



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ «ΤΕΧΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ»

ΣΠΥΡΙΔΩΝ Δ. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΟΔΕΝΔΡΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θεσσαλονίκη 2024



ΣΠΥΡΙΔΩΝ Δ. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ

Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΑΓΙΑΣ
ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΟΔΕΝΔΡΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας, στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία», με κλάδο ειδίκευσης «Τεχνική Γεωλογία και Περιβάλλον»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

Αναπληρωτής Καθηγητής ΑΠΘ, Γεώργιος Παπαθανασίου, Επιβλέπων

Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ, Βασίλειος Μαρίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Δρ. Γεωλογίας Ε.ΔΙ.Π. ΑΠΘ, Θωμάς Μακεδών, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής



© Σπυρίδων Δ. Παπαϊωάννου, Γεωλόγος, 2024. Spyros D. Papaioannou, Geologist, 2024.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΟΔΕΝΔΡΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

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

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

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια ολοκλήρωσης του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών Εφαρμοσμένης και Περιβαλλοντικής Γεωλογίας, με κατεύθυνση την Τεχνική Γεωλογία, του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Η ανάθεση και επίβλεψη της εργασίας πραγματοποιήθηκε από τον κ. Γεώργιο Παπαθανασίου, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. Ως εκ τούτου τον ευχαριστώ θερμά τόσο για την υποστήριξη και καθοδήγηση του, όσο και την κατανόηση του για θέματα που άπτονται με τις επαγγελματικές και τις προσωπικές μου υποχρεώσεις.

Τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου εκφράζω επίσης στα μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, ήτοι τον κ. Βασίλειο Μαρίνο Επίκουρο Καθηγητή Ε.Μ.Π. και τον κ. Θωμά Μακεδόνα Δρ. Γεωλογίας Ε.Δι.Π. Α.Π.Θ.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω το σύνολο των διδασκόντων του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, για τη την αγαστή συνεργασία και την ακούραστη προσπάθεια τους για μεταλαμπάδευση της επιστημονικής γνώσης. Μεταξύ των διδασκόντων θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τον κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη, διευθυντή του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, διότι κατά τη διάρκεια των σπουδών έδειξε κατανόηση όταν αντιμετώπισα πρόβλημα υγείας.

Ευχαριστώ τον αείμνηστο καθηγητή Παύλο Μαρίνο που γνώρισα στο πλαίσιο της επαγγελματικής μου δραστηριότητας και ο οποίος όταν ζήτησα τη γνώμη του με προέτρεψε να παρακολουθήσω το συγκεκριμένο Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου. Τη σύζυγό μου Ιωάννα Καραγιάννη που με στήριξε με τις συμβουλές της τόσο ψυχολογικά όσο και πρακτικά, όσες φορές δυσκολευόμουν να ανταπεξέλθω στις υποχρεώσεις μου που απορρέαν από την ιδιότητα του μεταπτυχιακού φοιτητή και του επαγγελματία γεωλόγου. Την κόρη μου Μιρέλα Παπαϊωάννου που έδειξε όση κατανόηση της επέτρεπε η ηλικία της στην αναγκαστική ιεράρχηση του χρόνου μου μεταξύ σπουδών, επαγγελματικών υποχρεώσεων και παιχνιδιού μαζί της.

Επειδή νιώθω ευγνώμων που έστω και σε μεγαλύτερη ηλικία είχα την ευκαιρία να συνεχίσω σε επίπεδο μεταπτυχιακού τις σπουδές μου, θα ήθελα να αφιερώσω την όποια προσπάθεια κατέβαλα, στους ανθρώπους που έζησαν χωρίς ίσες ευκαιρίες και δικαιώματα. Κυρίως δε στα παιδιά που έφυγαν νωρίς χωρίς να τους δοθεί η ευκαιρία όχι απλά να σπουδάσουν, αλλά ούτε να γευτούν τη χαρά μιας ειρηνικής ζωής, λόγω της σκληρότερης μορφής του πολέμου που είναι η δολοφονία αμάχων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	4
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	6
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	10
ABSTRACT	12
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	14
1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ	14
1.3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	15
1.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΛΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	19
1.4.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ (UAV)	20
1.4.1.1. ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΑ UAV	21
1.5. ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ	22
1.5.1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	23
1.5.2. ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ (ROCKFALL)	28
2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	32
2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	32
2.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ	34
2.3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	36
2.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	40
2.5. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	50
3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	60
3.1. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗ	60
3.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ	60
3.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ	60
3.2.2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΡΑΝΟΥΣ	68
3.2.3. ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ - ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ	72

3.2.4.	ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	76
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ & ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ	
	ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ.....	78
4.1.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ.....	78
4.2.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	83
5.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΗΨΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ UAV.....	88
5.1.	ΨΗΦΙΑΚΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ.....	89
5.2.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	98
5.3.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ	102
6.	ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ	105
6.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ	105
6.2.	ΤΡΟΧΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΙΣΦΑΛΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ	108
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	115
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes, 1978 (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη).	24
Πίνακας 2. Στοιχεία σεισμών Μεγέθους $M \geq 4,5$ σε απόσταση έως 50m σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου ΕΑΑ και των ισχυρών ιστορικών και νεότερων σεισμών ($M \geq 6$) σε απόσταση 75km από την περιοχή μελέτης σύμφωνα με τον συνημμένο κατάλογο του βιβλίου «Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Β. Παπαζάχος – Κ. Παπαζάχου, 2003».....	45
Πίνακας 3. Στοιχεία Μετεωρολογικών σταθμών.	53
Πίνακας 4. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Ασπράγγελοι για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).	55
Πίνακας 5. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Τσεπέλοβο για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).	56
Πίνακας 6. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Πάπιγκο για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).	57
Πίνακας 7: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-1 στο πρανές ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.	77
Πίνακας 8: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ1.	92
Πίνακας 9: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ2.	93
Πίνακας 10: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3.	96
Πίνακας 11: Σύγκριση κύριων επιπέδων ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-1 και ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1, ΤΔ-Ψ2 και ΤΔ-Ψ3.	98
Πίνακας 12: Όγκος βραχωδών τεμαχών που αστόχησαν κατά το παρελθόν από το μελετώμενο πρανές.	104
Πίνακας 13: Απόσπασμα πίνακα εγχειριδίου χρήσης του προγράμματος Rockfall, με τις προτεινόμενες τιμές του εφασπόμενου R_t και κατακόρυφου R_n συντελεστή αναπήδησης, κατά Ε. Hoek.	110
Πίνακας 14: Αποτελέσματα αναλύσεων έναντι βραχοκαταπτώσεων.	112
Πίνακας 15. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Ασπράγγελοι.	121
Πίνακας 16. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Τσεπέλοβον.	121
Πίνακας 17. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Πάπιγκο.	121

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Διοικητικά όρια ευρύτερης περιοχής μελέτης.	16
Σχήμα 2: Καταπτώσεις βράχων στα αριστερά (Varnes, 1978) και κατάπτωση γαιών - εδάφους στα δεξιά, (α) άμεση και (β) μετά από ολίσθηση (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007).	24
Σχήμα 3: Ανατροπές βραχωδών τεμαχών (πάνω) και εδαφικών υλικών (κάτω) (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007).	25
Σχήμα 4: Περιστροφικές ολισθήσεις κατά Varnes (1978) (α) βραχώδους υποβάθρου και (β) γαιών (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).	26
Σχήμα 5: Μεταθετικές ολισθήσεις αποσαθρωμάτων και εδαφικού τέμαχους (πάνω), καθώς επίσης τεμαχών βράχων σφηνοειδούς και κλιμακωτής μορφής (κάτω) (Hansen 1965 και Varnes 1978, τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).	26
Σχήμα 6: Πλευρική εξάπλωση (α) διεργηγμένων ασβεστολίθων (Varnes, 1978), (β) αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (Varnes, 1978) και (γ) ασβεστολίθων σε συνδυασμό με αναθόλωση των υποκείμενων αργιλικών σχιστολίθων (Horsnell & Horton, 1976) (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).	27
Σχήμα 7: Ροές υποβάθρου λόγω βαρυτικού ερπυσμού των επιφανειακών στρώματων (Desio, 1959) και διαδοχικά στάδια εξέλιξης ερπυσμού βαρύτητας κρυσταλλικών σχιστολίθων (1) επί τριαδικών εβαποριτών (2), ασβεστολίθων (3) και σχιστολίθων (4) Λιασίου πάνω (Letourneur-Michel, 1971), καθώς επίσης πολύ γρήγορη ροή κορημάτων και ροή γαιών πολύ αργή έως γρήγορα (Zaruba-Menci, 1963) κάτω (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).	28
Σχήμα 8: Σύνθετες κατολισθήσεις αποτελούμενες από ολίσθηση και ανατροπή στα αριστερά και ολίσθηση και ροή γαιών στα δεξιά (Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).	28
Σχήμα 9: Είδος κίνησης βραχωδών τεμαχών βάσει της κλίσης του πρηνούς (Ritchie, 1963).	30
Σχήμα 10: Βασικοί τύποι ολισθήσεων βραχωδών πρηνών και αντίστοιχα διαγράμματα στατιστικής επεξεργασίας πόλων ασυνεχειών – αποτύπωσης κυρίων επιπέδων από Hoek & Bray, 1973 (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007).	31
Σχήμα 11: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αζιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Απικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη – πλακώδεις ασβεστολίθοι» πιθανόν της Ιονίου Ζώνης (Δ. Μουντράκης, 2010).	32
Σχήμα 12: Λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης. 1: γύψος, 2: μαύροι ασβεστολίθοι, 3: δολομίτες, 4: ασβεστολίθοι νηριτικοί «Παντοκράτορα», 5: ασβεστολίθοι του Ammonitico rosso, 6: σχιστολίθοι με Posidonomyes, 7: κερατολίθοι, 8: ασβεστολίθοι πελαγονικοί «Βίγλας», 9: ασβεστολίθοι λατυποπαγείς, 10: φλύσχης (Δ. Μουντράκης, 1985, τροποποιημένο).	33
Σχήμα 13: Η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Διακρίνεται η κοίτη του π. Βοϊδομάτη, η θέση του μετώπου που αστόχησε τον Οκτώβριο του 2021 στο νοτιοδυτικό άκρο του μελετώμενου πρηνούς και η Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής (αεροφωτογραφία, πηγή: Geodata.gov.gr.)	35
Σχήμα 14: Υδρογραφικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή του μελετώμενου πρηνούς ανάντη του Ι.Ν Αγ. Παρασκευής (πηγή: διαδικτυακός τόπος Ι.Γ.Μ.Ε. – χαρτογραφική πύλη).	36
Σχήμα 15: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Με κίτρινο κύκλο περικλείεται η θέση του μελετώμενου πρηνούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής	38
Σχήμα 16: Τεκτονικό σκαρίφημα της Ηπείρου στο οποίο διακρίνονται οι πιο βασικές τεκτονικές γραμμές. 1: κύριο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, 2: ανάστροφα ρήγματα, 3: επωθήσεις, 4: άζονες αντικλίνων, κατεύθυνση συμπίεσης (κατά I.F.P. 1966). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης	41
Σχήμα 17: Κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών Ανατολικής Μεσογείου (Παπαζάχος κ.α. 1998, 2000).	42
Σχήμα 18: Ταχύτητες σεισμικής παραμόρφωσης (mm/yr) στον ελληνικό χώρο (Παπαζάχος και Κυρατζή 1996). Συγκλίνοντα βέλη παριστάνουν τη συμπίεση και αποκλίνοντα την επέκταση.	43
Σχήμα 19: Χάρτης σημαντικών Σεισμογενετικών Πηγών στην ευρύτερη περιοχή του πρηνούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής Μονοδενδρίου (βόρειο τμήμα Περιφέρειας Ηπείρου).	44
Σχήμα 20: Επίκεντρα ιστορικών και νεότερων ισχυρών σεισμών σε απόσταση έως 75km από την περιοχή μελέτης, καθώς επίσης των νεότερων σεισμών μεγέθους $M \geq 4,5$ σε απόσταση έως 50km από την περιοχή μελέτης	49
Σχήμα 21: Μορφολογικός χάρτης του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Ηπείρου. Διακρίνονται οι λεκάνες απορροής ποταμών του ΥΔ, καθώς επίσης με κόκκινο κύκλο η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντός της ΛΑΠ Αώου.	50
Σχήμα 22. Απόσπασμα βροχομετρικού χάρτη Ελλάδος (με βάση στοιχεία της ΔΕΗ για την περίοδο 1950-1974). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης	52

Σχήμα 23: Μέσο ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (EMY). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.	52
Σχήμα 24: Μέση ελάχιστη και μέγιστη ετήσια θερμοκρασία. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (EMY). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.	58
Σχήμα 25: Μέση ετήσια θερμοκρασία. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (EMY). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.	58
Σχήμα 26: Μεταβολή μέσης ελάχιστης, μέγιστης και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων EMY).	59
Σχήμα 27: Διάγραμμα υπολογισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη των τοιχωμάτων ασυνεχειών JCS με βάση το μέσο όρο των μετρήσεων σκληρότητας (SHV) και την πυκνότητα των ασβεστολίθων (DEERE and MILLER, 1966).	73
Σχήμα 28: Τυπικό προφίλ τραχύτητας και οι αντίστοιχες τιμές JRC για το καθένα (Barton & Choubey, 1977). Με κόκκινο διακεκομμένη γραμμή περικλείονται οι τιμές τραχύτητας των επιφανειών στρώσης, ενώ με μπλε των επιφανειών διάκλασης.	75
Σχήμα 29: Στερεοδιάγραμμα Schmidt από την περιοχή του πρανούς ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή. Διακρίνονται οι μέγιστοι κύκλοι των κύριων επιπέδων ασυνεχειών, οι πόλοι των μετρήσεων με γεωλογική πυξίδα και η στατιστική επεξεργασία (πυκνότητες) αυτών.	77
Σχήμα 30: Κάτοψη νέφους σημείων της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται με κόκκινη γραμμή η παράταξη του τμήματος πρανούς αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και έως την είσοδο του φαραγγιού.	78
Σχήμα 31: Χρήση του εργαλείου "Cross Section" του προγράμματος CloudCompare, για την επιλογή της γωνίας κλίσης τμήματος του πρανούς μεταξύ της περιοχής αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και της εισόδου του φαραγγιού.	79
Σχήμα 32: Τομή επί του ασβεστολιθικού πρανούς, κάθετη στη κλίση διεύθυνσης του φυσικού πρανούς ύψους περί τα 100m.	79
Σχήμα 33: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης στο στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.	80
Σχήμα 34: Κινηματική ανάλυση έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης στο στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.	81
Σχήμα 35: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής στο στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.	82
Σχήμα 36: Τομή επί του ασβεστολιθικού πρανούς στη θέση της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021, αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.	84
Σχήμα 37: Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας (FoS=0,618) έναντι ανατροπής με τη χρήση του προγράμματος ROCTOPPLE, της ασυνέχειας 87°/310° στο πρανές κλίσης 80° και ύψους 15m.	85
Σχήμα 38: Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας (FoS=13,863) έναντι ανατροπής με τη χρήση του προγράμματος ROCTOPPLE, της ασυνέχειας 87°/310° στο πρανές κλίσης 80°, ύψους 15m, μετά την εφαρμογή πεντάμετρων αγκυρών φέρουσας ικανότητας 200kN.	86
Σχήμα 39: Η διαδικασία ολίσθησης της διατηρημένης βραχώμαζας στο πόδι του πρανούς και το σταμάτημα εξέλιξης της αστοχίας μορφής ανατροπής λόγω αγκύρωσης της βραχώμαζας. Διακρίνονται με κίτρινο χρώμα το βραχώδες τμήμα που ολισθαίνει λόγω διάτμησης και με πράσινο οι σταθερές λόγω αγκύρωσης βραχώδεις στήλες.	87
Σχήμα 40: Θέση Α, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος TΔ-Ψ1.	92
Σχήμα 41: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα TΔ-Ψ1.	93
Σχήμα 42: Θέση Β, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος TΔ-Ψ2.	94
Σχήμα 43: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα TΔ-Ψ2.	95
Σχήμα 44: Θέση Γ, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος TΔ-Ψ3.	96
Σχήμα 45: Κάτοψη πρανούς σύνταξης TΔ-Ψ3, στην οποία διακρίνονται τα επίπεδα στρώσης B1:08°/135° (RGB:0,0,235).	97
Σχήμα 46: Όψη πρανούς σύνταξης TΔ-Ψ3, με θέα προς τα Δ-ΝΔ και την ομάδα διακλάσεων J1:85°/093° (RGB:0,183,255).	97
Σχήμα 47: Όψη πρανούς σύνταξης TΔ-Ψ3, με θέα προς τα βόρεια και την ομάδα διακλάσεων J2:88°/148° (RGB: 28,255,227 & 227,0,0).	97
Σχήμα 48: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα TΔ-Ψ3.	98
Σχήμα 49: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ1, για γεωμετρία μετωπικού πρανούς 81°/126°.	99
Σχήμα 50: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ2, για γεωμετρία μετωπικού πρανούς 74°/128°.	99
Σχήμα 51: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρανούς 60°/102°.	100
Σχήμα 52: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρανούς 60°/147°.	100

Σχήμα 53: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής των μεμονωμένων επιπέδων $86^{\circ}/320^{\circ}$ (J2) του ψηφιακού στερεοδιαγράμματος Schmidt TΔ-Ψ1, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς $81^{\circ}/126^{\circ}$	101
Σχήμα 54: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής των μεμονωμένων επιπέδων $88^{\circ}/328^{\circ}$ (J2) του ψηφιακού στερεοδιαγράμματος Schmidt TΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς $60^{\circ}/147^{\circ}$	101
Σχήμα 55: Επιλογή θέσεων μέτρησης όγκων αποκομμένων βραχοτεμαχίων.	103
Σχήμα 56: Κατανομή του όγκου των αστοχούντων βραχωδών τεμαχίων από το πρσανές ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.	104
Σχήμα 57: Επιλογή θέσεων ελέγχου τροχιών κατάπτωσης βραχωδών τεμαχίων.	111
Σχήμα 58: Απεικόνιση τροχιακών προσομοιώσεων μέσω του προγράμματος Rocfall.....	113
Σχήμα 59: Θέσεις εφαρμογής προτεινόμενων μέτρων προστασίας έναντι φαινομένων βραχοκαταπτώσεων.	114

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Η καμάρα της εισόδου στη μονή Αγίας Παρασκευής.	17
Εικόνα 2: Το ψηλό και απότομο ανθρακικό πρσανές, όπως διακρίνεται από τον περιβάλλοντα χώρο των κτιριακών εγκαταστάσεων της μονής Αγίας Παρασκευής.	18
Εικόνα 3: Πανοραμική άποψη του μελετώμενου πρσανούς, όπου διακρίνονται ο Ναός της Αγίας Παρασκευής, το λαξεμένο μονοπάτι και η είσοδος στο φαράγγι του Βίκου.....	18
Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα 4/2006 (από Google Earth), όπου παρουσιάζεται η θέση του μελετώμενου πρσανούς.	19
Εικόνα 5: Το μη επανδρωμένο αερόχημα UAV (Unmanned Aerial Vehicle) που χρησιμοποιήθηκε, DJI Phantom 4 pro v 2.0.	22
Εικόνα 6: Λεπτο-μεσοστρωμάτωσης έως παχυστρωμάτωσης ασβεστόλιθοι ηλικίας Παλαιόκαινο – Ηώκαινο.	39
Εικόνα 7: Παρουσία τεφρών έως μαύρων πυριτολίθων σε μορφή κονδύλων ή τραπεζών εντός των ανθρακικών πετρωμάτων του μελετώμενου πρσανούς.	40
Εικόνα 8: Δορυφορική εικόνα από Google Earth, όπου παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης του πρσανούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής (Μονοδενδρίου) και των τριών γειτονικών υφιστάμενων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ.	53
Εικόνα 9: Πτώση βράχων σε κτίσμα παραπλεύρως της καμαρωτής πύλης της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής, σε απόσταση πλέον των 120m από το μελετώμενο πρσανές. Διακρίνεται η εφαρμογή πλέγματος στο ασβεστολιθικό πρσανές.	61
Εικόνα 10: Καταστροφή του κελιού της μονής λόγω της εκδήλωσης βραχόπτωσης την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2020, σε απόσταση περί τα 60m νοτιοδυτικά του μελετώμενου πρσανούς.....	61
Εικόνα 11: Πλακόστρωτο μονοπάτι σύνδεσης της κεντρικής (καμαρόσχημης) πύλης με τα κυρίως κτήρια της Μονής, συμπεριλαμβανομένου του Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής. Διακρίνονται το κατεστραμμένο τμήμα κελιού λόγω της αστοχίας του 2020 και πεσμένα βραχώδη τεμάχια.....	62
Εικόνα 12: Κατεστραμμένο πλέγμα στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρσανούς λόγω της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021.	63
Εικόνα 13: Κομμένο σαρματόσχοινο και κατεστραμμένο πλέγμα στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρσανούς λόγω της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021.....	63
Εικόνα 14: Αστοχία πρσανούς (Οκτώβριος 2021) και καταστροφή του πλέγματος και των εγκάρσιων σαρματόσχοινων, στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρσανούς. Διακρίνονται πεσμένα βραχώδη τεμάχια μεγέθους $>1m^3$	64
Εικόνα 15: Σημαντικού όγκου ασβεστολιθικά τεμάχια, στο πόδι του μελετώμενου πρσανούς λόγω της αστοχίας στις 7 ^{ης} Οκτωβρίου 2021.....	65
Εικόνα 16: Μικρά ασβεστολιθικά τεμάχια, πεσμένα επί του λιθόκτιστου μονοπατιού, στο πόδι του μελετώμενου πρσανούς.	66
Εικόνα 17: Μικρής κλίμακας πεσμένα τεμάχια αμέσως μετά την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου, λόγω αστοχίας των λεπτο-μεσοπλακοδών ασβεστόλιθων.....	66
Εικόνα 18: Το πρσανές ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής, όπως προέκυψε από το νέφος σημείων (point cloud) που δημιουργήθηκε μετά τη λήψη φωτογραφιών από μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV) στις 21 Οκτωβρίου 2021. Διακρίνονται οι θέσεις των καταγεγραμμένων αστοχιών.	67
Εικόνα 19: Παρουσία ριζικού συστήματος θαμνοειδούς βλάστησης, εντός των διακλάσεων του ασβεστόλιθου, στη θέση της αστοχίας της 7 ^{ης} Οκτωβρίου 2021.....	69
Εικόνα 20: Η διεύθυνση του ριζικού συστήματος διευρύνει της υφιστάμενες διακλάσεις και δημιούργησε συνθήκες αύξησης της αποσθρωτικής δράσης του νερού στα τοιχώματα των βραχωδών τεμαχίων που αστόχησαν, καθώς επίσης των πλευρικών πιέσεων λόγω του παγώματος του νερού εντός των ρωγμών.	70
Εικόνα 21: Τμήμα του μελετώμενου ανθρακικού πρσανούς. Διακρίνεται τοπικά η απουσία στήριξης βραχωδών στηλών (κολώνες) και η δημιουργία επικρεμάμενων (επισφαλών) βραχοτεμαχίων.	71
Εικόνα 22: Λήψη μετρήσεων σκληρότητας (SHV) ασβεστολίθων, με χρήση σφύρας Schmidt.	74
Εικόνα 23: Λήψη μετρήσεων ασυνεχειών επί του μελετώμενου πρσανούς, με γεωλογική πυξίδα τύπου clark.	76

Εικόνα 24: Αστοχία του πρανούς σε άμεση γειτνίαση με τον Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής. Διακρίνονται τα συρματοσχοίνα που αστόχησαν και η ανάπτυξη αντίρροπων του πρανούς διακλάσεων που μελλοντικά δύναται να εξελιχθούν σε αστοχίες ανατροπών.	83
Εικόνα 25: Η εικόνα του τρισδιάστατου μοντέλου νέφους σημείων μετά την διαδικασία απομάκρυνσης θορύβου. Το υπόψη πρανές αφορά την περιοχή μεταξύ της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής στα ΝΔ/κα (αριστερά) και την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου στα ΒΔ/κα (δεξιά).	89
Εικόνα 26: Θέσεις εξεταζόμενων υποτμημάτων νέφους σημείων, για τον υπολογισμό επικρατούσων κύριων ομάδων ασυνεχειών με μη συμβατική μέθοδο, στις θέσεις Α και Β.	91
Εικόνα 27: Γενική άποψη ολικού πρανούς Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής. Διακρίνεται η θέση Γ σύνταξης του ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3.	91
Εικόνα 28: Υποτμήμα πρανούς (νέφους σημείων) πλησίον καμαρόσχημης εισόδου Ι.Μ., πριν την αφαίρεση του θορύβου.	95
Εικόνα 29: Υποτμήμα πρανούς (νέφους σημείων) πλησίον καμαρόσχημης εισόδου Ι.Μ. για τη σύνταξη του ψηφιακού ΤΔ-Ψ3, μετά την αφαίρεση του θορύβου με τη βοήθεια του λογισμικού CloudCompare.	96
Εικόνα 30: Χρήση εργαλείων στο CloudCompare για τη μέτρηση των διαστάσεων αστοχιών βραχοτεμαχών.	102
Εικόνα 31: Άποψη της αστοχίας πλησίον της καμαρόσχημης πύλης εισόδου στην Ι. Μ. Αγ. Παρασκευής (στα νοτιοδυτικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης). Οι διαστάσεις του πεσμένου όγκου επί της σκεπής κτιρίου μετρήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού CloudCompare ίσες με 0,3m x 0,3m x 0,6m.	105
Εικόνα 32: Άποψη της αστοχίας Μαρτίου – Απριλίου 2020 στη θέση κατάρρευσης των παλαιών ανενεργών κελιών. Οι πεσμένοι βραχώδεις όγκοι ήταν μέγιστου μεγέθους περί του 1m³.	106
Εικόνα 33: Πεσμένο βραχώδες τέμαχος διαστάσεων 0,2m x 0,35m x 0,8m περίπου, επί του πλακόστρωτου μονοπατιού που συνδέει τον Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής με την είσοδο του φαραγγιού του Βίκου.	107
Εικόνα 34: Αστοχία στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, εντός του φαραγγιού του Βίκου και σε μικρή απόσταση περί τα 10-15m μετά την είσοδο σε αυτό. Τα πεσμένα βραχώδη τεμάχια αποκόπηκαν από ύψος 5m περίπου.	107

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα υψηλά ή σημαντικού ύψους απότομα φυσικά και τεχνητά βραχώδη πρανή είναι συχνή η εκδήλωση αστοχιών σε μορφή βραχοκαταπτώσεων, με σοβαρές συχνά απώλειες σε ανθρώπινες ζωές και βλάβες σε δομικές κατασκευές. Πρόκειται για το γεωλογικό φαινόμενο όπου βραχώδη γεωυλικά ποικίλου μεγέθους αποσπώνται συνήθως από μεγάλο ύψος και κινούνται λόγω της βαρύτητας με μεγάλη ταχύτητα προς τα κατόντη. Η κίνηση των αποκολλημένων βραχωδών τεμαχίων εξαρτάται κυρίως από τη μορφολογία του πρανούς όπου αποκόπηκαν, και δευτερευόντως το σχήμα και τη φύση αυτών, καθώς επίσης την ύπαρξη βλάστησης και τη φύση των πετρωμάτων που δομούν το πρανές. Έτσι η κίνηση των βραχοτεμαχίων αναλόγως της γεωμετρίας του πρανούς έχει χαρακτηριστικά ελεύθερης πτώσης όταν το πρανές έχει έντονη κλίση, αναπήδησης και κύλισης όταν το πρανές γίνεται ηπιότερο, είτε συνδυασμού των προηγούμενων. Αν και κατά την αποκόλληση και πτώση των πετρωμάτων η εκδήλωση του φαινομένου είναι ραγδαία και άρα με σοβαρές συνέπειες και βλάβες για τις κατόντη γεινιάζουσες περιοχές, συχνά των μεγάλης κλίμακας βραχοκαταπτώσεις προηγούνται μικρότερες μετακινήσεις που οδηγούν στην προοδευτική εξέλιξη του φαινομένου. Οπότε γίνεται αντιληπτό ότι η έγκαιρη και ακριβής επισκόπηση των υφιστάμενων και δυνητικών αστοχιών ενός πρανού, είναι καθοριστική για τη λήψη μέτρων προστασία αυτού έναντι της εκδήλωσης φαινομένων καταπτώσεων βραχωδών όγκων.

Η μελέτη ευστάθειας ενός υψηλού πρανού έναντι βραχοκαταπτώσεων, συμπεριλαμβάνει επίσης τον έλεγχο δομικών αστοχιών της βραχώμαζας. Η μελέτη των δομικών αστοχιών προσφέρει σημαντικές πληροφορίες για την πιθανότητα και άρα την συχνότητα εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων, την απαίτηση πρόσθετων μέτρων προστασίας πρανού, καθώς επίσης τον μηχανισμό αποκόλλησης των βραχωδών τεμαχίων. Επιπροσθέτως ο εντοπισμός των περιοχών που δύναται να εκδηλωθούν δομικές αστοχίες βράχου, είναι μεγάλης σημασίας αφού συχνά αυτές αποτελούν τις περιοχές εκδήλωση των πρόδρομων αστοχιών πριν την εκδήλωση σφοδρότερων φαινομένων βραχοκαταπτώσεων. Η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων για την κατανόηση των επικρατουσών τεχνικογεωλογικών συνθηκών στη συνολική έκταση ενός απότομου πρανού, συνήθως είναι αδύνατη λόγω των δυσμενών μορφολογικών χαρακτηριστικών αυτού. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, για την επίλυση των προβλημάτων αυτών έχει εισαχθεί η χρήση νέων μεθόδων Τηλεπισκόπησης. Μία από τις μεθόδους αυτές αφορά τη φωτογραμμετρία με χρήση μη επανδρωμένων αεροχημάτων UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Η μέθοδος της φωτογραμμετρίας με τη χρήση UAV αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για τη μελέτη ευστάθειας βραχωδών πρανών αλλά και εν γένει κατολισθητικών φαινομένων, τόσο λόγω της δυνατότητας συλλογής στοιχείων από δυσπρόσιτες και επισφαλείς περιοχές, όσο και λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας χρήσης του εξοπλισμού.

Η παρούσα μελέτη αφορά στο πρανές που ορίζεται από την περιοχή αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής στα νοτιοδυτικά, έως τη φυσική είσοδο στο φαράγγι του Βίκου στα βορειοανατολικά. Στο πλαίσιο κατανόησης των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην στενή περιοχή μελέτης η έρευνα περιλάμβανε και την ευρύτερη περιοχή, ήτοι από την καμαρόσχημη είσοδο της Ιεράς Μονής έως την περιοχή μετά την είσοδο του φαραγγιού.

Οι κτιριακές δομές της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής συμπεριλαμβανομένου του Ι. Ναού ανοικοδομήθηκε πριν από πλέον των 600 ετών (1412) αμέσως κατάντη του παρακατακόρυφου ασβεστολιθικού πρानούς ύψους πλέον των 100m. Στην περιοχή του μελετώμενου πρानούς έχουν εκδηλωθεί κατά το παρελθόν φαινόμενα βραχοκαταπτώσεων με αποτέλεσμα την εφαρμογή μέτρων προστασίας σε δύο θέσεις. Η πρώτη θέση αφορά την περιοχή της καμαρόσχημης πύλης εισόδου στην Ι. Μονή και η δεύτερη και πιο πρόσφατη το πρανές αμέσως ανάντη του Ι. Ναού. Στη δεύτερη αυτή θέση εκδηλώθηκε τον Οκτώβριο του 2021 νεότερη αστοχία δομικού χαρακτήρα που είχε ως αποτέλεσμα τη μερική βλάβη των μέτρων προστασίας. Για την εν λόγω περιοχή μελέτης συλλέχθηκαν τα διαθέσιμα βιβλιογραφικά στοιχεία αναφορικά με τη γεωλογία, την τεκτονική, τη γεωμορφολογία, τα κλιματικά δεμένα και τη σεισμικότητα. Επιπλέον πραγματοποιήθηκε η επισκόπηση των επικρατουσών τεχνικογεωλογικών συνθηκών τόσο με συμβατικά μέσα (π.χ. γεωλογική πυξίδα) όσο και με τη χρήση νέων τεχνολογιών (UAV). Τα στοιχεία αυτά συγκρίθηκαν μεταξύ τους για τον έλεγχο της αξιοπιστίας τους και αξιολογήθηκαν για τη διερεύνηση του μηχανισμού εκδήλωσης των αστοχιών, τον έλεγχο δυνητικών αστοχιών, ευστάθειας του πρανούς έναντι δομικών αστοχιών και βραχοκαταπτώσεων. Τέλος σύμφωνα με τα αποτελέσματα αξιολόγησης των τεχνικογεωλογικών συνθηκών, προτάθηκαν για τη στενή περιοχή μελέτης η οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω αφορά το μονοπάτι που οδηγεί από τον Ι. Ναό Αγ. Παρασκευής στην είσοδο του φαραγγιού του Βίκου, τα απαιτούμενα μέτρα προστασίας έναντι των καταπτώσεων βραχωδών τεμαχών.

ABSTRACT

On the high, or significantly steep and high natural or artificial rocky slopes, failures in the form of rockfalls are common, often causing serious damages in structures and severe loss of human life. It is a geological phenomenon where rocky geo-materials of different size are usually detached from higher ground moving downwards in high speed because of gravity. The movement of these detached rock blocks depends mostly on the slope morphology and secondarily on their shape and nature, as well as the presence of vegetation and the nature of rocks forming the slope. Thus, rock blocks movement depends on the slope geometry. It shows free-fall characteristics in cases of high inclination of the slope, bounce and rolling when the inclination is milder, or a combination of the above. Although the rockfall phenomenon evolves rapidly, leading to serious consequences and damages of the surrounding areas, large-scale rockfalls are often preceded by smaller movements, leading to a progressive evolution of the phenomenon. So, it is understood that the prompt and accurate overview of the existing and potential failures of a slope is decisive for taking measures to protect it against the occurrence of rockfall phenomena.

The stability study of a high slope against rockfalls also includes the control of structural failures of the rock mass. The study of structural failures offers important information on the probability and therefore the frequency of rockfall occurrence, the requirement of additional slope protection measures, as well as the cut-off mechanism of the rock fragments. In addition, the identification of the areas where structural rock failures may occur is of great importance since these are often the areas where the precursor failures occur before the occurrence of more severe rockfall phenomena. Collecting the required data to understand the prevailing geological and geotechnical conditions in the entire range of a steep slope is usually impossible due to its adverse morphological characteristics. During the last years, in order to solve this kind of problems, the use of new Remote Sensing methods has been introduced. One of these is the photogrammetry method using drones UAV (Unnamed Aerial Vehicle). The photogrammetry method using UAV is an important tool for studying the stability of rocky slopes and landslide phenomena in general, because of the provided capability of collecting data from inaccessible and unsafe areas, as well as due to the low cost and the user-friendly equipment.

The present study concerns the slope defined by the area right across the church of St. Paraskevi in the southwest, up to the natural entrance of the Vikos gorge in the northeast. In order to understand the geological and geotechnical conditions in the narrow study area, the research also included a wider area from the arched entrance of the Monastery, to the area after the entrance of the canyon. The building structures of St. Paraskevi Monastery, including the Temple, were rebuilt more than 600 years ago (1412), right under the nearly vertical limestone slope more than 100m high. In the past, rock fall phenomena have occurred in the slope of the study region, resulting in the application of protection measures in two sites. The first site concerns the area of the arched entrance gate to the Monastery and the second one and most recent, the slope immediately over the Church. In October 2021, in the second location a newer structural failure occurred which resulted in the partial

damage of the protection measures. Available bibliographic data were collected regarding geology, tectonics, geomorphology, climate bonds and seismicity of the study region. In addition, an overview of the prevailing geological and geotechnical conditions was carried out using both conventional means (eg geological compass) and new technologies (UAV). The collected data were compared to each other to check their reliability and evaluated in order to investigate the failure mechanism, the potential failure control and the slope stability against structural failures and rockfalls. Finally, according to the results of the evaluation of the geological and geotechnical conditions for the narrow study area which, as mentioned above, concerns the path between the Church of St. Paraskeyi and the entrance of the Vikos gorge, the required protection measures were proposed.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στον Ελληνικό χώρο, το φαινόμενο των καταπτώσεων τεμαχών πετρωμάτων αποσπώμενων από ένα φυσικό ή τεχνητό πραινές είναι η μία από τις κύριες μορφές εκδήλωσης κατολισθήσεων, στις περιοχές επικράτησης του βραχώδους υποβάθρου. Η έρευνα της παρούσας εργασίας αφορά τη διερεύνηση των επικρατουσών γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών στο φυσικό βραχώδες πραινές ανάντη της Ιεράς Μονής Αγίας Παρασκευής στο Μονοδένδρι Ηπείρου και ειδικότερα το τμήμα αυτού μεταξύ του Ι. Ναού (και των κύριων κτιρίων της μονής) και της εισόδου στο φαράγγι του Βίκου. Αφορμή της υπόψη έρευνας ήταν η εκδήλωση βραχοκαταπτώσεων που εκδηλώθηκε κατά την περίοδο των τελευταίων ετών. Το αντικείμενο της εργασίας είναι η διερεύνηση της υπόψη περιοχής έναντι εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων, τόσο με χρήση κλασικών μεθόδων τεχνικογεωλογικής αξιολόγησης όπως είναι η αναγνώριση του φαινομένου στην ύπαιθρο και η λήψη μετρήσεων ασυνεχειών, όσο και με τη χρήση νεότερων μεθόδων. Οι τελευταίες αφορούν τη χρήση μεθόδων Τηλεπισκόπησης με σκοπό την αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών και των εκδηλωμένων κατά το παρελθόν αστοχιών από απόσταση.

Οι πλέον σύνηθες μέθοδοι Τηλεπισκόπησης στην τεχνική γεωλογία κατά την τελευταία δεκαετία, είναι η χρήση επίγειων σαρωτών με λέιζερ Lidar και μη επανδρωμένων αεροχημάτων UAV (Unmanned Aerial Vehicle) που ως στόχο έχουν τη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων σε περιοχές με ήπιο ή εξαιρετικά απότομο ανάγλυφο εδάφους χωρίς πρόσβαση. Ειδικότερα, η μέθοδος της φωτογραμμετρίας με χρήση UAV χαρακτηρίζεται ως η πλέον διαδεδομένη, λόγω της ευκολίας στη μεταφορά και χρήσης των αεροχημάτων, καθώς επίσης το χαμηλό της κόστος.

Σκοπός της εργασίας είναι ο συνδυασμός των κλασικών και νεότερων μεθόδων έρευνας για την αξιολόγηση των επικρατουσών τεχνικογεωλογικών συνθηκών στην περιοχή του μελετώμενου βραχώδους πραινούς, τον εντοπισμό των παλαιότερων και νεότερων αστοχιών, τη διερεύνηση του μηχανισμού αυτών των αστοχιών και τέλος τη διαστασιολόγηση των απαιτούμενων μέτρων προστασίας. Για την υλοποίηση των προαναφερόμενων πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη και λεπτομερής τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή μελέτης σε συνδυασμό με τη χρήση της φωτογραμμετρίας μέσω UAV.

1.2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΚΕΦΑΛΑΙΩΝ

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται ως εξής:

Στο Κεφάλαιο 1, αναφέρονται όλα τα εισαγωγικά στοιχεία που αφορούν στο αντικείμενο της παρούσας εργασίας, στη γεωγραφική θέση της περιοχής μελέτης, εισαγωγή στη μεθοδολογία και στην τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε, παρουσίαση βασικών εννοιών της μελέτης, καθώς επίσης στο πρόσφατο ιστορικό εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος.

Στο Κεφάλαιο 2, περιγράφονται οι γεωλογικές συνθήκες στην άμεση και ευρύτερη περιοχή μελέτης, ήτοι την επικρατούσα στρωματογραφία, τη γεωμορφολογία, το τεκτονικό καθεστώς και σεισμικότητα, καθώς επίσης τα διαθέσιμα υδρομετεωρολογικά δεδομένα.

Στα Κεφάλαια 3, παρουσιάζεται η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης της περιοχής μελέτης και παρουσιάζονται τα κύρια συστήματα ασυνεχειών (στρώσης και διακλάσεων).

Στο Κεφάλαιο 4, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του ελέγχου δυνητικών αστοχιών και ο έλεγχος ευστάθειας βραχωδών πρηνών.

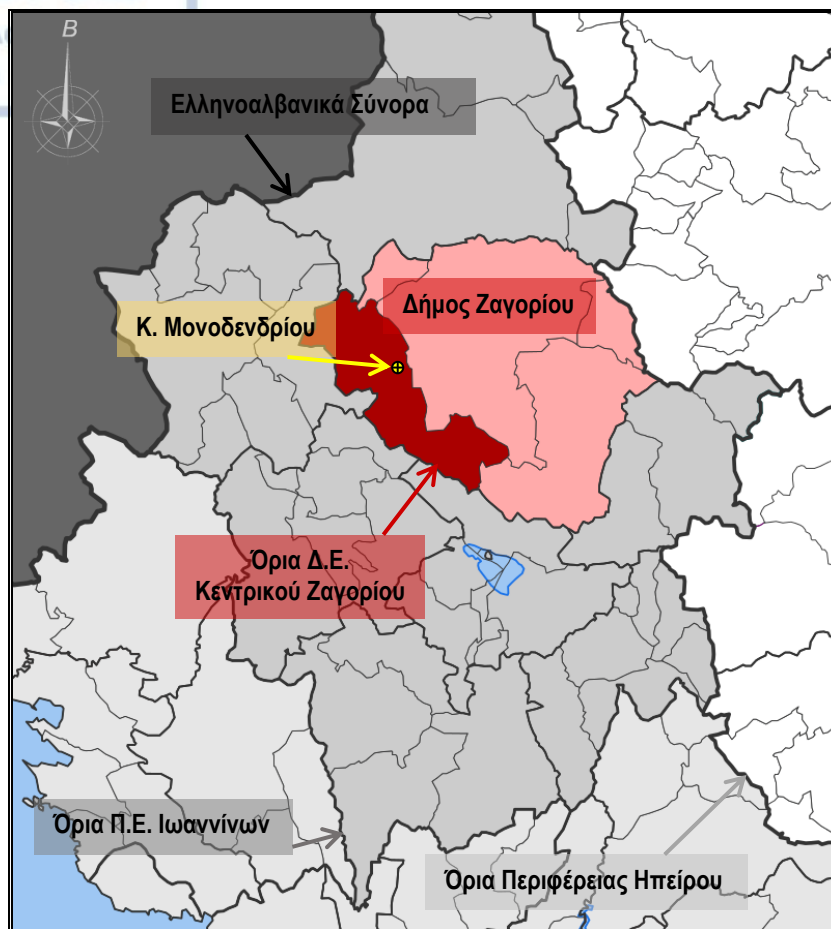
Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται η αξιολόγηση των ληφθέντων στοιχείων από μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV).

Στο Κεφάλαιο 6, παρουσιάζεται ο έλεγχος ευστάθειας έναντι βραχοκαταπτώσεων, με συνδυασμό στοιχείων κλασικών και μοντέρνων μεθόδων.

Στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας μελέτης.

1.3. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης τοποθετείται διοικητικά στα βόρεια της Περιφέρειας Ηπείρου και συγκεκριμένα στο Δήμο Ζαγορίου της Περιφερειακής Ενότητας Ιωαννίνων. Ο Δήμος Ζαγορίου αναπτύσσεται στο κεντρικό και βόρειο τμήμα της Π.Ε. Ιωαννίνων και αποτελείται από πέντε (5) Δημοτικές Ενότητες. Η άμεση περιοχή ενδιαφέροντος ανήκει στη Δ.Ε. Κεντρικού Ζαγορίου η οποία αποτελεί το δυτικό τμήμα του Δήμου. Πρόκειται για την περιοχή που βρίσκεται σε άμεση γειτνίαση με την Ιερά Μονή Αγίας Παρασκευής, περί τα 600m ΔΒΔ της Κοινότητας Μονοδενδρίου.



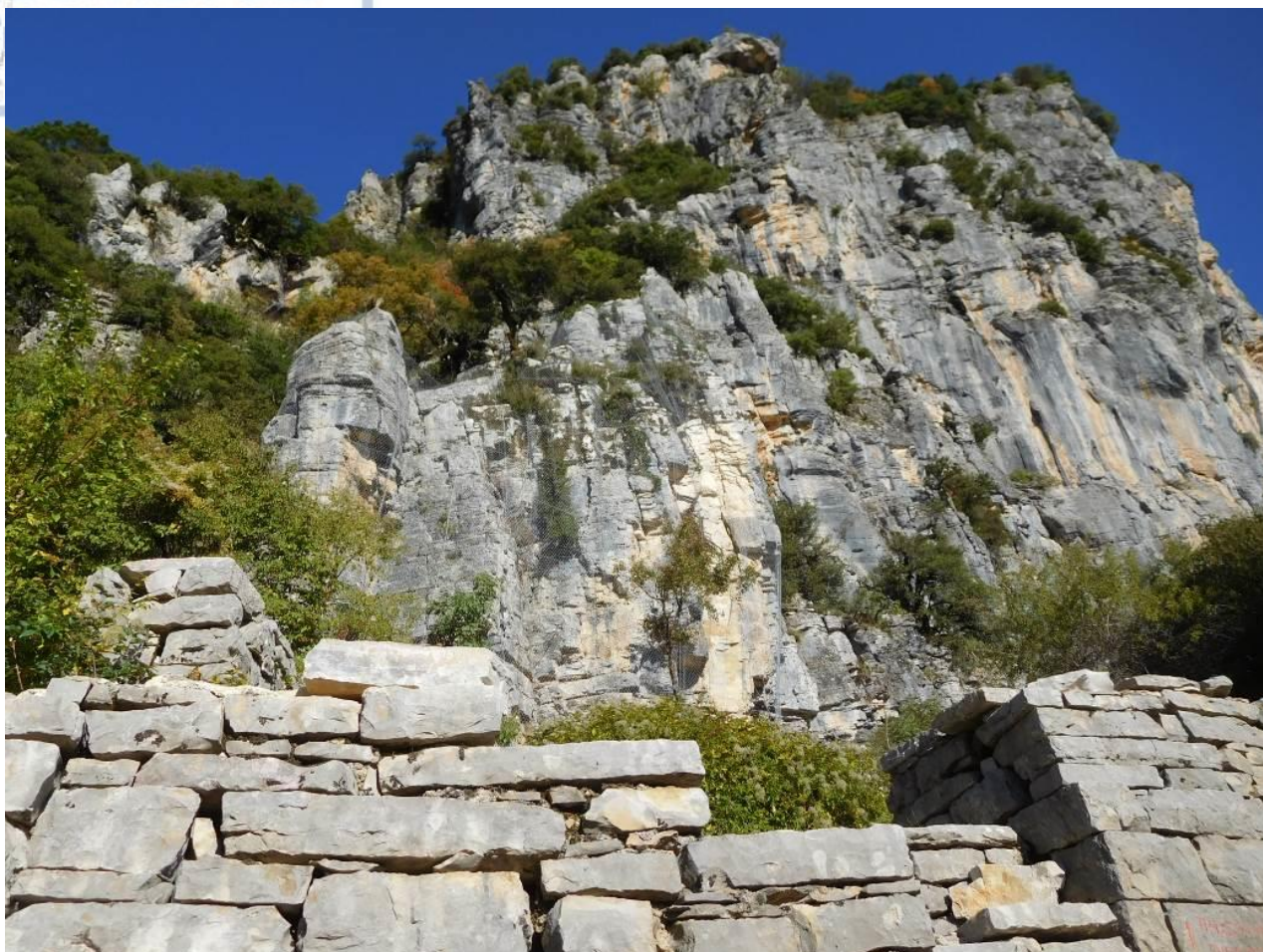
Σχήμα 1: Διοικητικά όρια ευρύτερης περιοχής μελέτης.

Η κοινότητα Μονοδενδρίου χτισμένη σε υψόμετρο 1.060m, βρίσκεται περί τα 22km βορείως της πόλης των Ιωαννίνων απέχοντας οδικώς από αυτήν περί τα 40km. Το ορεινό χωριό του Ζαγορίου γνώρισε σημαντική ανάπτυξη κατά τον 17^ο και 18^ο αιώνα, ενώ σήμερα αποτελεί γνωστό χειμερινό τουριστικό προορισμό λόγω της παραδοσιακής ηπειρωτικής αρχιτεκτονικής όπου δεσπόζουν η πέτρα και το ξύλο, καθώς επίσης τη μοναδική θέα του όρους Τύμφης (Γκαμήλα) και του φαράγγιού του Βίκου. Ένα από τα δύο σημεία εισόδου στο φαράγγι του Βίκου είναι το Μονοδένδρι και συγκεκριμένα το μοναστήρι της Αγίας Παρασκευής που είναι χτισμένο στο χείλος του φαράγγιού. Η Αγία Παρασκευή συνδέεται μέσω λιθόστρωτου δρόμου συνολικού μήκους περί τα 800m με το Μονοδένδρι. Η μονή ηλικίας πλέον των 600 χρόνων, χτίστηκε το 1412. Αποτελεί μοναστήρι φρούριο καθώς στο τέλος του λιθόστρωτου δρόμου απαντάται πύλη με καμάρα. Μετά την πύλη, μικρότερο λιθόστρωτο μονοπάτι οδηγεί στα κυρίως κτήρια της μονής (ναό, κελιά, ηγουμενείο και βοηθητικοί χώροι). Αν και σήμερα δεν λειτουργεί ως μονή, ο χώρος είναι επισκέψιμος, ενώ υφίσταται εργαστήριο και έκθεση αιογραφίας για τους επισκέπτες. Ανάντη του μοναστηριού υφίσταται μονοπάτι σκαλισμένο στα ανθρακικά πετρώματα της περιοχής, το οποίο οδηγεί στο φαράγγι του Βίκου. Το μοναδικής φυσικής ομορφιάς τοπίο συμπληρώνει ο ποταμός Βοϊδομάτης (παραπόταμος του π. Αώου) που διασχίζει το φαράγγι. Το μελετώμενο υψηλό ανθρακικό πρηνές αφορά το τμήμα του μονοπατιού αυτού, από την περιοχή των κύριων οικοδομημάτων της μονής Αγίας Παρασκευής έως την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου. Η σπουδαιότητα λοιπόν της μελέτης του

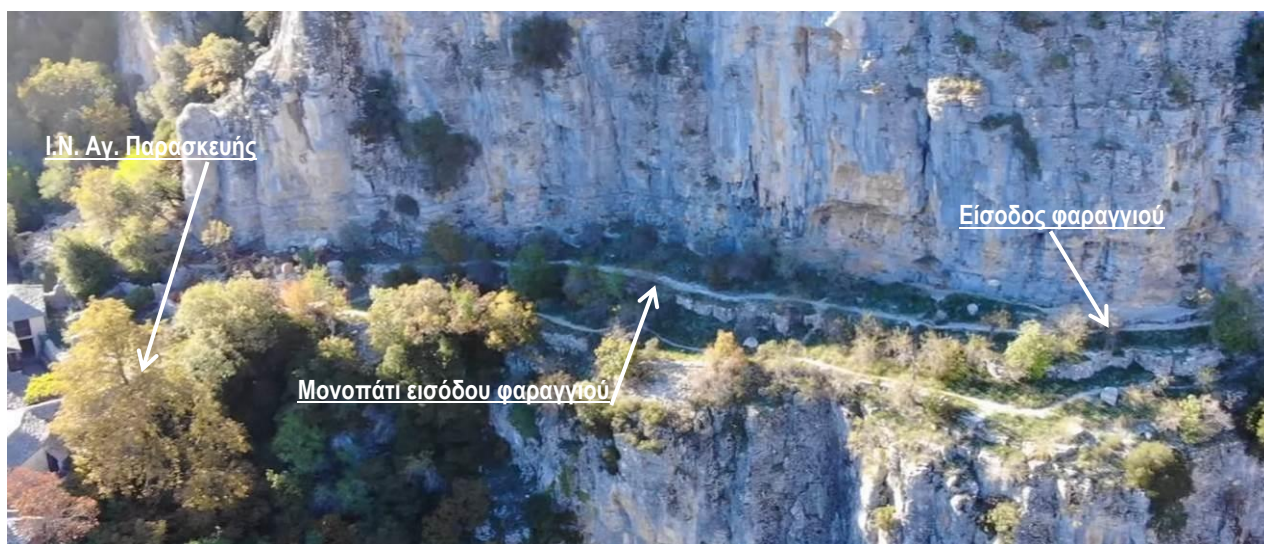
πρηνούς έναντι βραχοκαταπτώσεων έγκειται στην αυξημένη επισκεψιμότητα τόσο λόγω της παρουσίας της ιστορικής μονής, όσο και της εισόδου στο φαράγγι του Βίκου.



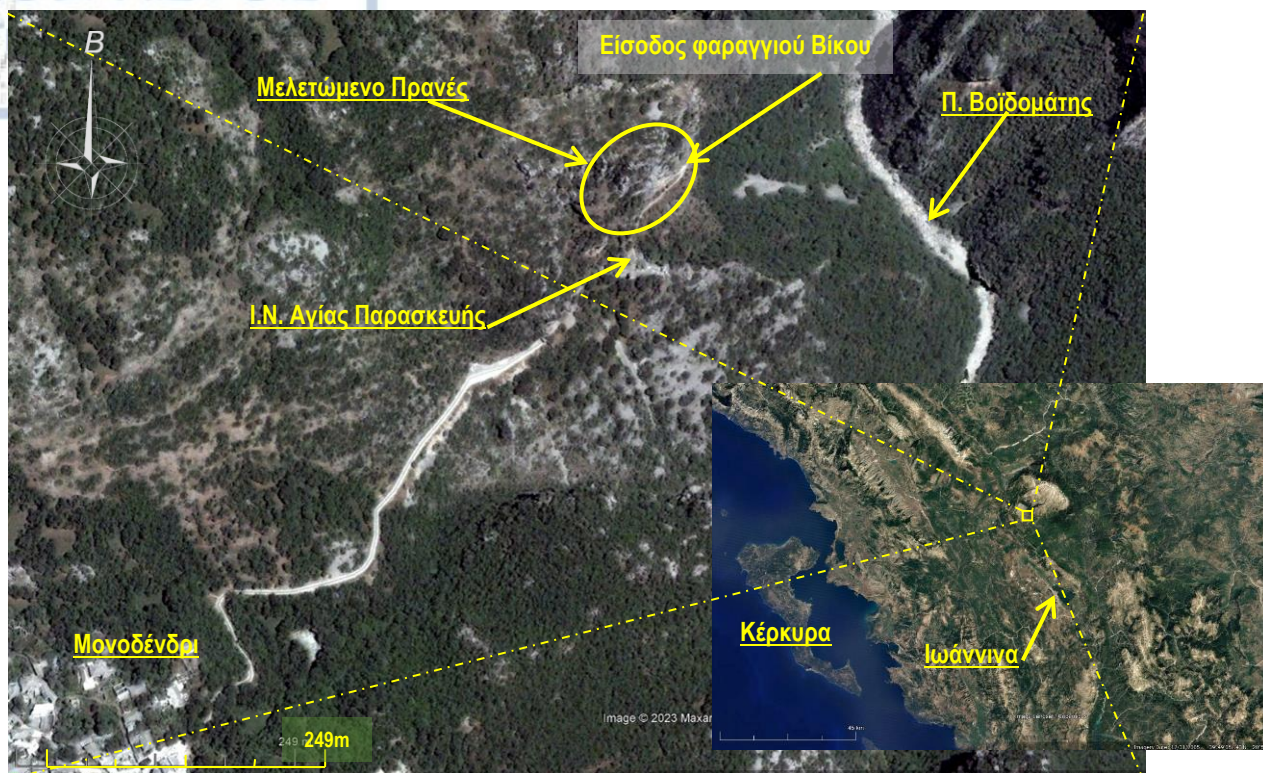
Εικόνα 1: Η καμάρα της εισόδου στη μονή Αγίας Παρασκευής.



Εικόνα 2: Το ψηλό και απότομο ανθρακικό πρανές, όπως διακρίνεται από τον περιβάλλοντα χώρο των κτιριακών εγκαταστάσεων της μονής Αγίας Παρασκευής.



Εικόνα 3: Πανοραμική άποψη του μελετώμενου πρανούς, όπου διακρίνονται ο Ναός της Αγίας Παρασκευής, το λαξεμένο μονοπάτι και η είσοδος στο φαράγγι του Βίκου.



Εικόνα 4: Δορυφορική εικόνα 4/2006 (από Google Earth), όπου παρουσιάζεται η θέση του μελετώμενου πρανούς.

1.4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΓΑΛΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η μεθοδολογία όπου ακολουθήθηκε, για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης περιλαμβάνει επιμέρους στάδια τα οποία αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια, ενώ επιγραμματικά παρουσιάζονται ακολούθως:

1. Συλλογή και επεξεργασία του συνόλου των διαθέσιμων γεωλογικών δεδομένων, που αφορούν στη στενή και ευρύτερη περιοχή του έργου,
2. Εκπόνηση επιτόπου αναλυτικής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης στην περιοχή μελέτης, με ιδιαίτερη βαρύτητα στον εντοπισμό περιοχών εκδήλωσης αστοχιών και χαρακτηριστικών βραχώδους υποβάθρου, με στόχο τον καθορισμό του τεχνικογεωλογικού μοντέλου.
3. Συλλογή πληροφοριών αναφορικά με το ιστορικό εκδήλωση αστοχιών και τις ιδιαίτερες επικρατούσες συνθήκες με σκοπό τον καθορισμό του μηχανισμού αστοχίας στο υπό εξέταση πρανές,
4. Εκτέλεση επιτόπου δοκιμών στο βραχώδες πρανές μελέτης, για τον προσδιορισμό μηχανικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών της βραχώδους και των ασυνεχειών,
5. Επεξεργασία επιτόπου ληφθέντων μετρήσεων ασυνεχειών στρώσης και διακλάσεων με σκοπό τη σύνταξη τεκτονικού διαγράμματος,
6. Πραγματοποίηση πτήσης του μη επανδρωμένου αεροχήματος UAV για τη λήψη των απαιτούμενων δεδομένων,
7. Σύνταξη τρισδιάστατου μοντέλου νέφους σημείων (3D point cloud) βάσει των χωρικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από το UAV,

8. Επεξεργασία παραγόμενων πληροφοριών με υπολογιστικές μεθόδους με σκοπό τη σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων και τη σύγκριση των παραγόμενων κύριων επιπέδων ασυνεχειών όπως αυτά εξάγονται από τα τρισδιάστατα μοντέλα με αυτά όπως παράχθηκαν από τις μετρήσεις που λήφθηκαν επιτόπου με γεωλογική πυξίδα,
9. Έλεγχος κινηματικών αναλύσεων και καθορισμός των δυνητικών δομικών αστοχιών της βραχώμαζας στην περιοχή μελέτης,
10. Έλεγχος ευστάθειας βραχώδους πρηνούς έναντι δομικών αστοχιών,
11. Διενέργεια αναλύσεων έναντι βραχοκαταπτώσεων, προκαθορισμένων δυνητικών τεμαχών για αστοχία, μέσω επιλεγμένων τροχιακών προσομοιώσεων του πρηνούς, με στόχο την εκτίμηση της κινητικής ενέργειας και του ύψους της θέσης πρόσκρουσης των αποκολλώμενων όγκων κατά μήκος των τομών ελέγχου.

Για την υλοποίηση των παραπάνω εργασιών και ιδιαίτερα την εκτίμηση του μηχανισμού αστοχίας βραχοκαταπτώσεων, οι **εργασίες γραφείου** εστίασαν στο σύνολο των διαθέσιμων βιβλιογραφικών αναφορών και μετρήσεων όπως είναι για παράδειγμα τα καταγεγραμμένα βροχομετρικά στοιχεία των υφιστάμενων μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής και η εκδήλωση σεισμικών συμβάντων σε συνδυασμό με την εκδήλωση αστοχιών.

Αντίστοιχα οι **εργασίες υπαίθρου** περιλάμβαναν δύο διακριτούς άξονες ερευνών. Ο πρώτος αφορούσε τη χρήση εργαλείων της κλασικής και μοντέρνας τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης για συλλογή στοιχείων, όπως είναι η γεωλογική πυξίδα μέτρησης προσανατολισμού των ασυνεχειών της βραχώμαζας, η σφύρα Schmidt και του προφίλομέτρου, καθώς επίσης η πτήση του μη επανδρωμένου αεροχήματος (UAV) τύπου DJI Phantom 4 Pro V2.0 για την λήψη φωτογραφιών του μελετώμενου πρηνούς. Ο δεύτερος άξονας των εργασιών υπαίθρου αφορούσε την αναγνώριση υφιστάμενων αστοχιών, τη εκτίμηση μέγιστων μετακινημένων βραχωδών όγκων, τον εντοπισμό βλαβών σε κτιριακές ή άλλες κατασκευές (π.χ. τοίχοι περίφραξης) και την καταγραφή υφιστάμενων μέτρων προστασίας πρηνών.

Επιπλέον, στο στάδιο **επεξεργασίας των στοιχείων** που συλλέχθηκαν είναι χρήση λογισμικών προγραμμάτων όπως ήταν το CloudCompare v2.11.1, τα προγράμματα H/Y Dips, Swedge, Rocplane, Rockfall της εταιρείας Rocscience, IBM SPSS Statistics 25 και AutoCad. Η άδεια χρήσης των συγκεκριμένων προγραμμάτων χορηγήθηκαν από το Τμήμα Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.).

1.4.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΦΩΤΟΓΡΑΜΜΕΤΡΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΩΝ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΩΝ (UAV)

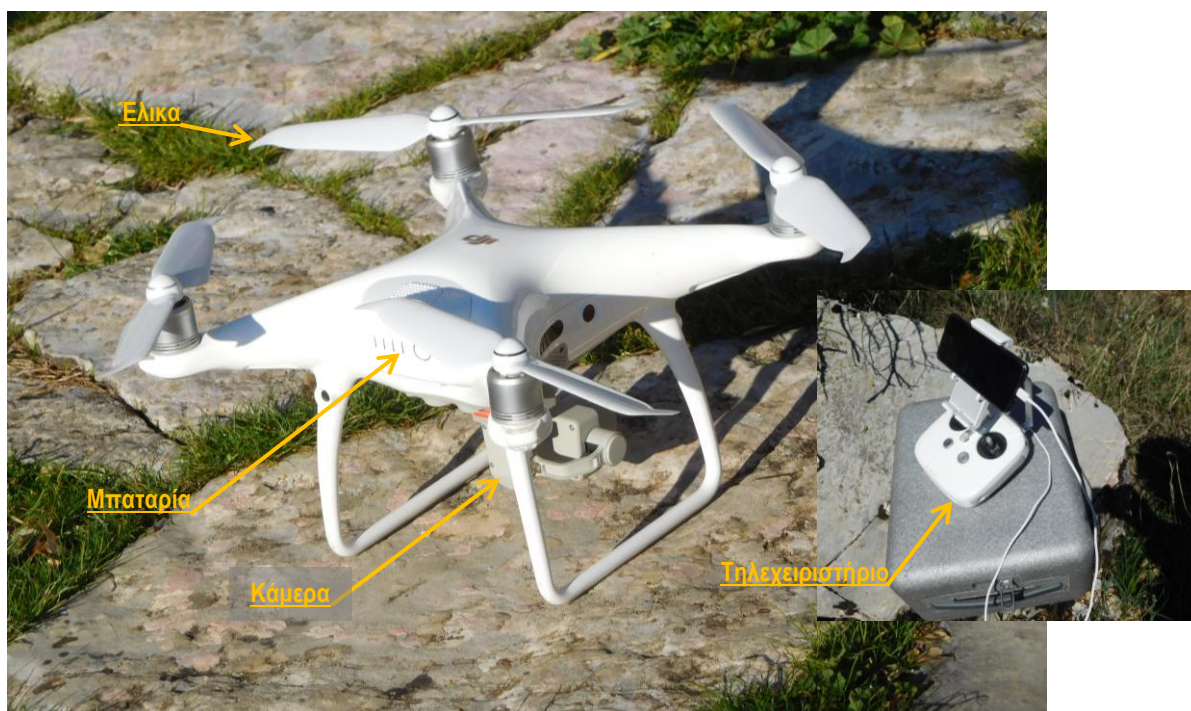
Η ακριβής κατανόηση των γεωλογικών συνθηκών στο συνολικό εύρος ενός μελετώμενου πρηνούς, καθορίζει την αξιοπιστία στον εντοπισμό και τον καθορισμό του είδους των δυνητικών αστοχιών, καθώς επίσης στη

σωστή διαστασιολόγηση των μέτρων προστασίας του πρσανούς. Το πρόβλημα της λήψης μετρήσεων ασυνεχειών και καταγραφής παλαιών αστοχιών σε πολυσχιδείς και δυσπρόσιτες περιοχές ή σε προσβάσιμες αλλά επισφαλείς περιοχές, αντιμετωπίζεται με σημαντική αξιοπιστία κατά τις τελευταίες δεκαετίες, από τη χρήση σύγχρονων μεθόδων Τηλεπισκόπησης. Η αξιολόγηση των γεωλογικών συνθηκών με τη βοήθεια της Τηλεπισκόπησης αφορά στην επεξεργασία αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, καθώς επίσης στη λήψη επεξεργάσιμων ψηφιακών δεδομένων από τη χρήση επίγειων σαρωτών ή μη επανδρωμένων αεροχημάτων. Ειδικότερα, η χρήση των μη επανδρωμένων αεροχημάτων UAV (Unmanned Aerial Vehicle) σε συνδυασμό με την εφαρμογή της μεθόδου της φωτογραμμετρίας, παρέχει σήμερα τη δυνατότητα λήψης στοιχείων αναφορικά με τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας (και όχι μόνο) σε θέσεις δυσπρόσιτων και επισφαλών περιοχών. Οι ληφθείσες αεροφωτογραφίες από τα μη επανδρωμένα αέρια οχήματα αναλύονται με τη μέθοδο της φωτογραμμετρίας για την παραγωγή δισδιάστατων και τρισδιάστατων εικόνων υψηλής ανάλυσης εδάφους και επιφανειών, ήτοι ενός τρισδιάστατου εδαφικού μοντέλου υψηλής ποιότητας που αντικατοπτρίζει όσο το δυνατόν καλύτερα την υφιστάμενη κατάσταση μίας κατολισθήσεως ή κατάπτωσης. Πλέον της αντιμετώπισης των προβλημάτων που σχετίζονται με το απρόσιτο της μορφολογίας του φυσικού εδάφους, η χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών έχει το πλεονέκτημα της συλλογής στοιχείων από μεγάλης έκτασης περιοχές σε σύντομο χρονικό διάστημα, και με σχετικά χαμηλό κόστος. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα της καλύτερης επισκόπησης της περιοχής μελέτης για την οριοθέτηση των αστοχιών (κατολισθήσεων ή καταπτώσεων), καθώς επίσης την παρακολούθηση του ρυθμού μετατόπισης μέσω των διαχρονικών αποτυπώσεων ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (Γ. Παπαθανασίου, 2022).

1.4.1.1. ΜΗ ΕΠΑΝΔΡΩΜΕΝΑ ΑΕΡΟΧΗΜΑΤΑ UAV

Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροχημάτων UAV (Unmanned Aerial Vehicle) για την αξιολόγηση των δομικών χαρακτηριστικών της βραχώμαζας (ασυνεχειών) καθώς επίσης την αναγνώριση αστοχιών και εν γένει της χωρικής εξάπλωσης κατολισθητικών φαινομένων, έχει κερδίσει το ενδιαφέρον των γεωπιστημόνων τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη φωτογραμμετρία και τη λήψη τρισδιάστατων πληροφοριών χαρακτηριστικών μέσω δύο ή περισσότερων φωτογραφιών του ίδιου αντικείμενου λαμβανόμενες από διαφορετικές γωνίες (Vasuki et al., 2014). Κατά την κίνηση του UAV η λήψη διαδοχικών φωτογραφιών πρσανούς με αλληλοεπικάλυψη, παρέχει τη δυνατότητα εξαγωγής τρισδιάστατου μοντέλου σε μορφή νέφους σημείων. Τα μη επανδρωμένα αεροχήματα είναι εξοπλισμένα με οπτικό αισθητήρα (φωτογραφική μηχανή) υψηλής ανάλυσης για λήψη των φωτογραφιών, καθώς επίσης σύστημα καταγραφής των χωρικών συντεταγμένων και του προσανατολισμού του οπτικού αισθητήρα. Η λήψη των γεωαναφερμένων στο χώρο αεροφωτογραφιών, παράγει μέσω κατάλληλου λογισμικού το νέφος σημείων (point cloud) αποτελούμενο από εκατομμύρια σημεία. Η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων παρέχει τη δυνατότητα παραγωγής ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (DSM) και ορθοφωτοχάρτη. Το παραγόμενο μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα πληροφοριών για τη θέση και τη γεωμετρία του αντικείμενου ενδιαφέροντος. Προϋπόθεση και παράγοντας ακριβούς αποτύπωσης ενός μελετώμενου πρσανούς είναι επιλογή εντός και εκτός του πρσανούς

γεωαναφερμένων στόχων. Οι στόχοι αυτοί χρησιμοποιούνται ως σταθερά σημεία για τη συσχέτιση του παραγόμενου τρισδιάστατου μοντέλου στο παγκόσμιο σύστημα συντεταγμένων. Επιπλέον σε περίπτωση κατολισθήσεων δύναται να χρησιμοποιηθούν (τα εκτός μετακινούμενης εδαφόμαζας σημεία) για τον υπολογισμό των οριζόντιων και κατακόρυφων μετακινήσεων.



Εικόνα 5: Το μη επανδρωμένο αερόχημα UAV (Unmanned Aerial Vehicle) που χρησιμοποιήθηκε, DJI Phantom 4 pro v 2.0.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, μία από τις βασικές εφαρμογές της παραπάνω μεθοδολογίας είναι η αναγνώριση των δομικών χαρακτηριστικών της βραχώμαζας πρανούς, ήτοι της γεωμετρίας των ασυνεχειών (στρώσης, διακλάσεων κ.α.). Λόγω της παρουσίας βλάστησης (ιδιαίτερα στα φυσικά πρανή) η οποία λειτουργεί ως θόρυβος του ψηφιακού μοντέλου εδάφους (νέφους σημείων), η διαδικασία καθαρισμού αποτελεί το αρχικό στάδιο επεξεργασίας του μοντέλου. Ο υπολογισμός του προσανατολισμού των επιφανειών ασυνέχειας πραγματοποιείται μέσω των ανοικτής πρόσβασης λογισμικών CloudCompare και DSE. Η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων βασίζεται στις κλασσικές μεθόδους υπολογισμού των κύριων ομάδων ασυνεχειών και ελέγχου ευστάθειας βραχωδών πρανών (εκτίμηση δυνητικών ολισθήσεων).

1.5. ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

Η εκδήλωση των κατολισθήσεων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα γεωλογικά φαινόμενα, η οποία έχει σαν συνέπεια την απώλεια ανθρώπινων ζωών και βλαβών ή καταστροφών στο δομημένο περιβάλλον όπως είναι οι χώροι οικιστικής ανάπτυξης και τα έργα υποδομής (οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα, δίκτυο φυσικού αερίου κτλ). Ως εκ τούτου η αναγνώριση του είδους, του μεγέθους και του μηχανισμού αστοχίας των φαινομένων αυτών είναι καθοριστικής σημασίας για τον περιορισμό των αποτελεσμάτων εκδήλωσης κατολισθήσεων στην

κοινωνική και οικονομική δραστηριότητα και φυσικά την προστασία της ανθρώπινης ζωής. Παρακάτω δίνονται οι βασικοί ορισμοί των κατολισθητικών φαινομένων με έμφαση στην εκδήλωση καταπτώσεων σε βραχώδη πρανή.

1.5.1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

Αναφορικά με τον ορισμό της κατολίσθησης ο Terzaghi (1950) πρώτος όρισε το φαινόμενο ως μια γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω. Αντίστοιχα οι Zaruba και Mencl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν μια γρήγορη κίνηση πετρωμάτων που οφείλεται στην ολίσθηση τμήματος πρανού που διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα με μια καλά καθορισμένη επιφάνεια. Τέλος σημειώνεται ότι έχει επικρατήσει τόσο ο ορισμός όσο και η ταξινόμηση κατά Varnes (1978), ο οποίος αναφέρεται σε μετακίνηση μαζών περιλαμβάνοντας έτσι κάθε μετακίνηση τμήματος πρανού που οφείλεται σε ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό. Ήτοι δεν περιλαμβάνονται στις κατολισθήσεις τα φαινόμενα καθιζήσεων και μετακινήσεων πάγων.

Τα δύο βασικά κριτήρια ταξινόμησης των κατολισθήσεων είναι ο τύπος της μετακίνησης και το είδος των μετακινούμενων υλικών. Έτσι σχετικά με τον τύπο της μετακίνησης υφίσταται ο διαχωρισμός σε καταπτώσεις, ανατροπές, ολίσθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις και ροές, καθώς επίσης σε σύνθετες μορφές που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης υλικών (Varnes, 1978). Αντίστοιχα το είδος των μετακινούμενων υλικών διακρίνεται σε αυτό του βραχώδους υποβάθρου και στους εδαφικούς σχηματισμούς που με τη σειρά τους υποδιαιρούνται αναλόγως του μεγέθους των κόκκων που επικρατούν σε κορήματα (αδρομερούς σύστασης, μεγέθους $>2\text{mm}$ σε ποσοστό 20-80%) και γαίες (λεπτομερή υλικά μεγέθους κόκκων $<2\text{mm}$ σε ποσοστό $>80\%$). Σημειώνεται ότι ο όρος κορήματα δεν περιγράφει στην περίπτωση αυτή τη γεωλογική προέλευση των μετακινούμενων υλικών, αλλά τον αδρομερή χαρακτήρα τους.

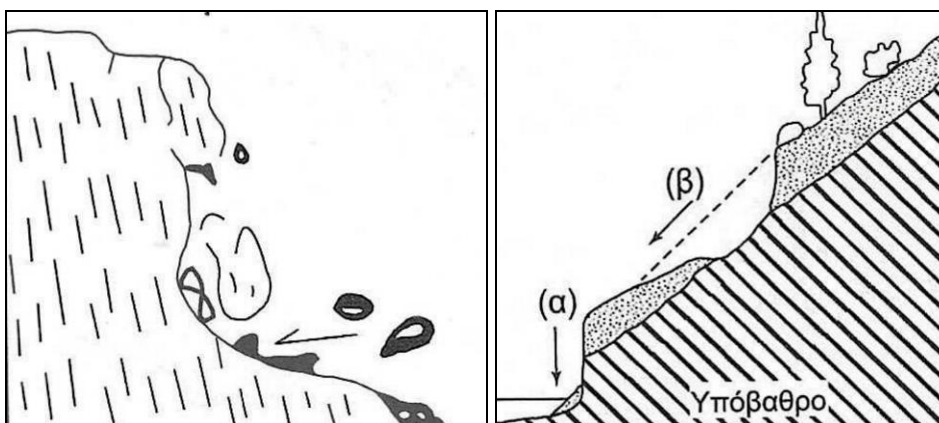
Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται η ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes (1978).

Πίνακας 1. Ταξινόμηση μετακίνησης πρανών κατά Varnes, 1978 (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη).

Τύπος κίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού	
		Βραχώδεις υπόβαθρο	Εδάφη
			Χονδρόκοκκα Λεπτόκοκκα
Καταπτώση		Καταπτώσεις βράχων	Καταπτώσεις κορημάτων Καταπτώσεις γαιών
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων Ανατροπή γαιών
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων Περιστροφική ολίσθηση γαιών
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων Μεταθετική ολίσθηση γαιών
Πλευρική Εξάπλωση		Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων Πλευρική εξάπλωση γαιών
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου (ερπυσμός)	Ροή κορημάτων Ροή γαιών
			(ερπυσμός εδάφους)
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων μετακίνησης	

Βάσει της παραπάνω ταξινόμησης του Varnes, παρουσιάζονται τα κύρια χαρακτηριστικά των διαφόρων τύπων κατολισθήσεων:

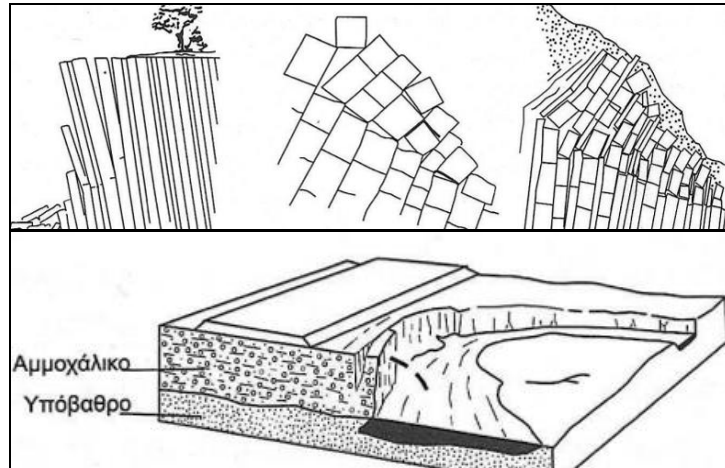
- **Καταπτώσεις (falls)** κυρίως βραχώδων όγκων (πετρωμάτων) και δευτερευόντως συνεκτικών εδαφών οποιουδήποτε μεγέθους, τα οποία αποσπώνται από απότομα πρανή κατά μήκος μιας επιφάνειας, χωρίς ή ελάχιστη διατμητική μετατόπιση. Η πτώση γίνεται κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση επί της επιφάνειας του πρανού, είναι εξαιρετικά γρήγορη, ενώ είναι δυνατόν να έχουν προηγηθεί αυτής μικρότερες μετακινήσεις όπως είναι για παράδειγμα η υποσκαφή πρανών συνήθως λόγω παρουσία νερού.



Σχήμα 2: Καταπτώσεις βράχων στα αριστερά (Varnes, 1978) και καταπτώση γαιών - εδάφους στα δεξιά, (α) άμεση και (β) μετά από ολίσθηση (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007).

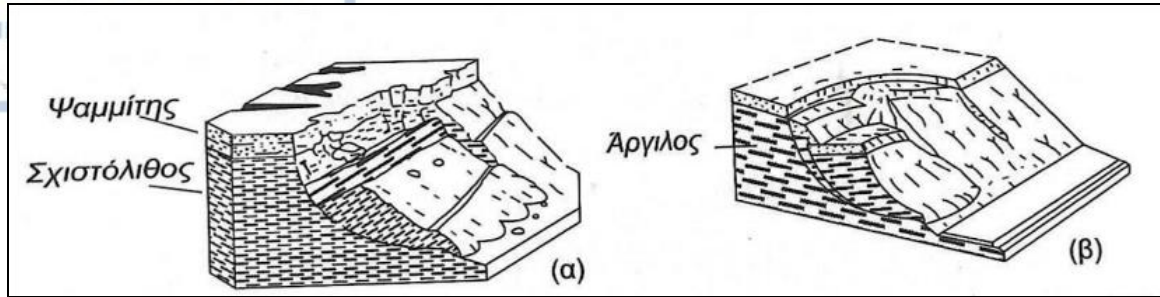
- **Ανατροπές (topples)** της αποσπώμενης μάζας κυρίως βραχώδους πρανού, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μία προς τα έξω περιστροφή γύρω από άξονα που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Προκαλείται κυρίως από τη βαρύτητα και από τις δυνάμεις

που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχια ή από την επίδραση του νερού (υδροστατικές πιέσεις, παγετός) που γεμίζει τις ασυνέχειες και ρωγμές καθώς επίσης όπως έχει αποδειχθεί στην πράξη από την διεύρυνση των ρωγμών λόγω ανάπτυξης ριζικού συστήματος βλάστησης (θαμνώδης κυρίως και μικρών δέντρων). Οι ανατροπές μαζών εξελίσσονται συνήθως σε πτώσεις ή ολισθήσεις, αναλόγως της γεωμετρίας του πρσανούς και της μετακινούμενης μάζας, καθώς και της επιφάνειας αποκόλλησης.

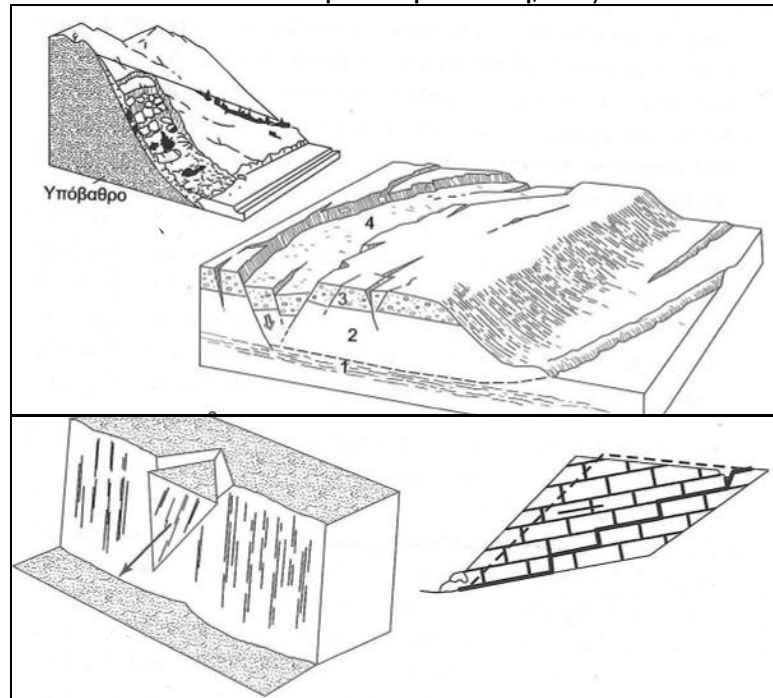


Σχήμα 3: Ανατροπές βραχωδών τεμαχίων (πάνω) και εδαφικών υλικών (κάτω) (Γ. Κούκης & Ν. Σαμπατακάκης, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007).

- **Ολισθήσεις (slides)** μαζών στις οποίες η μετακίνηση προϋποθέτει κυρίως διατμητική παραμόρφωση και μετατόπιση - θραύση του υλικού κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών, που μπορεί να είναι ορατές ή όχι και να εκδηλώνονται μέσα σε μία σχετικά στενή ζώνη. Η μάζα που μετατοπίζεται ολισθαίνει προς τα κατόντη απομακρυνόμενη από την αρχική επιφάνεια θραύσης. Αναλόγως με τη μορφή της επιφάνειας ολίσθησης και του μηχανισμού μετακίνησης διακρίνονται σε δύο μεγάλες υποομάδες, στις περιστροφικές (rotational slides) και μεταθετικές (translational slides) ολισθήσεις. Οι περιστροφικές ολισθήσεις χαρακτηρίζονται από τη γεωμετρία κοίλων προς τα πάνω επιφανειών ολίσθησης, με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της μετακινούμενης μάζας. Εκδηλώνονται κυρίως σε εδαφικούς σχηματισμούς και δευτερευόντως σε κατακερματισμένες βραχώμαζες οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν σαν ισότροπες. Αντίστοιχα στις μεταθετικές ολισθήσεις η αποσπώμενη μάζα πρσανούς μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω, κατά μήκος μίας σχεδόν επίπεδης ή ομαλής κυματοειδούς επιφάνειας με πολύ μικρή ή καθόλου περιστροφική κίνηση ή κάμψη. Συχνά στις μεταθετικές ολισθήσεις η ολισθαίνουσα μάζα παραμορφώνεται έντονα και διαχωρίζεται σε πολλές ημιανεξάρτητες μονάδες. Αν και ο όρος της μεταθετικής ολίσθησης έχει επικρατήσει για τους εδαφικούς σχηματισμούς, εντούτοις περιλαμβάνει ως γενικός όρος και του διαφόρους τύπους ολίσθησης βραχωδών όγκων όπως είναι οι επίπεδες, οι σφηνοειδείς και σπανιότερα οι κλιμακωτές μεταθετικές ολισθήσεις βραχωδών τεμαχίων.



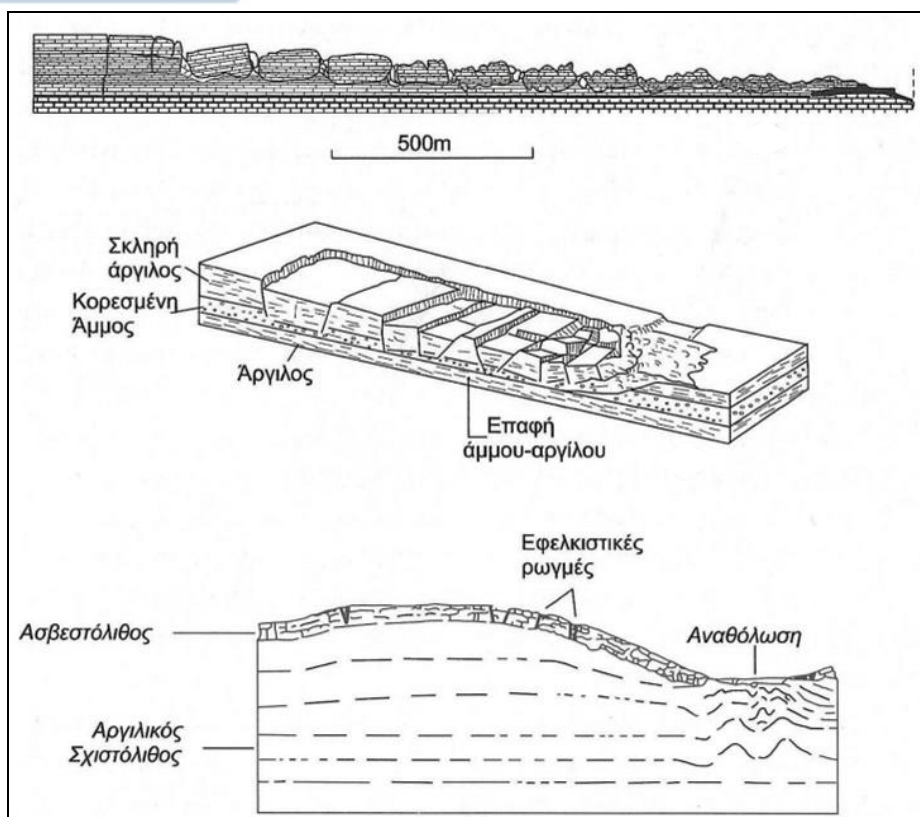
Σχήμα 4: Περιστροφικές ολισθήσεις κατά Varnes (1978) (α) βραχώδους υποβάθρου και (β) γαιών (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).



Σχήμα 5: Μεταθετικές ολισθήσεις αποσαθρωμάτων και εδαφικού τέμαχους (πάνω), καθώς επίσης τεμαχών βράχων σφηνοειδούς και κλιμακωτής μορφής (κάτω) (Hansen 1965 και Varnes 1978, τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).

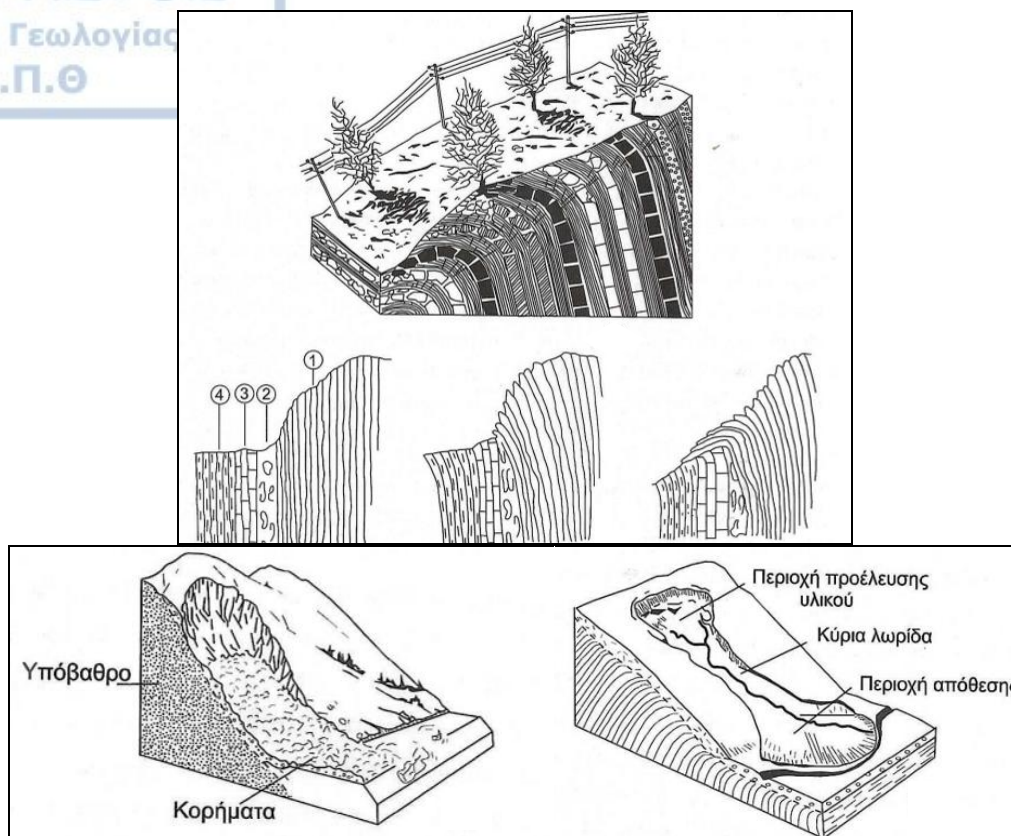
- Στις **πλευρικές εξαπλώσεις (lateral spreads)** η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάσταση του υλικού που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές. Αυτές διακρίνονται περαιτέρω :α) στις εξαπλώσεις τεμαχών όπου οι βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων, διαχωρίζονται με κατακόρυφες ρωγμές σε τεμάχη, β) στις εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης όπου δημιουργούνται κυρίως σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες οι οποίες παρουσιάζουν απώλεια της αντοχής τους όταν διαταραχθούν και αλλοιωθεί η αρχική τους δομή, και γ) στις σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις όπου οι μετακινήσεις εκδηλώνονται ως έντονες παραμορφώσεις σε σχεδόν οριζόντια επιφανειακά σκληρά και διερρηγμένα πετρώματα που υπέρκεινται παχιών στρωμάτων σκληρών ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστόλιθων τα οποία με τη σειρά τους υπέρκεινται κάποιου σκληρού βραχώδους υπόβαθρου. Σημειώνεται ότι, στις εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης εντάσσονται και οι μετακινήσεις λόγω ρευστοποίησης κορεσμένων, χαλαρών μη συνεκτικών εδαφικών στρώσεων μετά από εκδήλωση ισχυρών σεισμικών δονήσεων.

Στην τελευταία αυτή περίπτωση πλευρικής εξάπλωσης, οφείλεται σημαντικό μέρος των καταστροφών ισχυρών σεισμών.



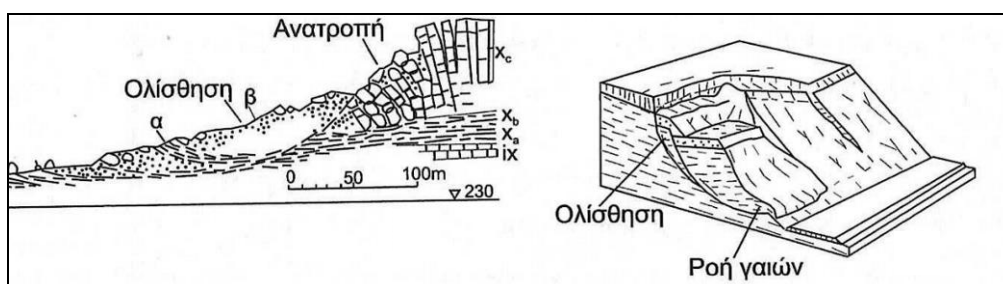
Σχήμα 6: Πλευρική εξάπλωση (α) διερρηγμένων ασβεστολίθων (Varnes, 1978), (β) αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (Varnes, 1978) και (γ) ασβεστολίθων σε συνδυασμό με αναθόλωση των υποκείμενων αργιλικών σχιστολίθων (Horsnell & Horton, 1976) (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).

- **Ροές (flows)**, υγρές ή ξηρές, γρήγορες, οι οποίες εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά και είναι εν γένει αβαθείς. Η διάκριση τους σε σχέση με τις αργές ολισθήσεις είναι η απουσία λείων επιφανειών ολίσθησης με γραμμώσεις ολίσθησης (slickensides) και η έντονη παραμόρφωση που υφίστανται οι μετακινούμενες μάζες των ροών. Διακρίνονται στις ροές βράχων, στις ροές κορημάτων και στις ροές γαιών.



Σχήμα 7: Ροές υποβάθρου λόγω βαρυτικού ερπυσμού των επιφανειακών στρώματων (Desio, 1959) και διαδοχικά στάδια εξέλιξης ερπυσμού βαρύτητας κρυσταλλικών σχιστολίθων (1) επί τριαδικών εβαποριτών (2), ασβεστολίθων (3) και σχιστολίθων (4) Λιασίου πάνω (Letourneur-Michel, 1971), καθώς επίσης πολύ γρήγορη ροή κορημάτων και ροή γαιών πολύ αργή έως γρήγορα (Zaruba-Menci, 1963) κάτω (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).

- Στις **σύνθετες** μετακινήσεις πρανών (composite slides) ή σύνθετες ολισθήσεις ανήκουν αυτές στις οποίες διαφορετικού τύπου μετακινήσεις γίνονται σε διαφορετικές περιοχές της ολισθαίνουσας μάζας, μερικές φορές και ταυτόχρονα (Cruden and Varnes, 1996).



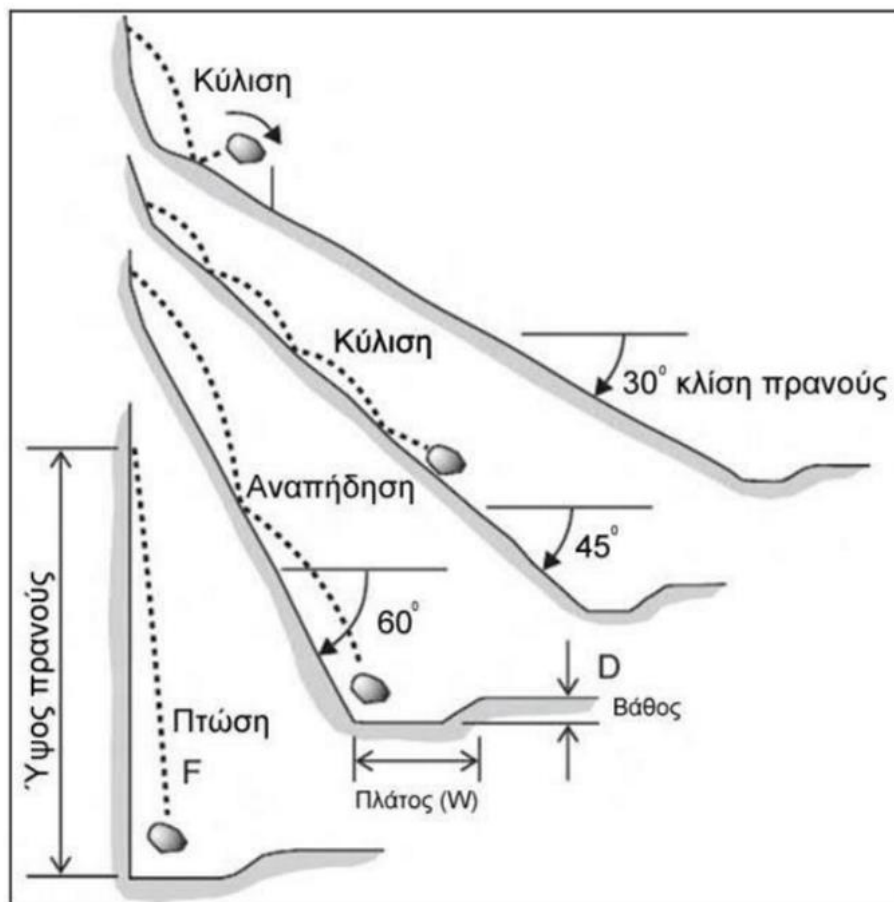
Σχήμα 8: Σύνθετες κατολισθήσεις αποτελούμενες από ολίσθηση και ανατροπή στα αριστερά και ολίσθηση και ροή γαιών στα δεξιά (Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, 2007).

1.5.2. ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ (ROCKFALL)

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο οι καταπτώσεις βράχων αφορούν την αποκόλληση τεμαχών ποικίλου μεγέθους από απότομο πρανές κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή και την πτώση αυτών κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση επί της επιφάνειας του πρανούς. Η δε

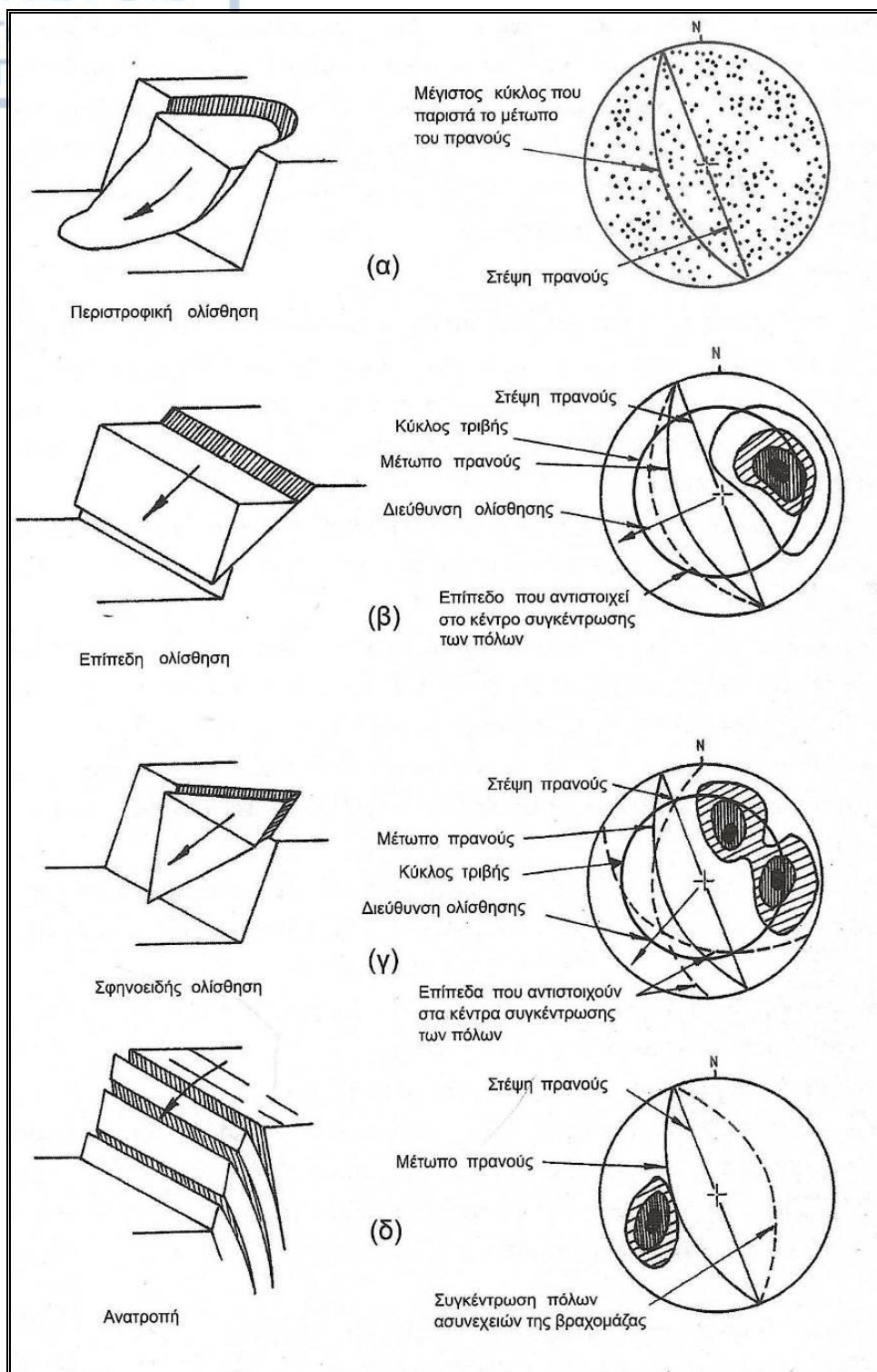
κίνηση των αποκολλημένων βραχοτεμαχίων είναι εξαιρετικά γρήγορη. Οι τρεις τρόποι κίνησης των βραχωδών τεμαχίων καθώς επίσης η θέση ισορροπίας αυτών εξαρτώνται άμεσα από τη γεωμετρία του πρानού, καθώς επίσης από τα χαρακτηριστικά του αποκολλώμενων βράχων και της επιφάνειας του φυσικού ή τεχνητού αναγλύφου αμέσως κατάντη από τη θέση αποκόλλησης. Συγκεκριμένα αναφορικά με τα χαρακτηριστικά των βραχοτεμαχίων αυτά αφορούν το σχήμα, το μέγεθος και την πυκνότητα τους. Η επιρροή της επιφάνειας του πρानού έγκειται στις ιδιότητες των γεωυλικών που απαντώνται (τριβή, συντελεστές αναπήδησης) σε συνδυασμό με την παρουσία ή όχι βλάστησης. Αναφορικά με τη γεωμετρία του πρानού, σε κατακόρυφα έως πολύ μεγάλης κλίσης πρανή με κλίση έως 4:1 (ύψος:βάση) πραγματοποιείται ελεύθερη πτώση, σε πρανή με ηπιότερες κλίσεις μεταξύ των 60° και 45° επικρατεί η αναπήδηση των βραχοτεμαχίων, ενώ σε πρανή με κλίσεις μικρότερες των 45° ο επικρατέστερος τύπος κίνησης θεωρείται η κύλιση (Ritchie, 1963).

Η έλλειψη ευστάθειας και αποκόλλησης των βραχωδών τεμαχίων εξαρτάται από τα δομικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων όπως είναι η παρουσία ασυνεχειών στρώσης, σχιστότητας, διακλάσεων και ρωγμών. Η γεωμετρία των επιφανειών ασυνέχειας σε συνδυασμό με τη γεωμετρία των φυσικών ή τεχνητών πρανών καθορίζουν τις δυσμενείς ή μη συνθήκες εκδήλωσης αστοχιών. Η κατακερματισμένη βραχώμαζα, στην οποία δεν είναι εμφανής η επικράτηση συγκεκριμένων ομάδων ασυνεχειών, χαρακτηρίζεται ως ισότροπη με παρόμοιες ιδιότητες προς όλες τις κατευθύνσεις και σύνηθες τύπο εκδήλωσης αστοχιών τις περιστροφικές ολισθήσεις. Αντιθέτως όταν στην βραχώμαζα επικρατούν ασυνέχειες με συγκεκριμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα γεωυλικά χαρακτηρίζονται ως ανισότροπα και οι αστοχίες που εκδηλώνονται ορίζονται από τα επίπεδα αδυναμίας των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχώμαζα. Έτσι οι επιμέρους παράμετροι μηχανικής περιγραφής των ασυνεχειών πρέπει να προσδιοριστούν επακριβώς, ώστε να εκτιμηθεί ένα αξιόπιστο μοντέλο της δομής της βραχώμαζας. Οι παράμετροι μηχανικής συμπεριφοράς ασυνεχειών προσδιορίζονται στην ύπαιθρο και όπως προτείνονται και προδιαγράφονται από τη Διεθνή Ένωση Βραχομηχανικής (I.S.R.M., 1981) είναι ο προσανατολισμός (κλίση, διεύθυνση κλίσης), η απόσταση, η εμμόνη, η αντοχή τοιχωμάτων, η τραχύτητα, το άνοιγμα, το υλικό πλήρωσης και οι συνθήκες νερού.



Σχήμα 9: Είδος κίνησης βραχωδών τεμαχών βάσει της κλίσης του πρανού (Ritchie, 1963).

Ανάλογα με το μοντέλο της βραχώμαζας και σε συνδυασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των μελετώμενων πρανών, εκτιμώνται οι αναμενόμενες αστοχίες και γίνεται ανάλυση της ευστάθειας με τις μεθόδους της οριακής ισορροπίας, κατά μήκος συγκεκριμένων επιφανειών ολίσθησης χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες κατά περίπτωση παραμέτρους διατμητικής αντοχής (δηλαδή των επιπέδων ασυνεχειών ή της βραχώμαζας). Στο πλαίσιο ανάλυσης ευστάθειας βραχωδών πρανών πραγματοποιείται εκτίμηση δυνητικών ολισθήσεων, η οποία δίνει τη βασική πληροφόρηση σχετικά με τη δυνατότητα εκδήλωσης κάποιας μορφής αστάθειας του πρανού, οφειλόμενη στα συστήματα των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχώμαζα. Τα επίπεδα των κύριων συστημάτων ασυνεχειών, του πρανού καθώς επίσης ο κύκλος της γωνίας τριβής των ασυνεχειών, αποτυπώνονται σε στερεοδιάγραμμα Schmidt. Με τη βοήθεια του στερεοδιαγράμματος πραγματοποιείται η εκτίμηση των δυνητικών αστοχιών του πρανού, ήτοι: α) σε μορφή κυκλικής αστοχίας για περιπτώσεις έντονης διασποράς πόλων ασυνεχειών (κατακερματισμένη ισότροπη βραχώμαζα όπως αναφέρθηκε παραπάνω), β) επίπεδης αστοχίας όταν υφίσταται σύστημα ασυνεχειών με παρόμοιο προσανατολισμό με αυτό του πρανού, γ) σφηνοειδούς μορφής αστοχία όταν η τομή δύο συστημάτων ασυνεχειών εμπίπτει στη ζώνη μεταξύ του πρανού και του κύκλου τριβής των ασυνεχειών και δ) ανατροπών όταν σύστημα ασυνεχειών εμφανίζει μεγάλη γωνία κλίσης και παρόμοια διεύθυνση αλλά αντίθετη φορά με αυτή του πρανού.

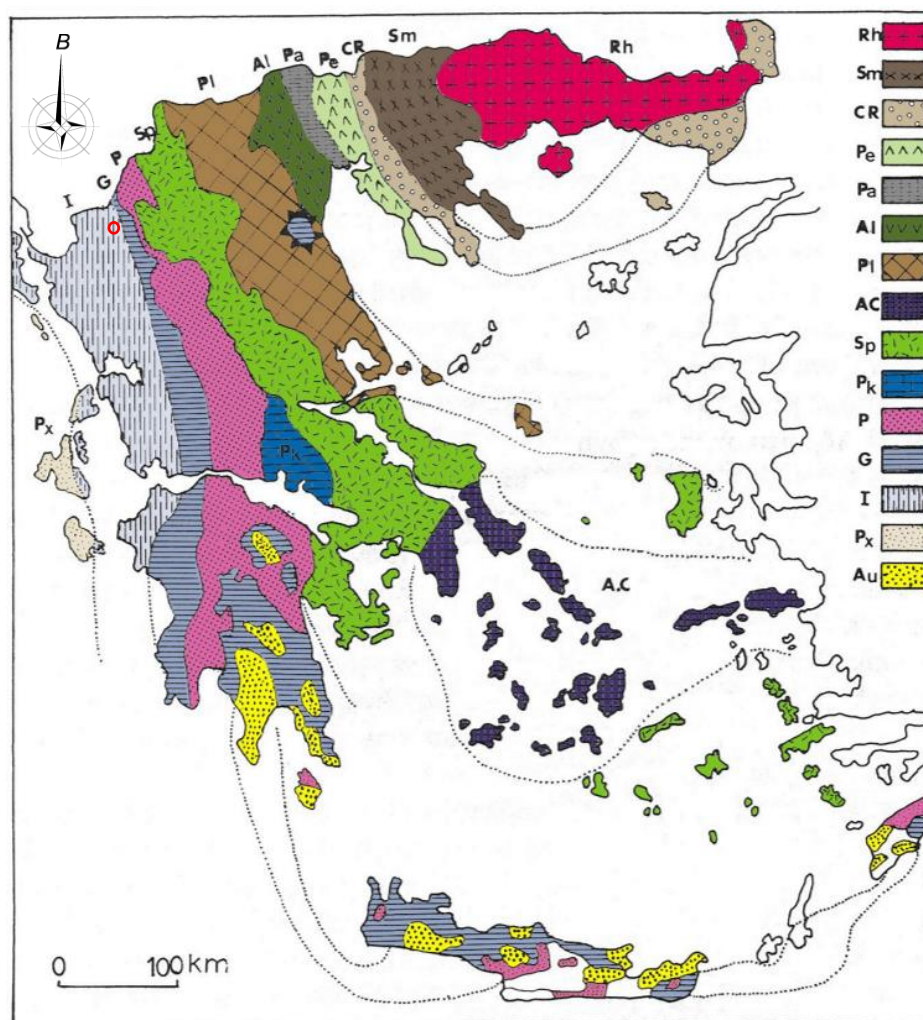


Σχήμα 10: Βασικοί τύποι ολισθήσεων βραχωδών πρανών και αντίστοιχα διαγράμματα στατιστικής επεξεργασίας πόλων ασυνεχειών – αποτύπωσης κυρίων επιπέδων από Hoek & Bray, 1973 (τροποποιημένο από Γ. Κούκη & Ν. Σαμπατακάκη, Γεωλογία Τεχνικών Έργων, 2007)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

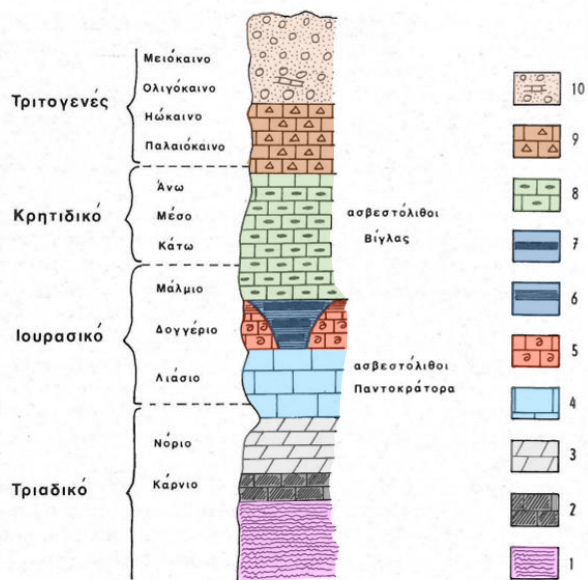
2.1. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Το μελετώμενο πρηνές ανάντη της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής δομείται όπως ήδη έχει αναφερθεί από ανθρακικά πετρώματα. Πρόκειται για ασβεστολίθους της Ιονίου ζώνης ηλικίας Παλαιοκαίνου – Αν. Ηωκαίνου. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης τοποθετείται στο ανατολικό όριο της Ιονίου και πλησίον της τεκτονικής επαφής με τη ζώνη Πίνδου. Η Ιόνιος ζώνη εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής Ελλάδας με διεύθυνση Βορράς – Νότος, περιλαμβάνοντας το μεγαλύτερο τμήμα της Ηπείρου, την Ακαρνανία και τμήμα των Ιονίων νήσων και της βορειοδυτικής Πελοποννήσου. Από πολλούς ερευνητές η σειρά των Plattenkalk τοποθετείται στην Ιόνιο ζώνη, με αποτέλεσμα η τελευταία να καταλαμβάνει τμήμα της νοτίου Πελοποννήσου, της Κρήτης και της Ρόδου.



Σχήμα 11: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας. Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Rh: Μάζα Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπουλία, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη – πλακώδεις ασβεστόλιθοι» πιθανόν της Ιονίου Ζώνης (Δ. Μουντράκης, 2010).

Παλαιογεωγραφικά η περιοχή της Ιονίου θεωρείται ως μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση (Δ. Μουντράκης, 1985), ενώ αναλόγως της διαφοροποίησης στην ιζηματογένεση διαιρείται σε τρεις υποζώνες την εσωτερική (ανατολική), την αξονική και την εξωτερική (δυτική). Κοινό χαρακτηριστικό των τριών υποενοτήτων είναι η παρουσία των εβαποριτών (κοιτάσματα γύψου) Περμοτριάδικής ηλικίας και σημαντικού πάχους εκτιμώμενου περί τα 1500m. Επί της γύψου αποτέθηκαν αρχικά μαύροι ασβεστόλιθοι και λευκοί δολομίτες Άνω Τριαδικού. Στη συνέχεια και μέχρι το Μέσο Λιάσιο (Κάτω Ιουρασικό) αποτέθηκαν οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα πάχους 600m περίπου. Στο Άνω Λιάσιο η διαφοροποίηση της ιζηματογένεσης εκδηλώνεται με την απόθεση βαθύτερων ιζημάτων στην αξονική υποζώνη αποτελούμενων από κερατολίθους σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και αργιλικούς σχιστολίθους. Την ίδια περίοδο και έως το Άνω Ιουρασικό στο ανατολικό και δυτικό άκρο της ζώνης αποθέτονται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες. Η απόθεση πελαγικών ασβεστόλιθων με ενστρώσεις κερατολίθων γνωστών και ως ασβεστόλιθοι Βίγλας, ήταν κοινή για το σύνολο της ζώνης από το Άνω Ιουρασικό έως τα μέσα του Άνω Κρητιδικού, με πάχος περί τα 400m. Η ιζηματογένεση συνεχίστηκε αδιάκοπα από το Ανώτερο Κρητιδικό έως το Μέσο Ηώκαινο με την απόθεση λατυποπαγών ασβεστόλιθων οι οποίοι διαφοροποιούνται στην αξονική υποζώνη σε πιο πελαγικούς. Η απόθεση του φλύσχη της Ιονίου πραγματοποιήθηκε τέλος κατά τη διάρκεια Ηωκαίνου – Κάτω Μειοκαίνου (Ακουιτάνιο), ενώ η σύσταση του είναι αρχικά ψαμμιτική – μαργαϊκή εξελισσόμενη σε εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών. Η λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης δίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 12: Λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης. 1: γύψος, 2: μαύροι ασβεστόλιθοι, 3: δολομίτες, 4: ασβεστόλιθοι νηριτικοί «Παντοκράτορα», 5: ασβεστόλιθοι του Ammonitico rosso, 6: σχιστολίθοι με Posidonomyes, 7: κερατόλιθοι, 8: ασβεστόλιθοι πελαγικοί «Βίγλας», 9: ασβεστόλιθοι λατυποπαγείς, 10: φλύσχη (Δ. Μουντράκης, 1985, τροποποιημένο).

Από τις παραπάνω λιθοστρωματογραφικές ενότητες, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι λατυποπαγείς ασβεστόλιθοι ηλικίας Άνω Κρητιδικού – Μέσο Ηωκαίνου οι οποίοι δομούν το μελετώμενο ανθρακικό πρυνές ανάντη της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής.

2.2. ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η μορφολογία μιας περιοχής καθορίζεται από πολλούς παράγοντες / αιτίες όπως είναι οι κλιματολογικές συνθήκες (θερμοκρασία, βροχοπτώσεις, άνεμος κτλ), το είδος και τα χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών, η επιδεκτικότητα τους σε φαινόμενα διάβρωσης και αποσάθρωσης και τέλος η τεκτονική και η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής η οποία συνδέεται με τη δράση σημαντικών σεισμικών γεγονότων.

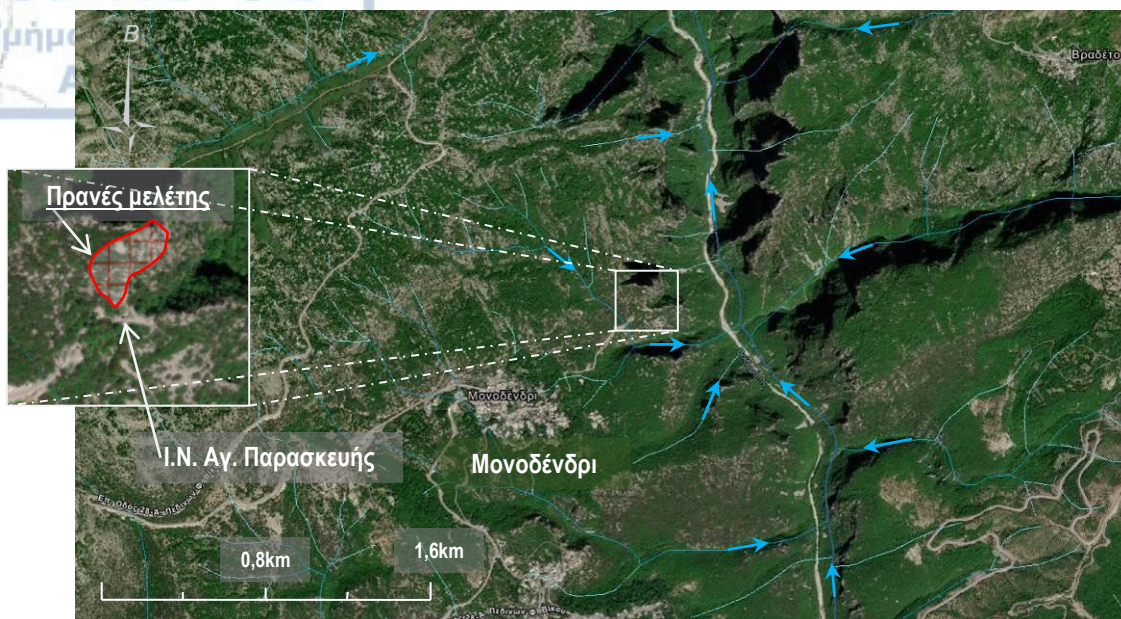
Οι μορφολογικές δομές και ενότητες της ευρύτερης περιοχής μελέτης έχουν σε μεγάλο βαθμό καθοριστεί από την επικράτηση των ανθρακικών πετρωμάτων, την τεκτονική ιστορία της περιοχής και των διαρρήξεων που επακολούθησαν, καθώς και τις διαδικασίες διάβρωσης (καρστικοποίησης).

Από άποψη μορφολογίας η ευρύτερη περιοχή μελέτης περιγράφεται ως ορεινή, ενώ χαρακτηρίζεται από την παρουσία του φαράγγιου του Βίκου, του ποταμού Βοϊδομάτη και τα σχεδόν κατακόρυφα ανθρακικά πρυνή. Οι απότομες παρειές των βραχωδών φυσικών πρυνών δημιουργούν ένα μοναδικό τοπίο, το οποίο σύμφωνα με πινακίδα που έχει τοποθετηθεί στην αρχή του μονοπατιού που οδηγεί από το Μονοδένδρι στην Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής έχει γραφτεί στο βιβλίο Guinness ως η βαθύτερη χαράδρα του κόσμου λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση βάθους προς άνοιγμα της χαράδρας του Βίκου. Συγκεκριμένα αναφέρεται ως χαράδρα βάθους 900m και ανοίγματος 1100m. Η κλίση των φυσικών πρυνών της ευρύτερης περιοχή είναι εν γένει προς τα να νότια, αν και η διεύθυνση ανάπτυξης και ροής του Βοϊδομάτη είναι αντίθετη, δηλαδή προς τα βόρεια. Έτσι ο π. Βοϊδομάτης και κατ' επέκταση το φαράγγι του Βίκου αναπτύσσονται προς το Βορρά, παρουσιάζοντας όμως συχνά σημαντικού βάθους χαραδρώσεις (μισγάγγειες) σχεδόν κάθετες σε αυτό, ήτοι με διεύθυνση Ανατολή – Δύση περίπου. Σε μία από αυτές τις κάθετες μισγάγγειες το μελετώμενο πρυνές το οποίο βρίσκεται στο αριστερό αντέρεισμα του π. Βοϊδομάτη. Πλησίον της περιοχής μελέτης, η κοίτη του ποταμού βρίσκεται περί το υψόμετρο των 700m, ενώ το ύψος του αριστερού αντερείσματος υπερβαίνει τα 1200m σε μικρή απόσταση βορείως αυτής. Το ασβεστολιθικό μελετώμενο πρυνές παρουσιάζει κλίση 75°-80° περίπου προς τα νοτιοανατολικά με παράταξη B40°, ενώ το μέγιστο ύψος αυτού είναι περί τα 100m κυμαινόμενο από 1020m έως 1120m περίπου. Στη θέση της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 ανάντη του ναού της Αγ. Παρασκευής το παρακατακόρυφο (~80°) μετωπικό πρυνές είναι σχετικά μικρού ύψους περί τα 15m, ενώ η κλίση του από τη στέψη του μετωπικού πρυνούς έως τη στέψη του συνολικού μεγαλύτερου πρυνούς είναι ηπιότερη και ίση με 48° περίπου, σύμφωνα με το ψηφιακό μοντέλο νέφους σημείων που παράχθηκε από τη λήψη φωτογραφιών του μη επανδρωμένου αεροχήματος (UAV).



Σχήμα 13. Η ευρύτερη περιοχή μελέτης. Διακρίνεται η κοίτη του π. Βοΐδομάτη, η θέση του μετώπου που αστόχησε τον Οκτώβριο του 2021 στο νοτιοδυτικό άκρο του μελετώμενου πρανούς και η I.M. Αγ. Παρασκευής (αεροφωτογραφία, πηγή: Geodata.gov.gr.)

Στο υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής δεσπόζει η παρουσία του π. Βοΐδομάτη με διεύθυνση ανάπτυξης και ροής υδάτων προς τα βόρεια, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Κάθετα στον κύριο κλάδο του ποταμού αναπτύσσονται μικρότεροι κλάδοι με γενική διεύθυνση Ανατολή – Δύση και φορά απορρεόντων υδάτων είτε προς τα ανατολικά είτε προς τα δυτικά. Το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζει δενδριτική μορφή, συχνά με ατελή και υποτυπώδη ανάπτυξη, λόγω της παρουσίας των καρστικών ασβεστολιθικών πετρωμάτων. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα ευνοούν τη διάλυση τους λόγω της παρουσίας νερού καθώς επίσης την αυξημένη κατείσδυση των όμβριων υδάτων σε αντίθεση με την επιφανειακή απορροή αυτών. Στο υπό μελέτη πρανές παρατηρείται γενικά πιο έντονη επιφανειακή διάλυση του ανθρακικού ασβεστίου στις θέσεις που ο σχηματισμός εμφανίζεται με αυξημένο πάχος στρώσης. Το γεγονός αυτό ενδεχομένως να οφείλεται στη μεγαλύτερη ποσότητα νερού που ρέει σε αυτούς επιφανειακά σε σχέση με τους μεσο- λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους όπου ευνοείται η κετείσδυση του νερού μέσω των ασυνεχειών στρώσης και η υπόγεια καρστικοποίηση ένατη της επιφανειακής.



Σχήμα 14. Υδρογραφικό δίκτυο στην ευρύτερη περιοχή του μελετώμενου πρανούς ανάντη του I.N Αγ. Παρασκευής (πηγή: διαδικτυακός τόπος I.Γ.Μ.Ε. – χαρτογραφική πύλη).

2.3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην άμεση περιοχή ενδιαφέροντος επικρατούν τα ανθρακικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης. Ειδικότερα και όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, τα πετρώματα του μελετώμενου πρανούς αποτελούνται από λατυποπαγείς ασβεστόλιθους ηλικίας Ανωτέρου Κρητιδικού – Μέσου Ηωκαίνου. Τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης, παρουσιάζονται στο ακόλουθο απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη «Φύλλο Τσεπέλοβον», κλίμακας 1:50.000 του I.Γ.Μ.Ε. (νυν ΕΑΓΜΕ). Τα κυριότερα λιθοστρωματογραφικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που συναντώνται από τα νεότερα προς τα αρχαιότερα αναφέρονται κατωτέρω:

Τεταρτογενές

- Σύγχρονες προσχώσεις (al). Πρόκειται για αδρόκοκκα υλικά τα οποία απαντώνται στην άμεση περιοχή της κοίτης του π. Βοϊδομάτη.

Ιόνιος Ζώνη

i. Παλαιόκαινο - Ηώκαινο

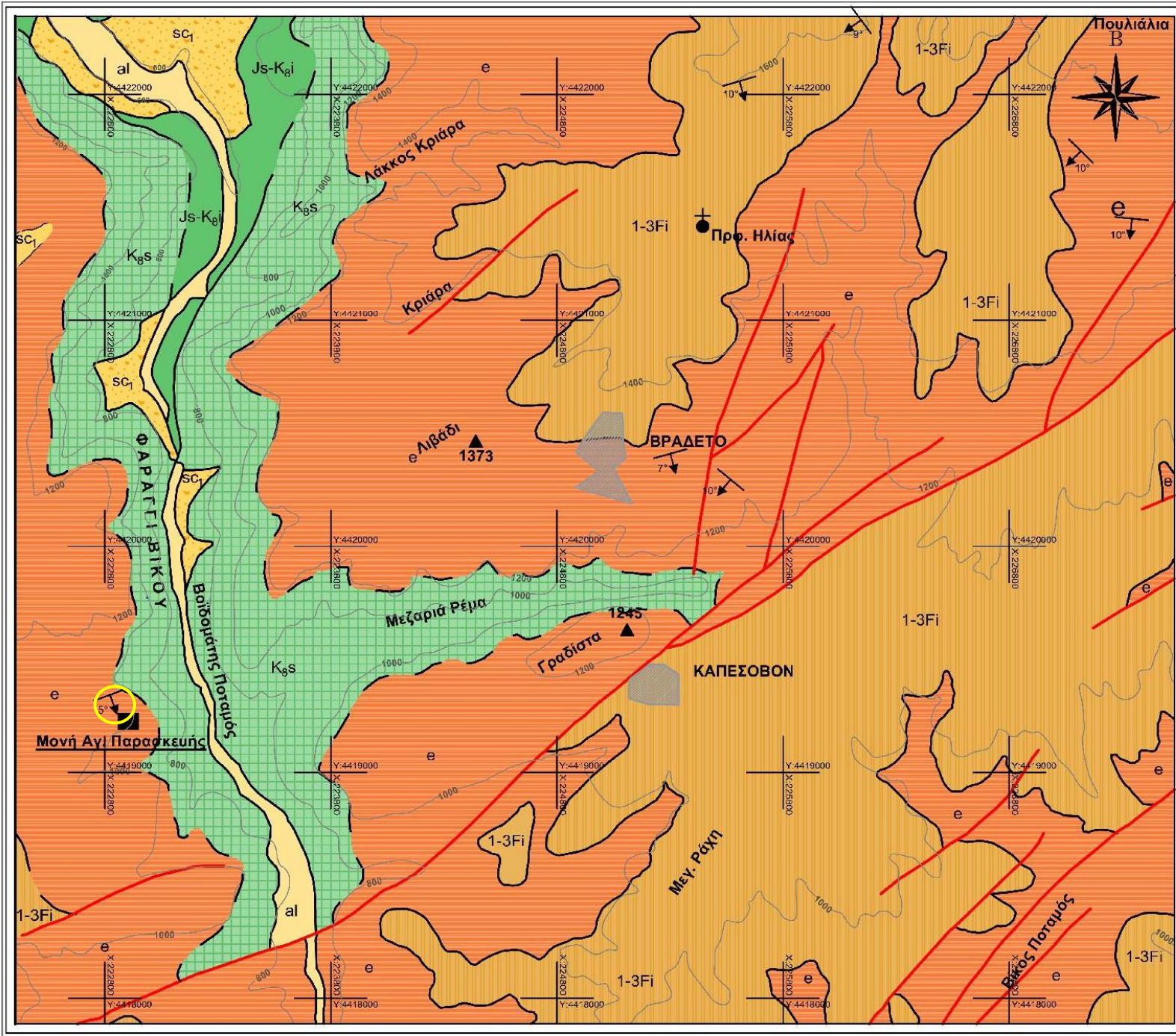
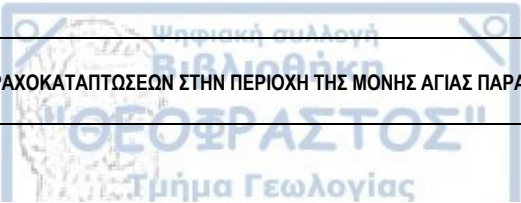
- Ασβεστόλιθοι (e) οι οποίοι στο όρος Μισικέλι και τη δυτική Τύμφη χωρίζεται σε δύο επάλληλες φάσεις. Στην κατώτερη φάση με άστρωτους και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους (Παλαιοκαίνου), και την ανώτερη φάση με καλά ανεπτυγμένη στρώση, υπολιθογραφικούς με πυριτολίθους και μικρολατυποπαγείς τράπεζες (Μέσο-Ανώτερο Ηώκαινο). Ο υπόψη σχηματισμός απαντάται στο μελετώμενο πρανές, ανάντη της I.M. Αγίας Παρασκευής. Στην ανατολική Τύμφη απαντώνται

ασβεστόλιθοι μεγάλου πάχους, άστρωτοι, λατυποπαγείς, ηλικίας Παλαιοκαίνου, επί των οποίων επικάθονται υπολιθογραφικοί και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι.

ii. Ανώτερο Σενώνιο

- Ασβεστόλιθοι (**K₈s**) μικρολατυποπαγείς με θραύσματα ρουδιστών και πολυπόδων, παχυστρωματώδεις, με αραιές παρεμβολές υπολιθογραφικών ασβεστολίθων. Πρόκειται για σχηματισμό που απαντάται στρωματογραφικά και υψομετρικά κατάντη του μελετώμενου πρανούς και εντός του φαραγγιού του Βίκου, έως το επίπεδο της κοίτης του Βοϊδομάτη.

Σύμφωνα με την επιτόπου επίσκεψη οι ασβεστόλιθοι Παλαιοκαίνου – Ηωκαίνου είναι τεφροί έως ανοικτότεφροι, με χαρακτηριστική ανάπτυξη επιπέδων στρώσης και πάχος αυτής κυμαινόμενο από τη βάση έως τη στέψη του πρανούς. Έτσι το πάχος της στρώσης καταγράφηκε από λίγα εκατοστά (2-3cm) έως πλέον του ενός μέτρου. Τοπικά παρατηρήθηκε επίσης η παρουσία ενστρώσεων ή κονδύλων πυριτολίθων σκουρότεφρου έως μαύρου χρώματος.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ
ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

al

Σύγχρονες προσχώσεις (al): Πρόκειται για αδρόκοκκα υλικά τα οποία απαντώνται στην άμεση περιοχή της κοίτης του π. Βοϊδομάτη.

SC₁

Κώνοι κορημάτων (sc₁): Σύγχρονα κορήματα.

ΙΟΝΙΟΣ ΖΩΝΗ
ΑΝΩΤΕΡΟ ΗΩΚΑΙΝΟ - ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ

1-3Fi

Φλύσχος αδιαίρετος (1-3Fi): Περιλαμβάνει τους φαμμίτες Πέτα, τις μάργες Αράχθου, τους φαμμίτες Ανεμορράχης και την φάση του σχηματισμού Διστράτου (φύλλα Θεοδωριανά και Πέτα). Σειρά φλύσχη αποτελούμενη από εναλλαγές λεπτόκοκκων έως χονδρόκοκκων μαρμαρυγιούχων φαμμινών και αργιλούχων ιλυωδών μαρμαρυγιούχων φαμμινών και αργιλούχων ιλυωδών μαργών. Η επικράτηση των φαμμινών είναι εμφανής. Ο υπόψη φλύσχος αντιστοιχεί στον φλύσχη του φύλλου Δολιανά. Πάχος κατά προσέγγιση 1000m.

ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ - ΗΩΚΑΙΝΟ

e

Ασβεστόλιθοι (e): Οι οποίοι στο όρος Μπισικέλι και τη δυτική Τύμφη χωρίζεται σε δύο επάλληλες φάσεις. Στην κατώτερη φάση με άστρωτους και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους (Παλαιοκαίνου), και την ανώτερη φάση με καλά ανεπτυγμένη στρώση, υπολιθογραφικούς με πυριτολίθους και μικρολατυποπαγείς τράπεζες (Μέσο-Ανώτερο Ηώκαινο). Ο υπόψη σχηματισμός απαντάται στο μελετώμενο πρανές, ανάντη της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής. Στην ανατολική Τύμφη απαντώνται ασβεστόλιθοι μεγάλου πάχους, άστρωτοι, λατυποπαγείς, ηλικίας Παλαιοκαίνου, επί των οποίων επικάθονται υπολιθογραφικοί και μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι

ΑΝΩΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ

K₈s

Ασβεστόλιθοι (K₈s): Μικρολατυποπαγείς με θραύσματα ρουδιστών και πολυπόδων, παχυστρωματώδεις, με αραιές παρεμβολές υπολιθογραφικών ασβεστολίθων. Πρόκειται για σχηματισμό που απαντάται στρωματογραφικά και υψομετρικά κατάντη του μελετώμενου πρανούς και εντός του φαραγγιού του Βίκου, έως το επίπεδο της κοίτης του Βοϊδομάτη. Πάχος περί τα 200-250m.

ΑΝΩΤΕΡΟ ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ - ΚΑΤΩΤΕΡΟ ΣΕΝΩΝΙΟ

Js-K₈i

Ασβεστόλιθοι Βιγλών (Js-K₈i): Φάσης της εσωτερικής Ιονίου ζώνης. Εμφανίσεις μικρολατυποπαγών, θρομβωδών ασβεστολίθων και δολομιτών. Στην περιοχή του Βίκου (δυτ. Τύμφη), 800m πάχους ανήκουν στο Κατώτερο Κρητιδικό έως το Κατώτερο Σενώνιο, εκ των οποίων τα 400m αφορούν δολομίτες του Βαρεμίου – Απτίου (.) με νησίδες ασβεστολίθων με τεμάχη και ενστροφές πυριτολίθων και 400m ασβεστόλιθοι μικρολατυποπαγείς με θραύσματα ρουδιστών και ασβεστόλιθοι υπολιθογραφικοί με μικροπράνιδα. Στην ανατολική Τύμφη αποτελούνται από δολομίτες μαύρου χρώματος, πάχους 1500m, δυσώδους οσμής με γωνιώδη τεμάχη πυριτολίθων (εντός του πάχους αυτού περιλαμβάνονται και οι δολομιτωμένες ασβεστολιθικές ζώνες του Μ. Κρητιδικού, με θραύσματα ρουδιστών). Ανωτέρω αυτών αποτελούνται από ασβεστολίθους μικρολατυποπαγείς, οργανογενείς με ρουδιστές του Κατιώτερου Σενωνίου.

ΣΥΜΒΟΛΑ	
1)	Γεωλογικό όριο : 1) ορατό 2) καλυμμένο
2)	
1)	Ρήγμα : 1) ορατό 2) πιθανό
2)	
	Διεύθυνση κλίσης και γωνία κλίσης επιφανειών στρώσης

Σχήμα 15: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Με κίτρινο κύκλο περικλείεται η θέση του μελετώμενου πρανούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ / ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σελίδα 38 από 121



Εικόνα 6: Λεπτο-μεσοστρωμάτωδεις έως παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι ηλικίας Παλαιόκαινο – Ηώκαινο.

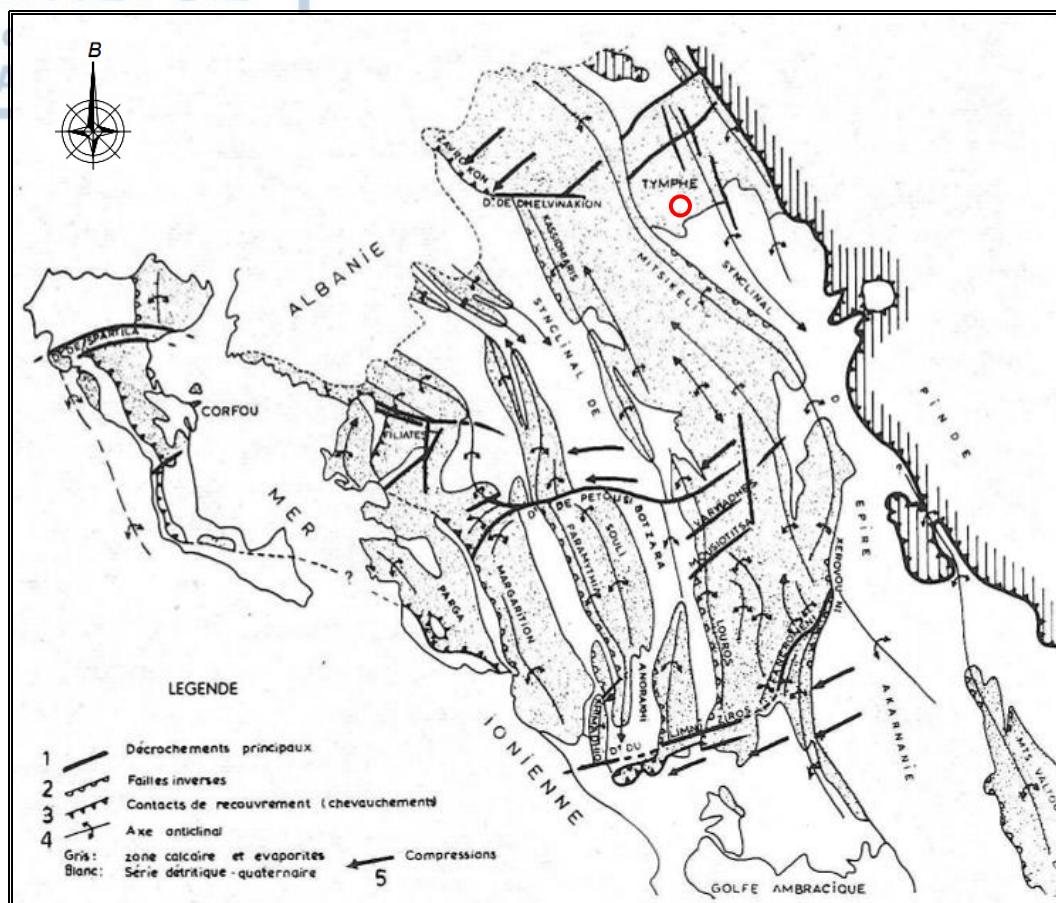


Εικόνα 7: Παρουσία τεφρών έως μαύρων πυριτολίθων σε μορφή κονδύλων ή τραπεζών εντός των ανθρακικών πετρωμάτων του μελετώμενου πρανούς.

2.4. ΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Η πύχωση της Ιονίου ζώνης που εξελίχθηκε κατά το Κάτω Μειόκαινο είχε ως αποτέλεσμα την έντονη λεπίωση των πετρωμάτων. Η παρουσία των στρωμάτων της γύψου (εβαπορίτες) λειτούργησαν ως λιπαντικό μέσο που διευκόλυνε τις ολισθήσεις εντός της ζώνης. Χαρακτηριστικό της πύχωσης και εν γένει της τεκτονικής δομής των πετρωμάτων της Ιονίου στην Ήπειρο, είναι η παρουσία επάλληλων μεγασυγκλίσεων και μεγααντικλίσεων τα οποία με κυρίαρχη αξονική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ επωθούνται ή εφιππεύονται προς τα δυτικά. Τέτοιες χαρακτηριστικές δομές είναι στην εσωτερική Ιόνιο το μεγάλο σύγκλινο Ηπείρου – Ακαρνανίας επί της οποίας έχει επωθηθεί το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. Αντίστοιχα στην αξονική Ιόνιο απαντάται μεγάλος αριθμός συγκλίσεων και αντικλίσεων όπως είναι αυτό του μεγααντίκλινου του βουνού Μιτισκέλι. Ενώ στην εξωτερική Ιόνιο απαντάται το μεγάλο σύγκλινο της Παραμυθιάς που εφιππεύει στα αντικλινικά λέπια της Πάργας και του Μαργαρίτιου προς τα δυτικά (Δ. Μουντράκης, 1985).

Σημαντική τεκτονική δομή της Ηπείρου είναι επίσης τα μεγάλα εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση Ανατολή – Δύση ή ΑΒΑ-ΔΝΔ, τα οποία αναπτύσσονται κάθετα στους κύριους άξονες των μεγαπτυχών. Τέλος, στις κύριες τεκτονικές δομές της ευρύτερης περιοχής της Ηπείρου ανήκουν τα επιμήκη ρήγματα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ και τα οποία αφορούν είτε ανάστροφα ρήγματα λόγω λεπίωσης, είτε μεταγενέστερα κανονικά ρήγματα που οδήγησαν στη δημιουργία τάφρων (λεκανών).

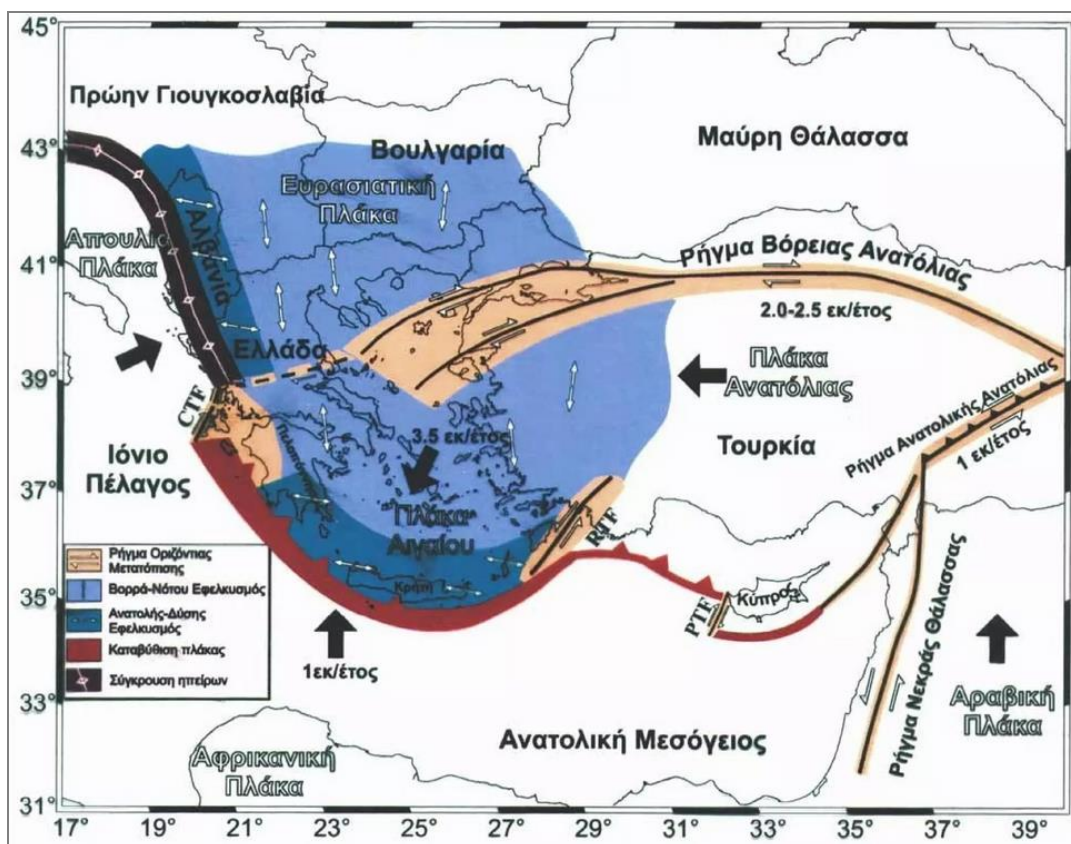


Σχήμα 16: Τεκτονικό σκαρίφημα της Ηπείρου στο οποίο διακρίνονται οι πιο βασικές τεκτονικές γραμμές. 1: κύριο ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, 2: ανάστροφα ρήγματα, 3: επωθήσεις, 4: άζονες αντικλίνων, κατεύθυνση συμπίεσης (κατά Ι.Φ.Ρ. 1966). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.

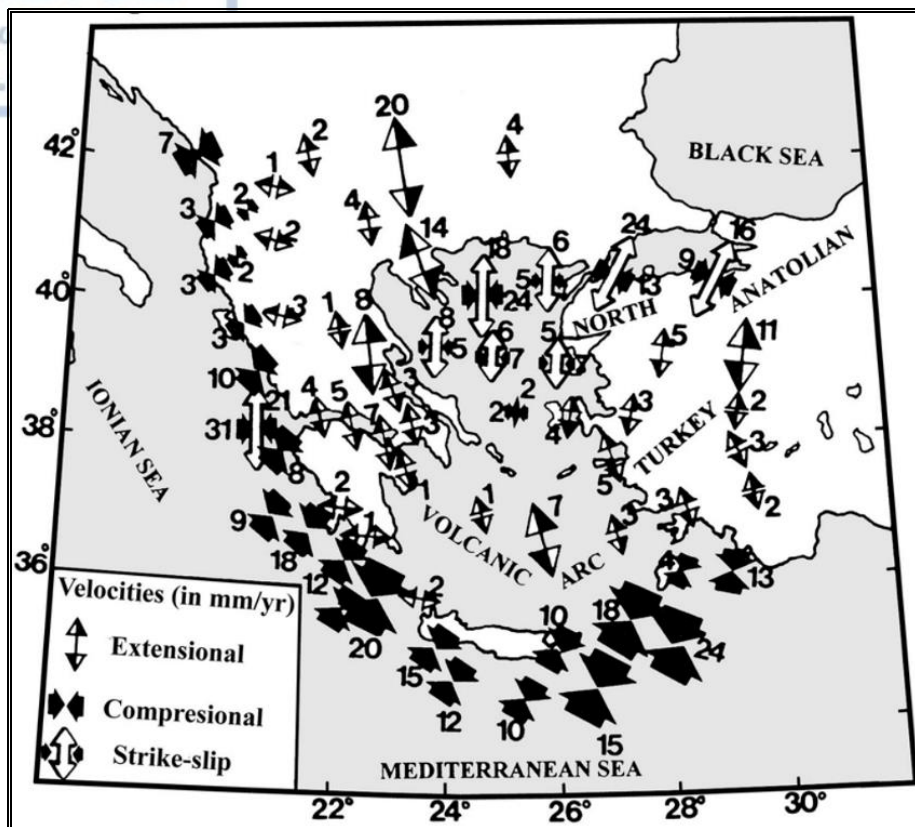
Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος τοποθετείται στο βορειοανατολικό άκρο του παραπάνω σχήματος (τεκτονικό σκαρίφημα Ηπείρου) πλησίον του όρους Τύμφη. Σύμφωνα με το υπόψη σχήμα αλλά και το απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ (νυν ΕΑΓΜΕ) Φύλλο Τσεπέλοβο στην περιοχή αυτή απαντώνται ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης με παράταξη ΒΑ-ΝΔ, ενώ βορειοανατολικότερα και σε μικρή σχετικά απόσταση απαντάται η επώθηση της ζώνης Πίνδου επί της Ιονίου ζώνης (Δ. Μουντράκης, 1985).

Η ενεργός τεκτονική στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου και κατ' επέκταση της βορειοδυτικής Ελλάδας όπου τοποθετείται και η περιοχή μελέτης παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Papazachos et al., 1998). Σύμφωνα με αυτό παρατηρείται ότι η Ήπειρος τοποθετείται στο όριο μεταξύ της σύγκρουσης πλακών Απουλίας και Ευρασιατικής και της ζώνης Ανατολής-Δύσης εφελκυσμού. Χαρακτηριστικό της παρουσίας διαφορετικών πεδίων τάσεων στην ευρύτερη περιοχή της Ηπείρου είναι και οι ταχύτητες σεισμικής παραμόρφωσης (mm/yr) του ελληνικού χώρου όπου έχουν υπολογιστεί από τους Παπαζάχος και Κυρατζή (1996) για εξήντα τρεις (63) σεισμογόνες πηγές. Οι εν

λόγω ταχύτητας παραμόρφωσης στην Ήπειρο εκτιμώνται τόσο για το συμπίεστικό όσο και για το εφελκυστικό πεδίου περί τα 3mm/yr.

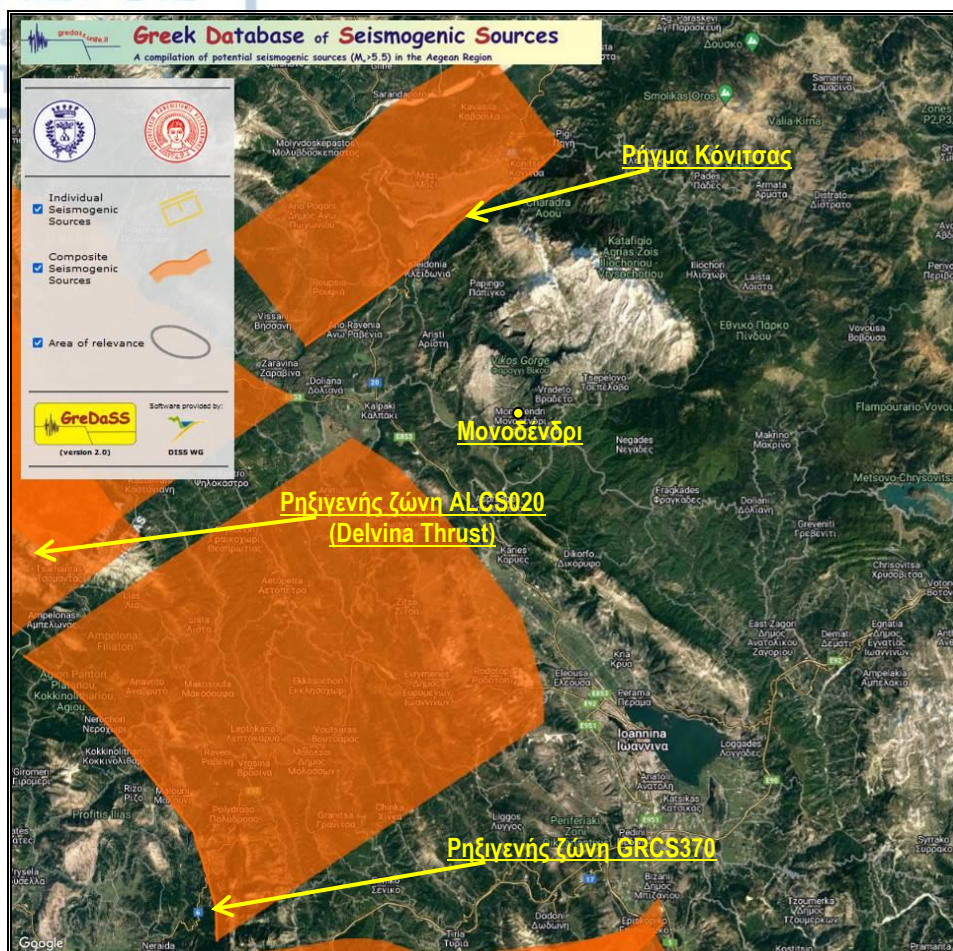


Σχήμα 17: Κίνηση λιθοσφαιρικών πλακών Ανατολικής Μεσογείου (Παπαζάχος κ.α. 1998, 2000).



Σχήμα 18: Ταχύτητες σεισμικής παραμόρφωσης (mm/yr) στον ελληνικό χώρο (Παπαζάχος και Κυρατζή 1996). Συγκλίνοντα βέλη παριστάνουν τη συμπίεση και αποκλίνοντα την επέκταση.

Από την επισκόπηση του Χάρτη Σεισμογενετικών Πηγών (Seismogenic Sources) του Ελλαδικού Χώρου (Caputo R., Pavlides S., et. al, 2012), προκύπτει παρουσία σεισμογενών περιοχών σε κοντινή απόσταση από την περιοχή μελέτης, όπως σχετικώς αποτυπώνεται στα κατωτέρω σχήματα. Σύμφωνα με το σχήμα αυτό, το πλησιέστερο ενεργό ρήγμα εντοπίζεται περί τα 16km βορείως της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής. Πρόκειται για το ρήγμα της Κόνιτσα (κωδική ονομασία GRCS300) με μέγιστο βάθος της τάξης των 14km, γωνία κλίσης 45° – 75°, παράταξη ΝΔ - ΒΑ (220°-240°) και διεύθυνση κλίσης προς τα βορειοδυτικά. Παρουσιάζει ρυθμό καταβύθισης (παραμόρφωσης) 0,1 – 0,4 mm/year, ενώ υπολογίζεται ότι μπορεί να εκδηλώσει σεισμικά γεγονότα μέγιστου μεγέθους $M=6,6$ (GREDASS, 2014). Σε μεγαλύτερη απόσταση και στα δυτικά του Μονοδενδρίου, απαντώνται επίσης σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες τόσο στον ελληνικό όσο και τον αλβανικό χώρο. Οι ρηξιγενείς αυτές δομές παρουσιάζουν ανάπτυξη στη διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, με διεύθυνση κλίσης προς τα βορειοανατολικά.



Σχήμα 19: Χάρτης σημαντικών Σεισμογενετικών Πηγών στην ευρύτερη περιοχή του πρानούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής Μονοδενδρίου (βόρειο τμήμα Περιφέρειας Ηπείρου).

Αναφορικά με τη σεισμικότητα, η περιοχή της βορειοδυτικής Ελλάδας στην οποία ανήκει η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος έχει πληγεί κατά το παρελθόν από ισχυρούς σεισμούς, που προκάλεσαν σημαντικές ζημιές σε κατασκευές και απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Με βάσει τα μακροσεισμικά αποτελέσματα των γνωστών ισχυρών σεισμών του Ελληνικού χώρου όπως αυτά δίνονται στο βιβλίο «Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Β. Παπαζάχος – Κ. Παπαζάχου, 2003», στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται οι γνωστοί ιστορικοί και νεότεροι (έως το 2003) ισχυροί σεισμοί ($M \geq 6,0$) με επίκεντρα σε απόσταση μικρότερη των 75km περίπου από το μοναστήρι της Αγίας Παρασκευής (διάμετρο 150km). Στον υπόψη πίνακα δίδονται οι συντεταγμένες των επικέντρων, το εστιακό βάθος, το μέγεθος και η απόσταση των επικέντρων από την περιοχή μελέτης. Επιπλέον, ο πίνακας συμπληρώνεται από στοιχεία σεισμών μεγέθους $M > 4,5$, ληφθέντα από τη βάση δεδομένων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, από το 1964 έως σήμερα και σε απόσταση έως 50km από το μοναστήρι της Αγίας Παρασκευής. Τέλος υπολογίστηκε και παρουσιάζεται η μακροσεισμική ένταση I , σε συνάρτηση με την απόσταση Δ και το μέγεθος του σεισμού, χρησιμοποιώντας την επόμενη σχέση, η οποία ισχύει για τους επιφανειακούς σεισμούς του ελληνικού χώρου.

$$I = 6,59 + 1,18M_s - 4,50 \log(\Delta + 17) \quad (\text{Χ. Παπαϊωάννου 1984})$$

Σημειώνεται ότι για τον ενδιάμεσου βάθους σεισμό της 3^{ης} Φεβρουαρίου 1994 η ένταση I υπολογίστηκε με τη βοήθεια της αντίστοιχης σχέσης για σεισμούς ενδιάμεσου βάθους, σύμφωνα με την οποία:

$$I = 1,87 + 1,69M_s - 3,94\log(\Delta+30)$$

Πίνακας 2. Στοιχεία σεισμών Μεγέθους $M \geq 4,5$ σε απόσταση έως 50m σύμφωνα με τη βάση δεδομένων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου ΕΑΑ και των ισχυρών ιστορικών και νεότερων σεισμών ($M \geq 6$) σε απόσταση 75km από την περιοχή μελέτης σύμφωνα με τον συνημμένο κατάλογο του βιβλίου «Οι Σεισμοί της Ελλάδας, Β. Παπαζάχου – Κ. Παπαζάχου, 2003».

Α/Α	Ημερομηνία	Χρόνος (GMT)	Παγκόσμιο '84 [(WGS 84) φ,λ]		ΕΓΣΑ '87 Εγκάρσια Μερκατορική		Βάθος	Μέγεθος	Απόσταση από το Έργο (km)	Ένταση I
			Πλάτος φ	Μήκος λ	x	Y	h (km)			
1	358		40,00	20,00	158361,53	4435139,54	h=n*	6,3	65,7	5,4
2	1153		39,80	20,10	165930,04	4412553,55	h=n*	(6,0)**	56,9	5,3
3	1650	1999	39,70	20,00	156869,00	4401828,50	h=n*	(6,2)**	67,9	5,2
4	Νοέμβριος 1732		39,50	20,10	164481,10	4379243,85	h=n*	(6,6)**	70,8	5,6
5	Ιανουάριος 1740		39,70	20,80	225480,31	4399071,23	h=n*	(6,2)**	21,2	6,8
6	Ιούνιος 1745		39,70	19,90	148291,77	4402216,41	h=n*	(6,2)**	76,1	5,0
7	12 Μαΐου 1773		39,50	20,10	164481,10	4379243,85	h=n*	(6,4)**	70,8	5,4
8	3 Μαΐου 1809		39,50	20,10	164481,10	4379243,85	h=n*	(6,1)**	70,8	5,0
9	10 Δεκεμβρίου 1813	13:00	39,60	20,60	207907,65	4388600,84	h=n*	(6,2)**	34,6	6,2
10	19 Ιουνίου 1823		39,50	20,30	181684,28	4378517,08	h=n*	(6,4)**	58,1	5,7
11	30 Ιουλίου 1854	1:30	39,80	20,10	165930,04	4412553,55	h=n*	(6,3)**	57,9	5,6
12	5 Απριλίου 1858		39,70	20,70	216904,49	4399382,28	h=n*	(6,0)**	21,3	6,5
13	10 Απριλίου 1860		40,20	20,30	184904,67	4456237,93	h=n*	6,4	52,1	5,9
14	27 Ιανουαρίου 1867		39,60	20,80	225084,28	4387969,56	h=n*	6,2	32,2	6,3
15	9 Απριλίου 1871		39,50	20,10	164481,10	4379243,85	h=n*	(6,0)**	70,8	4,9
16	11 Φεβρουαρίου 1872	20:	39,70	20,20	174022,89	4401081,53	h=n*	6,2	51,9	5,6
17	23 Αυγούστου 1894		40,30	21,40	278876,23	4464012,99	h=n*	(6,1)**	71,7	5,0
18	14 Μαΐου 1895	νύχτα	39,40	20,50	198455,29	4366726,63	h=n*	6,2	58,4	5,5
19	17 Ιανουαρίου 1897		39,90	20,00	157862,97	4424035,76	h=n*	(6,2)**	64,6	5,3
20	31 Ιουλίου 1898	5:40	39,60	20,70	216496,04	4388280,41	h=n*	6,3	32,3	6,4

Α/Α	Ημερομηνία	Χρόνος (GMT)	Παγκόσμιο '84 [(WGS 84) φ,λ]		ΕΓΣΑ '87 Εγκάρσια Μερκατορική		Βάθος	Μέγεθος	Απόσταση από το Έργο (km)	Ένταση I
			Πλάτος φ	Μήκος λ	x	Y	h (km)			
21	22 Δεκεμβρίου 1919	23:41:06	40,10	20,70	218546,90	4443791,05	h=n*	6,3	24,1	6,8
22	1 Μαΐου 1967	7:09:02	39,50	21,20	259090,00	4375721,31	h=n*	6,4	57,6	5,7
23***	1 Μαΐου 1967	9:50:00	39,70	20,90	234055,98	4398769,78	10	5,0	24,3	5,2
24***	12 Οκτωβρίου 1969	1:34:18	39,6	20,5	199319,0842	4388930,867	10	4,9	38,7	4,5
25***	13 Οκτωβρίου 1969	1:02:32	39,60	20,70	216496,04	4388280,41	10	5,6	32,3	5,6
26***	17 Σεπτεμβρίου 1974	5:10:28	40,3	20,6	210872,3197	4466318,04	10	4,9	47,7	4,2
27***	22 Νοεμβρίου 1975	10:06:08	39,80	20,30	183058,65	4411825,34	10	5,1	40,1	4,7
28***	12 Ιουνίου 1980	2:48:35	40	20,5	201057,6854	4433340,79	10	4,5	25,1	4,6
29***	3 Ιουλίου 1981	21:42:54	39,60	20,50	199319,08	4388930,87	10	5,3	38,7	5,0
30***	4 Αυγούστου 1982	22:38:00	39,8	20,4	191622,6856	4411475,655	10	4,8	31,9	4,7
31***	14 Δεκεμβρίου 1988	9:45:03	39,76	20,31	183731,8045	4407348,785	1	4,6	40,6	4,1
32***	3 Φεβρουαρίου 1994	6:52:52	40,02	20,33	186633,0336	4436145,978	69	4,5	39,2	2,2
33***	26 Ιουλίου 1996	18:55:50	40,05	20,67	215781,1646	4438335,233	1	4,9	19,5	5,3
34***	5 Αυγούστου 1996	22:46:43	40,07	20,67	215864,31	4440555,72	1	5,2	21,5	5,6
35***	20 Αυγούστου 1996	1:26:50	40,11	20,68	216883,1886	4444964,817	1	4,8	25,5	4,9
36***	14 Νοεμβρίου 1996	3:03:37	40,06	20,63	212410,3037	4439574,028	1	4,8	21,9	5,1
37***	9 Απριλίου 2001	17:38:41	40,05	20,44	196156,48	4439095,37	27	5,3	32,4	5,2
38***	8 Οκτωβρίου 2002	4:40:46	40,04	20,37	190138,2619	4438226,519	22	4,5	37,0	4,1
39***	23 Νοεμβρίου 2006	13:21:41	40,08	20,58	208230,1512	4441957,409	33	4,5	26,1	4,5
40***	22 Σεπτεμβρίου 2012	6:15:57	40,16	20,83	229868,3409	4450048,893	17	4,5	31,0	4,3
41***	5 Δεκεμβρίου 2014	0:54	39,77	20,25	178636,864	4408672,876	24	4,9	45,1	4,3
42***	15 Οκτωβρίου 2016	20:14:49	39,79	20,69	216416,36	4409405,72	17	5,3	12,1	6,3
43***	16 Οκτωβρίου 2016	0:41:13	39,78	20,66	213805,4744	4408391,036	14	4,8	14,4	5,5
44***	16 Οκτωβρίου 2016	0:48:17	39,74	20,75	221353,5548	4403666,295	10	4,6	16,4	5,2
45***	16 Οκτωβρίου 2016	2:21:02	39,77	20,67	214620,7493	4407248,89	16	4,8	14,9	5,5

Α/Α	Ημερομηνία	Χρόνος (GMT)	Παγκόσμιο '84 [(WGS 84) φ,λ]		ΕΓΣΑ '87 Εγκάρσια Μερκατορική		Βάθος	Μέγεθος	Απόσταση από το Έργο (km)	Ένταση I
			Πλάτος φ	Μήκος λ	x	Y	h (km)			
46***	16 Οκτωβρίου 2016	03:40:20	39,79	20,69	216416,3578	4409405,719	20	4,9	12,1	5,8
47***	29 Αυγούστου 2020	0:18:29	39,6886	20,3343	185489,5235	4399335,814	6	4,6	42,2	4,0
48*** *	22 Ιουλίου 2021	16:49:38	39,9051	20,7175	219241.225	4422097.416	13	4,3	3,725	5,7

*Επιφανειακοί σεισμοί ($h < 60\text{km}$) το ακριβές βάθος των οποίων δεν είναι γνωστό, Στις περιπτώσεις αυτές μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως πιθανή τιμή του εστιακού βάθους, η $h=10\text{km}$,

**Οι τιμές του μεγέθους εντός της παρένθεσης, αφορούν εκτίμηση μεγέθους με σφάλμα της τάξης του 0,5,

*** Πηγή: Αστεροσκοπείο Αθηνών, Σεισμοί μεγέθους $M > 4,5$ για την περίοδο 1/1/1964 έως 11/03/2023, σε απόσταση επικέντρου έως 50km από την περιοχή μελέτης,

****Σεισμικό γεγονός μικρότερου μεγέθους M από 4,5, αλλά με μεγάλη εγγύτητα στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, για το σύνολο των σεισμών η μακροσεισμική ένταση I στην περιοχή μελέτης κυμαίνονται από IV έως VII της τροποποιημένης κλίμακας Mercalli (MM). Ιδιαίτερα αναφέρεται ότι οι μέγιστες τιμές της έντασης VI-VII, αφορούσε τα σεισμικά γεγονότα των ιστορικών σεισμών του Ιανουαρίου 1740, Δεκεμβρίου 1813, Απριλίου 1858, Ιανουαρίου 1867, Ιουλίου 1898 και Οκτωβρίου 1919, καθώς επίσης τον πρόσφατο σεισμό της 15^{ης} Οκτωβρίου 2016. Ο τελευταίος ήταν μεγέθους $M=5,3$, με επικεντρική απόσταση από το μοναστήρι της Αγίας Παρασκευής μόλις 12,1km. Αν και στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν καταγεγραμμένες ζημιές, γνωστές είναι οι βλάβες σε τοιχοποιία κτηρίου της Μονής Βελλάς (πλησίον χωριό Καλπάκι), τον τρούλο του ναού Ταξιαρχών και ναού Αγ. Αθανασίου (οικισμός Κάτω Πεδινά) οι οποίοι τοποθετούνται σε απόσταση μικρότερη των 7km δυτικά της Αγ. Παρασκευής Μονοδενδρίου. Τέλος παρατηρείται ότι αν και ο πρόσφατος σεισμός της 22^{ας} Ιουλίου 2021 ήταν μικρού μεγέθους (4,3), εντούτοις λόγω της πολύ μικρής απόστασης ($< 4\text{km}$) από την περιοχή του μελετώμενου πρανούς, η ένταση υπολογίστηκε περίπου ίση με VI. Τιμή δηλαδή που θεωρείται ότι δύναται να επιδράσει στην ευστάθεια του πρανούς, έτσι ώστε να αποτελέσει η σεισμικότητα της περιοχής έναν από τους διαχρονικούς παράγοντες (αλλά όχι το έναυσμα) εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων, όπως είναι οι πρόσφατες αστοχίες του Οκτωβρίου 2021.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα των καταγεγραμμένων σεισμικών γεγονότων, αναφέρονται ενδεικτικά τα ακόλουθα:

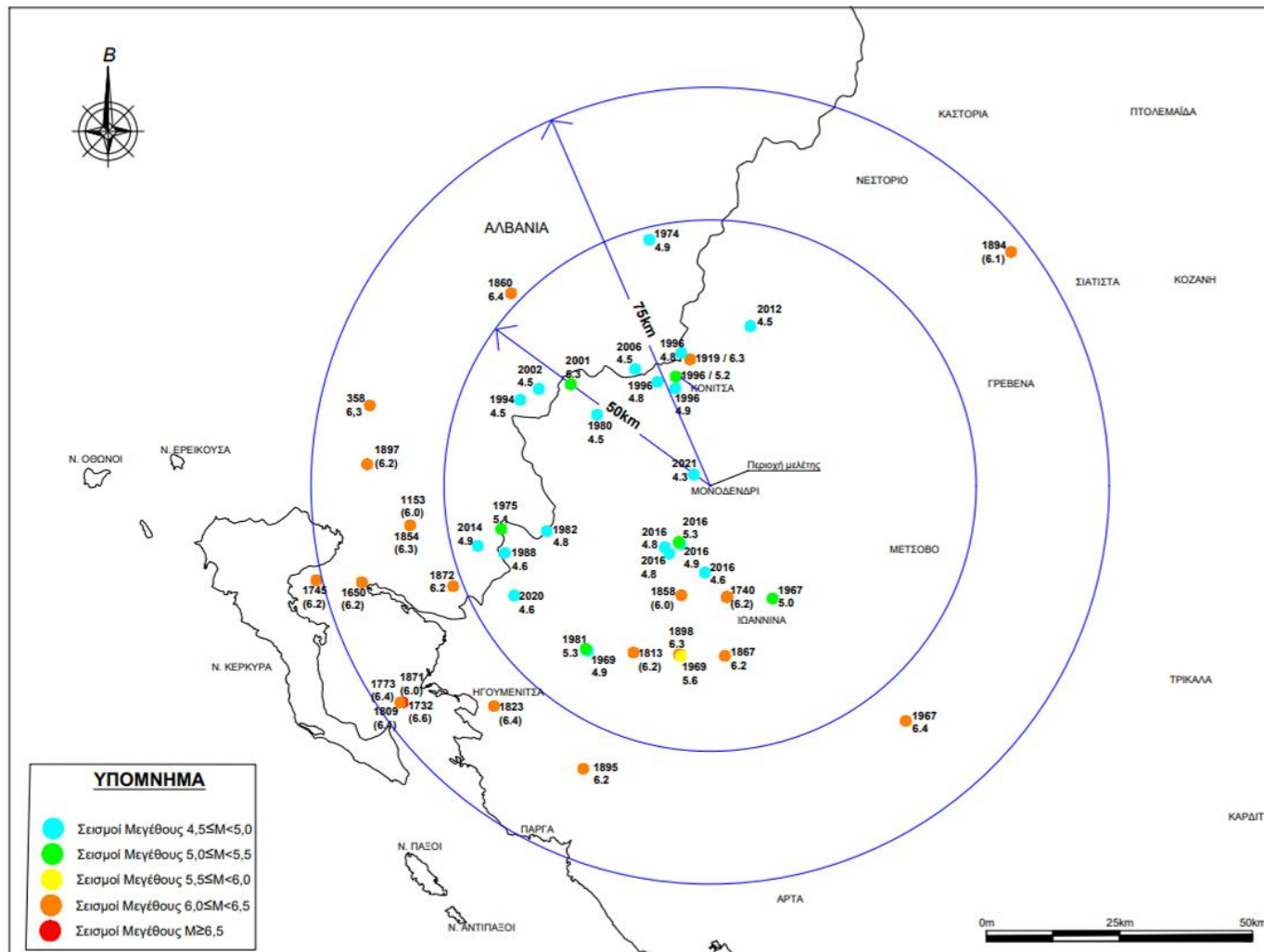
- Κατά την εκδήλωση του σεισμού της 10^{ης} Δεκεμβρίου 1813 (με επικεντρική απόσταση $< 35\text{km}$ από το μοναστήρι της Αγ. Παρασκευής), η μέγιστη ένταση IX καταγράφηκε στην Σαραχωβίτσα (Εκκλησοχώρι), όπου ο περιηγητής Rouqueville αναφέρει ότι ανατράπηκε ολοκληρωτικά από το σεισμό (Παπαζάχος Β. Παπαζάχου Κ., 1999). Η εν λόγω περιοχή μέγιστης μακροσεισμικής έντασης τοποθετείται σε απόσταση περί τα 25km νοτιοδυτικά της περιοχής μελέτης.

- Ο σεισμός στις 22 Δεκεμβρίου 1919 με επίκεντρο εντός των αλβανικών συνόρων, προκάλεσε βλάβες σε έξι σπίτια στην Κόνιτσα (17,5km περίπου βόρεια της Αγ. Παρασκευής) ενώ έγινε έντονα αισθητός στα Γιάννενα (Παπαζάχος Β. Παπαζάχου Κ., 1999). Για το υπόψη σεισμικό γεγονός, το επίκεντρο του οποίου βρίσκεται σε απόσταση περί τα 24km BBD της περιοχής ενδιαφέροντος, υπολογίστηκε η μέγιστη τιμή της μακροσεισμικής έντασης (6,8) σύμφωνα με τον προηγούμενο πίνακα.
- Αναφορικά με το σεισμό της 15^{ης} Οκτωβρίου 2016, όπου υπολογίστηκε μακροσεισμική ένταση στην περιοχή μελέτης μεγαλύτερη του VI, σύμφωνα με την «Προκαταρκτική Έκθεση των Σημαντικότερων Καταγραφών και Επιπτώσεων του Σεισμού» του ΙΤΣΑΚ η μέγιστη ένταση VI εκτιμήθηκε για τη Ζίτσα σε απόσταση 17km NND της Αγ. Παρασκευής, ενώ για την Κόνιτσα που βρίσκεται σε απόσταση 17km BBD της Αγ. Παρασκευής (και 33km BBA της Ζίτσας) η εκτιμώμενη μακροσεισμική ένταση ήταν V. Σχετικά με το είδος του σεισμογόνου ρήγματος, τόσο η προηγούμενη έκθεση του ΙΤΣΑΚ όσο και η δημοσίευση των Pavlides et al (2016), αναφέρουν λύσεις μηχανισμού γένεσης που σχετίζονται με ανάστροφο ρήγμα γενικής παράταξης ΒΔ-ΝΑ, μικρής γωνία κλίσης (26°-27°) και κλίσης προς τα ανατολικά.

Σημειώνεται τέλος ότι, οι υπεύθυνοι του μοναστηριού της Αγίας Παρασκευής ανέφεραν ότι μετά από την εκδήλωση αισθητών στην περιοχή σεισμικών γεγονότων, παρατήρησαν την διεύρυνση υφιστάμενων ασυνεχειών και την αύξηση της συχνότητας πτώσης βραχοτεμαχών. Η αναφορά αυτή είναι ενδεικτική της επιρροής της σεισμικότητας στην εκδήλωση των βραχοκαταπτώσεων.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζονται οι θέσεις των επικέντρων των ισχυρών ιστορικών και νεότερων σεισμών σε απόσταση έως 75km, καθώς επίσης και το σύνολο των νεότερων σεισμών από το 1964 έως σήμερα μεγέθους $M \geq 4,5$ σε απόσταση έως 50km από την περιοχή του μελετώμενου πρानούς. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνεται επίσης ο πλέον πρόσφατος σεισμός του Ιουλίου 2021 (μεγέθους 4,3), λόγω της εγγύτητας του στην Ι.Μ Αγ. Παρασκευής.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΞΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΜΟΝΟΔΕΝΔΡΙ ΗΠΕΙΡΟΥ



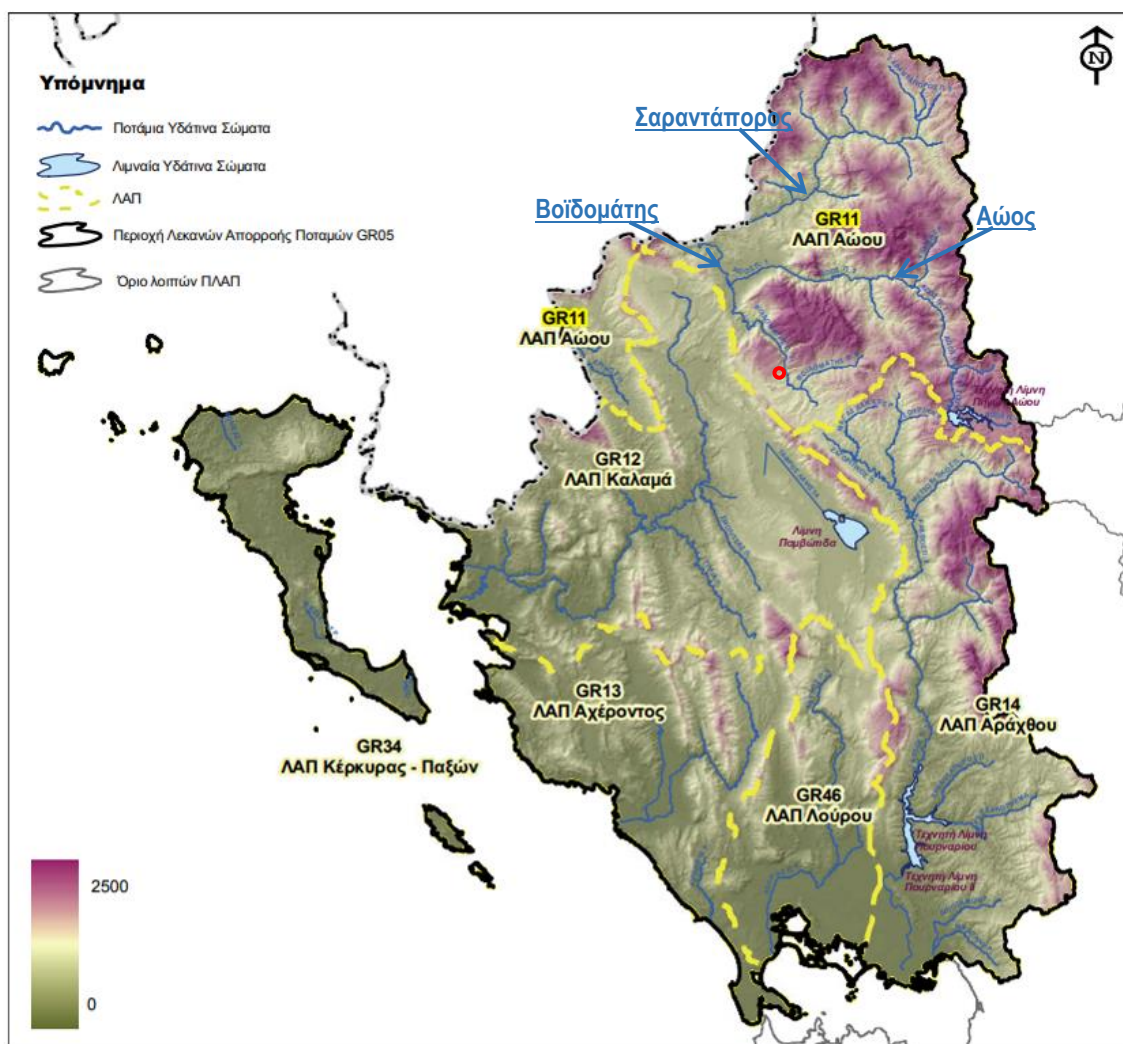
Σχήμα 20: Επίκεντρα ιστορικών και νεότερων ισχυρών σεισμών σε απόσταση έως 75km από την περιοχή μελέτης, καθώς επίσης των νεότερων σεισμών μεγέθους $M \geq 4,5$ σε απόσταση έως 50km από την περιοχή μελέτης.

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ / ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

2.5. ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05) η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος ανήκει στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αώου, συνολικής έκτασης 2361km². Ο Αώος πηγάζει από την Πίνδο, ενώ εκβάλλει στην Αδριατική Θάλασσα αφού προηγουμένως εισέλθει στο έδαφος της Αλβανίας. Από το συνολικό μήκος των 260km του Αώου τα 70km τοποθετούνται εντός της ελληνικής επικράτειας. Από τους σημαντικότερους παραπόταμους είναι ο Δρίνος που συμβάλλει εντός αλβανικού εδάφους, ο Σαραντάπορος που πηγάζει από το Γράμμο και τον Σμόλικα και ο Βοϊδομάτης ο οποίος πηγάζει από το όρος Τύμφη (ΦΕΚ 2292.Β.2013).



Σχήμα 21: Μορφολογικός χάρτης του Υδατικού Διαμερίσματος (ΥΔ) Ηπείρου. Διακρίνονται οι λεκάνες απορροής ποταμών του ΥΔ, καθώς επίσης με κόκκινο κύκλο η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντός της ΛΑΠ Αώου.

Ο Βοϊδομάτης έχει συνολικό μήκος 30km περίπου, τα 12km εκ των οποίων ρέουν εντός του φαράγγιού του Βίκου. Οι κύριες πηγές του Βοϊδομάτη απαντώνται νοτίως του χωριού Βίκος και σε οριζοντιογραφική απόσταση περί τα 7km ΒΒΔ του Μονοδενδρίου. Από την περιοχή των πηγών και προς τα κατάντη ή ανάντη χωρίζεται ο ποταμός σε δύο τμήματα με μόνιμη ή εποχιακή ροή. Το ανώτερο υψομετρικά τμήμα (νότιο) στο οποίο ανήκει και η ευρύτερη περιοχή μελέτης, παρουσιάζει εποχιακή ροή κυρίως κατά την περίοδο των μηνών

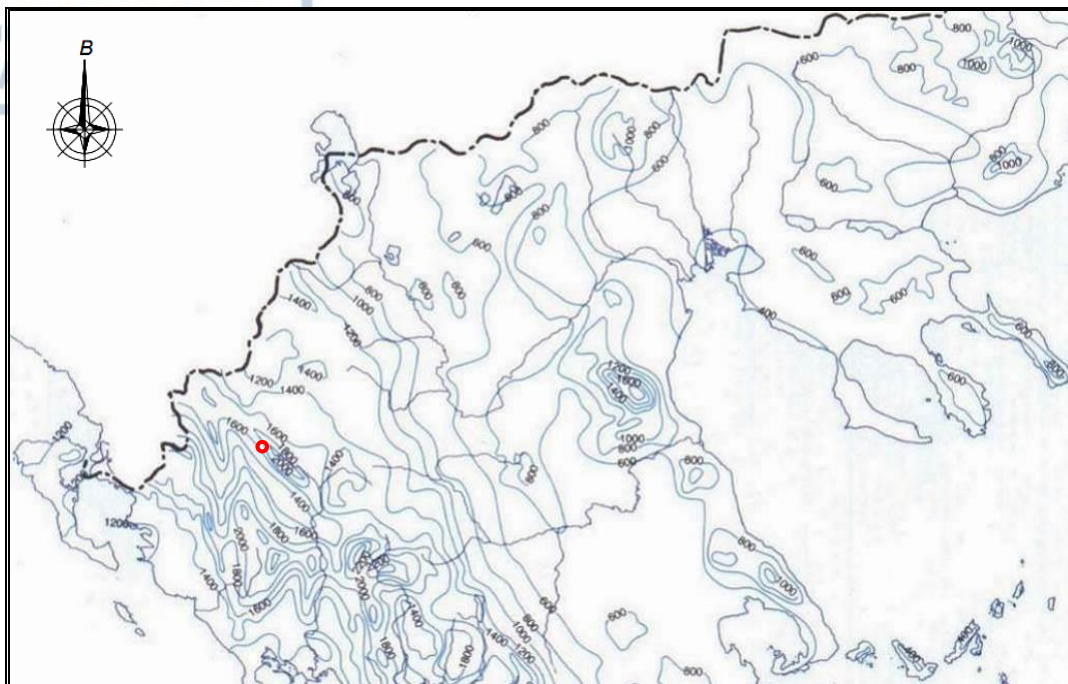
Νοέμβριος – Ιούνιος. Τα απορρέοντα ύδατα του υπόψη τμήματος προέρχονται από την τήξη του χιονιού του ορεινού όγκου της Τύμφης και φυσικά την απορροή των σημαντικού ύψους όμβριων υδάτων.

Οι κύριες υδροφορίες της ΛΑΠ (Λεκάνης Απορροής Ποταμού) Αώου αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης και δευτερευόντως στις εμφανίσεις των ανθρακικών της ζώνης Πίνδου και Γαβρόβου – Τριπόλεως. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση και ο κερματισμός των πετρωμάτων ενοποιεί κατά θέσεις τις επιμέρους λεπιώσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία αξιόλογων υδροφοριών.

Οι κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής και ειδικότερα οι βροχοπτώσεις, που χαρακτηρίζονται από μεγάλη ένταση και μικρή διάρκεια ή μέτρια ένταση και μεγάλη διάρκεια, συνδέονται άμεσα με την εκδήλωση φαινόμενων βραχοκαταπτώσεων και εν γένει εδαφικών μετακινήσεων. Η ποσότητα της κρίσιμης βροχόπτωσης που ενεργοποιεί τα εν λόγω φαινόμενα, εξαρτάται κυρίως από τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες και δευτερευόντως από άλλες συνθήκες όπως είναι για παράδειγμα η καταστροφή της βλάστησης (λόγω πυρκαγιάς) κλπ.

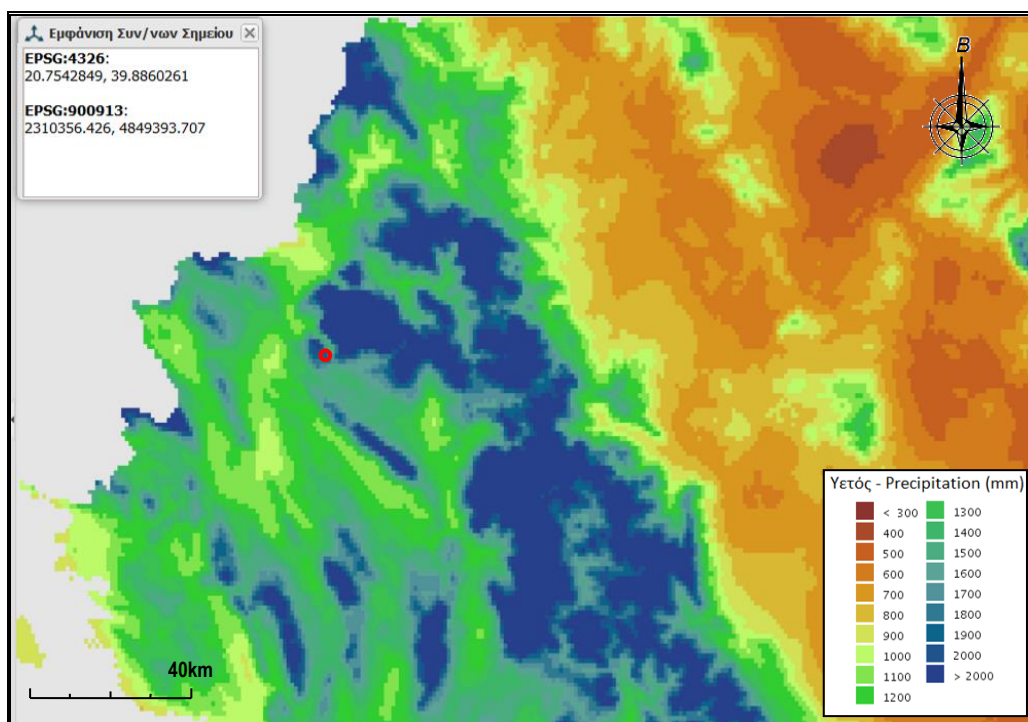
Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κλιματικές συνθήκες, που επικρατούν στην ευρύτερη και άμεση περιοχή μελέτης, με έμφαση στην εξέταση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κατά περίοδο όπου παρατηρήθηκε η εκδήλωση πτώσης βράχων, σύμφωνα με μαρτυρίες.

Στο δήμο Ζαγορίου της ΒΔ Ελλάδας, στον οποίο ανήκει η ευρύτερη περιοχή του Μονοδενδρίου, κυριαρχούν οι βορειοδυτικοί άνεμοι. Οι γεωμορφολογικές ανυψώσεις κατά μήκος του κορμού της Ελλάδας ήτοι της οροσειράς της Πίνδου, εμποδίζουν την κίνηση των ανέμων προς τα ανατολικά με αποτέλεσμα τη συμπύκνωση των υδρατμών και την εκδήλωση σημαντικών βροχοπτώσεων. Έτσι στη δυτική και βορειοδυτική Ελλάδα οι βροχοπτώσεις είναι ιδιαίτερα αυξημένες, σε σχέση με το σύνολο της επικράτειας της χώρας, όπου δημιουργείται το φαινόμενο της ομβροσκιάς. Σύμφωνα με το βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδας, με βάση στοιχεία της ΔΕΗ για την περίοδο 1950-1974 (συνημμένος σε Γεωτεχνικό Χάρτη Ελλάδας, 1993), η περιοχή του μελετώμενου πρανούς τοποθετείται μεταξύ των ετήσιων βροχομετρικών καμπυλών των 1600mm και 1800mm.



Σχήμα 22. Απόσπασμα βροχομετρικού χάρτη Ελλάδος (με βάση στοιχεία της ΔΕΗ για την περίοδο 1950-1974). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη τον κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ, <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>) στην ευρύτερη περιοχή του μελετώμενου πρανούς ανάτη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής, το ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται από τα 1550mm έως τα 1950mm περίπου (περί τα 1706mm στην άμεση περιοχή μελέτης).

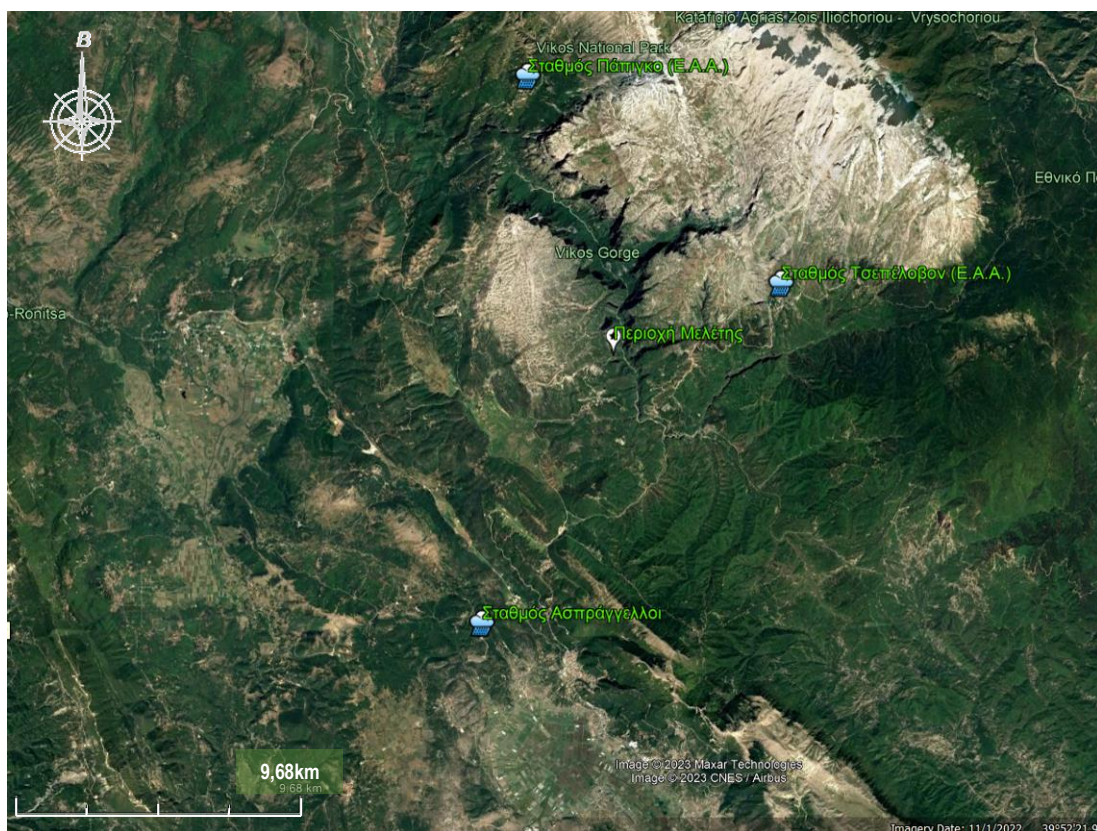


Σχήμα 23. Μέσο ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (ΕΜΥ). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.

Επιπλέον, στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος και σε μικρή απόσταση από το Μονοδένδρι, τοποθετούνται οι μετεωρολογικοί σταθμοί Πάπιγκο, Τσεπέλοβο και Ασπράγγελοι του δικτύου μετεωρολογικών σταθμών του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Τα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών, όπως είναι η θέση τους, η απόσταση από την άμεση περιοχής μελέτης, καθώς επίσης το χρονικό διάστημα καταγραφής μετεωρολογικών στοιχείων για καθ' έναν εξ αυτών, δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3. Στοιχεία Μετεωρολογικών σταθμών.

A/A	Σταθμός	Υψόμετρο (m)	Lat (N)	Long (E)	Περίοδος Διαθέσιμων Στοιχείων (έτη)	Απόσταση από περιοχή μελέτης (km)
1	Ασπράγγελοι	945	39°48'	20°42'	2013-2022	10,6
2	Τσεπέλοβο	1080	39°54'15"	20°49'14"	2016-2022	6
3	Μικρό Πάπιγκο	920	39°58'03"	20°43'11"	2013-2022	9,5



Εικόνα 8: Δορυφορική εικόνα από Google Earth, όπου παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης του πρηνούς ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής (Μονοδενδρίου) και των τριών γειτονικών υφιστάμενων μετεωρολογικών σταθμών του ΕΑΑ.

Από το σύνολο των διαθέσιμων βροχομετρικών στοιχείων για κάθε ένα από τους μετεωρολογικούς σταθμούς Ασπράγγελοι, Τσεπέλοβο και Μικρό Πάπιγκο, προκύπτει ότι το μέσο ετήσιο ύψος βροχής ισούται με 1552,4mm, 1815,6mm και 1392,2mm αντίστοιχα. Βάσει των παραπάνω στοιχείων και λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι, το ετήσιο ύψος βροχής εξαρτάται από τη σχετική γεωγραφική θέση και το υψόμετρο μιας περιοχής, καθώς επίσης το υψόμετρο της περιοχής μελέτης το οποίο κυμαίνεται από 1000m έως πλέον των 1100m (φρύδι

– πόδι), το μέσο ετήσιο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων της περιοχής του πρηνούς στην Ι.Μ Αγίας Παρασκευής κατά προσέγγιση κυμαίνεται μεταξύ των >1500mm και 1800mm περίπου. Με το συμπέρασμα αυτό το οποίο εξάγεται από τα διαθέσιμα βροχομετρικά στοιχεία για την περίοδο 2013-2022, συμφωνούν τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τις χρονικές περιόδους 1950-1974 και 1971-2000 όπως παρουσιάστηκαν παραπάνω.

Σχετικά με την επιρροή των ισχυρών και με μικρή διάρκεια ή μέτριων και μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεων στο φαινόμενο των βραχοκαταπτώσεων επιλέχθηκε να διερευνηθεί η περίπτωση του Οκτωβρίου 2021. Σύμφωνα με μαρτυρίες (εργαζομένης στην Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής) στο πρώτο μισό του υπόψη μήνα καταγράφηκαν δομικές αστοχίες στο μελετώμενο πρανές και μερική βλάβη των μέτρων προστασίας (πλέγματος). Το μέσο μηνιαίο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων Οκτωβρίου, όπως αυτό έχει υπολογιστεί από τα διαθέσιμα στοιχεία των μετεωρολογικών σταθμών Ασπράγγελοι, Τσεπέλοβο και Μικρό Πάπιγκο, είναι 129,62mm (2013-2022), 128,14mm (2016-2022) και 121,32mm (2013-2022) αντίστοιχα. Επίσης κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου 2021 το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων ήταν **236,6mm** στους Ασπράγγελους, **224,2mm** στο Τσεπέλοβο και **231,4mm** στο Μικρό Πάπιγκο, ήτοι περί τα 100mm αυξημένο σε σχέση με το μέσο μηνιαίο ύψος του συγκεκριμένου μήνα. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια μίας ημέρα, την 7^η Οκτωβρίου 2021, το ύψος του υετού στους προαναφερθέντες σταθμούς ήταν ίσο με 80mm περίπου (κυμαινόμενο από 79,4 έως 87mm). Αν και η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων εξαρτάται από μεγάλο αριθμό αιτιών, οι ισχυρές βροχοπτώσεις συχνά καταγράφονται ως το έναυσμα της μετακίνησης (triggering factor).

Πίνακας 4. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Ασπράγγελοι για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2021

NAME: Aspraggeloi ELEV: 945 m LAT: 39deg 48min LONG: 20deg 42min

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	MAX RH	MIN RH	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
01	13.7	17.4	15:00	11.1	21:50	92	61	0.0	17.2	45.1	11:00	ESE
02	13.0	19.6	15:30	7.6	22:50	91	43	0.0	9.5	40.2	01:50	ESE
03	12.6	19.8	16:50	6.2	08:10	92	36	0.0	5.7	25.7	03:40	ENE
04	13.3	20.9	15:50	6.2	23:40	94	23	0.0	5.0	22.5	07:50	WNW
05	13.1	21.8	15:00	5.1	07:00	94	37	0.0	4.3	25.7	14:20	S
06	14.8	20.5	16:50	8.7	03:30	92	40	3.6	5.7	27.4	07:20	SSE
07	11.8	13.9	00:10	10.6	12:00	94	84	79.4	22.7	54.7	23:20	E
08	12.3	14.2	12:50	10.8	01:20	93	76	5.4	19.2	46.7	00:40	E
09	13.0	17.1	15:30	10.6	06:30	96	75	23.8	9.3	30.6	00:40	E
10	13.7	16.9	15:00	11.5	08:00	94	76	18.0	14.9	40.2	13:10	E
11	11.8	14.5	15:30	8.9	20:20	96	76	22.4	6.3	33.8	12:10	SE
12	9.8	14.2	14:40	6.3	23:10	96	69	17.8	5.8	29.0	01:00	NW
13	8.8	13.9	12:40	2.7	06:40	97	70	1.8	4.0	20.9	12:20	SSE
14	8.9	10.1	01:00	7.3	09:20	94	87	29.6	15.5	38.6	07:10	E
15	9.6	11.7	14:00	7.9	07:50	92	78	14.4	20.5	48.3	05:30	ESE
16	11.0	14.3	14:00	8.9	06:50	97	77	4.8	3.9	22.5	02:10	NW
17	10.9	13.5	15:10	9.3	04:20	97	81	0.6	2.0	12.9	21:30	SSE
18	11.0	14.1	13:20	7.9	22:30	97	77	1.4	2.9	16.1	07:20	S
19	11.7	17.0	14:50	6.8	22:30	96	59	0.2	6.1	24.1	06:20	ENE
20	9.8	16.4	15:20	4.1	06:20	97	55	0.4	2.9	17.7	15:50	WSW
21	9.5	14.8	14:50	3.1	08:40	97	68	0.2	2.7	19.3	14:20	SSE
22	10.8	17.0	15:30	4.3	06:00	97	62	0.2	2.6	19.3	15:20	SSE
23	12.1	16.6	14:00	7.8	04:40	97	83	11.4	3.4	20.9	15:20	SSE
24	12.3	15.4	14:00	10.3	08:00	98	78	1.2	9.6	40.2	22:20	E
25	9.1	10.8	11:00	6.8	23:40	83	61	0.0	31.8	78.9	13:20	ESE
26	9.7	15.6	16:10	6.6	00:40	81	49	0.0	19.1	51.5	09:40	ESE
27	11.1	18.1	13:20	5.3	09:10	75	21	0.0	9.3	35.4	19:40	ESE
28	11.5	15.7	15:20	9.0	05:10	58	35	0.0	25.5	56.3	13:20	ESE
29	10.8	14.6	14:10	7.8	08:50	61	36	0.0	28.1	54.7	09:20	ESE
30	9.8	12.9	15:10	8.1	08:00	72	46	0.0	24.5	57.9	11:30	ESE
31	9.6	14.0	13:10	6.3	21:50	85	60	0.0	7.2	29.0	00:50	ESE
	11.3	21.8	5	2.7	13	90.2	60.6	236.6	11.2	78.9	25	ESE

Πίνακας 5. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Τσεπέλοβο για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2021

NAME: Tsepelovo CITY: Zagorohoria STATE: Ioannina
ELEV: 1080 m LAT: 39° 54' 15" N LONG: 20° 49' 14" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

						HEAT	COOL	AVG					DOM
	MEAN					DEG	DEG		WIND				DIR
DAY	TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	DAYS	DAYS	RAIN	SPEED	HIGH	TIME		
1	12.2	17.7	16:20	9.7	7:40	6.1	0.0	0.0	1.9	27.4	14:20	WNW	
2	12.3	19.4	16:50	6.7	8:00	6.0	0.1	0.0	1.8	19.3	14:10	SE	
3	12.9	21.4	14:00	6.4	7:10	5.9	0.5	0.0	1.9	22.5	15:30	ENE	
4	13.7	22.4	15:20	6.4	8:10	5.4	0.8	0.0	1.8	24.1	16:20	N	
5	14.5	23.4	13:30	7.7	6:40	4.9	1.1	0.0	1.8	22.5	14:00	NE	
6	14.6	21.3	14:50	8.7	6:40	4.1	0.4	2.8	1.6	20.9	15:00	SSE	
7	11.6	13.5	0:10	10.3	00:00	6.7	0.0	85.0	1.1	11.3	13:40	WNW	
8	11.6	14.1	13:10	10.3	0:10	6.7	0.0	13.2	1.3	11.3	6:10	SE	
9	12.4	16.9	14:10	10.1	8:40	5.9	0.0	22.4	1.0	17.7	14:20	SE	
10	13.0	17.4	14:20	11.0	9:30	5.3	0.0	15.8	1.3	20.9	15:20	SE	
11	11.3	14.1	11:20	9.1	23:10	7.0	0.0	24.4	1.6	19.3	10:30	W	
12	9.8	15.5	16:30	7.3	2:50	8.5	0.0	15.0	1.9	14.5	11:50	SE	
13	8.7	14.0	13:00	4.9	7:50	9.6	0.0	0.0	1.0	16.1	11:40	SE	
14	7.3	9.0	0:20	6.0	8:30	11.0	0.0	19.8	1.1	9.7	6:40	SW	
15	8.4	11.9	14:40	6.2	3:20	9.9	0.0	11.6	1.3	16.1	3:40	SW	
16	10.6	14.8	14:00	8.3	6:00	7.7	0.0	3.4	0.8	19.3	13:20	SSW	
17	10.8	13.8	13:20	9.3	7:40	7.4	0.0	0.8	0.6	14.5	14:20	ESE	
18	10.8	16.1	15:10	8.2	8:20	7.4	0.0	0.0	0.8	17.7	11:30	SE	
19	11.2	18.1	13:50	6.3	7:30	7.1	0.0	0.0	1.6	19.3	17:40	NE	
20	10.6	17.2	13:30	5.9	7:40	7.7	0.0	0.0	1.8	22.5	13:50	NE	
21	10.1	15.1	15:00	6.1	7:00	8.3	0.0	0.0	2.1	25.7	12:30	SW	
22	11.7	17.6	12:30	6.5	8:20	6.7	0.0	0.0	2.4	25.7	14:50	SE	
23	12.7	16.4	14:00	9.9	5:40	5.6	0.0	10.0	0.6	14.5	15:30	NE	
24	11.3	14.9	14:00	7.8	00:00	6.9	0.0	0.0	0.5	8.0	15:50	WNW	
25	7.6	11.5	14:20	3.6	00:00	10.7	0.0	0.0	4.3	35.4	13:30	SSE	
26	7.7	15.7	14:50	2.9	3:20	10.4	0.0	0.0	1.3	16.1	14:20	SW	
27	9.7	19.6	14:00	3.8	5:30	8.6	0.1	0.0	1.6	20.9	14:50	SW	
28	9.5	16.8	15:20	5.4	7:40	8.7	0.0	0.0	2.6	25.7	12:20	SSE	
29	10.3	16.4	14:00	3.9	8:20	5.4	0.0	0.0	2.1	22.5	12:50	SSE	
30	8.3	13.6	15:40	4.6	5:00	10.0	0.0	0.0	3.4	30.6	12:00	SSE	
31	8.1	14.6	12:10	4.4	7:10	10.2	0.0	0.0	1.3	16.1	3:00	SSE	
	10.8	23.4	5	2.9	26	231.9	2.9	224.2	1.6	35.4	25	SSE	

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 84.99 ON 07/10/21

Days of Rain: 12 (> .2 mm) 11 (> 2 mm) 3 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

Πίνακας 6. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Πάπιγκο για την περίοδο Οκτώβριος 2021 (πηγή: ΕΑΑ).

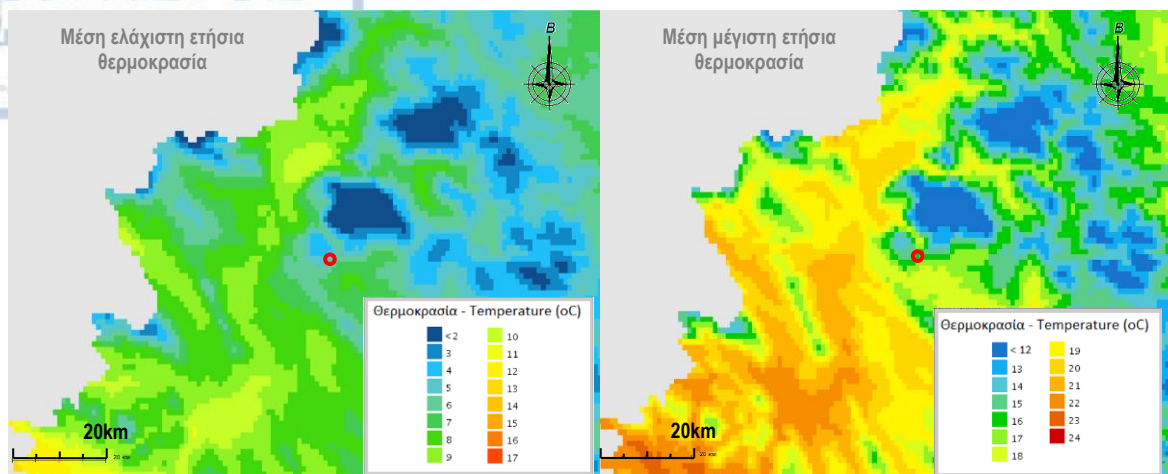
MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2021

NAME: Papigo ELEV: 920 m LAT: 40deg 00min LONG: 20deg 42min

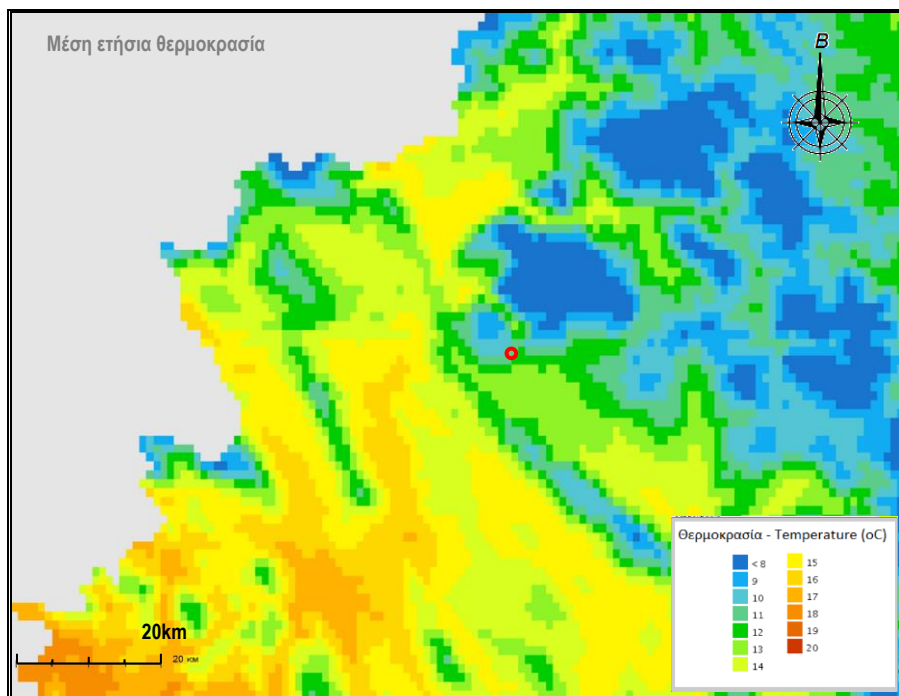
TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	MAX RH	MIN RH	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
01	12.6	17.2	13:00	10.0	08:30	98	67	0.0	0.2	8.0	12:50	SE
02	12.2	19.6	15:00	6.9	08:00	94	45	0.0	0.5	14.5	15:40	SE
03	12.6	20.3	15:30	6.8	06:50	92	35	0.0	0.4	11.3	16:20	ESE
04	13.5	21.7	15:00	7.2	08:00	86	23	0.0	0.6	11.3	15:10	ESE
05	14.4	22.9	14:40	8.4	07:40	85	30	0.0	0.6	11.3	14:10	WNW
06	15.0	22.0	14:10	8.9	06:40	92	38	1.8	0.4	11.3	14:20	NW
07	11.5	13.9	00:00	9.4	10:50	97	93	87.0	0.5	27.4	13:30	NW
08	11.5	14.2	14:30	10.0	23:50	97	85	6.6	0.1	22.5	02:40	SE
09	11.7	16.7	15:20	9.3	02:10	98	75	22.4	0.1	9.7	15:50	NNW
10	12.6	17.3	15:10	10.7	08:40	98	72	13.2	0.3	19.3	13:30	NW
11	11.3	15.4	15:00	9.2	23:50	97	77	26.4	0.3	19.3	12:50	NW
12	9.6	14.4	14:10	7.5	02:00	97	73	13.8	0.5	17.7	02:00	NW
13	9.0	12.7	12:40	5.6	05:30	95	74	0.6	0.0	8.0	16:00	WNW
14	6.4	9.1	00:00	5.0	10:30	98	94	20.2	0.0	4.8	05:30	WNW
15	7.6	12.2	14:40	5.4	00:00	98	92	14.2	0.1	20.9	08:00	SE
16	10.4	14.8	14:40	7.7	07:10	98	79	4.8	0.2	17.7	15:00	SE
17	10.4	13.1	15:20	8.4	07:40	98	87	0.8	0.0	4.8	03:10	WSW
18	10.6	16.4	14:20	8.0	09:20	98	75	4.4	0.1	14.5	14:40	SSW
19	10.7	16.7	15:10	6.3	06:20	97	61	0.0	0.4	14.5	20:30	NW
20	10.3	17.1	14:40	6.1	08:10	96	48	0.0	0.1	8.0	13:30	ESE
21	10.7	16.4	14:50	6.7	05:20	94	61	0.0	0.1	11.3	15:20	ESE
22	11.9	18.1	14:50	7.2	08:00	93	60	0.0	0.2	11.3	15:50	SE
23	13.4	17.5	14:40	10.9	23:10	96	77	15.2	0.2	11.3	20:40	NNW
24	11.6	14.1	16:10	9.7	06:40	98	94	0.0	0.1	8.0	02:00	WNW
25	7.9	13.8	14:10	3.2	23:40	96	59	0.0	0.1	9.7	13:30	SE
26	6.5	13.6	14:50	2.3	03:50	92	55	0.0	0.0	8.0	14:00	SE
27	7.4	15.7	14:50	2.9	08:10	95	38	0.0	0.0	6.4	12:40	SE
28	7.9	16.0	14:30	3.4	07:50	82	43	0.0	0.1	9.7	13:30	SE
29	7.2	15.2	14:20	2.8	07:50	84	44	0.0	0.0	9.7	14:10	SE
30	7.0	14.2	14:10	3.0	06:30	84	50	0.0	0.0	8.0	15:00	SE
31	7.8	12.7	12:10	3.4	06:10	92	60	0.0	0.1	8.0	00:30	W
	10.4	22.9	5	2.3	26	94.0	63.4	231.4	0.2	27.4	7	SE

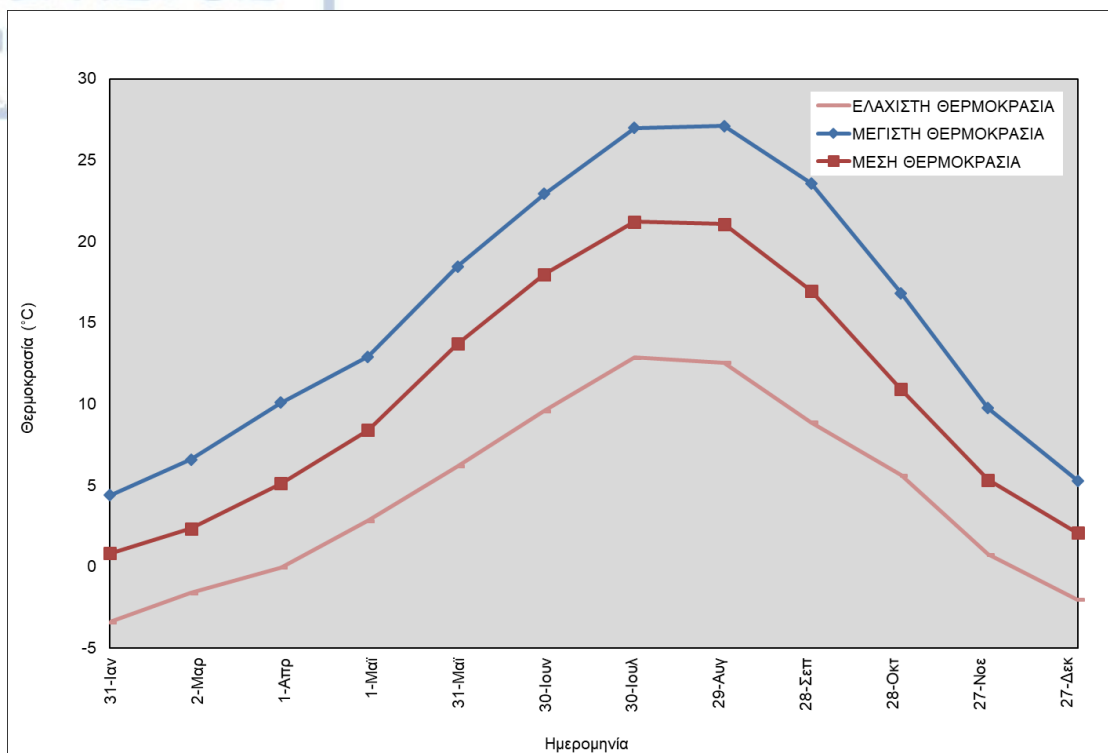
Η απότομη ημερήσια μεταβολή (και σε σημαντικά μικρότερο βαθμό η εποχιακή ή ετήσια) της θερμοκρασίας, επιδρά στη μηχανική αποσάθρωση των πετρωμάτων. Η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι δυνατόν να προκαλέσει τη μερική, κυρίως επιφανειακή, θραύση των πετρωμάτων. Αναφορικά με τη μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή μελέτης και σύμφωνα με τον Κλιματικό Άτλαντα της Ελλάδας (πηγή: ΕΜΥ) για την περίοδο 1971-2000, εκτιμήθηκε ίση με 10,53°C κυμαινόμενη από 0,83°C τον Ιανουάριο έως 21,21°C τον Ιούλιο. Ακολούθως παρουσιάζονται αποσπάσματα του κλιματικού Άτλαντα με τη μέση ελάχιστη, μέγιστη και μέση ετήσια θερμοκρασία στο βόρειο τμήμα της Π.Ε. Ηπείρου, καθώς επίσης διάγραμμα με τη διακύμανση των υπόψη θερμοκρασιών.



Σχήμα 24. Μέση ελάχιστη και μέγιστη ετήσια θερμοκρασία. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (ΕΜΥ). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Σχήμα 25. Μέση ετήσια θερμοκρασία. Απόσπασμα κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας για την περίοδο 1971-2000 (ΕΜΥ). Με κόκκινο κύκλο περικλείεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης.



Σχήμα 26. Μεταβολή μέσης ελάχιστης, μέγιστης και μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης (πηγή δεδομένων ΕΜΥ).

3. ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

3.1. ΥΠΑΙΘΡΙΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗ

Στην περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε κατά το διήμερο 20-21 Οκτώβριο 2021 επιτόπου ενδελεχής επισκόπηση, με σκοπό τη συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων υπαίθρου και την εκτίμηση των υφιστάμενων τεχνικογεωλογικών συνθηκών του μελετώμενου πρानού. Τα εν λόγω στοιχεία δύναται να διακριθούν σε δύο βασικούς άξονες. Ο πρώτος άξονας αφορούσε τη συλλογή στοιχείων στο πλαίσιο της κλασικής τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης της άμεσης και ευρύτερης περιοχής μελέτης. Αντιστοίχως ο δεύτερος άξονας της έρευνας αφορούσε τον σχεδιασμό και την πτήση του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος (UAV) με σκοπό την ολοκληρωμένη εικονοληψία του μελετώμενου πρानού για την δημιουργία του ψηφιακού μωσαϊκού.

Επιπλέον των παραπάνω και σε συνδυασμό με την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση κρίθηκε σκόπιμη η συλλογή πληροφοριών από το προσωπικό διαχείρισης της μονής, για τη σύναξη σύντομου ιστορικού εκδήλωσης αστοχιών. Τα συλλεγόμενα στοιχεία του πρόσφατου ιστορικού βραχοκαταπτώσεων παρουσιάστηκαν αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο.

3.2. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

3.2.1. ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΡΟΣΦΑΤΩΝ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΞΕΩΝ

Κατά την επιτόπου επίσκεψη στην περιοχή μελέτης, εμφανής ήταν η σήμανση προειδοποίησης κινδύνου που είχε τοποθετηθεί από τους εργαζόμενους στη μονή της Αγίας Παρασκευής, καθώς επίσης η απαγόρευση της διέλευσης των επισκεπτών από το μονοπάτι εισόδου στο φαράγγι του Βίκου. Η εκδήλωση σημαντικών φαινομένων καταπτώσεων βράχων κατά την περίοδο των τελευταίων ετών είχε ως αποτέλεσμα τη λήψη μέτρων προστασίας πρανών. Συγκεκριμένα, καταγράφηκε η πτώση βράχων μικρού σχετικά μεγέθους ($<0,5\text{m}^3$) σε κτίσμα παραπλεύρως της κεντρικής καμαρωτής πύλης της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής σε απόσταση περί τα 120m νοτιοδυτικά του μελετώμενου πρανού, η οποία έχει προκαλέσει μικρές βλάβες στη λιθόκτιστη σκεπή του μικρού κτιρίου. Μεγαλύτερων διαστάσεων βραχοκαταπτώσεις καταγράφηκαν στο ανθρακικό πρανές που οριοθετείται σε απόσταση 60m περίπου από το χαρτογραφημένο πρανές, κατά την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2020 (σύμφωνα με προφορικές μαρτυρίες). Οι πτώσεις βραχωδών τεμαχών μέγιστου όγκου 1m^3 περίπου είχε ως αποτέλεσμα την καταπλάκωση και κατάρρευση κελιών της μονής. Η μη λειτουργία της μονής ως εν ενεργεία μοναστήρι, ήταν πιθανόν ο λόγος που δεν υπήρχαν τραυματισμοί ή απώλειες σε ανθρώπινες ζωές. Αποτέλεσμα της πτώσης βράχων ήταν η υλοποίηση μέτρων προστασίας πρανών σε επιλεγμένες θέσεις κατά την περίοδο του Ιουλίου 2020.



Εικόνα 9: Πτώση βράχων σε κτίσμα παραπλεύρως της καμαρωτής πύλης της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής, σε απόσταση πλέον των 120m από το μελετώμενο πρανές. Διακρίνεται η εφαρμογή πλέγματος στο ασβεστολιθικό πρανές.



Εικόνα 10: Καταστροφή του κελιού της μονής λόγω της εκδήλωσης βραχώπτοσεων την περίοδο Μάρτιος – Απρίλιος 2020, σε απόσταση περί τα 60m νοτιοδυτικά του μελετώμενου πρανούς.



Εικόνα 11: Πλακόστρωτο μονοπάτι σύνδεσης της κεντρικής (καμαρόσχημης) πύλης με τα κυρίως κτήρια της Μονής, συμπεριλαμβανομένου του Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής. Διακρίνονται το κατεστραμμένο τμήμα κελιού λόγω της αστοχίας του 2020 και πεσμένα βραχώδη τεμάχια.

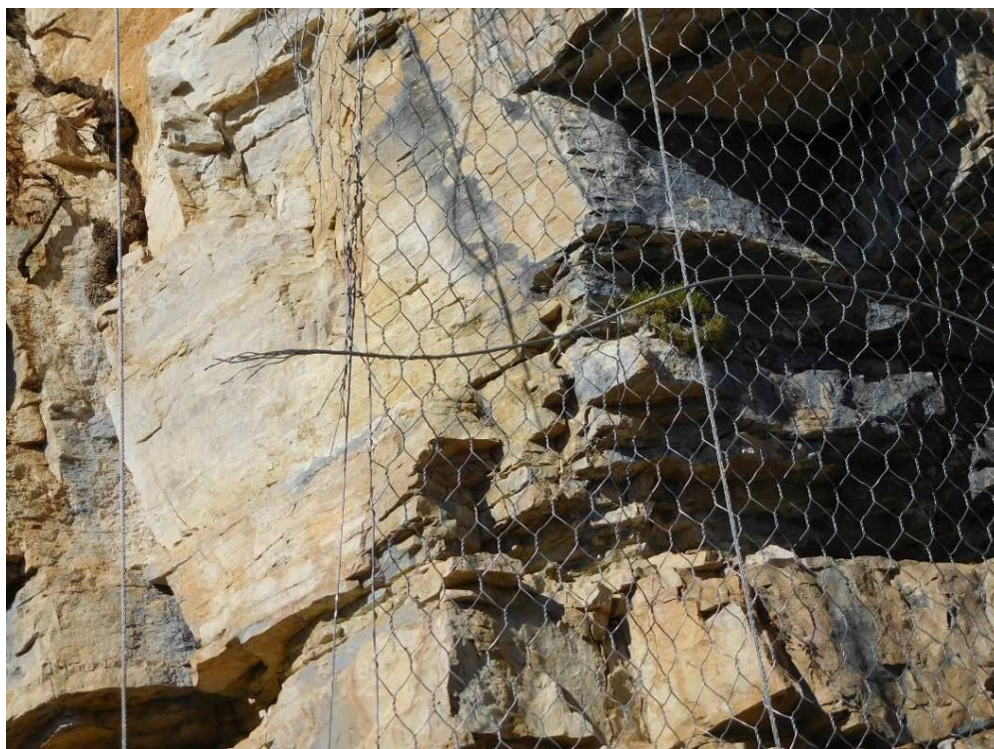
Η νεότερη αστοχία βραχοκαταπτώσεων αφορά το ακραίο δυτικό τμήμα του μελετώμενου πρानούς και αμέσως ανάντη του επισκέψιμου ναού. Στη θέση αυτή υφίστανται τουλάχιστον δέκα πεσμένα ασβεστολιθικά τεμάχια σημαντικού όγκου από 0,75-1,50m³. Μέρος ή το σύνολο των καταπτώσεων εκδηλώθηκε στις αρχές Οκτωβρίου 2021 και είχε ως αποτέλεσμα την απαγόρευση της εισόδου στο φαράγγι του Βίκου. Σύμφωνα με μαρτυρία της διαχειρίστριας και εργαζομένης στη μονή της Αγίας Παρασκευής το φαινόμενο εκκίνησε στις 7 Οκτωβρίου κατά τη διάρκεια ισχυρών βροχοπτώσεων, ενώ συνεχίστηκε και το επόμενο διάστημα έως το διήμερο της επιτόπου επίσκεψης. Όπως παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο (υδρομετεωρολογικών δεδομένων) κατά τη διάρκεια της 7^{ης} Οκτωβρίου στην ευρύτερη περιοχή του πρानούς καταγράφηκαν ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ύψους περί τα 80mm. Οι βροχοπτώσεις συνεχίστηκαν και τις επόμενες ημέρες έως τις 15 Οκτωβρίου, με επιπλέον 100mm βροχής περίπου. Στη θέση αυτή είχαν εφαρμοστεί μέτρα προστασίας πρानούς μετά την καταπλάκωση των κελιών το 2020, αποτελούμενα από πλέγμα συγκράτησης προσδεμένο με περιμετρικό συρματόσχοινο πακτωμένο στο πρανές με αγκύρια. Για την περαιτέρω ενίσχυση, το πλέγμα είναι προσδεμένο με εγκάρσια συρματόσχοινα ανά ένα (1) μέτρο μέχρι τη βάση του πρανούς. Η εκδήλωση των βραχοκαταπτώσεων είχε ως αποτέλεσμα την αστοχία του πλέγματος, αλλά και τουλάχιστον τεσσάρων εγκάρσιων συρματόσχοινων τα οποία είχαν κοπεί.

Αναφορικά με τη συλλογή πληροφοριών σχετικά με τη διαχρονική καταγραφή του φαινομένου καταπτώσεων βράχων, σημαντική ήταν η ενημέρωση ότι μετά από την εκδήλωση αισθητών στην περιοχή σεισμικών

δονήσεων, παρατηρείται συχνά η διεύρυνση του ανοίγματος των ασυνεχειών της βραχώδους. Βάσει αυτού, πιθανό είναι ο μικρού μεγέθους σεισμός της 22^{ας} Ιουλίου 2021 αλλά με εκτιμώμενη ένταση VI στην περιοχή μελέτης (βλέπε επόμενο κεφάλαιο Σεισμολογικών δεδομένων), να επίδρασε στην εκδήλωση του φαινομένου.



Εικόνα 12: Κατεστραμμένο πλέγμα στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρανούς λόγω της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021.



Εικόνα 13: Κομμένο συρματόσχοινο και κατεστραμμένο πλέγμα στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρανούς λόγω της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021.



Εικόνα 14: Αστοχία πρανούς (Οκτώβριος 2021) και καταστροφή του πλέγματος και των εγκάρσιων συρματοσχοινών, στο δυτικό όριο του μελετώμενου πρανούς. Διακρίνονται πεσμένα βραχώδη τεμάχη μεγέθους $>1\text{m}^3$.



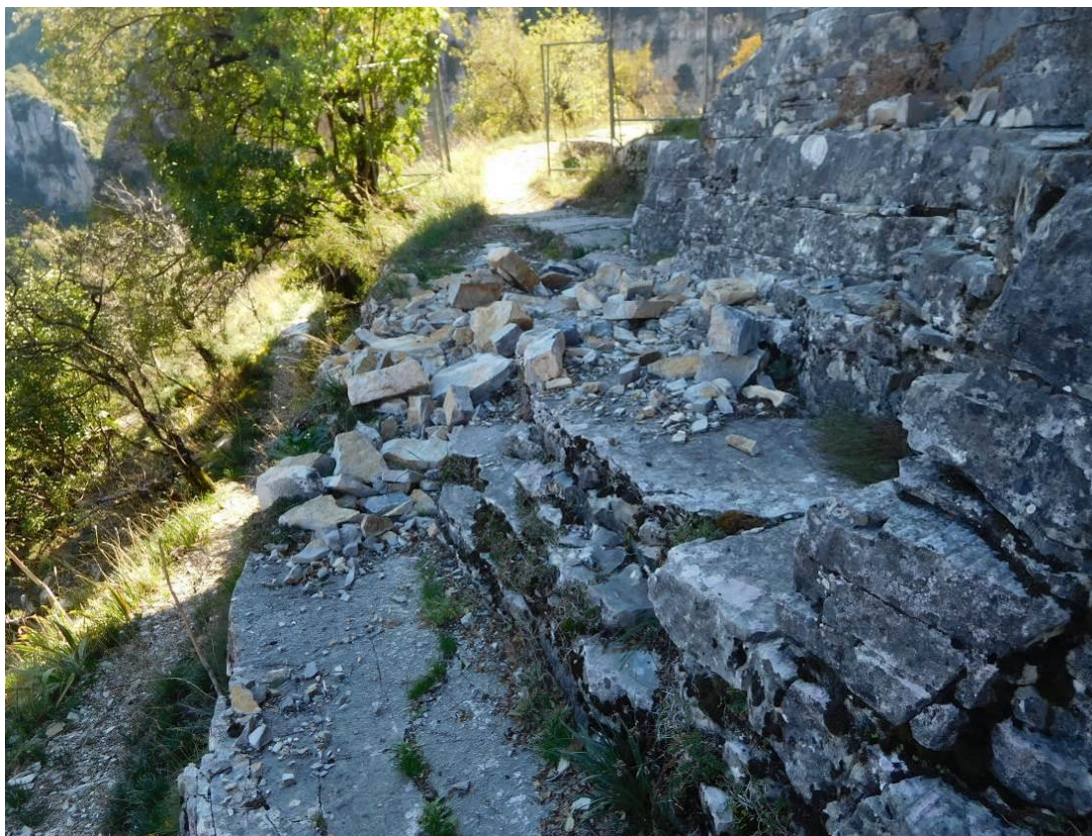
Εικόνα 15: Σημαντικού όγκου ασβεστολιθικά τεμάχια, στο πόδι του μελετώμενου πρानούς λόγω της αστοχίας στις 7^{ης} Οκτωβρίου 2021.

Στη βάση του χαρτογραφημένου πρानούς υφίστανται δύο παράλληλα μονοπάτια τα οποία οδηγούν τους επισκέπτες από τη μονή στην είσοδο του φαράγγιού του Βίκου. Το πρώτο είναι πλακόστρωτο και σε άμεση επαφή με το πρानές, ενώ το δεύτερο είναι χωμάτινο σε μεγαλύτερη απόσταση από το πρानές και υψομετρική διαφορά ενός (1) μέτρου περίπου από το πρώτο. Στο πλακόστρωτο μονοπάτι καταγράφηκαν μεγάλοι αριθμοί αλλά μικρού μεγέθους πεσμένα ασβεστολιθικά τεμάχια.

Μετά την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου (βορειοανατολικό όριο μελετώμενου πρανούς) και σε μικρή απόσταση από αυτή, καταγράφηκε επίσης μικρής κλίμακας αστοχία των λεπτο-μεσοπλακωδών ασβεστολίθων. Τα πεσμένα τεμάχια παραλληλόγραμμου σχήματος (λόγω της επικρατούσας στρώσης), ήταν μικρού όγκου και μέγιστης διάστασης πλευράς 30cm περίπου.



Εικόνα 16: Μικρά ασβεστολιθικά τεμάχια, πεσμένα επί του λιθόκτιστου μονοπατιού, στο πόδι του μελετώμενου πρηνούς.



Εικόνα 17: Μικρής κλίμακας πεσμένα τεμάχια αμέσως μετά την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου, λόγω αστοχία των λεπτο-μεσοπλακοδών ασβεστόλιθων.



Εικόνα 18: Το πρανές ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής, όπως προέκυψε από το νέφος σημείων (point cloud) που δημιουργήθηκε μετά τη λήψη φωτογραφιών από μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV) στις 21 Οκτωβρίου 2021. Διακρίνονται οι θέσεις των καταγεγραμμένων αστοχιών.

3.2.2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΠΡΑΝΟΥΣ

Στα πλαίσια της παρούσας, στη στενή αλλά και ευρύτερη περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε λεπτομερής γεωλογική - τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση, με σκοπό την αποσαφήνιση της επιφανειακής εξάπλωσης των γεωλογικών σχηματισμών, καθώς και την λεπτομερή τεκτονική ανάλυση με έμφαση στην καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού των ασυνεχειών (στρώσης και διακλάσεων). Επιπλέον καταγράφηκαν οι διαφοροποιήσεις στη δομή του βραχώδους σχηματισμού αναφορικά με την πυκνότητα της στρώσης και την παρουσία φαινομένων καρστικοποίησης. Σκοπός των εργασιών αυτών είναι ο κατ' αρχήν προσδιορισμός του μηχανισμού αστοχίας που επηρεάζει την ευστάθεια του φυσικού πρανούς ανάντη της μονής της Αγίας Παρασκευής, καθώς επίσης ο έλεγχος της ορθότητας των μετρήσεων που εξάχθηκαν από το παραγόμενο ψηφιακό μοντέλο με τη βοήθεια των δεδομένων του UAV.

Το βραχώδες πρανές στο σύνολο του αποτελείται από λευκούς έως λευκότεφρους μεσοστρωμάτωδεις ασβεστολίθους με πυριτικούς κονδύλους. Η στρώση των ασβεστολίθων είναι σχεδόν οριζόντια με μικρή γωνία κλίσης. Το πάχος δε της στρώσης μεταβάλλεται από το πόδι αυτού έως το φρύδι του. Αρχικά ο σχηματισμός είναι λεπτο-μεσοστρωμάτωσης με πάχος περί τα 10-15cm, ενώ στη συνέχεια γίνεται μεσοστρωμάτωσης με το πάχος να αυξάνεται έως 0,5m. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα ο σχηματισμός γίνεται παχυστρωματώδης με συχνή εμφάνιση καρστικών φαινομένων, ενώ πλησίον της στέψης του πρανούς ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται ξανά λεπτο-μεσοστρωματώδης. Τα εύρη των διαφορετικών ζωνών του ασβεστολίθου όπως επίσης το πάχος της στρώσης των ζωνών αυτών δύναται να μετρηθούν μέσω των ψηφιακών παραγόμενων αρχείων του UAV. Κατά μήκος του πρανούς υφίστανται δύο μονοπάτια παράλληλα μεταξύ τους τα οποία οδηγούν στην είσοδο του φαράγγιου. Το παλαιότερο και εγγύτερο στο πρανές μονοπάτι, είναι κατασκευασμένο από ασβεστολιθικές πλάκες. Η διέλευση του είναι απαγορευτική, κρίνοντας από το πλήθος των πεσμένων βραχωδών τεμαχίων ποικίλου μεγέθους που έχουν πέσει επί του επιπέδου αυτού. Το κατάντη μονοπάτι εισόδου είναι χωμάτινο, πρόχειρο και μάλλον ασφαλέστερο. Λόγω της διαφοροποίησης των συνθηκών αυτών οι εργασίες λήψης των αεροφωτογραφιών μέσω του UAV πραγματοποιήθηκε από το δεύτερο μονοπάτι εισόδου στο φαράγγι.

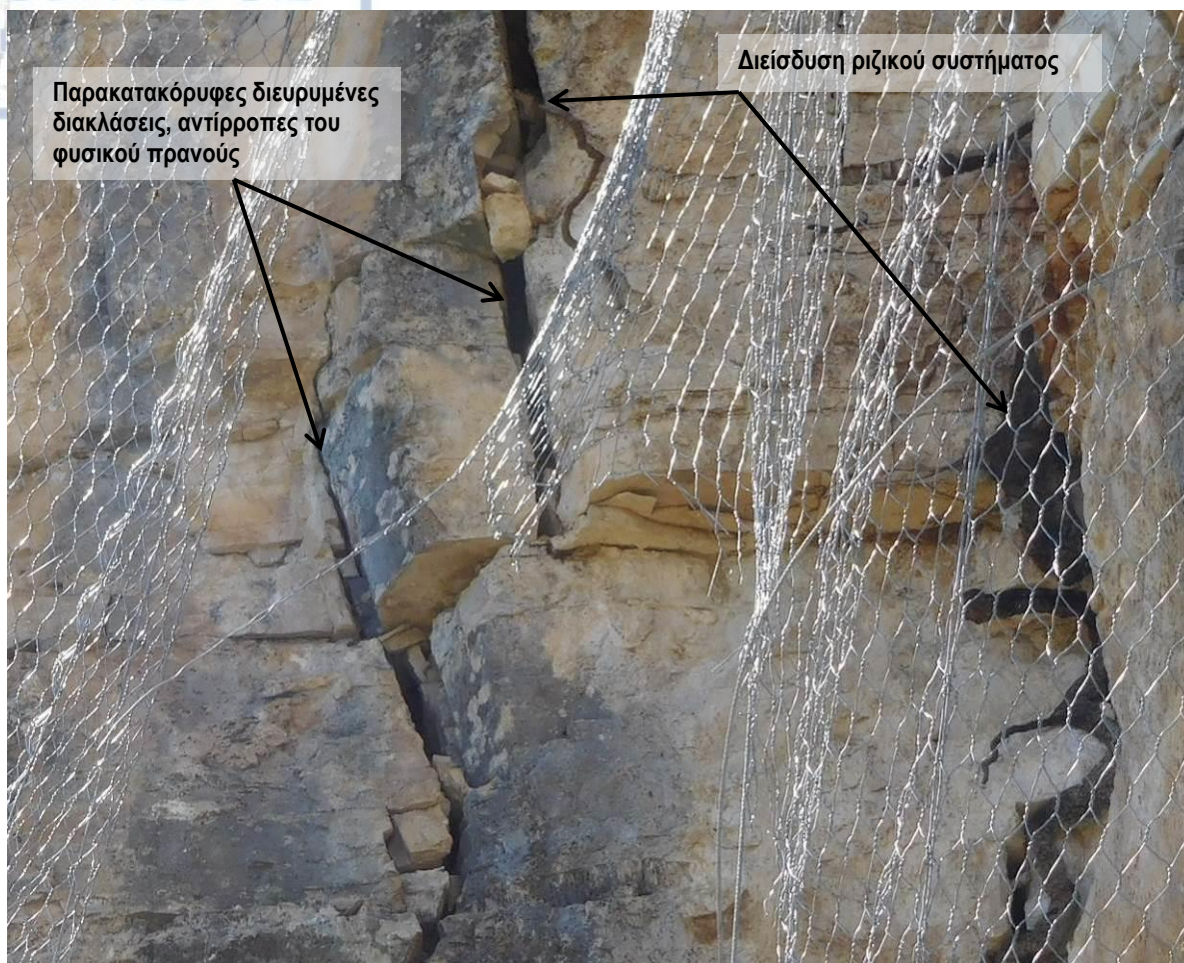
Αναφορικά με την εκτίμηση του μηχανισμού αστοχίας των ασβεστολίθων, αυτή φαίνεται να επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την παρουσία και ανάπτυξη του ριζικού συστήματος θαμνοειδούς βλάστησης και μικρών δέντρων επί του σχεδόν κατακόρυφου πρανούς. Η δράση των ριζών των θάμνων και δέντρων που φύονται επί του πρανούς, έχει ως αποτέλεσμα το άνοιγμα και τη διεύρυνση των υφιστάμενων διακλάσεων, συχνά σε βάθος αρκετών μέτρων. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπεται η εύκολη και άμεση ροή υδάτων κατά μήκος των ασυνεχειών, με αποτέλεσμα την αύξηση της αποσθαρρωτικής δράσης του νερού στα τοιχώματα της βραχώμαζας. Επιπλέον η διείσδυση και ανάπτυξη του ριζικού συστήματος συμβάλει στην αυξημένη παρουσία πάγου κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών ο οποίος ασκεί πλευρικές πιέσεις (αύξηση διατμητικής τάσης) και στη μείωση των γεφυρών άρρηκτου πετρώματος κατά μήκος μιας ασυνέχειας (π.χ. διακλάσεων), προκαλώντας έτσι αύξηση της εμμόνης (μήκος) και μείωση της συνοχής στο επίπεδο της ασυνέχειας. Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος σε συνδυασμό με τους παράγοντες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια και σχετίζονται με την εκδήλωση

σεισμικών γεγονότων (δονήσεων) σημαντικής έντασης στην περιοχή μελέτης που προκαλούν διεύρυνση υπαρχόντων διακλάσεων - ρωγμών και έντονων βροχοπτώσεων μεγάλης διάρκειας αποτελούν κύριους παράγοντες εκδήλωσης των καταπτώσεων βράχων.

Συχνά σε κυμαινόμενα ύψη από το επίπεδο συλλογής στοιχείων, παρατηρήθηκε λόγω παλαιότερων αστοχιών επί του βραχώδους πρσανούς η απουσία στήριξης κατακόρυφων στηλών βραχώμαζας, οι οποίες ορίζονται από την παρουσία κατακόρυφων ασυνεχειών με παρόμοια παράταξη και διεύθυνση κλίσης ομόρροπη ή αντίρροπη με αυτή του φυσικού πρσανούς. Η δράση των παραγόντων χαλάρωσης της βραχώμαζας όπως αναλύθηκαν παραπάνω, στις επικρεμάμενες ασβεστολιθικές στήλες δύναται να εξελιχθεί σε αστοχία αυτών.



Εικόνα 19: Παρουσία ριζικού συστήματος θαμνοειδούς βλάστησης, εντός των διακλάσεων του ασβεστόλιθου, στη θέση της αστοχίας της 7^{ης} Οκτωβρίου 2021.



Εικόνα 20: Η διείσδυση του ριζικού συστήματος διευρύνει της υφιστάμενες διακλάσεις και δημιουργεί συνθήκες αύξησης της αποσθρωπτικής δράσης του νερού στα τοιχώματα των βραχωδών τεμαχίων που αστόχησαν, καθώς επίσης των πλευρικών πιέσεων λόγω του παγώματος του νερού εντός των ρωγμών.



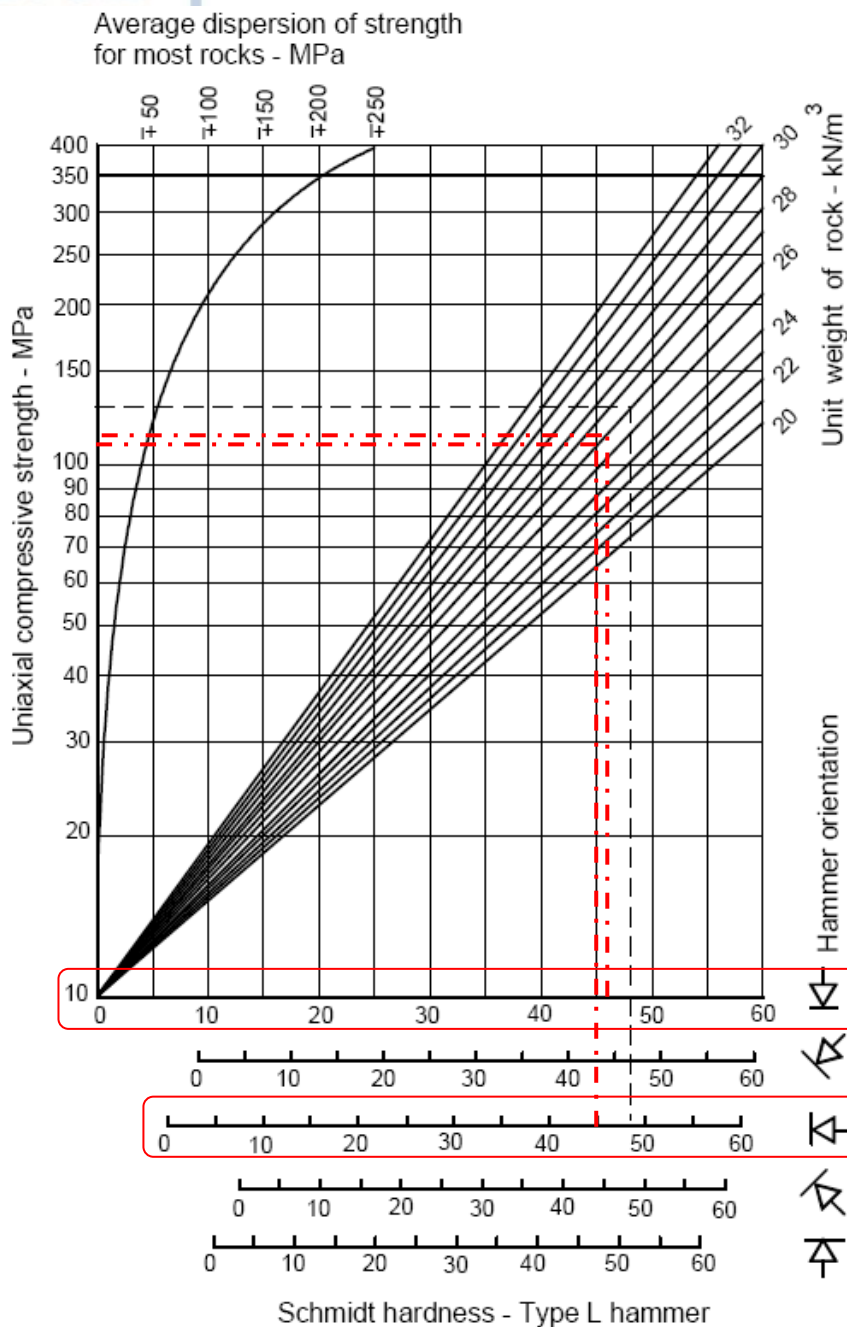
Εικόνα 21: Τμήμα του μελετώμενου ανθρακικού πρανούς. Διακρίνεται τοπικά η απουσία στήριξης βραχωδών στηλών (κολώνες) και η δημιουργία επικρεμάμενων (επισφαλών) βραχοτεμαχών.

3.2.3. **ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ - ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ**

Στο πλαίσιο της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης πραγματοποιήθηκαν επιτόπου δοκιμές με κρουστική σφύρα Schmidt. Η υπόψη συσκευή είναι εφοδιασμένη με τυποποιημένη κλίμακα ενδείξεων των τιμών αναπήδησης που αντιστοιχούν στην σκληρότητα του βραχώδους σχηματισμού (SHV Schmidt Hammer Values). Μέσω της διαδικασίας αυτής δύναται να διαπιστωθεί η ομοιογένεια της βραχώμαζας και κυρίως να εκτιμηθεί η μηχανική αντοχή σε μοναξονική θλίψη των τοιχωμάτων της ασυνέχειας JCS (Joint wall Compression Strength), με τη βοήθεια νομογράμματος (Deere & Miller, 1966) στο οποίο συσχετίζεται η σκληρότητα (SHV) με την αντοχή και την πυκνότητα του πετρώματος σε ξηρή κατάσταση.

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά τριάντα μία (31) δοκιμές με τη σφύρα Schmidt εκ των οποίων οι είκοσι μία (21) σε επιφάνειες διακλάσεων και οι 10 επί επιφανειών στρώσης των ασβεστολίθων. Από τις δοκιμές επί επιφανειών διακλάσεων απορρίφθηκαν οι δέκα μικρότερες τιμές, ενώ από τις υπόλοιπες δοκιμές υπολογίστηκε ο μέσος αριθμός των κρούσεων (SHV) ίσος με 45. Αντίστοιχα από τις δοκιμές επί επιφανειών στρώσης υπολογίστηκε ο μέσος αριθμός κρούσεων (SHV) ίσος με 46.

Επιπλέον εκτιμήθηκε βιβλιογραφικά η πυκνότητα των ασβεστολίθων. Έτσι, σύμφωνα με τους Τσιαμπάο και Σαμπατάκη (1982) για τον Ελληνικό χώρο η πυκνότητα των ασβεστολίθων κυμαίνεται από 25,8kN/m³ έως 27,0kN/m³. Σύμφωνα με στοιχεία από αρχείο του ΚΕΔΕ η πυκνότητα των ασβεστολίθων κυμαίνεται από 24kN/m³ έως 27kN/m³, ενώ για τους κρυσταλλικούς συμπαγής ασβεστολίθους από 26kN/m³ έως 27kN/m³. Βάσει των προηγούμενων βιβλιογραφικών αναφορών, η τιμή της πυκνότητας των ασβεστολίθων στην περιοχή μελέτης θεωρείται ίση με 26kN/m³.

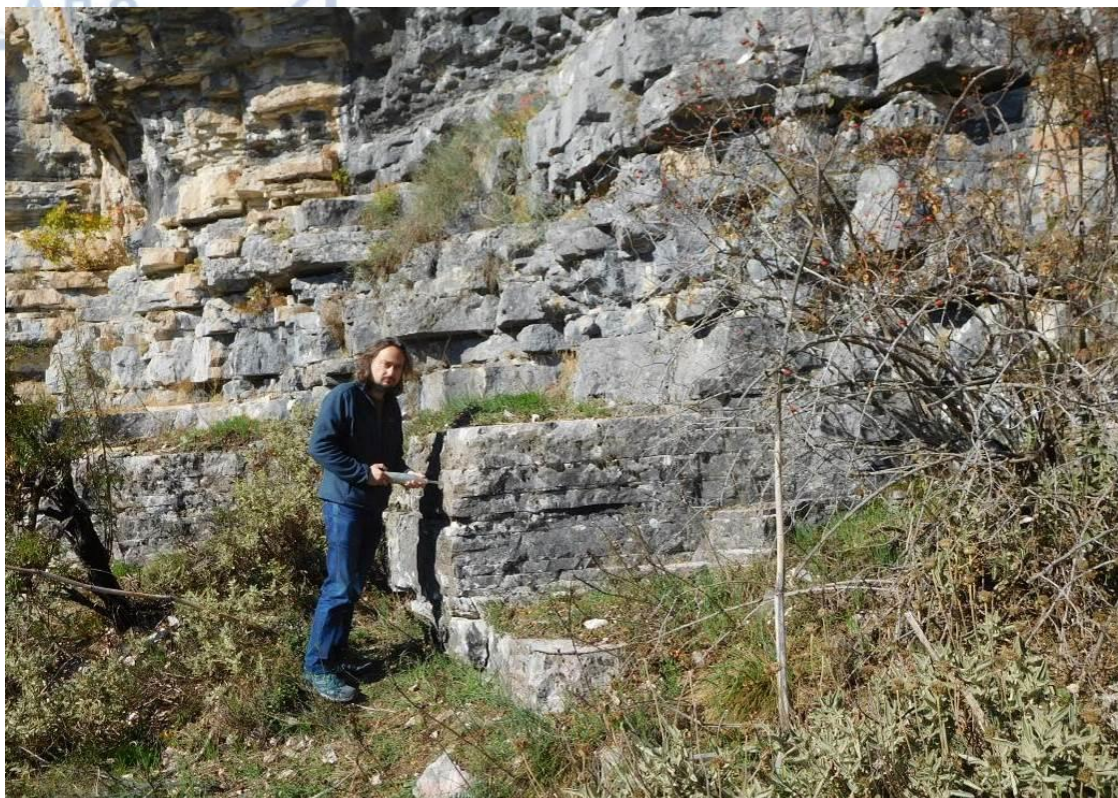


Σχήμα 27: Διάγραμμα υπολογισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη των τοιχωμάτων ασυνεχειών JCS με βάση το μέσο όρο των μετρήσεων σκληρότητας (SHV) και την πυκνότητα των ασβεστολίθων (DEERE and MILLER, 1966).

Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές σκληρότητας (SHV) και την πυκνότητα των ασβεστολίθων εκτιμήθηκε ότι η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μοναξονική θλίψη ισούται με 110 ± 40 MPa.

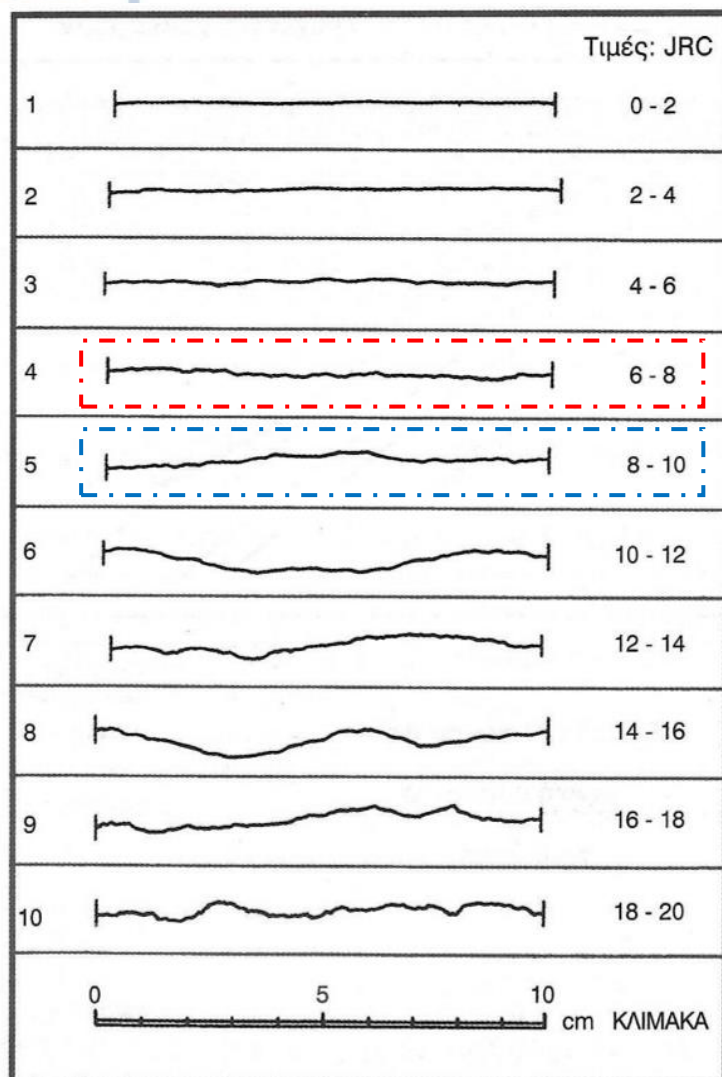
Σημειώνεται ότι, σημαντικό πλεονέκτημα της εκτίμησης της αντοχής των βραχωδών πετρωμάτων μέσω των δοκιμών με σφύρα Schmidt είναι η ευκολία στην εφαρμογή της μεθόδου, οι μικρές απαιτήσεις σε εξοπλισμό και η άμεση διαθεσιμότητα των αποτελεσμάτων. Αντίστοιχα, μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν προχωράει στην εκτίμηση της ποιότητας του πετρώματος σε βάθος, ενώ ο συντελεστής μεταβλητότητας των

αποτελεσμάτων είναι σχετικά υψηλός.



Εικόνα 22: Λήψη μετρήσεων σκληρότητας (SHV) ασβεστολίθων, με χρήση σφύρας Schmidt.

Στο υπόψη μελετώμενο φυσικό πρανάς, μέγιστου ύψους περί τα 100m, εκτιμήθηκε η τραχύτητα των επιφανειών των ασυνεχειών του. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών των ασβεστολίθων χαρακτηρίζονται εν γένει ως τραχείες. Μεταξύ των επιφανειών στρώσης και των διακλάσεων παρατηρούνται κυρίως διαφοροποιήσεις ως προς τη μορφή αυτών. Έτσι οι επιφάνειες στρώσεις χαρακτηρίζονται γενικά ως επίπεδες τραχείες, ενώ οι επιφάνειες των διακλάσεων τραχείες κυματοειδείς έως τραχείες κλιμακωτές. Ο συντελεστής τραχύτητας των ασυνεχειών JRC (Joint Roughness Coefficient) υπολογίζεται από τη σύγκριση της επιφάνειας των ασυνεχειών με τα τυποποιημένα προφίλ τραχύτητας που δίνουν οι BARTON και CHOUBEY (1977). Γενικά οι επιφάνειες των διακλάσεων, επί των οποίων παρατηρούνται οι κύριες δομικές αστοχίες των ασβεστολίθων, χαρακτηρίζονται από συντελεστή τραχύτητας μεταξύ των τιμών 8 και 10, ενώ οι επιφάνειες στρώσης από τιμές 6-8.



Σχήμα 28: Τυπικό προφίλ τραχύτητας και οι αντίστοιχες τιμές JRC για το καθένα (Barton & Choubey, 1977). Με κόκκινο διακεκομμένη γραμμή περικλείονται οι τιμές τραχύτητας των επιφανειών στρώσης, ενώ με μπλε των επιφανειών διάκλασης.

Σύμφωνα με τον Patton (1966) η μέγιστη διατμητική αντοχή τραχειών επιφανειών του πετρώματος μπορεί να εκτιμηθεί με τη σχέση: $\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$, όπου σ_n η επιβαλλόμενη ορθή τάση, ϕ_b η βασική γωνία τριβής και i η γωνία που εκφράζει την τραχύτητα.

Επίσης οι Barton et. al. (1973, 1976, 1977 και 1990) αφού μελέτησαν τη συμπεριφορά των φυσικών ασυνεχειών, πρότειναν για την εκτίμηση της μέγιστης διατμητικής αντοχής τη σχέση:

$$\tau = \sigma_n \tan[\phi_b + JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n)].$$

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει ότι $i = JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n)$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ότι η γωνία i ισούται με 11° για τις ασυνέχειες διακλάσεων και 9° για τις ασυνέχειες στρώσεις. Επιπλέον η βασική γωνία εσωτερικής τριβής ϕ_b επιλέχθηκε βιβλιογραφικά (N. Barton & V. Choubey, 1977) για υγρές συνθήκες ίση με 27° (κυμαινόμενη από 27° - 35°). Βάσει των παραπάνω, για τον έλεγχο δυναμικών αστοχιών επιλέγεται γωνία εσωτερικής τριβής ίση με 36° , ως πιο συντηρητική προσέγγιση.

3.2.4. ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Για τη διερεύνηση των δομικών χαρακτηριστικών της βραχόμαζας, λήφθηκαν μετρήσεις ασυνεχειών (στρώσης και διακλάσεων) με σκοπό τη σύνταξη στερεοδιαγράμματος Schmidt. Σκοπός του στερεοδιαγράμματος είναι η εξέταση της πιθανότητας, οι υφιστάμενες δομικές αστοχίες και τα εν γένει προβλήματα ευστάθειας να ελέγχονται από τον προσανατολισμό των δομικών χαρακτηριστικών της βραχόμαζας. Η μέθοδος των τεκτονικών αναλύσεων περιλαμβάνει τον ποσοτικό προσδιορισμό και τη στατιστική ανάλυση των γεωμετρικών στοιχείων των επιφανειών ασυνέχειας που αναπτύσσονται στην επιφάνεια ενός πρανούς.

Η υπόψη διαδικασία εκτίμησης των δυνητικών ολισθήσεων στο βραχώδες μελετώμενο πρανές, αποτελεί βασικό βήμα των αναλύσεων ευστάθειας σε βραχώδη πρανή, καθώς μέσω αυτής εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα για τη δυνατότητα εκδήλωσης κάποιας μορφής αστάθειας, συνδεδεμένης με τα συστήματα ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχόμαζα.

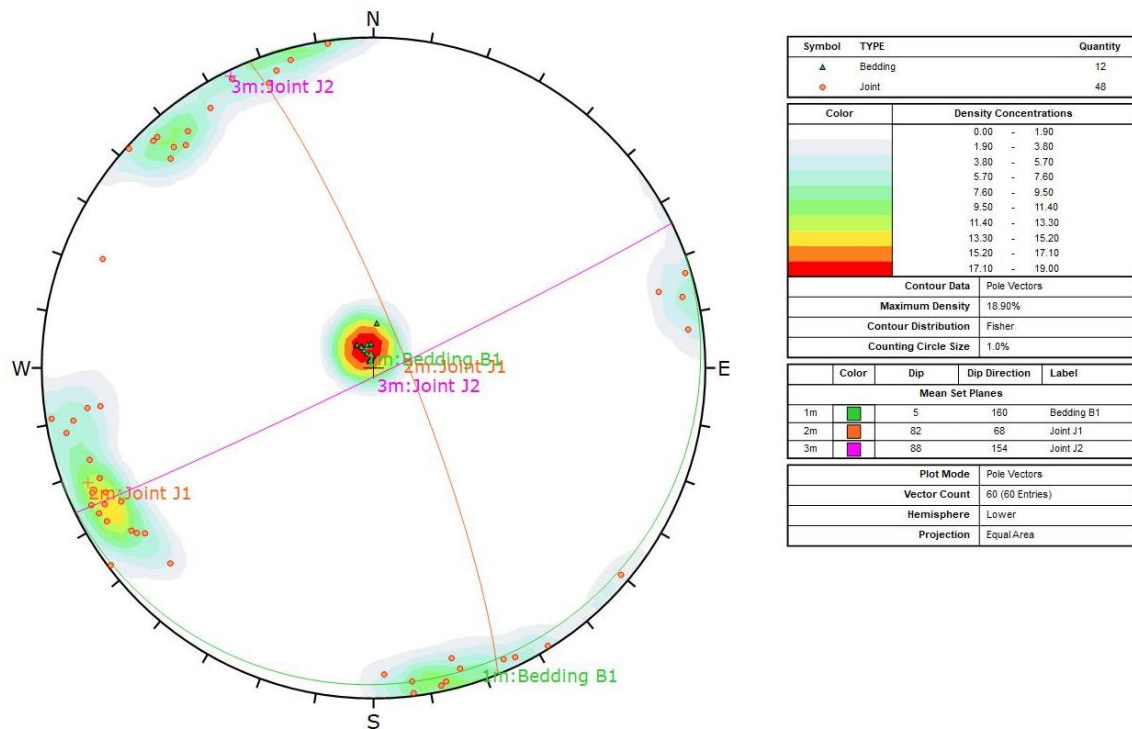


Εικόνα 23: Λήψη μετρήσεων ασυνεχειών επί του μελετώμενου πρανούς, με γεωλογική πυξίδα τύπου clark.

Από τη στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων σε συνολικά 60 ασυνέχειες των ασβεστολίθων, διαπιστώθηκε η παρουσία τριών (3) κύριων οικογενειών ασυνεχειών. Από αυτές η μία αφορά στα επίπεδα στρώσης B1 των ασβεστολίθων και οι υπόλοιπες δύο διακριτές οικογένειες διακλάσεων (J1 και J2). Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση & διεύθυνση κλίσης) των κύριων επιπέδων ασυνεχειών παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα και την εικόνα.

Πίνακας 7: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-1 στο πρανές ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.

A/A	Κύρια Επίπεδα	Κλίση / Διεύθυνση κλίσης
1	B1 Στρώση	5°/160°
2	J1 Διάκλαση	82°/068°
3	J2 Διάκλαση	88°/154°



Σχήμα 29: Στερεοδιάγραμμα Schmidt από την περιοχή του πρανούς ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή. Διακρίνονται οι μέγιστοι κύκλοι των κύριων επιπέδων ασυνεχειών, οι πόλοι των μετρήσεων με γεωλογική πυξίδα και η στατιστική επεξεργασία (πυκνότητες) αυτών.

Σημειώνεται ότι τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των παραπάνω κύριων επιπέδων ασυνεχειών (μετρήσεις με γεωλογική πυξίδα στην ύπαιθρο), συγκρίνονται σε επόμενο κεφάλαιο με τα αντίστοιχα επίπεδα ασυνεχειών όπως αυτά προέκυψαν από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου νέφους σημείων των δεδομένων του UAV.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ & ΑΝΑΛΥΣΕΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

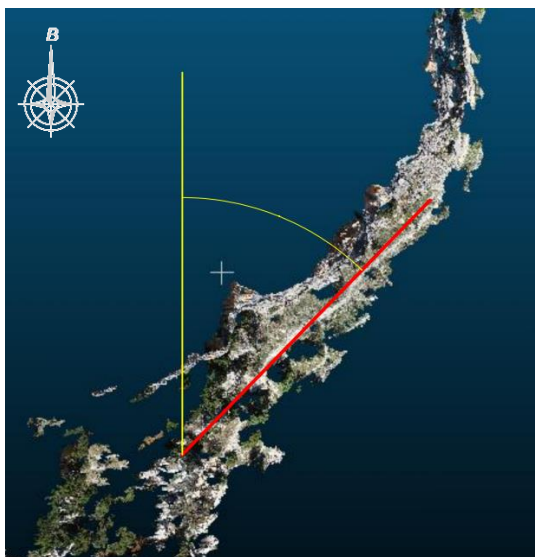
4.1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Σε συνέχεια της στατιστικής επεξεργασίας των μετρήσεων ασυνεχειών όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι δυνητικής ανάπτυξης γεωμετρικών αστοχιών τύπου:

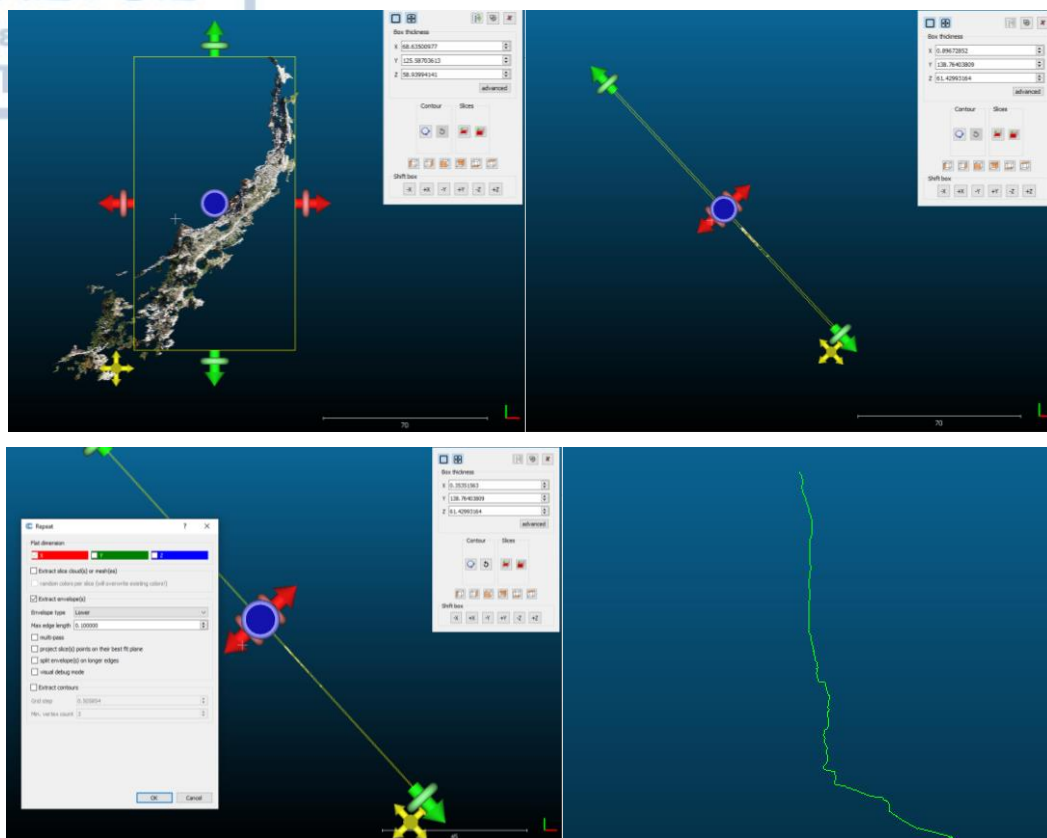
- επίπεδης ολίσθησης,
- ολίσθησης σφηνοειδών τεμαχίων, και
- ανατροπής

Οι υπόψη έλεγχοι πραγματοποιήθηκαν με χρήση του προγράμματος Dips λαμβάνοντας υπόψη:

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του επιπέδου του βραχώδους πρανούς είναι κατά μέσον όρο $77^{\circ}/131^{\circ}$ (κλίση/διεύθυνση κλίσης), σύμφωνα με σύγκριση κάθετων τομών στο πρανές, όπως αυτές προέκυψαν από το παραγόμενο μοντέλο νέφους σημείων του πρανούς (φωτογραμετρία μέσω UAV) και τη χρήση του προγράμματος CloudCompare. Ειδικότερα, για τον υπολογισμό εν γένει της παράταξης του μελετώμενου πρανούς και άρα της διεύθυνσης κλίσης αυτού ($+90^{\circ}$), εξάχθηκε από το CloudCompare η κάτοψη αυτού. Στη συνέχεια μετρήθηκε η γωνία που σχηματίζει η παράταξη του σχεδόν ευθύγραμμου τμήματος πρανούς αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και έως την είσοδο του φαραγγιού, με τον βορρά. Η γωνία αυτή ισούται με 41° , οπότε η διεύθυνση κλίσης του πρανούς είναι ίση με 131° . Αντίστοιχα για τον υπολογισμό της γωνίας κλίσης του πρανούς μέσω του προγράμματος CloudCompare χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο "Cross Section" για την εξαγωγή τομών κάθετων στο πρανές. Η επιλογή της γωνίας κλίσης ίση με 77° βασίστηκε στην επικρατούσα γωνία της πλειοψηφίας των διατομών. Παρακάτω παρουσιάζεται σε εικόνες η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πρανούς



Σχήμα 30: Κάτοψη νέφους σημείων της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται με κόκκινη γραμμή η παράταξη του τμήματος πρανούς αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και έως την είσοδο του φαραγγιού.



Σχήμα 31: Χρήση του εργαλείου “Cross Section” του προγράμματος CloudCompare, για την επιλογή της γωνίας κλίσης τμήματος του πρανούς μεταξύ της περιοχής αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και της εισόδου του φαραγγιού.

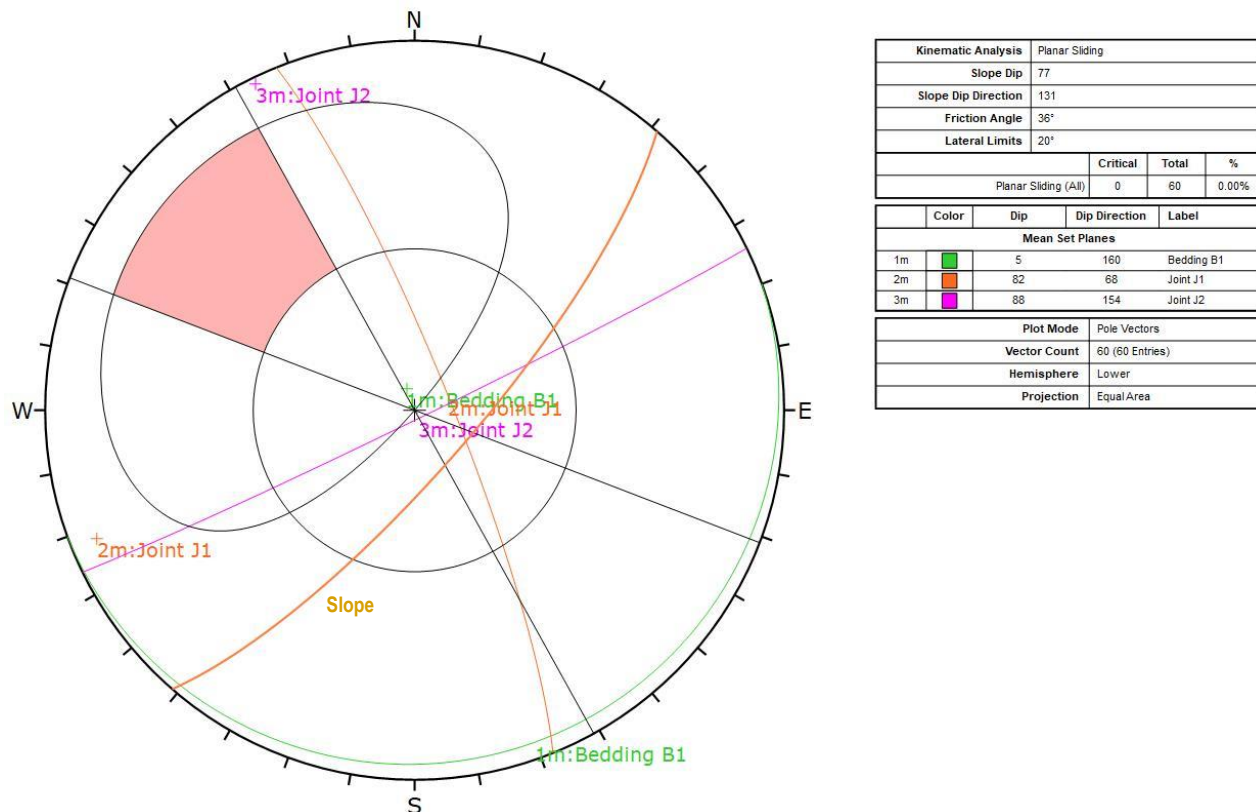


Σχήμα 32: Τομή επί του ασβεστολιθικού πρανούς, κάθετη στη κλίση διεύθυνσης του φυσικού πρανούς ύψους περί τα 100m.

- Τα επίπεδα των κυριότερων συστημάτων ασυνέχειας, όπως προσδιορίστηκαν από την προηγούμενη στατιστική επεξεργασία.

- Την εκτιμώμενη ως αντιπροσωπευτική γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών των ασβεστολίθων, ίση με 36° .

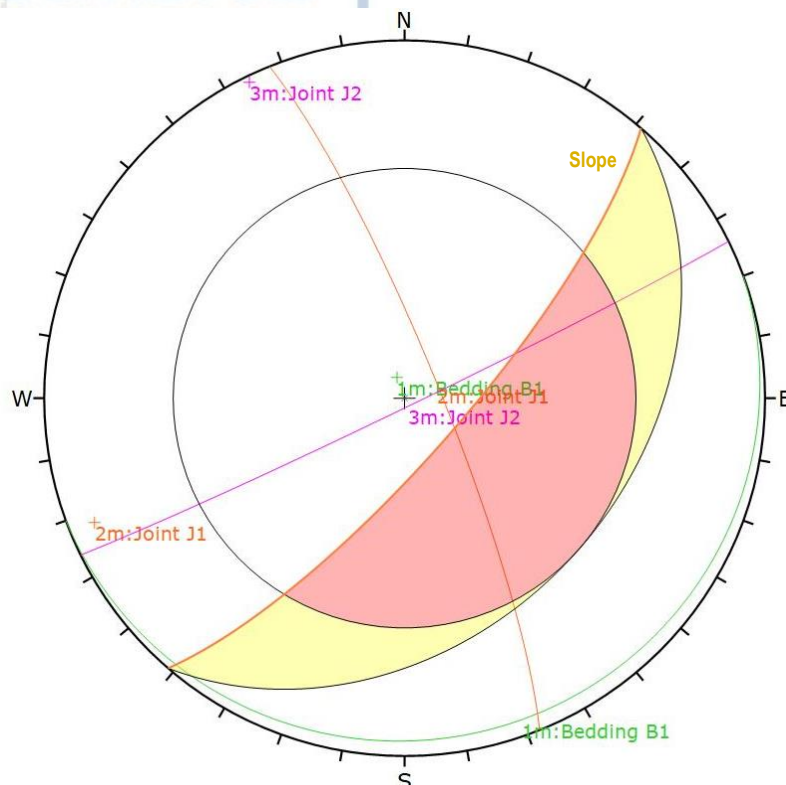
Το διάγραμμα ελέγχου δυνητικών επίπεδων αστοχιών παρουσιάζεται ακολούθως.



Σχήμα 33: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης στο στερεοδιάγραμμα Schmidt Td-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.

Όπως διαπιστώνεται κατά τον έλεγχο των βασικών κριτηρίων εκδήλωσης επίπεδων αστοχιών, που είναι η παρουσία ασυνεχειών με σχεδόν παράλληλη διεύθυνση με αυτή του επιπέδου του πρανούς (με διαφορά στη διεύθυνση κλίσης μικρότερη των $\pm 20^\circ$), γωνία κλίσης πρανούς μεγαλύτερη του επιπέδου ολίσθησης και του επιπέδου ολίσθησης μεγαλύτερη της γωνίας τριβής της ασυνέχειας, δεν υφίστανται σε καμία περίπτωση και οι τρεις προϋποθέσεις μαζί.

Αναφορικά με την εκδήλωση δυνητικών σφηνοειδών αστοχιών, παρακάτω δίνεται το αντίστοιχο διάγραμμα ελέγχου.



Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	77
Slope Dip Direction	131
Friction Angle	36°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	0	0%

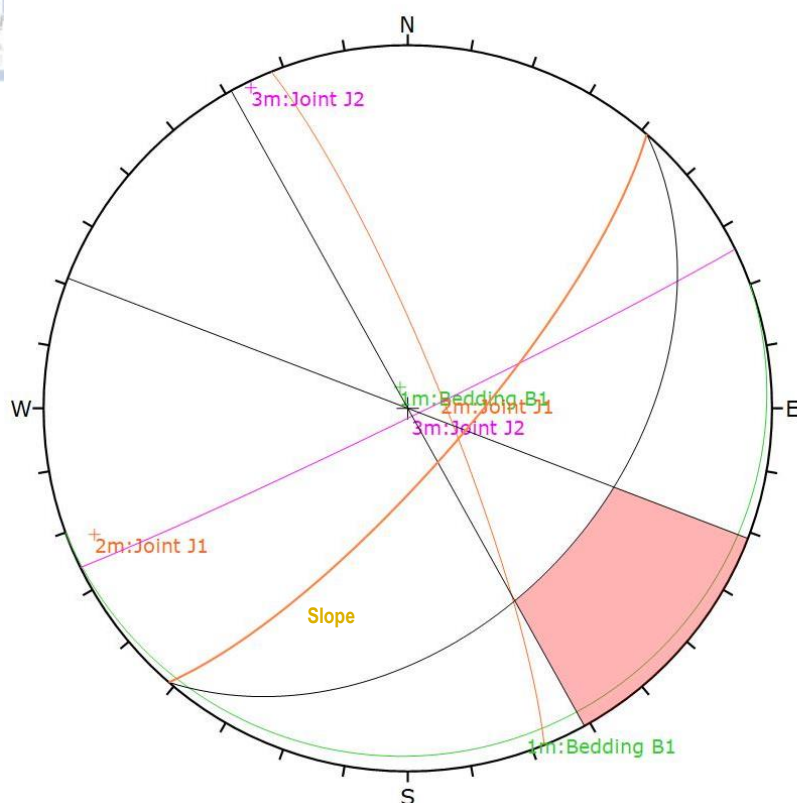
	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m	■	5	160	Bedding B1
2m	■	82	68	Joint J1
3m	■	88	154	Joint J2

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	60 (60 Entries)
Intersection Mode	User Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Σχήμα 34: Κινηματική ανάλυση έναντι σφηνοειδούς ολίσθησης στο στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.

Ο έλεγχος έναντι εκδήλωσης σφηνοειδούς ολίσθησης πραγματοποιείται μέσω του τεστ Markland (1972), σύμφωνα με το οποίο για την εκδήλωσης αστοχίας θα πρέπει η γωνία του πρανούς να είναι μεγαλύτερη από αυτήν της τομής και οι δύο μεγαλύτερες από τη γωνία τριβής της ασυνέχειας. Επίσης η τομή των ασυνεχειών θα πρέπει εκδηλώνεται στην επιφάνεια του πρανούς. Όπως διαπιστώνεται από τον έλεγχο δυνητικών σφηνοειδών αστοχιών στο προηγούμενο δίκτυο Schmidt, δεν διακρίνεται η παρουσία σημείου τομής δύο ασυνεχειών κύριων επιπέδων, εντός της περιοχής που ορίζεται από το επίπεδο του φυσικού πρανούς και του κύκλου γωνίας τριβής των ασυνεχειών, δηλαδή δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις εκδήλωσης σφηνοειδούς αστοχίας.

Τέλος, ο έλεγχος δυνητικών αστοχιών λόγω ανατροπής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip		77		
Slope Dip Direction		131		
Friction Angle		36°		
Lateral Limits		20°		
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)		2	60	3.33%
Flexural Topping (Set 3: Joint J2)		2	24	8.33%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes				
1m		5	160	Bedding B1
2m		82	68	Joint J1
3m		88	154	Joint J2

Plot Mode		Pole Vectors
Vector Count		60 (60 Entries)
Hemisphere		Lower
Projection		Equal Area

Σχήμα 35: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής στο στερεοδιάγραμμα Schmidt Td-1, της περιοχής ανάντη της μονής Αγία Παρασκευή.

Σύμφωνα με το παραπάνω και λαμβάνοντας υπόψη ότι για την εκδήλωση αστοχιών σε μορφή ανατροπών θα πρέπει να υφίστανται επίπεδα ασυνεχειών με διεύθυνση περίπου ίδια με αυτή του πρανούς αλλά με αντίρροπη φορά κλίσης (διαφορά παράταξης ασυνεχειών $\pm 20^\circ$) και μεγάλη γωνία κλίσης ($> 70^\circ$), δεν προκύπτει η περίπτωση εκδήλωσης ανατροπών. Εντούτοις, δύο από τις μετρήσεις ($89^\circ/328^\circ$ & $87^\circ/310^\circ$) των επιπέδων της ασυνέχειας J2, εκπληρώνουν τα κριτήρια εκδήλωσης αστοχιών ανατροπής, αφού έχουν αντίρροπη διεύθυνση κλίσης, μεγάλη γωνία κλίσης και παρόμοια παράταξη (διαφορά $< 20^\circ$) από αυτή του πρανούς.

Συμπερασματικά, από τους παραπάνω ελέγχους δεν προκύπτουν δυνητικές δομικές αστοχίες των κύριων επιπέδων ασυνεχειών, με εξαίρεση μεμονωμένων μετρήσεων, οι οποίες δύναται να εξελιχθούν σε ανατροπές ασβεστολιθικών στηλών. Επιπλέον όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, διαπιστώθηκε από την επιτόπου επισκόπηση των επικρατουσών τεχνικογεωλογικών συνθηκών του φυσικού πρανούς, η ανάπτυξη ριζικού συστήματος θαμνώδους βλάστησης και μικρών δέντρων μεταξύ των τοιχωμάτων των ασυνεχειών. Το φαινόμενο αυτό ευνοεί την περεταίρω ανάπτυξη εφελκυστικών δυνάμεων και την εκδήλωση ανατροπών όπως είναι αυτές των μεμονωμένων μετρήσεων με παρόμοια παράταξη, αντίρροπη διεύθυνση κλίσης και μεγάλη γωνία κλίσης συγκριτικά με τα χαρακτηριστικά του φυσικού πρανούς. Τέτοιος φαίνεται ότι ήταν ο μηχανισμός αστοχίας στο πρανές σε άμεση γειτονία με τον Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής, στο οποίο είχαν εφαρμοστεί μέτρα προστασίας (πλέγμα με εγκάρσιο συρματόσχοινο ανά 1m).



Εικόνα 24: Αστοχία του πρανούς σε άμεση γειτνίαση με τον Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής. Διακρίνονται τα συρματόσχοινα που αστόχησαν και η ανάπτυξη αντίρροπων του πρανούς διακλάσεων που μελλοντικά δύναται να εξελιχθούν σε αστοχίες ανατροπών.

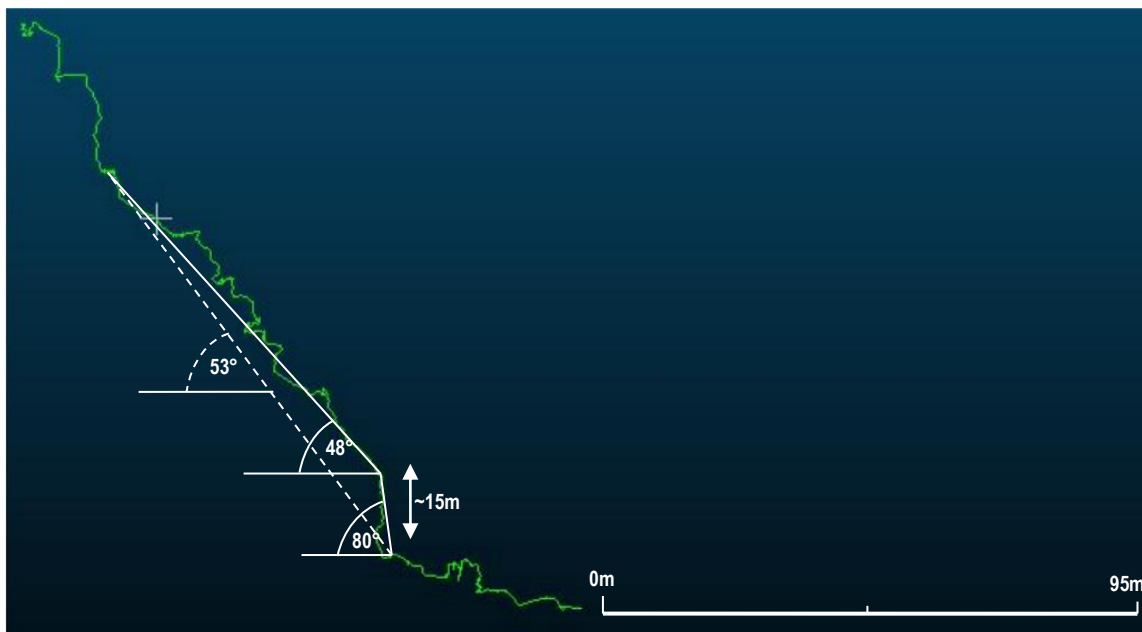
4.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Αν και όπως διαπιστώθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο δεν υφίστανται δυνητικές δομικές αστοχίες των κύριων συστημάτων ασυνεχειών, εντούτοις πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος ευστάθειας του βραχώδους πρανούς, με σκοπό τη σύγκριση των αποτελεσμάτων. Για τον έλεγχο της ευστάθειας του φυσικού βραχώδους πρανούς, δεδομένης της φύσεως και των γεωτεχνικών παραμέτρων διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών της

βραχώμαζας, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με χρήση των προγραμμάτων H/Y RocPlane, Swedge και RocTopple της εταιρείας Rocscience, τα οποία αποτελούν εξειδικευμένα λογισμικά για τη μελέτη ευστάθειας βραχωδών πρανών.

Κατά τις ανωτέρω αναλύσεις λήφθηκαν υπόψη:

1. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι παράμετροι διατμητικής αντοχής (c , ϕ) των ασυνεχειών, όπως αυτές αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σημειώνεται ότι η τιμή της συνοχής c επιλέχθηκε συντηρητικά ίση με 0kPa.
2. Η μέση κλίση και διεύθυνση κλίσεως του βραχώδους πρανούς, σύμφωνα με το νέφος σημείων που δημιουργήθηκε από τη λήψη φωτογραφιών με μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV).
3. Η κλίση και η διεύθυνση κλίσεως του φυσικού αναγλύφου ανάντη της στέψης του βραχώδους πρανούς.
4. Η γεωμετρία του πρανούς στη θέση μέγιστου ύψους του (100m), καθώς επίσης στη θέση εκδήλωσης της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 (ύψους 15m περίπου) αμέσως ανάντη της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής. Οι τομές που εξετάστηκαν για την εξαγωγή των χαρακτηριστικών του πρανούς, λήφθηκαν μέσω του εργαλείου "Cross Section" του προγράμματος CloudCompare, όπως ήδη περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 36: Τομή επί του ασβεστολιθικού πρανούς στη θέση της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021, αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.

Αναφορικά με τον έλεγχο εκδήλωσης αστοχιών υπό μορφή επίπεδης ολίσθησης και σύμφωνα με τους κανόνες χρήσης του προγράμματος RocPlane εξετάστηκε κάθε φορά ένα σύστημα ασυνεχειών. Αντιθέτως στον έλεγχο σφηνοειδών αστοχιών ελέγχθηκε κάθε φορά ο πιθανός συνδυασμός δύο συστημάτων ασυνεχειών, ήτοι έγιναν οι συνδυασμοί B1-J1, B1-J2 και J1-J2. Από το σύνολο των εν λόγω ελέγχων ευστάθειας βραχώδους πρανούς, λαμβάνοντας υπόψη ότι το υψηλό μετωπικό πρανές έχει γεωμετρία $77^\circ/131^\circ$, δεν προέκυψαν δομικές επίπεδες

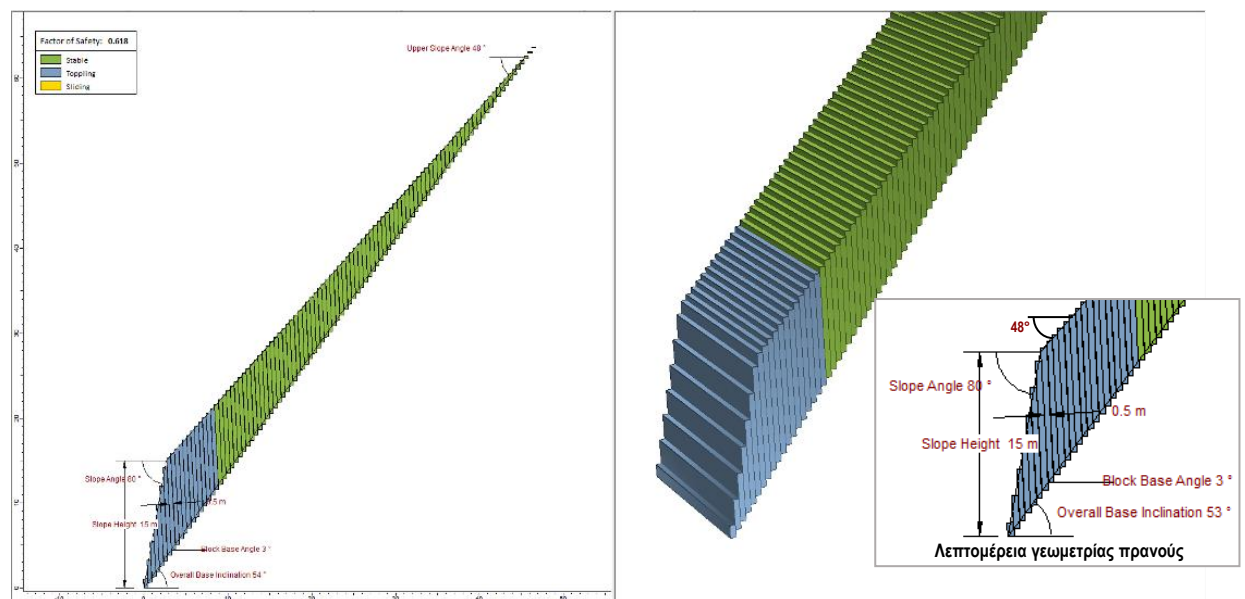
ή σφηνοειδείς αστοχίες της βραχώμαζας όπως δηλαδή διαπιστώθηκε και από τον έλεγχο δυνητικών αστοχιών με το στερεοδιάγραμμα Schmidt.

Λαμβάνοντας υπόψη την τελευταία αστοχία του Οκτωβρίου 2021 στο πρανές πλησίον του ναού της Αγ. Παρασκευής, επαναλήφθηκαν οι έλεγχοι έναντι αστοχιών στο πρανές με τη γεωμετρία (80°/131°) του προηγούμενου σχήματος. Σύμφωνα με τους ελέγχους που έγιναν, ούτε σε αυτή την περίπτωση προέκυψε δομική αστοχία των ασβεστολίθων.

Αντιθέτως, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο αναφορικά με τον έλεγχο δυνητικών αστοχιών ανατροπής (πρόγραμμα H/Y Dips), παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος μεμονωμένων ασυνέχειων που ενσωματώθηκαν στο κύριο σύστημα της ομάδας J2 (J2:88°/154°), δύναται να εκδηλωθούν ανατροπές (toppling).

Ως εκ τούτου πραγματοποιήθηκε ένας επιπλέον έλεγχος έναντι δομικών αστοχιών, της μεμονωμένης ασυνέχειας με χαρακτηριστικά 87°/310°, μορφής ανατροπής με το πρόγραμμα RocTorppe. Κατά τον έλεγχο αυτό η γεωμετρία του πρανούς χαρακτηρίζεται από μετωπικό πρανές ύψους 15m με κλίση περί τις 80°, καθώς επίσης γωνία πρανούς ανάντη της στέψης του μετωπικού πρανούς περί τις 48° και μέση γωνία κλίσης συνολικού πρανούς ίση με 54°. Η απόσταση μεταξύ των διακλάσεων θεωρήθηκε ίση με 0,5m βάσει και των μετρήσεων στο πεδίο, ενώ η γωνία τριβής των ασυνεχειών ίση με $\phi=36^\circ$. Η ανάλυση αφορούσε στατικές συνθήκες χωρίς νερό. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της υπόψη ανάλυσης ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ανατροπής βραχώμαζας ήταν ίσος με 0,618.

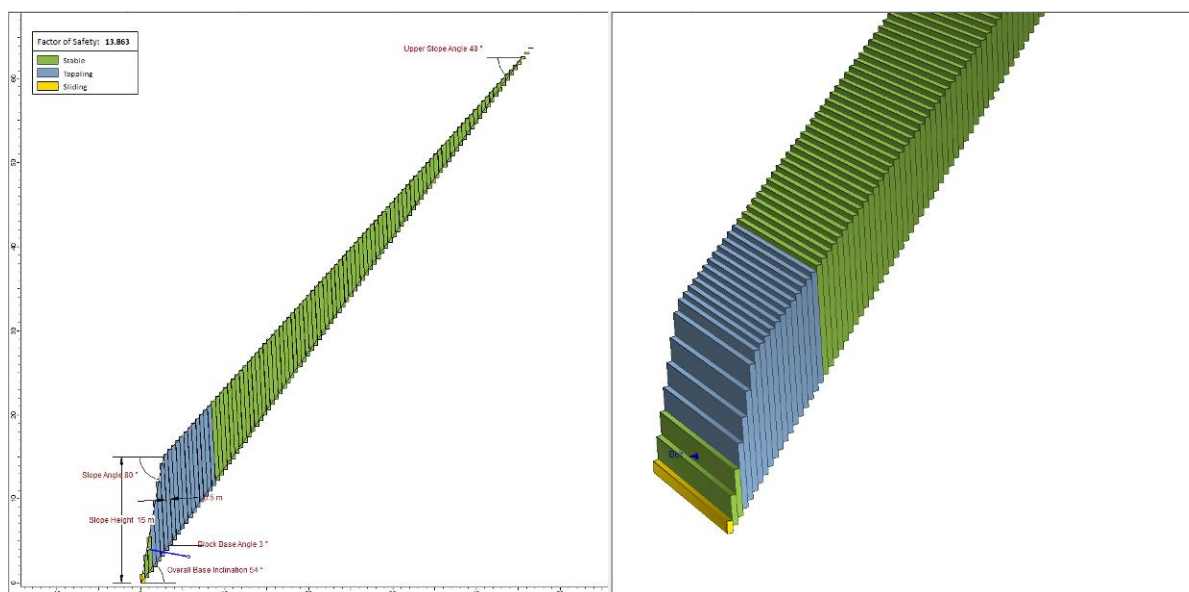
Παρακάτω παρουσιάζεται ο υπόψη έλεγχος έναντι ανατροπής της ασυνέχειας 87°/310°.



Σχήμα 37: Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας (FoS=0,618) έναντι ανατροπής με τη χρήση του προγράμματος ROCTOPPLE, της ασυνέχειας 87°/310° στο πρανές κλίσης 80° και ύψους 15m.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω ανάλυσης, σε συνδυασμό με τα αίτια ανάπτυξης εφλεκυστικών τάσεων που όπως παρατέθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και επιγραμματικά αναφέρεται ότι εξαρτώνται από την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος βλάστησης μεταξύ των ασυνεχειών, την πλήρωση των κενών μεταξύ των ασυνεχειών με νερό λόγω εκδήλωσης έντονων βροχοπτώσεων και τη χαλάρωση της βραχώμαζας λόγω εκδήλωσης σεισμικών δονήσεων, οδηγούν στο συμπέρασμα περί των συνθηκών που οδήγησαν στην αστοχία του πρανούς τον Οκτώβριο του 2021.

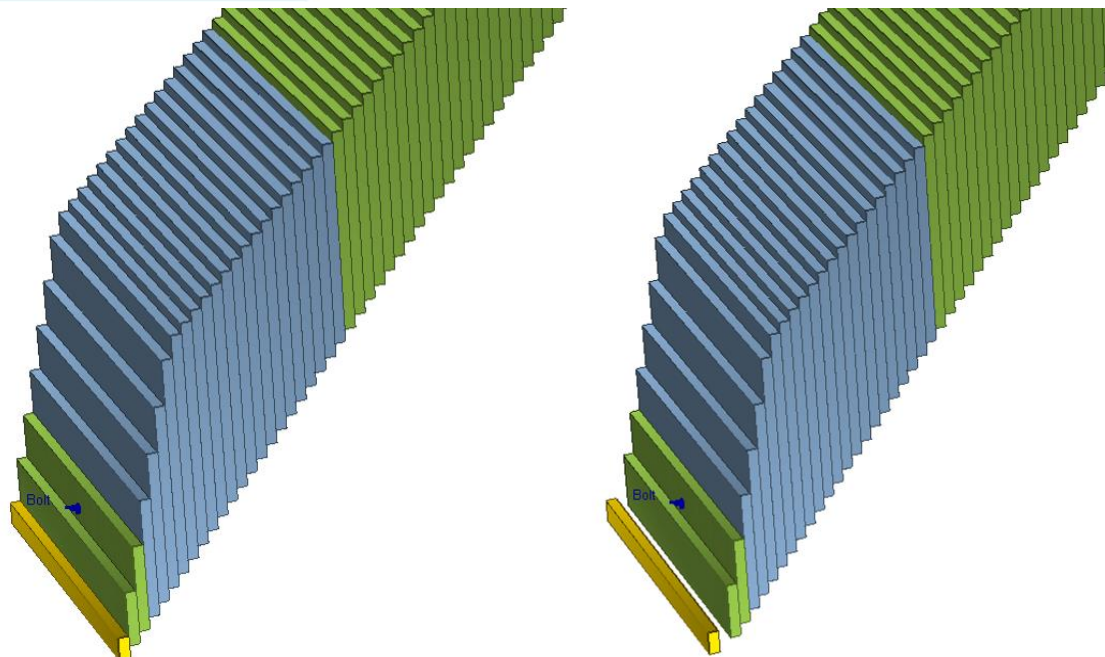
Η διαδικασία της ανατροπής σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία δεν είναι μια απλή διαδικασία, αφού συνήθως αφορά συνδυασμό κινήσεων που σχετίζονται τόσο με ολίσθηση όσο και με την κάμψη της βραχώμαζας. Ενδεικτικά στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται μια επιπλέον ανάλυση έναντι ανατροπής. Στην περίπτωση αυτή που αφορά πρανές και ασυνέχεια με τα ίδια γεωμετρικά χαρακτηριστικά με αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω, εφαρμόζεται μια σειρά αγκυρών ολόσωμης πάκτωσης, φέρουσας ικανότητας 200kN, μήκους 5m, σε απόσταση 4m από το πόδι του πρανούς και με κατωφερική κλίση 10°. Κατά την ανάλυση αυτή όπου ο συντελεστής ασφάλειας είναι πολύ μεγαλύτερος της μονάδας, παρατηρείται ότι η πρώτη (εξωτερική) βραχώδης στήλη (τέμαχος) στο πόδι του πρανούς με κίτρινο χρώμα ολισθαίνει, ενώ οι αμέσως δύο επόμενες πράσινες στήλες είναι σταθερές λόγω της αγκύρωσης τους. Τα δε επόμενα βραχώδη τεμάχια του μετωπικού πρανούς αν και δυνητικά μπορούν να δώσουν αστοχία τύπου ανατροπής, δεν μετακινούνται λόγω της παρουσίας των σταθερών αγκυρωμένων βραχωδών τεμαχίων.



Σχήμα 38: Προσδιορισμός συντελεστή ασφαλείας (FoS=13,863) έναντι ανατροπής με τη χρήση του προγράμματος ROCTOPPLE, της ασυνέχειας 87°/310° στο πρανές κλίσης 80°, ύψους 15m, μετά την εφαρμογή πεντάμετρων αγκυρών φέρουσας ικανότητας 200kN .

Η διαδικασία αυτή, ήτοι η ολίσθηση των βραχωδών τεμαχίων στο πόδι του πρανούς, διευκολύνει την εκδήλωση ανατροπής των ανάντη βραχωδών στηλών που χάνουν την στήριξη τους και διευκολύνουν την ανάπτυξη εφλεκυστικών δυνάμεων ανατροπής. Η ολίσθηση της βραχώδους στήλης στο πόδι τους πρανούς εκδηλώνεται

συνήθως λόγω διάτμησης της. Η αστοχία της διατμημένης βραχώδους στήλης έχει ως αποτέλεσμα την πτώση μικρού μεγέθους βραχοτεμάχη, σε σχέση με την αστοχία λόγω ανατροπής που είναι μεγαλύτερης κλίμακας.



Σχήμα 39: Η διαδικασία ολίσθησης της διατμημένης βραχώμαζας στο πόδι του πρανούς και το σταμάτημα εξέλιξης της αστοχίας μορφής ανατροπής λόγω αγκύρωσης της βραχώμαζας. Διακρίνονται με κίτρινο χρώμα το βραχώδες τέμαχος που ολισθαίνει λόγω διάτμησης και με πράσινο οι σταθερές λόγω αγκύρωσης βραχώδεις στήλες.

5. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΗΨΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ UAV

Λαμβάνοντας υπόψη το δύσβατο των βραχωδών πρανών ανάντη της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής και όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενα κεφάλαια, πραγματοποιήθηκε η πτήση μη επανδρωμένου αεροχήματος UAV. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δύο πτήσεις για τη λήψη φωτογραφιών (χωρικών δεδομένων) και τη σύνταξη μέσω αυτών, τρισδιάστατου μοντέλου νέφους σημείων (3D point cloud).

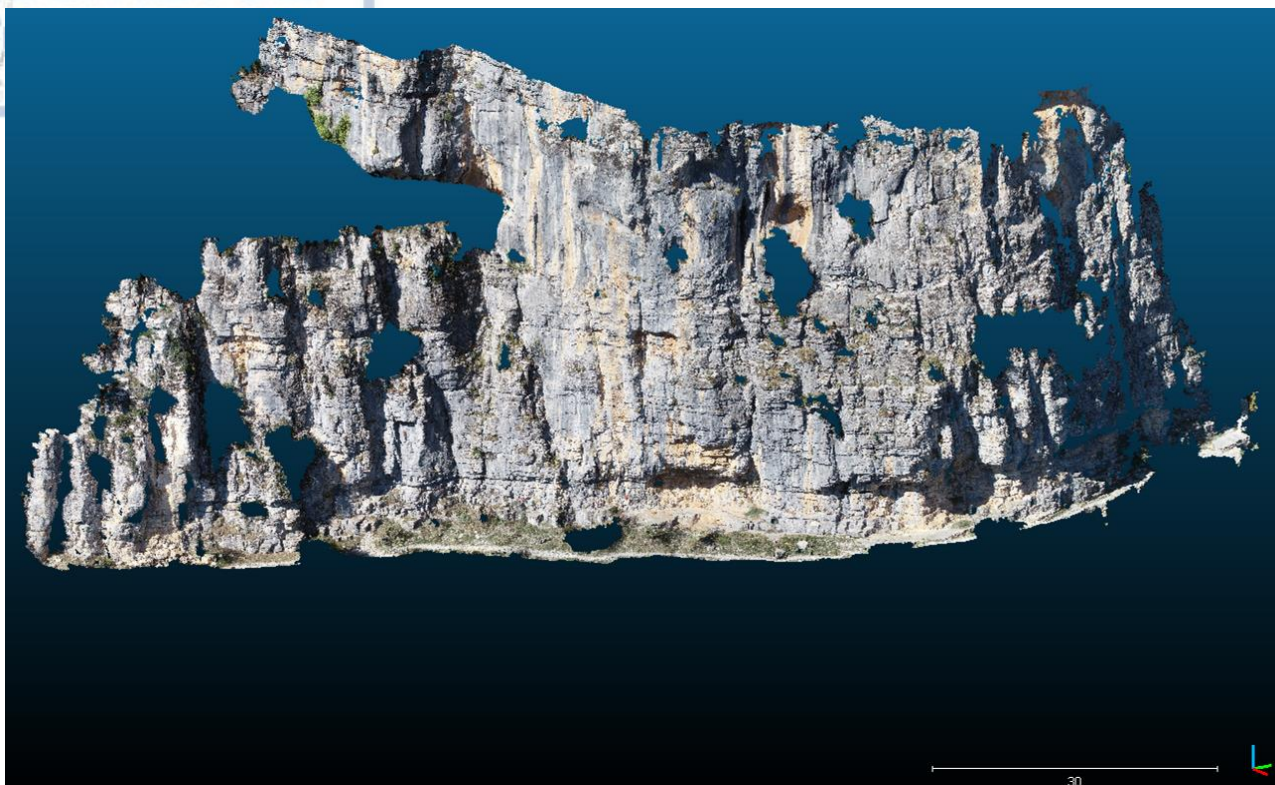
Η πρώτη εξ αυτών αφορούσε το πρανές αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και από τη θέση της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 στα νοτιοδυτικά έως τη φυσική είσοδο του φαράγγιού στα βορειοανατολικά. Το νέφος σημείων, πλέον των επτά εκατομμυρίων σημείων (7.413.887), αφορά τμήμα πρανούς μέγιστου ύψους περί τα 48m και μήκους 115m περίπου.

Η δεύτερη πτήση αφορούσε τη λήψη φωτογραφιών στο σύνολο του πρανούς από την κεντρική καμαρόσχημη εισόδου στην Ιερά Μονή έως μετά τη φυσική είσοδο στο φαράγγι του Βίκου στα Βορειοανατολικά. Το νέφος σημείων, πλέον των δεκαεννιά εκατομμυρίων σημείων (19.047.254), αφορά πρανές μέγιστου ύψους περί τα 120m και μήκους 230m περίπου.

Σε συνέχεια της δημιουργίας των νεφών σημείων, πραγματοποιήθηκε ο καθαρισμός (filtering) αυτών, μέσω της απομάκρυνσης του θορύβου όπως αυτός εκφράζεται κυρίως από την παρουσία βλάστησης επί του πρανούς. Η εν λόγω διαδικασία υλοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού CloudCompare χειροκίνητα. Απαιτεί σημαντική επιμέλεια και χρόνο έτσι ώστε να γίνει η βέλτιστη απομάκρυνση του θορύβου χωρίς την απώλεια σημαντικής πληροφορίας από το νέφος σημείων.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία απομάκρυνσης θορύβου, επιλέχθηκαν προσεχτικά τρεις διακριτές θέσεις για την περαιτέρω επεξεργασία και τη σύνταξη τεκτονικών διαγραμμάτων, ήτοι την εξαγωγή των κύριων ομάδων ασυνεχειών των ασβεστολίθων. Η επιλογή των θέσεων αυτών έγινε με κύριο κριτήριο την καλή διάκριση των επιφανειών ασυνέχειας, δηλαδή την παρουσία επιφανειών με χαμηλό βαθμό αποσάθρωσης και απουσία επιφανειακών φαινομένων καρστικοποίησης, καθώς επίσης την απουσία θορύβου που δεν ήταν εφικτό να απομακρυνθεί όπως είναι η πολύ χαμηλή και αραιή βλάστηση.

Σημειώνεται ότι δεν επιλέχθηκε η επεξεργασία του συνόλου του πρανού ή μεγάλων τμημάτων αυτού, λόγω της φύσης των επικρατουσών γεωλογικών συνθηκών. Οι ασβεστολιθικές επιφάνειες ασυνεχειών (στρώση και διακλάσεις), λόγω του υδροδιαλυτού χαρακτήρα τους παρουσιάζουν συχνά μεταβολή των γεωμετρικών τους χαρακτηριστικών λόγω φαινομένων μικρής ή μέτριας έκτασης επιφανειακά φαινόμενα καρστικοποίησης. Έτσι η επιλογή μικρότερων τμημάτων του πρανού με υγιής έως ελαφρά αποσασθρωμένες βραχώδεις επιφάνειες, για την περαιτέρω επεξεργασία, οδηγούν σε μεγαλύτερης ακρίβειας αποτελέσματα (γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών ασυνέχειας).



Εικόνα 25: Η εικόνα του τρισδιάστατου μοντέλου νέφους σημείων μετά την διαδικασία απομάκρυνσης θορύβου. Το υπόψη πρηνές αφορά την περιοχή μεταξύ της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής στα ΝΔ/κα (αριστερά) και την είσοδο στο φαράγγι του Βίκου στα ΒΔ/κα (δεξιά).

5.1. ΨΗΦΙΑΚΑ ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Η περαιτέρω επεξεργασία των επιλεγμένων τμημάτων νέφους σημείων, με σκοπό τον υπολογισμό των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των κύριων ομάδων ασυνεχειών, υλοποιήθηκε μέσω της χρήσης του λογισμικού Discontinuity Set Extractor (DSE). Πρόκειται για λογισμικό που αναπτύχθηκε από τον Riquelme (2014) για την ημι-αυτοματοποιημένη ανάλυση του νέφους σημείων σε μορφή αρχείου ASCII cloud που εξάγεται από το λογισμικό CloudCompare. Η λειτουργία του DSE βασίζεται στην αναζήτηση των k (στην περίπτωση μας 30) γειτονικών σημείων (nearest neighbors) εκάστου σημείου του νέφους, για δημιουργία συνόλων που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο. Τα καθορισμένα επίπεδα ομαδοποιούνται για την εξαγωγή των κύριων ομάδων ασυνεχειών του εξεταζόμενου τμήματος του πρηνούς, μέσω του υπολογισμού της πυκνότητας των πόλων των επιπέδων που δημιουργήθηκαν και της επιλογής των αντιπροσωπευτικών ομάδων. Οι κύριες ομάδες ασυνεχειών που υπολογίστηκαν με αυτόν τον τρόπο χαρακτηρίζονται από την αυξημένη πυκνότητα πόλων, ενώ αυτές με χαμηλή πυκνότητα απορρίφθηκαν. Η επεξεργασία του νέφους σημείων έχει ως αποτέλεσμα το χρωματισμό των σημείων αυτών αναλόγως των επιπέδων που δημιουργήθηκαν και την κύρια ομάδα ασυνεχειών που αυτά ανήκουν.

Σημαντικό κριτήριο για την επιλογή των τμημάτων του αρχικού πρηνούς, ήτοι των υποσυνόλων του αρχικού νέφους σημείων, τα οποία επεξεργάστηκαν με την παραπάνω διαδικασία ήταν:

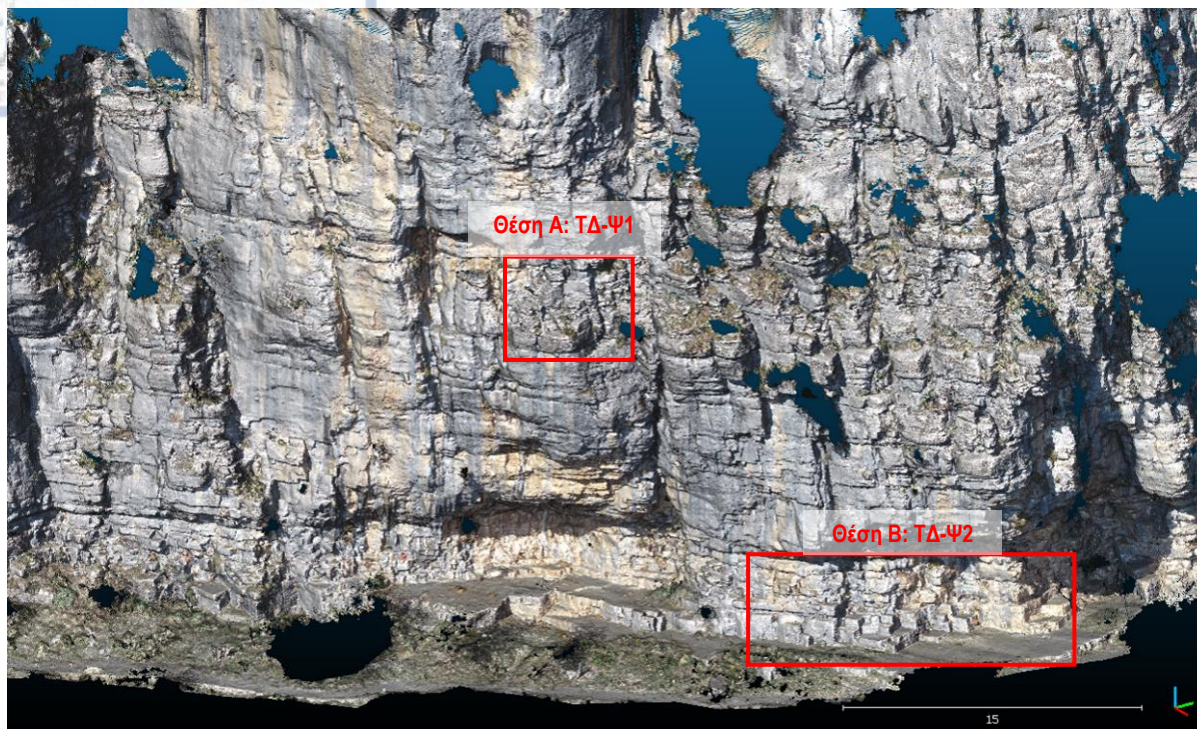
- Η παρουσία μηδενικού ή έστω ελάχιστου δυνατού θορύβου, όπως είναι η αραιή χαμηλή βλάστηση που δεν είναι δυνατόν να αφαιρεθεί στο σύνολο της,
- Η περιορισμένη παρουσία σκιασμένων τμημάτων πρανούς (έλλειψη σημείων νέφους) κατά τη λήψη των φωτογραφιών από το UAV,
- Η παρουσία καλοδιατηρημένων επιφανειών ασυνέχειας και άρα η επιλογή τμημάτων πρανούς που χαρακτηρίζονται από τον μειωμένο βαθμό αποσάθρωσης, καθώς επίσης την απουσία ανακρυσταλλωμένου ασβεστιτικού υλικού που μεταφέρθηκε από τα ανάντη λόγω της διάλυσης των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό ή άλλων επιφανειακών καρστικών δομών (έγκοιλα, δακτυλογλυφές κτλ).

Επιπλέον των παραπάνω κριτηρίων για την επιλογή των θέσεων σύνταξης ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων, διαπιστώθηκε ότι η επεξεργασία για την ημιαυτόματη εξαγωγή των κύριων ομάδων ασυνεχειών μέσω του προγράμματος DSE, απαιτεί σημαντική εμπειρία. Η τρισδιάστατη παρατήρηση και η δυνατότητα περιστροφής του νέφους σημείων στο λογισμικό CloudCompare, σε συνδυασμό με την παρατήρηση των κύριων ομάδων ασυνεχειών με συγκεκριμένο χρωματικό δείκτη στο λογισμικό DSE, αποτελεί σημαντική διαδικασία για την τελική εξαγωγή των κύριων ομάδων ασυνεχειών του πρανούς.

Η πρώτη (Α) από τις τρεις θέσεις υπολογισμού των επικρατουσών κύριων ομάδων ασυνεχειών, τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα του πρανούς μεταξύ της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 (ανάντη Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής) και της εισόδου του φαραγγιού, σε ύψος 16-20m από το πόδι του πρανούς και εμβαδού 16m² (4m x 4m) περίπου. Η δεύτερη (Β) θέση τοποθετείται πλησίον της εισόδου του φαραγγιού. Το υπόψη υποτμήμα πρανούς (νέφους σημείων) είχε ύψος 4,5m περίπου και μήκος 16m (εμβαδού 72m²).

Η Τρίτη (Γ) θέση επεξεργασίας νέφους σημείων επιλέχθηκε από το πρανές που βρίσκεται σε απόσταση περί τα 100m νοτιοδυτικά από τον Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής, ήτοι στο πρανές ανάντη της κεντρικής καμαρόσχημης μορφή εισόδου στην Ιερά Μονή. Το υπόψη υποτμήμα πρανούς (νέφους σημείων) είχε ύψος πλέον των 2m και μήκος 17,5m περίπου (εμβαδού ~35m²).

Σημειώνεται ότι σε καμία από τις παραπάνω εξεταζόμενες θέσεις, δεν είχε πραγματοποιηθεί λήψη μετρήσεων ασυνεχειών με συμβατικό τρόπο (πυξίδα), λόγω επικινδυνότητας και αδυναμίας προσέγγισης των θέσεων.



Εικόνα 26: Θέσεις εξεταζόμενων υποτμημάτων νέφους σημείων, για τον υπολογισμό επικρατούσων κύριων ομάδων ασυνεχειών με μη συμβατική μέθοδο, στις θέσεις Α και Β.



Εικόνα 27: Γενική άποψη ολικού πρανούς Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής. Διακρίνεται η θέση Γ σύνταξης του ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3.

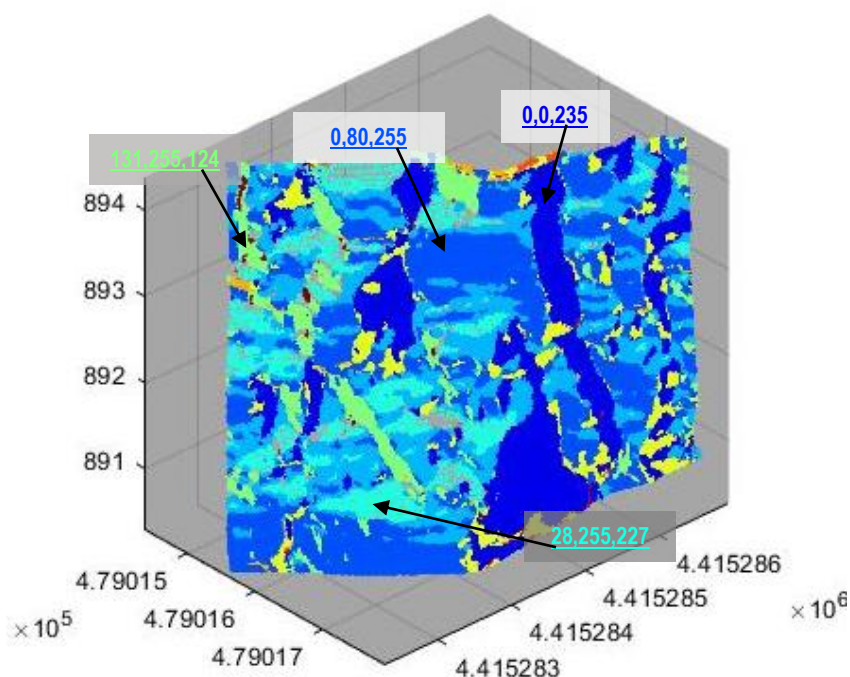
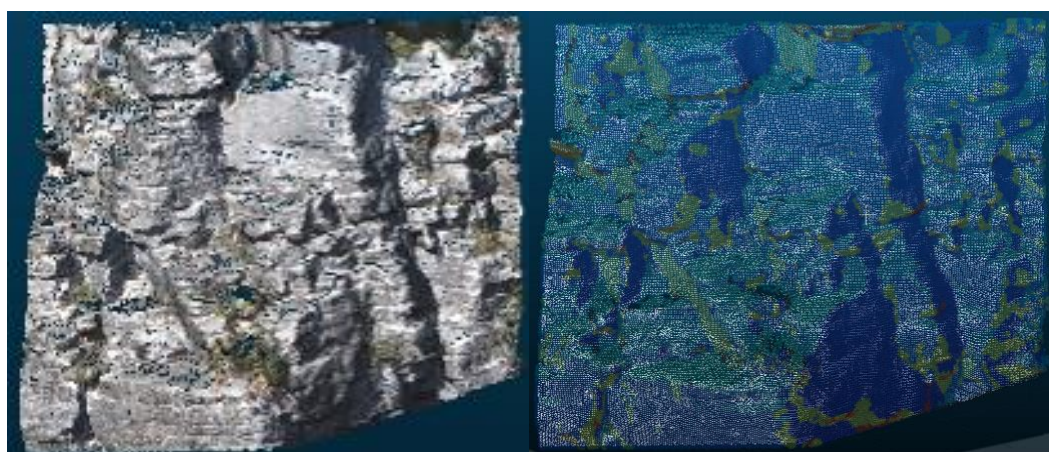
Ψηφιακό Τεκτονικό Διάγραμμα - Θέση Α.

Στη θέση Α συντάχθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού DSE ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα αποτελούμενο από τρία (3) κύρια συστήματα ασυνεχειών. Το ένα εξ αυτών αφορά τα επίπεδα στρώσης B1, ενώ τα υπόλοιπα δύο συστήματα διακλάσεων J1 και J2. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση & διεύθυνση κλίσης) των κύριων επιπέδων ασυνεχειών της υπόψη περιοχής παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα και την εικόνα.

Πίνακας 8: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ1.

A/A	Κύρια Επίπεδα	Κλίση / Διεύθυνση κλίσης
1	B1 Στρώση	23°/144°
2	J1 Διάκλαση	77°/081°
3	J2 Διάκλαση	86°/150°

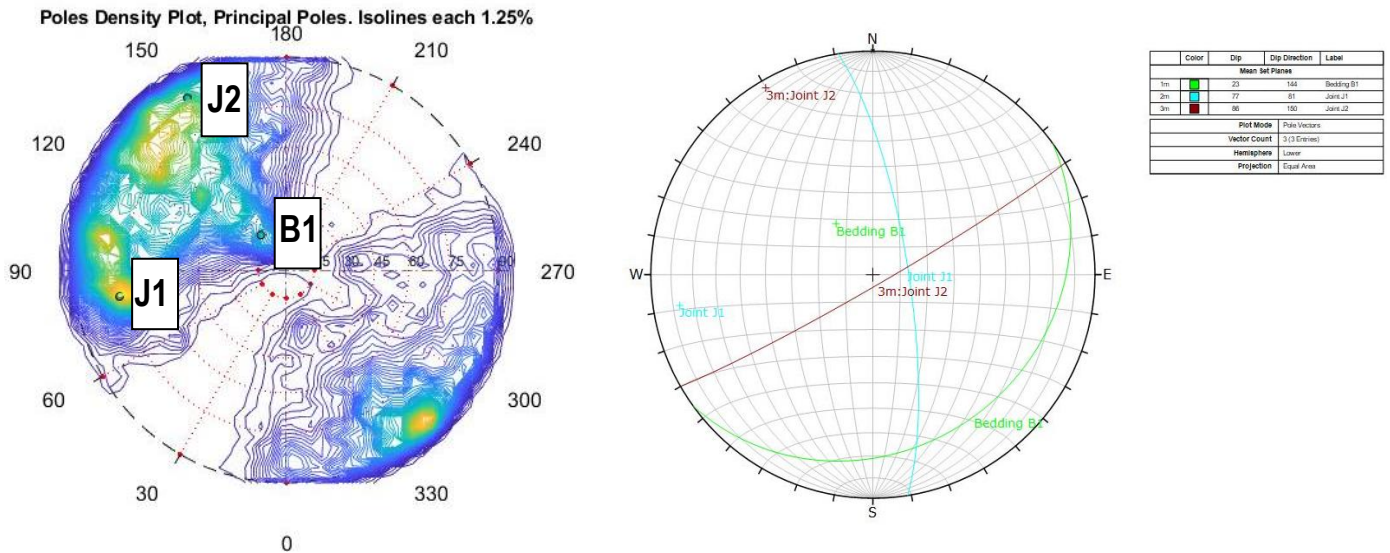
Σημειώνεται ότι, στα επίπεδα των διακλάσεων J2, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχετικό τεκτονικό διάγραμμα, ανήκουν επίπεδα με σχεδόν κατακόρυφη γωνία κλίσης και διεύθυνση κλίσης που κυμαίνεται είτε προς τα νοτιοανατολικά είτε προς τα βορειοδυτικά.



Σχήμα 40: Θέση Α, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ1.

Στην περίπτωση του ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ1, όπως παρατηρείται στο προηγούμενο σχήμα, υφίστανται πλέον των τριών χρωματικών δεικτών. Οι κύριες ομάδες ασυνεχειών του προηγούμενου πίνακα παρουσιάζονται με χρωματικό δείκτη RGB 28,255,227 (γαλάζιο) που αφορά στα επίπεδα της στρώσης B1 (23°/144°), με τον χρωματικό δείκτη RGB 0,0,235 (σκούρο μπλε) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων

J1 ($77^{\circ}/081^{\circ}$) και τέλος με τον χρωματικό δείκτη RGB 0,80,255 (μπλε) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων J2 ($86^{\circ}/150^{\circ}$). Σημειώνεται ότι, οι διακλάσεις με χρωματικό δείκτη RGB 131,255,124 (τιρκουάζ) ανήκουν επίσης στην ομάδα των διακλάσεων J2 αλλά διαφοροποιούνται σε σχέση με τον προηγούμενο χρωματικό δείκτη ως προς τη διεύθυνση κλίσης η οποία είναι προς τα ΒΒΔ ($\sim 320^{\circ}$).



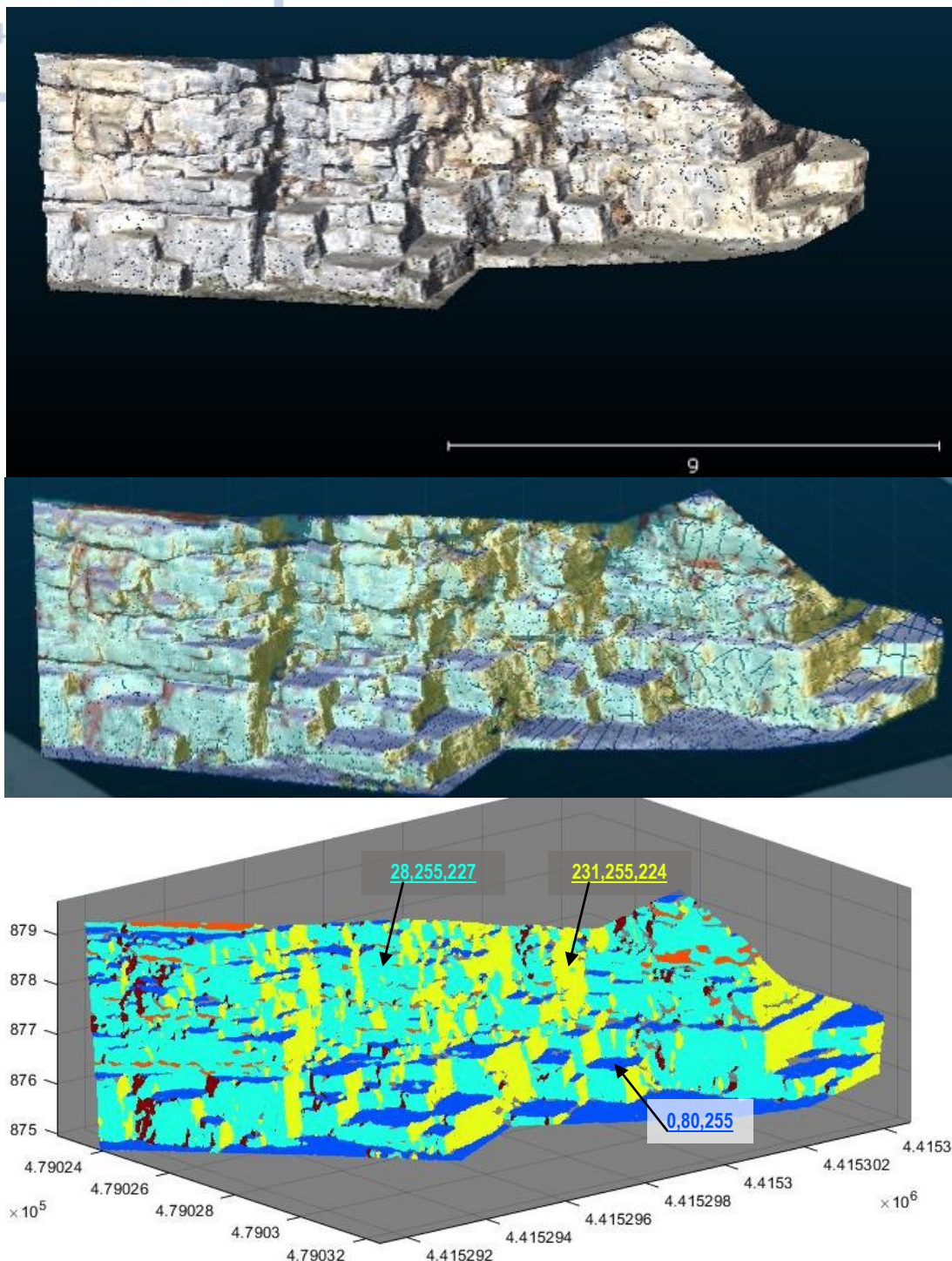
Σχήμα 41: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-Ψ1.

Ψηφιακό Τεκτονικό Διάγραμμα - Θέση Β.

Στη θέση Β συντάχθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού DSE ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα αποτελούμενο από τρία (3) κύρια συστήματα ασυνεχειών. Το ένα εξ αυτών αφορά τα επίπεδα στρώσης B1, ενώ τα υπόλοιπα δύο συστήματα διακλάσεων J1 και J2. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση & διεύθυνση κλίσης) των κύριων επιπέδων ασυνεχειών της υπόψη περιοχής παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα και την εικόνα.

Πίνακας 9: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ2.

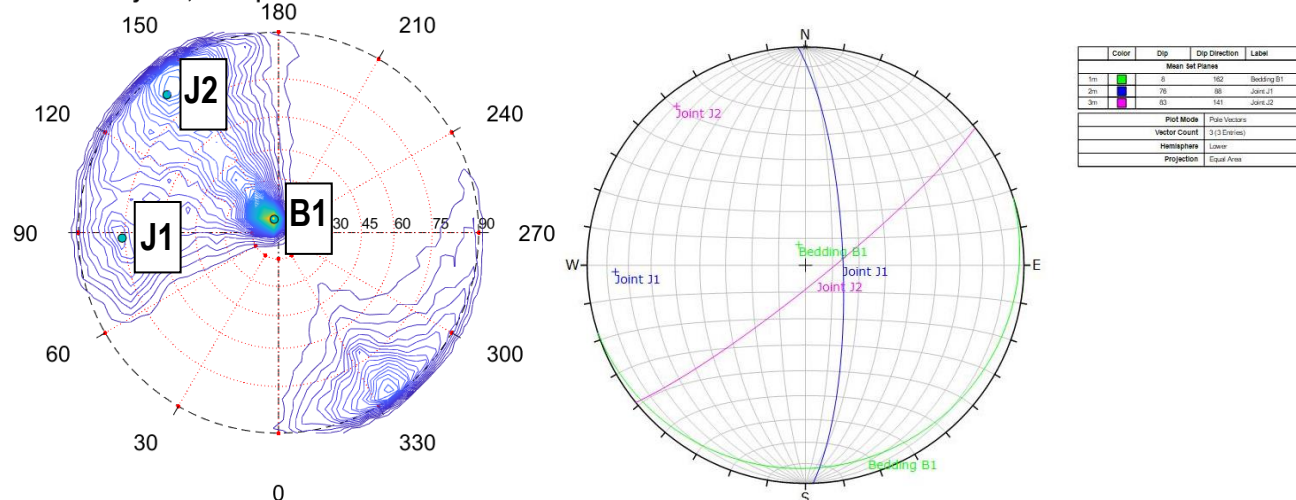
A/A	Κύρια Επίπεδα	Κλίση / Διεύθυνση κλίσης
1	B1 Στρώση	$08^{\circ}/162^{\circ}$
2	J1 Διάκλαση	$76^{\circ}/088^{\circ}$
3	J2 Διάκλαση	$83^{\circ}/141^{\circ}$



Σχήμα 42: Θέση Β, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ2.

Στην περίπτωση του ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ2, όπως παρατηρείται στο προηγούμενο σχήμα, υφίστανται πλέον των τριών χρωματικών δεικτών. Οι κύριες ομάδες ασυνεχειών του προηγούμενου πίνακα παρουσιάζονται με χρωματικό δείκτη RGB 0,80,255 (μπλε) που αφορά στα επίπεδα της στρώσης Β1 ($8^{\circ}/162^{\circ}$), με τον χρωματικό δείκτη RGB 231,255,224 (κίτρινο) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων J1 ($76^{\circ}/088^{\circ}$) και με τον χρωματικό δείκτη RGB 28,255,227 (πικροκίτρινο) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων J2 ($83^{\circ}/141^{\circ}$).

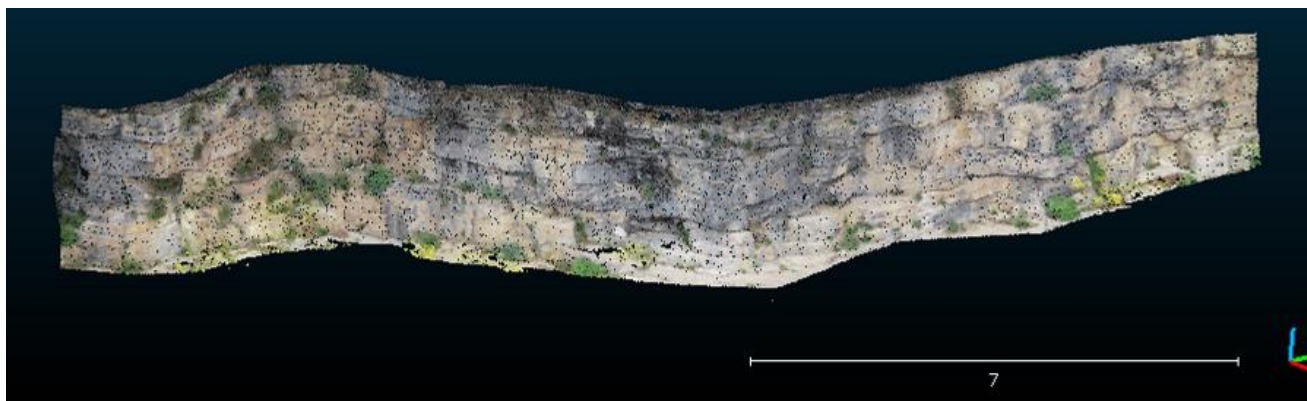
Poles Density Plot, Principal Poles. Isolines each 1.25%



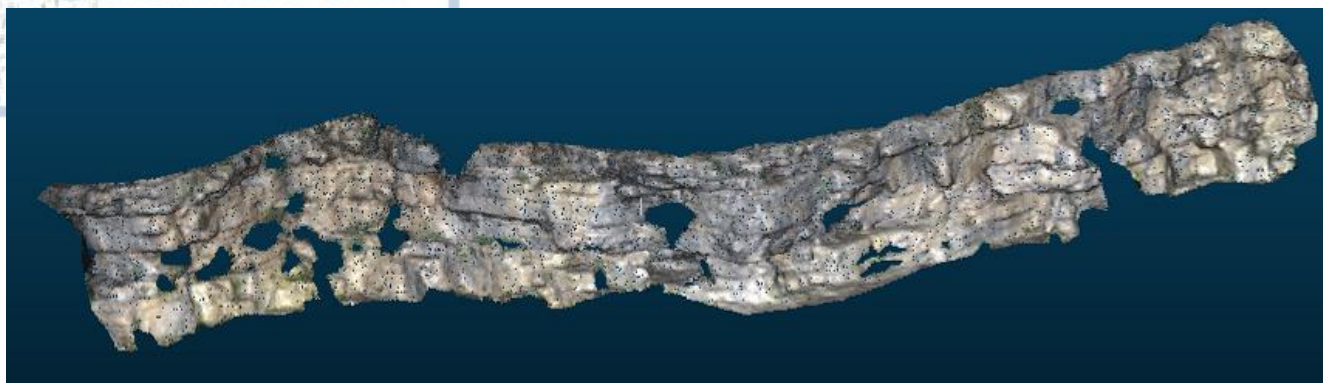
Σχήμα 43: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-Ψ2.

Ψηφιακό Τεκτονικό Διάγραμμα - Θέση Γ.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η υπόψη θέση βρίσκεται περί τα 100m νοτιοδυτικά του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και πλησίον της κυρίας καμαρόσχημης εισόδου στην ευρύτερη περιοχή της Ιεράς Μονής. Για τις ανάγκες σύνταξης του τεκτονικού διαγράμματος πραγματοποιήθηκε αρχικά ο καθαρισμός του υποτμήματος νέφους σημείων από το θόρυβο (βλάστηση κτλ), μέσω του λογισμικού CloudCompare. Εν συνεχεία το νέφος σημείων επεξεργάστηκε περαιτέρω για τη σύνταξη του ψηφιακού μοντέλου ΤΔ-Ψ3, μέσω του λογισμικού DSE.



Εικόνα 28: Υποτμήμα πρανούς (νέφους σημείων) πλησίον καμαρόσχημης εισόδου Ι.Μ., πριν την αφαίρεση του θορύβου.

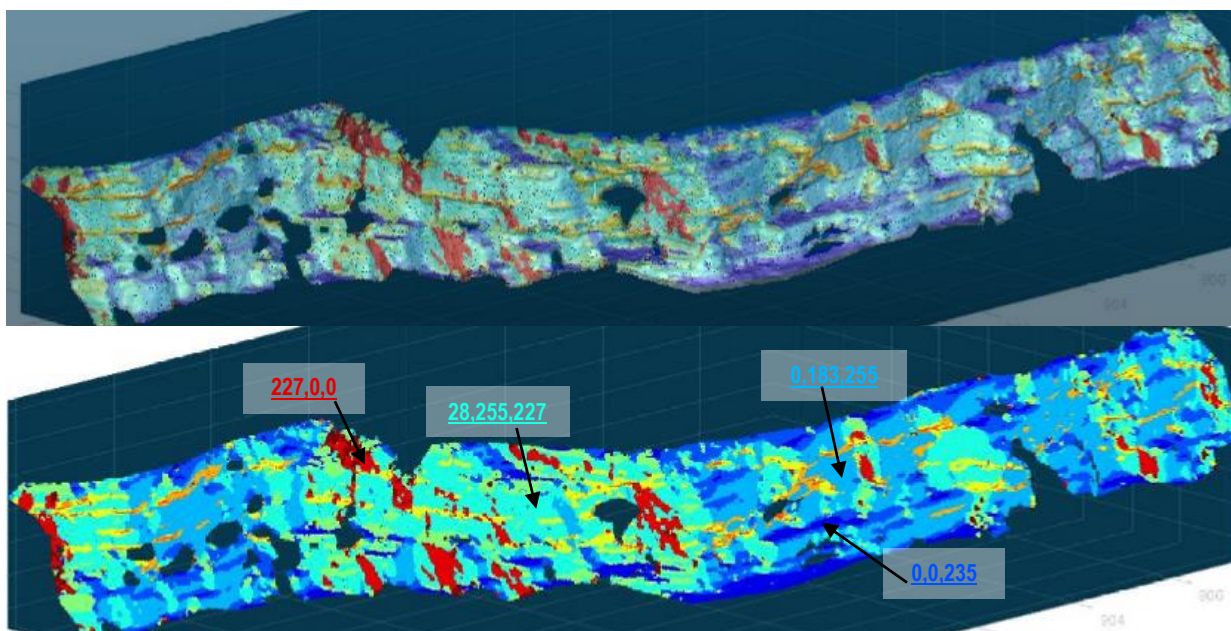


Εικόνα 29: Υπομήμα πρανούς (νέφους σημείων) πλησίον καμαρόσχημης εισόδου Ι.Μ. για τη σύνταξη του ψηφιακού ΤΔ-Ψ3, μετά την αφαίρεση του θορύβου με τη βοήθεια του λογισμικού CloudCompare.

Σύμφωνα με την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό DSE, διαπιστώθηκε η παρουσία τριών (3) κύριων ομάδων ασυνεχειών. Αυτές αφορούσαν τα επίπεδα της στρώσης των ασβεστολίθων, καθώς επίσης δύο ομάδες διακλάσεων. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά (κλίση & διεύθυνση κλίσης) των κύριων επιπέδων ασυνεχειών της υπόψη περιοχής παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακα και εικόνες.

Πίνακας 10: Κύρια επίπεδα ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3.

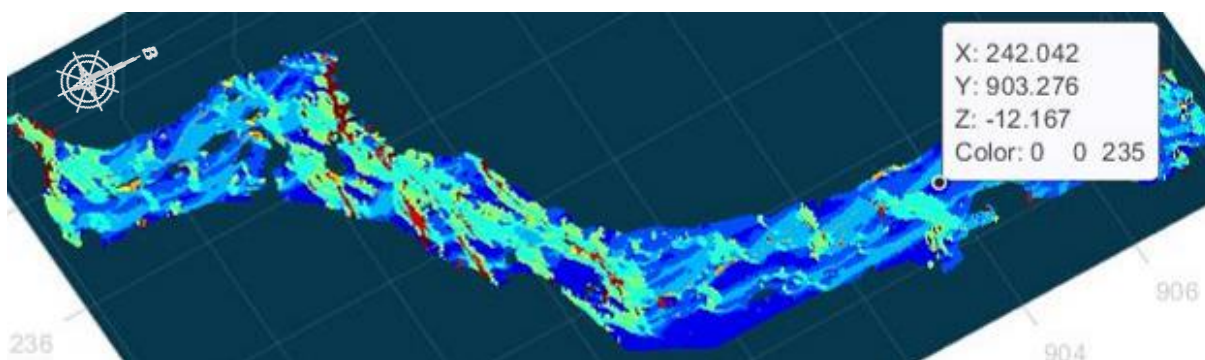
Α/Α	Κύρια Επίπεδα	Κλίση / Διεύθυνση κλίσης
1	B1 Στρώση	08°/135°
2	J1 Διάκλαση	85°/093°
3	J2 Διάκλαση	88°/148°



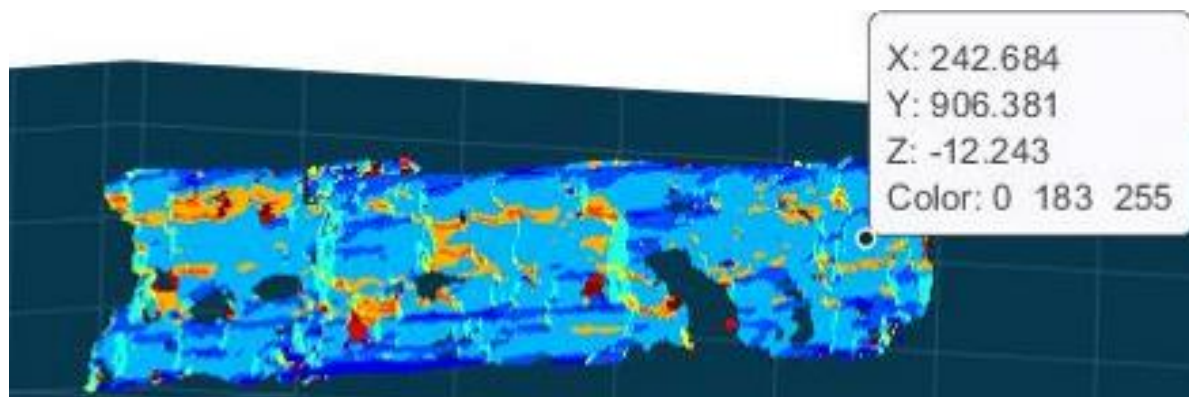
Σχήμα 44: Θέση Γ, ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3.

Στην περίπτωση του τρίτου ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος παρουσιάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η διαδικασία επεξεργασίας και υπολογισμού των κύριων ομάδων ασυνεχειών. Έτσι, όπως παρατηρείται στο προηγούμενο σχήμα του ΤΔ-Ψ3, υφίστανται πλέον των τριών χρωματικών δεικτών. Οι κύριες ομάδες ασυνεχειών του προηγούμενου πίνακα παρουσιάζονται με χρωματικό δείκτη RGB 0,0,235 (σκούρο μπλε) που

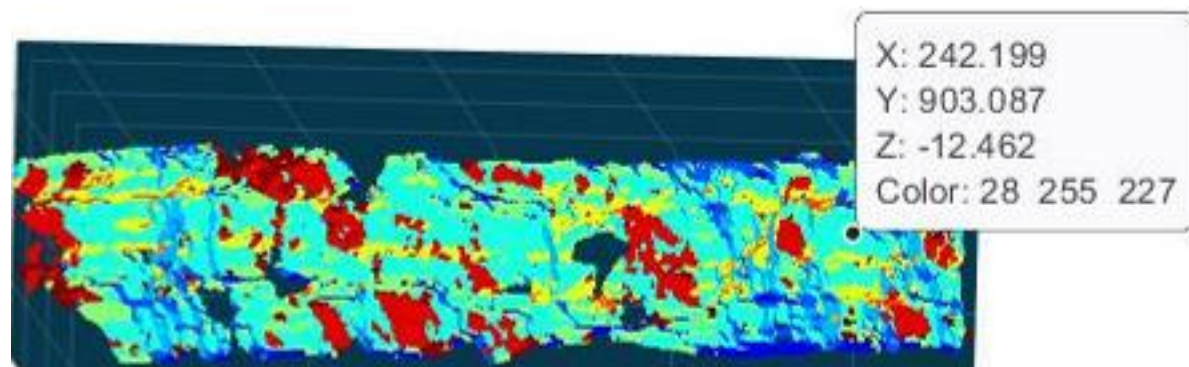
αφορά στα επίπεδα της στρώσης B1 ($08^{\circ}/135^{\circ}$), με τον χρωματικό δείκτη RGB 0,183,255 (γαλάζιο) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων J1 ($85^{\circ}/093^{\circ}$) και τέλος με τον χρωματικό δείκτη RGB 28,255,227 (τιρκουάζ) που αντιστοιχεί στα επίπεδα των διακλάσεων J2 ($88^{\circ}/148^{\circ}$). Όπως διακρίνεται στο παραπάνω σχήμα αλλά και σε αυτά που ακολουθούν, πλέον των προηγούμενων χρωματικών δεικτών που αντιστοιχούν στα τρία κύρια επίπεδα ασυνεχειών, υφίστανται επιπλέον χρωματικοί δείκτες με μικρότερη επιφάνεια κάλυψης επί του πρανούς. Μεταξύ αυτών ο χρωματικός δείκτης RGB 227,0,0 (κόκκινο), αφορά επίπεδα διακλάσεων που ανήκουν στην ομάδα J2, με τη διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή τα επίπεδα έχουν κοινή γωνία κλίσης και παράταξη αλλά αντίρροπη διεύθυνση κλίσης από τα επίπεδα του χρωματικού δείκτη RGB 28,255,227, ήτοι επίπεδα με στοιχεία $88^{\circ}/328^{\circ}$ περίπου.



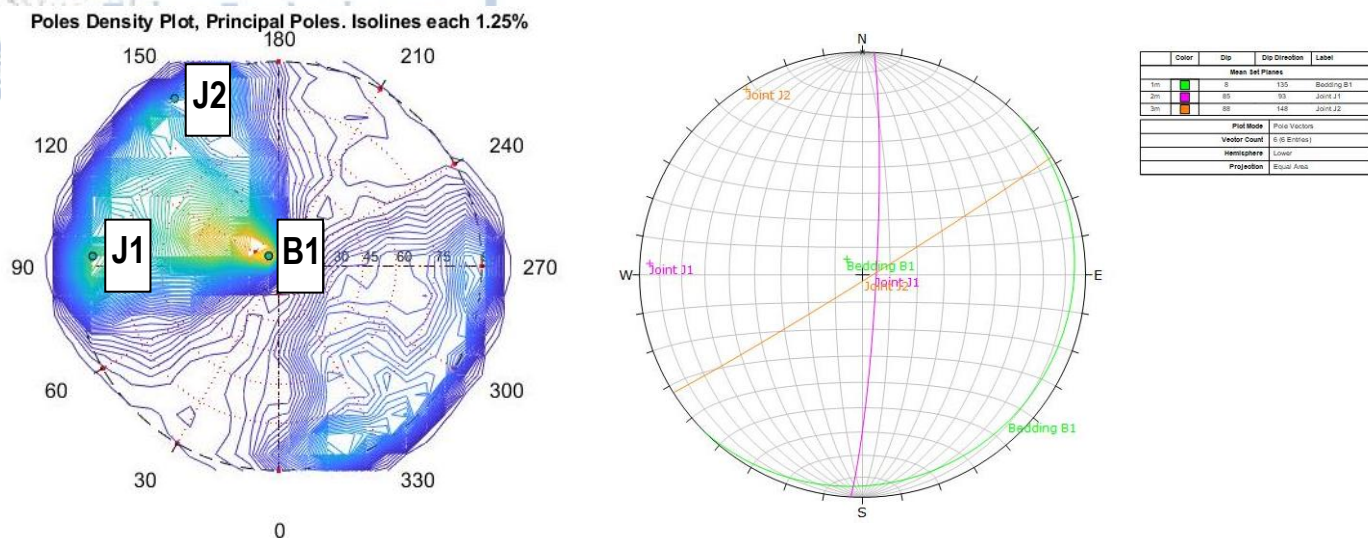
Σχήμα 45: Κάτοψη πρανούς σύνταξης ΤΔ-Ψ3, στην οποία διακρίνονται τα επίπεδα στρώσης B1: $08^{\circ}/135^{\circ}$ (RGB:0,0,235).



Σχήμα 46: Όψη πρανούς σύνταξης ΤΔ-Ψ3, με θέα προς τα Δ-ΝΔ και την ομάδα διακλάσεων J1: $85^{\circ}/093^{\circ}$ (RGB:0,183,255).



Σχήμα 47: Όψη πρανούς σύνταξης ΤΔ-Ψ3, με θέα προς τα βόρεια και την ομάδα διακλάσεων J2: $88^{\circ}/148^{\circ}$ (RGB: 28,255,227 & 227,0,0).



Σχήμα 48: Ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-Ψ3.

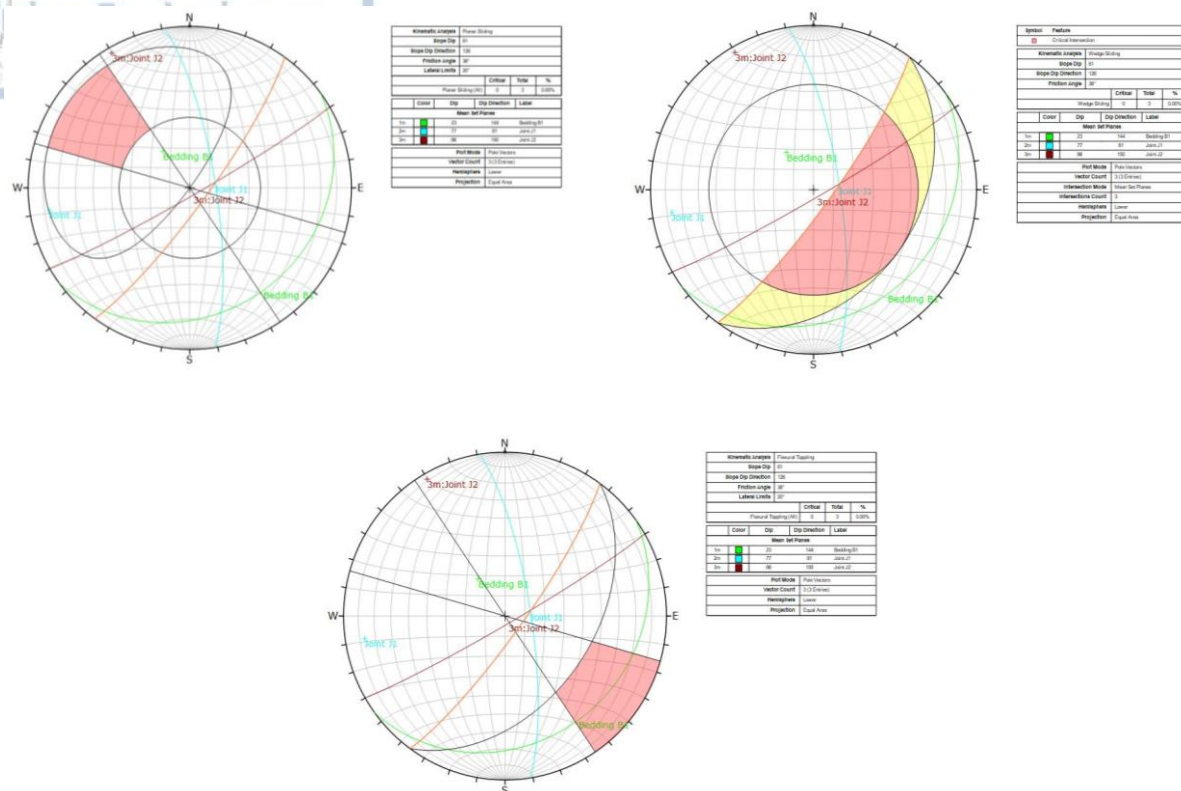
5.2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σε συνέχεια της εξαγωγής των κύριων επιπέδων ασυνεχειών από τρεις διαφορετικές θέσεις του μελετώμενου πρανούς (νέφους σημείων) μέσω της χρήσης του λογισμικού Discontinuity Set Extractor (DSE), διαπιστώθηκε η ταύτιση αυτών με τα κύρια επίπεδα ασυνεχειών του συμβατικού τεκτονικού διαγράμματος (μετρήσεις με χρήση πυξίδας). Στον επόμενο πίνακα δίνονται συγκεντρωτικά οι κύριες ομάδες ασυνεχειών του συμβατικού τεκτονικού διαγράμματος και των τριών ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων.

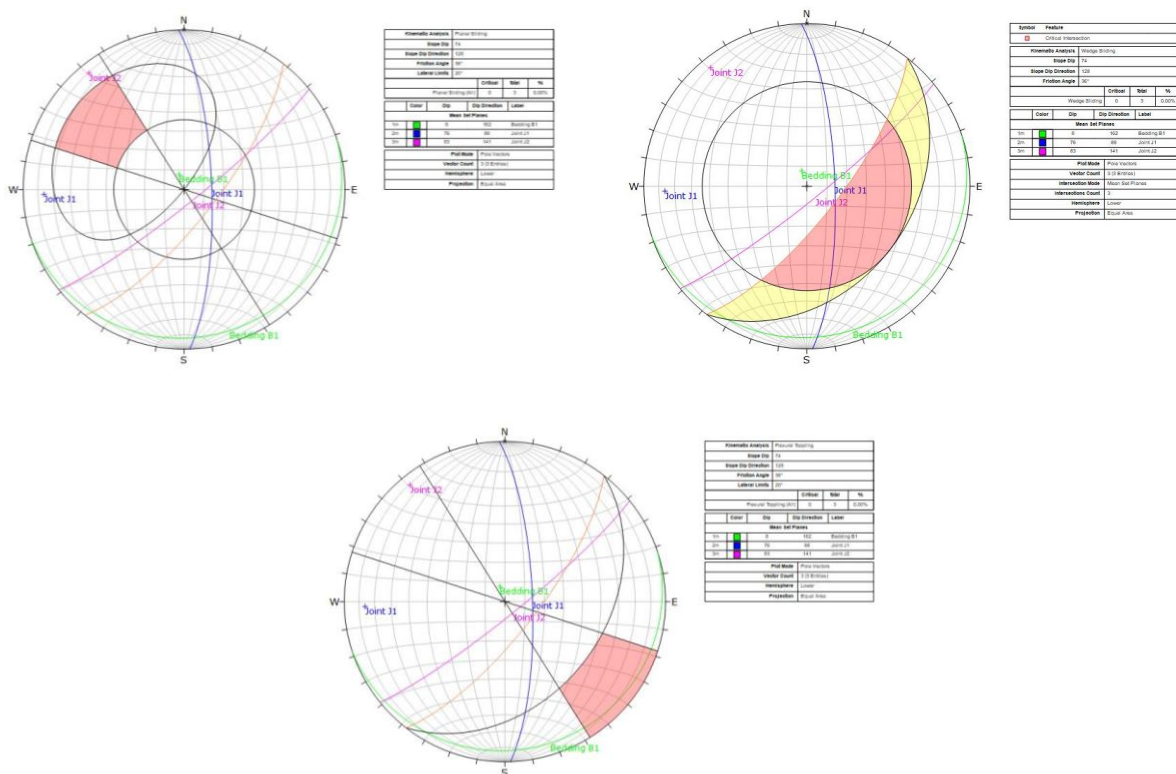
Πίνακας 11: Σύγκριση κύριων επιπέδων ασυνεχειών τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-1 και ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1, ΤΔ-Ψ2 και ΤΔ-Ψ3.

Α/Α	Κύρια Επίπεδα	Κλίση / Διεύθυνση κλίσης			
		ΤΔ-1	ΤΔ-Ψ1	ΤΔ-Ψ2	ΤΔ-Ψ3
1	Στρώση B1	5°/160°	23°/144°	08°/162°	08°/135°
2	Διάκλαση J1	82°/068°	77°/081°	76°/088°	85°/093°
3	Διάκλαση J2	88°/154°	86°/150°	83°/141°	88°/148°

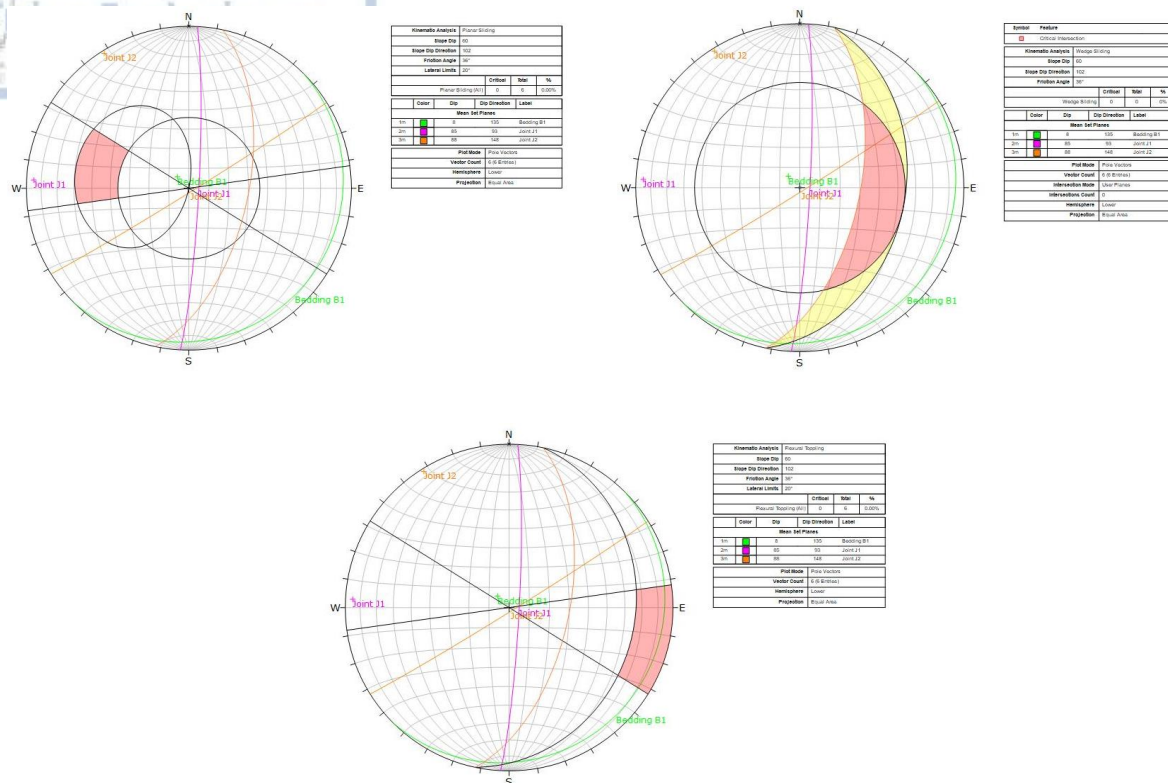
Στην περιοχή των τριών ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων, η γεωμετρία του πρανούς μεταβάλλεται τόσο ανά θέση όσο και κατά μήκος της τομής που διατρέχει τις θέσεις αυτές. Η διεύθυνση κλίσης του πρανούς στη θέση των ΤΔ-Ψ1 και ΤΔ-Ψ2 είναι περίπου 126° και 128° αντίστοιχα, ενώ σε αυτή του ΤΔ-Ψ3 μεταβάλλεται από 102° σε 147°. Η γωνία κλίσης του πρανούς στις θέσεις των ψηφιακών ΤΔ, μεταβάλλεται σημαντικά κατά μήκος των τομών που διατρέχουν το σύνολο του ύψους του πρανούς. Ιδιαίτερα στις θέσεις των τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1 και ΤΔ-Ψ2 η γωνία κλίσης του πρανούς από τη βάση έως ύψους πλέον των 25m είναι 81° και 74° αντίστοιχα. Σε ύψος μεγαλύτερο των 25m η γωνία κλίσης μεταβάλλεται σημαντικά ενώ τοπικά γίνεται κατακόρυφη έως με αντίρροπη διεύθυνση. Τέλος στη θέση του ψηφιακού τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-Ψ3 η γωνία κλίσης είναι περίπου 60°. Με βάσει τα υπόψη γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους πρανούς, στις θέσεις των ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων, πραγματοποιήθηκε έλεγχος έναντι δυνητικών αστοχιών.



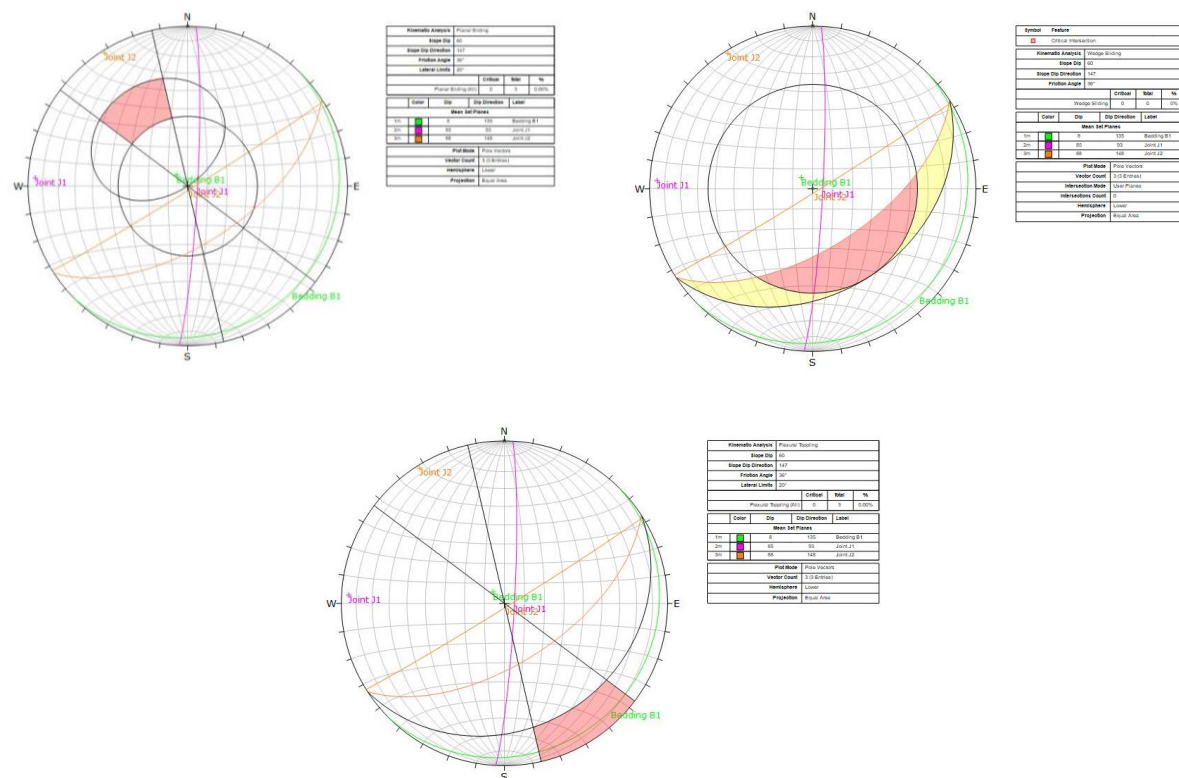
Σχήμα 49: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt ΤΔ-Ψ1, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 81°/126°.



Σχήμα 50: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt ΤΔ-Ψ2, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 74°/128°.



Σχήμα 51: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 60°/102°.

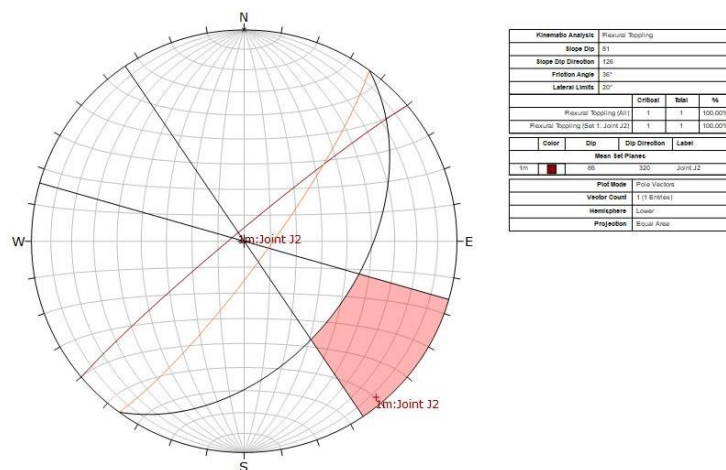


Σχήμα 52: Κινηματική ανάλυση έναντι επίπεδης ολίσθησης, σφηνοειδούς ολίσθησης και ανατροπής στο ψηφιακό στερεοδιάγραμμα Schmidt TΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 60°/147°.

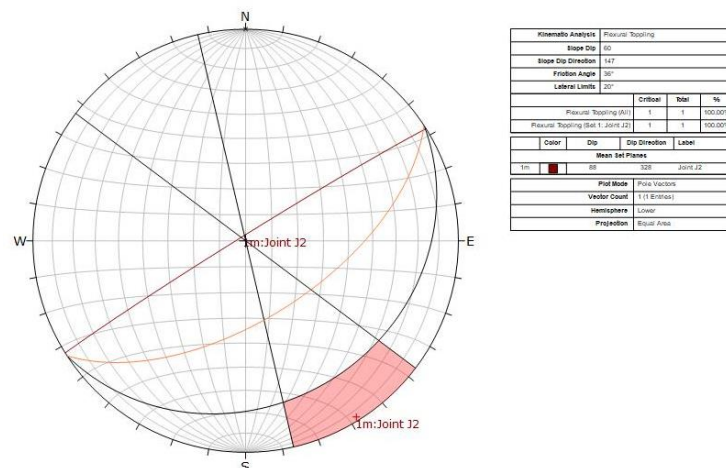
Σύμφωνα με τα ανωτέρω αποτελέσματα ελέγχου δυνητικών ολισθήσεων, διαπιστώθηκε ότι στις θέσεις των ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1, ΤΔ-Ψ2 και ΤΔ-Ψ3 δεν αναπτύσσονται επίπεδες, σφηνοειδείς ή μορφής ανατροπής αστοχίες.

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στην περιοχή αξιολόγησης του ΤΔ-Ψ1 επικρατούν τρεις ομάδες ασυνεχειών. Από αυτές, στην ομάδα των διακλάσεων J2 ανήκουν σχεδόν κατακόρυφα επίπεδα ασυνεχειών με διεύθυνση κλίσης κυρίως προς τα νοτιοανατολικά και δευτερευόντως προς τα βορειοδυτικά (~320°). Διαπιστώνεται λοιπόν ότι οι μεμονωμένες (μικρότερες σε αριθμό) ασυνέχειες της ομάδας J2 με χαρακτηριστικά 86°/320° χαρακτηρίζονται από μεγάλη γωνία κλίσης, σχεδόν παράλληλη παράταξη και αντίρροπη διεύθυνση κλίσης από το επίπεδο του πρσανούς, εκπληρώνουν έτσι τις προϋποθέσεις εκδήλωσης ανατροπών.

Αντίστοιχα για το ψηφιακό τεκτονικό διάγραμμα ΤΔ-Ψ3, υφίστανται επιπλέον τα μεμονωμένα επίπεδα ασυνεχειών με χαρακτηριστικά 88°/328°, τα οποία ανήκουν στην ομάδα κύριων διακλάσεων J2. Τα επίπεδα αυτά παρουσιάζουν επίσης συγκρινόμενα με το επίπεδο του πρσανούς 60°/147°, τη δυνατότητα εκδήλωσης ανατροπών, αφού χαρακτηρίζονται από μεγάλη γωνία κλίσης, παράταξη παρόμοια με αυτή του πρσανούς και διεύθυνση κλίσης αντίρροπη από αυτό.



Σχήμα 53: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής των μεμονωμένων επιπέδων 86°/320° (J2) του ψηφιακού στερεοδιαγράμματος Schmidt ΤΔ-Ψ1, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 81°/126°.

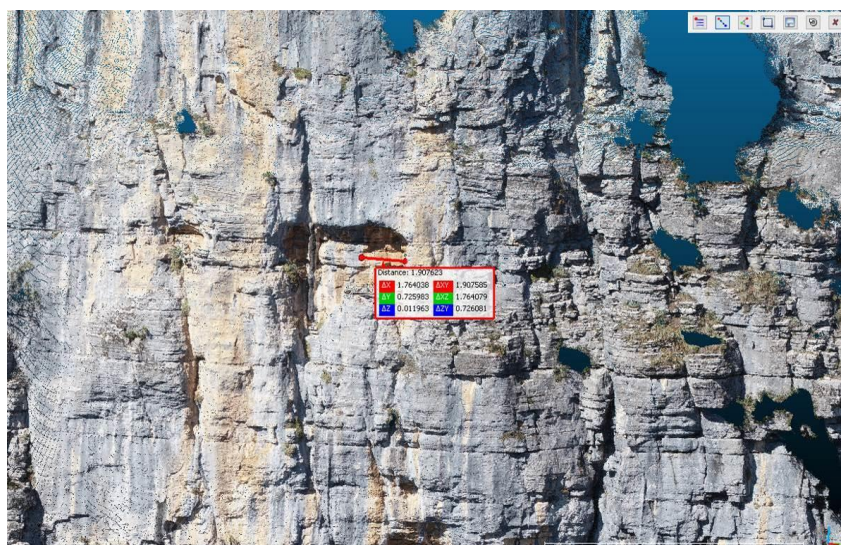


Σχήμα 54: Κινηματική ανάλυση έναντι ανατροπής των μεμονωμένων επιπέδων 88°/328° (J2) του ψηφιακού στερεοδιαγράμματος Schmidt ΤΔ-Ψ3, για γεωμετρία μετωπικού πρσανούς 60°/147°.

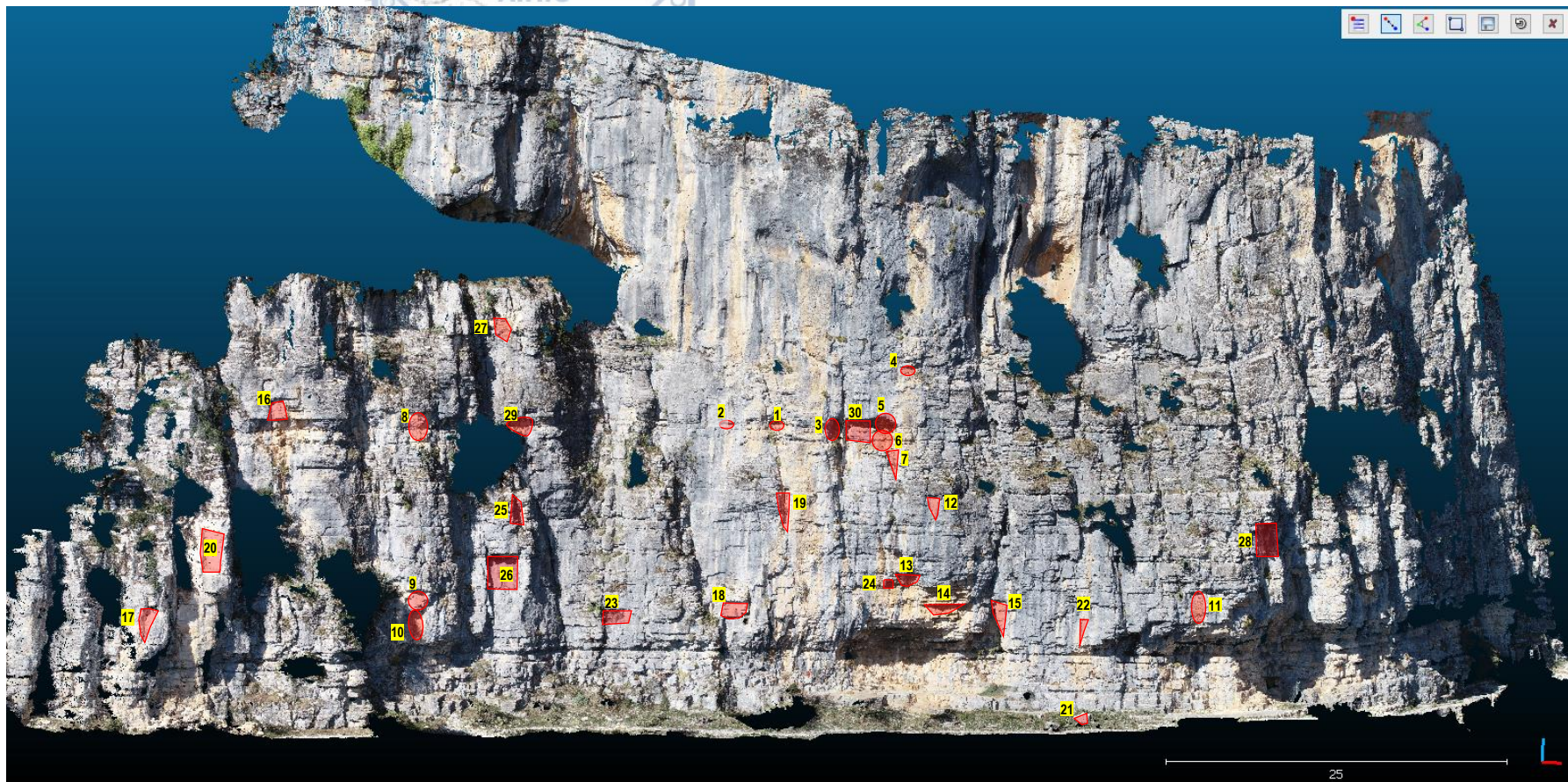
Συμπερασματικά, στην περιοχή σύνταξης των ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1 και ΤΔ-Ψ3 αναπτύσσονται συνθήκες εκδήλωσης αστοχιών ανατροπής μεμονομένων ασυνεχειών, ήτοι υπάρχει ταύτιση με τα αποτελέσματα ελέγχου έναντι δυνητικών αστοχιών που πραγματοποιήθηκε για τα στοιχεία του συμβατικού (μετρήσεις με πυξίδα) τεκτονικού διαγράμματος ΤΔ-1.

5.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΩΝ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΩΝ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Πλέον των δομικών αστοχιών της βραχώμαζας που εξετάστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εκδήλωση αστοχιών με μορφή βραχοκαταπτώσεων αφορά την αποκοπή βραχωδών τεμαχίων από θέσεις σημαντικής υψομετρικής απόστασης από το πόδι του πρηνούς και την πτώση αυτών κυρίως ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση επί της επιφάνειας του πρηνούς. Ένα από τα στοιχεία που συνήθως καταγράφονται κατά την επί τόπου επισκόπηση των τεχνικογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής, είναι το μέγεθος των πεσμένων βραχωδών τεμαχίων. Για την εκτίμηση του όγκου των βραχωδών τεμαχίων που αστόχησαν κατά το παρελθόν λήφθηκαν υπόψη τόσο οι επί τόπου παρατηρήσεις όσο και η επεξεργασία του νέφους σημείων του πρηνούς ανάντη του Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής. Έτσι για το υπόψη πρηνές πραγματοποιήθηκε μέσω των εργαλείων του λογισμικού CloudCompare ο προσδιορισμός των βραχοτεμαχίων που έχουν αστοχήσει κατά το παρελθόν. Από την παρατήρηση του νέφους σημείων δύναται να εντοπιστούν οι θέσεις αποκομμένων τεμαχίων, βάσει των μορφολογικών εξάρσεων και κοιλοτήτων με τοιχώματα παράλληλα στις κύριες ασυνέχειες (στρώσεις και διακλάσεων) των ασβεστολίθων. Τις θέσεις αυτές χαρακτηρίζει η χρωματική διαφοροποίηση του πετρώματος λόγω της παρουσίας των αποσαθρωμένων επιφανειών επί των οποίων εκδηλώθηκε η αστοχία βραχωδών τεμαχίων λόγω μικρής ή σχεδόν μηδενικής διατμητικής αντοχής τους. Στις θέσεις αστοχίας πραγματοποιήθηκε μέτρηση των διαστάσεων των αποκομμένων βραχοτεμαχίων και υπολογίστηκε ο όγκος αυτών. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν τριάντα (30) χαρακτηριστικές θέσεις αποκομμένων βραχοτεμαχίων για τον υπολογισμό των όγκων τους.



Εικόνα 30: Χρήση εργαλείων στο CloudCompare για τη μέτρηση των διαστάσεων αστοχιών βραχοτεμαχίων.



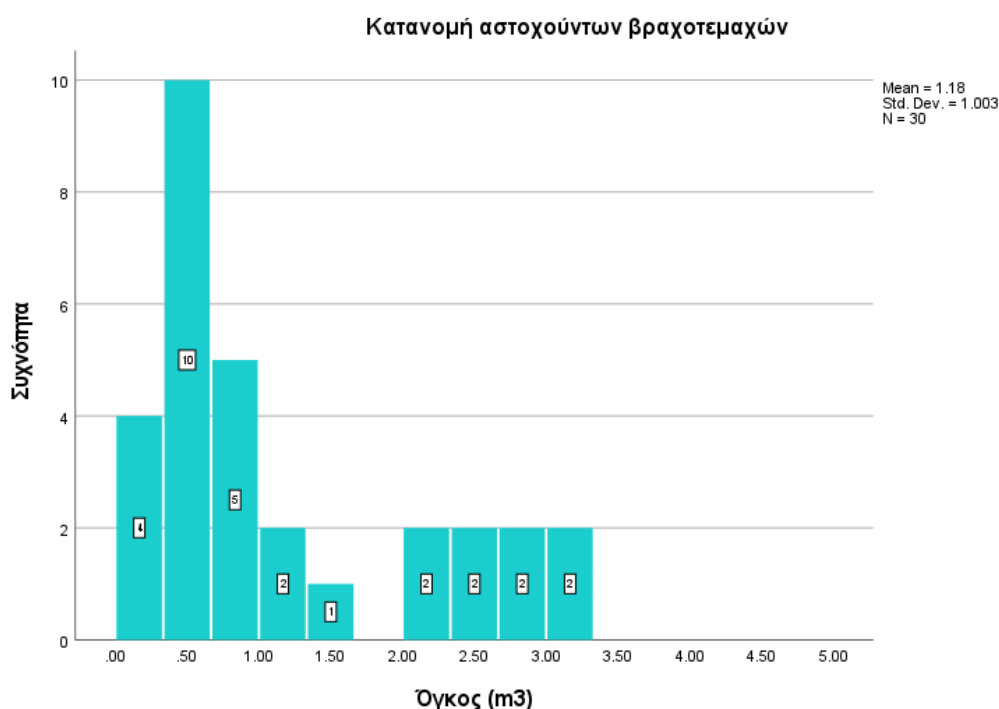
Σχήμα 55: Επιλογή θέσεων μέτρησης όγκων αποκομμένων βραχοτεμαχίων.

Ο όγκος των βραχωδών τεμαχίων, όπως υπολογίστηκε σε κάθε μια από τις προηγούμενες τριάντα (30) θέσεις του νέφους σημείων του μελετώμενου πρανού, δίνεται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 12: Όγκος βραχωδών τεμαχίων που αστόχησαν κατά το παρελθόν από το μελετώμενο πρανές.

A/A	Όγκος V (m ³)	A/A	Όγκος V (m ³)	A/A	Όγκος V (m ³)
1	0,42	11	0,70	21	0,28
2	0,07	12	0,49	22	0,10
3	0,95	13	2,53	23	0,59
4	0,44	14	0,74	24	0,16
5	2,77	15	0,52	25	1,37
6	2,33	16	0,54	26	2,89
7	0,66	17	1,10	27	0,50
8	0,88	18	0,43	28	3,33
9	0,59	19	2,07	29	0,98
10	1,17	20	3,20	30	2,51

Σύμφωνα με τον υπολογισμό του όγκου των βραχωδών τεμαχίων που κατά το παρελθόν είχαν αστοχήσει, διαπιστώνεται ότι αυτός κυμαίνεται από 0,07m³ έως 3,33m³, με μέση τιμή 1,18m³ και τυπική απόκλιση 1,003m³. Συνήθως, όπως φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα κατανομής των όγκων των αστοχιών, τα βραχώδη τεμάχια είχαν όγκο περί τα 0,5-1,0m³ και σπανιότερα ήταν με όγκο μεγαλύτερο των 2m³.



Σχήμα 56: Κατανομή του όγκου των αστοχούντων βραχωδών τεμαχίων από το πρανές ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής.

6. ΕΛΕΓΧΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΒΡΑΧΟΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ

6.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΓΚΟΥ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ

Σύμφωνα με την επιτόπου επισκόπηση των υφιστάμενων αστοχιών, τόσο στο πρηνές αμέσως ανάντη του Ιερού Ναού Αγίας Παρασκευής και έως τη φυσική είσοδο στο φαράγγι του Βίκου προς τα βορειοανατολικά, όσο και στο σύνολο του βραχώδους πρηνούς από την καμαρόσχημη πύλη της ευρύτερης περιοχής της Ιεράς Μονής στα νοτιοδυτικά του Ιερού Ναού, εκδηλώθηκαν κατά το παρελθόν φαινόμενα βραχοκαταπτώσεων. Το μέγεθος των αποκολλημένων ασβεστολιθικών όγκων ποικίλει από θέση σε θέση.

Έτσι, όπως αναφέρθηκε στη σχετική παράγραφο του ιστορικού πρόσφατων βραχοκαταπτώσεων (§3.2.1) οι πεσμένοι όγκοι στην περιοχή της καμαρόσχημης εισόδου ήταν μεγέθους μικρότερου των $0,5\text{m}^3$. Αντιθέτως στη θέση της αστοχίας του Μαρτίου – Απριλίου 2020 όπου καταπλακώθηκαν και εντέλει καταστράφηκαν τα παλαιά κελιά της μονής, το μέγιστο μέγεθος των βραχωδών όγκων υπολογίστηκε ίσο με 1m^3 .



Εικόνα 31: Άποψη της αστοχίας πλησίον της καμαρόσχημης πύλης εισόδου στην Ι. Μ. Αγ. Παρασκευής (στα νοτιοδυτικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης). Οι διαστάσεις του πεσμένου όγκου επί της σκεπής κτιρίου μετρήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού CloudCompare ίσες με $0,3\text{m} \times 0,3\text{m} \times 0,6\text{m}$.

Στο πρηνές που οριοθετείται αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής έως τη φυσική είσοδο στο φαράγγι του Βίκου βορειοανατολικά του ναού, ήτοι την περιοχή άμεσου ενδιαφέροντος της μελέτης, έχουν καταγραφεί σημαντικές αστοχίες. Από αυτές, η νεότερη αστοχία του Οκτωβρίου 2021 αμέσως ανάντη του Ιερού Ναού είχε ως αποτέλεσμα την πτώση βραχοτεμαχών μέγιστου όγκου κυμαινόμενου από $0,75\text{m}^3$ έως $1,50\text{m}^3$. Η εν λόγω

αστοχία αφορούσε δομική αστοχία κυρίως, σε μορφή ανατροπής και όχι την αποκοπή και ελεύθερη πτώση βραχωδών τεμαχίων από τα ανάντη. Εντούτοις μέρος των πεσμένων βραχωδών τεμαχίων σημαντικού μεγέθους αφορούσαν διαφορετικές αστοχίες αυτής του Οκτωβρίου 2021. Αυτό διαπιστώνεται και από τον μεγάλο αριθμό πεσμένων βραχοτεμαχίων μικρού σχετικά μεγέθους ($<0,50\text{m}^3$) κατά μήκος του πλακόστρωτου μονοπατιού από τον Ι.Ν. έως την είσοδο στο φαράγγι.



Εικόνα 32: Άποψη της αστοχίας Μαρτίου – Απριλίου 2020 στη θέση κατάρρευσης των παλαιών ανενεργών κελιών. Οι πεσμένοι βραχώδεις όγκοι ήταν μέγιστου μεγέθους περί του 1m^3 .

Επιπλέον, όπως έχει αναφερθεί στο πλαίσιο εξέτασης του ιστορικού βραχοκαταπτώσεων, μετά την είσοδο του φαραγγιού (στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης) καταγράφηκε θέση αστοχίας με πεσμένα τεμάχια μέγιστης διάστασης πλευράς 30cm περίπου. Τα πεσμένα βραχώδη τεμάχια αποκόπηκαν από ύψος περί τα 5m και έπεσαν ακολουθώντας μια πορεία περίπου ελεύθερης πτώσης έως το φυσικό μονοπάτι του φαραγγιού.



Εικόνα 33: Πεσμένο βραχώδες τέμαχος διαστάσεων 0,2m x 0,35m x 0,8m περίπου, επί του πλακόστρωτου μονοπατιού που συνδέει τον Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής με την είσοδο του φαραγγιού του Βίκου.



Εικόνα 34: Αστοχία στα βορειοανατολικά της περιοχής μελέτης, εντός του φαραγγιού του Βίκου και σε μικρή απόσταση περί τα 10-15m μετά την είσοδο σε αυτό. Τα πεσμένα βραχώδη τεμάχη αποκόπηκαν από ύψος 5m περίπου.

Τέλος όπως υπολογίστηκε μέσω του λογισμικού CloudCompare, το μέγεθος των υφιστάμενων αστοχιών είχε μέσο όγκο 1m³ περίπου. Το 75% των αστοχιών είχαν όγκο μικρότερο του 1,5m³, ενώ το υπόλοιπο 25% των

βραχοκαταπτώσεων, αποκολλήθηκε από θέσεις συνολικού όγκου 2-3,5m³. Τα επιμέρους αποκολλημένα και πεσμένα βραχώδη τεμάχια σε μορφή περίπου ελεύθερης πτώσης, δεν έχουν όγκο ίσο με το μέγεθος των κενών που δημιουργούνται επί του πρσανούς, αλλά σαφώς μικρότερο. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην διαφορετική χρονικά αποκόλληση των τεμαχίων, καθώς επίσης στην παρουσία των ασυνεχειών και κυρίως των επίπεδων της στρώσης των ανθρακικών πετρωμάτων τα οποία παρουσιάζουν συνήθως πάχος λόγων εκατοστών έως λίγων δέκατων του μέτρου. Έτσι τα αποκολλημένα βραχώδη τεμάχια διαχωρίζονται μετά την αποκόλληση τους σε μικρότερα μέρη τα οποία διαγράφουν ανεξάρτητη κίνηση. Επιπλέον, κατά την πτώση των επί μέρους μικρότερων τεμαχίων η σύγκρουση, κύλιση και αναπήδηση τους επί του πρσανούς, έχει ως αποτέλεσμα την μερική θραύση και μείωση του όγκου των τεμαχίων που θα καταλήξουν στην περιοχή ενδιαφέροντος (επίπεδο βάσης πρσανούς). Χαρακτηριστική είναι η εικόνα της αστοχίας μετά την είσοδο του φαράγγιου, όπου το κενό της αστοχίας σε ύψος περί τα 5m από το επίπεδο του μονοπατιού έχει διαστάσει 0,40 x 0,40m x 0,80m περίπου, ενώ αντιθέτως τα πεσμένα τεμάχια έχουν συνήθως μέγιστες διαστάσεις 0,40m x 0,30 x 0,10m.

Συνεκτιμώντας το σύνολο των παραπάνω στοιχείων, θεωρείται ότι ο μέγιστος όγκος των αποκολλημένων βραχωδών τεμαχίων είναι ίσος με 1,5m³ για το σύνολο του μελετώμενου πρσανούς ανάντη της Ι.Μ. Αγίας Παρασκευής.

6.2. ΤΡΟΧΙΑΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΠΙΣΦΑΛΩΝ ΤΕΜΑΧΩΝ

Στο πλαίσιο διερεύνησης της τροχιακής κίνησης των αποκολλημένων τεμαχίων βράχου και σε συνέχεια της επιλογής του δυνητικά μέγιστου μεγέθους βραχοτεμαχίων, επιλέχθηκαν πιθανές θέσεις αποκόλλησης και πτώσης αυτών ελεύθερα, με αναπήδηση ή κύλιση επί της επιφάνειας του πρσανούς. Σκοπός των τροχιακών προσομοιώσεων είναι ο υπολογισμός της κινητικής ενέργειας των βράχων, το ύψος αναπήδησης τους στην εκάστοτε θέση, η μέγιστη απόσταση που θα φτάσουν τα βραχοτεμάχια, καθώς επίσης στον καθορισμό και την παραμετροποίηση των απαιτούμενων ανά τροχιά ελέγχου μέτρων αντιμετώπισης – αντιστήριξης (φραχτών) για την ασφαλή λειτουργία του μονοπατιού εισόδου στο φαράγγι του Βίκου και του Ι.Ν. Αγίας Παρασκευής.

Οι υπόψη τροχιακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού RocFall της εταιρείας RocScience. Πρόκειται για ένα 2D εργαλείο στατιστικών αναλύσεων, για τον υπολογισμό της πιθανότητας εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων σε επιλεγμένες τροχιές καθώς επίσης των χαρακτηριστικών αυτών που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως αφορούν την κινητική ενέργεια και το ύψος αναπήδησης των τεμαχίων βράχων. Για την επιλογή των τροχιών λαμβάνονται υπόψη:

- Η παρουσία επισφαλών τεμαχίων επί του πρσανούς,
- Η θέση των περιοχών συσσώρευσης βραχωδών τεμαχίων στο πόδι του πρσανούς,
- Η φύση των γεωλογικών σχηματισμών που στην περίπτωση μας αποτελούνται αποκλειστικά από ανθρακικά πετρώματα,
- Η παρουσία ή όχι βλάστησης, η οποία μπορεί να λειτουργήσει είτε θετικά ως φυσικό μέτρο

ανάσχεσης της κίνησης των αποκολλημένων τεμαχίων από τα ανάντη, είτε αρνητικά αφού η ανάπτυξη ριζικού συστήματος μεγάλου βάθους ευνοεί την περαιτέρω χαλάρωση και αποκοπή τμημάτων της βραχώδους στα κατόντη,

- Η επιλεκτική κίνηση των βραχωδών τεμαχίων λόγω μορφολογικών χαρακτηριστικών όπως μπορεί να είναι η παρουσία μισγαγγειών επί των οποίων ευνοείται η συσσώρευση αποκολλημένων τεμαχίων αλλά και η κύλιση τους από τη θέση αυτή λόγω της επιλεκτικής κίνησης των απορρεόντων υδάτων σε συνθήκες ισχυρών βροχοπτώσεων.

Για τη διενέργεια των αναλύσεων του λογισμικού RocFall υπεισέρχονται τα εξής δεδομένα:

- Η γεωμετρία του αναγλύφου, η οποία προκύπτει από την επιλογή των θέσεων ελέγχου έναντι βραχοκαταπτώσεων. Η επιλογή των θέσεων και η εξαγωγή των μορφολογικών προφίλ υλοποιείται μέσω του λογισμικού CloudCompare, από την επεξεργασία του τρισδιάστατου μοντέλου νέφους σημείων του πρανούς. Ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο “Cross Section” και ακολουθήθηκε η διαδικασία όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη παράγραφο (§4.1). Περαιτέρω, τα παραγόμενα μορφολογικά προφίλ που παριστάνουν την γεωμετρία του αναγλύφου σε δισδιάστατη μορφή επί των οποίων αποκόπτονται και μετακινούνται τα βραχώδη τεμάχια, εξάγονται σε μορφή αρχείου dxf. Τα υπόψη αρχεία dxf επεξεργάζονται σε λογισμικά τύπου CAD. Η επεξεργασία αυτή αφορά τον ψηφιακό ορισμό (τοποθέτηση) της γραμμής που περιγράφει το μορφολογικό προφίλ, σε επίπεδο με κατακόρυφο άξονα το υψόμετρο και οριζόντιο άξονα το μήκος της τομής. Επιπλέον και πριν εισαγωγή των μορφολογικών προφίλ στο λογισμικό RocFall για την διενέργεια των ελέγχων έναντι βραχοκαταπτώσεων, η μορφολογία (γραμμή polyline) ορίζεται στο layer με όνομα slope.
- Ο γεωλογικός σχηματισμός που εντοπίζεται επιφανειακά και συνιστά το ανάγλυφο, ο οποίος για το σύνολο της ευρύτερης περιοχής μελέτης αφορά λεπτο-μεσοστρωμάτωσης έως παχυστρωμάτωσης ασβεστολίθους ηλικίας Παλαιόκαινο – Ηώκαινο.
- Οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν το ανάγλυφο όπως είναι ο κατακόρυφος και ο εφαιπτομενικός συντελεστής αναπήδησης R_n και R_t αντίστοιχα (φυσικό και γεωμορφολογικό χαρακτηριστικό) και η τυπική απόκλιση των τιμών αυτών.
- Οι θέσεις και τα χαρακτηριστικά των επισφαλών όγκων που μπορούν να οριστούν στην ανάλυση, είτε από ένα σημείο, είτε από μια γραμμή η οποία υποδηλώνει τις πιθανές θέσεις αποκόλλησης του συγκεκριμένου όγκου.
- Τα χαρακτηριστικά αυτών των όγκων, όπως είναι το βάρος τους $B(kg) = Όγκος (m^3) * \gamma (kg/m^3) = 1,5 * (26 * 102) = 3978 kg$.

Προκειμένου να προσδιοριστούν οι αντιπροσωπευτικές τιμές των συντελεστών αναπήδησης λήφθηκαν υπόψη οι παρακάτω βιβλιογραφικές αναφορές για παρόμοια βραχώδη μορφολογικά προφίλ:

- Οι τιμές των εν λόγω συντελεστών που προσδιορίζονται από τον E. Hoek και αναφέρονται στο Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος Rocfall (RocFall2 Documentation / Coefficient of Restitution Table), για την περίπτωση λείου βραχώδους αναγλύφου και αναπήδηση σε σκληρή επιφάνεια, χωρίς βλάστηση, οι οποίες είναι **Rn=0.53 και Rt=0.99**. Παράλληλα, για βραχώμαζα με αναπήδηση σε σκληρή επιφάνεια και ογκόλιθους προσδιορίζονται τιμές **Rn=0.35 και Rt=0.85**. Για αποσασθρωμένο ασβεστόλιθο με και χωρίς βλάστηση καθορίζονται τιμές **Rn=0.32, Rt=0.80 και Rn=0.32, Rt=0.82** αντίστοιχα.

Coefficient of Restitution Table

RN (Normal)	RT (Tangential)	Type	Verification	Location	Reference
0.530	0.990	Clean hard bedrock			Hoek, Evert. "Unpublished notes" NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering, Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4
0.400	0.900	Asphalt roadway			
0.350	0.850	Bedrock outcrops with hard surface, large boulders			
0.320	0.820	Talus cover			
0.320	0.800	Talus cover with vegetation			
0.300	0.800	Soft soil, some vegetation			

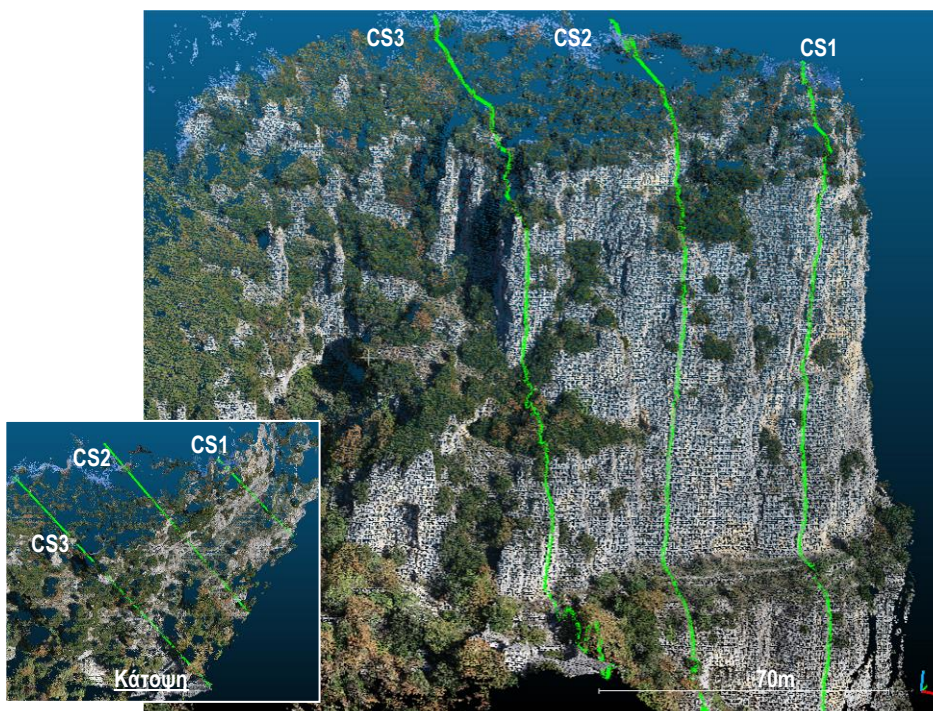
Πίνακας 13: Απόσπασμα πίνακα εγχειριδίου χρήσης του προγράμματος Rockfall, με τις προτεινόμενες τιμές του εφαπτομενικού Rt και κατακόρυφου Rn συντελεστή αναπήδησης, κατά E. Hoek.

- Οι τιμές των εν λόγω συντελεστών που προσδιορίζονται από τον G.P. Giani ("Rock Slope Stability Analysis", 1992) και αναφέρονται στο Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος Rocfall, για την περίπτωση βραχώδους αναγλύφου χωρίς βλάστηση, οι οποίες είναι **Rn=0,5 και Rt=0,95**, για την περίπτωση βραχώδους αναγλύφου με μεγάλους ογκόλιθους και αναπήδηση σε σκληρή επιφάνεια, χωρίς βλάστηση, οι οποίες είναι **Rn=0,35 και Rt=0,85**.
- Οι τιμές των εν λόγω συντελεστών που αναφέρονται στο Εγχειρίδιο χρήσης του προγράμματος Rocfall, για την περίπτωση σκληρού βραχώδους αναγλύφου είναι **Rn=0,53 και Rt=0,99** με τυπική απόκλιση **0,04**, ενώ για βραχώδες αναγλύφο με εξάρσεις ογκόλιθων είναι **Rn=0,35 και Rt=0,85** με τυπική απόκλιση **0,04**. Παράλληλα για αποσασθρωμένο ασβεστόλιθο χωρίς βλάστηση προσδιορίζονται οι τιμές **Rn=0,32 και Rt=0,82** με τυπική απόκλιση **0,04**.

Σύμφωνα με τις παραπάνω βιβλιογραφικές αναφορές και την υφιστάμενη κατάσταση του ασβεστολιθικού πρηνούς στην περιοχή μελέτης, επιλέχθηκαν η τιμή **Rt=0,90** του εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης με τυπική απόκλιση **0,04** και η τιμή **Rn=0,50** του κατακόρυφου συντελεστή αναπήδησης με τυπική απόκλιση **0,04**. Τέλος για αποσασθρωμένο ασβεστόλιθο με βλάστηση επιλέχθηκε η τιμή **Rt=0,80** του εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης με τυπική απόκλιση **0,04** και η τιμή **Rn=0,32** του κατακόρυφου συντελεστή αναπήδησης με τυπική απόκλιση **0,04**. Συνθήκες αποσασθρωμένου ασβεστολίθου αναμένεται να συναντηθούν μόνο σε τμήμα της τομής

υπολογισμού στην περιοχή της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021.

Για τον αναλυτικό σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση των απαιτούμενων συστημάτων ανάσχεσης βραχοκαταπτώσεων, πραγματοποιήθηκε επιλογή των πλέον αντιπροσωπευτικών τροχιών που είναι πιθανές να επισυμβούν κατά μήκος του μελετώμενου πρανούς ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και έως την είσοδο του φαράγγιου του Βίκου και διενεργήθηκαν κατάλληλες αναλύσεις για τη διερεύνηση της πορείας και της συμπεριφοράς πιθανής πτώσης ή κύλισης τεμαχών βράχου. Οι τροχιές που ελέγχθηκαν παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχήμα 57: Επιλογή θέσεων ελέγχου τροχιών κατάπτωσης βραχωδών τεμαχών.

Σημειώνεται ότι, οι θέσεις αποκόλλησης των βραχωδών τεμαχών αφορούν το σύνολο των τροχιών όπου απαντάται ο ασβεστολιθικός σχηματισμός και ιδιαίτερα στις θέσεις των βραχωδών εξάρσεων κατάντη των θέσεων όπου φύεται θαμνώδης βλάστηση και δέντρα. Οι θέσεις αυτές θεωρούνται ως οι πλέον επισφαλείς έναντι αποκόλλησης βραχωδών όγκων, λαμβάνοντας υπόψη το μηχανισμό αστοχίας του μετωπικού πρανούς αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και την ανάλυση δυνητικών αστοχιών σε προηγούμενο κεφάλαιο (§1).

Τα αποτελέσματα των τριών αναλύσεων, καθώς επίσης οι απαιτήσεις σε εφαρμογή μέτρων προστασίας του μονοπατιού μεταξύ του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και εισόδου στο φαράγγι του Βίκου, δίνονται συγκεντρωτικά στον επόμενο πίνακα.

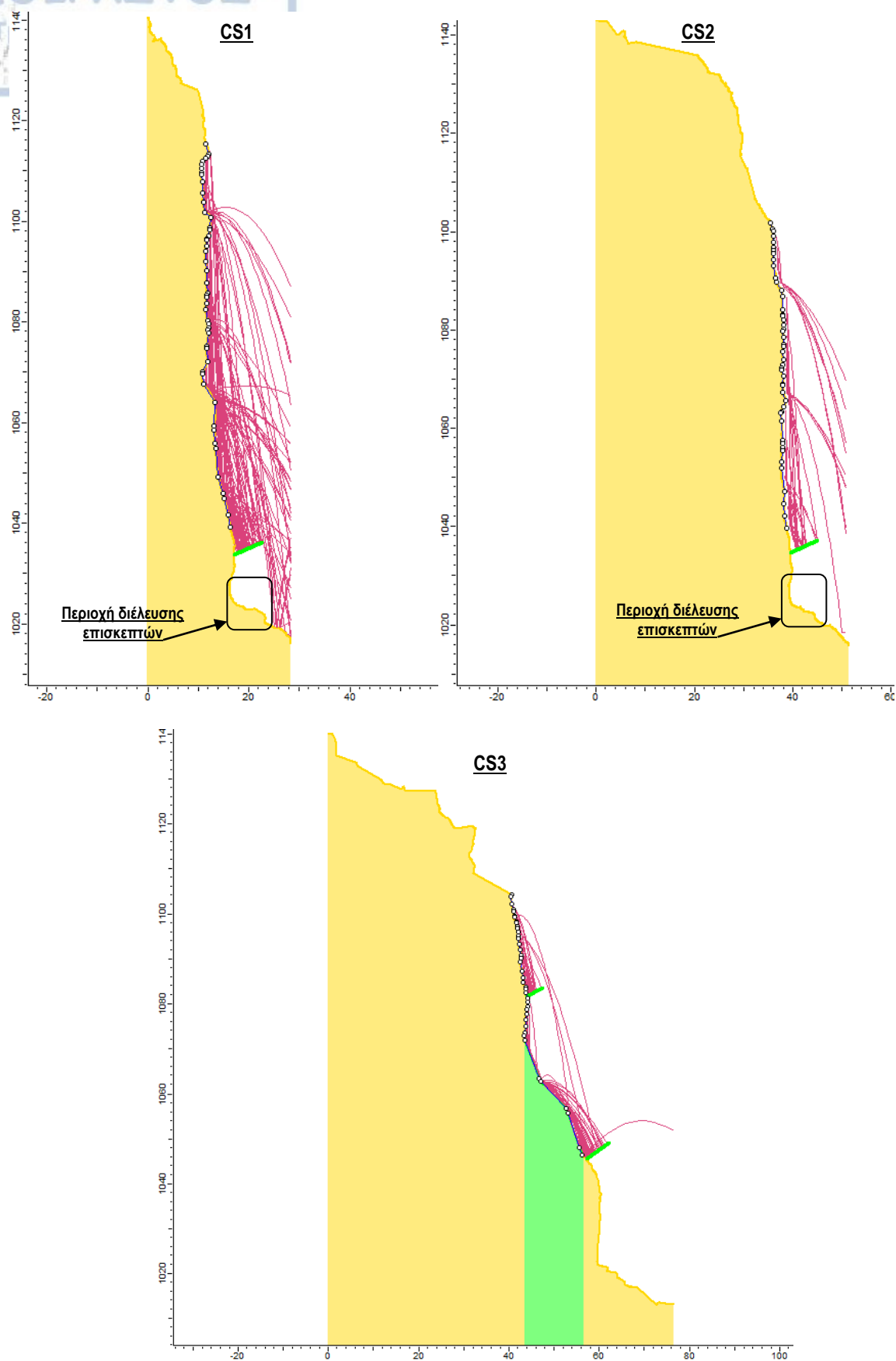
Πίνακας 14: Αποτελέσματα αναλύσεων έναντι βραχοκαταπτώσεων.

A/A	Όνομα Τροχιάς	Μήκος Τροχιάς (m)	Βάρος Δυνητικά Αποκολλημένων Βράχων (kg)	Εφαπτομενικός Συντελεστής Αναπήδησης R_t	Κατακόρυφος Συντελεστής Αναπήδησης R_n	Συνολική κινητική ενέργεια βραχοκαταπτώσεων (kJ)	Επιλεγόμενος φράκτης [Ικανότητα Απορρόφησης Ενέργειας (kJ)/Ύψος Συστήματος (m)]
1	CS1	150,74	3978	0,90	0,50	2831,94	3000kJ / 6m
2	CS2	170,47	3978	0,90	0,50	1850,43	2000kJ / 6m
3	CS3	181,73	3978	0,90	0,50	1933,73	1000kJ / 4m
				0,80	0,32		2000kJ / 6m

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας έναντι βραχοκαταπτώσεων, εκτιμάται ότι για την ασφαλή διέλευση των επισκεπτών κατάντη του πρानούς μεταξύ του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και της εισόδου του φαραγγιού του Βίκου, απαιτείται η εφαρμογή εύκαμπτων συστημάτων ανάσχεσης βραχοκαταπτώσεων ικανότητας απορρόφησης ενέργειας 1000kJ, 2000kJ και 3000kJ ύψους 4m, 6m και 6m αντίστοιχα, όπως απεικονίζονται στο επόμενο σχήμα. Οι προτεινόμενοι φράχτες, βάσει των αναλύσεων των τροχιών CS1 και CS2, απαιτείται να τοποθετηθούν σε ύψος 10m από το πόδι του μελετώμενου πρानούς. Αντίστοιχα σύμφωνα με την ανάλυση της τροχιάς CS3 απαιτείται η τοποθέτηση φράχτη απορροφητικής ικανότητας ενέργειας 1000kJ σε ύψος 60m περίπου από το πόδι του πρανούς, καθώς επίσης φράχτη απορροφητικής ικανότητας ενέργειας 2000kJ σε ύψος 24m περίπου. Επιπλέον σύμφωνα με τα αποτελέσματα δυνητικών αστοχιών στην περιοχή της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021, θα απαιτηθεί η εφαρμογή πεντάμετρων μόνιμων αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα, φέρουσας ικανότητας 200kN.

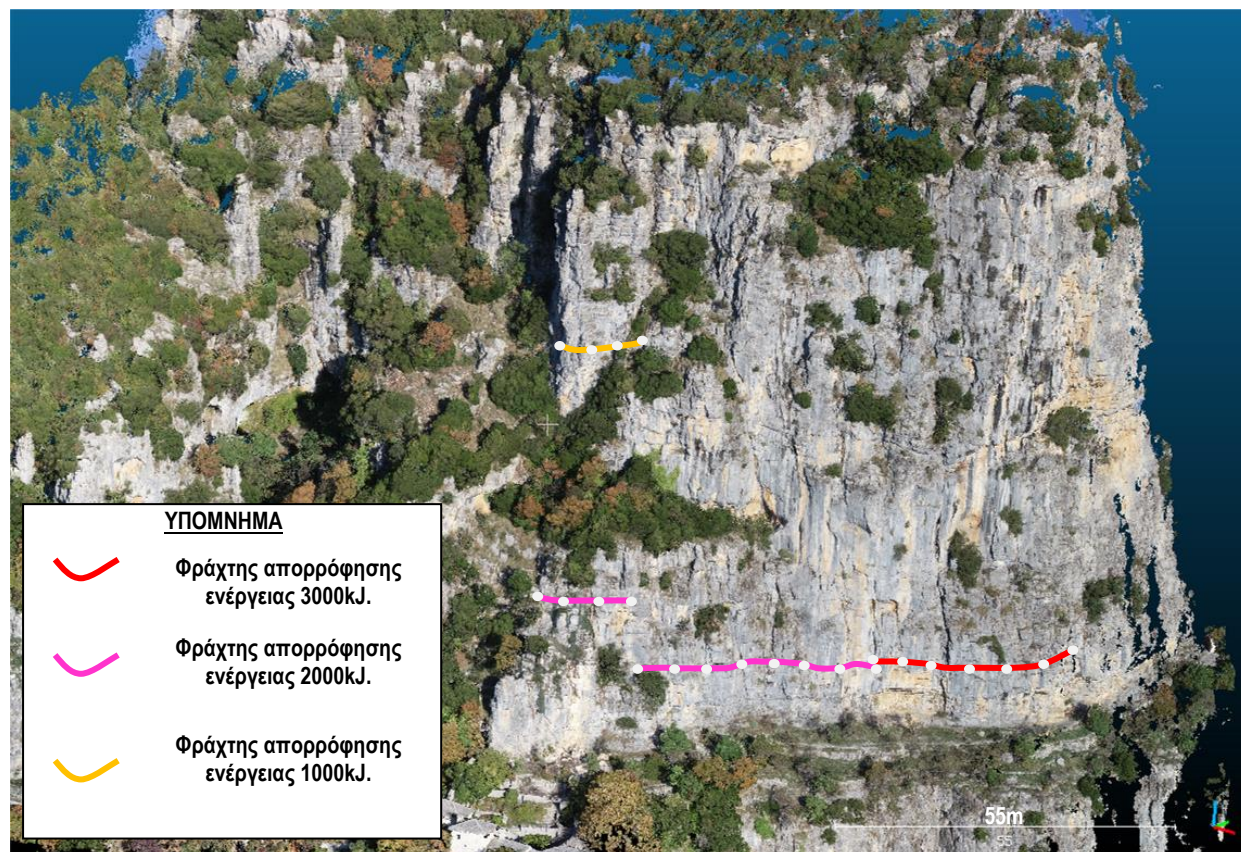
Σημειώνεται ότι η επιλογή της θέσης εφαρμογής των φραχτών ανάσχεσης κατά μήκος του πρανούς, εξαρτήθηκε από την τροχιακή προσομοίωση των αποκολλημένων βραχωδών τεμαχών. Γενικά παρατηρήθηκε ότι η τοποθέτηση του φράχτη αμέσως ανάντη της στέψης του μετωπικού πρανούς, θεωρείται ως η πλέον βέλτιστη. Για παράδειγμα στη διατομή CS3, η τοποθέτηση του φράχτη ανάσχεσης (απορροφητικής ικανότητας ενέργειας 2000kJ) σε ύψος 24m από τη βάση του πρανούς, εμποδίζει την περαιτέρω πτώση των βραχωδών τεμαχών στην περιοχή μεταξύ του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και του πρανούς. Ο δεύτερος φράχτης σε ύψος περί τα 60m από τη βάση του πρανούς κρίθηκε αναγκαίος, για την ανάσχεση βραχωδών τεμαχών των οποίων η τροχιά χαρακτηρίζεται από την αναπήδηση σημαντικού ύψους ικανού να υπερπηδήσει τον πρώτο (κατάντη) φράχτη.

Αντίστοιχα οι φράχτες που προτείνεται να τοποθετηθούν κατά μήκος των τροχιών CS1 και CS2 σε ύψος 10m από τη βάση του πρανούς, συγκρατούν τα αποκολλημένα βραχώδη τεμάχη από τα ανάντη, ενώ αυτά που αναπηδούν πάνω από τους φράχτες καταλήγουν εκτός του μονοπατιού και της περιοχής διέλευσης των επισκεπτών, σε επίπεδο υψομετρικά χαμηλότερο αυτό της Ιεράς Μονής. Η τοποθέτησης των εν λόγω φραχτών σε μεγαλύτερο ύψος δεν ενδείκνυται, λόγω της αναπήδησης ορισμένων βραχωδών τεμαχών ανάντη των φραχτών και την τελική πρόσκρουση τους στο επίπεδο διέλευσης και σύνδεσης του ναού με το φαράγγι του Βίκου.



Σχήμα 58: Απεικόνιση τροχιακών προσομοιώσεων μέσω του προγράμματος Rocfall

Πριν την εφαρμογή των απαιτούμενων μέτρων ανάσχεσης βραχοκαταπτώσεων, θα πρέπει να εκτελεστούν τοπικά και εφόσον απαιτείται σύμφωνα με τις επιτόπου συνθήκες, εργασίες απομάκρυνσης επικρεμάμενων βραχωδών τεμαχίων ήτοι ξεσκάρωμα.



Σχήμα 59: Θέσεις εφαρμογής προτεινόμενων μέτρων προστασίας έναντι φαινομένων βραχοκαταπτώσεων.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα σημαντικότερα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης αναφέρονται επιγραμματικά ακολούθως:

- Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης (ήτοι στο σύνολο της Ι.Μ. Αγ. Παρασκευής), ως αποτέλεσμα της εκδήλωσης φαινομένων βραχοκαταπτώσεων ήταν η εφαρμογή μέτρων προστασίας πρηνών, σε επιλεγμένες θέσεις κατά την περίοδο του Ιουλίου 2020. Συγκεκριμένα είχαν εφαρμοστεί ελαφριά μέτρα προστασίας αποτελούμενα από πλέγμα με εγκάρσια συρματόσχοινα ανά ένα μέτρο περίπου τόσο στο ανάντη πρηνές της κεραμόσχημης εισόδου της Ιεράς Μονής, όσο και στο πρηνές αμέσως ανάντη του Ιερού Ναού, το οποίο αστόχησε μετά την εκδήλωση δομικών αστοχιών της βραχόμαζας τον Οκτώβρη του 2021.
- Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει για την περιοχή του μελετώμενου πρηνούς ο πρόσφατος σεισμός της 22^{ας} Ιουλίου 2021. Αν και πρόκειται για μικρού μεγέθους σεισμό (4,3), εντούτοις λόγω της πολύ μικρής επικεντρικής απόστασης (<4km) από την περιοχή του μελετώμενου πρηνούς, η ένταση υπολογίστηκε περίπου ίση με VI (5,7). Τιμή δηλαδή που θεωρείται ότι δύναται να επιδράσει στην ευστάθεια του πρηνούς, έτσι ώστε να αποτελέσει η σεισμικότητα της περιοχής έναν από τους διαχρονικούς παράγοντες (αλλά όχι το έναυσμα) εκδήλωσης βραχοκαταπτώσεων, όπως ήταν οι πρόσφατες αστοχίες του Οκτωβρίου 2021. Χαρακτηριστικά αναφέρεται η παρατήρηση της διεύρυνσης των ασυνεχειών της βραχόμαζας (και άρα η χαλάρωση αυτής) μετά την εκδήλωση σεισμικών γεγονότων πλησίον της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.
- Την περίοδο Οκτωβρίου 2021 και ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του δεκαημέρου 7-16 Οκτωβρίου το ύψος των ατμοσφαιρικών κυμάνθηκε περί τα 220-230mm, με τα 80mm να καταγράφονται την 7^η Οκτωβρίου 2021. Το μηνιαίο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων Οκτωβρίου 2021 ήταν αυξημένο κατά 100mm περίπου από το μέσο μηνιαίο ύψος βροχής Οκτωβρίου της δεκαετίας 2013-2022. Το αυξημένο ύψος ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων του δεκαημέρου 7-16 Οκτωβρίου 2021 συνδέεται άμεσα με την εκδήλωση φαινομένων βραχωδών καταπτώσεων ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής την ίδια χρονική περίοδο.
- Το ριζικό σύστημα της θαμνώδους βλάστησης και/ή των δέντρων, διεισδύει σε μήκος έως αρκετών μέτρων με αποτέλεσμα το άνοιγμα και τη διεύρυνση των υφιστάμενων διακλάσεων. Επιτρέπεται με αυτόν τον τρόπο η εύκολη και άμεση ροή υδάτων κατά μήκος των ασυνεχειών, διευκολύνοντας τις διεργασίες αποσάθρωσης και διάβρωσης των τοιχωμάτων της βραχόμαζας λόγω δράση του νερού, τη μείωση των γεφυρών άρρηκτου πετρώματος κατά μήκος μιας ασυνέχειας (π.χ. διακλάσεων) και την εν γένει χαλάρωση της βραχόμαζας. Έτσι η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, μαζί με την εκδήλωση σεισμικών γεγονότων (δονήσεων) σημαντικής έντασης στην περιοχή μελέτης και τις έντονες

βροχοπτώσεις μεγάλης διάρκειας, ανήκει στους κύριους παράγοντες εκδήλωσης των καταπτώσεων βράχων.

- Κατά την επισκόπηση των βραχωδών πρανών ανάντη του Ι.Ν. και σε κυμαινόμενα ύψη από το επίπεδο συλλογής στοιχείων, παρατηρήθηκε λόγω παρουσίας παλαιότερων αστοχιών, η απουσία στήριξης κατακόρυφων στηλών βραχώμαζας. Οι υπόψη ασβεστολιθικές στήλες ορίζονται από την παρουσία κατακόρυφων ασυνεχειών με παρόμοια παράταξη και διεύθυνση κλίσης ομόρροπη ή αντίρροπη με αυτή του φυσικού πρανούς. Η δράση των κύριων παραγόντων χαλάρωσης της βραχώμαζας (σεισμικές δονήσεις, ανάπτυξη ριζικού συστήματος, έντονες βροχοπτώσεις), στις κατακόρυφες και χωρίς στήριξη ασβεστολιθικές (επικρεμάμενες) στήλες, δύναται να εξελιχθεί σε αστοχία αυτών.
- Κατά τον έλεγχο δυνητικών αστοχιών μέσω του προγράμματος Dips, διαπιστώθηκε ότι τα κύρια επίπεδα ασυνεχειών δεν δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες δομικών αστοχιών τόσο κατά τον έλεγχο της γεωμετρίας του συνολικού πρανούς μεταξύ του Ι.Ν. και της εισόδου του φαραγγιού ($77^{\circ}/131^{\circ}$) όσο και της γεωμετρίας του τοπικού πρανούς αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής (κλίση πρανούς 80°). Εντούτοις παρατηρήθηκε ότι κατά μήκος μεμονωμένων μετρήσεων παρακατακόρυφων ασυνεχειών (π.χ. $87^{\circ}/310^{\circ}$) δύναται να αναπτυχθούν αστοχίες μορφής ανατροπών. Το ίδιο συμπέρασμα εξάγεται και από τον έλεγχο ευστάθειας βραχωδών πρανών με τη χρήση των προγραμμάτων H/Y RocPlane, Swedge και RocTorppe της εταιρείας Rocscience. Η διαδικασία εκδήλωσης ανατροπών αφορά συνδυασμό κινήσεων των σχεδόν κατακόρυφο βραχωδών στηλών που δημιουργούνται λόγω της παρουσίας παρακατακόρυφων διακλάσεων. Η εξέλιξη του φαινομένου εκκινεί με την ολίσθηση, συνήθως λόγω διάτμησης, των μικρότερων βραχωδών στηλών στο πόδι του πρανούς. Έτσι οι αμέσως επόμενες (ανάντη) βραχώδεις στήλες χάνουν τη στήριξη τους διευκολύνοντας την ανάπτυξη εφελκυστικών δυνάμεων ανατροπής σε αυτές. Στην περίπτωση του μελετώμενου πρανούς, η ολίσθηση του κατώτερου βραχώδους τέμαχους, πλέον της διάτμησης του διευκολύνεται και από την σχεδόν οριζόντια στρώση των ασβεστολίθων. Αντίστοιχα, η ανάπτυξη των εφελκυστικών δυνάμεων ανατροπής των αμέσως ανάντη βραχωδών τεμαχών, διευκολύνεται πέρα του ιδίου βάρους αυτών από τις επικρατούσες τοπικές συνθήκες, ήτοι τους παράγοντες χαλάρωσης της βραχώμαζας (σεισμική δράση, ριζικό σύστημα, έντονες βροχοπτώσεις). Η εκδήλωση των αστοχιών ανατροπής στο πρανές ανάντη του Ι.Ν. αντιμετωπίζεται με την εφαρμογή αγκυριών για τον περιορισμό ανάπτυξης εφελκυστικών δυνάμεων. Επιπροσθέτως, η κοπή και αποξήρανση της βλάστησης που φύεται επί του πρανούς θα μετριάσει τους παράγοντες χαλάρωσης της βραχώμαζας.
- Από τη σύγκριση της γεωμετρίας των κύριων ομάδων ασυνεχειών των τριών ψηφιακών τεκτονικών διαγραμμάτων (ΤΔ-Ψ1, ΤΔ-Ψ2 και ΤΔ-Ψ3) με αυτές του συμβατικού τεκτονικού διαγράμματος (ΤΔ-1), διαπιστώθηκε η ταύτιση τους. Αντίστοιχη ταύτιση παρατηρήθηκε και στα αποτελέσματα του ελέγχου δυνητικών αστοχιών, όπου ευνοείται η εκδήλωση ανατροπών στις θέσεις σύνταξης των τεκτονικών

διαγραμμάτων ΤΔ-Ψ1 και ΤΔ-Ψ3.

- Βάσει την επί τόπου επισκόπηση της περιοχής μελέτης και τη χρήση των εργαλείων του CloudCompare επιλέχθηκε ως μέγιστος όγκος μεμονωμένου αποκολλημένου βραχώδους τεμάχους ίσο με $1,5\text{m}^3$. Για τον όγκο αυτό διενεργήθηκαν αναλύσεις έναντι βραχοκαπτώσεων επί καθορισμένων τροχιών, με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος Rocfall της εταιρείας Rocscience. Οι τροχιές αυτές επιλέχθηκαν σε χαρακτηριστικές θέσεις του μελετώμενου πρανούς. Σύμφωνα με την τροχιακή προσομοίωση των επισφαλών όγκων, τα βραχώδη τεμάχη πραγματοποιούν κυρίως ελεύθερη πτώση και δευτερευόντως κινούνται πραγματοποιώντας τοπικά αναπήδηση και σπανιότερα κύλιση, ενδεικτικό της σχεδόν κατακόρυφης κλίσης των φυσικών ασβεστολιθικών πρανών. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα των αναλύσεων ευστάθειας έναντι βραχοκαταπτώσεων, εκτιμήθηκε ότι για την ασφαλή διέλευση των επισκεπτών κατόντη του πρανούς μεταξύ του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής και της εισόδου του φαραγγιού του Βίκου, απαιτείται η εφαρμογή εύκαμπτων συστημάτων ανάρχεσης βραχοκαταπτώσεων ικανότητας απορρόφησης ενέργειας 1000kJ, 2000kJ και 3000kJ ύψους 4m, 6m και 6m αντίστοιχα.
- Επιπλέον σύμφωνα με τα αποτελέσματα ελέγχου δυνητικών αστοχιών και ευστάθειας βραχωδών πρανών έναντι ανατροπών στην περιοχή της αστοχίας του Οκτωβρίου 2021 (αμέσως ανάντη του Ι.Ν. Αγ. Παρασκευής), θα απαιτηθεί η εφαρμογή πεντάμετρων μόνιμων αγκυριών ολόσωμης πάκτωσης με τσιμεντένεμα, φέρουσας ικανότητας 200kN.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Barton N., 1973. Review of a new shear strength criterion for rock joints, Engineering Geology, 7, p 287-332.
- Barton N., 1976. "The shear strength of rock and rock joints", Int. J. Rock Mech., Min. Sci. Geomech. Abstr. 13, p 255-279.
- Barton, N. and Choubey, V., 1977. The Shear Strength of Rock Joints in Theory and Practice. Rock Mechanics, 10, p 1-65. <https://doi.org/10.1007/BF01261801>
- Barton N. and Stephanson O., 1990. Rock Joints, Proc. Intrnl. Symp. on Rock Joints, Loen Norway, Balkema.
- Caputo, R., Chatzipetros, A., Pavlides, S., et al. 2012. The Greek Database of Seismogenic Sources (GreDaSS): State-of-The-art for Northern Greece. Annals of Geophysics, 55, 859-894.
- Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996, Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247: 36-75. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board. 247. 36-57.
- Deere, D.U. and Miller, R.P., 1966. Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock. University of Illinois Urbana-Champaign, Urbana and Champaign, IL.
- Giani, G.P., 1992. Rock Slope Stability Analysis, np 374, CRC Press.
- Hoek, E. and Bray, J., 1977. Rock Slope Engineering, 1st edn, IMM, London.
- I.G.S.R. & I.F.P., 1966. Etude geologique de l' Epire (Grece Nord-occidentale), Technip., Paris.
- Majdi, A., Amini, M., 2012. Stability Analysis of Rock Slopes Against Block-Flexure Toppling Failure. Rock Mech Rock Eng (2012) 45:519–532.
- Papaioannou CA, 1984. Attenuation of seismic intensities and seismic hazard in Greece and surrounding area (in Greek). PhD thesis, University of Thessaloniki, pp 200.
- Papazachos, B. C., Karakostas, V. G., Scordilis, E. M., Papazachos, C. B., Papaioannou, Ch. A., and Karakaisis, G. F., 1998. A catalog for the Aegean and Surrounding Area for the Time Period 550 B.C.–1997, Thessaloniki.
- Papazachos, C. & Kiratzi, A., 1996. A detailed study of the active crustal deformation in the Aegean and surrounding area, Tectonophysics, Vol. 253, Issues 1–2, p 129-153.
- Papazachos, B. C., Papadimitriou, E. E., Kiratzi, A. A., Papazachos, C. B. & Louvari, E. K., 1998. Fault plane solutions in the Aegean Sea and the surrounding area and their tectonic implication. Boll. Geof. Teor. Appl., 39, 199–218.
- Patton, F., 1966. Multiple Mode of Shear Failure in Rock and Related Materials. Phd thesis, University of Illinois.

Pavlidis, Sp., Ganas, Ath., Papathanasiou, G., Valkaniotis, S., Thomaidou, E., Georgiadis, G., Sboras, S., and Chatzipetros Al., 2016. Geological - Seismotectonic study of the wider area of Ioannina (seismic region of the earthquake October 15, 2016). Tectonics & Structural Geology Committee of the G.S.G. 1st meeting. Athens, 6 December 2016.

Riquelme, A. J., Abellán, A., Tomás, R., & Jaboyedoff, M., 2014. A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds. Computers & Geosciences, 68, 38-52.

Ritchie, A.M., 1963. EVALUATION OF ROCKFALL AND ITS CONTROL. Highway Research Record.

Terzaghi, K., 1950. Mechanism of Landslides, Application of Geology to Engineering Practice, Geological Society of America, doi:10.1130/Berkey.1950.83

Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J., Eds., Landslides, Analysis and Control, Transportation Research Board, Special Report No. 176, National Academy of Sciences, 11-33.

Vasuki, Yathunanthan & Holden, Eun-Jung & Kovesi, Peter & Micklethwaite, Steven., 2014. Semi-automatic mapping of geological Structures using UAV-based photogrammetric data: An image analysis approach. Computers & Geosciences. 69. 10.1016/j.cageo.2014.04.012.

Záruba, Q., & Mencl, V., 1969. Landslides and their control.

Ελληνική Βιβλιογραφία

ΕΑΓΜΕ, 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, Φύλλο Τσεπέλοβον, Κλίμακα 1:50.000., Εκδόθηκε επιμέλεια του Ι.Γ.Ε.Υ.

Διεύθυνση Τεχνικής Γεωλογίας ΙΓΜΕ, 1993. Γεωτεχνικός χάρτης της Ελλάδας (κλ. 1:500.000), Έκδοση ΙΓΜΕ.

Ι.Γ.Ε.Υ. & Ι.Γ.Π., 1966. Etude geologique de l' Epire. Εκδόσεις ΙΓΜΕ Αθήνα.

Ι.Τ.Σ.Α.Κ., 2016. Σεισμός Mw5,5 της 15/10/2016 - Προκαταρκτική Έκθεση των Σημαντικότερων Καταγραφών και Επιπτώσεων του Σεισμού. Μονάδα Έρευνας ΙΤΣΑΚ, Θεσσαλονίκη, σελ. 13.

Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν., 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν., 2019. Τεχνική Γεωλογία, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μουντράκης, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας, University Studio Press.

Μουντράκης, Δ., 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας, University Studio Press.

Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου Κ., 1999. Οι σεισμοί της Ελλάδας, σελ. 356, Εκδόσεις Ζήτη.

Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου Κ., 2003. Οι σεισμοί της Ελλάδας, σελ. 288, Εκδόσεις Ζήτη.

Παπαθανασίου, Γ., 2022. Τεχνική Γεωλογία και Γεωλογικοί Κίνδυνοι [Προπτυχιακό εγχειρίδιο], σελ. 380, Εκδόσεις ΚΑΛΛΙΠΟΣ, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.

Τσιαμπάος, Γ., & Σαμπατάκης, Ν., 1982. Σκληρομέτρηση πετρωμάτων με το σφυρί Schmidt και ταξινόμηση αυτών, Δελτίο ΚΕΔΕ, τεύχος 1-2, σελ. 22-26.

ΦΕΚ. 2292.Β.2013, ΥΠΕΝ, Ειδική Γραμματεία Υδάτων., Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (GR05), Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, σελ. 256.

Ιστοσελίδες

EMY, Κλιματικός Άτλαντας της Ελλάδας, <http://climatlas.hnms.gr/sdi/>

I.Γ.Μ.Ε. – χαρτογραφική πύλη, <https://gaia.igme.gr/portal/home/>

GREDASS, <https://gredass.unife.it/>

METEO SEARCH, Αναζήτηση Δεδομένων, <https://meteosearch.meteo.gr/>

GEODATA.gov.gr, <http://geodata.gov.gr/maps/?locale=el>

DSE-DISCONTINUITY SET EXTRACTOR <https://sourceforge.net/projects/discontinuity-set-extractor/>

ROCSIENSE.COM, RocFall2 Documentation / Coefficient of Restitution Table
<https://www.rocscience.com/help/rocfall/documentation/slope/materials/reference-tables/rocscience-coefficient-of-restitution-table-in-rocfall>.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΕΑΑ)

Πίνακας 15. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Ασπράγγελοι.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
2013	338.00	242.60	229.00	42.00	79.90	41.20	21.20	16.80	97.40	106.50	325.00	85.80	1625.4
2014	205.80	76.60	51.60	178.80	140.80	46.80	-	21.20	102.60	182.70	127.70	249.40	1384.0
2015	263.60	226.6	171.8	62.6	28.2	74.4	23.2	48.8	167.4	204.0	271.2	0.2	1542.0
2016	291.20	214.80	201.40	133.20	230.80	45.80	28.00	41.20	265.80	189.60	222.60	7.00	1871.4
2017	104.60	155.00	45.80	53.20	107.60	76.40	24.00	19.40	33.80	53.80	339.40	391.80	1404.8
2018	98.6	353	269	40.4	168	161.6	43.4	40.4	13.8	30.4	257.4	126.2	1602.2
2019	290	13.6	50.8	68.6	116.8	74.8	53.2	3.80	127.00	95.40	503.60	255.40	1653.0
2020	33.8	55.8	48.8	61.4	18	93.4	32.60	49.80	160.40	135.40	12.80	347.6	1049.8
2021	545.6	181	63.8	63.2	31.6	39.6	21.20	29.80	45.20	236.60	328.60	444.0	2030.2
2022	20.60	164.20	57.00	98.20	120.40	24.60	64.20	58.20	58.20	61.80	285.60	348.20	1361.2
Αριθμός Ετών	10	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10
Ελάχιστη Τιμή	20.60	13.60	45.80	40.40	18.00	24.60	21.20	3.80	13.80	30.40	12.80	0.20	1049.80
Μέγιστη Τιμή	545.60	353.00	269.00	178.80	230.80	161.60	64.20	58.20	265.80	236.60	503.60	444.00	2030.20
Μέση Τιμή Περιόδου 2013-2022	219.18	168.32	118.90	80.16	104.21	67.86	34.56	32.94	107.16	129.62	267.39	225.56	1552.40
Τυπική Απόκλιση	161.41	100.30	88.54	44.36	67.44	39.32	15.61	17.44	76.36	70.96	131.16	161.49	276.37

Πίνακας 16. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Τσεπέλοβον.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
2016	382.80	267.20	248.80	141.00	226.20	25.40	37.20	58.40	202.00	196.60	307.20	7.60	2100.4
2017	151.60	202.00	54.00	66.40	108.00	57.40	81.00	10.20	88.40	83.80	395.80	534.80	1833.4
2018	143.8	394.4	475.6	50.8	139.8	144.4	59.4	61.6	16.6	47.4	281.4	133.2	1948.4
2019	261.2	19.2	40	77.6	147.8	60	41.2	3.80	93.20	116.40	537.40	291.00	1688.8
2020	68.6	114.4	124.2	100	59.6	110	68.80	102.40	154.40	154.40	12.00	383.4	1452.2
2021	701.2	213.4	103.2	105.2	33.2	47.4	34.60	13.20	29.80	224.20	317.40	489.0	2311.8
2022	26.40	177.40	85.20	158.20	87.50	81.20	9.40	46.60	58.40	74.20	286.60	283.20	1374.3
Αριθμός Ετών	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Ελάχιστη Τιμή	26.40	19.20	40.00	50.80	33.20	25.40	9.40	3.80	16.60	47.40	12.00	7.60	1374.30
Μέγιστη Τιμή	701.20	394.40	475.60	158.20	226.20	144.40	81.00	102.40	202.00	224.20	537.40	534.80	2311.80
Μέση Τιμή Περιόδου 2016-2022	247.94	198.29	161.57	99.89	114.59	75.11	47.37	42.31	91.83	128.14	305.40	303.17	1815.61
Τυπική Απόκλιση	232.80	117.61	154.49	39.04	64.06	40.49	24.09	35.64	66.70	66.00	157.67	187.71	338.66

Πίνακας 17. Ατμοσφαιρικά Κατακρημνίσματα Σταθμού Πάτιγκο.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΣΥΝΟΛΙΚΑ
2013	299.60	289.00	283.00	56.40	72.80	70.20	61.80	49.60	127.20	230.40	336.00	127.40	2003.4
2014	132.40	78.80	142.20	146.80	102.80	22.00	19.20	15.80	76.40	155.20	136.40	240.40	1268.4
2015	246.20	226.2	186.0	43.4	0.0	19.4	29.8	130.2	230.4	152.6	229.0	0.6	1493.8
2016	235.80	186.20	194.40	100.80	47.00	25.40	24.60	36.60	141.60	82.80	189.60	4.40	1269.2
2017	86.00	87.20	46.60	41.20	91.60	35.80	14.20	3.20	60.80	55.40	288.40	333.60	1144.0
2018	6.8	285.4	293.8	35	140.8	131	73	60	3.2	31.4	220.2	100.8	1381.4
2019	311	16.6	39.8	76.2	139.2	48	60.2	8.60	27.00	99.80	424.60	218.40	1469.4
2020	27	77.4	93.4	93.8	28.8	72.2	21.80	4.60	135.20	109.40	12.20	338.4	1014.2
2021	468.2	142.8	78.4	81	22.6	30.8	30.00	5.00	49.20	231.40	238.20	430.6	1808.2
2022	27.00	163.60	50.60	90.40	78.00	104.00	21.00	43.20	35.80	64.80	238.60	153.40	1070.4
Αριθμός Ετών	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Ελάχιστη Τιμή	6.80	16.60	39.80	35.00	0.00	19.40	14.20	3.20	3.20	31.40	12.20	0.60	1014.20
Μέγιστη Τιμή	468.20	289.00	293.80	146.80	140.80	131.00	73.00	130.20	230.40	231.40	424.60	430.60	2003.40
Μέση Τιμή Περιόδου 2013-2022	184.00	155.32	140.82	76.50	72.36	55.88	35.56	35.68	88.68	121.32	231.32	194.80	1392.24
Τυπική Απόκλιση	152.67	92.38	95.39	34.18	48.00	37.91	21.10	39.25	69.06	69.81	110.84	144.22	316.49