1 \cdot F_2 \cdot F_3) + F_4$$

όπου

F_1 :αριθμητικός παράγοντας που αναφέρεται στην παραλληλότητα μεταξύ της διεύθυνσης των ασυνεχειών και της διεύθυνσης του μετώπου του πρανούς και ο οποίος κυμαίνεται από 1 (ασυνέχειες παράλληλες στο πρανές) μέχρι 0.15 (γωνία ασυνεχειών και μετώπου του πρανούς μεγαλύτερη των 30°)

F_2 :αριθμητικός παράγοντας που αξιολογεί την πιθανότητα εκδήλωσης ολίσθησης με βάση την κλίση των ασυνεχειών, ο οποίος κυμαίνεται από 1 (ασυνέχειες με κλίση $>45^\circ$) μέχρι 0.15 (ασυνέχειες με κλίση $<20^\circ$)

F_3 :αριθμητικός παράγοντας που αναφέρεται στη σχέση μεταξύ της γωνίας κλίσης του μετώπου του πρανούς και της κλίσης των ασυνεχειών.

F_4 :παράγοντας που αξιολογεί τη μέθοδο εκσκαφής η οποία έχει άμεση επίδραση στην χαλάρωση της βραχώμαζας.

Οι υπολογισμοί των παραπάνω παραγόντων γίνονται με τη βοήθεια των πινάκων 8 και 9.

Περίπτωση		Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$>30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180 $					
P/T	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$>45^\circ$
P	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1
T	F2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$>10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0^\circ - (-10^\circ)$	$<-10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$<110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$>120^\circ$	...	...
P/T	F3	0	6	25	50	60

Πίνακας 8 Ταξινόμηση βραχώμαζας για βραχώδη πρανή SMR, Συντελεστές F_1, F_2, F_3 , Τροποποιημένο Romana(1985) όπου P: επίπεδη ολίσθηση, T: ανατροπή, , α_s : φορά κλίσης πρανούς, α_j : φορά κλίσης ασυνέχειας, β_s : κλίση πρανούς, β_j : κλίση ασυνέχειας

Για τον παράγοντα F_4 ισχύει:

Μέθοδος	Φυσικό πρανές	Πρότμηση	Λείων τοιχωμάτων	Εκρηκτικά μηχανικά ή	Ατελή εκρηκτικά
F4	15	10	8	0	-8

Πίνακας 9 Ταξινόμηση βραχώδους για βραχώδη πρανή SMR, Συντελεστής F4, Τροποποιημένο Romana(1985)

Στην συγκεκριμένη περίπτωση θεωρήθηκε ότι $F_4=0$.

Με βάση τις παραπάνω παραμέτρους προέκυψε με την υπαίθρια έρευνα:

ΘΕΣΗ	ΑΣΤΟΧΙΑ	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ				ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ	ΑΣΤΟΧΙΕΣ	ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ
		J1	J2	J3	B			
2	P	77,8	82		80,7	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
	T	81,1	60,8		82	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
9	P	40	73	81	80,7	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
	T	78,3	78,3	78	82	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ

Πίνακας 10 Αποτελέσματα συστήματος ταξινόμησης SMR με βάση δεδομένα υπαίθρου

Ενώ με τα δεδομένα του LIDAR:

ΘΕΣΗ	ΑΣΤΟΧΙΑ	ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ				ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ	ΑΣΤΟΧΙΕΣ	ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗ
		J1	J2	J3	J4			
2	P	81,9	80,7	47	82	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
	T	78,3	82	82	72	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
9	P	72,1	65,5	64	71,7	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ
	T	69,3	69,3	69	73	ΕΥΣΤΑΘΗΣ	ΛΙΓΑ ΜΠΛΟΚ	ΠΕΡΙΣΤΑΣΙΑΚΗ

Πίνακας 11 Αποτελέσματα συστήματος ταξινόμησης SMR με βάση δεδομένα της μεθόδου LIDAR

Παρατηρείται λοιπόν μία ταύτιση στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων τα οποία δίνουν κατά βάση βραχύμαζα κατηγορίας II κατά Romana(1985), πίνακας 12, πράγμα που σημαίνει μερικές αστοχίες και περιστασιακή αντιστήριξη.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΩΝ SMR					
Κατηγορία	V	IV	III	II	I
SMR	0 – 20	21 – 40	41 – 60	61 – 80	81 – 100
Περιγραφή	Πολύ πτωχή	Πτωχή	Μέτρια	Καλή	Πολύ καλή
Ευστάθεια	Τελείως ασταθές	Ασταθές	Μερικά σταθερό	Σταθερό	Τελείως σταθερό
Ολισθήσεις	Εκτεταμένες επίπεδες ή εδαφικού τύπου	Επίπεδες ή εκτεταμένες σφήνες	Πολλές σφήνες	Μερικά τεμάχη	Καμία
Μέτρα προστασίας	Τοίχος βαρύτητας ή τοίχος με αγκύρωση. Επανεκσκαφή	Οπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, τοίχος αναχαίτισης, επανεκσκαφή, βαθιά αποστράγγιση	Τάφος και πλέγμα, τοίχος αναχαίτισης, αγκυρώσεις	Τάφος, πλέγμα, σποραδικές αγκυρώσεις	Κανένα

Τροποποιημένο από Romana(1985)

Πίνακας 12 Περιγραφή κατηγοριών SMR, Τροποποιημένο από Romana(1985)

8. Διερεύνηση πιθανών μηχανισμών αστοχίας

8.1 Γενικά

Για τη διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας ενός πρανούς γίνεται χρήση του στερεοδιαγράμματος Schmidt όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 2 δηλαδή έλεγχος των πιθανών αστοχιών μιας βραχύμαζας συγκεκριμένου προσανατολισμού, με συγκεκριμένες επιφάνειες ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις, σχιστότητα) όταν δρουν πάνω της μόνο δυνάμεις βαρύτητας. Η τεχνική αυτή μπορεί να γίνει παραδοσιακά με το χέρι αλλά και με τη βοήθεια ειδικών λογισμικών. Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Dips 6.0 της Rocscience.

Η εργασία αυτή περιλαμβάνει ορισμένα στάδια. Αρχικά περνιούνται επάνω στο στερεοδιάγραμμα οι ασυνέχειες ως πόλοι (σημειακή πληροφορία) και στη συνέχεια ορίζονται τα κύρια επίπεδα αυτών(major planes) με βάση τις συγκεντρώσεις τους στο δίκτυο Schmidt, όπως έγινε στα κεφάλαια 5 και 6. Στη συνέχεια τοποθετείται το πρανές ως επιφανειακό στοιχείο και η γωνία τριβής του υπό εξέταση κύριου επιπέδου, ανάλογα με το ποια οικογένεια ασυνεχειών εξετάζεται. Στη συνέχεια πραγματοποιείται κινηματική ανάλυση για τις εξής περιπτώσεις:

Επίπεδη ολίσθηση

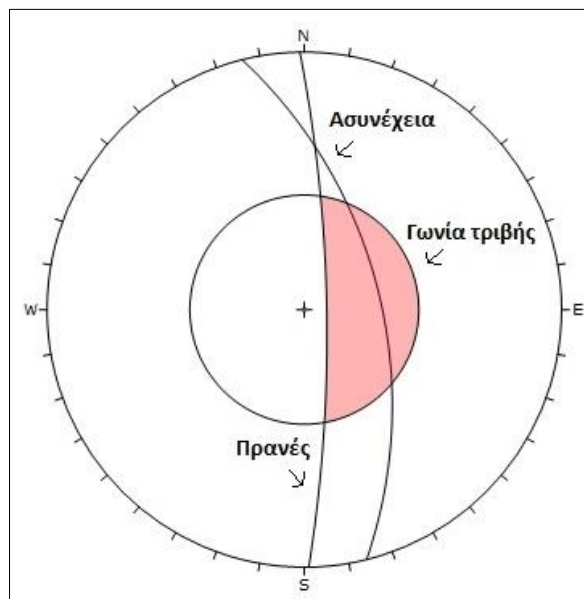
Σημαντική συνθήκη για την ύπαρξη δυνητικής επίπεδης αστοχίας είναι η γωνία κλίσης του πρανούς φ_{π} να είναι μεγαλύτερη από την γωνία κλίσης του επιπέδου της ασυνέχειας φ_{α} και οι δύο μεγαλύτερες από την γωνία τριβής φ , Markland(1972), δηλαδή να ισχύει η σχέση:

$$\varphi_{\pi} > \varphi_{\alpha} > \varphi$$

Με λίγα λόγια για να υπάρξει κίνδυνος επίπεδης αστοχίας θα πρέπει η επιφάνεια της ασυνέχειας αυτής να "ανατέλλει" στην επιφάνεια του πρανούς, άρα να βυθίζεται με γωνία μικρότερη από αυτό.

Τέλος θα πρέπει η ασυνέχεια να έχει περίπου ($\pm 20^{\circ}$ διαφορά) παράλληλη διεύθυνση και φορά με το πρανές.

Με τη βοήθεια του λογισμικού που αναφέρθηκε μια τυπική εικόνα επίπεδης ολίσθησης φαίνεται παρακάτω, εικόνα 51. Ασυνέχειες οι οποίες περικλείονται μέσα στο χρωματισμένο πεδίο είναι πιθανό να ολισθήσουν. Στον υπολογισμό της θα μπορούσαν να μπουν και πλευρικά όρια.



Εικόνα 51 Δυνητική επίπεδη ολίσθηση χωρίς πλευρικά όρια

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν πλευρικά όρια $\pm 20^{\circ}$ και έγινε κινηματική ανάλυση με βάση τους πόλους (pole mode) και όχι τη βύθιση (dip mode).

Σφηνοειδής ολίσθηση

Στην περίπτωση αυτή ενεργοποιείται ο σχηματισμός διέδρου από συνδυασμό δύο ασυνεχειών το οποίο ολισθαίνει κατά την ακμή του.

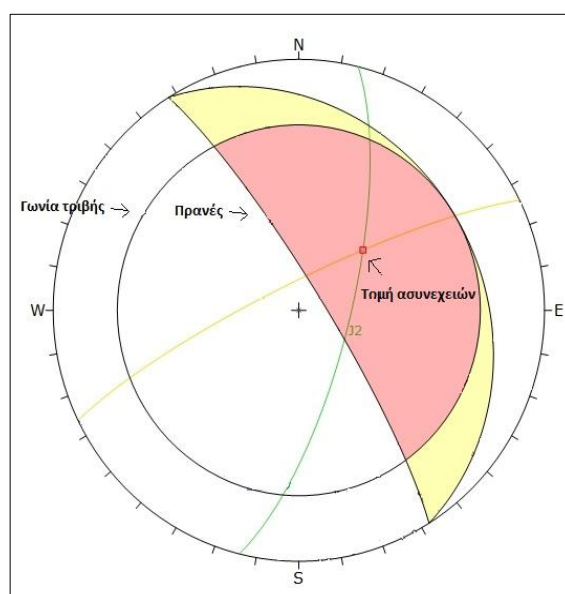
Εξετάζονται τα κύρια επίπεδα των ασυνεχειών, ανά δύο, ως προς τον σχηματισμό σημείων τομής και ελέγχεται εάν η γωνία κλίσης του πρανούς φ_{π} είναι μεγαλύτερη

από την γωνία κλίσης της γραμμής τομής των ασυνεχειών φ_t που σχηματίζουν την δυνητική βραχώδη σφήνα και εάν είναι και οι δύο μεγαλύτερες από τη δρώσα γωνία τριβής φ , Markland(1972), δηλαδή να ισχύει η σχέση:

$$\varphi_{\pi} > \varphi_t > \varphi$$

Με λίγα λόγια για να υπάρξει κίνδυνος σφηνοειδούς αστοχίας θα πρέπει η γραμμή τομής των ασυνεχειών να "ανατέλλει" στην επιφάνεια του πρανούς, άρα να βυθίζεται με γωνία μικρότερη από αυτό. Ταυτόχρονα θα πρέπει αυτή η γωνία να είναι μεγαλύτερη της δρώσας γωνίας τριβής τους.

Με τη βοήθεια του λογισμικού που αναφέρθηκε μια τυπική εικόνα σφηνοειδούς ολίσθησης φαίνεται παρακάτω, εικόνα 52. Ασυνέχειες οι οποίες περικλείονται μέσα στο ροζ πεδίο είναι πιθανές να ολισθήσουν. Στον υπολογισμό της θα μπορούσαν να μπουν και τα πλευρικά όρια $\pm 20^\circ$.



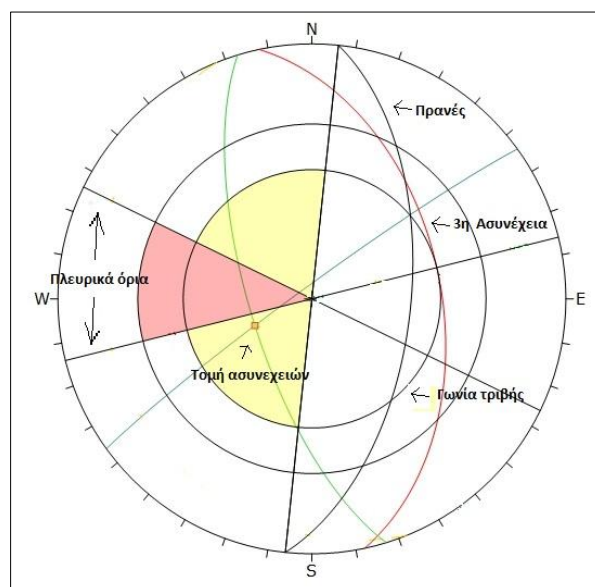
Εικόνα 52 Δυνητική σφηνοειδής ολίσθηση χωρίς πλευρικά όρια

Περίπτωση αποτελεί η αστοχία μιας βραχώδους σφήνας η οποία ολισθαίνει σε επαφή με ένα από τα δύο επίπεδα μόνο και όχι κατά την τομή αυτών. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για επίπεδη αστοχία.

Στην παρούσα διατριβή έγινε και πάλι κινηματική ανάλυση σε pole mode και εμφάνιση των τομών όλων των κύριων/μέσων επιπέδων ασυνεχειών μεταξύ τους (User and Mean Set Planes) για να είναι άμεσα αντιληπτές οι ασυνέχειες οι οποίες συμβάλλουν στη δημιουργία σφήνας.

Ανατροπή

Υπάρχουν δύο είδη ανατροπής. Η άμεση ανατροπή (direct toppling) και η ανατροπή αφού πρώτα τα διαχωριζόμενα τεμάχια υποστούν κάμψη(flexural toppling). Με τη βοήθεια των λογισμικών στην περίπτωση του direct toppling βλέπουμε ότι χρειάζονται δύο κύρια επίπεδα τα οποία να τέμνονται και η τομή να βυθίζεται προς το πρηνές σχηματίζοντας διακριτά μπλοκ και ένα τρίτο επίπεδο, σχεδόν οριζόντιο, να λειτουργεί ως "επίπεδο απελευθέρωσης" για τα συγκεκριμένα μπλοκ, εικόνα 53. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το πρόγραμμα επιλέγει αυτόματα τη χρήση πλευρικών ορίων. Ασυνέχειες οι οποίες περικλείονται μέσα στο χρωματισμένο πεδίο είναι πιθανό να ολισθήσουν.



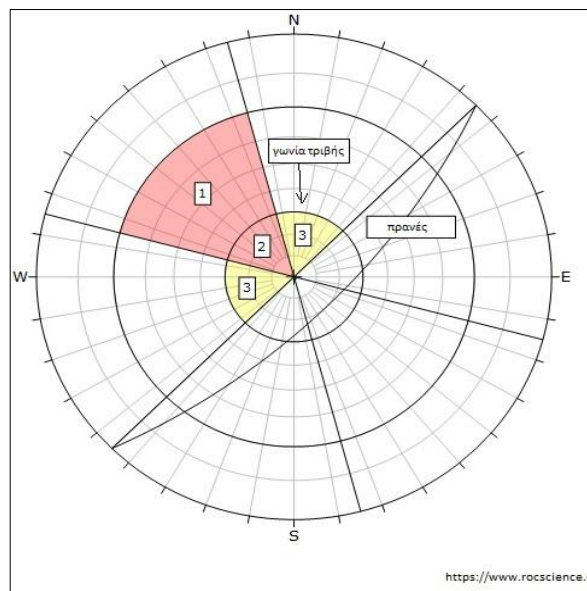
Εικόνα 53 Δυνητική ολίσθηση από ανατροπή (direct toppling)

Σύμφωνα με το λογισμικό Dips 6.0 της Rocscience η κινηματική ανάλυση χωρίζει τρεις περιοχές επάνω στο δίκτυο, εικόνα 54.

Οι τομές ασυνεχειών που απεικονίζονται μέσα στο τμήμα 1 και 2 είναι υπεύθυνες για δημιουργία μπλοκ ικανών να ανατραπούν. Το εξωτερικό όριο του τμήματος 1 απέχει από τα όρια του δικτύου μοίρες ίσες με 90° μείον την κλίση πρηνούς. Η διαχωριστική γραμμή μεταξύ του τμήματος 1 και δύο είναι η γωνία τριβής της ασυνέχειας.

Οι τομές των ασυνεχειών που απεικονίζονται στο τμήμα 3, εικόνα 54, αναφέρονται ως υπεύθυνες για "πλάγια" ανατροπή. Τα εξωτερικά όρια του τμήματος αυτού είναι και πάλι η γωνία τριβής.

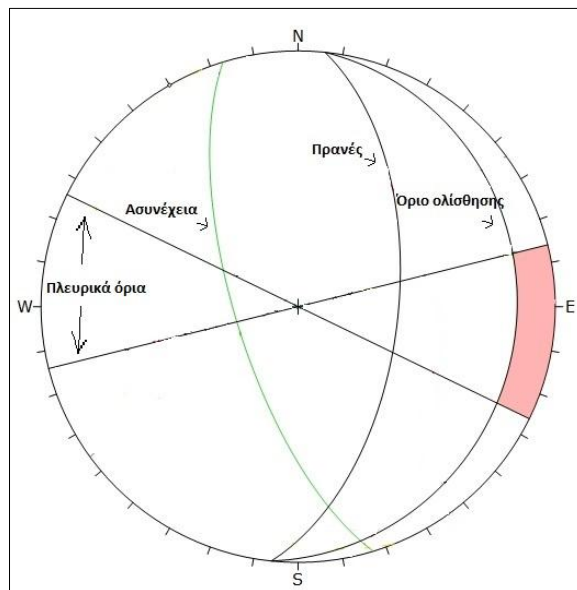
Οποιοσδήποτε πόλος υπάρχει στα τμήματα 2 και 3 αντιπροσωπεύει επιφάνεια η οποία δρα ως επιφάνεια απελευθέρωσης για τα μπλοκ που σχηματίζονται. Το ίδιο ισχύει και για τους πόλους του τμήματος 1 με τη διαφορά ότι επειδή οι τελευταίοι είναι εκτός του πεδίου που ορίζει η γωνία τριβής υποδεικνύουν επίπεδα που μπορούν και να ολισθαίνουν.



Εικόνα 54 Κύριες και δευτερεύουσες ζώνες του direct toppling, <https://www.rocsience.com>

Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιήθηκαν πλευρικά όρια $\pm 20^\circ$ και εμφάνιση όλων των τομών που δημιουργούνται από επίπεδα που ανήκουν στις καθορισμένες οικογένειες ασυνεχειών (All Set Planes).

Στην περίπτωση του flexural toppling θα πρέπει η φορά κλίσης της ασυνέχειας στο δίκτυο Schmidt να είναι αντίρροπη της φοράς κλίσης του πρανού και με διεύθυνση κλίσης $\pm 20^\circ$ αυτής του πρανού. Επιπλέον η γωνία κλίσης της ασυνέχειας να είναι πολύ μεγάλη ($> 70^\circ$). Επιλέγονται και εδώ τα πλευρικά όρια αυτομάτως. Στην περίπτωση αυτή ολίσθηση θα πραγματοποιηθεί για ασυνέχειες οι οποίες βρίσκονται εντός του πεδίου μεταξύ του ορίου ολίσθησης, του ορίου του στερεοδιαγράμματος και των πλευρικών ορίων. Το όριο ολίσθησης έχει γωνία κλίσης ίση με την γωνία κλίσης του πρανού μείον τη γωνία τριβής και διεύθυνση κλίσης ίδια με αυτή του πρανού, εικόνα 55. Και σε αυτή την περίπτωση ασυνέχειες οι οποίες περικλείονται μέσα στο χρωματισμένο πεδίο είναι πιθανό να ολισθήσουν.

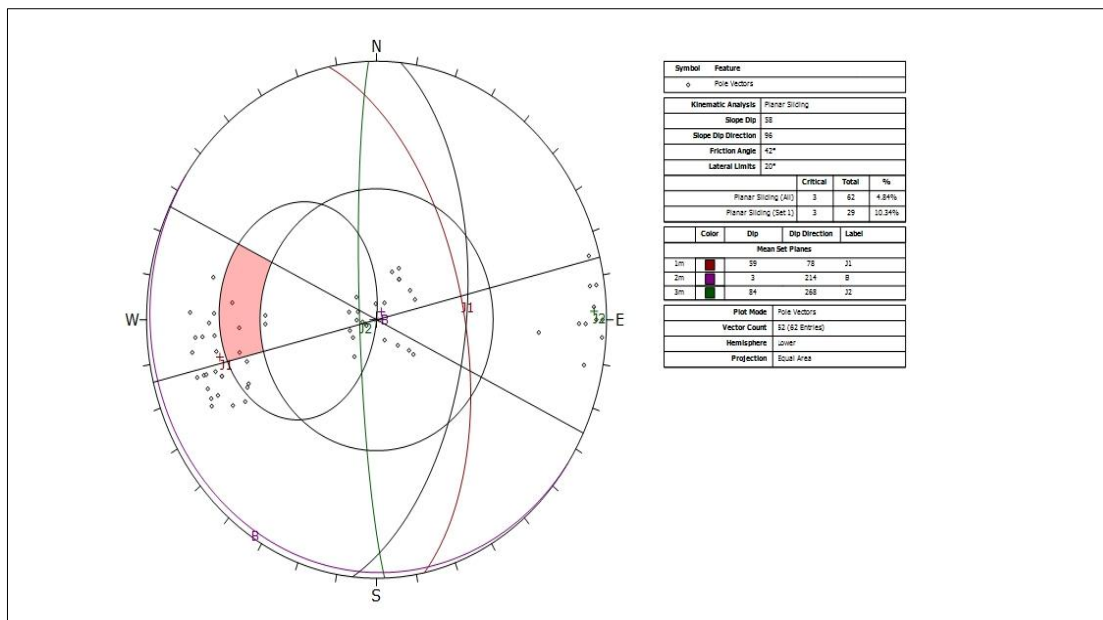


Εικόνα 55 Δυνητική ολίσθηση από ανατροπή (Flexural toppling)

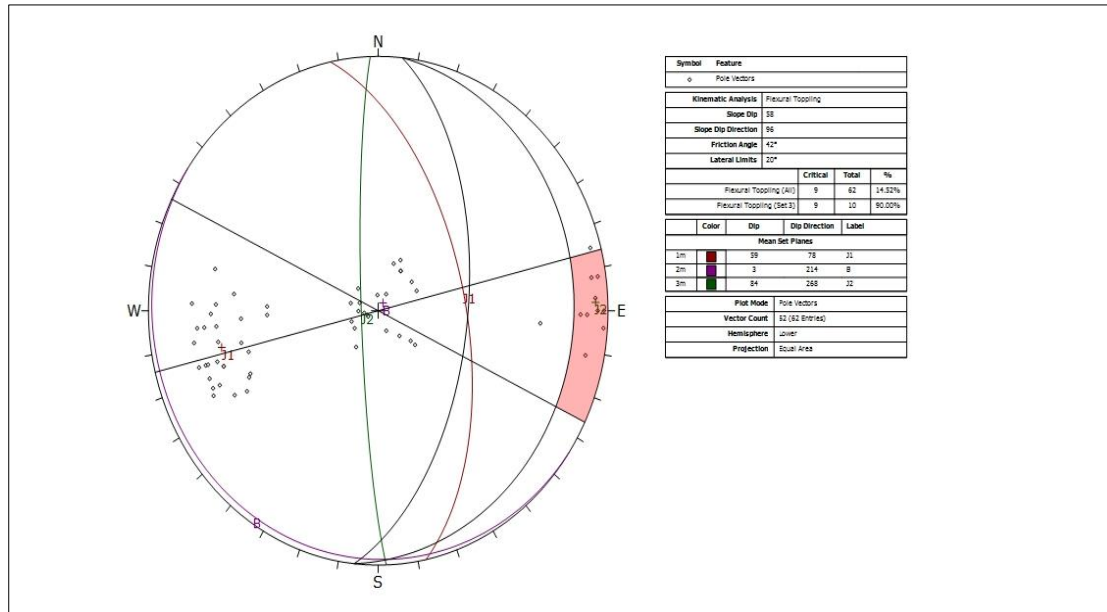
8.2 Κινηματική ανάλυση ανά θέση

Με βάση τα τεκτονικά διαγράμματα τα οποία αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 5 και 6 πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση για κάθε θέση ξεχωριστά και για τις δύο τεχνικές.

Έτσι με τα δεδομένα από την υπαίθρια έρευνα προκύπτει για τη θέση 2 με στοιχεία πρανούς $058^\circ/096^\circ$:



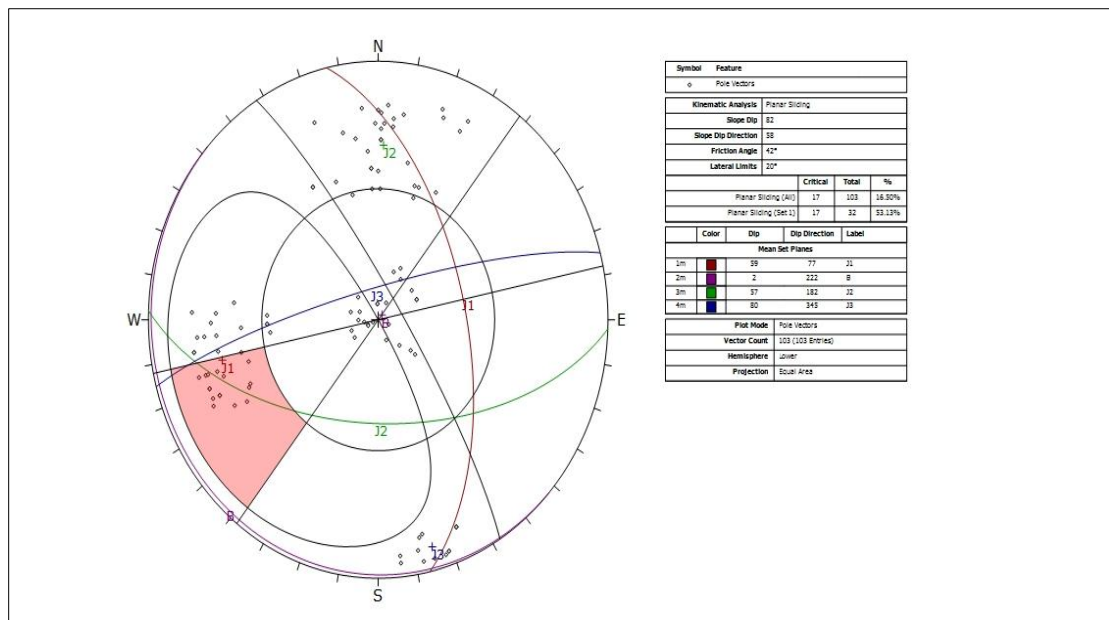
Εικόνα 56 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 2(δεδομένα υπαίθρου)



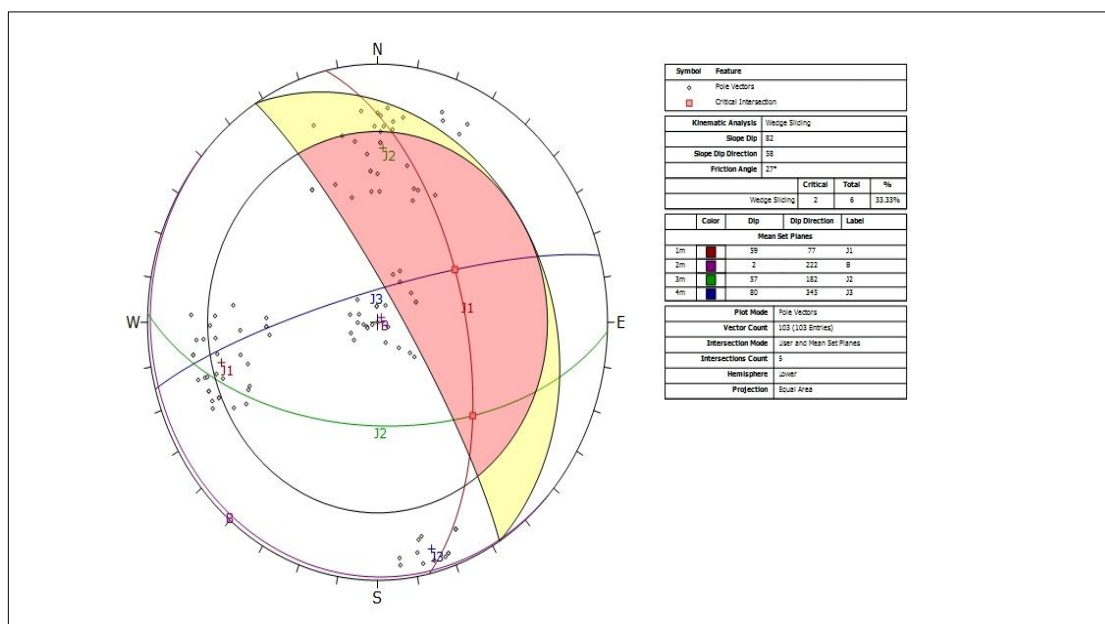
Εικόνα 57 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα υπαίθρου)

Προκύπτει δηλαδή μία δυνητική επίπεδη ολίσθηση κατά το επίπεδο ασυνέχειας με κλίση/διεύθυνση κλίσης $059^{\circ}/078^{\circ}$ και μία ανατροπή κατά το επίπεδο $84^{\circ}/268^{\circ}$.

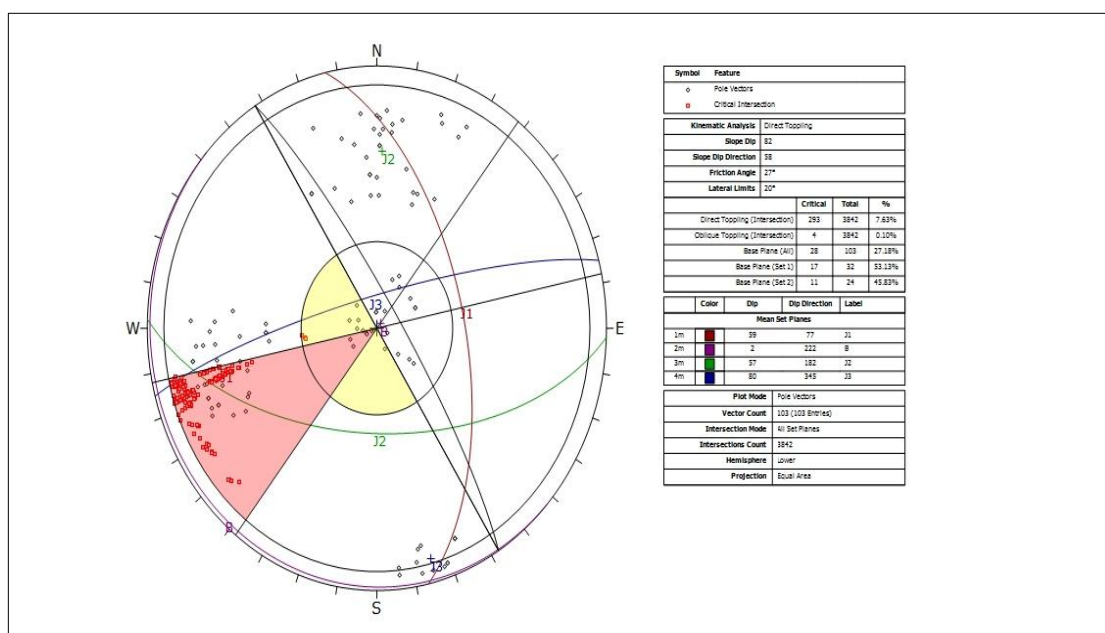
Ομοίως για τη θέση 9 με στοιχεία πρανούς $082^{\circ}/058^{\circ}$:



Εικόνα 58 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)



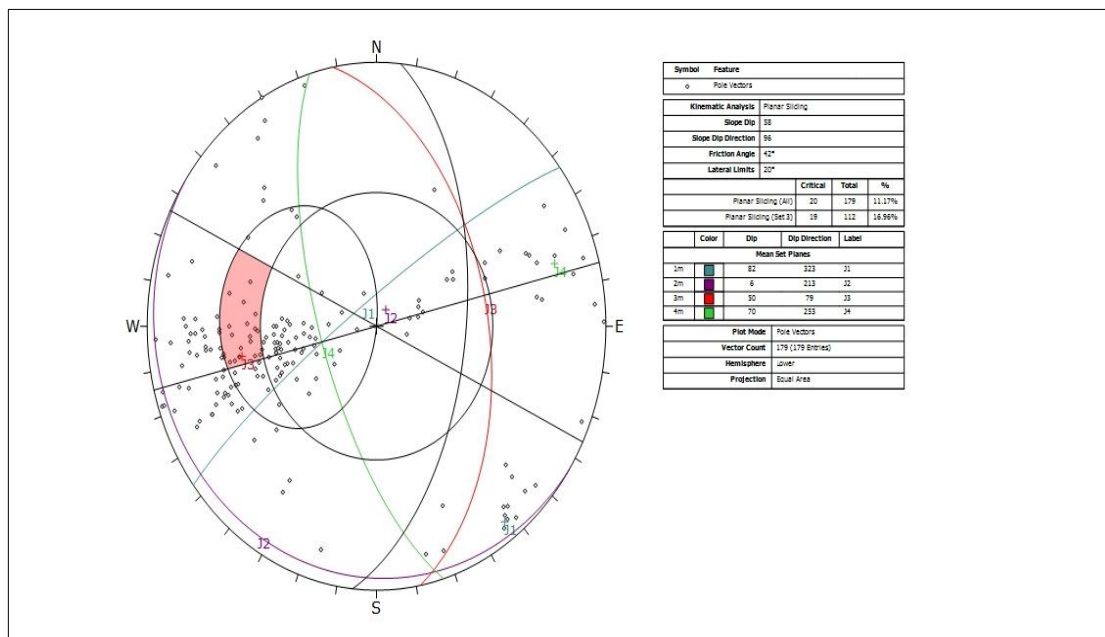
Εικόνα 59 Δυνητική σφηνοειδής αστοχία-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)



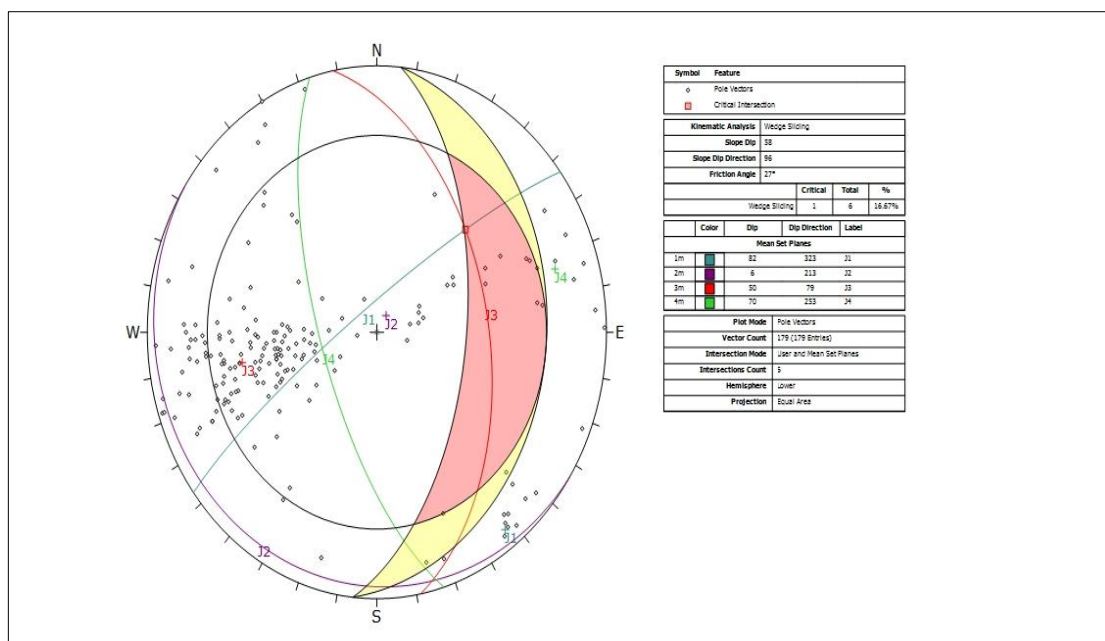
Εικόνα 60 Δυνητική ανατροπή-θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)

Στη θέση 9 προέκυψε μία δυνητική επίπεδη αστοχία κατά το επίπεδο ασυνέχειας με κλίση/διεύθυνση κλίσης $059^{\circ}/077^{\circ}$, μία σφηνοειδής επί της τομής των επιπέδων $080^{\circ}/345^{\circ}$ και $059^{\circ}/077^{\circ}$ όπως και μία ακόμη επί της τομής των επιπέδων $057^{\circ}/182^{\circ}$ και $059^{\circ}/077^{\circ}$ και μία ανατροπή επί της τομής των επιπέδων $057^{\circ}/182^{\circ}$ και $080^{\circ}/345^{\circ}$.

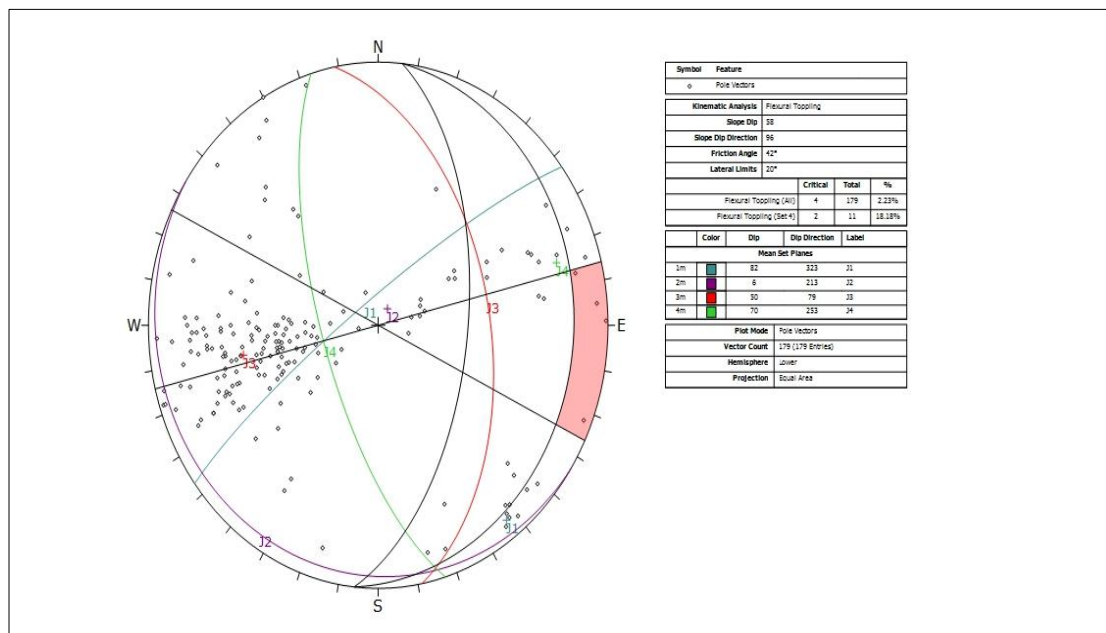
Με τα δεδομένα από τη σάρωση με τη συσκευή LIDAR προκύπτει για τη θέση 2:



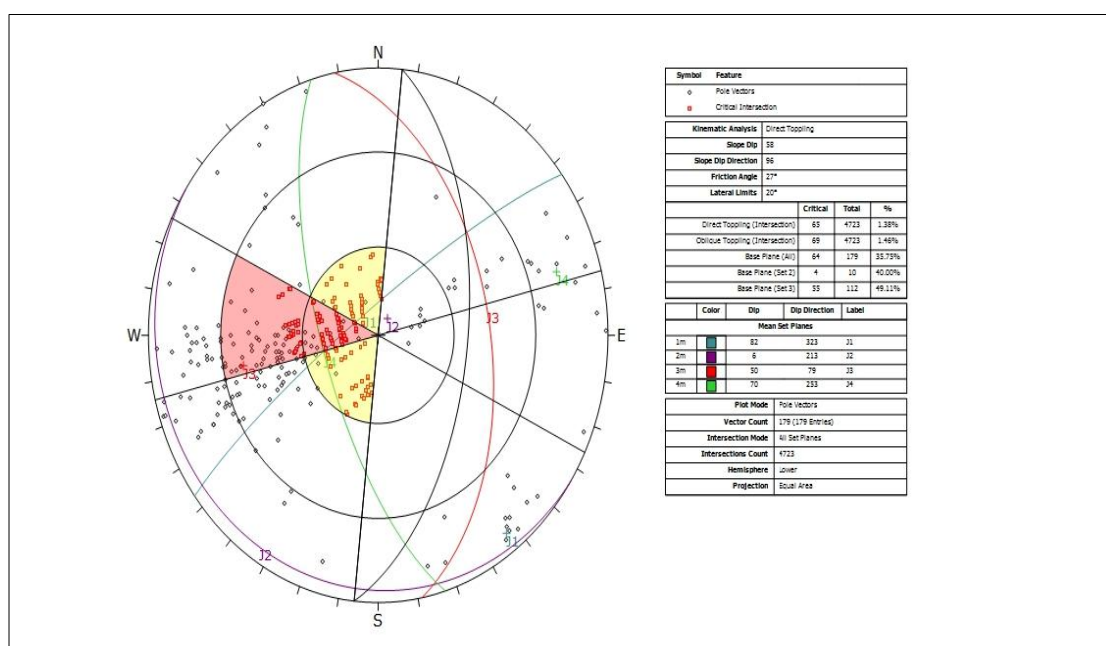
Εικόνα 61 Δυνητική επίπεδη αστοχία-θέση 2(δεδομένα LIDAR)



Εικόνα 62 Δυνητική σφηνοειδής ολίσθηση-θέση 2(δεδομένα LIDAR)



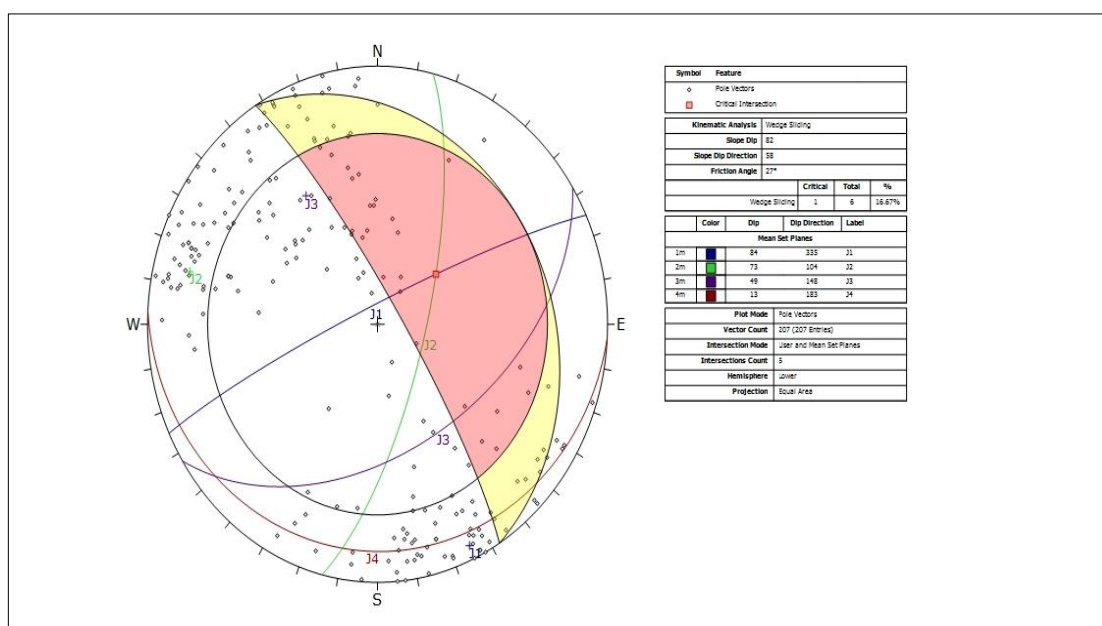
Εικόνα 63 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα LIDAR)



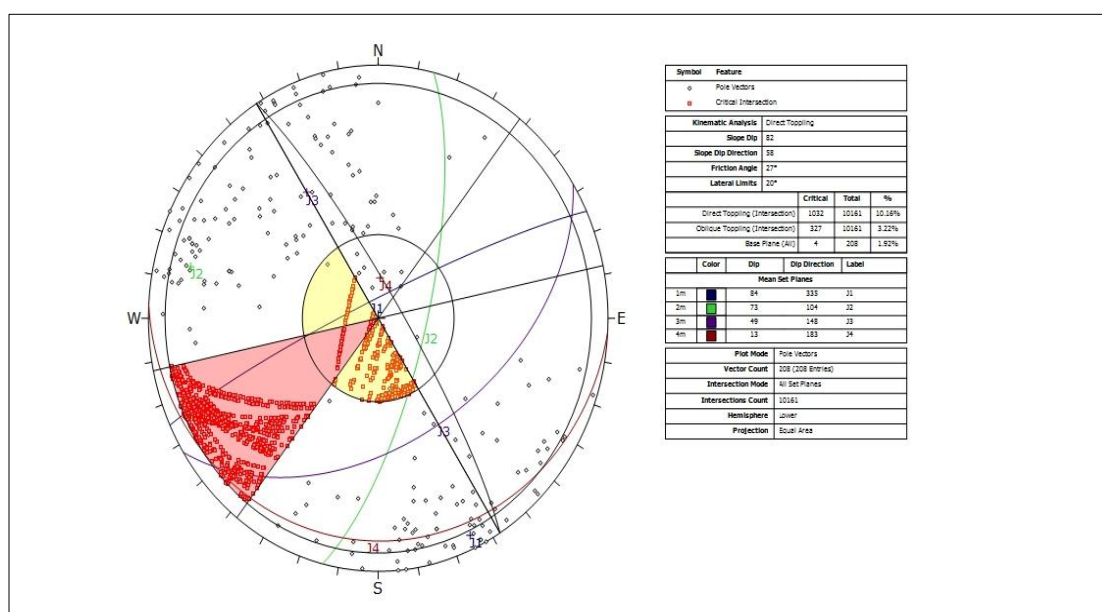
Εικόνα 64 Δυνητική ανατροπή-θέση 2(δεδομένα LIDAR)

Προκύπτει δηλαδή μία δυνητική επίπεδη αστοχία κατά το επίπεδο ασυνέχειας με κλίση/διεύθυνση κλίσης $050^{\circ}/079^{\circ}$, μία σφηνοειδής επί της τομής των επιπέδων $082^{\circ}/323^{\circ}$ και $050^{\circ}/079^{\circ}$, μία ανατροπή κατά το επίπεδο $070^{\circ}/253^{\circ}$ και μία ακόμη επί της τομής των επιπέδων $070^{\circ}/253^{\circ}$ και $082^{\circ}/323^{\circ}$.

Ομοίως για τη θέση 9:



Εικόνα 65 Δυνητική σφηνοειδής αστοχία-θέση 9 (δεδομένα LIDAR)



Εικόνα 66 Δυνητική ανατροπή-θέση 9(δεδομένα LIDAR)

Στη θέση 9 λοιπόν και σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν με τη συσκευή LIDAR εντοπίζονται μέσω της κινηματικής ανάλυσης μία σφηνοειδής αστοχία επί της τομής των επιπέδων με κλίση/διεύθυνση κλίσης 073°/104° και 084°/335° και μία ανατροπή επί της τομής των επιπέδων 049°/148° και 013°/183°.

Συγκεντρωτικά για κάθε θέση και τεχνική οι δυνητικές αστοχίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

	ΘΕΣΗ			
	2		9	
ΑΣΤΟΧΙΑ	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR
επίπεδη	J1	J1	J1	
σφηνοειδής		J1-J3	J1-J2, J1-J3	J1-J2
καμπτική ανατροπή	J2	J2		
άμεση ανατροπή		J1-J2	J2-J3	J3-B

Πίνακας 13 Συγκεντρωτικός πίνακας δυνητικών αστοχιών στις δύο θέσεις με τη χρήση δεδομένων και των δύο τεχνικών

Επισημαίνεται ότι στην ονομασία των κύριων επιπέδων των ασυνεχειών στην περίπτωση του LIDAR έχουν χρησιμοποιηθεί τα αντίστοιχα της υπαίθριας έρευνας με τα οποία είναι παρόμοια σε κλίση και βύθιση, ώστε να είναι ορατές οι ομοιότητες και οι διαφορές(π.χ στη θέση 2 για τα δεδομένα LIDAR σαν J1 εννοείται το J3).

Παρατηρείται λοιπόν ότι στη θέση 2 και οι δύο μέθοδοι προβλέπουν δυνητική επίπεδη αστοχία και καμπτική ανατροπή, ενώ η υπαίθρια έρευνα δεν εντοπίζει σφηνοειδή αστοχία και άμεση ανατροπή και αυτό λόγω της μίας επιπλέον οικογένειας ασυνεχειών που εντοπίζει το LIDAR. Επίσης στη θέση 9 υπάρχει ταύτιση ως προς τη δυνητική σφηνοειδή αστοχία όχι όμως σε κάποια άλλη και αυτό λόγω των μικρών διαφορών στην κλίση και βύθιση των κύριων επιπέδων ($\pm 30^\circ$) με τις δύο μεθόδους.

9. Αξιολόγηση μηχανισμών αστοχίας

9.1 Προσδιορισμός μηχανισμών αστοχίας

Με βάση τα αποτελέσματα της κινηματικής ανάλυσης του προηγούμενου κεφαλαίου και με τη βοήθεια λογισμικών έγιναν αναλύσεις ευστάθειας.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση δυνητικών αστοχιών είναι το Rocplane 3.0 της Rocscience. Επιλέχθηκε αιτιοκρατική(deterministic) ανάλυση και όχι πιθανολογική μιας και είναι γνωστοί οι παράγοντες που υποκινούν την δυνητική αστοχία και υπολογίστηκε η διατμητική αντοχή με βάση το κριτήριο Mohr-Coulomb $\tau = c + \sigma' \tan \phi$. Θεωρήθηκε με οριζόντια

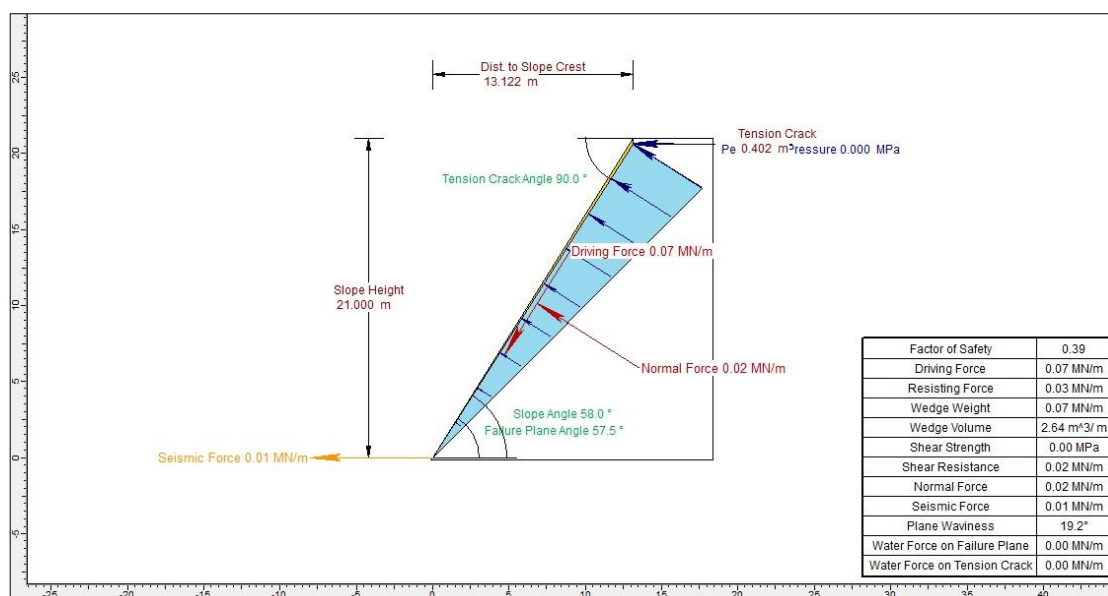
άνω επιφάνεια(upper face). και συνοχή όλων των επιφανειών ασυνέχειας μηδενική. Χρησιμοποιήθηκε η φαινόμενη γωνία κλίσης των ασυνεχειών. Όταν έγινε η υπόθεση ύπαρξης νερού χρησιμοποιήθηκε η επιλογή της μέγιστης πίεσης στην βάση της διάκλασης μιας και έδινε την δυσμενέστερη περίπτωση.

Για την ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση δυνητικών σφηνοειδών αστοχιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Swedge 6.0 της ίδιας εταιρίας. Επιλέχθηκε και πάλι η αιτιοκρατική ανάλυση. Θεωρήθηκε και σε αυτήν την περίπτωση πρυνές με οριζόντια επιφάνεια άνω μετώπου (upper face) και βύθισης ίδιας με του πρυνούς. Για την εκτίμηση της διατμητικής αντοχής έγινε και εδώ χρήση του κριτηρίου Mohr-Coulomb. Υπολογίστηκε η κυμάτωση κάθε επιπέδου ασυνεχειών ως η διαφορά της μέσης γωνίας κλίσης των ασυνεχειών από την ελάχιστη γωνία κλίσης αυτών. Επίσης θεωρήθηκε η συνοχή μηδενική μιας και πρόκειται για επιφάνειες ασυνέχειας. Όπου χρησιμοποιήθηκε ο παράγοντας του νερού επιλέχθηκε η δυσμενέστερη περίπτωση της μέγιστης πίεσης στον πόδα με 10% της ρωγμής γεμάτη με νερό μιας και γενικά η περιοχή εκφορτίζει το υπόγειο νερό. Ο σεισμικός συντελεστής είναι οριζόντιος (0,24) και κατακόρυφης κατεύθυνσης (0,12) και πάλι για το δυσμενέστερο σενάριο αστοχιών.

Τέλος για τις περιπτώσεις αστοχίας με ανατροπή χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Roc topple 1.0 της Rocscience. Είναι προεπιλεγμένη η ανάλυση Equal Area. Το επάνω μέτωπο(upper face) είναι και πάλι οριζόντιο. Οι υπολογισμοί έγιναν με το κριτήριο Mohr-Coulomb και πάλι η συνοχή θεωρήθηκε μηδενική.

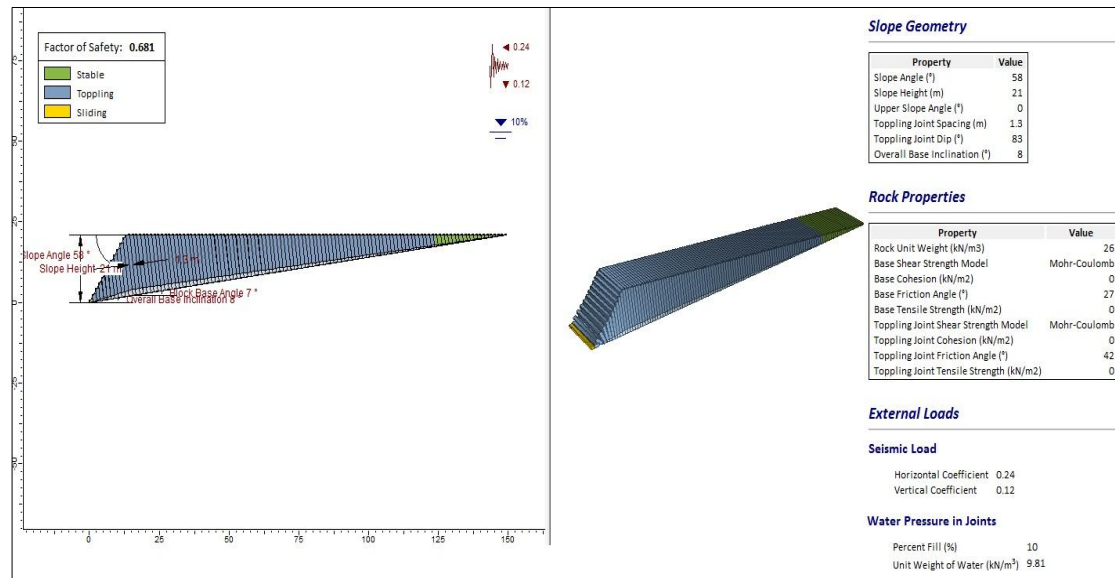
Έτσι εξετάστηκαν όλες οι περιπτώσεις δυνητικών αστοχιών ανα θέση και ανά μέθοδο. Θα αναφερθούν οι δυσμενέστερες περιπτώσεις εδώ ενώ οι υπόλοιπες εμφανίζονται αναλυτικά στο Παράρτημα.

Θέση 2(δεδομένα υπαίθρου):



Εικόνα 67 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα υπαίθρου)

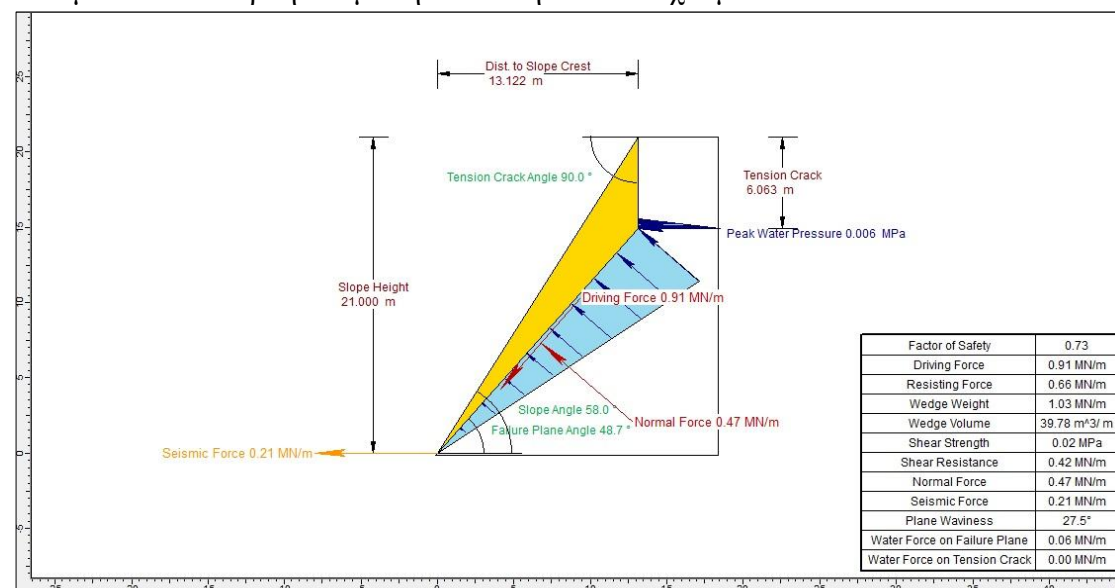
Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ασφάλειας είναι 0,39. Έτσι σε περίπτωση σεισμού και με το ελάχιστο νερό που μπορεί να υπάρξει μεταξύ κάποιων επιφανειών ασυνέχειας υπάρχει περίπτωση επίπεδης αστοχίας. Να σημειωθεί ότι στην συγκεκριμένη θέση τα χαρακτηριστικά της ασυνέχειας που ευθύνεται για την επίπεδη αστοχία, προκαλεί αστοχία του πρσανούς και σε στατικές και ξηρές συνθήκες, παράρτημα, σελ 101. Αυτό σημαίνει ότι η αστοχία μπορεί ήδη να έχει εκδηλωθεί.



Εικόνα 68 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση καμπτικής ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα υπαίθρου)

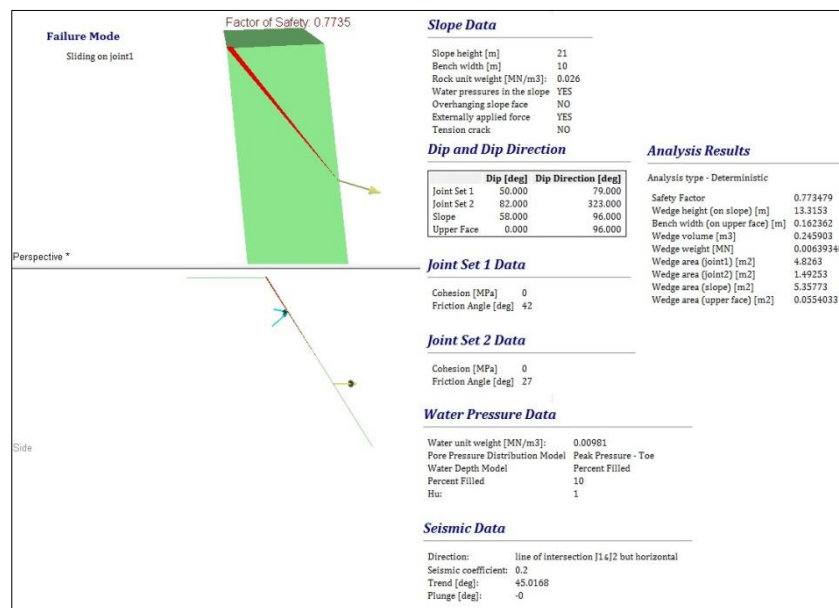
Σε δυναμικές και υγρές συνθήκες υπολογίζεται ο συντελεστής ασφάλειας ως 0,681 επομένως και εδώ περίπτωση αστοχίας σε ενδεχόμενο σεισμό. Η συγκεκριμένη βραχώμαζα στη συγκεκριμένη θέση αστοχεί και μόνο με στατικές και υγρές συνθήκες, παράρτημα σελ.102.

Για την ίδια θέση για τις δυναμικές αστοχίες που εντόπισε η κινηματική ανάλυση των δεδομένων που πάρθηκαν με τη συσκευή LIDAR έχουμε:



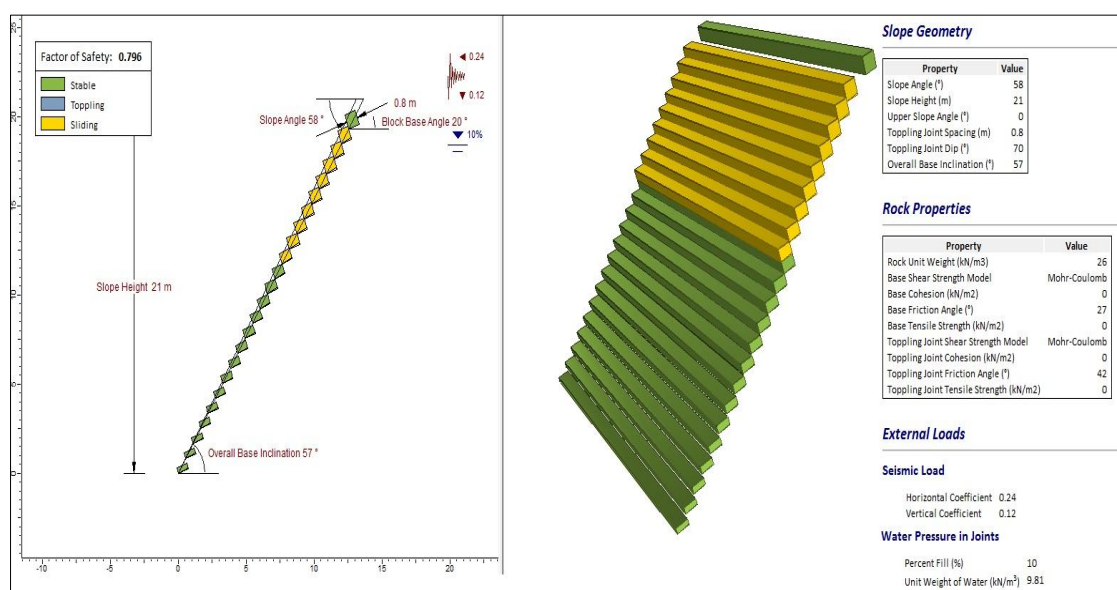
Εικόνα 69 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)

Στην περίπτωση αυτή το πρανές παραμένει ευσταθές τόσο κατά τις στατικές-ξηρές όσο και κατά τις στατικές-υγρές συνθήκες και αστοχεί μόνο με παρουσία νερού και σεισμού μαζί.



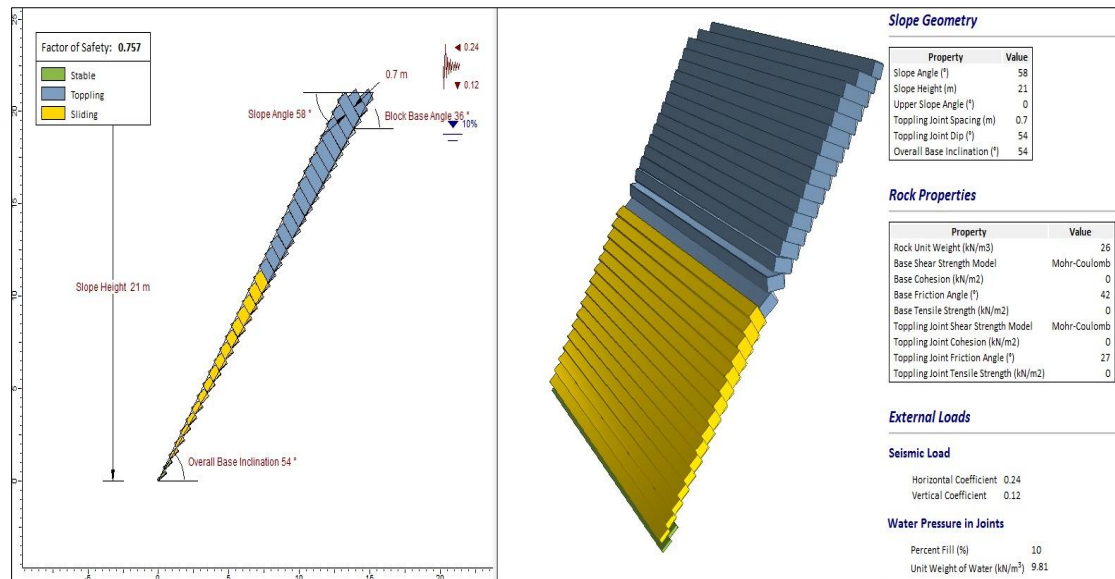
Εικόνα 70 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)

Στην περίπτωση της σχηματιζόμενης σφήνας στη θέση 2 η αστοχία επέρχεται μόνο σε δυναμικές και υγρές συνθήκες, ειδικά υπάρχει ευστάθεια. Παρ' όλα αυτά όταν αστοχήσει η βραχώμαζα η κίνηση πραγματοποιείται κατά μήκος της ασυνέχειας με κλίση/βύθιση 050°/079° και όχι κατά μήκος της τομής των ασυνεχειών. Επομένως πρόκειται για επίπεδη ολίσθηση κατά μήκος αυτής της ασυνέχειας και είναι η περίπτωση που φαίνεται στην εικόνα 69.



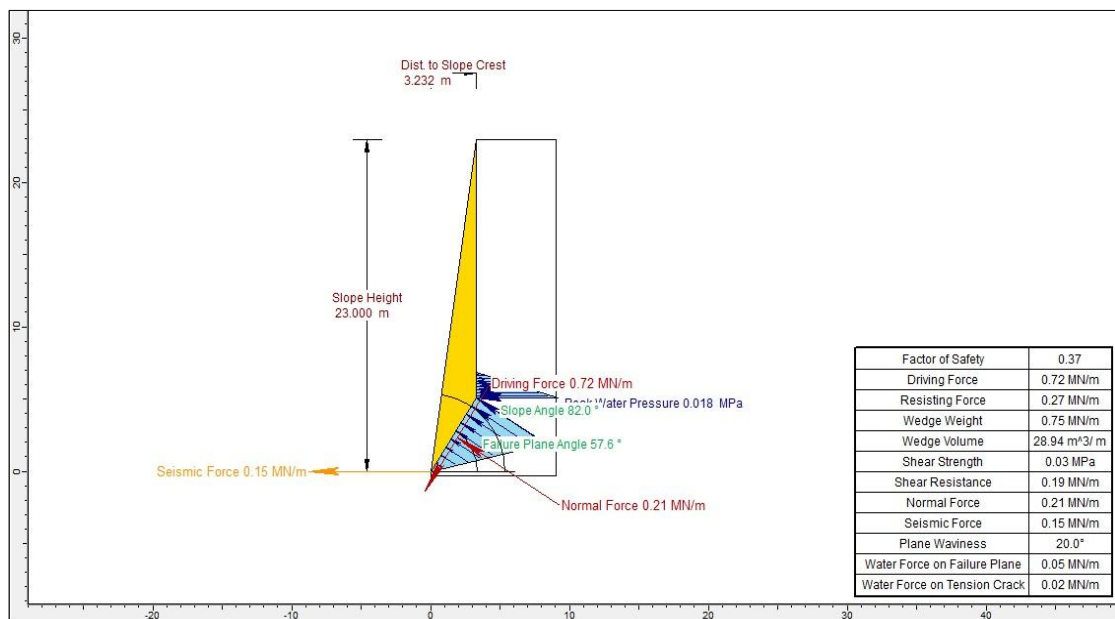
Εικόνα 71 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση καμπτικής ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)

Για την περίπτωση της καμπτικής ανατροπής (flexural toppling) το πρανές αστοχεί μόνο σε περίπτωση δυναμικών και υγρών συνθηκών. Το ίδιο συμβαίνει και για την περίπτωση άμεσης ανατροπής της εικόνας 72.



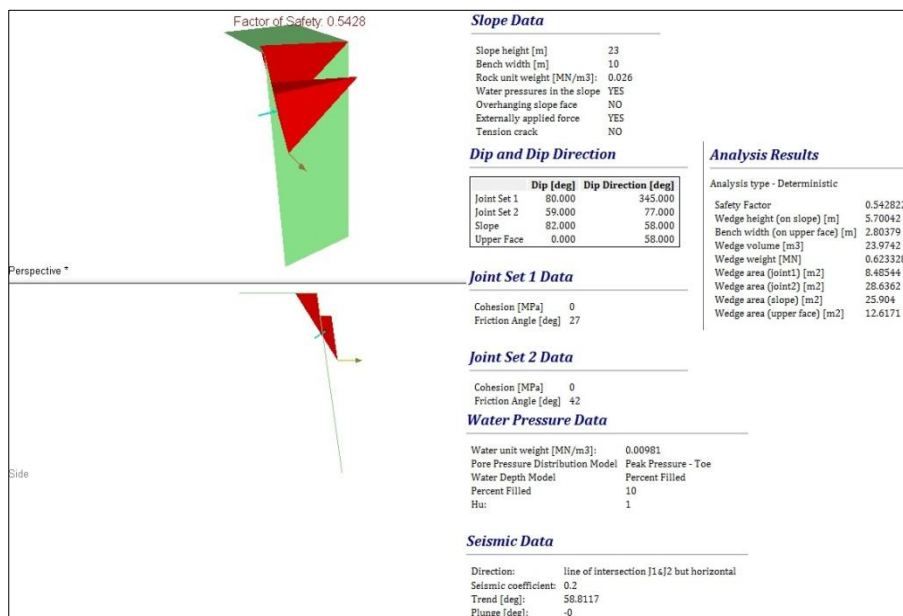
Εικόνα 72 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 2 (δεδομένα LIDAR)

Θέση 9(δεδομένα υπαίθρου):



Εικόνα 73 Ανάλυση ευστάθειας στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου)

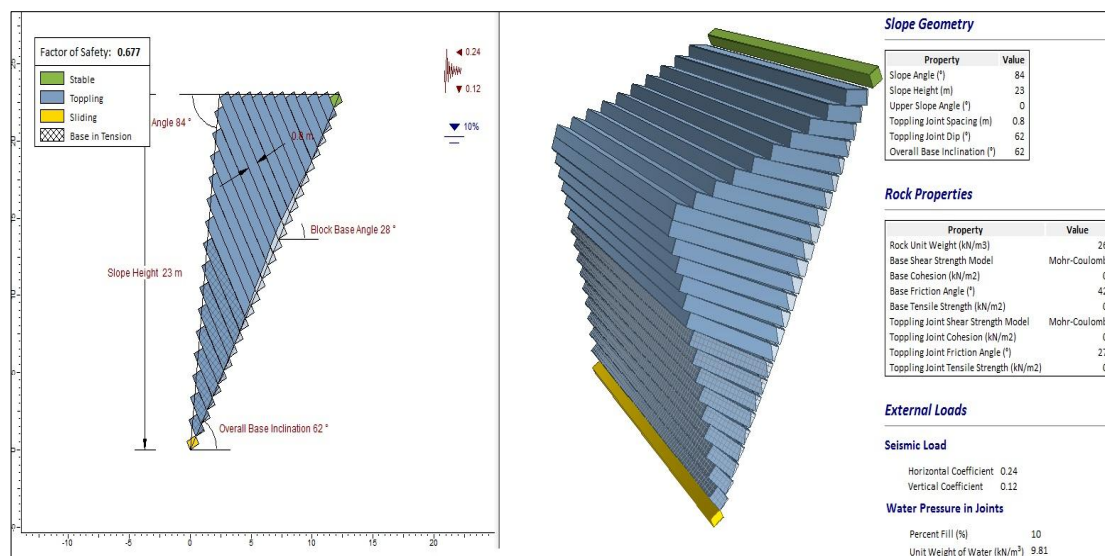
Στην περίπτωση επίπεδης αστοχίας στη θέση 9 αυτή εκδηλώνεται ακόμα και σε συνθήκες στατικές και ξηρές. Εδώ παρατίθεται η δυσμενέστερη περίπτωση και αναλυτικά όλες οι περιπτώσεις στο παράρτημα.



Εικόνα 74 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου)

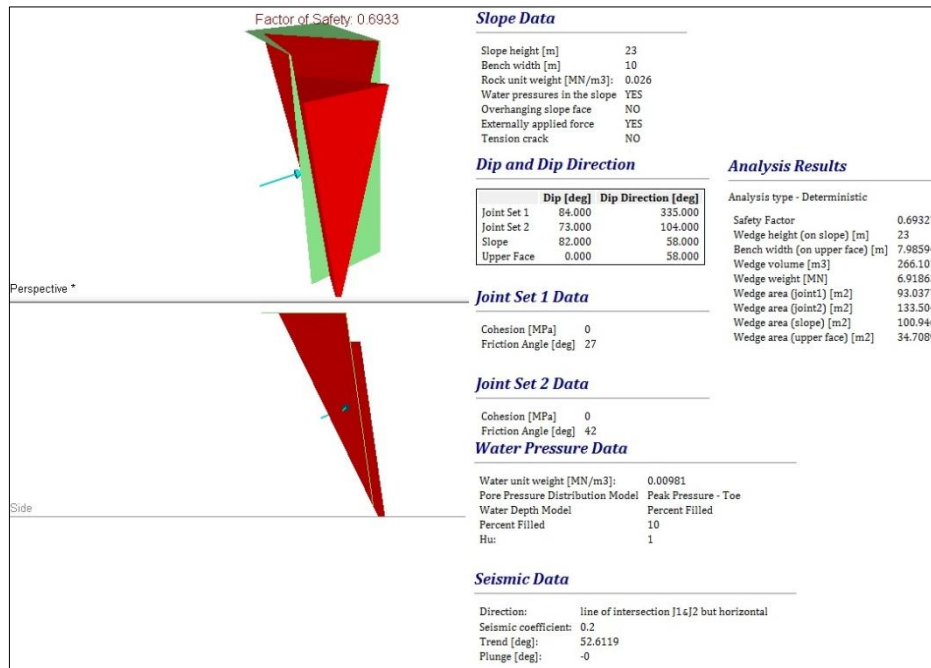
Στη θέση αυτή εκδηλώνεται σφηνοειδής ολίσθηση και σε στατικές συνθήκες.

Για την περίπτωση των δύο δυνητικών σφηνοειδών αστοχιών που εντοπίστηκαν με την κινηματική ανάλυση θα πραγματοποιηθεί μόνο αυτή κατά την τομή των επιπέδων 080°/345°-059°/077° μιας και η δεύτερη που εντοπίσθηκε(057°/182°-059°/077°) αστοχεί τελικά κατά μήκος της μίας ασυνέχειας και προκύπτει η επίπεδη ολίσθηση που φαίνεται και στην εικόνα 73.



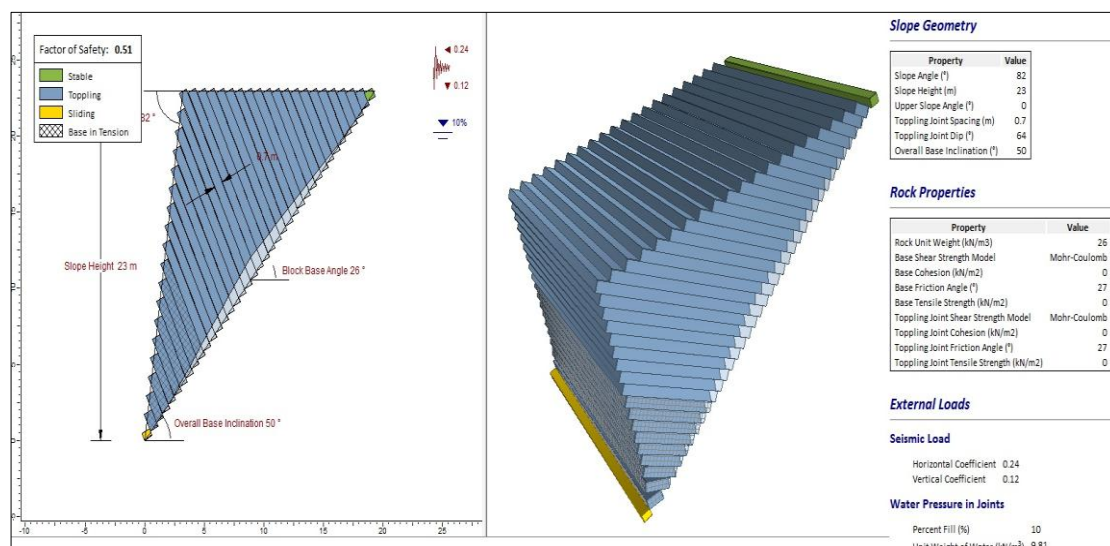
Εικόνα 75 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα υπαίθρου)

Για την ίδια θέση για τις δυνητικές αστοχίες που εντόπισε η κινηματική ανάλυση των δεδομένων που πάρθηκαν με τη συσκευή LIDAR έχουμε:



Εικόνα 76 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9(δεδομένα LIDAR)

Η συγκεκριμένη αστοχία εκδηλώνεται μόνο με ταυτόχρονη φόρτιση με σεισμό και την επίδραση του υπόγειου νερού.



Εικόνα 77 Ανάλυση ευστάθειας σε περίπτωση άμεσης ανατροπής σε υγρές και δυναμικές συνθήκες-θέση 9 (δεδομένα LIDAR)

Σε αυτήν την περίπτωση η αστοχία εκδηλώνεται και σε στατικές και ξηρές συνθήκες και μάλιστα με μικρό συντελεστή 0,51.

Συγκεντρωτικά δημιουργήθηκαν οι παρακάτω πίνακες οι οποίοι δείχνουν τους συντελεστές ασφάλειας για κάθε πρανές, μέθοδο και κατάσταση. Σε όποιες θέσεις δεν προέκυψε το είδος αστοχίας που μελετάται στον κάθε πίνακα με την κινηματική ανάλυση που έγινε, δεν σημειώνονται συντελεστές.

Περίπτωση επίπεδης αστοχίας:

	ΘΕΣΗ			
	2		9	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR
στατικές-ξηρές	0,8	1,25	0,8	...
στατικές-υγρές	0,69	1,14	0,66	...
δυναμικές-υγρές	0,39	0,73	0,37	...

Πίνακας 14 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της επίπεδης ολίσθησης

Περίπτωση σφηνοειδούς αστοχίας:

	ΘΕΣΗ			
	2		9	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR
στατικές-ξηρές	...	1,19	0,896	1,29
στατικές-υγρές	...	1,12	0,895	1,28
δυναμικές-υγρές	...	0,77	0,54	0,69

Πίνακας 15 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της σφηνοειδούς ολίσθησης

Περίπτωση καμπτικής ανατροπής:

	ΘΕΣΗ			
	2		9	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR
στατικές-ξηρές	1	1,4	...	...
στατικές-υγρές	0,94	1,3	...	...
δυναμικές-υγρές	0,68	0,79	...	...

Πίνακας 16 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της καμπτικής ανατροπής

Περίπτωση άμεσης ανατροπής:

	ΘΕΣΗ			
	2		9	
ΣΥΝΘΗΚΕΣ	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR	υπαίθρια δεδομένα	δεδομένα LIDAR
στατικές-ξηρές	...	1,01	0,67	0,51
στατικές-υγρές	...	1,03	0,67	0,51
δυναμικές-υγρές	...	0,75	0,67	0,51

Πίνακας 17 Συντελεστές ασφάλειας για την περίπτωση της άμεσης ανατροπής

Παρατηρείται ότι στις αναλύσεις ευστάθειας με δεδομένα των τεκτονικών δομών τα οποία προέκυψαν από την υπαίθρια έρευνα οι συντελεστές ασφάλειας είναι πολύ μικρότεροι στις περισσότερες περιπτώσεις από τα αντίστοιχα δεδομένα της συσκευής LIDAR και ότι δίνουν ασταθείς μάζες (συντελεστής ασφαλείας <1) ακόμα και για στατικές και ξηρές συνθήκες. Αυτό επιβεβαιώνει το εξαιρετικά ενεργό τοπίο της περιοχής και το γεγονός ότι το υπό μελέτη πρανές μπορεί ήδη να έχει ολισθήσει.

9.2 Εκτίμηση βαθμού επικινδυνότητας

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται από γενική αστάθεια των πρανών λόγω τόσο εξωτερικών παραγόντων όσο και λόγω της μορφολογίας και του δυσμενούς προσανατολισμού των τεκτονικών δομών της βραχόμαζας σε σχέση με τα πρανή. Τέλος τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών των σχηματισμών σε ορισμένες περιπτώσεις επιδεινώνουν την κατάσταση. Αυτό έχει δημιουργήσει υποσκαφές της

βραχώμαζας θεμελίωσης της Ι. Μονής κάτω από την ανατολική πτέρυγα αυτής, θέση 9 καθώς επίσης και σειρά ολισθήσεων και βραχοπτώσεων, θέση 2.

Τα πρανή τα οποία εξετάσθηκαν στην παρούσα μελέτη βρίσκονται ακριβώς δίπλα στα κτίρια της Ι.Μ Παντοκράτορα, στο ανατολικό μέρος αυτής, και για αυτό είναι μεγάλος ο κίνδυνος από την εκδήλωση φαινομένων ολίσθησης.

Οι παράγοντες που ενεργοποιούν τις αστοχίες είναι:

- Η διάβρωση της βραχώμαζας από τη δράση της θάλασσας και του θαλάσσιου ανέμου
- Η εκδήλωση σεισμικών φαινομένων
- Οι ενδεχόμενες επιδράσεις της λειτουργίας της Μονής

Έτσι κρίνεται σκόπιμο να εκτιμηθεί ο βαθμός επικινδυνότητας καθεμιάς από τις εξεταζόμενες θέσεις και η πρόταση μέτρων αντιστήριξης.

Με βάση λοιπόν τη γενικότερη μορφολογία των πρανών, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των ασυνεχειών της βραχώμαζας, τον προσανατολισμό των μετώπων και των κύριων επιπέδων ασυνεχειών ανά θέση, τα αποτελέσματα της ανάλυσης ευστάθειας και του δείκτη SMR εκτιμήθηκε ο βαθμός επικινδυνότητας για κάθε θέση. Ο βαθμός επικινδυνότητας εκδήλωσης αστοχιών είναι **μέτριος** για το πρανές στη θέση 2 και **υψηλός** στη θέση 9, καθώς η ποιότητα της βραχώμαζας είναι αρκετά πτωχή, το πρανές έχει μεγάλο ύψος και σχεδόν κατακόρυφη κλίση. Παράλληλα, υπάρχει μεγάλη πιθανότητα νέας κατάπτωσης ανά πάσα στιγμή λόγω της συνεχούς φυσικής διεργασίας της θάλασσας και των άλλων φυσικών και μετεωρολογικών παραγόντων.

.

10. Προτάσεις αντιμετώπισης αστοχιών

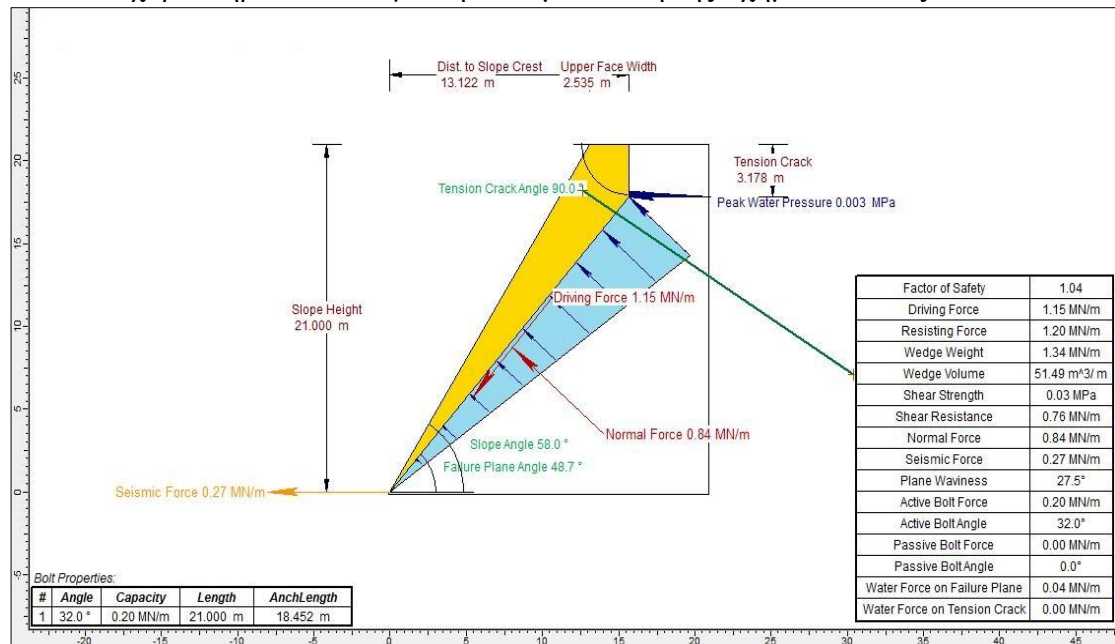
Σύμφωνα με όλα το βαθμό επικινδυνότητας που εκτιμήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και τις αναμενόμενες αστοχίες ανά θέση προτείνεται:

Για το πρανές της θέσης 2

- Αφαίρεση των επιφανειακών ασταθών τεμαχών, όπου αυτό είναι δυνατό
- Μέτρα έναντι της αποσάθρωσης με συρματοκιβώτια
- Συστηματική αγκύρωση στις περιοχές εμφάνισης δυνητικών αστοχιών

Με τη βοήθεια του Rocplane έγινε ενδεικτικός υπολογισμός αγκυρίων, εικόνα 78.

Φαίνεται χαρακτηριστικά ότι για την αντιμετώπιση της σχηματισθείσας



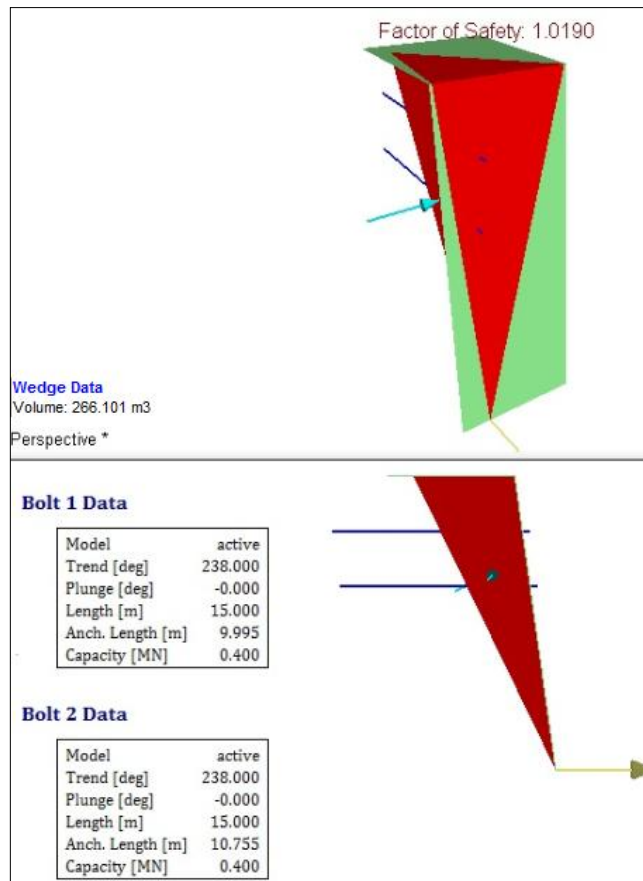
Εικόνα 78 Ενδεικτική εφαρμογή αγκυρίου στη θέση 2 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες

ολισθαίνουσας μάζας, όγκου $51,49 \text{ m}^3/\text{m}$, χρειάζεται αγκύρια τουλάχιστον 200 KN/m για την οριακή ισορροπία.

Για το πρανές της θέσης 9

- Μέτρα έναντι της διάβρωσης με συρματοκιβώτια
- Ανάκτηση της προγενέστερης γεωμετρίας με επέκταση του μετώπου προς τα Ανατολικά με συρματοκιβώτια ή τοίχους αντιστήριξης.
- Συστηματική αγκύρωση στα τμήματα που αναμένονται σφηνοειδείς και επίπεδες αστοχίες

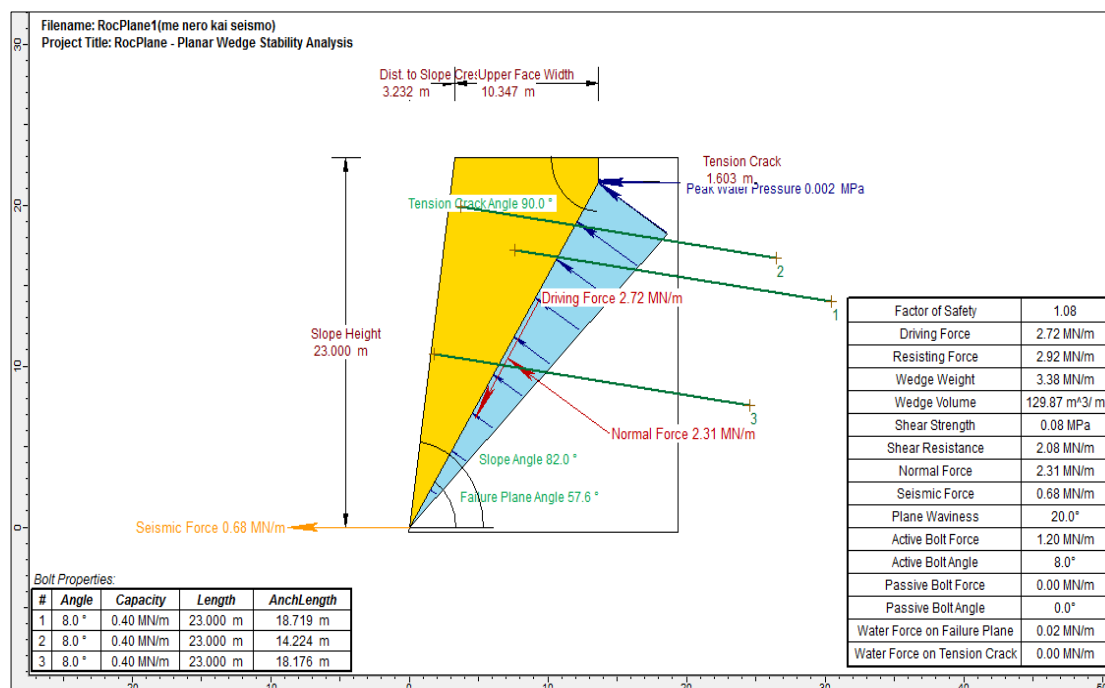
Με τη βοήθεια του Swedge έγινε ενδεικτικός υπολογισμός αγκυρίων, εικόνα 79.



Εικόνα 79 Ενδεικτική εφαρμογή αγκυρίων στη θέση 9 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες

Φαίνεται χαρακτηριστικά ότι για την αντιμετώπιση της σχηματισθείσας ολισθαίνουσας σφήνας, όγκου 266m³, χρειάζεται 2 αγκύρια τουλάχιστον 400 KN/m το καθένα για την οριακή ισορροπία.

Ενώ για την αγκύρωση των περιοχών επικίνδυνων για επίπεδες αστοχίες, με τη βοήθεια και πάλι του Rocplane φαίνεται ότι απαιτούνται τουλάχιστον 3 αγκύρια των 400kN/m το



Εικόνα 80 Ενδεικτική εφαρμογή αγκυρίων στη θέση 9 σε υγρές και δυναμικές συνθήκες

καθένα για την οριακή ισορροπία της σχηματισθείσας μάζας όγκου 130m³/m περίπου, εικόνα 80.

Σε κάθε περίπτωση πριν την εφαρμογή μέτρων αντιστήριξης προτείνεται περεταίρω μελέτη για τη διαστασιολόγηση των μέτρων αυτών.

11. Συμπεράσματα

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η διερεύνηση των μηχανισμών αστοχίας των πρανών της παράκτιας ζώνης της Ιεράς Μονής Παντοκράτορα του Αγίου Όρους τόσο με την καταγραφή των δομών της βραχώμαζας από υπαίθρια έρευνα που εκτελέστηκε στα πλαίσια προϋπάρχουσας γεωτεχνικής μελέτης όσο και με τη χρήση της συσκευής LIDAR και την 3D αποτύπωση των δομών, η σύγκριση των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν με δεδομένα των δύο τεχνικών και προτάσεις αντιμετώπισης των πιθανών αστοχιών.

Στοιχεία αποτέλεσαν οι τεκτονικές υπαίθριες μετρήσεις, η αποτύπωση της μορφολογίας και γεωλογίας της περιοχής, η μέτρηση της αντοχής των σχηματισμών με δοκιμή σημειακή φόρτισης και των μηχανικών χαρακτηριστικών των ασυνεχειών της, η φωτογράφιση των πρανών και τέλος η σάρωση των πρανών με την συσκευή LIDAR.

Με τη βοήθεια των ανωτέρω κατασκευάστηκαν τομές στις θέσεις έρευνας, επεξεργάστηκαν οι σαρώσεις της συσκευής LIDAR, δημιουργήθηκαν τεκτονικά διαγράμματα τόσο με τα δεδομένα της υπαίθριας εργασίας όσο και της συσκευής, υπολογίστηκαν οι τεχνικογεωολογικοί παράμετροι της βραχώμαζας και των ασυνεχειών της, πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση και ανάλυση της ευστάθειας κατά θέση και τέλος δόθηκαν τρόποι αντιστήριξης και αντιμετώπισης των προβληματικών θέσεων.

Συμπερασματικά θα μπορούσε να αναφερθεί ότι η τεχνική της σάρωσης με τη συσκευή LIDAR με σκοπό την τεχνικογεωολογική μελέτη μιας περιοχής ως προς την ανάλυση της ευστάθειας των πρανών της αποτελεί μια αξιόπιστη, ακριβής και ταχύτατη μέθοδο και ενδείκνυται για σημεία απρόσιτα στον άνθρωπο. Η συσκευή στη συγκεκριμένη περίπτωση κατέγραψε με ακρίβεια όλες τις τεκτονικές δομές της βραχώμαζας και όρισε τις επιφάνειες ασυνέχειας πάντα με βάση την επεξεργασία που έγινε και την κλίμακα της μελέτης. Με το λογισμικό Split-Fx που χρησιμοποιήθηκε έγινε δυνατή η μέτρηση αποστάσεων των ασυνεχειών και η λήψη δεδομένων για την περαιτέρω επεξεργασία τους σε στερεοδιαγράμματα με την εφαρμογή Dips 6.0. και την κινηματική ανάλυση αυτών.

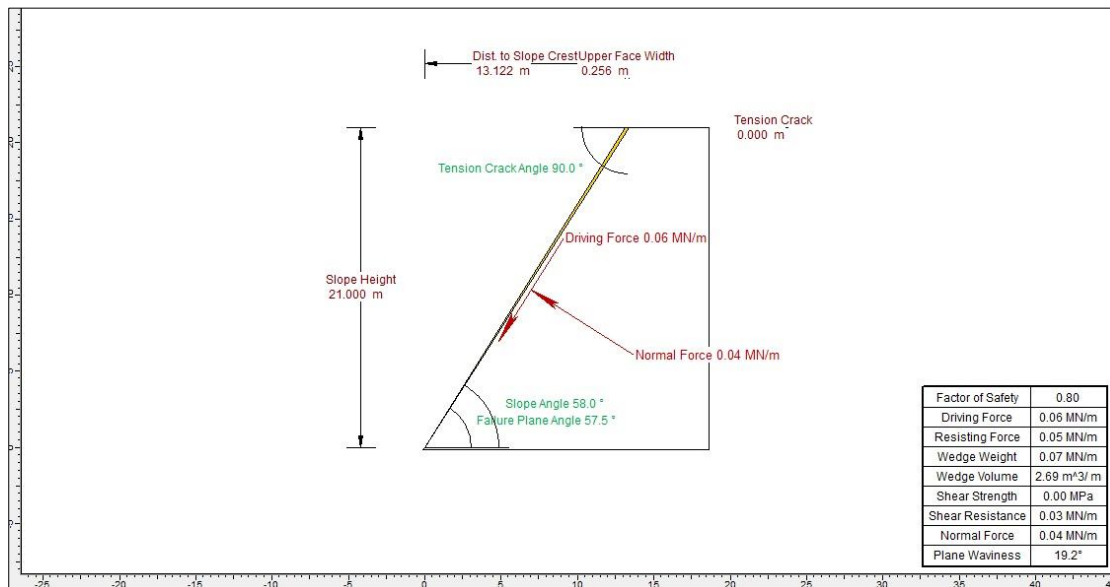
Συγκρίνοντας με τα αποτελέσματα επεξεργασίας των δεδομένων υπαίθρου το συμπέρασμα είναι ότι η ταύτιση των δύο τεχνικών είναι ικανοποιητική μέχρι ενός βαθμού. Διαφορές μεταξύ των μεθόδων παρατηρούνται φυσικά στην ταχύτητα εκτέλεσης των μετρήσεων όσο και επεξεργασίας αυτών. Επίσης με την μέθοδο του LIDAR δεν υπάρχει η παραμικρή όχληση από κάποιο φυσικό εμπόδιο το οποίο να μειώνει την ορατότητα. Σημαντική είναι η διαφορά στο πλήθος των καταγραφών στις δύο θέσεις που εξετάστηκαν (στη θέση 2 η εργασία υπαίθρου μέτρησε 3 προσανατολισμούς ασυνεχειών, ενώ το LIDAR 179). Στα κύρια συστήματα ασυνεχειών εντοπίζονται επίσης διαφορές, όχι τόσο στον προσανατολισμό τους αλλά στην ύπαρξη ενός επιπλέον συστήματος όταν γίνεται εφαρμογή των δεδομένων της συσκευής LIDAR. Για τον λόγο αυτό και η κινηματική ανάλυση δεν αποδίδει τις ίδιες δυνητικές αστοχίες. Στη μελέτη ευστάθειας των πρανών με τις δύο μεθόδους η ανάλυση που χρησιμοποίησε δεδομένα υπαίθρου υπήρξε πιο συντηρητική με χαμηλούς συντελεστές ασφάλειας ακόμα και σε στατικές και ξηρές συνθήκες.

Ωστόσο υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί ως προς τη χρήση, όπως αναφέρθηκαν, όπως το ότι θα πρέπει οι επιφάνειες ασυνεχειών να είναι παράλληλες στο σαρωτή, αλλιώς να ορίζονται χειροκίνητα και φυσικά να προϋπάρχει υπαίθρια έρευνα. Σε κάθε περίπτωση αντιλαμβάνεται κανείς ότι μία μέθοδος σαν την τεχνική LIDAR, όσο αφορά τη χρήση της σε προβλήματα Τεχνικής Γεωλογίας, δεν αποτελεί από μόνη της το εργαλείο ώστε να εξετασθούν οι μηχανισμοί αστοχίας και η ανάλυση της ευστάθειας ενός πρανούς, στην προκειμένη περίπτωση και να γίνει αντικατάσταση της υπαίθριας εργασίας του γεωλόγου από μία και μόνο συσκευή. Ο υπολογισμός των αστοχιών, σε περίπτωση σαν την συγκεκριμένη με ιστορικό κατολισθήσεων αλλά και όχι μόνο, θα πρέπει να γίνεται πάντα με τη βοήθεια και της υπαίθριας καταγραφής και διερεύνησης. Πρώτα απ' όλα η ίδια η συσκευή για να λειτουργήσει χρειάζεται τις

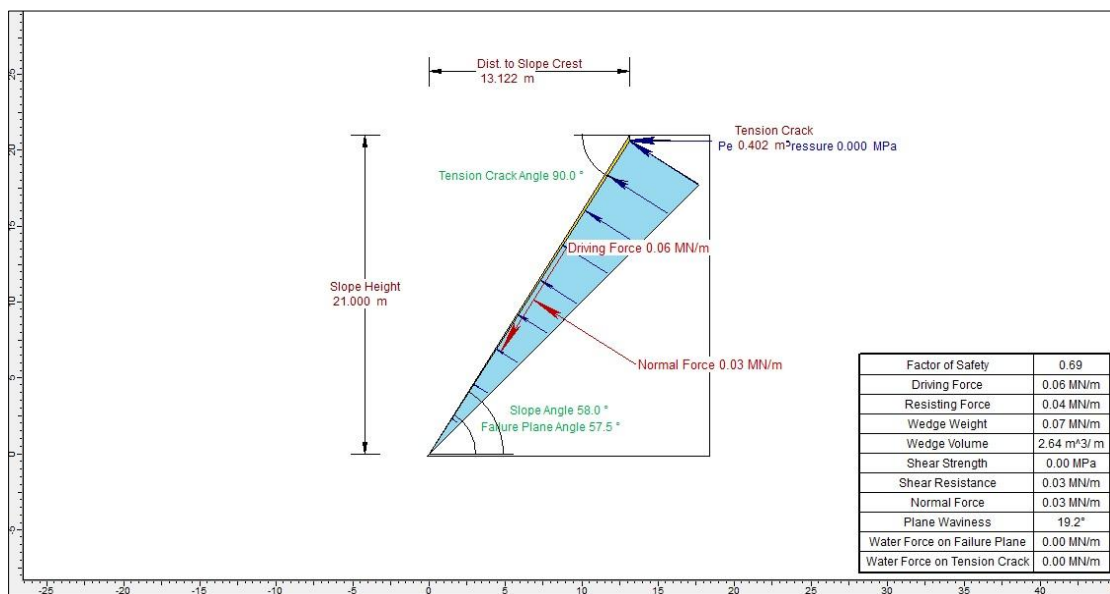
απαραίτητες αρχικές ρυθμίσεις στο ύπαιθρο, όπως σάρωση κάποιων αρχικών επιφανειών με γνωστό αζιμούθιο, οι οποίες θα έχουν μετρηθεί με την γεωλογική πυξίδα ως σημεία αναφοράς, αλλά και γνώση των στοιχείων προσανατολισμού του πρανούς. Θα πρέπει ο γεωλόγος να ξέρει πότε, που και γιατί θα χρησιμοποιήσει την συγκεκριμένη συσκευή και να είναι σε θέση να κρίνει την ποιότητα της προσφερόμενης πληροφορίας και κατά πόσο αυτή αντανακλά αυτό που είδε και κατέγραψε ο ίδιος στο ύπαιθρο. Έτσι παραμένει αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνικής αυτής η υπαίθρια εργασία. Οι νέες τεχνολογίες θα αποτελούν πάντα πολύτιμη βοήθεια της εργασίας των επιστημόνων μα δύσκολα θα την αντικαταστήσουν...

12. Παράρτημα

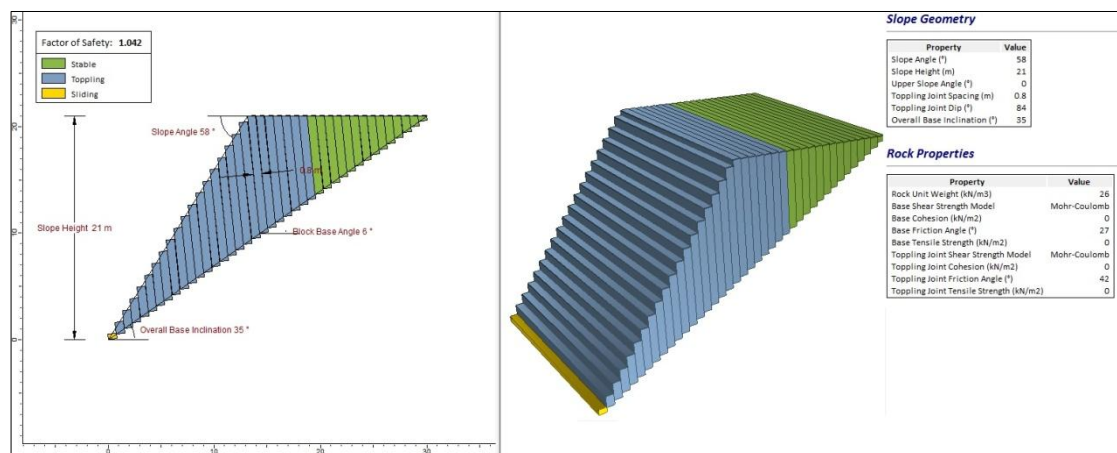
Θέση 2(δεδομένα υπαιθρου)



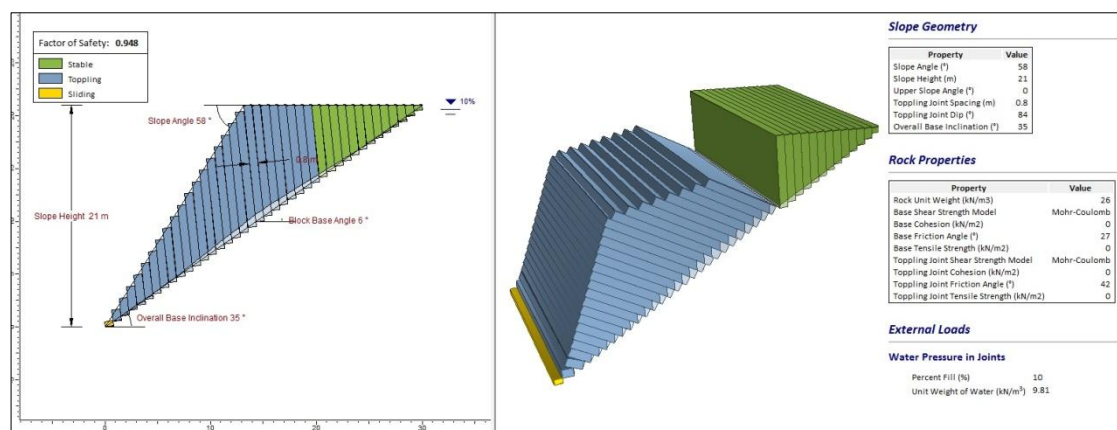
Εικόνα 81 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



Εικόνα 82 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες

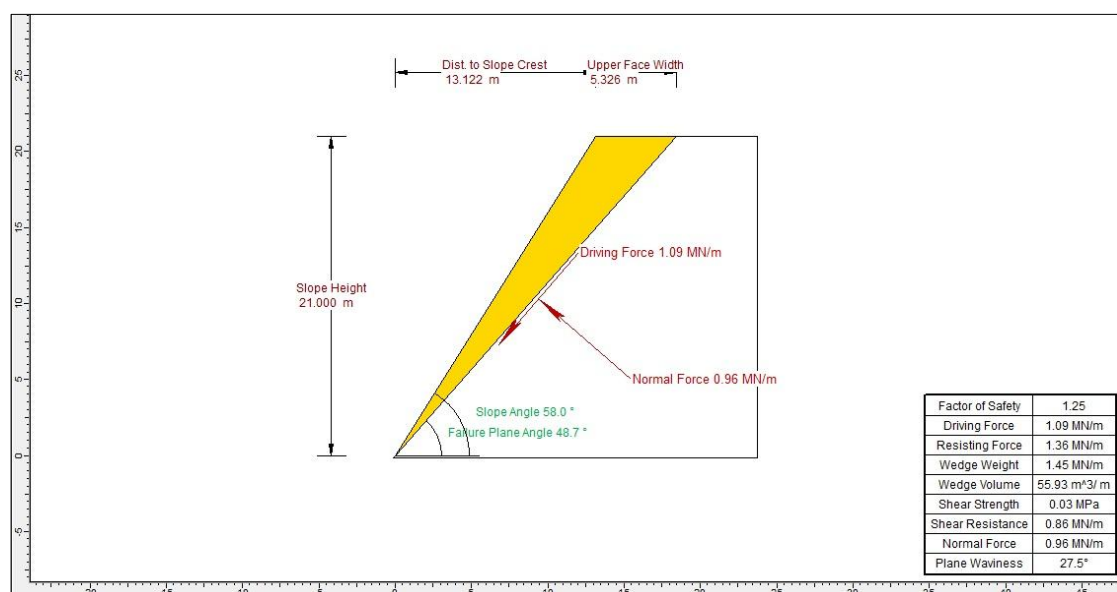


Εικόνα 84 Καμπτική ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες

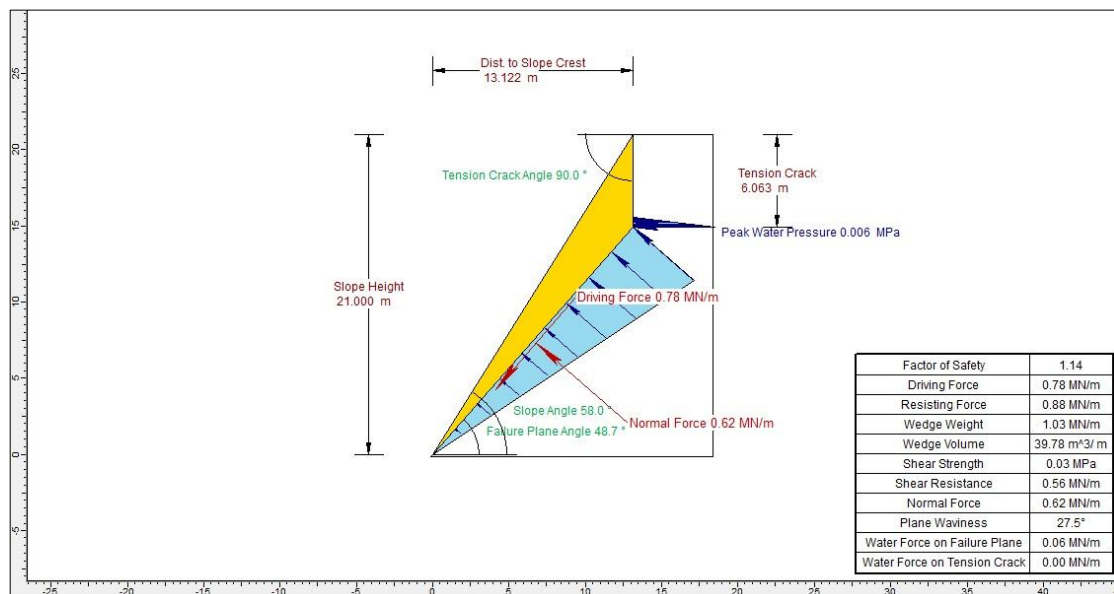


Εικόνα 83 Καμπτική ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες

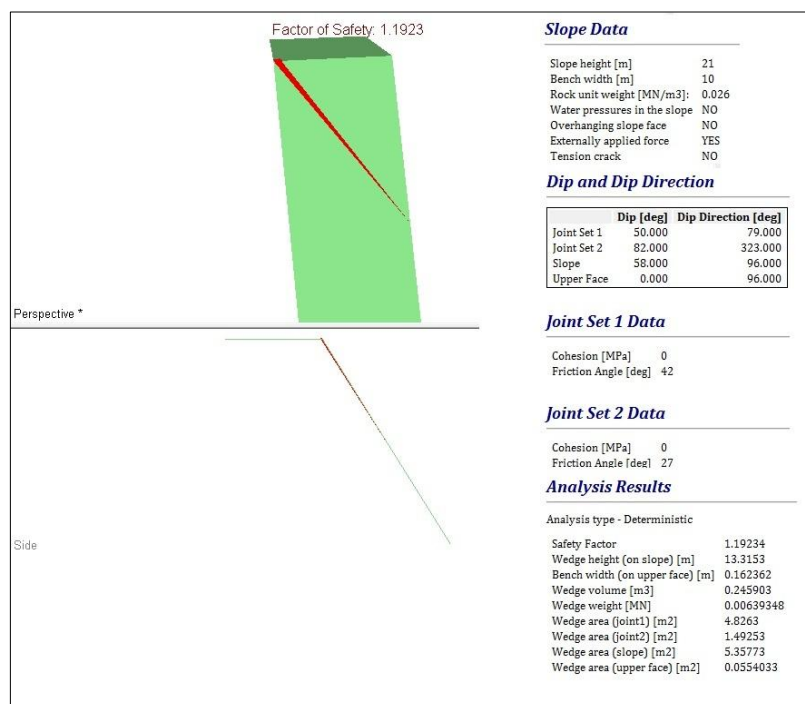
Θέση 2(δεδομένα LIDAR)



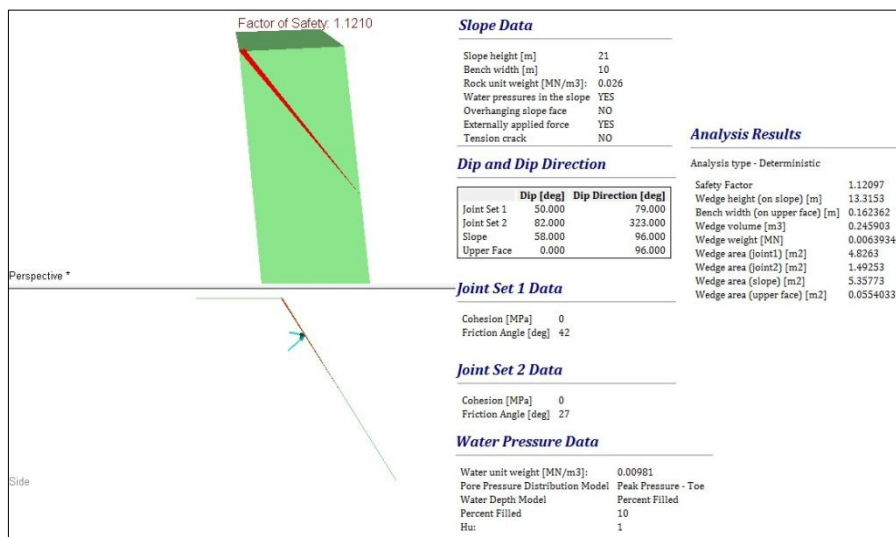
Εικόνα 85 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



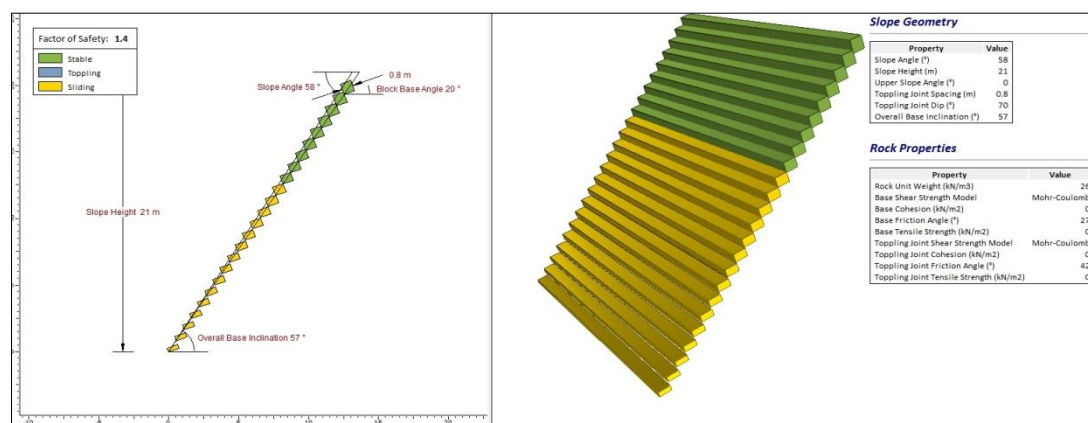
Εικόνα 86 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες



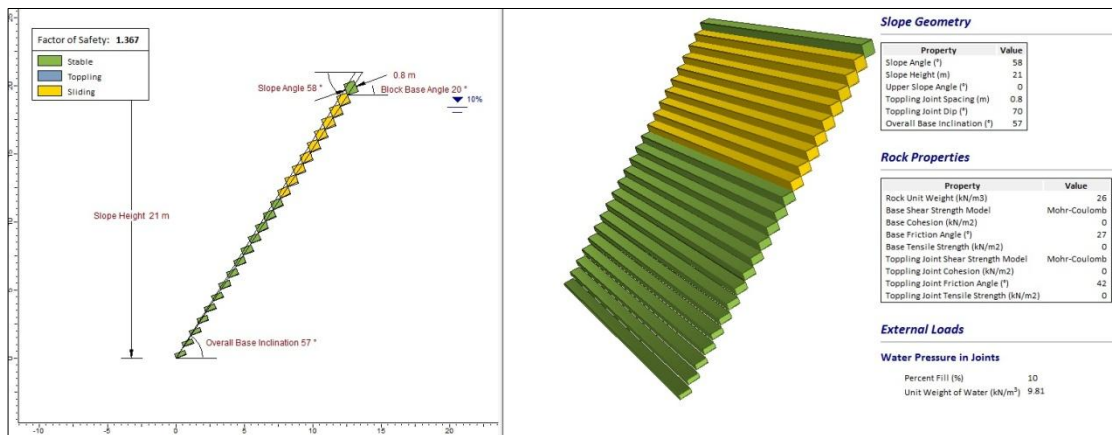
Εικόνα 87 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



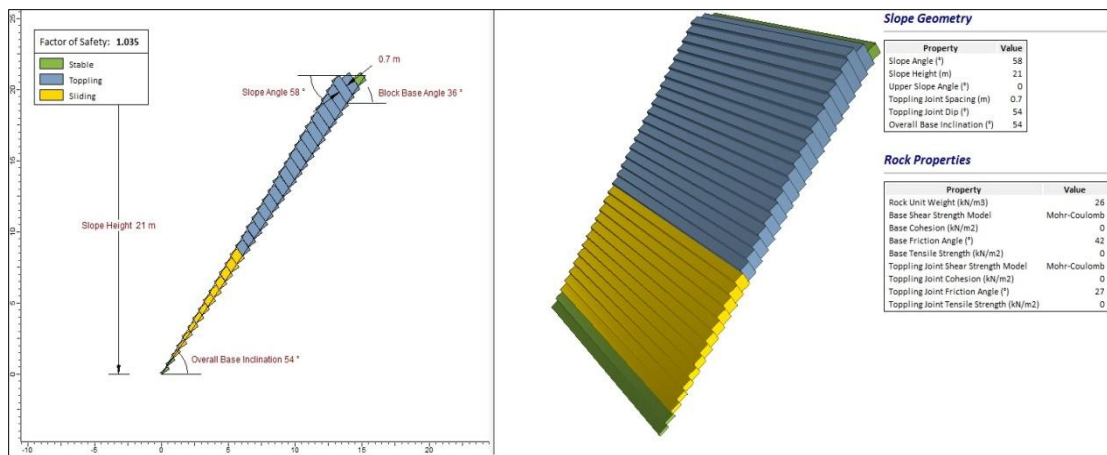
Εικόνα 89 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες



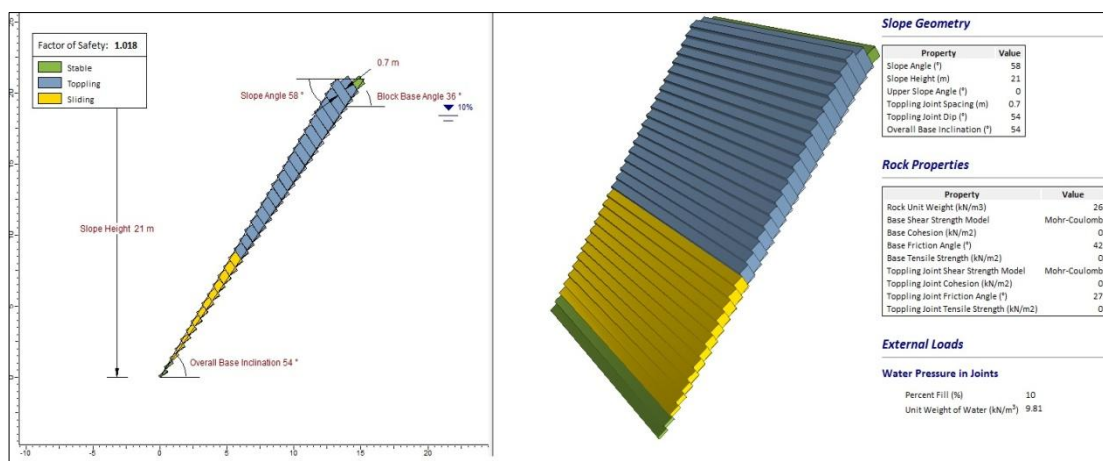
Εικόνα 88 Καμπτική ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες



Εικόνα 90 Καμπτική ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες

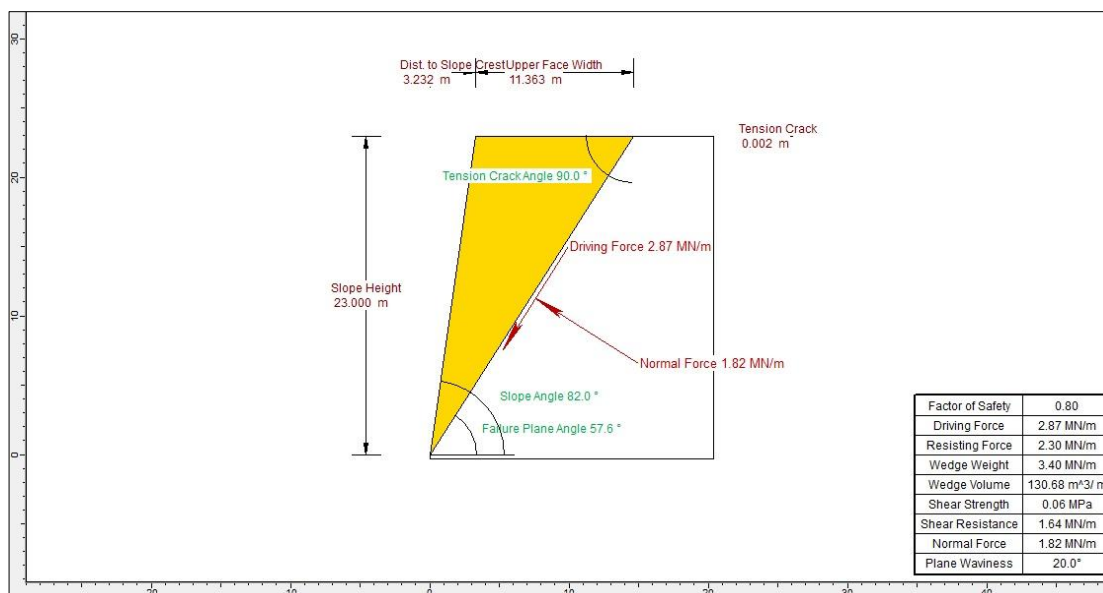


Εικόνα 91 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες

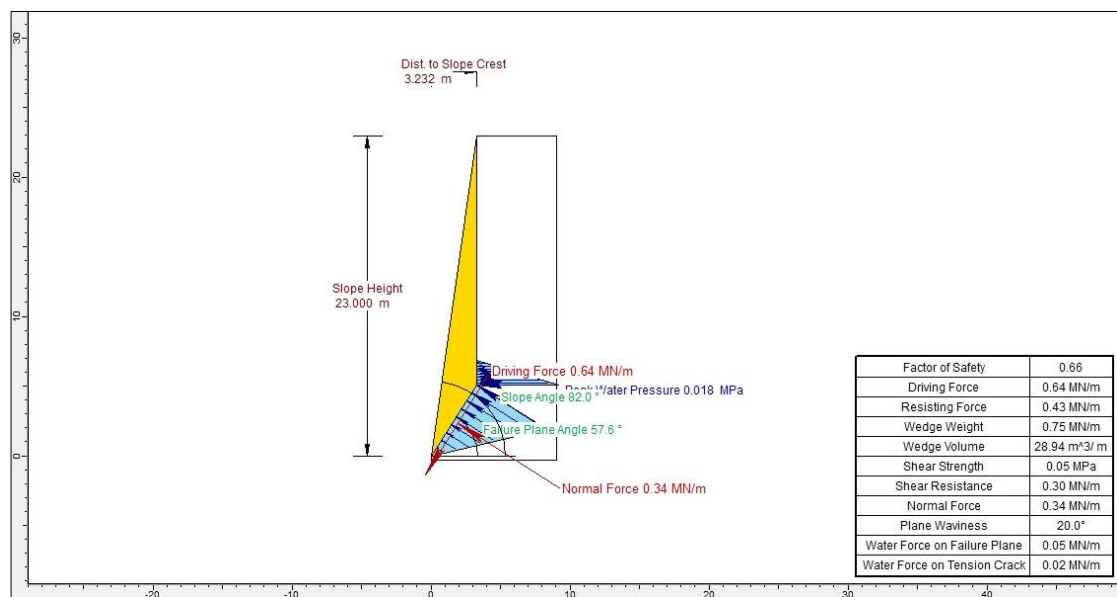


Εικόνα 92 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες

Θέση 9(δεδομένα υπαίθρου)



Εικόνα 93 Επίπεδη αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



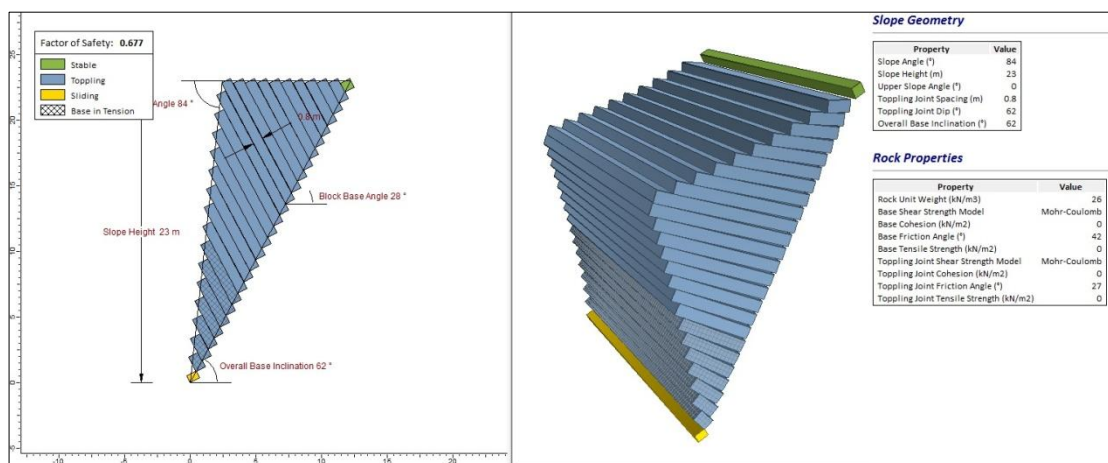
Εικόνα 95 Επίπεδη αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες



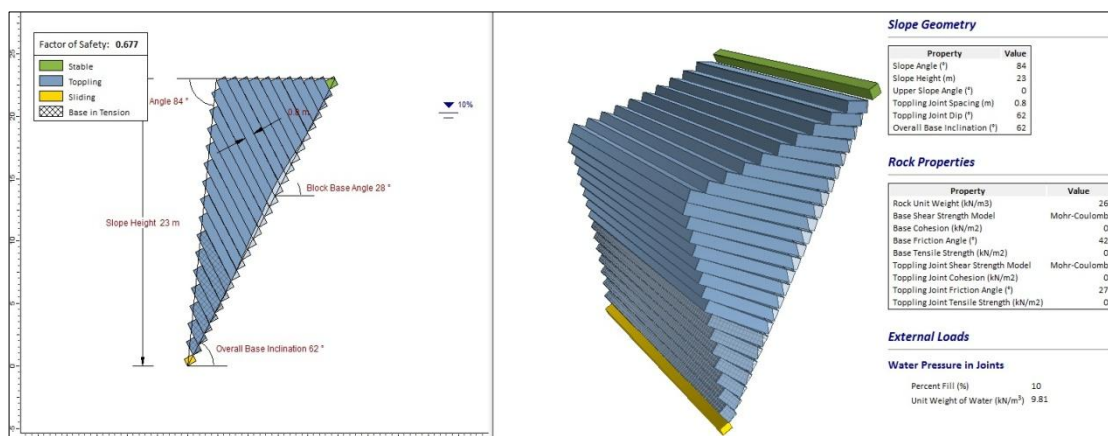
Εικόνα 94 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



Εικόνα 96 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες



Εικόνα 97 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες

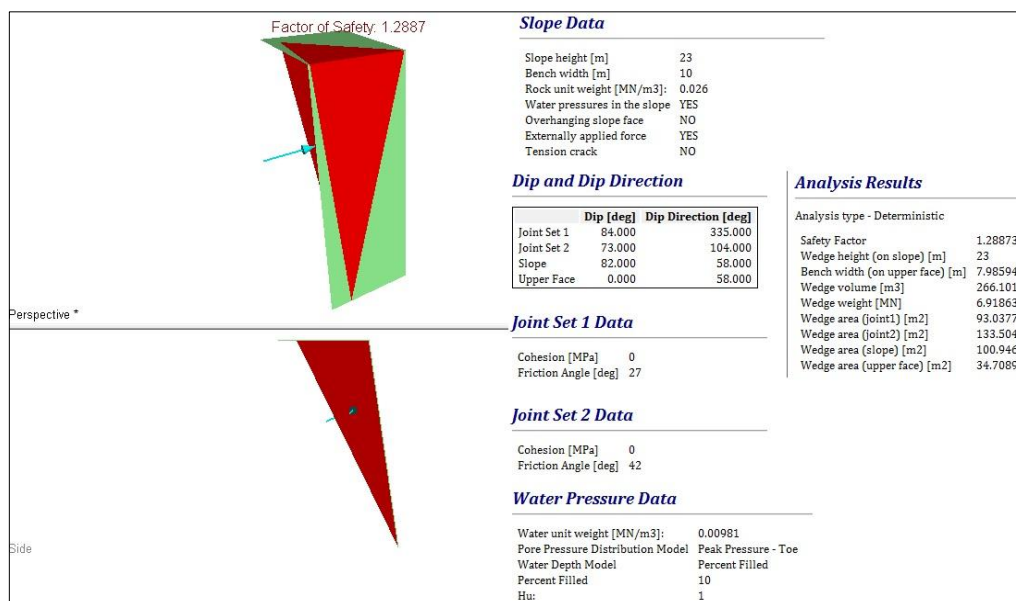


Εικόνα 98 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες

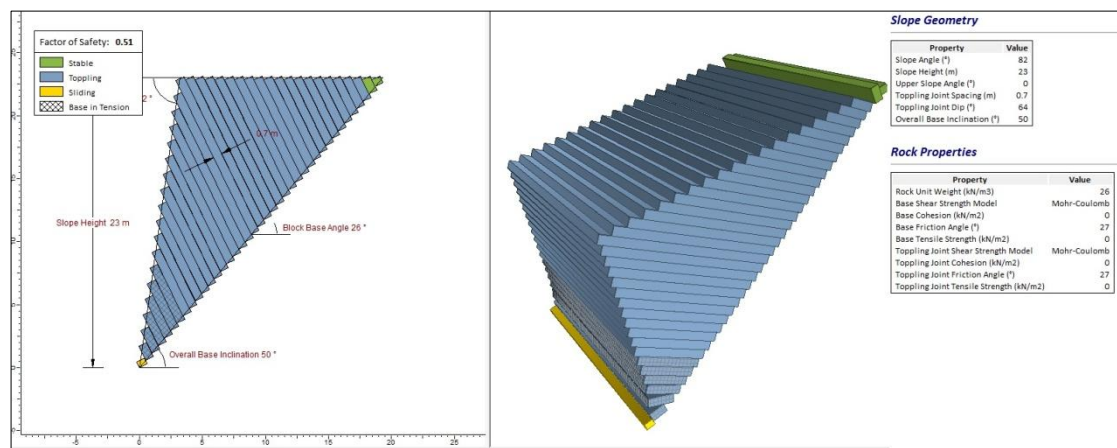
ΘΕΣΗ 9 (δεδομένα LIDAR)



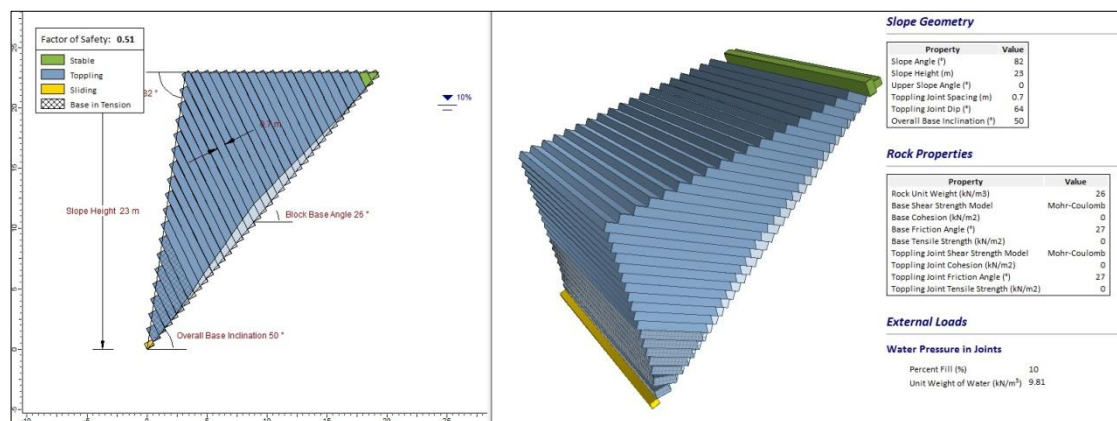
Εικόνα 99 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-ξηρές συνθήκες



Εικόνα 100 Σφηνοειδής αστοχία για στατικές-υγρές συνθήκες



Εικόνα 101 Άμεση ανατροπή για στατικές-ξηρές συνθήκες



Εικόνα 102 Άμεση ανατροπή για στατικές-υγρές συνθήκες

13. Βιβλιογραφία

Βιβλία

- Δημόπουλος Γ.(2008): Τεχνική Γεωλογία
- Δημόπουλος Γ., Μακεδών Θ.(2008):Προβλήματα Τεχνικής Γεωλογίας
- Μουντράκης Δ.(1985):Γεωλογία της Ελλάδος
- Goodman R.(1985):Block Theory and its application to Rock Engineering
- Hoek E, Bray J. (1974):Rock Slope Engineering, Revised third Edition
- Hudson J.(1993):Rock Testing and site Characterization,vol.3
- Kemeny J.(2015) :Application of Three-Dimensional Laser Scanning for the Identification, Evaluation, and Management of Unstable Highway Slopes

Επιστημονικά άρθρα

- Τσιαμπάος Γ.(2009): Νεότερες απόψεις για τις παραμέτρους μηχανικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων
- Παπαντωνίου Π., Πίτσης Χ.(2008): Η αρχιτεκτονική του Αγίου όρους, Πύργοι και αρσανάδες
- Παυλίδης Σ., Τσαπάνος Θ.,Κοραβός Γ., Μιχαηλίδου Α., Χατζηπέτρος Α.(2010): Ειδική Σεισμοτεκτονική μελέτητων ρηγμάτων της ευρύτερης περιοχής των μεταλλείων Κασσάνδρας
- B. Singh, R K Goel(1999):Rock Mass Classification: A Practical Approach in Civil Engineering
- Luay D. Yousif , Ali M. Awad , Mustafa A. Ali and Usama A. Taufiq(2013): The application of Rock Mass Rating and Slope Mass Rating systems on rock slopes of Al-Salman depression, South
- Trigger Γεωλόγοι-Σύμβουλοι (2014): Φαινόμενα αστοχίας του Ανατολικού πρανούς του βραχώδους υποβάθρου θεμελίωσης της I.M Παντοκράτορα
- R. K. Umrao, R. Singh, M. Ahmad, T. N. Singh(2011):Stability Analysis of Cut Slopes Using Continuous Slope Mass Rating and Kinematic Analysis in Rudraprayag District, Uttarakhand, Vol.1 No.3

Websites

- <http://www.gein.noa.gr/el/>
- http://www.metal.ntua.gr/uploads/3123/8a_KATOLISTHISEIS.pdf
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A7%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%AE>
- <http://www.e-city.gr/chalkidiki/home/view/1101.php>
- <http://greekvoyager.com/el/proorismoi-stin-ellada/makedonia/xersonisos-agiou-orous/>
- <https://www.pemptousia.gr/2012/09/fisi-ke-fisiko-perivallon-tou-agiou-o/>
- <http://athostoagionoros.blogspot.gr/p/blog-page.html>

- <http://www.geo.auth.gr/museum/MammalFiles/Servomac.pdf>
- <http://users.uoa.gr/>
- <http://www.pantokrator.gr/thesi.htm>
- <http://agioros.tripod.com/Pantokratoros.htm>
- <https://www.rocscience.com/>

