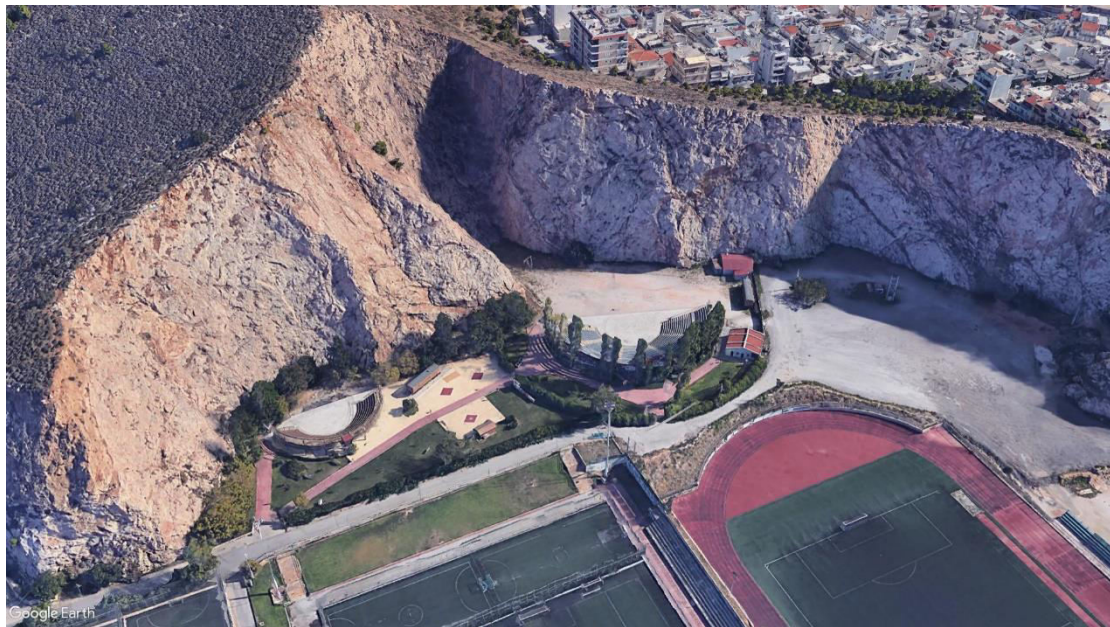




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΠΟΤΡΟΠΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ «ΕΡΓΑΝΗ»
(ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΘΕΑΤΡΟΥ ΒΡΑΧΩΝ) ΣΤΗΝ
ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΒΥΡΩΝΑ.



Διπλωματική εργασία των :

ΑΝΔΡΑΚΑΚΟΣ ΑΒΡΑΑΜ, ΖΑΧΑΡΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής : *Κωνσταντίνος Λουπασάκης*
Αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2020



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ
ΑΠΟΤΡΟΠΗΣ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΛΑΤΟΜΕΙΟ
«ΕΡΓΑΝΗ» (ΛΑΤΟΜΕΙΟ ΘΕΑΤΡΟΥ ΒΡΑΧΩΝ) ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΤΟΥ ΒΥΡΩΝΑ.

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΑΝΔΡΑΚΑΚΟΣ ΑΒΡΑΑΜ, ΖΑΧΑΡΑΚΗΣ ΖΑΧΑΡΙΑΣ

Επιβλέπων καθηγητής : Λουπασάκης Κωνσταντίνος
Αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις --/--/2020

Λουπασάκης Κωνσταντίνος , Αναπληρωτής καθηγητής ΕΜΠ

Μενεγάκη Μαρία , Αναπληρώτρια Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθανασάς Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Περιεχόμενα

Εικόνες.....	6
Σχέδια	6
Φωτογραφίες	10
Διαγράμματα.....	10
Χάρτες.....	10
Πίνακες	11
Πρόλογος.....	12
Περίληψη.....	12
Abstract	13
1. Εισαγωγή	14
2 Πρανή και ευστάθεια πρανών	16
2.1 Πρανή	16
2.1.1 Ευστάθεια πρανών σε εξάρτηση με τα στατικά φορτία	17
2.1.2 Ευστάθεια πρανών έναντι στατικών φορτίων	18
2.2 Κατολισθήσεις – Αστοχίες πρανών	18
2.2.1 Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων βάσει των κριτηρίων του Varnes	19
2.2.2 Μορφές κατολισθήσεων	20
2.2.2.1 Καταπτώσεις (Falls)	20
2.2.2.2 Ολισθήσεις (Slides).....	21
2.2.2.3 Ανατροπές (Toppling).....	22
2.2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral spreads)	23
2.2.2.5 Ροές (Flows).....	23
2.2.2.6 Ερπυσμοί (Creep)	24
2.2.2.7 Σύνθετες Μετακινήσεις πρανών	25
2.3 Καταπτώσεις.....	25
2.3.1 Γεωμετρία Πρανούς.....	27
2.3.2 Τροχιά των βράχων	28
2.3.3. Ιδιότητες γλικού	28
2.3.4 Αίτια πρόκλησης κατολισθήσεων	29
2.3.5 Έναυσμα εκδήλωσης κατολισθήσεων.....	31
2.4 Ασυνέχειες βραχομάζας και μορφές δυνητικών αστοχιών	32
2.4.1 Ασυνέχειες βραχομάζας.....	32
2.4.1.1 Κατηγορίες ασυνεχειών	33

2.4.1.2	Παράμετροι περιγραφής ασυνεχειών.....	34
2.4.2	Μορφές δυνητικών αστοχιών	37
2.4.2.1	Σφηνοειδείς αστοχίες (wedge failures).....	38
2.4.2.2	Αστοχία επιπέδου	39
2.4.2.3	Ανατροπή.....	40
2.5	Μέτρα αντιμετώπισης.....	41
3.	Γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της προς μελέτη περιοχής	45
3.1	Γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής	45
3.1.1	Αλπικοί σχηματισμοί.....	47
3.1.2	Μεταλπικοί σχηματισμοί	50
3.2	Το λατομείο Εργάνη	52
3.2.1	Μορφολογία του λατομείου	53
Πρανές 1	.....	55
Πρανές 2	.....	55
Πρανές 3	.....	56
Πρανές 4	.....	57
Πρανές 5	.....	58
Πρανές 6	.....	58
Πρανές 7	.....	59
3.2.2	Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	60
3.2	Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά πετρώματος	62
3.2.1.	Θλιπτική αντοχή του πετρώματος.....	62
3.2.1.1.	Δοκιμή σημειακής φόρτισης	62
3.2.1.2	Αποτελέσματα δοκιμής σημειακής φόρτισης	65
3.2.2	Διατμητική αντοχή - Γωνία τριβής ασυνεχειών	70
3.2.2.1	Βασικά στοιχεία.....	70
3.2.2.2	Το κριτήριο Patton.....	70
3.2.2.3	Το κριτήριο Barton-Bandis	71
3.2.2.4	Υπολογισμός σκληρότητας πετρώματος μέσω σφύρας Schmidt και διαγραμμάτων.....	72
3.2.2.5	Υπολογισμός Συντελεστή Τραχύτητας JRC (Joint Roughness Coefficient)	75
3.2.2.6	Υπολογισμός εσωτερικής γωνίας τριβής ασυνεχειών	77
4.	Ανάλυση ευστάθειας των πρανών που περιβάλλουν το θέατρο βράχων (πρώην λατομείο Εργάνη) με πραγματοποίηση στερεογραφικών προβολών	78

4.1 Εκτέλεση στερεογραφικής προβολής με το πρόγραμμα Dips	78
4.2 Ανάλυση τεχνικογεωλογικών συνθηκών ευστάθειας των πρανών του λατομείου Εργάνη	79
4.2.1 Πρανές 1 – Χώρος Νοτιοδυτικά του θεάτρου Βράχων	79
4.2.2 Πρανές 2 – Χώρος Νότια του θεάτρου Βράχων	81
4.2.3 Πρανές 3 – Χώρος Νοτιοανατολικά του θεάτρου Βράχων	84
4.2.4 Πρανές 4 – Χώρος Ανατολικά του θεάτρου Βράχων.....	86
4.2.5 Πρανές 5 – Χώρος Βορειοανατολικά του θεάτρου Βράχων	88
4.2.6 Πρανές 6 – Χώρος Βόρεια - Βορειοανατολικά του θεάτρου Βράχων.....	90
4.2.7 Πρανές 7 – Χώρος Βόρεια του θεάτρου Βράχων	92
5. Έλεγχος της πιθανότητας καταπτώσεων με χρήση του προγράμματος Rocfall και προσδιορισμός των μέτρων ανάσχεσής τους.....	94
5.1 Γενικά στοιχεία σχετικά με το Rocfall	94
5.2 Προσδιορισμός παραμέτρων της δοκιμής.....	94
5.2.1 PROJECT SETTINGS	94
5.2.2 MATERIAL EDITOR	98
5.3 Σχεδίαση και προσδιορισμός της τομής του πρανούς.....	99
5.3.1 Όρια (LIMITS).....	99
5.3.2 Σχεδίαση της τομής	99
5.3.3 Επιλογή σημείου εκκίνησης βραχοτεμαχίων.....	101
5.4 Εκτέλεση της δοκιμής με χρήση του προγράμματος Rocfall και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.....	102
5.4.1 Πρανές 1	102
5.4.2 Πρανές 2	105
Τομή 2A	105
Τομή 2B	107
5.4.3 Πρανές 3	109
5.4.4 Πρανές 4	112
5.4.5 Πρανές 5	114
Τομή 5A	114
Τομή 5B	116
5.4.6 Πρανές 6	119
5.4.7 Πρανές 7	121
5.5 Μέτρα αντιμετώπισης των καταπτώσεων	123
5.5.1 Πρανές 1	125

5.5.2 Πρατές 2	126
5.5.3 Πρατές 3	127
5.5.4 Πρατές 4	128
5.5.5 Πρατές 5	129
5.5.6 Πρατές 6	131
5.5.7 Πρατές 7	132
6. Σχολιασμός - συμπεράσματα	134
6.1 Μέτρα αντιμετώπισης.....	135
6.1.1 Πρατές 1	135
6.1.2 Πρατές 2	135
6.1.3 Πρατή 3,4,5,6	135
6.1.4 Πρατές 7	136
6.2 Επίλογος	137
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	138
Πρατές 1	138
Πρατές 2.....	139
ΤΟΜΗ 2Α.....	139
ΤΟΜΗ 2Β.....	140
Πρατές 3	141
Πρατές 4.....	142
Πρατές 5.....	143
ΤΟΜΗ 5Α	143
ΤΟΜΗ 5Β	144
Πρατές 6.....	145
Πρατές 7	146
7.Βιβλιογραφία	147

Εικόνες

Εικόνα 2.1: Κατάπτωση βράχων στο οδικό δίκτυο Πλωμαρίου – Μελίντας, (Η Καθημερινή, https://www.kathimerini.gr , 2018).....	19
Εικόνα 2.2: Συρματοκιβώτια (Maccaferri, www.maccaferri.com)	41
Εικόνα 2.3: Φράχτης ανάσχεσης καταπτώσεων (Maccaferri, www.maccaferri.com)	42
Εικόνα 2.4: Πλέγμα παγίδευσης αναρτημένο σε βραχώδες πρανές (ACRO BTP www.acro-btp.fr).....	43
Εικόνα 3.1: Ασβεστόλιθος στα Τουρκοβούνια.....	49
Εικόνα 3.2: Νεογενή πετρώματα στο πάρκο Τρίτση (Ίλιον) με τη μορφή ψαμμίτη από λεπτή άμμο.....	51
Εικόνα 3.3: Η θέση του λατομείου σε σχέση με το όρος του Υμηττού.....	52
Εικόνα 3.4: Το σύνολο των πρανών που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη και ο περιεχόμενος χώρος.....	53
Εικόνα 3.5: Τα πρανή στα οποία χωρίστηκε το λατομείο (Google Maps).....	53
Εικόνα 3.6 (Αριστερά): Κατοπτρικό ρήγμα στο 4ο πρανές (Google Earth).....	60
Εικόνα 3.7: Συσκευή δοκιμής σημειακής φόρτισης - Αποδεκτές και μη αποδεκτές περιπτώσεις θραύσεις επιφάνειας κατά τη δοκιμή (Λουπασάκης, 2015)	61
Εικόνα 3.8: Τα διάφορα είδη σημειακής φόρτισης σε σχέση με το αν τα δοκίμια είναι κυλινδρικά (α, β), πρισματικά (γ) ή ακανόνιστης μορφής (δ) και οι απαραίτητες διαστάσεις τους βάσει των προδιαγραφών της ISRM (1985) ,(Π. Νομικός, 2015)	62
Εικόνα 3.9: Σφύρα Schmidt (Malek Jedidi, 2020)	72
Εικόνα 3.10: Μηχανικό προφιλόμετρο(Νομικός, 2015).....	75
Εικόνα 5.1: Οι τιμές των μεταβλητών όπως επιλέχθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία.....	96
Εικόνα 5.2 : Εισαγωγή δεδομένων σε νέο υλικό στο material editor.....	97
Εικόνα 5.3: Μορφή της εντολής Limits.....	98
Εικόνα 5.4 : Η εντολή Slope Editor.....	99
Εικόνα 5.5: Οι τομές που σχεδιάστηκαν πάνω στο τοπογραφικό του θεάτρου.....	99
Εικόνα 5.6 και 5.7: Πάνω : Μέτρηση διαστάσεων κατακρημνισμένων βραχοτεμαχίων.....	101
Εικόνα 5.8 : Κάτω ογκώδες βραχοτέμαχος στη βάση του 2ου πρανούς.....	101
Εικόνα 5.9: Άποψη της εντολής Barrier Editor.....	123
Εικόνα 6.1: Περιοχή μελέτης.....	133
Εικόνα 6.2: Ανομοιομορφία πρόσοψης Πρανούς 7.....	135
Εικόνα 6.3: Συγκεντρωτικά τα μέτρα αντιμετώπισης σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή.....	136

Σχέδια

Σχέδιο 2. 1 (Αριστερά): Αναπαράσταση Μεταθετικής ολίσθησης (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)	20
Σχέδιο 2. 2 (Δεξιά): Αναπαράσταση Περιστροφικής ολίσθησης (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)	20
Σχέδιο 2.3: Αναπαράσταση ανατροπής τεμαχίων (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)	21
Σχέδιο 2.4: Αναπαράσταση πλευρικής εξάπλωσης (www.Geology.com).....	22
Σχέδιο 2.5: Αναπαράσταση ροής γαιών (www.Geology.com)	23

Σχέδιο 2.6: Αναπαράσταση περίπτωσης ερπυσμού (School of Environmental Sciences, University of Guelph, www.uoguelph.ca)	24
Σχέδιο 2.7: Περιγραφή μεταβολής της τροχιάς σε σχέση με την κλίση του πρανούς(Ritchie, 1963).....	26
Σχέδιο 2.8: Τύποι δυνητικών αστοχιών (Hoek& Bray, 1981).....	36
Σχέδιο 2.9: Απαραίτητη συνθήκη για την πραγματοποίηση σφηνοειδούς ολίσθησης (Hoek & Bray, 1981)	37
Σχέδιο 2.10: Παρουσίαση δύο περιπτώσεων ολίσθησης ανάλογα με τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης(Hoek & Bray, 1981)	38
Σχέδιο 2.11: Ολίσθηση τεμάχους σε επίπεδη επιφάνεια (Νομικός, 2015).....	39
Σχέδιο 2.12: Αναπαράσταση ανατροπής βραχώδους πρανούς (Goodman, 1980).....	39
Σχέδιο 3.1: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών κατά Παπανικολάου, 2004.....	46
Σχέδιο 3.2: Περιβάλλουσες κορυφαίας και παραμένουσας διατμητικής αντοχής τεχνητών ασυνεχειών με οδοντώσεις (Νομικός 2015).....	71
Σχέδιο 3.3: Νομόγραμμα υπολογισμού μονοαξονικής αντοχής για κρουσίμετρου τύπου L(από κατασκευστή).....	73
Σχέδιο 3.4: Νομόγραμμα υπολογισμού μονοαξονικής αντοχής για κρουσίμετρο τύπου L(από κατασκευστή)	73
Σχέδιο 3.5: Νομόγραμμα έμμεσου υπολογισμού της μονοαξονικής αντοχής με κρουσίμετρο τύπου L (Deere and Miller, 1966).....	74
Σχέδιο 4.1 : Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 1 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	79
Σχέδιο 4.2: Έλεγχος ανατροπών για το Πρανές 1 με χρήση του προγράμματος Dips.....	80
Σχέδιο 4.3: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 2 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	81
Σχέδιο 4.4: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 2 μεταξύ των ασυνεχειών 1 και 6.....	82
Σχέδιο 4.5: Επίπεδη ολίσθηση του συστήματος ασυνεχειών 5 στο Πρανές 2.....	83
Σχέδιο 4.6: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 2 με χρήση του προγράμματος Dips.....	83
Σχέδιο 4.7: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 3 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	84
Σχέδιο 4.8: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 3 μεταξύ των ασυνεχειών 5 και 6.....	85
Σχέδιο 4.9: Επίπεδη ολίσθηση του συστήματος ασυνεχειών 3 στο Πρανές 3.....	85
Σχέδιο 4.10: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 3 με χρήση του προγράμματος Dips.....	86
Σχέδιο 4.11: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 4 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	87
Σχέδιο 4.12 : Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 4 μεταξύ των ασυνεχειών 2 και 4.....	87
Σχέδιο 4.13: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 4 με χρήση του προγράμματος Dips.....	88
Σχέδιο 4.14: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 5 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	88
Σχέδιο 4.15: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 5 μεταξύ των ασυνεχειών 1 και 2.....	89
Σχέδιο 4.16: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 5 με χρήση του προγράμματος Dips	89
Σχέδιο 4.17: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 6 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	89
Σχέδιο 4.18 : Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 6 με χρήση του προγράμματος Dips	90
Σχέδιο 4.19: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 7 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών.....	91
Σχέδιο 4.20: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 7 με χρήση του προγράμματος Dips	92

Σχέδιο 5.1: Η τομή του πρανούς 1 και η θέση του seeder	102
Σχέδιο 5.2: Η εκτέλεση της δοκιμής στο Πρανές 1 για μάζα ίση με 3000kg	102
Σχέδιο 5.3: Διάγραμμα τελικών θέσεων των τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1	103
Σχέδιο 5.4: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1.....	103
Σχέδιο 5.5: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1	103
Σχέδιο 5.6: Η τομή 2A του Πρανούς 2 και η θέση του seeder σε αυτή	104
Σχέδιο 5.7: Εκτέλεση της δοκιμής στην τομή 2A με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 2400kg ..	104
Σχέδιο 5.8: Διάγραμμα Τελικής Θέσης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2A	105
Σχέδιο 5.9: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2A	105
Σχέδιο 5.10: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2A	106
Σχέδιο 5.11: Σκαρίφημα της τομής 2B του Πρανούς 2 και η θέση του seeder	106
Σχέδιο 5.12: Η εκτέλεση της δοκιμής για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	107
Σχέδιο 5.14: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2B του Πρανούς 2	108
Σχέδιο 5.15: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2B του Πρανούς 2.....	108
Σχέδιο 5.16: Η τομή του Πρανούς 3 και η θέση του seeder	109
Σχέδιο 5.17: Η δοκιμή στο Πρανές 3 με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	109
Σχέδιο 5.18: Διάγραμμα των Τελικών Θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 3	110
Σχέδιο 5.19: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 3.....	110
Σχέδιο 5.20: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 3	110
Σχέδιο 5.21: Η τομή του Πρανούς 4 και η θέση του seeder πάνω σε αυτή	111
Σχέδιο 5.22: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	111
Σχέδιο 5.23: Οι τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4.....	112
Σχέδιο 5.24: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4.....	112
Σχέδιο 5.25: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4	113
Σχέδιο 5.26: Η τομή 5A του Πρανούς 5 και η θέση του seeder πάνω σε αυτό	113
Σχέδιο 5.27: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	114
Σχέδιο 5.28: Διάγραμμα των τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A	114
Σχέδιο 5.29: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A	115
Σχέδιο 5.30: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A	115
Σχέδιο 5.31: Η τομή 5B του Πρανούς 5 καθώς και η θέση του seeder σε αυτό.....	116
Σχέδιο 5.32: Η εκτέλεση της δοκιμής για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	116
Σχέδιο 5.33: Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B.....	117

Σχέδιο 5.34: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B	117
Σχέδιο 5.35: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B	118
Σχέδιο 5.36: Η αρχική τομή του Πρανούς 6 και η θέση του seeder σε αυτή	118
Σχέδιο 5.37: Η εκτέλεση της δοκιμής στο Πρανές 6 για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	118
Σχέδιο 5.38: Διάγραμμα των τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6	119
Σχέδιο 5.39: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6.....	119
Σχέδιο 5.40: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6	120
Σχέδιο 5.41: Η τομή του Πρανούς 7 και η θέση του seeder	120
Σχέδιο 5.42: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg	121
Σχέδιο 5.43: Διάγραμμα τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7	121
Σχέδιο 5.44: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7.....	122
Σχέδιο 5.45: Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7	122
Σχέδιο 5.46: Αποτυχημένη προσπάθεια ανάσχεσης της κατάπτωσης μόνο με τάφρο 1,5 * 1,5 m.....	124
Σχέδιο 5.47: Ανάσχεση της κατάπτωσης στο Πρανές 1 με συνδυασμό τάφρου και τοίχου ανάσχεσης	124
Σχέδιο 5.48: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με τον τοίχο ανάσχεσης	125
Σχέδιο 5.49: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στην τομή 2Α του Πρανούς 2 με τάφρο 1,5*2 m	125
Σχέδιο 5.50: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B του Πρανούς 2 με τάφρο 1,5*2 m	126
Σχέδιο 5.51: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 3 με τοίχο ανάσχεσης 1 m.....	126
Σχέδιο 5.52: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος από τα βραχοτεμάχια κατά την πρόσκρουσή τους σε αυτόν	127
Σχέδιο 5.53: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στο Πρανές 4 από τοίχο ύψους 1 m	127
Σχέδιο 5.54: Διάγραμμα της Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος του Πρανούς 4 κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια	128
Σχέδιο 5.55: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στην τομή 5Α του Πρανούς 5 από τοίχο ύψους 1 m.....	128
Σχέδιο 5.56: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στην τομή 5B του Πρανούς 5 από τοίχο ύψους 1 m.....	129
Σχέδιο 5.57: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος της τομής 5Α κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια	129

Σχέδιο 5.58: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος της τομής 5B κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια	130
Σχέδιο 5.59: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων από τοίχο ύψους 1 m στο Πρανές 6	130
Σχέδιο 5.60: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος στο Πρανές 6	131
Σχέδιο 5.61: Ανάσχεση καταπτώσεων στο Πρανές 7 από τοίχο ύψους 1,5 m μετά από εξομάλυνση του εδάφους.....	131
Σχέδιο 5.62: Διάγραμμα συνολικής κινητικής ενέργειας που δέχεται ο τοίχος στο Πρανές 7 λόγω την επαφής των βραχοτεμαχίων με αυτόν.....	132

Φωτογραφίες

Φωτογραφία 3.1: Άποψη του θεάτρου «Μελίνα Μερκούρη».....	51
Φωτογραφία 3.2: Τμήμα του 1ου πρανούς.....	54
Φωτογραφία 3.3: Τμήμα του 2ου πρανούς.....	54
Φωτογραφία 3.4: Τμήμα του 3ου πρανούς.....	55
Φωτογραφία 3.5: Τμήμα του 4ου πρανούς.....	56
Φωτογραφία 3.6: Πλάγια όψη 4ου πρανούς.....	56
Φωτογραφία 3.7: Τμήμα του 5ου πρανούς.....	57
Φωτογραφία 3.8: Τμήμα του 6ου πρανούς(Google Earth)	57
Φωτογραφία 3.9: Τμήμα του 7ου πρανούς.....	58
Φωτογραφία 3.10 (Δεξιά): Καρστικά φαινόμενα στο 1ο πρανές.....	60
Φωτογραφία 3.11: Δοκίμια ασβεστολίθου πριν τη δοκιμή point load	67
Φωτογραφία 3.12: Δοκίμια ασβεστολίθου μετά τη δοκιμή point load	68

Διαγράμματα

Διάγραμμα 3.1: Αξονική αναπαράσταση logP-logDe2 για τον προσδιορισμό του Is(50) στον ασβεστόλιθο.....	66
--	----

Χάρτες

Χάρτης 3.1: Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος (Μουντράκης 2010).....	44
Χάρτης 3.2: Γεωλογικός Χάρτης του Λεκανοπεδίου(Michael Foumelis, Ioannis Fountoulis, Ioannis D. Papanikolaou, Dimitrios Papanikolaou (2013): Geodetic evidence for passive control of a major Miocene tectonic boundary on the contemporary deformation field of Athens Gr.....	49
Χάρτης 3.3: Χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε κλίμακας 1:50.000, φύλλο “Κορωπί-Πλάκα” σε μεγέθυνση όπου φαίνεται το συγκεκριμένο σημείο στο οποίο βρίσκεται το θέατρο Βράχων (σημειωμένο με σκούρο μπλε χρώμα).....	59

Πίνακες

Πίνακας 3.1: Σταθερά συσχέτισης α για διάφορα πετρώματα (Νομικός 2015)	64
Πίνακας 3.2: Μετρήσεις για το σύνολο των δοκιμών στα οποία εφαρμόστηκε δοκιμή σημειακής φόρτισης.....	65
Πίνακας 3.3: Τα δοκίμια του επιλέχθηκαν βάση των μεγαλύτερων τιμών I_s	66
Πίνακας 3.4: Προφίλ επιφανειών με βάση τη τραχύτητά τους και οι εκάστοτε τιμές JRC....	75
Πίνακας 3.5: Γωνίες εσωτερικής τριβής για κάθε πρανές.....	76

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών με στόχο την επιτυχή ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών και την απόκτηση του διπλώματος μηχανικού του Ε.Μ.Π.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής χρειάστηκε να γίνουν αρχικά επί τόπου παρατηρήσεις και μετρήσεις στο χώρο της μελέτης αλλά και παραλαβή δειγμάτων από αυτόν τα οποία μετά από κατάλληλη επεξεργασία υποβλήθηκαν σε εργαστηριακές δοκιμές. Οι εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών με τον εξοπλισμό που ήταν διαθέσιμος σε αυτό. Στη συνέχεια συλλέχθηκαν και επεξεργάστηκαν τα δεδομένα που προέκυψαν από τις δοκιμές με στόχο τη μελέτη της ευστάθειας των πρηνών και τελικά την αποτροπή του κινδύνου καταπτώσεων.

Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο κ. Λουπασάκη Κωσταντίνο, Αναπληρωτή καθηγητή του Ε.Μ.Π. , όπου ως επιβλέπον της εργασίας συνείσφερε σημαντικά μέσω της καθοδήγησης και των υποδείξεών του που ήταν απαραίτητες για την εκπόνηση της πτυχιακής αυτής. Τον ευχαριστούμε ιδιαίτερα για το χρόνο που διέθεσε σε εμάς όποτε τον χρειαστήκαμε και την προθυμία του να μας βοηθήσει στην επίλυση οποιουδήποτε προβλήματος προέκυπτε.

Τέλος επιθυμία μας είναι να ευχαριστήσουμε και τις οικογένειές μας που μας στήριξαν με όποιο τρόπο μπορούσαν ώστε να πετύχουμε τους στόχους μας σε όλο το διάστημα που διήρκεσε η συγγραφή της εργασίας αυτής.

Περίληψη

Το θέμα της παρούσας εργασίας είναι η Ευστάθεια των πρηνών και οι δυνατότητες αποτροπής του κινδύνου καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στο πρώην λατομείο Εργάνη (λατομείο Θεάτρου Βράχων) στην περιοχή του Βύρωνα. Βασικός σκοπός της εργασίας είναι να εντοπιστούν και προβλεφθούν οι πιθανές αστοχίες και να προταθούν ενδεικτικά μέτρα για την αποτροπή βραχοπτώσεων ώστε να μην υπάρξουν υλικές ζημιές ή τραυματισμοί. Ο χώρος του πρώην λατομείου έχει πλέον αξιοποιηθεί από το δήμο Βύρωνα και το δήμο Δάφνης ως χώρος ψυχαγωγίας του κοινού. Το θέατρο Βράχων βρίσκεται δυτικά του όρους Υμηττού και είναι ένα από τα πολλά λατομεία που λειτουργούσαν παλαιότερα στην Αττική.

Στα πρώτα στάδια της μελέτης αναλύθηκε το γεωλογικό υπόβαθρο της επίμαχης περιοχής καθώς και η μορφολογία της μέσω παρατηρήσεων αλλά και με τη βοήθεια βιβλιογραφικού υλικού όπως χάρτες και προηγούμενες σχετικές μελέτες. Έπειτα προκειμένου η έρευνα να προχωρήσει αποτελεσματικά κρίθηκε αναγκαίο να διαχωριστεί ο συνολικός χώρος της μελέτης σε επτά επιμέρους πρηνή. Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά (κλίση, ύψος, διεύθυνση) των πρηνών εμφάνισαν σχετικά μεγάλο εύρος στο σύνολο του σχηματισμού γεγονός που οφείλεται στην παλαιότερη λατομική δραστηριότητα. Η περιοχή της μελέτης αποτελείται από Αλπικούς σχηματισμούς ενώ το υλικό που κυριαρχεί σε αυτούς είναι ο ασβεστόλιθος.

Ακολούθησε η πραγματοποίηση επί τόπου μετρήσεων με σκοπό την καταγραφή της κλίσης και της διεύθυνσης του κάθε πρανούς αλλά και της μέγιστης κλίσης και διεύθυνσης των ασυνεχειών που εντοπίστηκαν στο σχηματισμό. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εισήχθησαν στο υπολογιστικό πρόγραμμα Dips με στόχο τον προσδιορισμό των συστημάτων ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα και τον υπολογισμό μορφών δυνητικής αστοχίας. Επίσης πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης και σκληρότητας σε τεμάχια από το χώρο μελέτης για τον υπολογισμό των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του πετρώματος που συνθέτει το σχηματισμό.

Έπειτα έγιναν προσομοιώσεις καταπτώσεων βραχοτεμαχιών με εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα Rocfall ώστε να εκτιμηθούν τα απαραίτητα μέτρα προστασίας ιδιαίτερα στα σημεία από τα οποία διέρχεται και συγκεντρώνεται μεγάλος αριθμός πεζών και οχημάτων. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε ένας αριθμός προσομοιώσεων ξεχωριστά για κάθε πρανές με βάση δεδομένα που υπολογίστηκαν από τεμάχια που αποκολλήθηκαν από τη κυρίως μάζα στο παρελθόν. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το πρόγραμμα ήταν το ύψος αναπήδησης, η αναμενόμενη κινητική ενέργεια και η θέση που τα βραχοτεμάχια ολοκλήρωναν τη πορεία τους. Από τα στοιχεία αυτά υπολογίστηκαν τα κατάλληλα σημεία που τα μέτρα αντιμετώπισης θα πρέπει να τοποθετηθούν τα υλικά από τα οποία αυτά θα πρέπει να αποτελούνται (φέρουσα ικανότητα, ανθεκτικότητα) αλλά και οι διαστάσεις που αυτά θα πρέπει να έχουν.

Τέλος προτάθηκαν, λαμβάνοντας υπόψιν όλα αυτά, τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης των πιθανών δυνητικών αστοχιών σε κάθε πρανές ώστε να είναι ασφαλείς ο χώρος του Θεάτρου Βράχων για τόσο για τους επισκέπτες όσο και για αυτούς που εργάζονται σε αυτόν.

Abstract

The subject of the current paper is the stability conditions of the slopes and the possibilities of preventing the danger of rock falls at the ex-quarry named "Ergani" (quarry of Rock theater) in the area of Vyronas. The area of the ex-quarry has now been established by the town hall of Vyronas and Dafni as a place of public entertainment. The Rock Theater is situated west of mountain Immitos and is one of the multiple quarries that operated previously in the region of Attika.

At the first stages of the study we analyzed the geological background of the area of interest as well as its morphology through observations and with the help of bibliographic material such as maps and previous relative studies. Furthermore, to successfully forward the research of the study it was deemed necessary that the entire area of the study be broken apart into seven separate slopes. The morphological characteristics (tilt, height, direction) of the slopes presented a relatively large range in the entirety of the formation which is attributed to past activity related to the quarry's functions. The area of study is comprised of Alpine formations while the dominant material is limestone.

The study continued with the measurements taken at the grounds of interest by the use of a geological compass for the purpose of recording the tilt and the direction of each slope and also the maximum tilt and direction of discontinuities located on the formation. To continue

the selected data were inserted in the software "Dips" to determine the systems of discontinuities existent in the formation and to evaluate the potential failure models.

Later, we underwent simulations of rockfalls by importing data to the software "Rocfall" so that we could estimate the necessary protective measures, especially at the areas more likely to attract traffic and by passers. During this process each slope underwent a certain amount of simulations based on the data collected from rocks detached from the main slope in the past. The results produced by the software were used to determine the best possible features regarding the protective measures that are suggested.

Finally, taking into account all the previous information, we suggested the protective measures that we believe best counter the likely failures which could materialize, for the protection of all the visitors and the employees working in the area.

1. Εισαγωγή

Το Θέατρο Βράχων βρίσκεται ακριβώς στο όριο μεταξύ των Δήμων Βύρωνα και Δάφνης – Υμηττού δυτικά του όρους Υμηττού. Η δημιουργία του λατομείου στο σημείο αυτό είναι αποτέλεσμα του πλούτου της ευρύτερης περιοχής του Υμηττού σε ασβεστόλιθο από τον οποίο και αποτελούνται οι γύρω σχηματισμοί πράγμα που ισχύει και για πολλά άλλα λατομεία τοποθετημένα στην γύρω περιοχή.

Γενικότερα η ύπαρξη εγκαταλελειμμένων λατομείων τα οποία σταδιακά λόγω της ανάπτυξης του αστικού ιστού βρέθηκαν μέσα σε όρια κατοικημένων περιοχών δημιουργεί πρόβλημα με τη μορφή της μετεξορυκτικής όχλησης. Οπότε είθισται όταν τερματίζεται η λειτουργία μίας εξορυκτικής εκμετάλλευσης να ακολουθεί αποκατάσταση της περιοχής που επηρεάστηκε. Τα έργα αποκατάστασης διαμορφώνονται ανάλογα με τις ανάγκες της τοπικής κοινωνίας.

Τα ανενεργά λατομεία προκαλούν συγκεκριμένα μεγάλη οπτική ρύπανση καθώς διαταράσσουν τη φυσική ροή του τοπίου και δεν επιτρέπουν στη χλωρίδα της περιοχής να επιστρέψει στο σημείο που ήταν πριν τη κατασκευή του έργου. Επίσης υπάρχει πάντα ο κίνδυνος αυξημένης ρύπανσης και πρόκλησης ατυχημάτων σε αυτές τις περιπτώσεις λόγω της έλλειψης φωτισμού, φύλαξης και μέτρων προστασίας.

Για να λυθούν τα προβλήματα αυτά είναι απαραίτητη η διεξαγωγή μελέτης που συνυπολογίζοντας τις ιδιαιτερότητες της κάθε περίπτωσης οδηγούν στην πρόταση μέτρων για τη προστασία και ομαλή ενσωμάτωση των χώρων αυτών στο πολεοδομικό δίκτυο.

Το λατομείο στη συγκεκριμένη περιοχή λειτουργούσε για αρκετό καιρό με αποτέλεσμα η μορφολογία του τοπίου να αλλάξει δραστικά σε σχέση με την αρχική της μορφή καθώς και να δημιουργηθεί σημαντικό περιβαλλοντικό αποτύπωμα όπως συμβαίνει πάντα σε τέτοιες περιπτώσεις. Αυτό οδήγησε στην επέμβαση των αρμόδιων δημοτικών αρχών ξεκινώντας και ολοκληρώνοντας τη διαδικασία αποκατάστασης του χώρου καθαρίζοντας την περιοχή, δημιουργώντας ειδικό υποσταθμό για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, πραγματοποιώντας δενδροφύτευση στη περιοχή και κατασκευάζοντας ψυχαγωγικές εγκαταστάσεις.

Η λειτουργία του χώρου ως λατομείο έχει σταματήσει τουλάχιστον από το 1981 όπου πραγματοποιήθηκε η πρώτη παράσταση πριν καν υπάρξουν οι σημερινές εγκαταστάσεις του θεάτρου. Το 1986 ολοκληρωθήκαν οι εργασίες κατασκευής των Θεάτρων και από τότε μαζί με άλλες εγκαταστάσεις όπως τα γήπεδα ποδοσφαίρου που δημιουργήθηκαν αποτελεί χώρο αναψυχής που φιλοξενεί πληθώρα εκδηλώσεων και καλλιτεχνικών φεστιβάλ με αρκετή επιτυχία. Η διαχείριση του χώρου γίνεται μέσω του Διαδημοτικού Δικτύου Πολιτισμού των Δήμων Βύρωνα και Δάφνης.

Παρόλο που η λειτουργία του λατομείου έχει σταματήσει εδώ και αρκετά χρόνια και ο χώρος έχει αξιοποιηθεί δεν έχει πραγματοποιηθεί σχεδόν κανένα είδος μέτρου προστασίας για το περιορισμό των κινδύνων που ενέχει το σημείο ως πρώην εξορυκτικός χώρος οπότε και παραμένουν σε μεγάλο βαθμό. Αυτό εκφράζεται ιδιαίτερα με τη μορφή της πτώσης βράχων κυρίως λόγω ύπαρξης επικρεμάμενων τεμαχίων στην επιφάνεια του πρανούς που παρέμεινε ως επί το πλείστο όπως ήταν στην περίοδο εκμετάλλευσης του λατομείου. Οπότε και είναι απαραίτητη η μελέτη για το καθορισμό της επικινδυνότητας του χώρου από άποψη ευστάθειας των πρανών της περιοχής και ανάλογα με τα αποτελέσματα της μελέτης να προταθούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων από τους αρμόδιους φορείς ώστε ο χώρος να καταστεί ασφαλής για όλους.

2 Πρανή και ευστάθεια πρανών

2.1 Πρανή

Τα πρανή ορίζονται ως κεκλιμένοι φυσικοί ή τεχνητοί σχηματισμοί εδάφους ή βράχου. Σε κάθε πρανές η διαφορά στάθμης και οι κλίσεις που το χαρακτηρίζουν δημιουργούν δυνάμεις βαρύτητας οι οποίες, σε συνδυασμό με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται από την πιθανή παρουσία νερού στο έδαφος, δημιουργούν με την σειρά τους διατμητικές τάσεις στο εσωτερικό τους που τείνουν να μετακινήσουν την μάζα τους ούτως ώστε να εξομαλύνουν το έδαφος. Στις τάσεις αυτές αντιτίθεται η διατμητική αντοχή του εδάφους και στην περίπτωση που αυτές την υπερβούν, τότε οδηγούν σε θραύση του πρανού και σε κατολίσθηση (Turner & Schuster, 1996).

Τα πρανή που χαρακτηρίζονται ως τεχνητά είναι ανθρώπινα δημιουργήματα τα οποία συνήθως παρουσιάζονται σε γεωτεχνικά και μεταλλευτικά έργα όπως η εξόρυξη διαφόρων μορφών, η κατασκευή δρόμων και παρόμοιων υποδομών αλλά και η δημιουργία φραγμάτων. Η κατασκευή τους αποτελείται είτε από την εκσκαφή φυσικού εδαφικού υλικού είτε από τη μεταφορά και εναπόθεση φυσικών υλικών σε επιθυμητά σημεία ,διαδικασία που είναι γνωστή ως επιχωμάτωση.

Η μορφή με την οποία τα φυσικά πρανή παρουσιάζονται στη φύση είναι με μεγάλη μάζα εδαφικού υλικού που έχει συγκεντρωθεί με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι σε κλίση (όπως σε ένα λόφο). Σχηματίζονται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου και η δημιουργία τους αποδίδεται σε φυσικές διεργασίες (αποσάθρωση ,διάβρωση κ.α.) χωρίς την ύπαρξη ανθρώπινου παράγοντα. Οι λόγοι αστοχίας ενός φυσικού πρανού είναι κατά βάση φυσικοί, γεωλογικοί και γεωτεχνικοί. Πιο συγκεκριμένα οι λόγοι αυτοί μπορούν να εκφραστούν ως σεισμοί, παγετώνες, ηφαιστειακή δραστηριότητα κ.α. Τέλος αστοχία μπορεί να επέλθει και από ανθρώπινη δραστηριότητα κατά τη διάρκεια κατασκευής έργων υποδομών αλλά και εκμετάλλευσης ορισμένων πόρων.

Οι μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας πρανών χωρίζονται σε τρεις πολύ βασικές κατηγορίες, τις συμβατικές, εμπειρικές και τις αριθμητικές (Λουπασάκης,2016).

Οι συμβατικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις:

- 1) Μεθόδους οριακής ισορροπίας
- 2) Στερεογραφικές ή κινηματικές μεθόδους ανάλυσης
- 3) Μεθόδους προσομοίωσης καταπτώσεων

Οι εμπειρικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις:

- 1) Μεθόδους που συνδυάζονται με ταξινομήσεις βραχομάζας
- 2) Μεθόδους που βασίζονται σε εμπειρικά νομοδιαγράμματα

Οι αριθμητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις:

- 1) Μεθόδους πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών
- 2) Μεθόδους διακριτών στοιχείων και αναλύσεις παραμόρφωσης ασυνεχούς μέσου

Επίσης, κάποιες μέθοδοι λειτουργούν συνδυαστικά χρησιμοποιώντας περισσότερες από μια από τις παραπάνω ταυτόχρονα για να εφαρμοστούν.

2.1.1 Ευστάθεια πρανών σε εξάρτηση με τα στατικά φορτία

Σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ευστάθεια των πρανών είναι η βαρύτητα η οποία κατηγοριοποιείται σαν παράγοντας αστάθειας σε σχέση με το πρανές εφόσον έχει τη τάση να μετακινήσει τμήμα της μάζας του εδάφους προς το κέντρο της γης αλλά και προς την εξωτερική πλευρά του πρανούς. Παράγοντες που συμβάλλουν στην ευστάθεια του πρανούς είναι η συνοχή και εσωτερική τριβή με την τάση τους να διατηρήσουν τη συνοχή μεταξύ των υλικών που αποτελούν το πρανές προβάλλοντας έτσι αντίσταση σε τυχόν αλλαγή της θέσης τους. Η ευστάθεια των πρανών επίσης διαμορφώνεται και από κάποια ακόμα χαρακτηριστικά του εδάφους δηλαδή τη στρώση τη δηλαδή του, την περιεκτικότητα του πρανούς σε νερό και ο τρόπος που επηρεάζεται από αυτό. Τέλος στην ευστάθεια συμβάλλουν και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες αλλά και οι χρονική μεταβολή τάσης - παραμόρφωσης. Για να εφαρμοστούν με επιτυχία οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας πρανών γίνεται η υπόθεση της ύπαρξης κάποιου είδους αστοχίας. Στην περίπτωση που το προς μελέτη υλικό είναι βραχώδες τα είδη αστοχίας είναι τα εξής (Χρηστάρας & Μαρίνος, 2012) :

- Επίπεδες αστοχίες (planar failures) ελέγχονται από μία μόνο επιφάνεια ασυνέχειας που προβάλλει στο πρόσωπο του πρανούς.
- Σφηνοειδείς αστοχίες (wedge failures) περιλαμβάνουν μια αστοχούσα μάζα που καθορίζεται από δύο επιφάνειες ασυνεχειών που τέμνονται κατά μία γραμμή με κατηφορική κλίση προς το μέτωπο του πρανούς.
- Αστοχίες ανατροπής (toppling failures) περιλαμβάνουν πλάκες ή κολώνες (στύλους) βράχου που οροθετούνται από ασυνέχειες που βυθίζονται απότομα στο μέτωπο του πρανούς (αντίρροπα με το πρανές).
- Κυκλικές αστοχίες (circular failures) πραγματοποιούνται σε βραχομάζας που είτε είναι έντονα διακλασμένες (χωρίς να προβάλλει κάποια σαφώς επικρατούσα και δυσμενής προσανατολισμός), ή αποτελούνται από υλικά με χαμηλή αντοχή του άρρηκτου πετρώματος.

2.1.2 Ευστάθεια πρανών έναντι στατικών φορτίων

Ξεκινώντας με την αποδοχή της υπόθεσης ύπαρξης κάποιου είδους αστοχίας, γίνεται η πραγματοποίηση της ανάλυσης με μεθόδους οριακής ισορροπίας με σκοπό να προσδιοριστεί συντελεστής που με την τιμή του θα καθορίζει τον βαθμό ασφαλείας του πετρώματος δηλαδή την αντοχή που θα έχει μέχρι την επίτευξη της θραύσης ή της ολίσθησής του. Ο συγκεκριμένος συντελεστής λέγεται “Στατικός Συντελεστής Ασφαλείας” και συμβολίζεται με **FS**. Ο Στατικός Συντελεστής Ασφαλείας ορίζεται ως ο λόγος του συνόλου των δυνάμεων ή ροπών που ανθίστανται στην ολίσθηση και που οφείλονται στη διατμητική αντοχή του εδάφους, προς τις αντίστοιχες δυνάμεις ή ροπές που συνεισφέρουν στην αστάθεια του πρανού (Χαραλάμπους, 2005). Στη περίπτωση που η τιμή του συντελεστή είναι η μονάδα τότε επιτυγχάνεται οριακή ισορροπία στο πρανές. Αν αντιθέτως η τιμή είναι μικρότερη τότε το πρανές εμφανίζει αστάθεια και πιθανότητα δημιουργίας κατολίσθησης. Βάση των υφιστάμενων προδιαγραφών των Ο.Μ.Ο.Ε οι τιμές του συντελεστή ασφαλείας πρέπει να υπερβαίνουν το 1,3 όταν στις επιλύσεις λαμβάνεται υπόψιν η ύπαρξη νερού και 1,4 όταν δεν λαμβάνεται υπόψιν η παρουσία νερού. Επίσης σε περίπτωση που κατά τις επιλύσεις λαμβάνεται υπόψιν η σεισμική δράση η τιμή του συντελεστή ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον 1. Οι τιμές βάσει του κανονισμού είναι 1,3 αν έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη νερού και 1,4 με την απουσία του. Επίσης σε περίπτωση πιθανού σεισμού η τιμή του συντελεστή ασφαλείας πρέπει να είναι τουλάχιστον 1.

2.2 Κατολισθήσεις – Αστοχίες πρανών

Ως **κατολισθήσεις** ορίζονται οι μετακινήσεις που λαμβάνουν χώρα σε φυσικά ή τεχνητά πρανή. Ωστόσο επειδή ο όρος κατολίσθηση πέρα από τις ολισθήσεις συμπεριλαμβάνει και φαινόμενα όπως οι ερπυσμοί και οι ανατροπές καθώς και διάφορα άλλα δεν περιγράφει ικανοποιητικά το γενικότερο φαινόμενο. Ο **Varnes (1978)** εισήγαγε τον όρο: “**μετακίνηση μαζών**” (**mass movements**) αλλά στον όρο αυτό κάποια φαινόμενα οι καθιζήσεις (ground subsidences), οι χιονοστιβάδες (snow avalanches) αλλά και οι μετακινήσεις πάγου δεν περιλαμβάνονται.

Άλλος ορισμός που δόθηκε από τον **Terzaghi (1950)** για την κατολίσθηση την αναφέρει ως μία γρήγορη κίνηση μάζας πετρώματος, υπολειμματικού (residual) εδάφους ή ιζήματος ενός πρανού, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Ένας ακόμα ορισμός από τους **Zarumba & Mencl (1969)** για την κατολίσθηση την ορίζει ως μία γρήγορη κίνηση πετρωμάτων λόγω της ολίσθησης τμήματος του πρανού που μέσω μίας καλά καθορισμένης επιφάνειας διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα.

2.2.1 Κατηγοριοποίηση κατολισθήσεων βάσει των κριτηρίων του Varnes

Το σύστημα ταξινόμησης που πρότεινε ο **Varnes** χρησιμοποιεί δύο βασικά κριτήρια :

α) Τον **τύπο μετακίνησης**

Βάσει του τύπου της μετακίνησης γίνεται διάκριση σε: ροές, καταπτώσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, ανατροπές, ερπυσμούς και ολισθήσεις. Επίσης έχουν καταγραφεί και περιπτώσεις που συνδυάζουν τους προηγούμενους τύπους.

β) Το **υλικό που μετακινείται**

Αντίστοιχα ανάλογα με το είδος του υλικού που μετακινείται γίνεται διαχωρισμός σε:

- 1) βραχώδες υπόβαθρο (bedrock) και
- 2) εδαφικούς σχηματισμούς (engineering soils) που κατ'επέκταση κατηγοριοποιούνται σε κορήματα (debris) και γαίες (earth)

Για την καλύτερη κατανόηση της ταξινόμησης αυτής αναφέρεται πως ως (Varnes, 1978):

Βραχώδες υπόβαθρο ορίζεται κάθε σκληρό συνεκτικό πέτρωμα (βράχος ή ημίβραχος).

Έδαφος ορίζονται τα χαλαρά ή ασθενώς συνδεδεμένα συσσωματώματα ορυκτών και πετρωμάτων.

Γαίες ορίζονται τα εδαφικά υλικά τα οποία με βάση τη μηχανική τους ταξινόμηση περιέχουν ποσοστό μεγαλύτερο του 80 % σε άμμο, ιλύ και άργιλο.

Κορήματα ορίζονται τα εδαφικά υλικά τα οποία περιέχουν ποσοστό έως και 80 % σε χαλίκια, κροκάλες, λατύπες και ογκόλιθους ενώ το υπόλοιπο ποσοστό τους αποτελείται από λεπτομερή υλικά.

Ο **Varnes** έχει επίσης κάνει ταξινόμηση το κατολισθήσεων σε σχέση με την **ταχύτητά** τους στις εξής κατηγορίες:

- 1) Πάρα πολύ αργές (ταχύτητα < από 0.06 μέτρα /χρόνο)
- 2) Πολύ αργές (ταχύτητα από 0.06 – 1.5 μέτρα /χρόνο)
- 3) Αργές (ταχύτητα από 1.5 μέτρα /χρόνο έως 1.5 μέτρα/μήνα)
- 4) Μέτριες (ταχύτητα από 1.5 μέτρα /μήνα έως 1.5 μέτρα/μέρα)
- 5) Γρήγορες (ταχύτητα από 1.5 μέτρα /μέρα έως 0.3 μέτρα/λεπτό)
- 6) Πολύ γρήγορες (ταχύτητα από 0.3 μέτρα /λεπτό έως 3 μέτρα/δευτερόλεπτο)
- 7) Πάρα πολύ γρήγορες (ταχύτητα > από 3 μέτρα/δευτερόλεπτο)

Τέλος έχει γίνει ταξινόμηση των κατολισθήσεων και σε σχέση με την **ενεργότητά** τους βάση της οποίας χωρίζονται τις ακόλουθες κατηγορίες (Λουπασάκης ,2015):

- 1) Ενεργές οι οποίες παρουσιάζουν δραστηριότητα κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο (νέες ή επανεργοποιημένες).
- 2) Παροδικά ανενεργές αυτές δηλαδή που παρουσίασαν δραστηριότητα κατά τον τελευταίο εποχικό κύκλο αλλά τώρα είναι αδρανείς.
- 3) Ανενεργές οι οποίες παραμένουν αδρανείς για περισσότερο από ένα εποχικό κύκλο.
- 4) Ενεργοποιήσιμες ή σε λανθάνουσα κατάσταση όπου τα αίτια εξακολουθούν να υφίστανται.
- 5) Μη ενεργοποιήσιμες. Σε αυτές τα αίτια έχουν εκλείψει.
- 6) Παλιές, αρχαίες, προϊστορικές, απολιθωμένες που είναι πολύ παλιές ανενεργές κατολισθήσεις.

2.2.2 Μορφές κατολισθήσεων

2.2.2.1 Καταπτώσεις (Falls)

Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να περιγράψει την αποκόλληση τμήματος απότομου πρανούς αποτελούμενο από βραχώδες ή συνεκτικό εδαφικό υλικό κατά μήκος μίας επιφάνειας της οποίας η διατμητική μετατόπιση είναι πολύ μικρή έως μηδενική. Στη συνέχεια το τμήμα του πρανούς που αποκολλήθηκε πραγματοποιεί ελεύθερη πτώση με τη μορφή είτε κύλισης είτε αναπήδησης σε μια διαδικασία που ονομάζεται κατάπτωση. Η ταχύτητα της μετακίνησης που λαμβάνει χώρα είναι πολύ έως πάρα πολύ γρήγορη. Τέλος αναφέρεται πως είναι πιθανό να έχουν προϋπάρξει μετακινήσεις που σταδιακά οδήγησαν στην απομάκρυνση του τμήματος που αποκολλήθηκε από το κυρίως πέτρωμα.

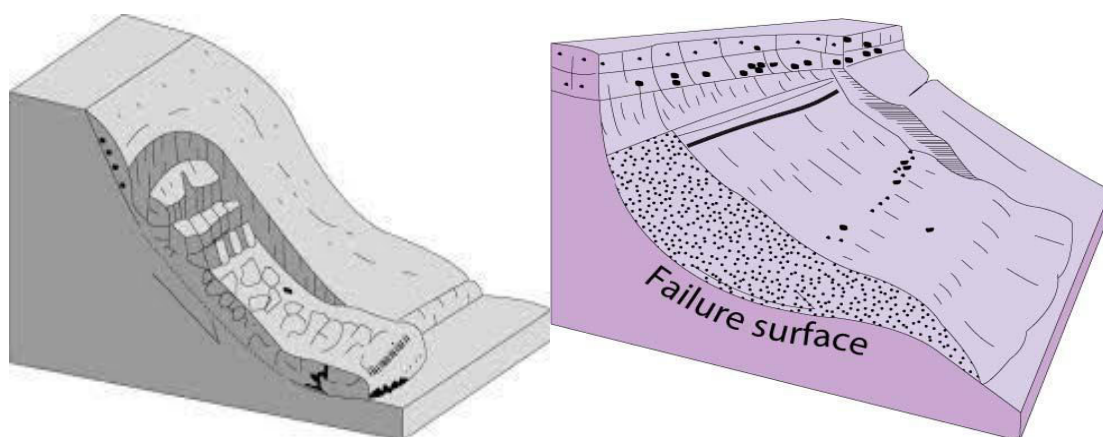


Εικόνα 2.1: Κατάπτωση βράχων στο οδικό δίκτυο Πλωμαρίου – Μελίντας, (Η Καθημερινή, <https://www.kathimerini.gr>, 2018)

2.2.2.2 Ολισθήσεις (Slides)

Στη περίπτωση αυτή πραγματοποιείται αρχικά διατμητική παραμόρφωση και σταδιακή μετατόπιση του υλικού που εν τέλη θα καταλήξει στη διατμητική θραύση του σε επιφάνεια που θα ορίζεται από μία ή και περισσότερες μέσα στα όρια μικρής σχετικά. Η μορφή της επιφάνειας κατά μήκος της οποίας θα πραγματοποιηθεί η αστοχία γίνεται να είναι επίπεδη σε κάποιες περιπτώσεις και σε άλλες κυκλική. Εάν ο σχηματισμός στον οποίο πραγματοποιείται η ολίσθηση είναι βραχώδεις τότε είναι πιθανό η επιφάνεια αστοχίας να συμπίπτει με επιφάνειες ασυνεχειών που έχουν έντονη διαμόρφωση. Η πρόοδος της διατμητικής θραύσης καθορίζει το αν η μετακίνηση θα είναι απότομη(ακαριαία) ή αν θα είναι σταδιακή. Επίσης το τμήμα που θα αποχωριστεί από την κυρίως μάζα υπάρχει το ενδεχόμενο είτε να διασπαστεί σε επιμέρους τμήματα κατά τη διάρκεια της ολίσθησης είτε παραμείνει συμπαγές (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Οι ολισθήσεις χωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες: Τις περιστροφικές (rotational) και τις μεταθετικές (translational).



Σχέδιο 2. 1 (Αριστερά): Αναπαράσταση Μεταθετικής ολίσθησης (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)

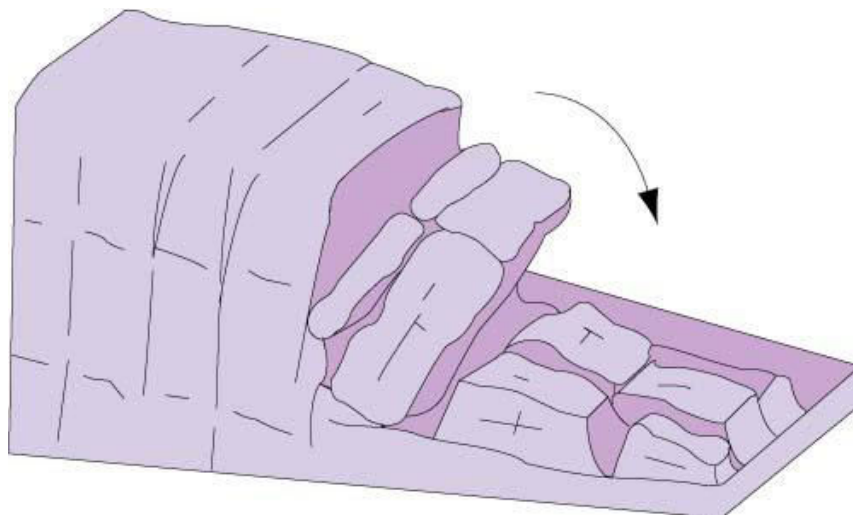
Σχέδιο 2. 2 (Δεξιά): Αναπαράσταση Περιστροφικής ολίσθησης (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)

2.2.2.3 Ανατροπές (Toppling)

Ως ανατροπή ορίζεται η προς τα έξω περιστροφική κίνηση τμήματος μάζας με βάση έναν άξονα περιστροφής που εμφανίζεται σε σημείο πιο χαμηλό από το κέντρο βάρους της μάζας που τίθεται σε κίνηση. Η κίνηση αυτή είναι βασικά αποτέλεσμα δυνάμεων βαρύτητας που εφαρμόζονται από τα γύρω τεμάχια αλλά και από την επιρροή του νερού βρίσκεται σε ασυνέχειες και ρωγματώσεις με τη μορφή υδροστατικών πιέσεων αλλά και άλλων φαινομένων. Ο τρόπος με τον οποίο η ανατροπή και κατ' επέκταση η κίνηση του τμήματος που αποκολλήθηκε θα εξελιχθεί εξαρτάται από τη γεωλογική διαμόρφωση του πρανούς, της μάζας που μετακινείται αλλά και της επιφάνειας αποκόλλησης και μπορεί να έχει τη μορφή πτώσης ή ολίσθησης. Η κίνηση που πραγματοποιείται υπάρχει το ενδεχόμενο να είναι στην αρχή της διαδικασίας εξαιρετικά αργή από άποψη ταχύτητας αλλά στη συνέχεια έχει τη δυνατότητα να γίνει εξαιρετικά γρήγορη όσο πλησιάζει τα τελευταία στάδια (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Η ταξινόμηση των ανατροπών από τους Hoek & Bray (1977) και τους Goodman & Bray (1976) γίνεται ως εξής:

- Ανατροπή λόγω κάμψης (flexural toppling)
- Ανατροπή τεμαχίων (block toppling)
- Ανατροπή τεμαχίων λόγω κάμψης (block – flexural toppling)
- Δευτερογενής ανατροπές (secondary toppling)

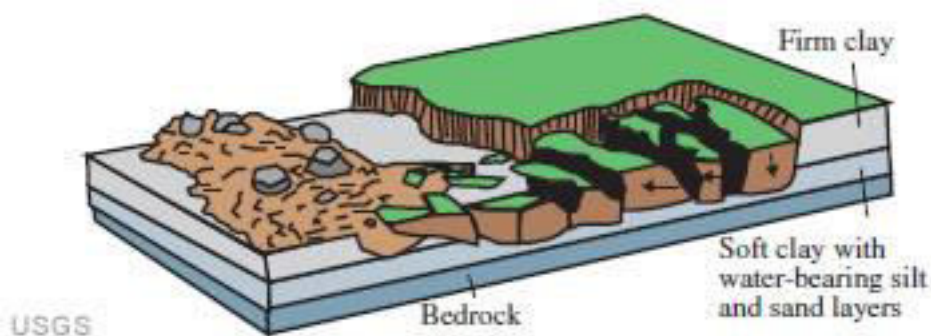


Σχέδιο 2.3: Αναπαράσταση ανατροπής τεμαχίων (British Geological Survey, www.bgs.ac.uk)

2.2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις (*Lateral spreads*)

Είναι ουσιαστικά υποοριζόντιες μετακινήσεις που λαμβάνουν χώρα σε στρώσεις αποτελούμενες από υλικά με μηχανικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται ως ασθενή. Στη κατηγορία αυτή παρατηρείται πως η ύπαρξη διατμητικών και εφελκυστικών ρωγμών κάνουν τη συνολική μετακίνηση πιο εύκολη (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007). Με αυτή τη βάση διακρίνονται τρία είδη πλευρικών εξαπλώσεων τα οποία είναι:

- 1) **Εξάπλωση τεμαχίων (block spreads)** η οποία εκδηλώνεται σε βραχώδεις σχηματισμούς που βρίσκονται πάνω από άλλους ασθενέστερους και είναι εξαιρετικά αργή κίνηση.
- 2) **Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads)**. Η κατηγορία αυτή εκδηλώνεται σε ευαίσθητες αργίλους ή σε ρευστοποιήσιμους σχηματισμούς και είναι φαινόμενο που αναπτύσσει πολύ μεγάλη ταχύτητα και συμβαίνει χωρίς μεγάλη προειδοποίηση.
- 3) **Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)**.



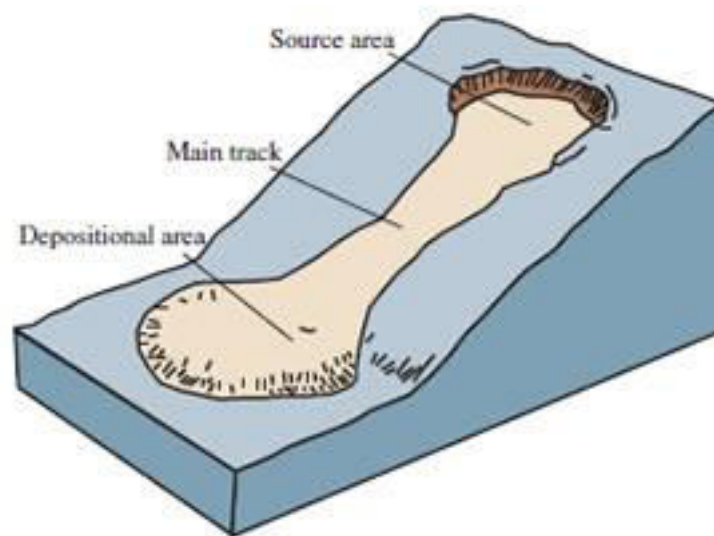
Σχέδιο 2.4: Αναπαράσταση πλευρικής εξάπλωσης (www.Geology.com)

2.2.2.5 Ροές (*Flows*)

Είναι φαινόμενο που εκδηλώνεται βασικά σε υλικά που είναι όπως και σε βραχώδεις σχηματισμούς και υπάρχει διαχωρισμός σε σχέση με το αν είναι υγρές ή ξηρές αλλά και αν είναι γρήγορες ή αργές. Παρατηρείται στις ροές ότι υπάρχει σημαντική ανακίνηση και παραμόρφωση της μάζας υλικού που μετακινείται καθώς και έλλειψη επιφανειών που είναι έντονα και ξεκάθαρα διαμορφωμένες (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Οι ροές διακρίνονται σε ορισμένες κατηγορίες οι οποίες είναι:

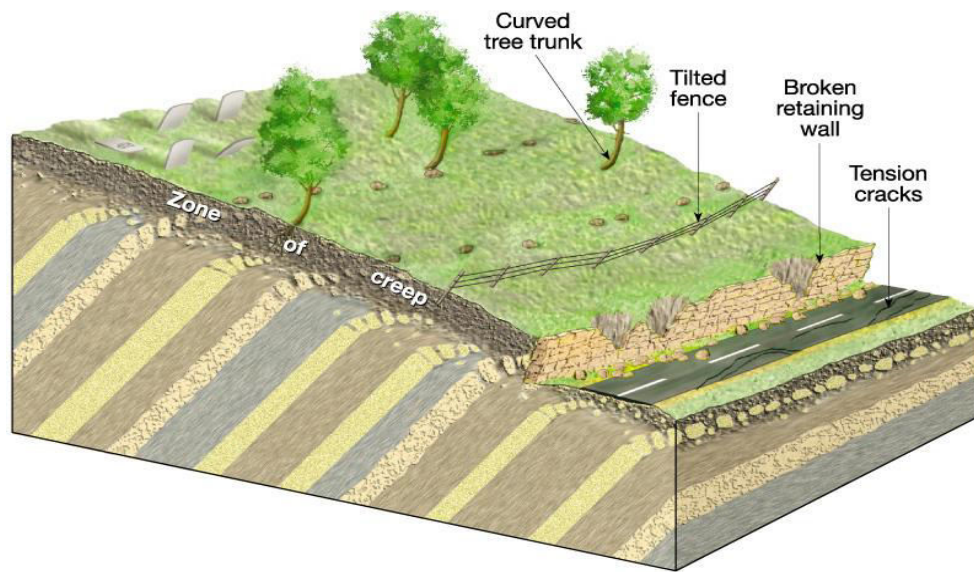
- 1) Οι ροές βραχωδών σχηματισμών που πρόκειται για εξαιρετικά αργές παραμορφώσεις χωρίς σαφή επιφάνεια ολίσθησης.
- 2) Οι ροές κορημάτων (Debris flow) στις οποίες έχουμε μετακινήσεις ξηρών έως υγρών εδαφικών υλικών. Έχουμε:
 - α) Ξηρή ροή κορημάτων χωρίς παρουσία νερού δηλαδή.
 - β) Χιονοστιβάδα κορημάτων που είναι πολύ γρήγορη κίνηση με αυξημένη περιεκτικότητα νερού.
- 3) Οι ροές γαιών που λαμβάνουν χώρα στο μανδύα αποσάθρωσης και έχουν αυξημένο ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών σε σχέση με τις ροές κορημάτων (τουλάχιστον 50% λεπτομερές κλάσμα)



Σχέδιο 2.5: Αναπαράσταση ροής γαιών (www.Geology.com)

2.2.2.6 Ερπυσμοί (Creep)

Οι ερπυσμοί είναι ροές μικρής ταχύτητας που παρατηρούνται στο μανδύα αποσάθρωσης των πετρωμάτων αλλά και στα ανώτερα στρώματα του εδαφικού μανδύα. Το μεγαλύτερο βάθος κινούμενης μάζας των τμημάτων στα οποία οι ροές εμφανίζονται είναι τα δύο με τρία(2-3) μέτρα και η έκταση των τμημάτων αυτών συνήθως είναι αρκετά μεγάλη. Στη κυρίως μάζα των υλικών που μετακινούνται εντοπίζονται κυματοειδής παραμορφώσεις επίσης στις περισσότερες περιπτώσεις δεν διαμορφώνονται εφελκυστικές και διατμητικές. Ενδείξεις που οδηγούν στον εντοπισμό ερπυσμών είναι κορμοί δέντρων που παρουσιάζουν κάμψη αλλά και στύλοι που έχουν κλίση σε σχέση με την αρχική τους τοποθέτηση(Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).



Σχέδιο 2.6: Αναπαράσταση περίπτωσης ερπυσμού (School of Environmental Sciences, University of Guelph, www.uoguelph.ca)

2.2.2.7 Σύνθετες Μετακινήσεις πρανών

Είναι οι περίπτωση που έχουμε συνδυασμό μετακινήσεων και έχουμε δύο κατηγορίες (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

- Composite slides όταν την ίδια στιγμή σε διαφορετικά σημεία της κατολισθαίνουσας μάζας έχουμε διαφορετικά είδη κατολισθήσεων.
- Complex slides όταν η κατολίθση ξεκινάει με ένα τύπο κατολίθσης που στη συνέχεια αντικαθίσταται από έναν άλλο.

2.3 Καταπτώσεις

Οι καταπτώσεις είναι ένα φαινόμενο που έχει ήδη αναφερθεί στη συγκεκριμένη μελέτη αλλά επειδή είναι η βασική περίπτωση κατολίθσης που θα μπορούσε να παρουσιαστεί στα υπό μελέτη πρανά θα γίνει ανάλυση των χαρακτηριστικών της σε μεγαλύτερο βάθος στο σημείο αυτό.

Γενικά με τον όρο κατάπτωση βραχοτεμαχίου ή βραχόπτωση, χαρακτηρίζεται η αποκόλληση τμήματος εδάφους ή βράχου από απότομο πρανές κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή (Αντώνης Κ. Αντωνιάδης, 2018). Το μέγεθος των βραχοτεμαχίων ποικίλει, από μικρές κροκάλες μέχρι και μεγάλους ογκόλιθους με όγκο εκατοντάδων κυβικών μέτρων, και η ταχύτητα με την οποία κινούνται κυμαίνεται από λίγα έως και δεκάδες μέτρα το δευτερόλεπτο.

Άλλοι ορισμοί που έχουν δοθεί για τις καταπτώσεις είναι από τους:

- **Varnes (1978)** που όρισε την κατάπτωση ως την κίνηση ενός βραχώδους όγκου οποιουδήποτε μεγέθους, λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, κύλισης ή αναπήδησης του τεμάχους, η οποία προκαλείται από την απότομη αποκόλλησή του από πρανή με μεγάλη κλίση, κατά μήκος μιας επιφάνειας στην οποία δεν εκδηλώνεται σημαντική κίνηση. Η κίνηση είναι γρήγορη και συνήθως αυξάνει προς τα κάτω λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Πρόκειται για συνήθη φαινόμενα σε απότομα βραχώδη πρανή και ακτές, λόγω της δράσεως των κυμάτων ή λόγω σεισμικών κινήσεων.
- **Chen et al. (1994)** που περιέγραψαν ως απότομες κινήσεις ανεξάρτητων τεμαχίων από απότομα πρανή.
- **Lee και Elliot (1998)** που όρισαν τις βραχοπτώσεις ως προς τα κάτω κίνηση βράχων σε φυσικές πλαγιές ή βραχοτεμαχίων αποκοπτόμενων από ελεύθερα μέτωπα πρανών, που από τη στιγμή που δεν περιορίζονται υπάρχει ο κίνδυνος να καταστρέψουν κατά τη διάρκεια της πορείας τους, εγκαταστάσεις αλλά και να παρακλώσουν τη κυκλοφορία ενός οδικού δικτύου.
- **Richards (1988)** ο οποίος συγκέντρωσε τα χαρακτηριστικά μιας κατάπτωσης και έδωσε τον ορισμό της ως βραχόπτωση ως εξής : Το γεγονός περιλαμβάνει ένα ή μια ομάδα τεμαχίων που αποκολλώνται από ένα μέτωπο πρανούς. Κάθε κομμάτι συμπεριφέρεται λιγότερο ή περισσότερο ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Υπάρχει αποκόλληση από το υποκείμενο επίπεδο, μεγάλη επιτάχυνση κατά την πτώση και ανάπτυξη σημαντικής κινητικής ενέργειας.

Ανάλογα με το μέγεθός τους οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με τους Μ.Σακελλαρίου, Σ. Κοζάνης, Σ. Γουλάκος (1995):

- ✓ Τις καταπτώσεις μεγάλης κλίμακας με διαστάσεις φυσικής καταστροφής.
- ✓ Καταπτώσεις μικρότερης κλίμακας που επηρεάζουν ορεινά συγκοινωνιακά δίκτυα και δίκτυα τα οποία διέρχονται μέσα από ορύγματα.
- ✓ Καταπτώσεις μικρότερης έκτασης που είναι όμως επικίνδυνες.

Πέρα από τις καταπτώσεις που έχουν μαζικό χαρακτήρα υπάρχουν και οι περιπτώσεις μεμονωμένων.

Στη περίπτωση αυτή ένας αριθμός βραχοτεμαχίων ποικίλων μεγεθών αποχωρίζεται από τη κυρίως βραχομάζα και κινούμενα έχουν τη δυνατότητα να κατευθυνθούν προς τα κάτω. Τις περισσότερες φορές η διαδικασία αυτή είναι πολύ επικίνδυνη ειδικά σε περιοχές με μεγάλη κλίση όπως βουνά και τεχνητά πρανή καθώς το ενδεχόμενο να προκληθούν ζημιές σε δίκτυα συγκοινωνίας, δομικά έργα, δημόσιες και ιδιωτικές εγκαταστάσεις αλλά και να υπάρξουν απώλειες σε ανθρώπινες ζωές είναι μεγάλο.

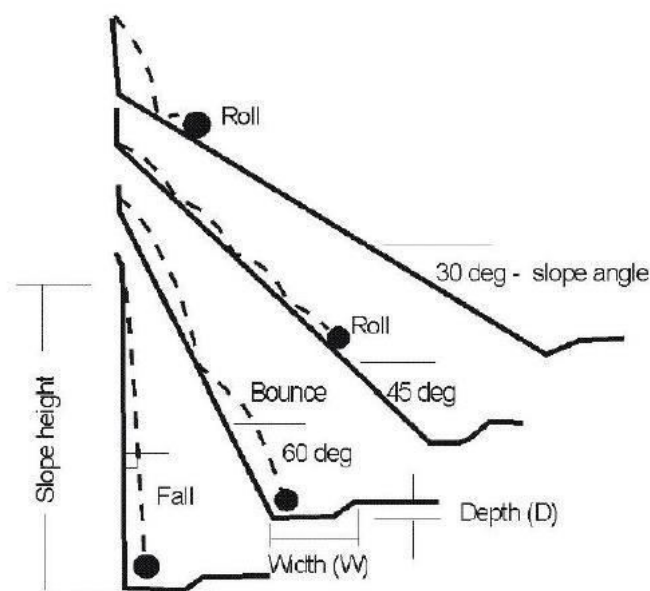
Επειδή πρόβλημα όπως αναφέρθηκε εντοπίζεται κυρίως σε ορεινές περιοχές, εμφανίζεται αρκετά συχνά στον Ελλαδικό χώρο. Αυτό αποδεικνύεται και από μελέτες που έλαβαν χώρα στην Ελληνική επικράτεια που έδειξαν πως η πιο συνηθισμένη μορφή κατολισθήσεων σε βραχώδεις σχηματισμούς είναι οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων σε ποσοστό μεγαλύτερο του 50%.

2.3.1 Γεωμετρία Πρανούς

Η τροχιά που ένα βραχοτεμάχιο θα ακολουθήσει βασικά καθορίζεται από τη γεωμετρία του πρανούς (Hoek, 2000).

Η διαδικασία της λεπτομερούς καταγραφής της γεωμετρίας μιας πλαγιάς για ένα μεγάλο μήκος όπως για παράδειγμα κατά μήκος ενός αυτοκινητοδρόμου, είναι απαγορευτική από άποψη χρόνου και χρήματος (Stevens Warren D.,1998). Οπότε η πιο συχνά εφαρμοζόμενη μέθοδος είναι η έρευνα σε συγκεκριμένα σημεία και τομές ενός τοπογραφικού το εμφανίζουν το μεγαλύτερο κίνδυνο εκδήλωσης πιθανής κατάπτωσης βραχοτεμαχίων.

Το τελευταίο κομμάτι της πορείας ενός βραχοτεμαχίου που βρίσκεται σε κίνηση στην επιφάνεια ενός πρανούς είναι αυτό που θα καθορίσει σε μεγαλύτερο βαθμό την τροχιά που αυτό θα ακολουθήσει εφόσον θεωρηθεί σαν δεδομένο ότι η ταχύτητά του σταδιακά θα αυξάνεται. Αυτό σημαίνει ότι αν το τελευταίο τμήμα της επιφάνειας του πρανούς τερματίζεται απότομα το βραχοτεμάχιο θα πραγματοποιήσει μία σχετικά ομαλή κατακόρυφη πτώση αρκετά κοντά στη βάση του πρανούς. Αν ωστόσο το τελευταίο τμήμα του πρανούς δημιουργεί ένα είδος πλατφόρμας ή ράμπας τότε το τεμάχιο θα αποκτήσει μεγαλύτερη ώθηση και θα καταλήξει αρκετά πιο μακριά από ότι στη πρώτη περίπτωση. Επειδή η δεύτερη περίπτωση είναι η πιο απαιτητική από άποψη προβλημάτων που έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει και μέτρων αντιμετώπισης είναι και αυτή που κυρίως θα μελετηθεί.



Σχέδιο 2.7: Περιγραφή μεταβολής της τροχιάς σε σχέση με την κλίση του πρανούς (Ritchie, 1963)

2.3.2 Τροχιά των βράχων

Η τροχιά του βράχου είναι ουσιαστικά η πορεία που θα ακολουθήσει το τεμάχιο από τη στιγμή που θα αποκολληθεί από το κύριο σώμα της βραχώμαζας και μέχρι να σταματήσει να κινείται.

Η κίνηση που θα κάνει, δηλαδή η τροχιά που θα πραγματοποιήσει, διακρίνεται σε τέσσερις φάσεις:

- Ολίσθηση
- Ελεύθερη πτώση
- Αναπήδηση
- Κύλιση

Από τη διαδικασία αυτή το σημείο που γίνεται η κρούση είναι το πιο δύσκολο να προβλεφθεί πως θα εξελιχθεί. Υπάρχει μεγάλο εύρος συμπεριφορών που μπορούν να χαρακτηρίσουν τη κρούση από πλήρως πλαστική (δεν υπάρχει αναπήδηση μετά την κρούση) έως πλήρως ελαστική αν και τυπικά σε καμία περίπτωση δεν γίνεται να είναι ολοκληρωτικά το ένα ή το άλλο. Αυτό που καθορίζει τη έκβαση της κρούσης τα μηχανικά χαρακτηριστικά βράχου αλλά και του υλικού με το οποίο θα έρθει σε επαφή. Σημαντικοί επίσης παράγοντες σε αυτό το σημείο είναι γωνία με την οποία η κρούση πραγματοποιείται αλλά και η ταχύτητά της. Η ταχύτητα και η γωνία της κρούσης που αναφέρθηκαν καθορίζονται κατά βάση από την επιφάνεια και την κλίση του πρανού στο οποίο ο βράχος κινείται (Σακελλαρίου, 2009).

2.3.3. Ιδιότητες Υλικού

Ένα πρανές είναι δυνατό να εμφανίζει διαφοροποιήσεις σε σχέση με τα υλικά που το δομούν και ως προς το κατακόρυφο άξονα (βάση έως μέγιστο ύψος) αλλά και ως προς τον οριζόντιο (από τομή σε τομή). Ως πιο δύσκολα περιστατικά χαρακτηρίζονται αυτά που το σύνολο της βραχομάζας αποτελείται από υγιές μη αποσαθρωμένο πέτρωμα καθώς στη περίπτωση αυτή δεν περιορίζεται η ταχύτητα των βραχοτεμαχίων. Όταν όμως η επιφάνεια του πρανού καλύπτεται μερικώς ή και πλήρως από αποσαθρωμένα υλικά η κίνηση των βραχοτεμαχίων επιβραδύνεται καθώς παραλαμβάνουν τμήμα της ενέργειας κίνησης των εν κίνηση τεμαχίων (Stevens 1998).

Για την προσομοίωση της απώλειας ενέργειας σε κάθε κρούση του βραχοτεμαχίου χρησιμοποιείται ένας συντελεστής (Coefficient of Restitution). Η μέγιστη τιμή που λαμβάνει ο συντελεστής είναι 1,0 (καμία απώλεια ενέργειας) και οι τιμές που παίρνει μειώνονται σε αναλογία με την ενέργεια που μεταφέρεται από το βραχοτεμάχιο στο βράχο, με την τιμή 0 να σημαίνει ότι δε συμβαίνει αναπήδηση και το τέμαχος σταματά.

Η παράμετρος αυτή δεν είναι εύκολο να καθορισθεί. Υπάρχουν δύο τρόποι να προσεγγίσουμε τον υπολογισμό της :

- 1) Από απ' ευθείας καθορισμό μέσω πειραματικών δοκιμών.
- 2) Κατόπιν αναστροφής ανάλυσης (Back analysis), δηλαδή μελέτη μετά την κατάρπωση (φυσική ή τεχνητή) των βράχων.

Ένας υπολογισμός του συντελεστή αυτού (e) προκύπτει σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση (A. Azzoni and M. H. de Freitas (1995)):

- $e = K_1 / K_0$

όπου, K_1 είναι η ολική ενέργεια μετά την κρούση και K_0 η ολική ενέργεια πριν την κρούση.

Για να εκφραστεί μαθηματικά ο βαθμός απορρόφησης ενέργειας λόγω κάποιου υλικού χρησιμοποιούνται οι παράγοντες κρούσης (coefficient of restitution) R_n και R_t . Η κάθε μία από αυτές τις δύο τιμές εκφράζει τον παράγοντα σε διαφορετικό άξονα και πιο συγκεκριμένα ο R_n είναι για την κατακόρυφη διεύθυνση ενώ ο R_t για την εφαπτομενική. Οι τιμές που συνήθως δίνονται για τους παράγοντες αυτούς είναι 0,2 – 0,5 για τον R_n και 0,8 – 0,95 για τον R_t (Stearns W., 1998). Οι πιο χαμηλές τιμές χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν υλικά μικρότερης σκληρότητας και περιοχές με αυξημένη βλάστηση ενώ οι πιο μεγάλες είναι αντίστοιχα για πιο σκληρά υλικά (βραχώδη και οικοδομικά υλικά).

Αναφέρεται στο σημείο αυτό ότι οι τιμές των R_n και R_t σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι σταθερές σε όλο το μήκος του πρηνούς καθώς όπως έχει ήδη αναλυθεί ένα πρηνές μπορεί να και συνήθως αποτελείται από περισσότερα από ένα υλικά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα είναι να επηρεάζεται η τροχιά και συμπεριφορά του τεμαχίου ανάλογα με το υλικό που θα συναντήσει στη πορεία του.

- $R_n = V_{rn} / V_{in}$

- $R_t = V_{rt} / V_{it}$

όπου, V_{rn} και V_{in} είναι τα μεγέθη της κάθετης συνιστώσας της ταχύτητας μετά και πριν την κρούση αντίστοιχα και V_{rt} και V_{it} τα μεγέθη της εφαπτομενικής συνιστώσας της ταχύτητας μετά και πριν την κρούση.

2.3.4 Αίτια πρόκλησης κατολισθήσεων

Τα αίτια ουσιαστικά διαταράσσουν τις συνθήκες ισορροπίας του πρηνούς και σπάνια είναι μόνο ένα σε κάθε περίπτωση καθώς συνήθως διενεργείται ένας συνδυασμός αυτών για να προκληθεί η κατολίσθηση. Η διαδικασία που οδηγεί στη κατολίσθηση στην πραγματικότητα ξεκινά από το σχηματισμό του υλικού από το οποίο αποτελείται το πρηνές και τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητές του. Σημαντικό είναι πως το αίτιο που ήταν το έναυσμα της

κατολίσθησης δεν είναι απαραίτητα το πιο σημαντικό στη μελέτη μίας κατολίσθησης γιατί δεν είναι πάντα το ίδιο που έφερε το πρηνές στην οριακή κατάσταση που προκάλεσε τελικά την αστοχία του. Η διάκριση των αιτιών γίνεται με βάση το στάδιο στο οποίο βρίσκεται το πρηνές δηλαδή αν βρίσκεται σε σταθερή σε οριακά σταθερή ή σε ασταθή κατάσταση. Τα αίτια διαχωρίζονται σε:

- Προπαρασκευαστικά (preparatory casual factors)
- Στα αίτια που αποτελούν το έναυσμα της κίνησης (Triggering factors)

Οι παράγοντες που προκαλούν τις κατολισθήσεις **ανάλογα με την προέλευσή τους** ταξινομούνται ως παράγοντες που αναφέρονται στις (Κούκης και Σαμπατακάκης 2007) :

- **Εδαφικές συνθήκες (ground conditions)**. Είναι παράγοντες που έχουν να κάνουν με τα χαρακτηριστικά των εδαφικών σχηματισμών ή της βραχομάζας. Οι παράγοντες της κατηγορίας αυτής εξελίσσονται αργά στο χρόνο και δεν περιέχουν κάποια λειτουργία εναύσματος μετακίνησης παρά μόνο προκαταρκτικούς παράγοντες.
- **Γεωμορφολογικές διεργασίες (geomorphological processes)**. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με τις μεταβολές της γεωμορφολογίας του εδάφους.
- **Φυσικές διεργασίες (physical processes)**. Είναι οι παράγοντες που αφορούν τον ευρύτερο περιβάλλοντα χώρο.
- **Ανθρωπογενής διεργασίες (man-made processes)**. Αφορούν παράγοντες που οφείλονται σε ανθρωπογενή δραστηριότητα στην περιοχή (τεχνικά έργα, εκσκαφές κ.λπ.)

Η διάκριση των αιτιών κατά **Terzaghi (1950)** τα κατατάσσει σε δύο βασικές κατηγορίες:

- ❖ **Τα εξωγενή** που προκαλούν αύξηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής τάσης όπως αλλαγές στη γεωμετρία επιφορτίσεις κ.α.
- ❖ **Τα ενδογενή** που προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού όπως αποσάθρωση διάβρωση κ.α.

Ο Varnes (1978) κατηγοριοποιεί τα αίτια σε τρεις περιπτώσεις:

- ❖ Στους παράγοντες που συμβάλουν στην αύξηση της αναπτυσσόμενης διατμητικής τάσης.
 - 1) **Αφαίρεση υποστήριξης**. Είναι ο πιο συνηθισμένος από τους παράγοντες που οδηγούν σε αστάθεια και προκαλείται από την επίδραση επιφανειακής διάβρωσης, υπόγειας διάβρωσης και διάλυσης, σύνθλιψης του υποκείμενου πλαστικού υλικού και διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες (δημιουργία ταμιευτήρων, υποσκαφές στη βάση του πρηνούς κ.α.)
 - 2) **Επιφόρτιση**. Διακρίνεται σε επιφόρτιση που προκαλείται από φυσική δράση (επιπλέον βάρος λόγω νερού βροχοπτώσεων και χιονιού στα γεωλογικά υλικά, συγκέντρωση πλευρικών κορημάτων κ.α.) και σε επιφόρτιση που προκαλείται από

ανθρώπινες δραστηριότητες (χώρος απόθεσης μεταλλευμάτων, κατασκευή επιχωματώσεων κ.α.)

- 3) **Παροδικές τάσεις.** Βασικά είναι οι σεισμικές δονήσεις που προκαλούν μεγάλες μετακινήσεις αλλά και άλλες δυναμικές φορτίσεις από εκρήξεις, οχήματα και άλλα μέσα.
 - 4) **Τοπική ανύψωση.** Οφείλεται βασικά σε τεκτονικές κινήσεις και ηφαιστειακή δραστηριότητα προκαλώντας μεταβολές των γεωμετρικών στοιχείων των φυσικών πρανών. Είναι γενικά αργές διεργασίες.
 - 5) **Πλευρική πίεση.** Προκαλείται από παρουσία νερού άλλο και το πάγωμά του σε ρωγμές του πετρώματος και από τη διόγκωση των αργίλων
- ❖ Στους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού και είναι κυρίως ενδογενείς παράγοντες. (δομή, ορυκτολογική σύσταση κ.α.).
- 1) **Λιθολογική σύσταση και υφή.** Οργανικά υλικά και πετρώματα από φυλλώδη ορυκτά, γεωλογικά υλικά με χαμηλή ανθεκτικότητα σε χαλάρωση και άργιλοι με υψηλή ευαισθησία, άμμοι μικρής σχετικής πυκνότητας. Άρα γενικά μιλάμε για σχηματισμούς με μικρή αντοχή.
 - 2) **Δομή πετρωμάτων και γεωλογία πρανούς.** Δηλαδή ύπαρξη ασυνεχειών, ρηγμάτων, παρουσία κλίσης στρωμάτων ομόρροπης με το πρανές κ.α.
- ❖ Στους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του υλικού και είναι εξωγενείς κυρίως παράγοντες.
- 1) **Αποσάθρωση και άλλες φυσικοχημικές διεργασίες.** Οδηγούν σε διάφορες όπως την μείωση διατμητικής αντοχής ρωγματομένων αργίλων, την ενυδάτωση αργιλικών αργίλων κ.α.
 - 2) **Μεταβολές των ενεργών τάσεων λόγω του νερού των πόρων και των ρωγμών.** Η πίεση του του νερού των πόρων μειώνει την ενεργή τάση στα αργιλικά κυρίως εδάφη επίσης συχνά αναπτύσσεται υδροστατική πίεση στις ασυνέχειες των πετρωμάτων με δυσμενείς συνέπειες για την ευστάθεια των βραχωδών σχηματισμών.
 - 3) **Μεταβολές της δομής των πετρωμάτων.**

2.3.5 Έναυσμα εκδήλωσης κατολισθήσεων

Το έναυσμα μετακίνησης είναι κάτι διαφορετικό από τα αίτια που προκαλούν μια κατολίσθηση που ήδη αναφέρθηκαν καθώς σε αυτή τη περίπτωση αναφερόμαστε σε ένα συγκεκριμένο γεγονός – παράγοντα που προκάλεσε την εκδήλωσή της.

Τα φαινόμενα αυτά είναι τα εξής (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007):

- 1) **Έντονη βροχόπτωση.** Λόγω της γρήγορης κατεΐσδυσης του νερού της βροχής προκαλείται κορεσμός του εδάφους και αύξηση του βάρους της εδαφικής μάζας καθώς και αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων με αποτέλεσμα τη μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους και την εκδήλωση των κατολισθήσεων. Από έρευνες που έχουν γίνει έχει αποδειχθεί σαφή τάση αύξησης της συχνότητας εκδήλωσης των

κατολισθητικών φαινομένων την αύξηση των βροχοπτώσεων. Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η ποσότητα της «κρίσιμης» βροχόπτωσης που ενεργοποιεί την κατολισθηση εξαρτάται από τις γεωλογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες το κλίμα κ.α.

Επιπλέον οι πυρκαγιές που καταστρέφουν την βλάστηση έχουν σαν αποτέλεσμα την σημαντική αύξηση της διάβρωσης κατά την χειμερινή περίοδο και την άμεση δράση του νερού της βροχής που δημιουργεί τις εδαφικές ολισθήσεις.

2) Γρήγορο λιώσιμο του χιονιού. Προκαλείται από ηλιοφάνεια και αύξηση της θερμοκρασίας ή από βροχοπτώσεις που ακολουθούν τις χιονοπτώσεις. Το νερό από το λιώσιμο των πάγων τροφοδοτεί πολύ γρήγορα την ζώνη αποσάθρωσης των πετρωμάτων ή τους εδαφικούς σχηματισμούς με αποτέλεσμα την εκδήλωση των μετακινήσεων.

3) Μεταβολές στη στάθμη του νερού. Η απότομη πτώση την της στάθμης του νερού νερών σε λίμνες, ταμειυτήρες, ποταμούς κ.τ.λ. που διαβρέχουν το πρηνές προκαλεί αύξηση της διατμητικής τάσης και πιθανή εκδήλωση αστάθειας.

4) Ηφαιστειακή δράση.

5) Σεισμική δραστηριότητα. Οι σεισμικές δονήσεις διαταράσσουν την ισορροπία των πρηνών με την προσωρινή μεταβολή των τάσεων και αποτελούν πολλές φορές το έναυσμα για την εκδήλωση για την εκδήλωση των κατολισθήσεων. Στα απότομα πρηνή εκδηλώνονται συνήθως καταπτώσεις βράχων και ολισθήσεις κορημάτων και βράχων ενώ στα ηπιότερα πρηνή εκδηλώνονται συνήθως περιστροφικές και μεταθετικές ολισθήσεις καθώς και πλευρικές εξαπλώσεις.,

2.4 Ασυνέχειες βραχομάζας και μορφές δυνητικών αστοχιών

2.4.1 Ασυνέχειες βραχομάζας

Η ευστάθεια της βραχομάζας στις θεμελιώσεις, στις υπαίθριες και υπόγειες εκσκαφές εξαρτάται και καθορίζεται κυρίως από την ύπαρξη και τον προσανατολισμό των γεωλογικών ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις, ρήγματα). Η καταγραφή, ανάλυση και παρουσίαση των γεωλογικών αυτών δομών αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την όλη διερεύνηση της ευστάθειας ενός τεχνικού έργου σε βραχώδεις σχηματισμούς (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002).

2.4.1.1 Κατηγορίες ασυνεχειών

Ασυνέχεια (discontinuity) θεωρείται κάθε επίπεδο αδυναμίας της βραχομάζας που διαχωρίζει τα τεμάχια του ακέρατου πετρώματος και η οποία έχει πολύ μικρή ή μηδενική αντοχή σε εφελκυσμό. Οι ασυνέχειες σχηματίζουν δύο κύριες ομάδες (Κούκης & Σαμπατακάκης 2002):

A) τις συστηματικές ή συστήματα ασυνεχειών (discontinuity sets), όπως οι διακλάσεις, η σχιστότητα, η στρώση, οι ασυνέχειες που σε κάθε σύστημα παρουσιάζουν παρόμοιο προσανατολισμό που οφείλεται κυρίως στις συγκεκριμένες γεωλογικές διεργασίες που προκάλεσαν το σχηματισμό του.

B) τις μοναδιαίες που δεν συναντώνται συστηματικά, τουλάχιστον στην κλίμακα διερεύνησης μιας συγκεκριμένης βραχομάζας, όπως τα ρήγματα.

Οι γεωλογικές ασυνέχειες είναι συνήθως οι παρακάτω :

- Επίπεδο στρώσης (bedding plane) που παρουσιάζεται συστηματικά στα ιζηματογενή στρωσιγενή πετρώματα και διαχωρίζει τα ιδιαίτερα στρώματά τους.
- Σχισμός (cleavage) που είναι η τάση του πετρώματος να αποχωρίζεται κατά διακεκριμένα, παράλληλα, πυκνής διάταξης επίπεδα.
- Φύλλωση (foliation) που είναι το αποτέλεσμα του προσανατολισμού των διαφορετικών ορυκτών σε παράλληλα επίπεδα ή της διάταξης ενός πυκνού δικτύου παραλλήλων μικρορωγμών των λεπτόκοκκων πετρωμάτων.
- Σχιστότητα (schistosity) που είναι μία φύλλωση που απαντάται σε χονδρόκοκκα κυρίως πετρώματα.
- Διάκλαση (joint) που είναι ένα επίπεδο θραύσης της βραχομάζας κατά μήκος του οποίου δεν έχει σημειωθεί σχετική κίνηση των τοιχωμάτων. Σε μερικές περιπτώσεις βέβαια παρατηρείται μικρή μετακίνηση των τοιχωμάτων με αποτέλεσμα το σχηματισμό λείων επιφανειών ή/και γραμμώσεων (slickensides).
- Ρήγμα (fault) που είναι ένα επίπεδο θραύσης κατά μήκος του οποίου έχει σημειωθεί σχετική κίνηση. Οι επιφάνειες του ρήγματος εμφανίζονται λείες με γραμμώσεις και συνήθως μεταξύ των επιφανειών ρηγματώσεως αναπτύσσεται ένα τεκτονικό λατυποπαγές λόγω της τριβής και της θραύσης του πετρώματος.

2.4.1.2 Παράμετροι περιγραφής ασυνεχειών

- **Προσανατολισμός**

Για να βρεθεί ο προσανατολισμός των ασυνεχειών στο χώρο γίνεται η αποδοχή πως είναι επίπεδες επιφάνειες ενώ στη πραγματικότητα αυτό δεν ισχύει στη φύση.

Για να επιτευχθεί αυτό καταγράφονται τα εξής στοιχεία (Ρόζος, 2007):

1. **Η διεύθυνση της ασυνέχειας (Strike)**, δηλαδή η τομή του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο. Για τη μέτρηση της διεύθυνσης αυτής, το μέτρο που χρησιμοποιείται είναι η γωνία που σχηματίζει η σχετική τομή με το βορρά.
2. **Η μέγιστη κλίση (Dip)**, δηλαδή η μέγιστη γωνία του επιπέδου της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο.
3. **Η διεύθυνση (φορά) μέγιστης κλίσης (dip direction)**, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται από την τομή του επιπέδου της μέγιστης κλίσης με το οριζόντιο επίπεδο και το βορρά.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η μέτρηση με τη χρήση πυξίδας της μέγιστης κλίσης αλλά και της διεύθυνσης μέγιστης κλίσης. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών έχουν την μορφή 85°/130°. Τα δεδομένα αυτά στη συνέχεια αναλύονται μέσω κατάλληλων προγραμμάτων του Η/Υ που αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο

Για την έκφραση του προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών χρησιμοποιείται το ισο-εμβιαδικό στερεοδιάγραμμα (δίκτυο Schmidt), το οποίο επιτρέπει την επεξεργασία μεγάλου αριθμού μετρήσεων. Στόχος της διαδικασίας αυτής είναι ουσιαστικά ο εντοπισμός των συστημάτων ασυνεχειών που έχουν δημιουργηθεί στη βραχομάζα αλλά και ο αντίστοιχος μέσος προσανατολισμός τους.

- **Απόσταση**

Ως **απόσταση (spacing)** των ασυνεχειών ορίζεται η μέση κάθετη απόσταση μεταξύ των διαδοχικών ασυνεχειών ενός συνόλου ασυνεχειών (ISRM 1978). Ο παράγοντας αυτός προσδιορίζει το μέγεθος των ενιαίων τεμαχίων από τα οποία αποτελείται η βραχομάζα. Η τιμή της απόστασης των ασυνεχειών δεν είναι μία αλλά στην πραγματικότητα ορίζεται από ένα εύρος τιμών. Επίσης ανάλογα με την τιμή της η μεταβλητή αυτή συνδέεται με τύπους πιθανής αστοχίας αλλά και με την περατότητα της βραχομάζας.

- **Συνέχεια**

Το μήκος στο οποίο εξαπλώνεται η ασυνέχεια στη βραχομάζα ουσιαστικά αποτελεί την συνέχειά της. Ο παράγοντας αυτός μπορεί να έχει μεγάλο εύρος τιμών ανάλογα με το αν η

ασυνέχεια διακόπτεται από άλλα συστήματα ή όχι. Για την περιγραφή του χρησιμοποιείται και ο όρος εμμονή (persistence). Η τιμή του εκτιμάται χονδρικά παρατηρώντας το ίχνος μίας ασυνέχειας σε μία αποκεκαλυμμένη επιφάνεια της βραχομάζας. Η συνέχεια των διαρρήξεων καθορίζει συνήθως και τη συμπεριφορά της βραχομάζας από πλευράς αστοχίας.

Σε σχέση με το μέγεθος της συνέχειας η ταξινόμηση των ασυνεχειών καθορίζεται ως εξής (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002):

- ✓ Πολύ μικρή (< 1m)
- ✓ Μικρή (1-2m)
- ✓ Μέτρια (3-10m)
- ✓ Μεγάλη (10-20m)
- ✓ Πολύ μεγάλη (>20m)

• Άνοιγμα

Η κάθετη απόσταση μεταξύ των τοιχωμάτων μίας ασυνέχειας η οποία είναι ανοιχτή και το ενδιάμεσο κενό της δεν είναι πληρωμένο με κάποιο υλικό ή περιέχει μόνο νερό λέγεται άνοιγμα (aperture). Οπότε η απόσταση στα τοιχώματα ασυνεχειών που πληρωμένες με εδαφικό υλικό δεν συμπεριλαμβάνονται στην έννοια του όρου αυτού.

Ανάλογα με το άνοιγμά τους, οι ασυνέχειες διακρίνονται σε (Γεωργαράς & Χρυσοχοϊδης, 2014):

- ✓ Πολύ κλειστές (< 0.1 mm)
- ✓ Κλειστές (0.1 – 0.25 mm)
- ✓ Μερικά ανοικτές (0.25 – 0.50 mm)
- ✓ Ανοικτές (0.50 – 2.5 mm)
- ✓ Μέτρια ευρείες (2.5 – 10 mm)
- ✓ Ευρείες (> 10 mm)
- ✓ Πολύ ευρείες (1 – 10 cm)
- ✓ Εξαιρετικά ευρείες (10 – 100 cm)
- ✓ Σπηλαιώδεις (> 100 cm)

• Τραχύτητα

Η τραχύτητα(roughness) καθορίζεται από τις εγκάρσιες αποκλίσεις της πραγματικής επιφάνειας από την ιδανική μορφή της (Νομικός, 2015). Οι επιφάνειες των τοιχωμάτων μίας ασυνέχειας εμφανίζουν δύο χαρακτηριστικά σχετικά με την τραχύτητα με το ένα να είναι η κύμανση(waviness) και το άλλο οι επιφανειακές ανωμαλίες (unevenness). Η τραχύτητα που εμφανίζεται στις επιφάνειες των τοιχωμάτων μίας ασυνέχειας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στο καθορισμό της διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας αυτής. Αυτό ισχύει ακόμα περισσότερο αν δεν υπάρχουν άλλα φαινόμενα που να επηρεάζουν τη συνολικότερη διατμητική αντοχή όπως κάποια παλαιότερη διατμητική ολίσθηση. Η γωνία

τριβής της ασυνέχειας είναι ίση με το άθροισμα $\phi_b + i$, όπου ϕ_b είναι η βασική γωνία τριβής του υλικού και i η γωνία της κύριας ανωμαλίας της ασυνέχειας.

Η διάκριση των ασυνεχειών από πλευράς τραχύτητας είναι ποιοτική, με όρους όπως (Γεωργαράς & Χρυσοχοϊδης, 2014):

- ✓ Πολύ τραχεία
- ✓ Τραχεία
- ✓ Ελαφρά τραχεία
- ✓ Ομαλή
- ✓ Λεία ή ολισθηρή

- **Υλικό πλήρωσης (filing)**

Το ορυκτό υλικό που γεμίζει το κενό μεταξύ των τοιχωμάτων μίας ασυνέχειας λέγεται υλικό πλήρωσης. Το υλικό πλήρωσης είναι σημαντικός παράγοντας γιατί συνυπολογίζοντας και την τραχύτητα της ασυνέχειας καθορίζει την αντοχή της.

Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών που έχουν πληρωθεί με ορυκτό υλικό είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις ασυνέχειες που είναι καθαρά κλειστές εκτός αν το υλικό αυτό έχει το ίδιο υψηλή αντοχή. Αν το πάχος του υλικού πλήρωσης είναι μεγάλο τότε η αντοχή της ασυνέχειας καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από το ίδιο το υλικό.

- **Αντοχή τοιχωμάτων**

Η αντοχή των τοιχωμάτων των ασυνεχειών είναι συνήθως μικρότερη από την αντοχή του άρρηκτου πετρώματος λόγω της αποσάθρωσης στην επιφάνεια των τοιχωμάτων. Άρα μετρώντας αυτή την αντοχή γίνεται να υπολογιστεί σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες ο βαθμός αποσάθρωσης.

- ✓ Πολύ μαλακό (< 10 MPa)
- ✓ Μαλακό (10 – 20 MPa)
- ✓ Μέτριο (20 – 50 MPa)
- ✓ Σκληρό (50 – 60 MPa)
- ✓ Πολύ σκληρό (> 60 MPa)

(Γ.Ν. Πιστιόλη ,2012)

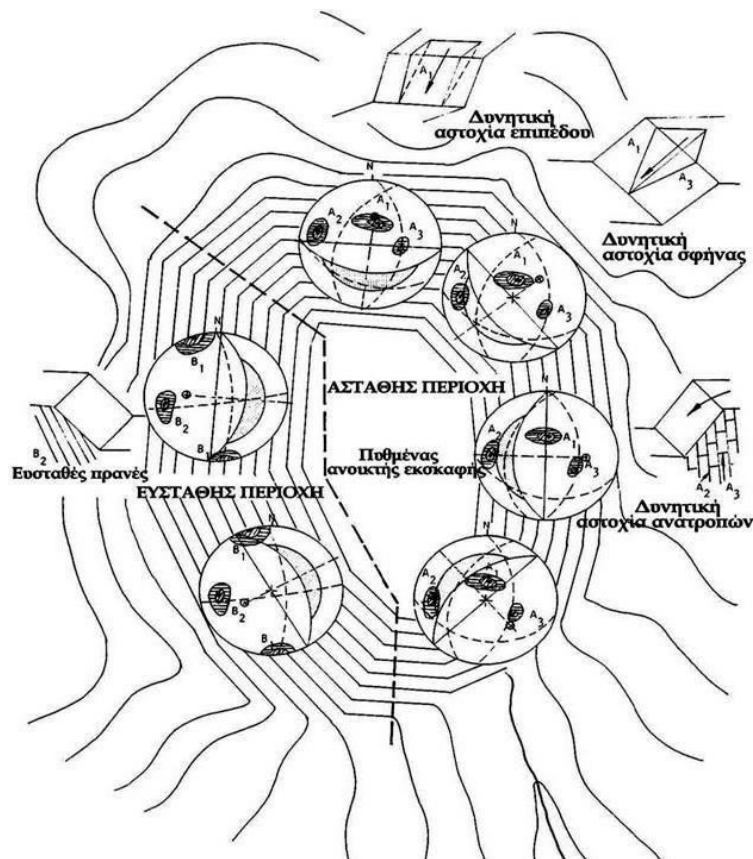
- **Νερό**

Οι ασυνέχειες μίας βραχομάζας είναι φυσικό να έρχονται σε επαφή με το νερό λόγω φυσικών καιρικών αλλά και άλλων φαινομένων. Η επαφή αυτή έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ενεργών τάσεων που αναπτύσσονται κατά μήκος των επιφανειών και κατ' αυτό τον τρόπο να μειώνουν την διατμητική αντοχή τους. Επίσης το νερό προκαλεί και χημικές διεργασίες καθώς διαβρώνει καρστικοποιεί, αποσαθρώνει και διαλύει την βραχομάζα γεγονός που και πάλι μειώνει την διατμητική αντοχή των επιφανειών.

2.4.2 Μορφές δυνητικών αστοχιών

Για να καθορισθεί το είδος της αστοχίας που μπορεί να λάβει χώρα σε ένα γεωλογικό σχηματισμό είναι σημαντικό ληφθούν υπόψιν τα χαρακτηριστικά του ίδιου του σχηματισμού ώστε να ξεκαθαριστεί ποια είναι τα προβλήματα δυνητικής αστάθειας. Έχοντας τις πληροφορίες αυτές θα είναι δυνατόν να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα για την επίτευξη ευστάθειας στον προς μελέτη σχηματισμό.

Αυτό επιτυγχάνεται με την καταγραφή και ανάλυση των γεωμετρικών στοιχείων του σχηματισμού και των ασυνεχειών που βρίσκονται σε αυτόν αλλά και της γωνίας τριβής της ασυνέχειας. Έτσι οι τεκτονικές συνθήκες παρουσιάζονται στερεογραφικά και καθορίζονται οι τύποι δυνητικής αστοχίας που είναι πιθανό να δημιουργηθούν. Στην περίπτωση βραχώδους σχηματισμού την οποία και μελετά η εργασία αυτή η δυνητική αστοχία μπορεί να εμφανιστεί κυρίως με τη μορφή επίπεδης ή σφηνοειδούς αστοχίας. Υπάρχει επίσης το ενδεχόμενο αστοχίας ανατροπής.



Σχέδιο 2.8: Τύποι δυνητικών αστοχιών (Hoek & Bray, 1981)

2.4.2.1 Σφηνοειδείς αστοχίες (wedge failures)

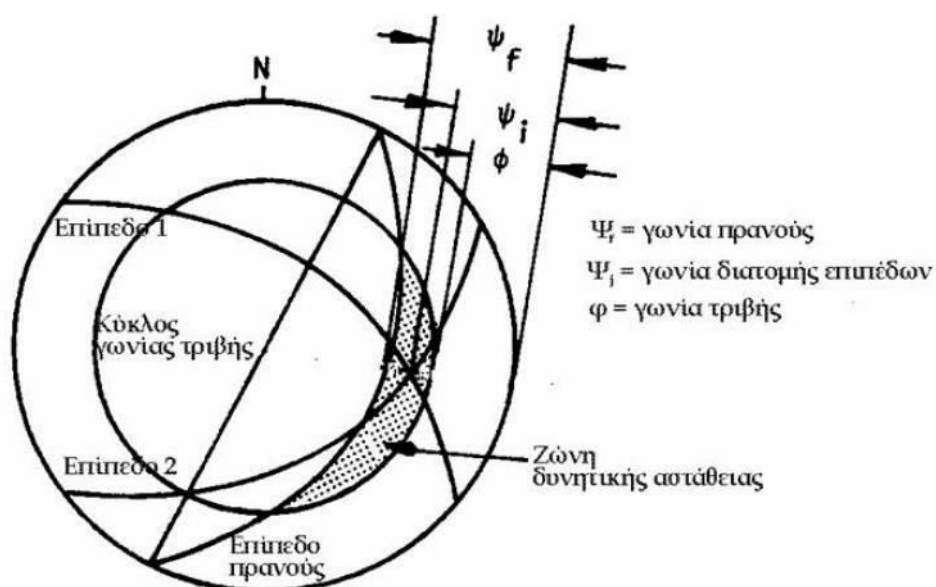
Μια επιφάνεια αστοχίας μπορεί να δημιουργηθεί μεταξύ δυο ασυνεχειών οι οποίες προκαλούν την μετακίνηση της μάζας που περικλείεται από αυτές προς τα κατάντη κατά μήκος του ίχνους τομής τους, σχηματίζοντας μια σφήνα (Κατσιάκα ,2013). Τότε προκύπτει αυτό που ονομάζουμε αστοχία σφήνας

Για να συμβεί μια τέτοια ολίσθηση θα πρέπει (Ρόζος, 2007):

α) Η διεύθυνση του πρανούς και της σφήνας να συμφωνούν,

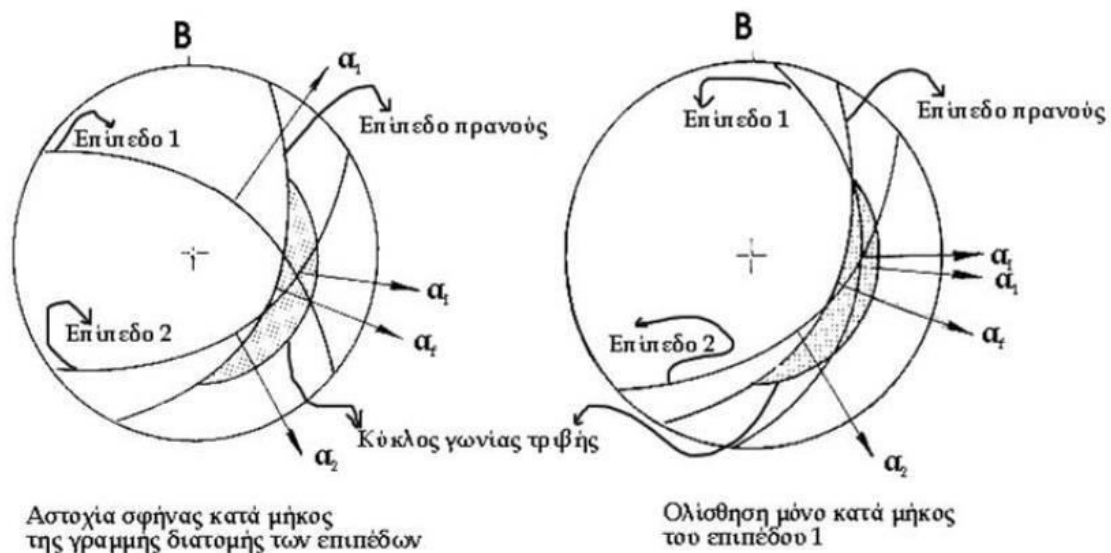
β) Τα δύο επίπεδα να τέμνουν την επιφάνεια του πρανούς και να αλληλοτέμνονται

γ) Η γραμμή διατομής των επιπέδων να σχηματίζει γωνία με το οριζόντιο επίπεδο που να είναι μεγαλύτερη της γωνίας τριβής της βραχομάζας, αλλά ταυτόχρονα μικρότερη της γωνίας του επιπέδου του πρανούς (Σχέδιο 2.9).



Σχέδιο 2.9: Απαραίτητη συνθήκη για την πραγματοποίηση σφηνοειδούς ολίσθησης (Hoek & Bray, 1981)

Ανάλογα με τη πορεία που θα πραγματοποιήσει το αποχωριζόμενο τμήμα κατά την αποκόλλησή του έχουμε δύο διαφορετικές περιπτώσεις. Είτε η ολίσθηση θα γίνει κατά μήκος της γραμμής διατομής των δύο επιπέδων που αυτό θα σημαίνει ότι η διεύθυνση της μέγιστης κλίσης αυτών βρίσκεται εκτός ζώνης δυνητικής αστάθειας. Είτε η ολίσθηση θα γίνει κατά μήκος ενός εκ των επιπέδων αν η διεύθυνση μέγιστης κλίσης του επιπέδου αυτού βρίσκεται εντός της ζώνης δυνητικής αστάθειας.



Σχέδιο 2.10: Παρουσίαση δύο περιπτώσεων ολίσθησης ανάλογα με τη διεύθυνση της μέγιστης κλίσης (Hoek & Bray, 1981)

Σε ότι έχει να κάνει με το συντελεστή ασφαλείας στη περίπτωση αυτή σημαντικός παράγοντας είναι η γεωμετρία της σχηματιζόμενης σφήνας μέσω της οποίας θα υπολογιστεί και το βάρος της καθώς επίσης και οι συνιστάμενες δυνάμεις λόγω της πίεσης του νερού στις ασυνέχειες. Τέλος σημαντικό ρόλο παίζει και η διατμητική αντοχή της επιφάνειας των ασυνεχειών σε συνδυασμό με τη βύθιση της διατομής των δύο επιπέδων.

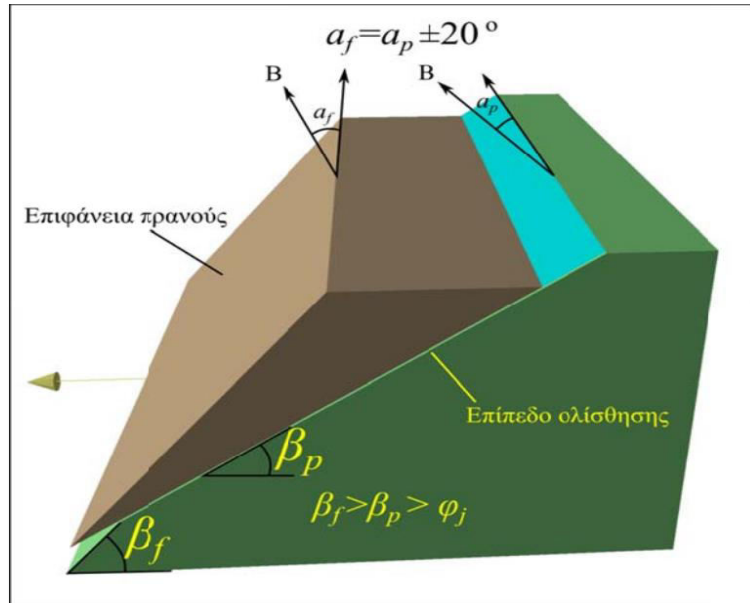
2.4.2.2 Αστοχία επιπέδου

Όταν για ένα σύστημα ασυνεχειών έχει επιτευχθεί σαφής επικράτηση και έχει σχετικά παράλληλη διεύθυνση με το πρανές και ομόρροπη κλίση με αυτό τότε υπάρχει πιθανότητα να πραγματοποιηθεί επίπεδη ολίσθηση ενός τεμάχου. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει επίσης η κλίση του πρανούς να είναι μεγαλύτερη του συστήματος ασυνεχειών.

Για να συμβεί ολίσθηση τεμάχου πετρώματος σε μια επίπεδη επιφάνεια σε βραχώδεις πρανές πρέπει να ικανοποιούνται οι παρακάτω συνθήκες (Χυσαϊ, 2018) :

- ✓ Η παράταξη του επιπέδου ολίσθησης πρέπει να είναι σχεδόν παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς. Η μέγιστη απόκλιση είναι περίπου 20° .
- ✓ Το επίπεδο ολίσθησης θα πρέπει να τέμνει την επιφάνεια του πρανούς, δηλαδή να έχει κλίση μικρότερη από την κλίση του πρανούς.
- ✓ Η γωνία κλίσης του επιπέδου ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής.
- ✓ Το επίπεδο ολίσθησης ή να τέμνει την επιφάνεια του πρανούς ή να καταλήγει σε κάποια κατακόρυφη ή παρακατακόρυφη ασυνέχεια στο πίσω μέρος του πρανούς ή σε προγενέστερα σχηματισμένη εφεκλυστική ρωγμή.

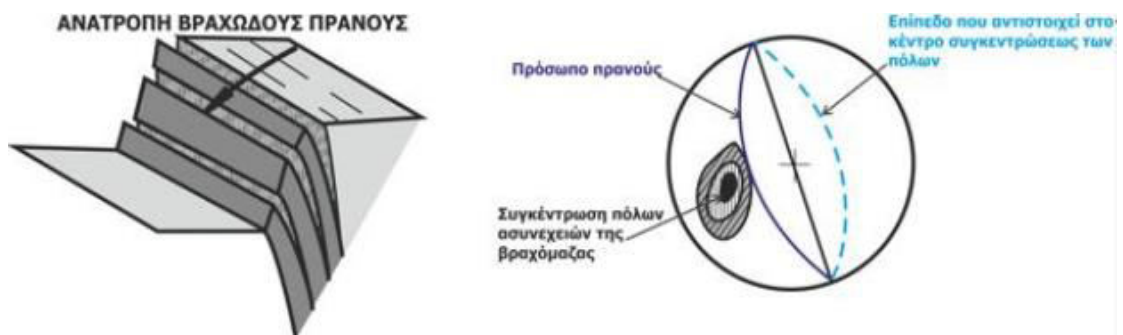
- ✓ Να υπάρχουν πλευρικές επιφάνειες (π.χ. διακλάσεις) που να ελευθερώνουν το τμήμα του πετρώματος.



Σχέδιο 2.11: Ολίσθηση τεμάχους σε επίπεδη επιφάνεια (Νομικός, 2015)

2.4.2.3 Ανατροπή

Η ανατροπή είναι μία ακόμα περίπτωση αστοχίας πρηνούς αποτελούμενο από βραχώδη υλικά. Για να υπάρξει ένα τέτοιο είδος αστοχίας θα πρέπει τα υπάρχοντα συστήματα ασυνεχειών να είναι αντίρροπα του πρηνούς ($\pm 20^\circ$) αλλά και να παρουσιάζουν μεγάλη κλίση ($>70^\circ$).



Σχέδιο 2.12: Αναπαράσταση ανατροπής βραχώδους πρηνούς (Goodman, 1980)

2.5 Μέτρα αντιμετώπισης

Ο σκοπός μίας μελέτης αυτού του είδους σε πρανές και συγκεκριμένα σε βραχώδεις σχηματισμούς σε να εντοπιστούν οι δυνητικές αστοχίες και τα σημεία στα οποία είναι πιο επίφοβο αυτές να εμφανιστούν. Αυτό που ακολουθεί είναι η πρόταση και πραγματοποίηση, εφόσον είναι δυνατό, μέτρων και έργων αντιμετώπισης των πιθανών αυτών αστοχιών.

Τα μέτρα που γίνεται να εφαρμοστούν κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την περίπτωση που αντιμετωπίζεται κάθε φορά και έχει να κάνει με τα γεωλογικά, γεωμετρικά, φυσικά καθώς και άλλα χαρακτηριστικά την περιοχής στην οποία γίνεται η μελέτη. Τα μέτρα αυτά αποσκοπούν είτε στην **παροδική ή μόνιμη βελτίωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς** των σχηματισμών, είτε στην **αποτροπή ή εξάλειψη του κινδύνου αστοχιών**.

Οι τεχνικές σταθεροποίησης και προστασίας βραχωδών σχηματισμών όπως ονομάζονται χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- **Τεχνικές ενίσχυσης και σταθεροποίησης**

Οι τεχνικές ενίσχυσης και σταθεροποίησης αποσκοπούν στην αποτροπή εκδήλωσης καταπτώσεων μέσω μέτρων που αποτρέπουν τη χαλάρωση και περεταίρω αστοχία της βραχομάζας.

Στη κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται (Λουπασάκης 2015):

- Τα **αγκυρια βράχου – ήλοι** τα οποία επιβάλλοντας εφελκυστικές δυνάμεις βελτιώνουν τις συνθήκες ευστάθειας του πρανούς
- Οι **τοιχοί αντιστήριξης** που η χρήση τους γίνεται σε κατακερματισμένους βραχώδεις αλλά και εδαφικούς σχηματισμούς. Η κατηγορία αυτή αποτελείται από τους τοίχους βαρύτητας, τοίχοι πρόβολοι, αντιριδωτούς διαφραγματικούς και πασσαλότοιχους. Οι τοίχοι αντιστήριξης μπορεί να είναι μεγάλες και ακριβές κατασκευές αλλά και πιο ευέλικτες και οικονομικές ανάλογα συνήθως με το ύψος του πρανούς.
- Το **εκτοξευόμενο σκυρόδεμα** που χρησιμοποιείται σαν μέσο μόνιμης υποστήριξης. Στη περίπτωση αυτή μείγμα τσιμέντου, νερού και άλλων υλικών εκτοξεύεται στην επιφάνεια του πρανούς.
- Οι **αντηρίδες και υποστυλώσεις** οι οποίες βασικά χρησιμοποιούνται για να αντιστηρίξουν μεμονωμένα ασταθή τμήματα της βραχομάζας τα οποία συνήθως είναι επικρεμάμενα.
- Η **αποστράγγιση** που αποσκοπεί στον υποβιβασμό της φρεάτιας επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα από το σημείο ενδιαφέροντος, την εκτόνωση υψηλών υδροστατικών πιέσεων και τη μείωση των κατεισδύοντων υδάτων.

- **Τεχνικές διαμόρφωσης πρανούς και καθαίρεσης ασταθών τεμαχίων**

Οι τεχνικές αυτές επιδιώκουν την μείωση του κινδύνου εκδήλωσης αστοχιών και καταπτώσεων μέσω της προληπτικής καθαίρεσης των επικίνδυνων τεμαχίων αλλά και μέσω της αλλαγής γεωμετρίας του πρανούς

Στη κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα εξής:

- **Αποφόρτιση** η αφαίρεση δηλαδή των υλικών που επιβαρύνουν το πρανές
- **Αλλαγή γεωμετρίας του πρανούς**
- **Αποψίλωση βλάστησης**
- **Καθαίρεση μεγάλων τεμαχίων μέσω εκρήξεων** ώστε αυτά να μην αποκοπούν απρόβλεπτα.
- **Καθαίρεση μικρών τεμαχίων – ξεσκάρωμα** για τους ίδιους λόγους

- **Τεχνικές ανάσχεσης καταπτώσεων**

Οι τεχνικές ανάσχεσης καταπτώσεων έχουν ως στόχο να περιορίσουν τα βραχοτεμάχια αφού πραγματοποιηθεί ο αποχωρισμός τους από το μητρικό πέτρωμα για να μην υπάρξουν υλικές καταστροφές και απώλειες ζωών.

Στη κατηγορία αυτή συμπεριλαμβάνονται τα εξής:

- **Τάφροι ανάσχεσης.** Πρόκειται για απλές κατασκευές που τοποθετούνται στη βάση του πρανούς. Οι διαστάσεις τους εξαρτώνται από το ύψος της γωνίας του πρανούς και τη φύση των υλικών. Επίσης τα έργα αυτά συνήθως συνδυάζονται με την κατασκευή άλλων μέτρων.
- **Αναχώματα ανάσχεσης καταπτώσεων** . Είναι πολύ οικονομία έργα με μεγάλη αντοχή αλλά είναι αναγκαίο να υπάρχει ο επαρκούμενος χώρος για να πραγματοποιηθεί η κατασκευή τους. Οι διαστάσεις τους καθορίζονται από το ύψος και την κλίση του πρανούς καθώς και το μέγεθος των τεμαχίων που πρόκειται να αποκολληθούν.



Εικόνα 2.2: Συρματοκιβώτια (Maccaferri, www.maccaferri.com)

- **Φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων.** Ουσιαστικά αποτελούνται από δύο ορθοστάτες το δίχτυ παγίδευσης βραχοτεμαχίων. Για την επιλογή των φραχτών ανάσχεσης βασική προϋπόθεση αποτελεί η γνώση της φύσης των υλικών που δύναται να κατολισθήσουν δηλαδή, αν είναι βραχώδη ή εδαφικά.

Επίσης βασική προϋπόθεση είναι τα καταπίπτοντα υλικά να έχουν μέγεθος και κινητική ενέργεια ικανή να συγκρατήσουν οι φράχτες που διατίθενται στην αγορά.



Εικόνα 2.3: Φράχτης ανάσχεσης καταπτώσεων (Maccaferri, www.maccaferri.com)

- **Αναρτημένα πλέγματα παγίδευσης.**

Είναι μεταλλικά πλέγματα εγκατεστημένα στο μέτωπο του πρανούς τα οποία περιορίζουν την αναπήδηση των τεμαχίων οδηγώντας τα στη βάση του πρανούς. Τα πλέγματα μπορεί να είναι ενισχυμένα με ένα ή δύο κάθετα συρματοπλέγματα. Σε αυτή τη περίπτωση λέγονται μονοαξονικά και δυαξονικά αντίστοιχα.



Εικόνα 2.4: Πλέγμα παγίδευσης αναρτημένο σε βραχώδες πρανές (ACRO BTP www.acrobtp.fr)

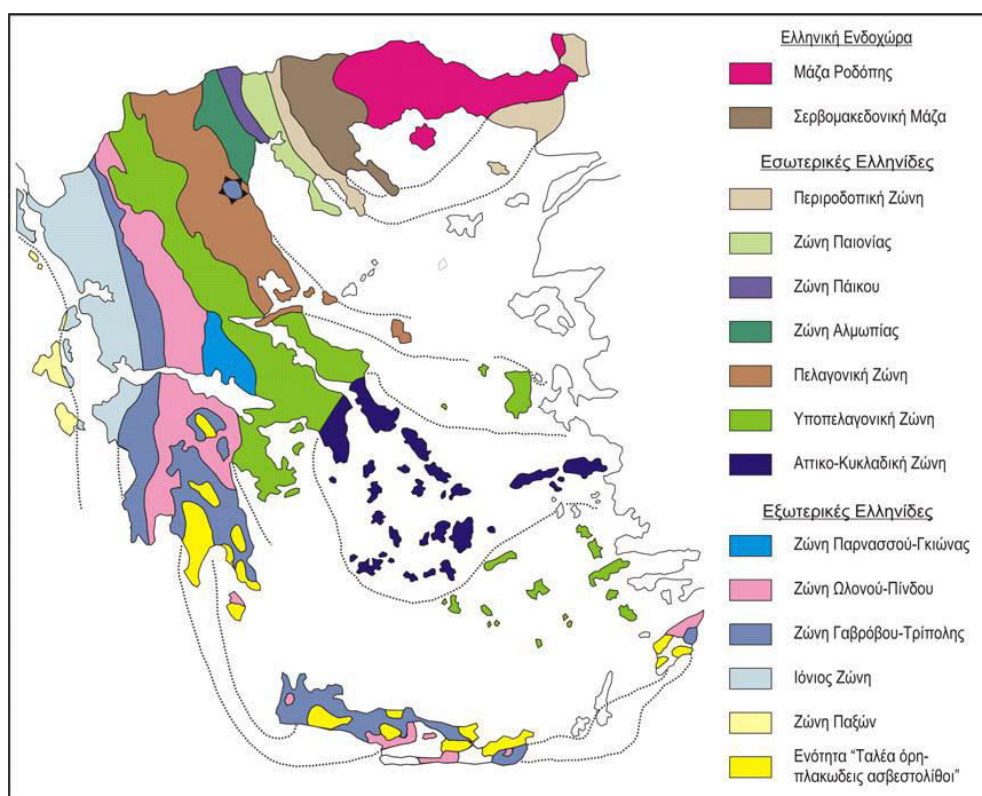
3. Γεωλογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της προς μελέτη περιοχής

3.1 Γεωλογικό υπόβαθρο της ευρύτερης περιοχής

Οι γεωτεκτονικές ζώνες που αποτελούν τον ελληνικό χώρο είναι 14 και χωρίζονται σε τρεις μεγαλύτερες κατηγορίες οι οποίες είναι:

- ❖ **Η Ελληνική ενδοχώρα**
- ❖ **Οι εσωτερικές Ελληνίδες**
- ❖ **Οι εξωτερικές Ελληνίδες**

Η προς μελέτη περιοχή βρίσκεται στην κατηγορία των Εσωτερικών Ελληνίδων και συγκεκριμένα στην **Αττικοκυκλαδική ζώνη**. Η ζώνη αυτή χαρακτηρίζεται από Νηριτική ιζηματογένεση και κατά τους Αλπικούς χρόνους ήταν ηπειρωτικό τεμάχιο με ρηχή θάλασσα.



Χάρτης 3.1: Οι γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδος (Μουντράκης 2010)

Τα βασικά υλικά από τα οποία συντίθεται η Αττικοκυκλαδική μάζα είναι οι δολομίτες οι μαρμαρυγιακοί και αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι και τα μάρμαρα. Στη περιοχή αυτή

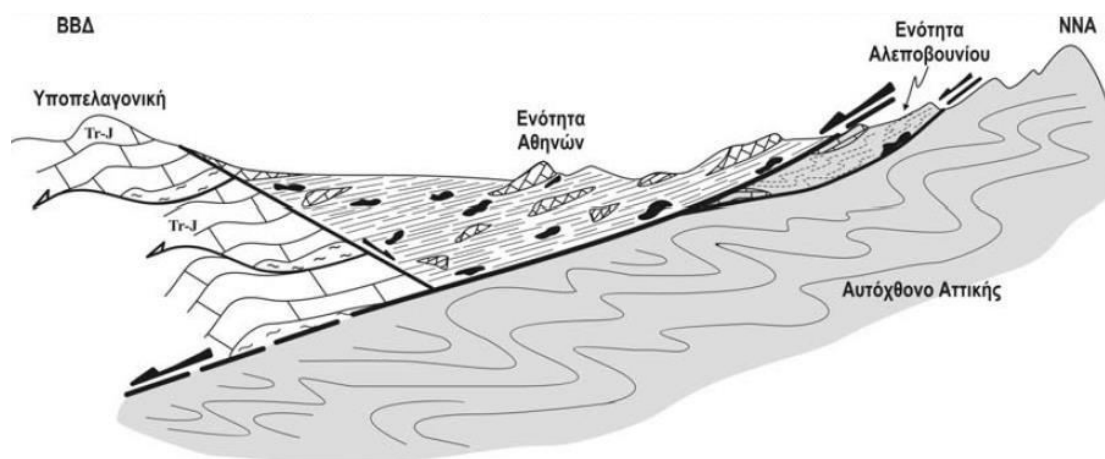
διακρίνονται τρεις φάσεις μεταμόρφωσης και χαρακτηριστικό της είναι η εισχώρηση μεγάλων όγκων πετρωμάτων βασικά γρανιτικής σύστασης.

Περιλαμβάνει (orykta.gr):

- Την ενότητα Αττικής (αποτελούμενη από μάρμαρα, δολομίτες και σχιστόλιθους).
- Την ενότητα Όχης (επωθημένη στην προηγούμενη).
- Την ενότητα Στύρων που είναι υποκείμενη.
- Την ενότητα Βορείων Κυκλάδων, με μάρμαρα στη βάση, μεταφαιστειακά πετρώματα και κλασικά ιζήματα.
- Την ενότητα Νοτίων Κυκλάδων, όπου επικρατούν γνεύσιοι, αμφιβολίτες, σχιστόλιθοι, μάρμαρα και μεταφλύσχης με οφιολίθους.

Από τις ενότητες αυτές για το σκοπό της συγκεκριμένης μελέτης θα αναλυθεί η **ενότητα Αττικής** και πιο συγκεκριμένα στο **λεκανοπέδιο Αθηνών** όπου βρίσκεται και ο χώρος που αφορά την έρευνα αυτή. Η ενότητα αυτή έχει εξάπλωση, στο χώρο του Πεντελικού και της Λαυρεωτικής της Αττικής του Αλμυροπόταμου της Νότιας Εύβοιας καθώς και του Υμηττού στον οποίο βρίσκεται και ο χώρος του θεάτρου βράχων και το επίμαχο πρανές.

Οι σχηματισμοί που λαμβάνουν μέρος στη γεωλογική δομή του λεκανοπεδίου, διακρίνονται σε **Αλπικούς και Μεταλπικούς**. Οι αλπικοί εντοπίζονται στους ορεινούς όγκους που περιβάλλουν το λεκανοπέδιο αλλά και στους μικρούς λόφους που αναπτύσσονται μέσα σε αυτό, ενώ οι μεταλπικοί πληρούν το εσωτερικό του λεκανοπεδίου, όπου καλύπτουν ασύμφωνα τους υποκείμενους αλπικούς σχηματισμούς (Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε., Κράνης Χ. και Δανάμος Γ ,2004). .



Σχέδιο 3.1: Σχηματική απεικόνιση της γεωλογικής δομής της ευρύτερης περιοχής των Αθηνών κατά Παπανικολάου, 2004

Το **Λεκανοπέδιο των Αθηνών** εντοπίζεται στο βορειοδυτικό περιθώριο του Αττικοκυκλαδικού μεταμορφικού συμπλέγματος. Ανατολικά και βορειοανατολικά οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Υμηττού και της Πεντέλης, οι οποίοι δομούνται από μεταμορφωμένα πετρώματα της σχετικά αυτόχθονης Ενότητας Αττικής, ενώ δυτικά και βόρεια οριοθετείται από τους ορεινούς όγκους του Αιγάλεω, του Ποικίλου και της Πάρνηθας, οι οποίοι δομούνται από τους αμεταμόρφωτους σχηματισμούς της Υποπελαγονικής Ενότητας. (Marinos & Petracheck 1956, Παπανικολάου 1986).

3.1.1 Αλπικοί σχηματισμοί

Τα αλπικά πετρώματα ανατολικά της τεκτονικής ζώνης ανήκουν στην ενότητα του μεταμορφωμένου αυτόχθονου συστήματος της Αττικής, ενώ αυτά στα δυτικά της τεκτονικής ζώνης ανήκουν στην ενότητα της Υποπελαγονικής (Παπανικολάου 2002).

Η Αυτόχθονη Ενότητα Αλμυροποτάμου - Αττικής, αναπτύσσεται στην Α-ΒΑ Αττική και δομεί τους ορεινούς όγκους Πεντέλης – Υμηττού και τα άλλα όρη που βρίσκονται ανατολικότερα. Σύμφωνα με τον Παπανικολάου (2002) η αυτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής περιλαμβάνει τις ακόλουθες επιμέρους ενότητες:

1. Τη μεταμορφωμένη **ενότητα της Βάρης** με εν μέρει Τριαδική ηλικία και άγνωστη μέχρι στιγμής γεωτεκτονική ένταξη. Αντιστοιχεί μερικώς στους «Σχιστόλιθους Βάρης» και «Δολομίτες και Ασβεστολιθικούς Σχιστόλιθους Πιρναρής» του Lepsius (1893) και περιλαμβάνει σχιστόλιθους και μεταβασικά πετρώματα στη βάση που με τυπική μετάβαση περνούν σε μια παχιά ακολουθία από δολομιτικά μάρμαρα. Η αλπική δομή είναι πολύπλοκη με ισοκλινείς πτυχές και πολλές εσωτερικές ολισθήσεις.
2. Την υπερκείμενη μεταμορφωμένη **ενότητα Υμηττού**, με εν μέρει τριαδικο-ιουρασική ηλικία και άγνωστη επίσης ένταξη. Αντιστοιχεί στο «Κατώτερο Μάρμαρο», «Ανώτερο Μάρμαρο» και «Σχιστόλιθους Καισαριανής» του Lepsius (1893) και περιλαμβάνει μια ακολουθία από μάρμαρα και δολομίτες που με μετάβαση περνάει σε σχιστόλιθους (που περικλείουν μεταβασικά και υπερβασικά πετρώματα), πτυχωμένα ισοκλινώς με πτυχές χιλιομετρικής κλίμακας που δημιουργούν επαναλήψεις των ίδιων οριζόντων.
3. Την επίσης μεταμορφωμένη **ενότητα Πεντέλης** που ανήκει στις εξωτερικές ελληνίδες με χαρακτήρες που θυμίζουν την ενότητα της Τρίπολης ή αυτή των Νοτίων Κυκλάδων. Περιλαμβάνει μια μετα-ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία στη βάση που με μετάβαση περνάει σε μια παχιά ακολουθία από μάρμαρα.

Τα μη-μεταμορφωμένα ιζηματογενή πετρώματα, της Υποπελαγονικής (Τεκτονικές ενότητες Σφενδάλης & Μαυρηγόρας – Κατσιμιδίου), αναπτύσσονται στη ΒΔ Αττική και δομούν τους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας, του Ποικίλου Όρους και του Αιγάλεω (Marinos & Petracheck 1956, Παπανικολάου 1986).

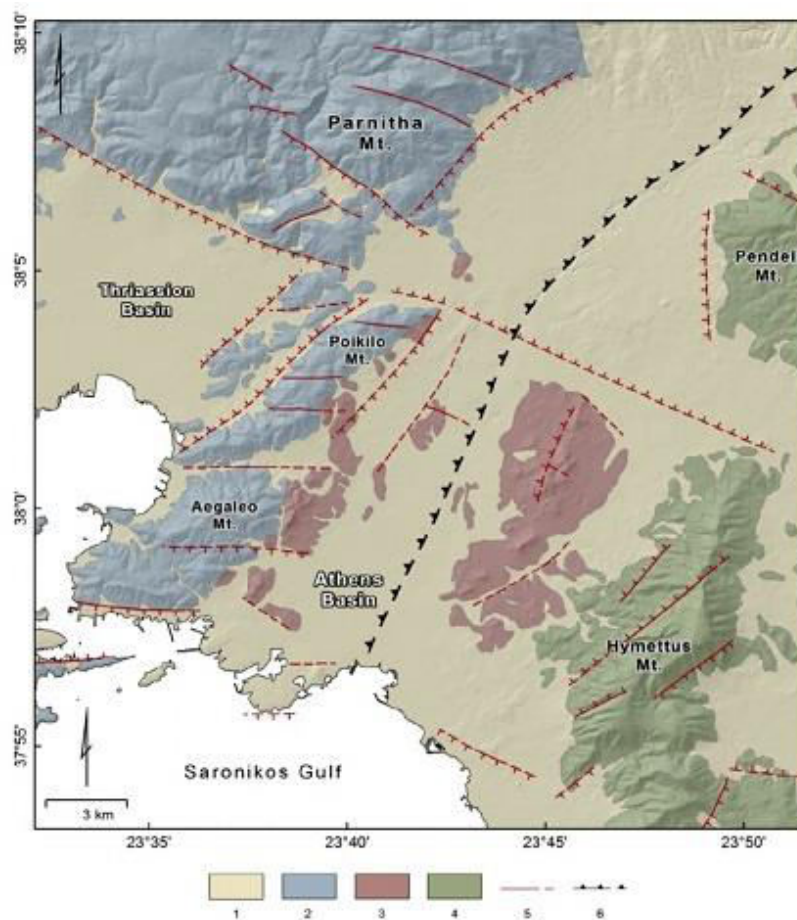
1. Ο σχηματισμός βάσης, αποτελεί ένα ηφαιστειοϊζηματογενές σύμπλεγμα που αποτελείται από εναλλαγές τεφροπράσινων κυρίως και φαιών αργιλικών σχιστών, πηλιτών, ψαμμιτών, χαλαζιακών κροκαλοπαγών, τόφφων και τοφφιτών μέσα στις οποίες απαντούν επίσης ασβεστόλιθοι, αρκόζες και γραουβάκες, καθώς και τεμάχη λαβών, που ανήκουν κυρίως στον τύπο του χαλαζιακού κερατοφύρη.
2. Ο κύριος λιθολογικός τύπος της Υποπελαγονικής ενότητας αποτελείται από λευκούς, τεφρόλευκους και κατά θέσεις ροδόχρους ασβεστόλιθους και δολομιτικούς ασβεστόλιθους, άστρωτους έως παχυστρωματώδεις, νηρητικής φάσεως. Τα ανθρακικά πετρώματα της Υποπελαγονικής εμφανίζονται συνήθως κατακερματισμένα, αναπτύσσοντας πυκνές διακλάσεις και δευτερογενείς πορώδες, λόγω καρστικοποίησης, ενώ το πάχος τους φθάνει τις μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Το κεντρικό και δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου Αττικής είναι υπερκείμενο τεκτονικά της Υποπελαγονικής Ενότητας ενώ ανατολικό του τμήμα είναι υπερκείμενο τεκτονικά του Αυτόχθονου της Αττικής και διακρίνεται σε δύο ενότητες: την υπερκείμενη ουσιαστικά αμεταμόρφωτη **Ενότητα Αθηνών** και την υποκείμενη ελαφρά **μεταμορφωμένη Ενότητα Αλεποβουνίου**.

- Η **Ενότητα Αθηνών** εμφανίζεται στο κεντρικό και δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου, υπερκείμενη τεκτονικά της Υποπελαγονικής Ενότητας (δυτικά) και της Ενότητας Αλεποβουνίου (ανατολικά) και περιλαμβάνει δύο βασικά λιθολογικά συστήματα, τα οποία παρουσιάζουν βασικές λιθοφασικές διαφορές και διαφορετικούς χαρακτήρες τεκτονικής παραμόρφωσης (Παπανικολάου et al., 2004). Εξ άλλου τα δύο αυτά λιθολογικά σύνολα αποτελούν δύο επιμέρους «τεκτονικές ενότητες».
- Το πρώτο, συνίσταται από λευκούς συμπαγείς ανακρυσταλλωμένους ως επί το πλείστο ασβεστόλιθους του Άνω Κρητιδικού, οι οποίοι εμφανίζονται άστρωτοι σε υφαλώδη και γενικά Νηριτική φάση.
- Από την άλλη, το δεύτερο σύστημα της ενότητας γνωστό με το όνομα «σχιστόλιθοι των Αθηνών», αντιστοιχεί σε ένα σύνθετο πετρολογικό σύνολο – μείγμα πετρωμάτων (melange) Άνω Κρητιδικής ηλικίας στο οποίο περιλαμβάνονται κλαστικά ιζήματα, όπως ψαμμίτες, άργιλοι, ψαμμούχες μάργες και γραουβάκες, πηλίτες, καθώς επίσης και πλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι ενίοτε με πυριτικές ενδιαστρώσεις και άλλοτε με κονδύλους πυριτιολίθων.

Η εσωτερική γεωμετρία της Ενότητας Αθηνών με τις διαδοχικές εναλλαγές των δύο υποενότητων αποκαλύπτεται με εντυπωσιακό ή μη τρόπο στα παλαιά λατομεία του δυτικού και του κεντρικού τμήματος του Λεκανοπεδίου. Στο δυτικό τμήμα, και συγκεκριμένα στα λατομεία Κηπούπολης – Άσπρων Χωμάτων, διακρίνονται τουλάχιστον δύο επαναλήψεις, από τις τρεις που αναγνωρίστηκαν συνολικά στο δυτικό τμήμα. Στη θέση αυτή παρατηρούνται εντυπωσιακές τεκτονικές επιφάνειες με οριζόντιες γραμμές ολίσθησης, που φέρνουν σε επαφή τους διάφορους λιθολογικούς τύπους της δεύτερης υποενότητας μεταξύ τους αλλά και με τους νηρητικούς ασβεστόλιθους της πρώτης υποενότητας

- Η **Ενότητα Αλεποβουνίου** εντοπίζεται μόνο στο ανατολικό περιθώριο του Λεκανοπεδίου, και είναι τεκτονικά σφηνωμένη μεταξύ της υπερκείμενης Ενότητας Αθηνών και των υποκείμενων μεταμορφωμένων πετρωμάτων του Υμηττού. Διακρίνονται δύο κύρια λιθολογικά σύνολα εκ' των οποίων το ένα υπέρκειται τεκτονικά του άλλου σχηματίζοντας 2 ξεχωριστά τεκτονικά καλύμματα:
 - α) το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα Αλεποβουνίου και
 - β) το κατώτερο κάλυμμα.
- Το ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα περιλαμβάνει συμπαγείς κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, λευκούς έως ερυθρίζοντες ή φαιοκάστανους, με ασαφή στρώση κατά θέσεις έως παχυστρωματώδεις.
- Το κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα συνίσταται από αμυδρώς μεταμορφωμένα έως ημιμεταμορφωμένα σχιστομαργαϊκά στρώματα και φυλλίτες, έντονα σχιστοποιημένους, ιδιαίτερως αμέσως κάτω από την τεκτονική επαφή προς τους υπερκείμενους ασβεστόλιθους Αλεποβουνίου. Πρόκειται για ένα σύνθετο πετρολογικά σύστημα που αποτελείται κυρίως από φυλλίτες και μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους, εντός των οποίων παρεμβάλλονται τεφροί ή καστανοί, πλακώδεις ασβεστόλιθοι, καθώς και πλακώδεις ερυθροί ή κιτρινωποί μικροκοκκώδεις χαλαζίτες. Οι παλαιότεροι ερευνητές αναφέρουν τα κατώτερο τεκτονικό κάλυμμα ως «Στρώματα Καρά» ηλικίας Μ.- Αν. Κρητιδικό (Lepsius 1893, Kober 1929).



Χάρτης 3.2: Γεωλογικός Χάρτης του Λεκανοπεδίου (Michael Foumelis, Ioannis Fountoulis, Ioannis D. Papanikolaou, Dimitrios Papanikolaou (2013): *Geodetic evidence for passive control of a major Miocene tectonic boundary on the contemporary deformation field of Athens Gr*

1: μεταλλικά ιζήματα

2: μη μεταμορφωμένα πετρώματα

3: αλλόχθονο σύστημα (σχιστόλιθος Αθηνών)

4: μεταμορφωμένα πετρώματα

5: κύρια ρήγματα

6: μεγάλης κλίμακας τεκτονική επαφή



Εικόνα 3.1: Ασβεστόλιθος στα Τουρκοβούνια (eastmediterranean.wordpress.com)

3.1.2 Μεταλλικοί σχηματισμοί

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί της Αττικής αναπτύσσονται κατά κανόνα στις λεκάνες Λεκανοπεδίου Αθηνών, Μεσογείων, Μεγάρων, Ελευσίνας, Κορίνθου και Θηβών και διακρίνονται σε **Νεογενείς** και **Τεταρτογενείς** σχηματισμούς και αποθέσεις. Το περιβάλλον σχηματισμού των μεταλλικών και οι φάσεις αποθέσεις τους, παρουσιάζουν ιδιορρυθμίες που σχετίζονται με εξελισσόμενες ρηξιγενείς δομές, από το Μειόκαινο μέχρι και σήμερα (Lepsius 1893, Mariolakis et al. 1985, κ.ά.). Έτσι, οι ποταμοχερσαίες και λιμναίες φάσεις

εξελίσσονται πλευρικά και στρωματογραφικά σε υφάλμυρες και θαλάσσιες από το Μειόκαινο στο Πλειστόκαινο, ενώ οι υπερκείμενοι ασύμφωνα Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις παρουσιάζουν στη μεγαλύτερη έκτασή τους ποταμοχερσαίο και ποταμολιμναίο περιβάλλον, με εκτεταμένους αναβαθμούς. Εξαίρεση αποτελούν οι δυτικότερες λεκάνες, Μεγάρων και Κορίνθου, όπου οι εξελισσόμενες ρηξιγενείς δομές δημιουργούν Πλειστοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις και αναβαθμούς. Στους Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς στην περιοχή του Σουσακίου (λεκάνη Κορίνθου) παρεμβάλλονται ανδρειακά και δακτικά πετρώματα, τα οποία και αποτελούν τις ΒΔ απολήξεις του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου (Β. Αντωνίου – Γ. Μιγκίρος 2002).

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί καλύπτουν ασύμφωνα τους υποκείμενους αλπικούς στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής και αντιπροσωπεύονται όπως αναφέρθηκε από **νεογενή** και **πλειοτεταρτογενή** ιζήματα.

Νεογενείς αποθέσεις: Εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής και η επιφανειακή τους εξάπλωση είναι μικρή. Είναι όμως βέβαιο ότι συνεχίζουν θαμμένες κάτω από νεότερες αποθέσεις, όπως αποδεικνύουν οι επιφανειακές εμφανίσεις τους στη Φυλή, την Πετρούπολη και το Περιστερί καθώς και οι γεωτρήσεις στη λεκάνη των Άνω Λιοσίων. Στη βάση αποτελούνται από λιμνοχερσαία ιζήματα που αντιστοιχούν σε εναλλαγές μαργών, ψαμμούχων μαργών, χονδρόκοκκων και λεπτόκοκκων ψαμμιτών σε οριζόντες πάχους 1- 1,5 μέτρων, κροκαλοπαγών και αργίλων εντός των οποίων ενδιαστρώνονται συχνά οριζόντες σαπροπηλών και παρεμβολές λιγνιτών. Προς τα πάνω μεταπίπτουν σε περισσότερο χερσαίες φάσεις κροκαλοπαγών και ερυθροπηλών με χαρακτηριστικά είδη της πικερμικής πανίδας (Freyberg 1951, Χαραλαμπάκης 1951).

Πλειοτεταρτογενείς αποθέσεις: Αντιπροσωπεύονται από κώνους κορημάτων και αλλούβιους σχηματισμούς και παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση. Περισσότερο εντυπωσιακή είναι η περίπτωση του μεγάλου κώνου κορημάτων που αναπτύσσεται στις νότιες κλιτείες της Πάρνηθας (μέγιστο πάχος γύρω στα 100 m) και παρουσιάζει τη μορφή τυπικού ριπιδίου με αξιοσημείωτα σταθερή κλίση που ανέρχεται σε 10° προς ΝΝΑ. Οι φάσεις μεταβάλλονται έντονα τόσο πλευρικά όσο και κατακόρυφα και αποτελούνται από εναλλαγές πολύ συνεκτικών με μέτριας ή χαμηλής συνεκτικότητας κροκαλολατυποπαγών που εναλλάσσονται με οριζόντες παλαιοεδαφών πάχους από 0,5 - 2 μέτρα. Οι σύγχρονες αλλουβιακές αποθέσεις αναπτύσσονται κυρίως κατά μήκος και εκατέρωθεν της κατασκευαζόμενης οδού Σταυρού-Ελευσίνας, αποτελούνται από εντελώς ασύνδετα μεταξύ τους υλικά κροκάλες, λατύπες, άμμους και ερυθρές αργίλους και το πάχος τους δεν υπερβαίνει (σύμφωνα με τις γεωτρήσεις) τα 10-15 m. (Ε.Λ.Λέκκας , Σ.Γ.Λοιζιός & Γ.Δ.Δάναμος 2001).



Εικόνα 3.2: Νεογενή πετρώματα στο πάρκο Τρίτση (Ιλιον) με τη μορφή ψαμμίτη από λεπτή άμμο (eastmediterranean.wordpress.com)

3.2 Το λατομείο Εργάνη

Το θέατρο βράχων βρίσκεται κοντά στους πρόποδες του όρους Υμηττού από τα δυτικά και ανήκει στη περιοχή του δήμου Βύρωνα (Latitude $37^{\circ} 57'00''$, Longitude $23^{\circ}45'32''$, Elevation 171m). Το λατομείο αυτό είναι πλέον ανενεργό καθώς η λειτουργία του ως χώρος εξόρυξης αδρανών υλικών έχει σταματήσει τουλάχιστον από το 1980.



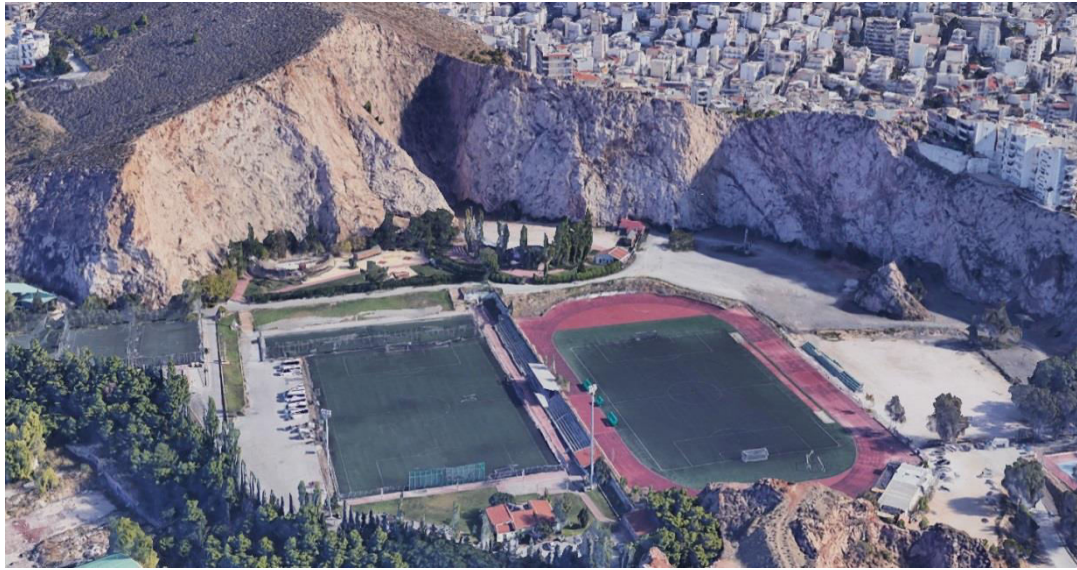
Φωτογραφία 3.1:Άποψη του θεάτρου «Μελίνα Μερκούρη»



Εικόνα 3.3: Η θέση του λατομείου σε σχέση με το όρος του Υμηττού (Google Earth)

3.2.1 Μορφολογία του λατομείου

Ο χώρος του πρώην λατομείου αποτελείται από ένα σύνολο πρανών που για την διευκόλυνση της μελέτης έχουν χωριστεί σε επιμέρους τμήματα. Τα πρανή παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους σε ότι έχει να κάνει με την κλίση τη διεύθυνση αλλά και το ύψος. Τα υλικά ωστόσο από τα οποία αποτελούνται είναι ίδια κατά βάση με μικρές εξαιρέσεις που θα μπορούσαν να θεωρηθούν και αμελητέες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το σύνολο του σχηματισμού να απαρτίζεται από βραχώδη υλικά με τραχεία επιφάνεια. Σε πολλά σημεία η βραχομάζα είναι κατακερματισμένη αλλά στο μεγαλύτερο κομμάτι της παρουσιάζεται ως συμπαγής. Στα όρια του λατομείου βρίσκεται κατοικημένη περιοχή με πολυκατοικίες να βρίσκονται πολύ κοντά στα πρανή που μελετώνται. Γενικότερα ο χώρος του λατομείου περιλαμβάνει πέρα από τα δύο θέατρα μία μεγάλη αλάνα χωρίς συγκεκριμένη χρήση αλλά και διάφορα γήπεδα που έχουν κατασκευαστεί για ψυχαγωγικούς σκοπούς.



Εικόνα 3.4: Το σύνολο των πρανών που συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη και ο περιεχόμενος χώρος (Google Earth)

Τα τμήματα στα οποία έχει χωριστεί το λατομείο ώστε η έρευνα να είναι πιο αποδοτική και ακριβής είναι τα εξής:



Εικόνα 3.5: Τα πρανή στα οποία χωρίστηκε το λατομείο (Google Maps)

Πρανές 1



Φωτογραφία 3.2: Τμήμα του 1ου πρανούς

Το τμήμα αυτό έχει ύψος από 46,8 m έως 52,6 m και βρίσκεται τυπικά έξω από το περιφραγμένο χώρο του θεάτρου. Μπροστά στο πρανές αυτό υπάρχει μεγάλη έκταση εμβαδού 6509,49 τετραγωνικών μέτρων για την οποία δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη χρήση πέρα από ένα προσωρινό χώρο παρκαρίσματος αλλά πραγματοποιείται συχνή διέλευση πεζών και οχημάτων. Το υλικό από το οποίο αποτελείται είναι ασβεστόλιθος που είναι και αυτό που κυριαρχεί στο σύνολο του σχηματισμού. Παρουσιάζει επίσης μεγάλη κλίση περίπου 75° με διεύθυνση κλίσης 356° . Τέλος εκτείνεται σε μήκος 78m.

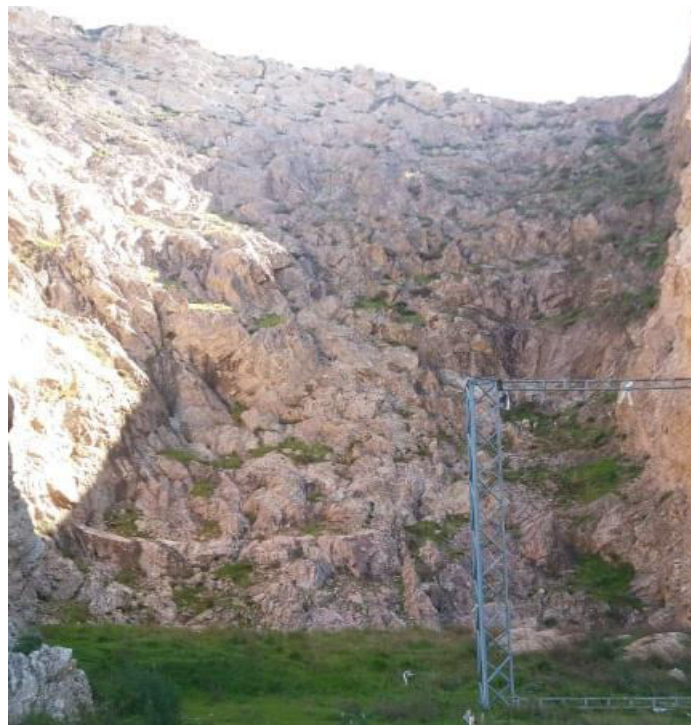
Πρανές 2



Φωτογραφία 3.3: Τμήμα του 2ου πρανούς

Το δεύτερο πρανές είναι το μεγαλύτερο σε μήκος καθώς φτάνει τα 107 m και βρίσκεται σχεδόν όλο μέσα στο περιφραγμένο χώρο του πρανούς από την μεριά του θεάτρου Μελίνα Μερκούρη. Το ύψος του κυμαίνεται από τα 53 m μέχρι τα 61 m . Στα όρια του είναι κατασκευασμένη μικρό κτήριο που ανήκει στις εγκαταστάσεις του θεάτρου. Επίσης υπάρχει κενός χώρος 2147,02 τετραγωνικών μέτρων στον οποίο συνήθως εγκαθίστανται προσωρινές κατασκευές όπως εξέδρες για συναυλίες γεγονός που αποδεικνύει πως η ασφάλεια του χώρου αυτού είναι σημαντική. Η κλίση του αγγίζει τις 75° με διεύθυνση κλίσης 301° που δείχνει πόσο απότομο είναι και αυξάνει την επικινδυνότητα λόγω πτώσης βράχων. Το βασικό υλικό που δομεί το πρανές αυτό είναι ο ασβεστόλιθος εκτός από λίγες ασυνέχειες με απόθεση ασβεστίτη σε μορφή σταλαγμιτών-σταλακτιτών και εμφανίζεται αρκετά συμπαγές.

Πρανές 3



Φωτογραφία 3.4: Τμήμα του 3ου πρανούς

Το κομμάτι αυτό είναι ιδιαίτερο σε σχέση με τα άλλα πρανή του λατομείου για αρκετούς λόγους. Αρχικά εμφανίζει την μεγαλύτερη υψομετρική διακύμανση με τιμές 52,6 m με 74,3 m αλλά και το μεγαλύτερο ύψος. Η κλίση του είναι στις 48° με διεύθυνση κλίσης 269° κάνοντάς τη μία από τις μικρότερες του λατομείου αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο αναπήδησης τεμαχών. Το μήκος του είναι 50 m και βρίσκεται σε ένα είδος κοιλάτητας που καταλήγει σε ένα περιορισμένο χώρο που δεν έχει κάποια πρακτική χρήση. Το κομμάτι αυτό δεν είναι τόσο συμπαγές όσο τα άλλα χωρίς ωστόσο η χαλαρότητα του να χαρακτηρίζεται επικίνδυνη.

Πρανές 4



Φωτογραφία 3.5: Τμήμα του 4ου πρανούς

Το επόμενο τμήμα είναι αυτό που ουσιαστικά καταλαμβάνει το χώρο μεταξύ των δύο θεάτρων και απέναντί του βρίσκεται το αναψυκτήριο των εγκαταστάσεων και ένα βαγόνι που χρησιμοποιείται σαν αποθήκη ενώ άμεσα στο πόδα του πρανούς υπάρχει ένας αριθμός δέντρων και διάφορα φυτά. Το ύψος του πρανούς είναι από τα 60,5 m έως τα 64 m και βασικό χαρακτηριστικό του είναι το κατοπτρικό ρήγμα μεγάλης επιφάνειας που εμφανίζεται σε αυτό. Η κλίση του που είναι στις 44° με διεύθυνση κλίσης 298° είναι η μικρότερη σε όλο το σχηματισμό. Τέλος το μήκος του είναι περίπου 61μ.



Φωτογραφία 3.6: Πλάγια όψη 4ου πρανούς

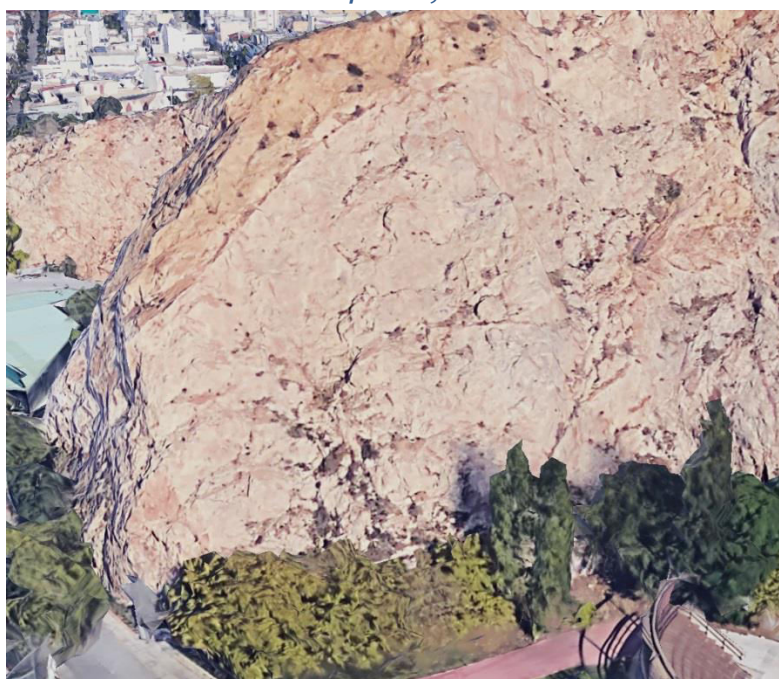
Πρανές 5



Φωτογραφία 3.7: Τμήμα του 5ου πρανούς

Το πρανές αυτό από άποψης κλίσης χωρίζεται σε δύο τμήματα. Το άνω κομμάτι έχει κλίση 49° ενώ το κάτω τμήμα έχει κλίση 54° με γενικότερη διεύθυνση κλίσης 272° . Το ύψος του είναι 50μ με 61μ και έχει μήκος 47μ. Στη βάση του πρανούς αυτού υπάρχουν δέντρα και θάμνοι με το θέατρο Άννας Συνοδινού να βρίσκεται λίγα μέτρα μετά σε αρκετά κοντινή απόσταση από το πρανές. Εδώ παρουσιάζεται πάλι συμπαγής μάζα πρανούς από ασβεστιτικό υλικό.

Πρανές 6



Φωτογραφία 3.8: Τμήμα του 6ου πρανούς(Google Earth)

Στο συγκεκριμένο κομμάτι παρατηρείται κλίση 55° και διεύθυνση κλίσης 214° και καλύπτει μία έκταση 49 μέτρων και έχει ύψος από 42μ έως 50μ. Απέναντι από το πρανές υπάρχουν δύο δρόμοι που οδηγούν σε μία από τις εξόδους του θεάτρου καθώς και η ίδια η έξοδος στην οποία οδηγούν. Ακόμα στο τελευταίο τμήμα του πρανούς που έχει δέντρα στη βάση του και είναι εντός της περιφράξης των εγκαταστάσεων του θεάτρου, υπάρχει μεγάλος αριθμός επικρεμάμενων τεμαχίων μικρής μάζας που αυξάνουν τον κίνδυνο ατυχήματος.

Πρανές 7

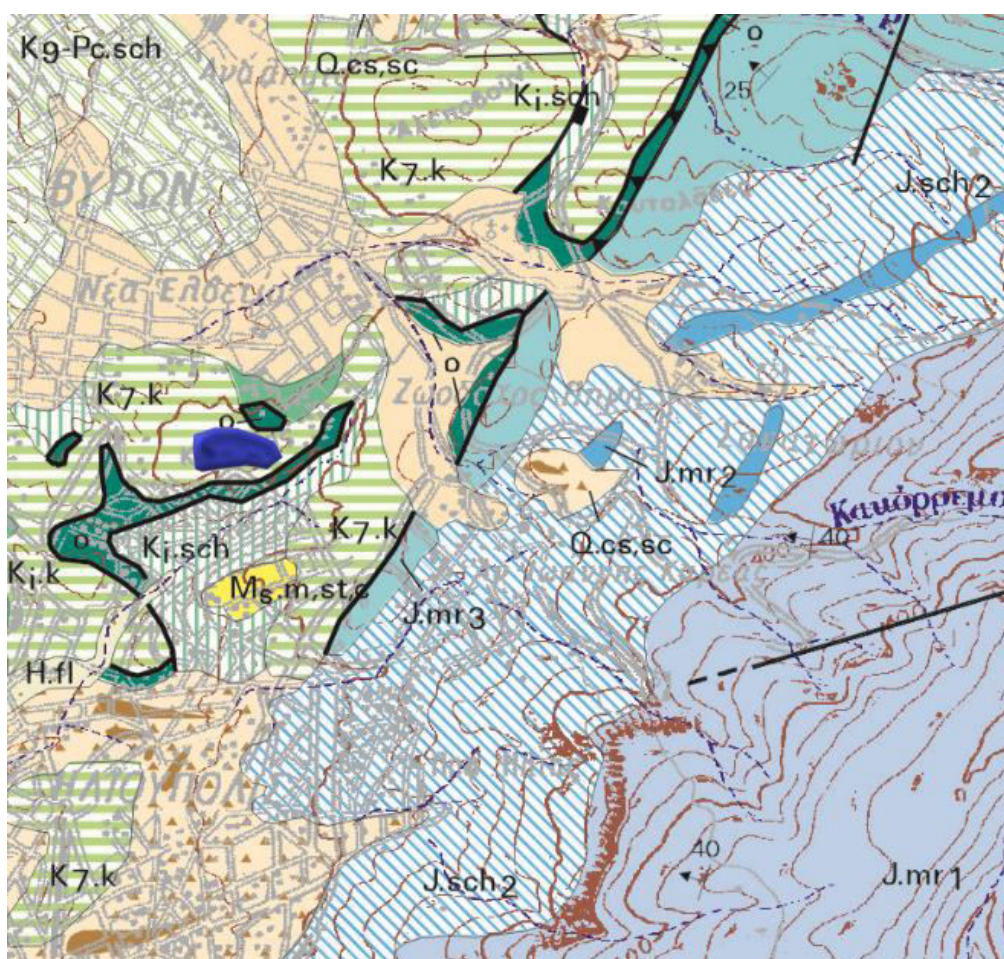


Φωτογραφία 3.9: Τμήμα του 7ου πρανούς

Το τελευταίο πρανές βρίσκεται σχεδόν εξ ολοκλήρου έξω από το θέατρο παράλληλα στο δρόμο που οδηγεί έξω από το λατομείο. Στο δρόμο αυτό πραγματοποιείται συχνή διέλευση πεζών και οχημάτων που σε συνδυασμό με το γεγονός ότι παρατηρούνται και εδώ επικρεμάμενα τεμάχια δημιουργεί αυξημένο κίνδυνο ασφαλείας για ζημιές αλλά ακόμα και απώλεια ανθρώπινων ζωών. Το μήκος του είναι το μικρότερο του σχηματισμού στα 36μ και το ύψος του είναι από 40 μέχρι 42 μέτρα. Τέλος και το αυτό κομμάτι χωρίζεται σε δύο τμήματα με βάση την κλίση του με το άνω τμήμα να είναι 53° και το κάτω 70° με γενική διεύθυνση κλίσης 302° .

3.2.2 Γεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Για να καθοριστεί το γεωλογικό υπόβαθρο του χώρου που βρίσκεται το πρώην λατομείο Εργάνη αλλά και της ευρύτερης περιοχής στην οποία είναι τοποθετημένο έγινε η χρήση τμήματος χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε και συγκεκριμένα το φύλλο Κορωπί – Πλάκα με κλίμακα 1:50.000 καθώς και του υπομνήματος επεξήγησης του κάθε σχηματισμού που παρουσιάζεται στο χάρτη αυτό. Επίσης για το σκοπό αυτό έγινε και χρήση οπτικών και άλλων παρατηρήσεων που έγιναν κατά τη διάρκεια πραγματοποίησης των μετρήσεων στο χώρο του λατομείου.

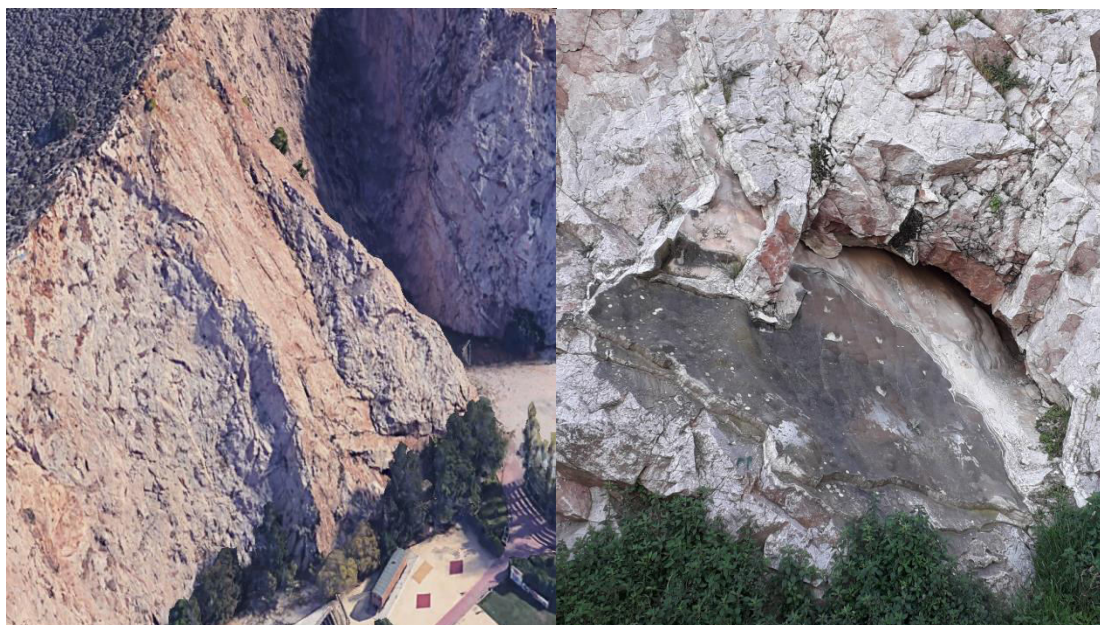


Χάρτης 3.3: Χάρτης Ι.Γ.Μ.Ε κλίμακας 1:50.000, φύλλο “Κορωπί-Πλάκα” σε μεγέθυνση όπου φαίνεται το συγκεκριμένο σημείο στο οποίο βρίσκεται το θέατρο Βράχων (σημειωμένο με σκούρο μπλε χρώμα)

Παρατηρήθηκε πως σε όλους του σχηματισμούς που συμπεριλαμβάνονται στο χώρο της μελέτης υπάρχει ουσιαστικά η ίδια γεωλογική δομή οπότε και υπάρχει κάποια ξεχωριστή ανάλυση για το κάθε τμήμα του λατομείου.

Βάση των πληροφοριών που έχουν ήδη αναφερθεί για τη γενικότερη γεωλογία της περιοχής τα γεωλογικά χαρακτηριστικά που καταγράφονται για την υπό μελέτη περιοχή είναι τα εξής:

- Οι σχηματισμοί που περιβάλλουν το θέατρο βράχων είναι Αλπικοί, ανήκουν στο Αλλόθθονο Σύστημα του Λεκανοπεδίου Αττικής και πιο συγκεκριμένα στο ανώτερο τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας Αλεποβουνίου.
- Από άποψη στρωμάτωσης όλος ο χώρος μελέτης αποτελείται από λευκούς έως τεφρούς αλλά και καστανόχρωμους ασβεστόλιθους που θα χαρακτηρίζονταν ως άστρωτοι. Γενικότερα οι σχηματισμοί είναι συμπαγείς με εξαίρεση συγκεκριμένα τμήματα τους (πρανή 2 και 3) τα οποία παρουσιάζουν ένα μικρό βαθμό κερματισμού λόγω των διαδικασιών λατόμευσης που έλαβαν χώρα στα σημεία αυτά όταν το λατομείο ήταν ενεργό. Τέλος παρατηρείται σε όλα τα πρανή μεγάλος αριθμός επικρεμάμενων τεμαχίων μικρού σχετικά όγκου.
- Καταγράφηκε ρήγμα που καταλαμβάνει σχεδόν όλη την έκταση του τέταρτου πρανούς με κατοπτρική επιφάνεια. Η βραχομάζα στο σημείο αυτό φαίνεται συμπαγής και υγιής χωρίς κάποια ένδειξη αποσάθρωσης.
- Εντοπίστηκαν φαινόμενα καρστικοποίησης σε πολλές ασυνέχειες με απόθεση ασβεστίτη σε μορφή σταλαγμιτών-σταλακτιτών λόγω της ροής βρόχινου νερού από τα σημεία αυτά.



Φωτογραφία 3.10 (Δεξιά): Καρστικά φαινόμενα στο 1ο πρανές

Εικόνα 3.6 (Αριστερά): Κατοπτρικό ρήγμα στο 4ο πρανές (Google Earth)

3.2 Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά πετρώματος

3.2.1. Θλιπτική αντοχή του πετρώματος

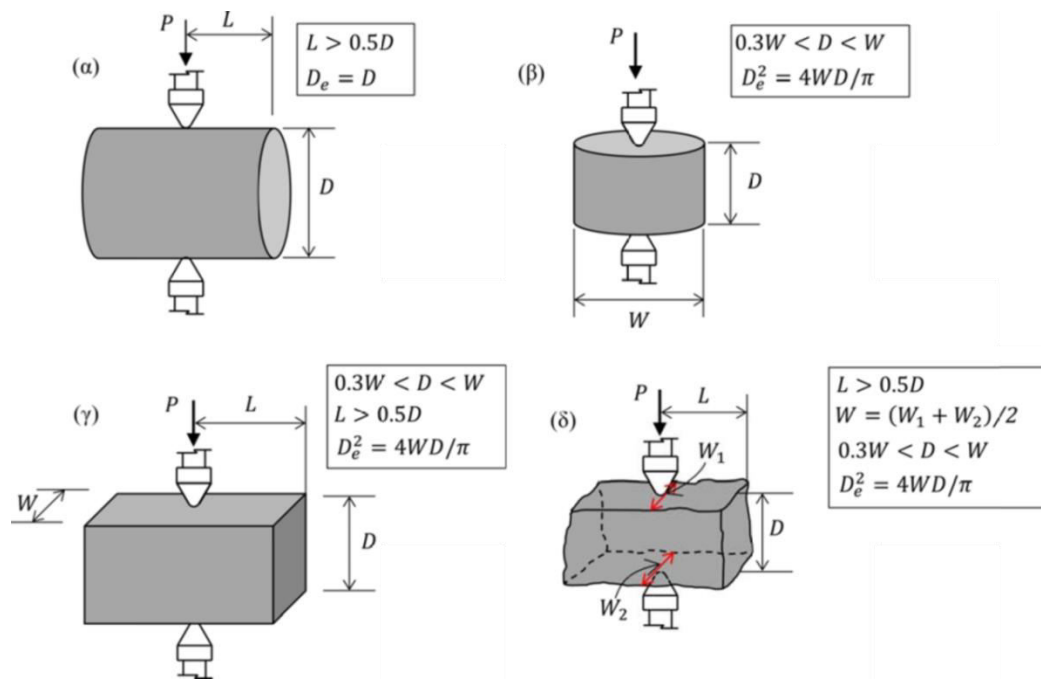
3.2.1.1. Δοκιμή σημειακής φόρτισης

Η θλιπτική αντοχή των πετρωμάτων στη περιοχή της μελέτης έγινε πειραματικά μέσω δοκιμών σημειακής φόρτισης (point load). Η διαδικασία της δοκιμής σημειακής φόρτισης (point load test), πραγματοποιείται με την τοποθέτηση κατάλληλα διαμορφωμένων δοκιμών αποτελούμενων από το επιθυμητό υλικό και στη συνέχεια επιβολή αντιδιαμετρικής σημειακής φόρτισης σε αυτά από δύο χαλύβδινα έμβολα με κωνικά άκρα. Η εφαρμογή της δοκιμής γίνεται κατά βάση εργαστηριακά αν και υπάρχει και η δυνατότητα να γίνει επιτόπου στο πεδίο γιατί η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη δοκιμή είναι εύκολο να μεταφερθεί με μικρές τροποποιήσεις .



Εικόνα 3.7: Συσκευή δοκιμής σημειακής φόρτισης - Αποδεκτές και μη αποδεκτές περιπτώσεις θραύσεις επιφάνειας κατά τη δοκιμή (Λουπασάκης ,2015)

Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται στη δοκιμή γίνεται να είναι ακανόνιστου σχήματος (Εικόνα 3.9 - δ) ,κυλινδρικά που σε αυτή τη περίπτωση η φόρτιση πραγματοποιείται είτε κάθετα στον άξονα του δοκίμιου(Εικόνα 3.9 - α) είτε παράλληλα σε αυτόν(Εικόνα 3.9 - β) αλλά και σε ορθογωνικό δοκίμιο(Εικόνα 3.9 - γ).



Εικόνα 3.8: Τα διάφορα είδη σημειακής φόρτισης σε σχέση με το αν τα δοκίμια είναι κυλινδρικά (α, β), πρισματικά (γ) ή ακανόνιστης μορφής (δ) και οι απαραίτητες διαστάσεις τους βάσει των προδιαγραφών της ISRM (1985), (Π. Νομικός, 2015)

Η δοκιμή εκτελείται σύμφωνα με την ελληνική τεχνική προδιαγραφή Ε103-84 για τον προσδιορισμό της αντοχής δοκιμών πετρώματος σε σημειακή φόρτιση, η οποία ακολουθεί γενικά την προτεινόμενη μέθοδο της ISRM (1985).

Στη διαδικασία της σημειακής φόρτισης το δοκίμιο αρχικά στερεώνεται ανάμεσα στους κώνους φόρτισης με τρόπο τέτοιο που το σημείο που θα ασκηθεί η φόρτιση να είναι περίπου στη μέση του δοκιμίου. Στη συνέχεια ασκείται σταθερά αυξανόμενη θλιπτική τάση μέχρι να πραγματοποιηθεί η θραύση του δοκιμίου όπου βάσει των προδιαγραφών τις ISRM χρειάζεται χρόνο μεταξύ 10 και 60 δευτερολέπτων για να συμβεί. Η πίεση ασκείται μέσω χειροκίνητης υδραυλικής αντλίας και η τιμή της όταν επιτευχθεί η θραύση καταγράφεται. Αναφέρεται πως για να είναι οι μετρήσεις ακριβείς θα πρέπει το δοκίμιο να βρίσκεται σε συνθήκες υγρασίας παρόμοιες με αυτές του χώρου στο οποίο γίνεται η μελέτη αν αυτό δεν ισχύει θα πρέπει να σημειωθεί. Τέλος για να γίνει αποδοχή των αποτελεσμάτων της δοκιμής απαραίτητο είναι η επιφάνεια της θραύσης να διέρχεται και από τα δύο σημεία που ασκείται η φόρτιση.

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης γίνεται για υπολογιστεί Από τη δοκιμή υπολογίζεται ο δείκτης αντοχής σε σημειακή φόρτιση (point load index) I_s με τη σχέση:

$$I_s = P/D_e^2$$

Όπου:

P το φορτίο θραύσης

D_e η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου

Ως **D** ορίζεται η απόσταση των μεταξύ των ακμών φορτίσεων .

Ισχύει ότι **D_e=D** όταν η δοκιμή που πραγματοποιείται είναι διαμετρική

Ακόμα ισχύει **D_e²=4WD/π** αν η δοκιμή γίνεται σε ακανόνιστο ,ορθογωνικό ή κυλινδρικό δοκίμιο (αξονική).

W το πλάτος του επιπέδου στο οποίο θα γίνει η θραύση .

Για μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε από δοκιμές με διάφορες διαμέτρους χρειάζεται η διόρθωση του δείκτη **I_s**, που είναι συνάρτηση της διαμέτρου **D_e**. Για να γίνει η διόρθωση θα πρέπει να υπολογιστεί τυποποιημένος δείκτης αντοχής σημειακής φόρτισης **I_{s(50)}** για δοκίμιο με διάμετρο 50 mm ώστε να χρησιμοποιείται σαν σημείο αναφοράς και αντικαθιστά τον δείκτη **I_s** του κάθε δοκιμίου . Κατά την ISRM (1985) οι δοκιμές θα πρέπει να εκτελούνται σε δοκίμια διαμέτρου περίπου 50 mm ώστε να μην απαιτείται μεγάλη διόρθωση του δείκτη **I_s**. Όταν όλα τα δοκίμια έχουν την περίπου την ίδια ισοδύναμη διάμετρο, **I_s**, τότε ο **I_{s(50)}** υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$I_{s(50)} = F \times I_s$$

όπου **F** είναι ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$F = (D_e/50)^{0,45}$$

Η ισοδύναμη διάμετρος **D_e** εισάγεται σε mm. Όταν πλησιάζει τα 50 mm, τότε για τον υπολογισμό του συντελεστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση:

$$F = \sqrt{D_e/50}$$

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ISRM, η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από την ύπαρξη ανισορροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φόρτισης σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος.

Η μέση τιμή του δείκτη **I_{s(50)}** υπολογίζεται ως η μέση τιμή 10 ή περισσότερων δοκιμών, όπου οι 2 μεγαλύτερες και οι 2 μικρότερες τιμές δε λαμβάνονται υπόψη.

Προκειμένου για πετρώματα με κάποιο εμφανές επίπεδο αδυναμίας (π.χ. στρώση ή σχιστότητα), η ανισοτροπία της αντοχής μπορεί να εκτιμηθεί με τον δείκτη ανισοτροπίας της αντοχής **I_{s(50)}⊥**, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη **I_{s(50)}⊥**, για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος προς το δείκτη **I_{s(50)}∥**, για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος:

$$I_{\alpha(50)} = I_{s(50)\perp} / I_{s(50)\parallel}$$

Ο δείκτης ανισοτροπίας της αντοχής λαμβάνει τιμές περίπου 1,0 για την περίπτωση ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

(Πάυλος Νομικός ,2015)

Η αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και ο δείκτης αντοχής του συνδυάζονται στον ακόλουθο τύπο:

$$\sigma_c = \alpha I_s(50)$$

όπου, α η σταθερά συσχέτισης, η σταθερά αυτή έχει βασικά να κάνει με τη σύσταση του πετρώματος από γεωλογικής και ορυκτολογικής πλευράς αλλά και από το αν έχει υποστεί αποσάθρωση και σε ποιο βαθμό έχει συμβεί αυτό. Η τιμή του συντελεστή σταθεράς συσχέτισης δε δίνεται με ακρίβεια καθώς υπολογίζεται πειραματικά ανάλογα με το είδος του υλικού (Πίνακας 3.1).

Πίνακας 3.1: Σταθερά συσχέτισης α για διάφορα πετρώματα (Νομικός 2015)

Πέτρωμα	$\alpha = \sigma_c / I_s(50)$	Αναφορά
Διάφορα πετρώματα	24	Broch & Franklin (1972)
Ψαμμίτες	~23	Bieniawski (1975)
Ιζηματογενή	16	Read et al. (1980)
Βασάλτης	20	Read et al. (1980)
-	20-25	ISRM (1985)
Ψαμμίτης	~ 17	Vallejo et al. (1989)
Γρανίτες και τόφφοι	~ 13	Chou & Wong (1996)
Ιζηματογενή πετρώματα	13-28	Sabatakakis et al. (2008)
Σερπεντινίτες	~20	Diamantis et al (2009)
Διάφορα πετρώματα	14-24	Singh et al. (2012)
Ψαμμίτης	22	Singh et al. (2012)
ασβεστόλιθος	19	Singh et al. (2012)
Διάφορα πετρώματα	~15	Mishra & Basu (2013)

3.2.1.2 Αποτελέσματα δοκιμής σημειακής φόρτισης

Για τη διαδικασία αυτή έχουν χρησιμοποιηθεί δοκίμια από όλα τα πρηνή του λατομείου και έχουν τοποθετηθεί αφού μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους (**D** και **W** σε mm) στη συσκευή δοκιμής σημειακής φόρτισης όπου τους ασκήθηκαν πιέσεις μέχρι να πραγματοποιηθεί η θραύση τους. Έτσι υπολογίστηκε και το φορτίο θραύσης **P(KN)**.

Έπειτα βρίσκουμε τη διάμετρο του δοκίμιου **D_e** βάσει του τύπου που αντιστοιχεί σε δοκίμιο ακανόνιστης μορφής :

$$D_e^2 = 4WD/\pi$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης **I_s** από το τύπο:

$$I_s = P/D_e^2$$

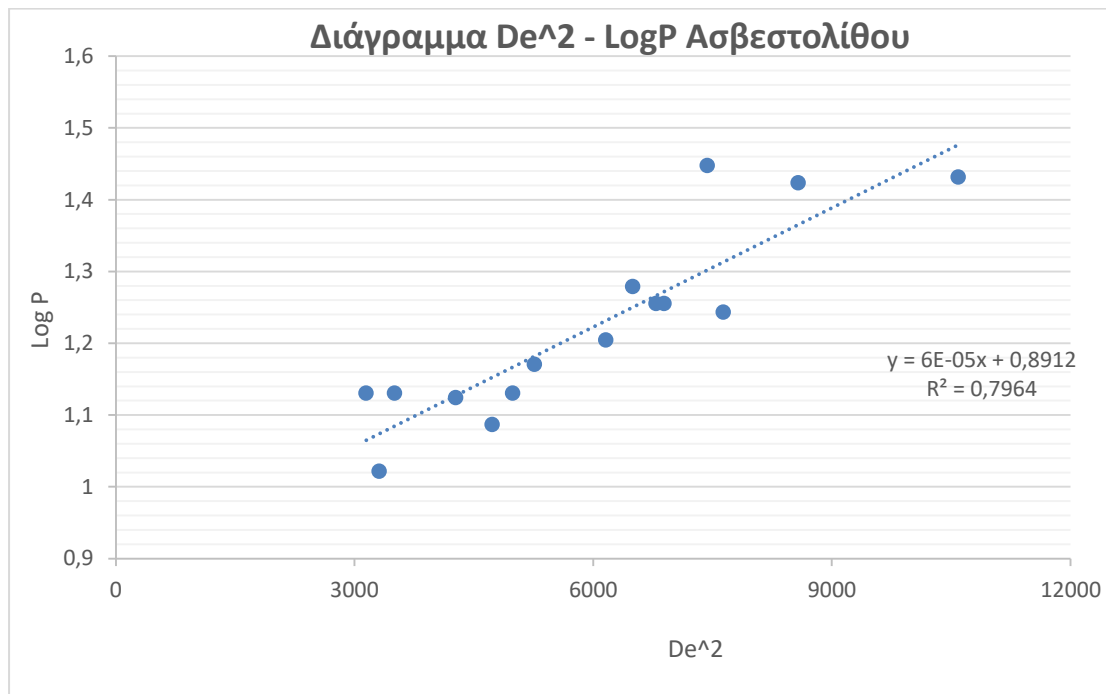
Πίνακας 3.2: Μετρήσεις για το σύνολο των δοκιμών στα οποία εφαρμόστηκε δοκιμή σημειακής φόρτισης

Πρανές	Δοκίμιο	D(mm)	W(mm)	P(KN)	De ² (mm ²)	Is(Mpa)	LogP
1	Γ2	82,3	109,1	5,7	11438	0,49833887	0,755874856
	Γ2.1	54,9	88,1	16	6161	2,59698101	1,204119983
	Γ2.2	47,8	86,4	14,8	5261	2,813153393	1,170261715
2	B2	57,7	92,4	18	6791	2,650566927	1,255272505
	B3	57,5	101,5	28	7434	3,766478343	1,447158031
	B3.1	50,6	73,4	9	4731	1,902346227	0,954242509
	Γ1.1	50	67,1	13,3	4274	3,111839027	1,123851641
	Γ1.2	58,5	63,5	12,2	4732	2,57819104	1,086359831
	Γ4	65,4	78	19	6498	2,923976608	1,278753601
	Γ5	53	102,1	18	6893	2,611344843	1,255272505
	Δ3	67	76,5	11	6529	1,684790933	1,041392685
	Δ3.1	49,2	90,8	7,5	5691	1,317870322	0,875061263
	Ε1	74,7	111,3	27	10591	2,54933434	1,431363764
	Ε1.1	45,1	86,8	13,5	4987	2,7070383	1,130333768
	Z1	92,5	100	15	11783	1,273020453	1,176091259
	Z1.1	60	99,9	17,5	7636	2,291775799	1,243038049
	3	B1.1	44,8	59,7	6,3	3407	1,849134136	0,799340549
B1.2		10,9	58,6	5	3053	1,637733377	0,698970004
Δ2		38,8	70,8	6	3499	1,71477565	0,77815125
4	A1.1	35	94,7	9,5	4222	2,250118427	0,977723605
	A1.2	33,4	77,8	10,5	3310	3,172205438	1,021189299
	Ε3	68,3	98,6	26,5	8579	3,088938105	1,423245874
5	ΣΤ1	64,4	94	10	7712	1,296680498	1
	Z2	69	80,6	7	7085	0,988002823	0,84509804
	Z2.1	40,3	68,3	13,5	3506	3,850541928	1,130333768
	Z2.2	44,5	55,5	13,5	3146	4,291163382	1,130333768
6	H1	67,3	111,2	15	9533	1,57348159	1,176091259
	H2	78	95,4	14	9479	1,476949045	1,146128036
7	A2	88,1	91,1	19	10224	1,858372457	1,278753601
	A3	34	84,7	8	3669	2,180430635	0,903089987

Έπειτα από όλα τα δοκίμια διαλέγουμε αυτά με τις 15 μεγαλύτερες τιμές I_s και με τις τιμές τους ($D_e^2 - \text{LogP}$) δημιουργούμε διάγραμμα από το οποίο προκύπτει εξίσωση της ευθείας $y = 6 \cdot 10^{-5} x + 0.8912$.

Πίνακας 3.3: Τα δοκίμια του επιλέχθηκαν βάση των μεγαλύτερων τιμών I_s

Δοκίμιο	De ² (mm ²)	LogP
Γ2.1	6161	1,204119983
Γ2.2	5261	1,170261715
B2	6791	1,255272505
B3	7434	1,447158031
Γ1.1	4274	1,123851641
Γ1.2	4732	1,086359831
Γ4	6498	1,278753601
Γ5	6893	1,255272505
E1	10591	1,431363764
E1.1	4987	1,130333768
Z1.1	7636	1,243038049
A1.2	3310	1,021189299
E3	8579	1,423245874
Z2.1	3506	1,130333768
Z2.2	3146	1,130333768



Διάγραμμα 3.1: Αξονική αναπαράσταση $\log P - \log De_2$ για τον προσδιορισμό του $I_s(50)$ στον ασβεστόλιθο

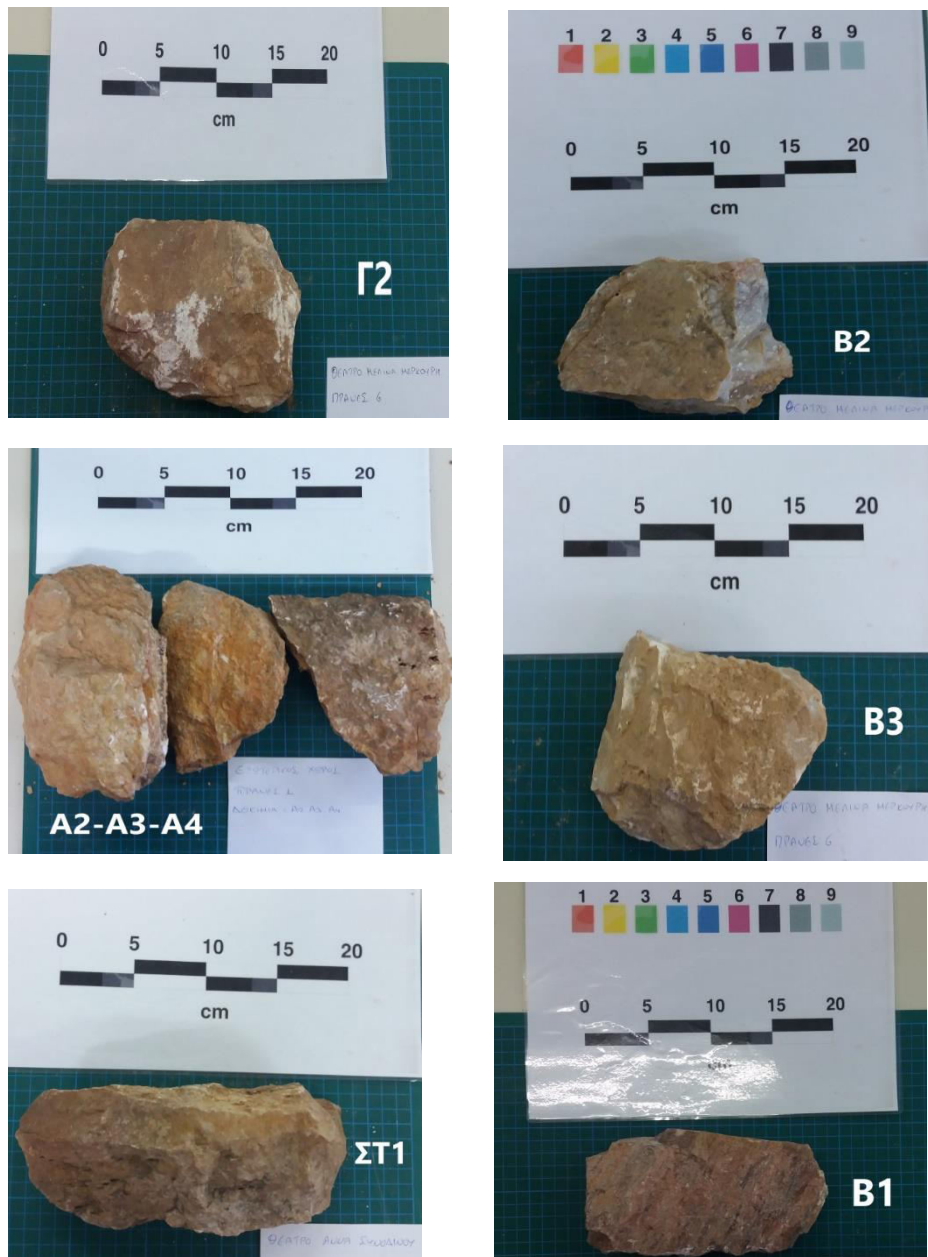
Για να υπολογίσουμε το $I_{s(50)}$ ορίζουμε ως x την τιμή 2500mm (D_{50}^2) και έχουμε ότι:

$$\gamma = \log P = 1.0412 \Rightarrow P = 101.0412 \Rightarrow P = 11 \text{ KN}$$

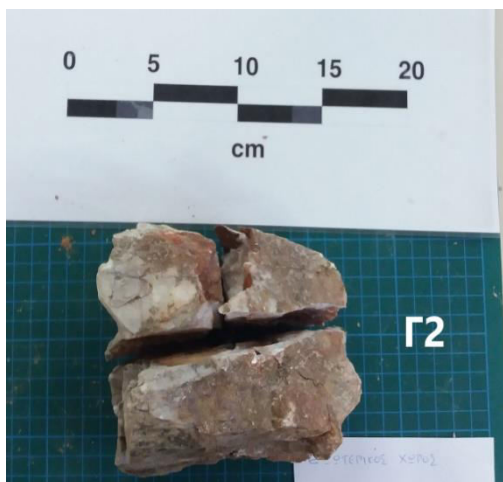
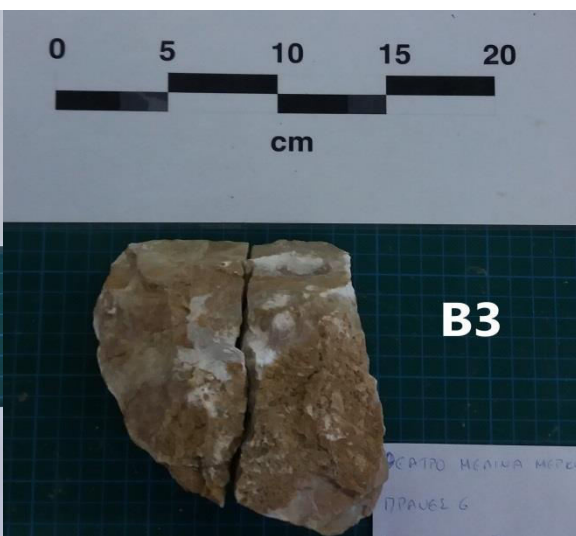
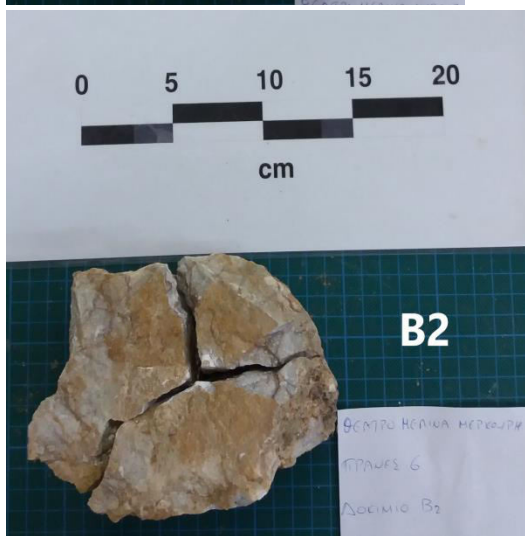
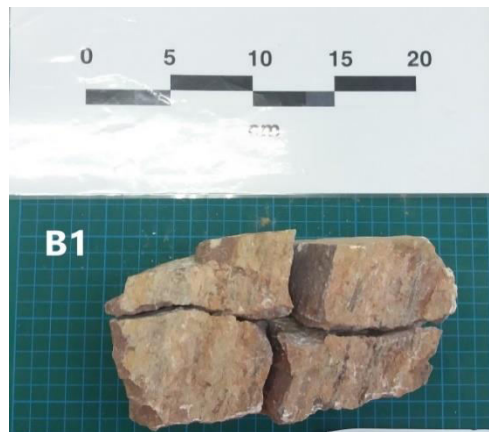
$$\text{Άρα: } I_{s(50)} = P/2500 = 0.0044 \text{ KPa} \Rightarrow I_{s(50)} = 4.4 \text{ MPa}$$

Τέλος παίρνοντας για την σταθερά συσχέτισης την τιμή $\alpha = 25$ και χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$\sigma_c = \alpha * I_{s(50)} \text{ Καταλήγουμε ότι: } 25 * 4.4 \text{ MPa} \Rightarrow \sigma_c = 110 \text{ MPa}$$



Φωτογραφία 3.11: Δοκίμια ασβεστολίθου πριν τη δοκιμή point load



Φωτογραφία 3.12: Δοκίμια ασβεστολίθου μετά τη δοκιμή point load

3.2.2 Διατμητική αντοχή - Γωνία τριβής ασυνεχειών

3.2.2.1 Βασικά στοιχεία

Για να γίνει σωστά ο υπολογισμός της επιτόπου διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών γίνονται δοκιμές διάτμησης στο πεδίο σε καλά καθορισμένες ασυνέχειες. Επειδή όμως είναι δύσκολο να βρεθούν οι κατάλληλες ασυνέχειες σε ορισμένες περιπτώσεις για διάφορους λόγους έχουν δημιουργηθεί κριτήρια για να αντικαταστήσουν τη διαδικασία αυτή που βασίζονται σε βιβλιογραφικά και εργαστηριακά δεδομένα.

Όταν οι ασυνέχειες μιας βραχόμαζας είναι ομόρροπες προς τις ελεύθερες επιφάνειες και με γωνίας κλίσεως μικρότερη της κλίσεως των ελεύθερων επιφανειών, τότε αποτελούν δυνητικά επίπεδα ολίσθησης. Στην περίπτωση αυτή η βραχόμαζα παύει να συμπεριφέρεται ως ισότροπο υλικό, με αποτέλεσμα οι ασυνέχειες που συνεισφέρουν να καθορίζουν και την αντοχή και την παραμορφωσιμότητά της.

Στο σημείο αυτό γίνεται η παραδοχή πως η εφελκυστική αντοχή τιμών ασυνεχειών είναι μηδενική αλλά και ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στη βραχομάζα είναι θλιπτικού χαρακτήρα με αποτέλεσμα η κύρια συνιστώσα αντοχής να είναι διατμητική.

Σε μια λεία επιφάνεια η διατμητική αντοχή τ μπορεί να εκφραστεί αξιόπιστα από μία γραμμική περιβάλλουσα Mohr – Coulomb της μορφής:

$\tau = \sigma_n \cdot \tan\phi$, όπου ϕ η γωνία τριβής.

Στη πραγματικότητα, πολύ σπάνια συναντώνται στη φύση τέτοιες λείες επιφάνειες. Αντιθέτως στις φυσικές ασυνέχειες κάποια μορφή αντίστασης ολίσθησης με διακυμάνσεις ανάλογα με το αν οι επιφάνειες είναι: ανεπίπεδες, αποσαθρωμένες ή πληρωμένες με κάποιο υλικό.

3.2.2.2 Το κριτήριο Patton

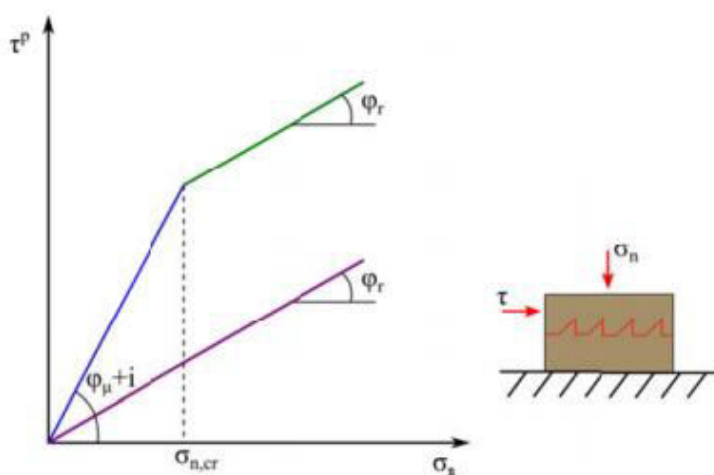
Ένας από τους πρώτους που προσπάθησαν να συσχετίσουν την τραχύτητα μιας ασυνέχειας με τη διατμητική της αντοχή ήταν ο Patton (1966). Ο Patton μέσα από μία σειρά εργαστηριακών δοκιμών στις οποίες χρησιμοποίησε οδοντώσεις για να προσομοιάσει την τραχύτητα των ασυνεχειών και την άσκηση διάφορων τιμών ορθής τάσης κατέληξε στην δημιουργία ενός τύπου για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής.

Για την περίπτωση όπου η επιφάνεια της ασυνέχειας περιέχει μία σειρά οδοντώσεων **γωνίας κλίσης i** , τα πειράματα του Patton δείχνουν ότι σε χαμηλές τιμές της ορθής τάσης παρατηρείται ολίσθηση πάνω στις κεκλιμένες επιφάνειες των οδοντώσεων (Νομικός 2015). Ο τύπος στην περίπτωση αυτή έχει τη μορφή:

$$\tau^p = \sigma_n \tan(\phi_\mu + i)$$

Όπου ϕ_{μ} είναι η βασική γωνία τριβής και εκπροσωπεί την ελάχιστη αντίσταση τριβής μεταξύ δύο λείων και επίπεδων επιφανειών βράχου, ενώ η γωνία i είναι μια μέση γωνία που αντιπροσωπεύει την τραχύτητα.

Για μικρές τιμές ορθής τάσης η γωνία κλίσης της ευθείας που σχηματίζεται είναι όπως φαίνεται και από τον παραπάνω τύπο $\phi_{\mu} + i$. Ωστόσο όταν η τιμή της ορθής τάσης υπερβεί την κρίσιμη τότε η γωνία ϕ_{μ} αντικαθίσταται από την ϕ_r δηλαδή τη γωνία παραμένουσας διατμητικής αντοχής. Οι δύο γωνίες έχουν περίπου την ίδια τιμή εκτός αν η ασυνέχεια είναι αποσαθρωμένες οπότε η ϕ_r είναι μεγαλύτερη της ϕ_{μ} . Επίσης σε μεγάλες τάσεις η γωνία i μηδενίζεται καθώς τελικά προκαλείται διατμητική αστοχία των οδοντώσεων (θραύση και μετατόπιση της ασυνέχειας) αλλάζοντας σημαντικά την κλίση της ευθείας όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχέδιο 3.2: Περιβάλλουσες κορυφαίας και παραμένουσας διατμητικής αντοχής τεχνητών ασυνεχειών με οδοντώσεις (Νομικός 2015)

3.2.2.3 Το κριτήριο Barton-Bandis

Ο Barton (1971, 1973, 1974, 1976) χρησιμοποιώντας επαρκή ποσότητα πειραματικών διατμητικών δοκιμών κατέληξε στη δημιουργία ενός τύπου είναι πλέον η βάση για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής των ασυνεχειών. Στο τύπο αυτό συμμετέχουν οι παράγοντες της τραχύτητας επιφάνειας της ασυνέχειας αλλά και η σχέση της με την ορθή τάση. Ο Τύπος για μη αποσαθρωμένες επιφάνειες ασυνεχειών είναι (Barton 1976):

$$\tau = \sigma_n \tan(\text{JRC} \log_{10}(\text{JCS} / \sigma_n) + \phi_b) \quad \text{όπου, } \phi_b \text{ είναι η βασική γωνία τριβής.}$$

Ο τύπος για αποσαθρωμένες (και μη) επιφάνειες ασυνεχειών είναι (Barton & Choubey 1977):

$$\tau = \sigma_n \tan(\text{JRC} \log_{10}(\text{JCS} / \sigma_n) + \phi_r) \quad \text{όπου, } \phi_r \text{ είναι η παραμένουσα γωνία τριβής}$$

Η βασική γωνία τριβής ϕ_b μετράται μέσω δοκιμών άμεσης διάτμησης, σε επίπεδες και μη αποσαθρωμένες επιφάνειες, κατόπιν μεγάλης διατμητικής ολίσθησης (Barton & Choubey, 1977) ενώ η ϕ , χρησιμοποιείται κυρίως για αποσαθρωμένες ασυνέχειες.

Σε ότι έχει να κάνει με τις άλλες μεταβλητές:

Όπου τ είναι μέγιστη διατμητική αντοχή

Όπου **JRC (Joint Roughness Coefficient)** ο συντελεστής τραχύτητας

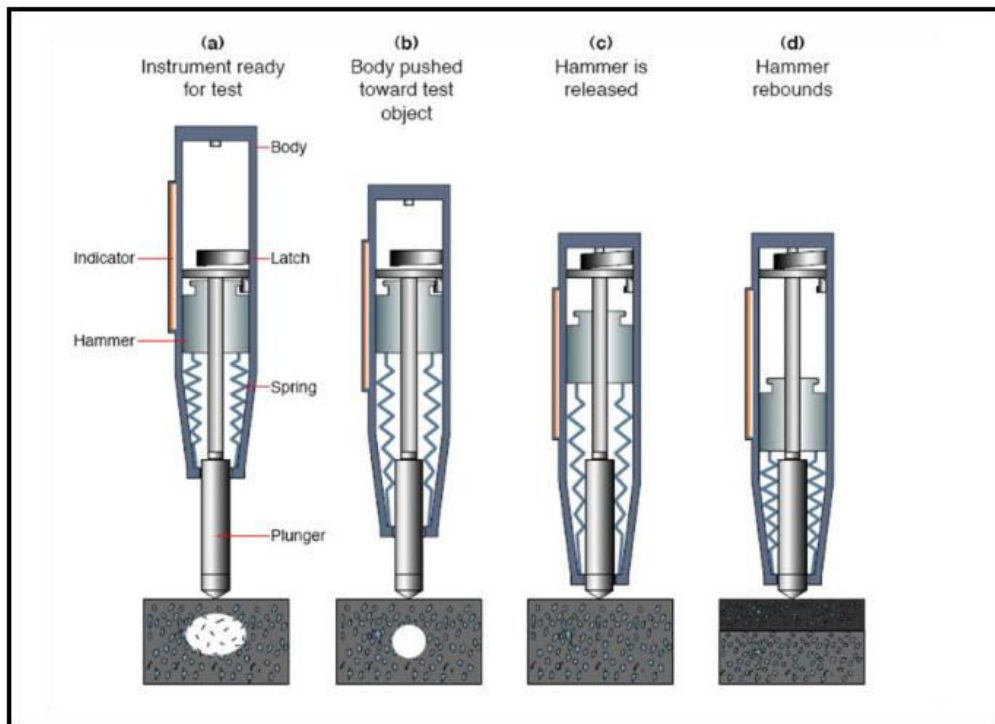
Όπου **JCS (Joint Compressive Strength)** είναι η θλιπτική αντοχή των τοιχωμάτων της ασυνέχειας

Όπου σ_n η ορθή τάση ($\sigma_n = \text{ύψος πρανούς} * \text{ειδικό βάρος ασβεστολίθου}$)

3.2.2.4 Υπολογισμός σκληρότητας πετρώματος μέσω σφύρας Schmidt και διαγραμμάτων

Για τον υπολογισμό του δείκτη **JCS (Joint Compressive Strength)** δηλαδή την αντοχή του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη θα πρέπει να γίνει επιτόπου χρήση της σφύρας Schmidt ώστε να βρεθεί η τιμή αναπήδησης R_L και να χρησιμοποιηθεί στο κατάλληλο διάγραμμα συσχέτισης.

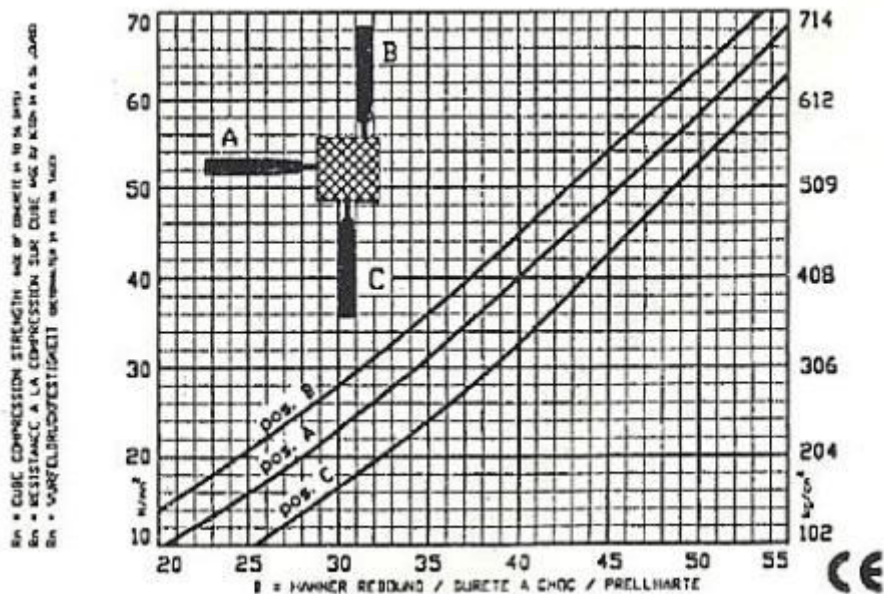
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι αρχικά η τοποθέτηση του κρουσίμετρου Schmidt κατακόρυφα (90°) στην επιφάνεια της οποίας τη σκληρότητα χρειάζεται να βρεθεί. Έπειτα ασκείται σταθερή πίεση στο σημείο αυτό μέχρι να απελευθερωθεί το ελατήριο κρούσης και να ακουστεί ο χαρακτηριστικός ήχος που υποδηλώνει πως η κρούση πραγματοποιήθηκε. Πάνω στο όργανο βρίσκεται βαθμονομημένη κλίμακα από την οποία καταγράφεται η τιμή της σκληρότητας. Αν κατά τη διαδικασία αυτή το πέτρωμα σπάσει η μέτρηση θεωρείται άκυρη. Επίσης μετά από κάθε κρούση καταγράφεται η γωνία που σχημάτιζε ο άξονας του οργάνου σε σχέση με τον ορίζοντα κατά τη διάρκεια της μέτρησης ($0^\circ, 90^\circ, 45^\circ, -90^\circ, -45^\circ$). Ανάλογα με τον προσανατολισμό της σφύρας σε σχέση με την επιφάνεια του δείγματος πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες καμπύλες διορθώσεως που δίνονται από τον κατασκευαστή.



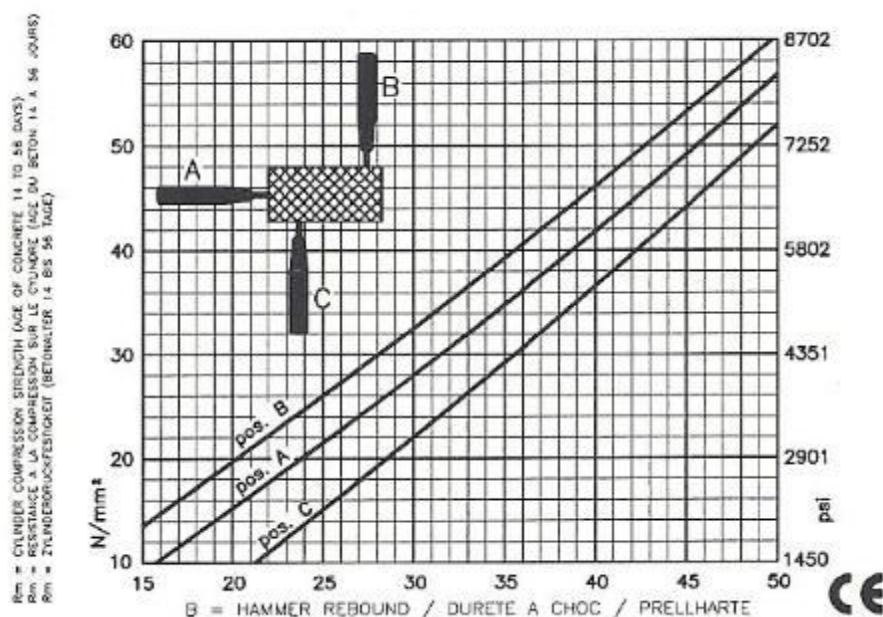
Εικόνα 3.9: Σφύρα Schmidt (Malek Jedidi, 2020)

Σε κάθε σημείο που γίνεται μέτρηση πραγματοποιούνται βάσει της ISRM το λιγότερο 20 μετρήσεις από τις οποίες οι 10 μικρότερες απορρίπτονται ενώ από τις υπόλοιπες υπολογίζεται ο μέσος όρος.

Έχοντας υπολογίσει την αναπήδηση μέσω της προαναφερθείσας διαδικασίας γίνεται να προσδιοριστεί η αντοχή του πετρώματος με τη χρήση καμπυλών συσχέτισης, που έχουν προκύψει από πειραματικά αποτελέσματα όπως φαίνεται από το παρακάτω διάγραμμα.

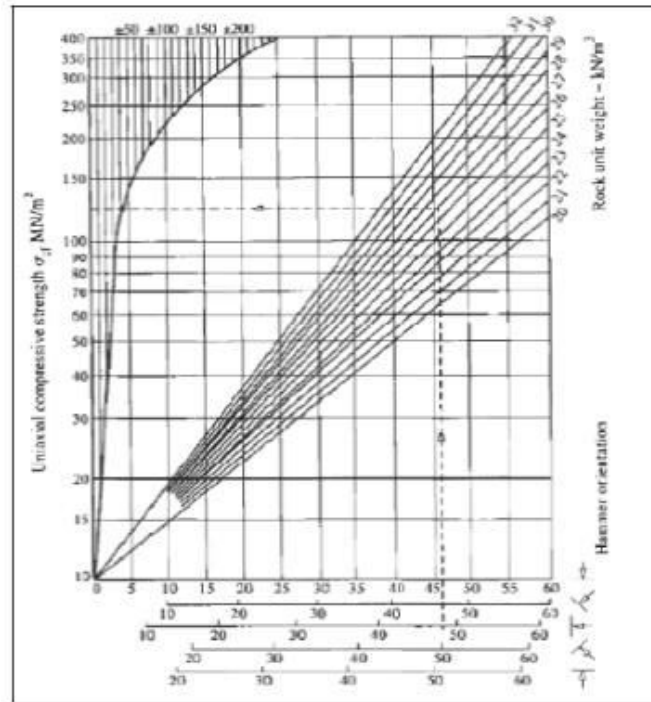


Σχέδιο 3.3: Νομόγραμμα υπολογισμού μονοαξονικής αντοχής για κρουσίμετρο τύπου L(από κατασκευστή)



Σχέδιο 3.4: Νομόγραμμα υπολογισμού μονοαξονικής αντοχής για κρουσίμετρο τύπου N(από κατασκευστή)

Τέλος δίνεται και ο πίνακας του οποίου οι καμπύλες συσχέτισης έχουν προταθεί από τους Deere και Miller(1966), και οποίες λαμβάνουν υπόψη και το ξηρό φαινόμενο βάρος του πετρώματος



Σχέδιο 3.5: Νομόγραμμα έμμεσου υπολογισμού της μονοαξονικής αντοχής με κρουσίμετρο τύπου L (Deere and Miller, 1966)

Οπότε εν τέλει διαθέτοντας το μέσο όρο των τιμών αναπήδησης και την ξηρή πυκνότητα του πετρώματος στην περιοχή της μελέτης μπορούμε να υπολογίσουμε με τη χρήση του κατάλληλου διαγράμματος την αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη.

Πρέπει να αναφερθεί ωστόσο πως παρόλο που η μέθοδος αυτή είναι μικρού κόστους σύντομη και αρκετά απλή τα στοιχεία που προσφέρει περιορίζονται στα περίπου 3 μόνο πρώτα εκατοστά της βραχομάζας.

3.2.2.5 Υπολογισμός Συντελεστή Τραχύτητας JRC (Joint Roughness Coefficient)

Για να υπολογιστεί σωστά ο συντελεστής τραχύτητας JRC θα πρέπει πρώτα η επιφάνεια της προς μελέτη ασυνέχειας να προφίλομετρηθεί με τη χρήση ειδικού εξοπλισμού που ονομάζεται προφίλόμετρο.



Εικόνα 3.10: Μηχανικό προφιλόμετρο(Νομικός,2015)

Αυτό επιτυγχάνεται με την επαφή του μηχανικού προφιλόμετρου πάνω στην επιφάνεια της ασυνέχειας σε μία έκταση 10 cm και την άσκηση ελαφριάς πίεσης ώστε αυτό να πάρει τη μορφή της επιφάνειας με τη βοήθεια μεταλλικών ακίδων που διαθέτει. Έπειτα γίνεται η χρήση ενός τυπικού προφίλ ώστε να βρεθεί μέσω οπτικής σύγκρισης αυτό που τελικά μοιάζει πιο πολύ με αυτό που μετρήθηκε.

Πίνακας 3.4: Προφίλ επιφανειών με βάση τη τραχύτητά τους και οι εκάστοτε τιμές JRC

	JRC = 0 - 2
	JRC = 2 - 4
	JRC = 4 - 6
	JRC = 6 - 8
	JRC = 8 - 10
	JRC = 10 - 12
	JRC = 12 - 14
	JRC = 14 - 16
	JRC = 16 - 18
	JRC = 18 - 20

3.2.2.6 Υπολογισμός εσωτερικής γωνίας τριβής ασυνεχειών

Για να βρεθεί η γωνία εσωτερικής τριβής πρώτα υπολογίστηκε η γωνία τραχύτητας i από το τύπο:

$$i = JRC * \log (JCS/\sigma_n)$$

Οι παράγοντες **JRC**, **JCS** και σ_n βρέθηκαν βάσει των διαδικασιών που έχουν ήδη αναφερθεί.

Τελικώς η γωνία εσωτερικής τριβής υπολογίζεται από την πρόσθεση της βασικής γωνίας εσωτερικής τριβής και τις γωνίας τραχύτητας. Για τη βασική γωνία εσωτερικής τριβής χρησιμοποιήθηκε βάση βιβλιογραφίας η τιμή $\Phi_b = 30^\circ$.

Χρησιμοποιήθηκε σε όλες τις μετρήσεις ειδικό βάρος ασβεστολίθου ίσο με **2,7 t/ m³**.

$$\Phi = \Phi_b + i$$

Στον πίνακα που ακολουθεί δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που αναφέρθηκαν.

Πίνακας 3.5: Γωνίες εσωτερικής τριβής για κάθε πρανές

ΠΡΑΝΕΣ 1	ΠΡΑΝΕΣ 2	ΠΡΑΝΕΣ 4	ΠΡΑΝΕΣ 7
42 37 36 28 28 33 52 34 45 32 16 20 16 40 20 43 26 37 35 23 26 23 40 32 34 29 34 36 22 30 38 40 32 31 34 24 35 28 37 20	52 50 56 52 46 54 51 50 54 51 52 48 49 50 43 47 53 46 53 49 50 51 48 45 55 49 49 48 51 54 43 49 49 50 48 41 46 44 44 48	39 51 56 48 33 36 24 24 48 47 43 41 26 44 43 46 46 29 46 49 35 36 35 39 45 36 36 41 41 36 36 46 48 28 24 45 29 23 23 33	50 50 45 48 51 34 51 45 50 30 40 49 40 42 50 52 42 40 40 43
M.O. 37,9 Άρα JCS = 57 MPa	M.O. 51,9 Άρα JCS = 164 MPa	M.O. 45,6 Άρα JCS = 110 MPa	M.O. 49,6 Άρα JCS = 145 MPa
Για το πρανές H=52.3 m άρα $\sigma_n = 1420 \text{ KPa}$	Για το πρανές H = 61.2 m άρα $\sigma_n = 1652 \text{ KPa}$	Για το πρανές H = 69 m άρα $\sigma_n = 1863 \text{ KPa}$	Για το πρανές H = 42.3 m άρα $\sigma_n = 1142 \text{ KPa}$
Από τις προφίλομετρήσεις προέκυψε ότι JRC = 6	Από τις προφίλομετρήσεις προέκυψε ότι JRC = 2	Από τις προφίλομετρήσεις προέκυψε ότι JRC = 10	Από τις προφίλομετρήσεις προέκυψε ότι JRC = 6
$\Phi = 40^\circ$	$\Phi = 34^\circ$	$\Phi = 48^\circ$	$\Phi = 43^\circ$

4. Ανάλυση ευστάθειας των πρανών που περιβάλλουν το θέατρο βράχων (πρώην λατομείο Εργάνη) με πραγματοποίηση στερεογραφικών προβολών

4.1 Εκτέλεση στερεογραφικής προβολής με το πρόγραμμα Dips

Το πρόγραμμα Dips έχει δημιουργηθεί για την επίτευξη λεπτομερών και αναλυτικών μελετών που έχουν σαν βάση γεωλογικά δεδομένα τα οποία αυτό το λογισμικό μεταφέρει και απεικονίζει δισδιάστατα σε σχέση με το πραγματικό προσανατολισμό τους. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη μέσω της ανάλυσης των πιθανοτήτων που προκύπτουν από τα δεδομένα που εισάγονται στο πρόγραμμα και τη δημιουργία στερεογραφικής προβολής να πραγματοποιήσει ρεαλιστικά σενάρια που είναι πιθανό να δημιουργηθούν, ώστε να τα αντιμετωπίσει αναλόγως εφόσον αυτά παρουσιάζουν δυσμενή συμπεριφορά.

Σημαντικά στοιχεία για την ανάλυση της γεωμηχανικής συμπεριφοράς της βραχομάζας είναι ο αριθμός των συστημάτων των ασυνεχειών, ο προσανατολισμός τους, η συνέχεια, η απόσταση, το άνοιγμα, η τραχύτητα, το υλικό πλήρωσης, η αντοχή του υλικού αλλά και η επιρροή του νερού στο χώρο.

Επιπλέον χρειάστηκε να χρησιμοποιηθεί και η γωνία εσωτερικής τριβής των ασυνεχειών που για τη συγκεκριμένη μελέτη υπολογίστηκε στις 34° .

Για να υπολογιστούν τα συστήματα ασυνεχειών στο χώρο μελέτης έγινε η χρήση γεωλογικής πυξίδας (CLAR) με την οποία μετρήθηκαν η κλίση και η διεύθυνση κλίσης (Dip/Dip direction) των ασυνεχειών που εντοπίστηκαν. Στη συνέχεια μετρήθηκε ο προσανατολισμός και η κλίση για κάθε πρανές στο οποίο ο χώρος μελέτης χωρίστηκε.

Τα αποτελέσματα είναι μεγαλύτερης ακρίβειας όταν οι μετρήσεις είναι τουλάχιστον 100 καθώς όσο περισσότερες είναι οι μετρήσεις τόσο περισσότερα στοιχεία είναι διαθέσιμα στο πρόγραμμα και άρα τόσο καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς της βραχομάζας. Επομένως αυξάνεται και η πιθανότητα εντοπισμού συστημάτων ασυνεχειών με δυσμενή χαρακτηριστικά που μπορούν να οδηγήσουν σε δυνητική αστοχία.

Το λογισμικό Dips έχει τη δυνατότητα, με την εισαγωγή των επί τόπου μετρήσεων της κλίσης και διεύθυνσης κλίσης των συνεχειών, να υπολογίσει την θέση των πόλων των ασυνεχειών και να κάνει την ισοβαρή κατανομή τους. Με αυτό το τρόπο είναι δυνατό να εντοπιστούν με σχετική ακρίβεια οι θέσεις των κυριότερων αλλά και των δευτερευόντων συστημάτων ασυνεχειών.

4.2 Ανάλυση τεχνικογεωλογικών συνθηκών ευστάθειας των πρανών του λατομείου Εργάνη

Κατά την ανάλυση των δεδομένων που λήφθηκαν επι τόπου στο πεδίο παρατηρήθηκε η ύπαρξη πολλών συστημάτων ασυνεχειών ως άμεσο επακόλουθο του μεγάλου αριθμού δεδομένων που μετρήθηκαν (κλίση/ διεύθυνση κλίσης ασυνεχειών). Επομένως , έγινε ένας διαχωρισμός των συστημάτων κάθε πρανού σε κύρια και δευτερεύοντα ανάλογα με τον αριθμό των πόλων που περιλάμβανέ το κάθε σύστημα.

4.2.1 Πρανές 1 – Χώρος Νοτιοδυτικά του θεάτρου Βράχων

Με την εισαγωγή των 82 μετρήσεων , που έγιναν στο πεδίο για το πρανές 1 (75/356) με γεωλογική πυξίδα, στο πρόγραμμα Dips εντοπίστηκαν **τέσσερα (4) συστήματα ασυνεχειών** εκ των οποίων τα 2 δύο είναι κύρια και τα υπόλοιπα είναι δευτερεύοντα. Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής:

Κύρια συστήματα:

J1 (74°/162°)

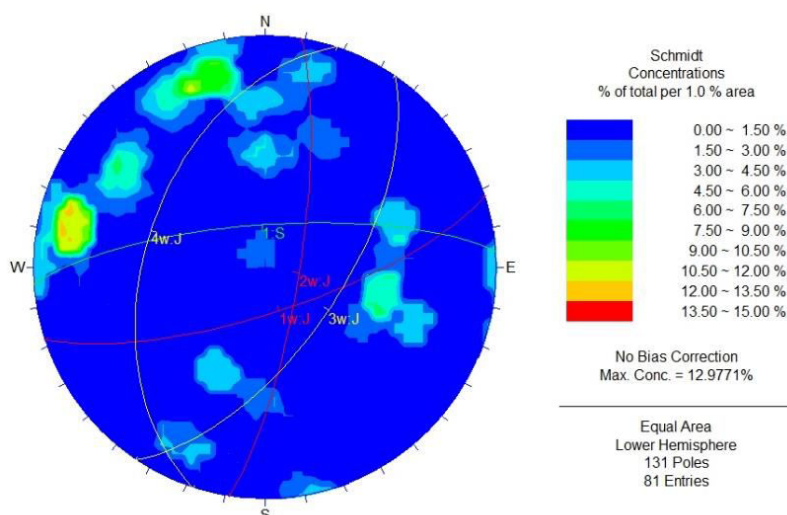
J2 (78°/162°)

Δευτερεύοντα συστήματα:

J3 (63°/124°)

J4 (47°/288°)

Η στερεογραφική προβολή των συστημάτων αυτών καθώς και του πρανού φαίνεται στα επόμενα σχήματα.



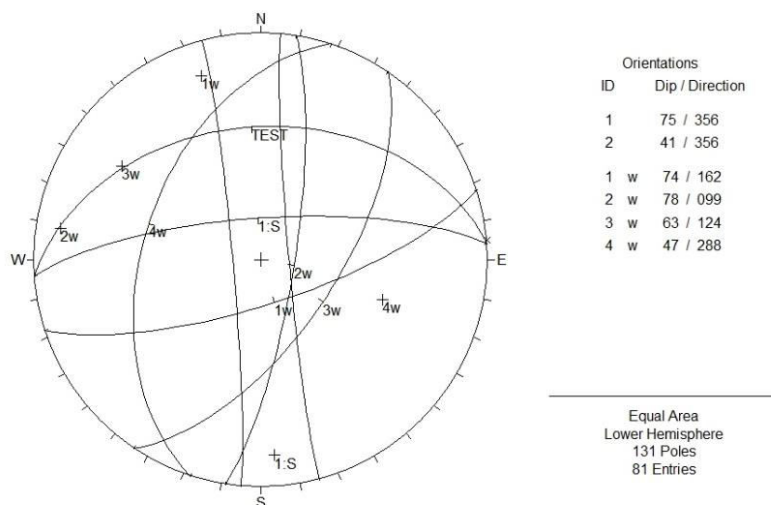
Σχέδιο 4.1 : Στερεογραφική απεικόνιση του πρανού 1 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

Στο πρανές 1 η κλίση έχει μετρηθεί στις 75° ενώ η διεύθυνση κλίσης στις 356°. Οι ασυνέχειες του παρουσιάζουν μικρή απόσταση μεταξύ τους (έως 20 cm). Η συνέχεια τους ως επί το πλείστο είναι μικρή (μέχρι τα 3 μ.) με μικρές εξαιρέσεις ασυνεχειών μέτριας συνέχειας (11 μ). Σε σχέση με το άνοιγμα τους χαρακτηρίζονται ως κλειστές , ενώ μερικά πλατιές (έως 10 mm) αλλά και μη πληρωμένες παρατηρείται ότι είναι αυτές με την μέτρια συνέχεια. Τέλος οι ασυνέχειες ως προς την τραχύτητα όπως παρατηρήθηκε χαρακτηρίζονται ομαλές έως ελαφρά τραχείες. Γενικά δηλαδή το πρανές αυτό παρατηρείται ότι είναι αρκετά συμπαγές γεγονός που σε πρώτη φάση μειώνει τις πιθανότητες ύπαρξης δυνητικών αστοχιών.

Αυτό επιβεβαιώνεται από την μελέτη που έγινε για σφηνοειδή ολίσθηση ,για την οποία η γωνία τριβής των ασυνεχειών ήταν 34°, όπου βάσει του test Markland δεν βρέθηκαν επικίνδυνες σφήνες με πιθανότητα ολίσθησης εντός της περιοχής που ορίζεται από το μέγιστο κύκλο του πρανούς και του κύκλου που απέχει από την περιφέρεια του δικτύου γωνία ίση με 34°.

Επίσης δεν υπάρχει πιθανότητα επίπεδης ολίσθησης καθώς οι οικογένειες ασυνεχειών που σχηματίζονται δεν είναι ομόρροπες με το πρανές αλλά επίπεδες ή κάθετες σε αυτό. Οπότε βάσει της διεύθυνσης κλίσης τους σε σχέση με το πρανές δεν τείνουν να ολισθήσουν επίπεδα.

Τέλος, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80 ° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 41° και δ/ση κλίσης 356. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST , την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 1.



Σχέδιο 4.2: Έλεγχος ανατροπών για το Πρανές 1 με χρήση του προγράμματος *Dips*

4.2.2 Πρανές 2 – Χώρος Νότια του θεάτρου Βράχων

Στο σημείο αυτό η μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με την γεωλογική πυξίδα ήταν 214 οι οποίες εισήχθησαν στο πρόγραμμα Dips με αποτέλεσμα να εντοπιστούν **έξι (6) συστήματα ασυνεχειών** όπου τρία από αυτά είναι κύρια και τα άλλα τρία δευτερεύοντα. Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής:

Κύρια συστήματα:

J1 (80°/316°)

J2 (86°/263°)

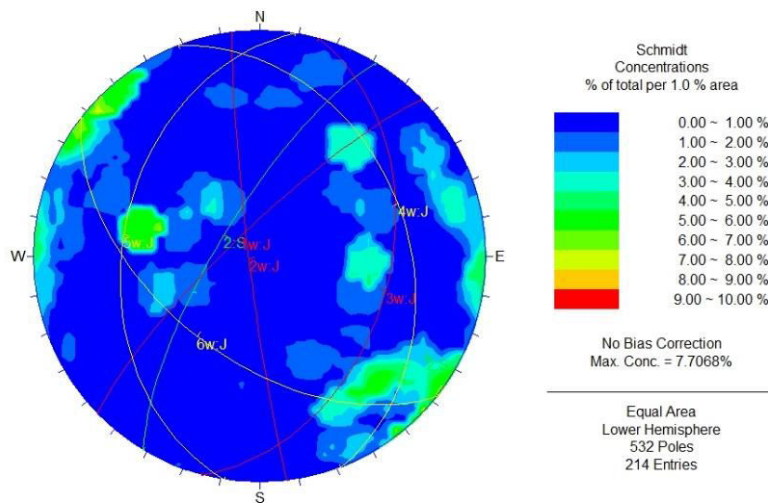
J3 (42°/105°)

Δευτερεύοντα συστήματα:

J4 (35°/69°)

J5 (39°/279°)

J6 (53°/218°)



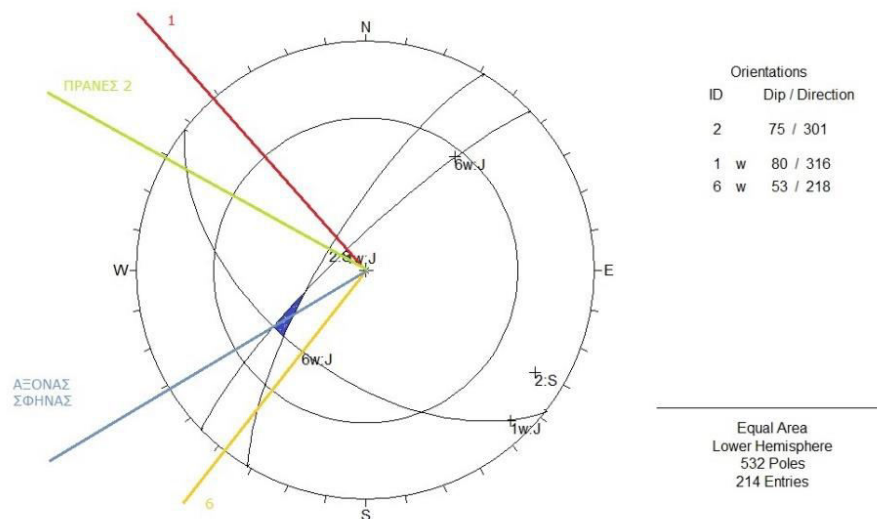
Σχέδιο 4.3: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 2 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

Ο συγκεκριμένος σχηματισμός έχει κλίση **75°** και η διεύθυνση κλίσης **301°**. Στο πρανές αυτό παρατηρήθηκαν μεγάλες οικογένειες ασυνεχειών, παράλληλες δηλαδή ασυνέχειες με ίδια κλίση και προσανατολισμό, που σημαίνει ότι υπάρχει μεγάλο εύρος στα υπόλοιπα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών που τις αποτελούν. Γενικά καταγράφονται ασυνέχειες κυρίως μικρές (3m) οι οποίες έχουν επίσης μικρή απόσταση μεταξύ τους (5 – 20 cm). Σε ότι έχει να κάνει με το άνοιγμα των ασυνεχειών μελετώντας Νοτιοδυτικά προς Βορειοανατολικά καταγράφηκε ότι στο κομμάτι του πρανούς εξωτερικά του θεάτρου οι ασυνέχειες χαρακτηρίζονται ανοικτές (έως 2.5 mm) και είναι πληρωμένες με αργιλικό υλικό.

Στην συνέχεια το άνοιγμα διευρύνεται ακόμα περισσότερο στα 10 mm για να καταλήξει στο τέλος του πρανούς στα 25 mm με τις ασυνέχειες είτε πληρωμένες με αργιλικό υλικό είτε κενές. Όσον αφορά στην τραχύτητα των ασυνεχειών στο πρανές, με βάση την μακροσκοπική παρατήρησή τους, χαρακτηρίζονται ομαλές έως ελαφρά τραχείες.

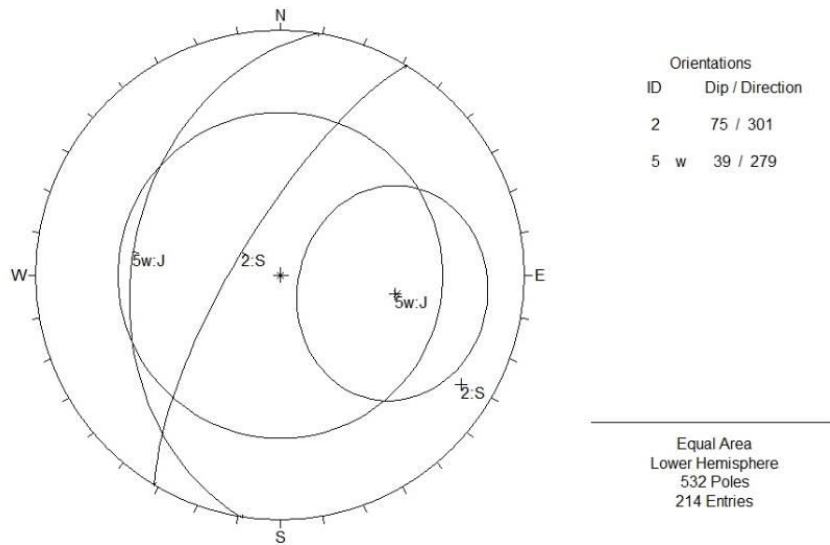
Επίσης παρατηρήθηκε μακροσκοπικά στα δύο άκρα του πρανούς η ύπαρξη καρστικών σχηματισμών με απόθεση ασβεστίτη και μάλιστα ο ένας εξωτερικά του θεάτρου είχε τις διαστάσεις μικρού καρστικού έγκοίλου. Τα φαινόμενα αυτά υποδηλώνουν την κυκλοφορία και την επίδραση νερού στην επιφάνεια αλλά και εντός του πρανούς. Ο καρστικός σχηματισμός που βρίσκεται έξω από το χώρο του θεάτρου μετρήθηκε **70°/243°** (dip/dip direction) κατατάσσοντας το στο δευτερεύον σύστημα **J4**.

Η μελέτη για σφηνοειδή ολίσθηση που έγινε έδειξε πως υπάρχει κίνδυνος σε αυτό το τομέα βάσει του test Markland που εκτελέστηκε. Φαίνεται, δηλαδή, πως υπάρχει τομή μεταξύ των συστημάτων ασυνεχειών **J1 (80/316)** και **J6 (53/218)** μέσα στη ζώνη που ορίζεται από τη περιοχή που απέχει από τα όρια του δικτύου γωνία ίση με τη γωνία τριβής των ασυνεχειών (34°) και του μεγίστου κύκλου του πρανούς **S2 (75°/301°)**. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε η βελτίωση Hocking όπου αποδείχθηκε πως η σφήνα ολισθαίνει κατά των άξονα που σχηματίζουν οι δύο ασυνέχειες (239°).



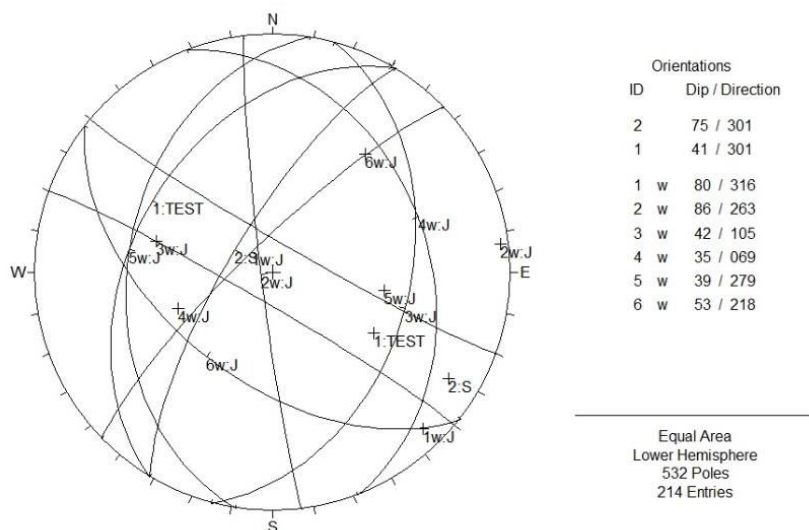
Σχέδιο 4.4: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 2 μεταξύ των ασυνεχειών 1 και 6

Έπειτα έγινε μελέτη για επίπεδη ολίσθηση και εντοπίστηκε τελικά στο δευτερεύον σύστημα ασυνεχειών **J5 (39/279)** λόγω της διαφοράς της διεύθυνσης κλίσης του πρανούς και του συστήματος στις 22° η οποία είναι μια πολύ οριακή τιμή και θεωρήθηκε επισφαλής σε συνδυασμό με το ότι η γωνία τριβής του συστήματος ασυνεχειών είναι μικρότερη της γωνίας τριβής του πρανούς αλλά και μεγαλύτερη της γωνίας εσωτερικής τριβής. Τέλος σχεδιάστηκε κώνος Talobre με κέντρο το πόλο του συστήματος **J5 (39/279)** και υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας ίσος με 0,86. Άρα, εφόσον έχει τιμή κάτω από 1 θα υπάρξει επίπεδη ολίσθηση κατά τη διεύθυνση κλίσης της J5.



Σχέδιο 4.5: Επίπεδη ολίσθηση του συστήματος ασυνεχειών 5 στο Πρανές 2

Τέλος, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 41° και δ/νση κλίσης 301° . Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 2.



Σχέδιο 4.6: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 2 με χρήση του προγράμματος Dips

4.2.3 Πρανές 3 – Χώρος Νοτιοανατολικά του θεάτρου Βράχων

Στο πρανές 3 οι μετρήσεις που μετρήθηκαν με τη γεωλογική πυξίδα που εισήχθησαν στο πρόγραμμα Dips ήταν 69 και με βάση αυτές εντοπίστηκαν **έξι(6) συστήματα ασυνεχειών** από τα οποία τα δύο ήταν κύρια και τα άλλα τέσσερα είναι δευτερεύοντα και έχουν ως εξής:

Κύρια συστήματα:

J1 (84°/123°)

J5 (72°/201°)

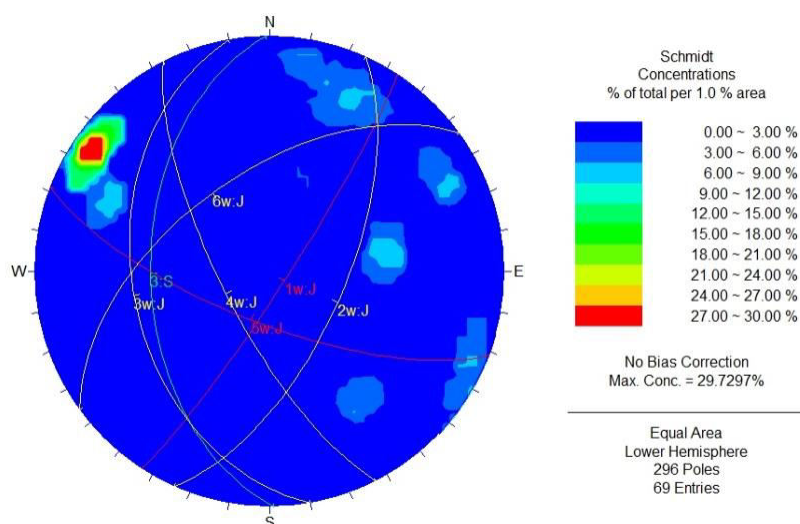
Δευτερεύοντα συστήματα:

J2 (64°/114°)

J3 (41°/260°)

J4 (73°/243°)

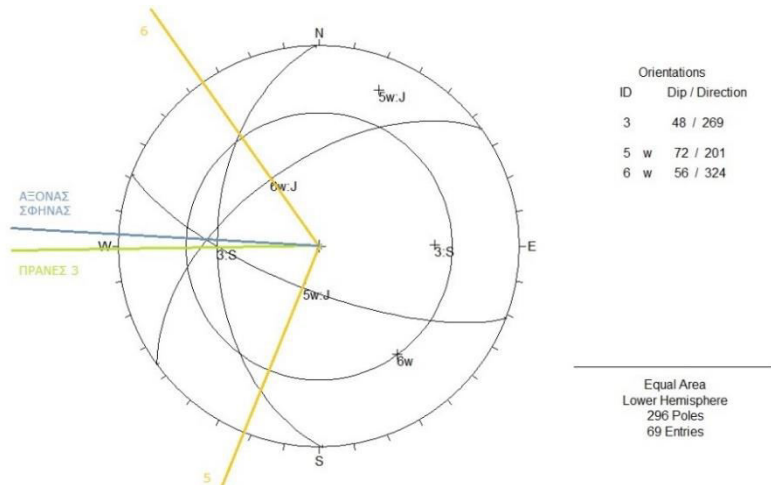
J6 (56°/324°)



Σχέδιο 4.7: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 3 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

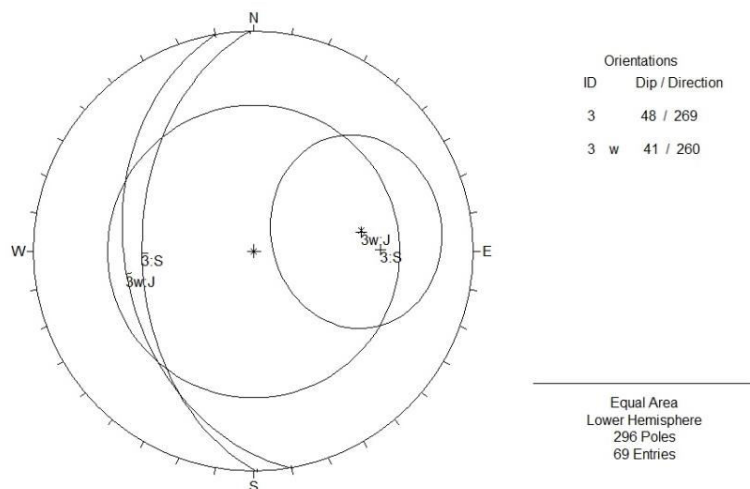
Το κομμάτι αυτό υπολογίστηκε ότι έχει κλίση **48°** και διεύθυνση κλίσης **269°** βρίσκεται περίπου 5 μέτρα από τον υπαίθριο χώρο του θεάτρου παρόλα αυτά υπάρχει πρόσβαση σε αυτό από το κοινό και μάλιστα λόγω της μικρής του κλίσης υπάρχει και η δυνατότητα ανάβασης σε αυτό. Οι ασυνέχειες του τμήματος αυτού υπολογίστηκε ότι έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους (έως 20 cm) αλλά και μικρή συνέχεια (έως 3 m) εκτός λιγοστών εξαιρέσεων μέτριων ασυνεχειών των 7 μ. Όλες οι ασυνέχειες χαρακτηρίστηκαν έως μερικά πλατιές(έως 10 mm) ενώ λόγω της κλίσης του πρανούς ήταν πληρωμένες με αργιλικό υλικό. Τέλος, οι ασυνέχειες χαρακτηρίζονται σε αυτό το πρανές ελαφρά τραχείες έως τραχείες.

Στην έρευνα που έγινε για σφηνοειδή ολίσθηση με πραγματοποίηση του test Markland εντοπίστηκε τομή των συστημάτων **J5 (72/201)** και **J6 (56/324)** μέσα στην περιοχή που απέχει από τα όρια του δικτύου γωνία ίση με τη γωνία τριβής των ασυνεχειών (34°) και του μεγίστου κύκλου του πρανούς **S3 (48/269)** οπότε και υπάρχει δυνητική αστοχία. Ακολούθησε η βελτίωση Hocking όπου υπέδειξε τον άξονα που σχηματίζεται από τα δύο συστήματα ασυνεχειών ως τον διεύθυνση στην οποία θα ολισθήσει η βραχοσφήνα.



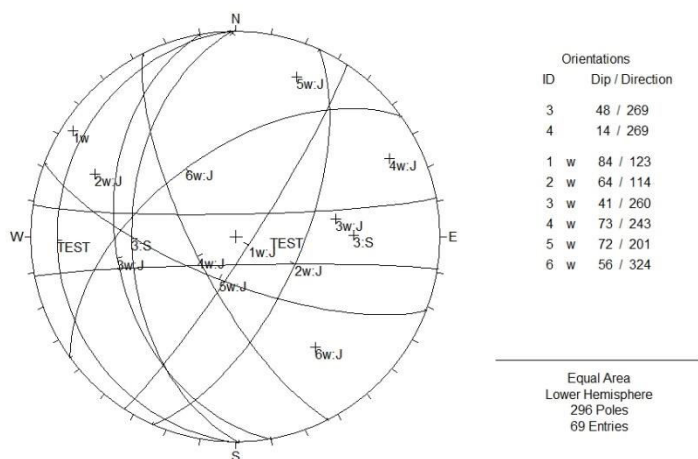
Σχέδιο 4.8: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 3 μεταξύ των ασυνεχειών 5 και 6

Αντίστοιχα η μελέτη για επίπεδη ολίσθηση οδήγησε στο δευτερεύον σύστημα ασυνεχειών **J3 (41/260)** όπου η διαφορά της διεύθυνσης κλίσης του πρανούς και του συστήματος είναι μόλις 9° . Επίσης παρατηρείται ότι η γωνία τριβής του επίπεδου ολίσθησης είναι μικρότερη της γωνίας τριβής του πρανούς αλλά και μεγαλύτερη της γωνίας εσωτερικής τριβής όπως και στο προηγούμενο πρανές. Γνωρίζοντας αυτά σχεδιάστηκε ο κώνος Talobre με κέντρο το πόλο του συστήματος **J3** και υπολογίστηκε ο συντελεστής **SF=0,8** οπότε με τιμή μικρότερη του ενός έχουμε ολίσθηση κατά μήκος της διεύθυνσης κλίσης της ασυνέχειας.



Σχέδιο 4.9: Επίπεδη ολίσθηση του συστήματος ασυνεχειών 3 στο Πρανές 3

Τέλος, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 14° και δ/νση κλίσης 269° . Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 3.



Σχέδιο 4.10: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 3 με χρήση του προγράμματος Dips

4.2.4 Πρανές 4 – Χώρος Ανατολικά του θεάτρου Βράχων

Στο συγκεκριμένο πρανές πραγματοποιήθηκαν 274 μετρήσεις στο πεδίο και αφού αναλύθηκαν από το πρόγραμμα Dips παρουσίασαν **πέντε (5) κύρια συστήματα ασυνεχειών**. Τα συστήματα αυτά είναι τα εξής:

J1 ($78^\circ/122^\circ$)

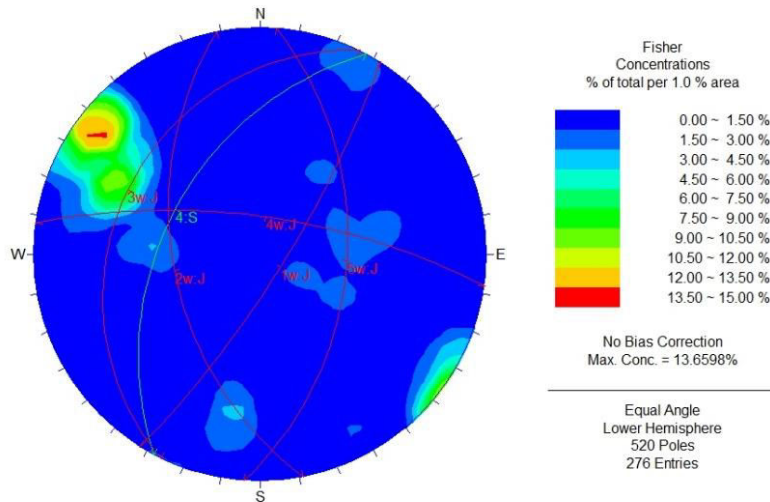
J2 ($48^\circ/259^\circ$)

J3 ($24^\circ/296^\circ$)

J4 ($71^\circ/008^\circ$)

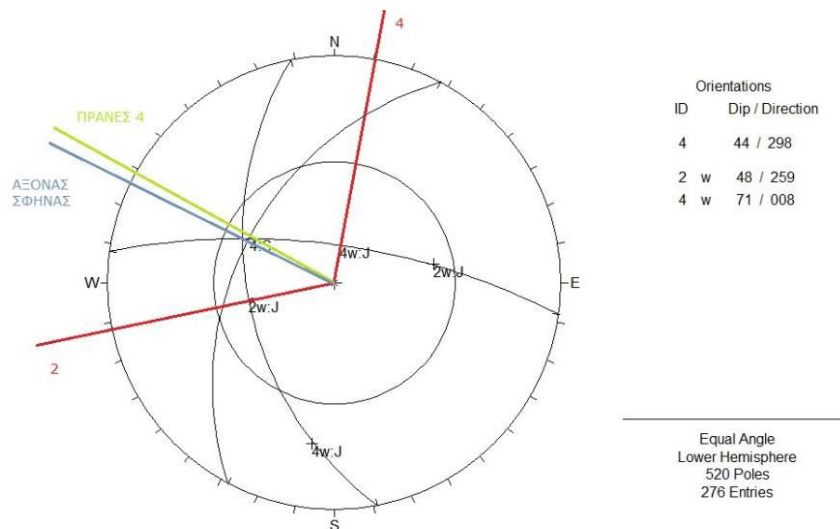
J5 ($48^\circ/098^\circ$)

Το τμήμα αυτό μετρήθηκε με κλίση 44° και διεύθυνση κλίσης 298° και παρατηρείται σε αυτό μια μεγάλη κατοπτρική επιφάνεια που εκτείνεται σε όλο το ύψος του. Σε αυτό οφείλεται το ότι οι ασυνέχειες που βρίσκονται στην ανατολική μεριά του πρανούς και κατά συνέπεια της επιφάνειας είναι εξαιρετικά πλατιές και πληρωμένες με αργιλικό υλικό και με συνέχεια μέχρι και τα 20m σε μία περίπτωση. Οι ασυνέχειες που βρίσκονται στην πλευρά του πρανούς παράλληλα με την επιφάνεια χαρακτηρίζονται πλατιές (έως 7 mm) είτε με αργιλικό υλικό πλήρωσης είτε χωρίς. Γενικά η απόσταση όλων των ασυνεχειών στο πρανές χαρακτηρίζεται μικρή(έως 20 cm) και μέση(30 cm) σε κάποιες μεγάλες οικογένειες ενώ είναι μέτριας συνέχειας (έως 5 μ) . Τέλος, οι ασυνέχειες ,ως προς την τραχύτητα, χαρακτηρίζονται ελαφρά τραχείες έως τραχείες.



Σχέδιο 4.11: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 4 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

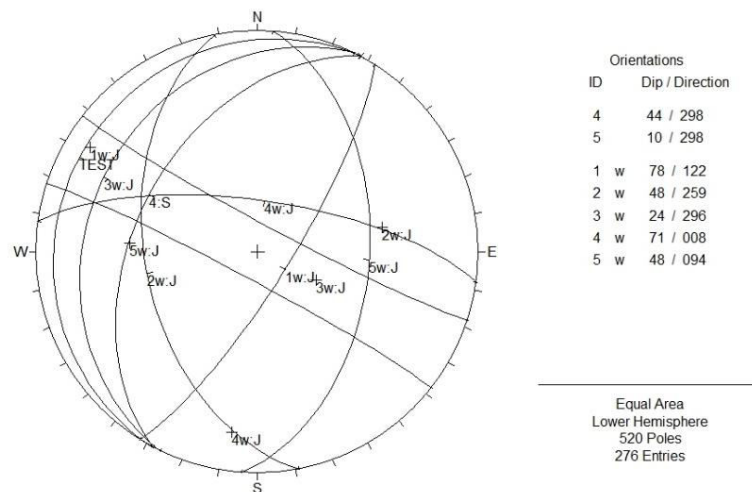
Ακολούθησε έρευνα για σφηνοειδή ολίσθηση κατά την οποία εντοπίστηκε μέσω του test Markland σφήνα σχηματιζόμενη από τα συστήματα ασυνεχειών **J2 (48°/259°)** και **J4 (71°/008°)**, καθώς αυτές τέμνονται μέσα στη περιοχή που απέχει από τα όρια του δικτύου γωνία ίση με τη γωνία τριβής των ασυνεχειών (34°) και του μεγίστου κύκλου του πρανούς **S4 (44°/298°)**. Με τη βελτίωση Hocking που πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια διαπιστώθηκε πως η ολίσθησή της σφήνας θα πραγματοποιηθεί κατά τον άξονα της (**295°**).



Σχέδιο 4.12 : Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 4 μεταξύ των ασυνεχειών 2 και 4

Όπως φαίνεται από το σχήμα 4.11 το σύστημα **J3 (24°/296°)** είναι το μοναδικό που βρίσκεται σε θέση κατάλληλη για να προκαλέσει επίπεδη ολίσθηση καθώς είναι ομόρροπο του πρανούς από άποψη διεύθυνσης κλίσης. Αυτό όμως τελικά καταρρίπτεται από το γεγονός ότι η γωνία εσωτερικής τριβής είναι μεγαλύτερη της γωνίας τριβής του δυνητικού επιπέδου ολίσθησης οπότε και δεν πληρούνται οι προϋποθέσεις για να πραγματοποιηθεί η ολίσθηση.

Τέλος, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 10° και δ/νη κλίσης 298° . Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχιών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 4.



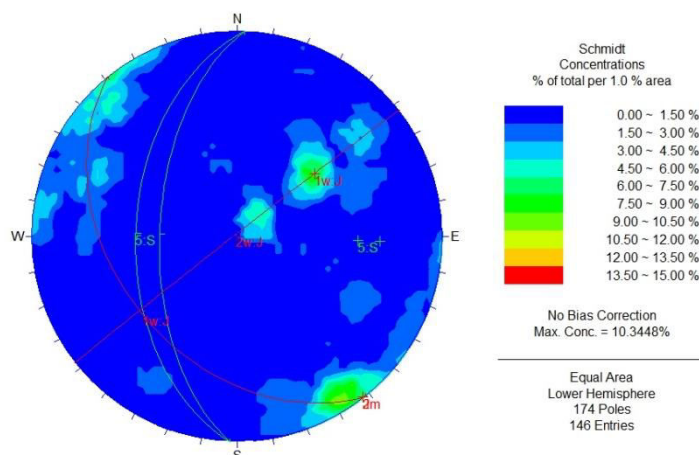
Σχέδιο 4.13: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 4 με χρήση του προγράμματος Dips

4.2.5 Πρανές 5 – Χώρος Βορειοανατολικά του θεάτρου Βράχων

Στο πρανές 5 έλαβαν χώρα 146 μετρήσεις με τη γεωλογική πυξίδα κα χρησιμοποιήθηκαν για να εντοπιστούν τα συστήματα ασυνεχιών που διαμορφώνονται σε αυτό το σημείο του λατομείου. Τα συστήματα αυτά είναι δύο (2) και είναι και τα δύο κύρια:

J1 ($40^\circ/231^\circ$)

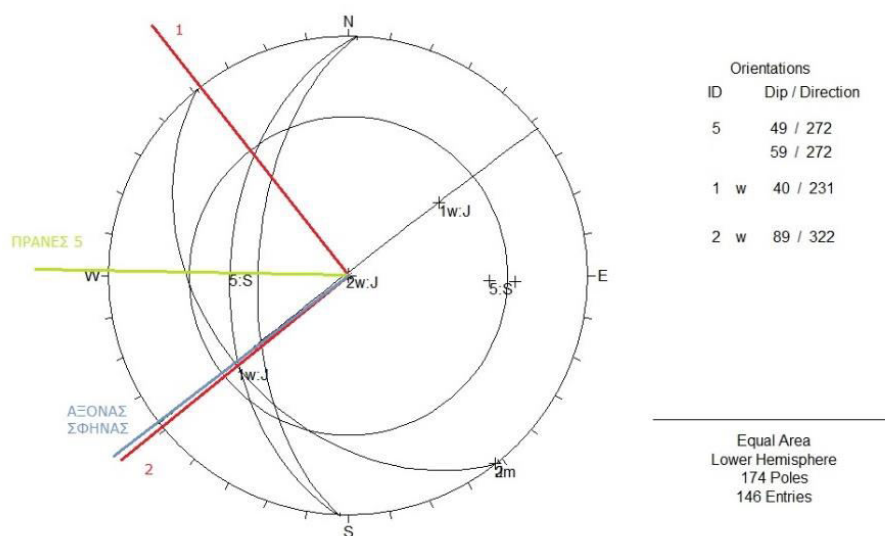
J2 ($89^\circ/322^\circ$)



Σχέδιο 4.14: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 5 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχιών

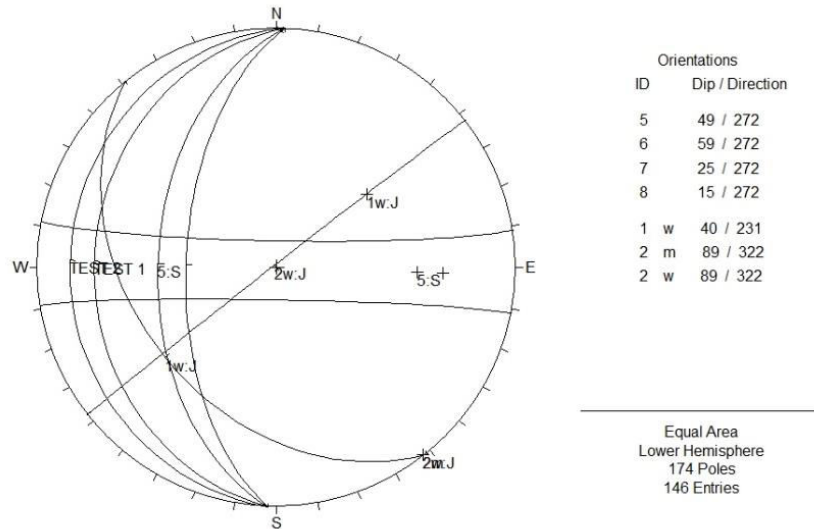
Η κλίση στο πρανές αυτό κυμαίνεται από 49° έως 59° και έχει διεύθυνση κλίσης 272° . Σε αυτή τη περίπτωση δεν παρουσιάστηκαν πολλές οικογένειες ασυνεχειών αλλά περισσότερο μεμονωμένες ασυνέχειες. Οι ασυνέχειες εμφανίζονται μικρές (έως 2 m) και έχουν μικρή απόσταση μεταξύ τους (έως 20 cm) και ενώ παρατηρούνται στην αρχή του πρανούς κλειστές όσο πλησιάζουν στο πρανές 6 γίνονται μέτρια πλατιές πληρωμένες με αργιλικό υλικό. Όσον αφορά στην τραχύτητα των ασυνεχειών χαρακτηρίζονται από λείες έως ελαφρά τραχείες.

Το test Markland που πραγματοποιήθηκε για να διαπιστωθεί αν υπάρχει κίνδυνος οδήγησε στον εντοπισμό σφήνας που δημιουργείται από τα δύο μοναδικά και κύρια συστήματα που εμφανίζονται στο πρανές αυτό **J1 ($40^\circ/231^\circ$)** και **J2 ($89^\circ/322^\circ$)** καθώς το σημείο τομής του τοποθετείται εντός της περιοχής που απέχει από τα όρια του δικτύου γωνία ίση με τη γωνία τριβής των ασυνεχειών (34°) και του μεγίστου κύκλου του πρανούς **S5 - ($49^\circ-59^\circ/272^\circ$)**. Η βελτίωση Hocking στη συνέχεια έδειξε πως η ολίσθηση της σφήνας αυτής θα ακολουθήσει τη διεύθυνση κλίσης του άξονα που σχηματίζουν τα δύο συστήματα ασυνεχειών καθώς καμία από τις διευθύνσεις κλίσης των συστημάτων δεν βρίσκεται ανάμεσα στη γωνία που σχηματίζεται από την διεύθυνση του σημείου τομής των συστημάτων και τη διεύθυνση του πρανούς.



Σχέδιο 4.15: Σφηνοειδής ολίσθηση στο Πρανές 5 μεταξύ των ασυνεχειών 1 και 2

Στη συνέχεια, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση $15^\circ - 25^\circ$ και δ/νση κλίσης 272° . Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 5.



Σχέδιο 4.16: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 5 με χρήση του προγράμματος Dips

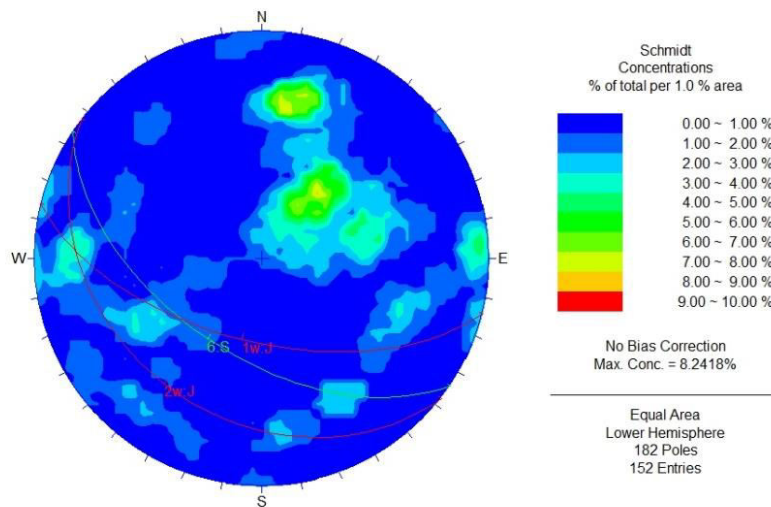
Τέλος, από πλευράς επίπεδης ολίσθησης δεν εντοπίστηκε κάποια δυνητική αστοχία καθώς κανένα από τα συστήματα δεν είναι σχηματισμένο με τον κατάλληλο τρόπο για να συμβεί αυτό οπότε οι προϋποθέσεις δεν πληρούνται.

4.2.6 Πρανές 6 – Χώρος Βόρεια - Βορειοανατολικά του θεάτρου Βράχων

Στο πρανές 6 οι τεκτονικές μετρήσεις που έγιναν με τη γεωλογική πυξίδα ήταν 152 και στατιστική τους επεξεργασία είχε ως αποτέλεσμα την καταγραφή δύο (2) κύριων συστημάτων ασυνεχειών τα οποία είναι:

J1 (60°/194°)

J2 (31°/218°)



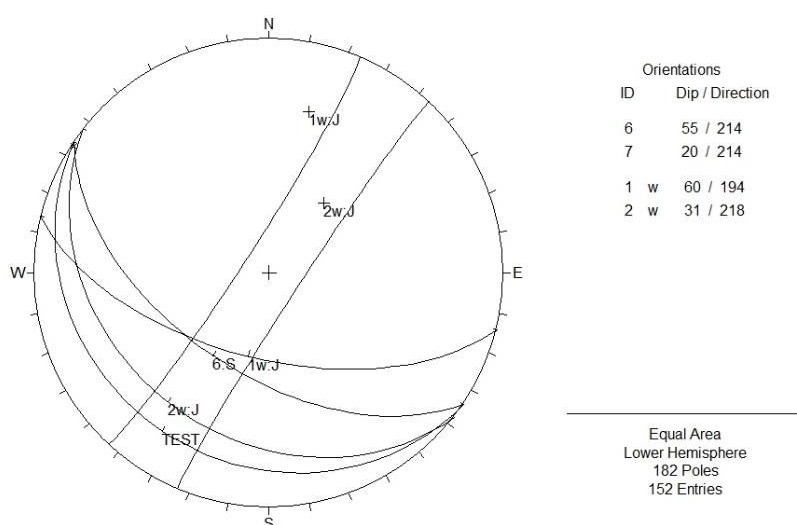
Σχέδιο 4.17: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 6 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

Σε σχέση με τη κλίση του το πρανές αυτό αγγίζει τις 55° και η διεύθυνση κλίσης του είναι στις 214° . Όπως και στο προηγούμενο πρανές δεν υπάρχει μεγάλος αριθμός οικογενειών ασυνεχειών αλλά περισσότερο μεμονωμένες ασυνέχειες. Οι περισσότερες ασυνέχειες είναι πολύ μικρές (< 1 m) ενώ λίγες είναι μικρές (έως 3 m). Η απόσταση μεταξύ τους είναι μικρή (έως 20 cm). Ενώ στην διεπαφή τους με το πρανές 5 είναι μέτρια πλατιές όσο πλησιάζουν στο 7 το άνοιγμά τους φτάνει έως και 20 mm καθιστώντας τις πολύ πλατιές. Επιπλέον όλες οι ασυνέχειες είναι πληρωμένες με αργιλικό υλικό. Τέλος όσον αφορά στην τραχύτητά τους οι ασυνέχειες του πρανούς 6 χαρακτηρίζονται από ομαλές έως τραχείες.

Η έρευνα για σφηνοειδή ολίσθηση δεν απέδωσε κάποιο αποτέλεσμα καθώς με την εφαρμογή του test Markland δεν εντοπίστηκε κάποια τομή των συστημάτων μέσα στη περιοχή που ορίζεται από την γωνία εσωτερικής τριβής(34°) και του πρανούς **S6 (55/214)**.

Παρομοίως η μελέτη για επίπεδη ολίσθηση δεν έδειξε κάποια δυνητική αστοχία αφού το σύστημα J1 ($60^\circ/194^\circ$) έχει κλίση μεγαλύτερη από αυτή του πρανούς πράγμα που δεν είναι αποδεκτό δε περιπτώσεις ολίσθησης. Το σύστημα J2 ($31^\circ/218^\circ$) επίσης δεν μπορεί να προκαλέσει επίπεδη ολίσθηση γιατί η γωνία εσωτερικής τριβής είναι μεγαλύτερη από την κλίση του συστήματος ($34^\circ > 31^\circ$).

Τέλος, έγινε έλεγχος για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 21° και δ/νση κλίσης 214° . Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 6.



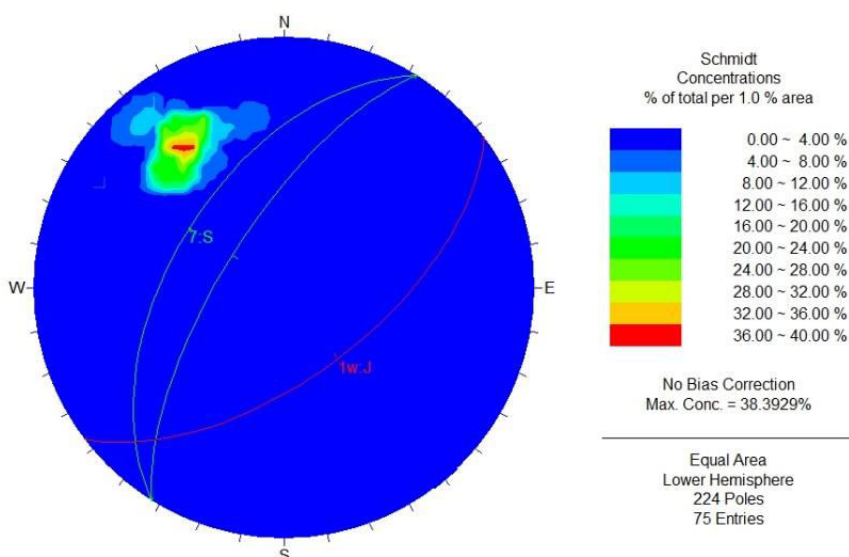
Σχέδιο 4.18 : Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 6 με χρήση του προγράμματος Dips

4.2.7 Πρανές 7 – Χώρος Βόρεια του θεάτρου Βράχων

Στο 7^ο και τελευταίο πρανές του θεάτρου βράχων μετρήθηκαν και εισήχθησαν στο πρόγραμμα 75 ζεύγη τιμών (dip/ dip direction) οικογενειών ασυνεχειών. Έτσι, πέραν του πρανούς σχηματίστηκε μόνο ένα κύριο σύστημα ασυνεχειών ;

J1 (61/143)

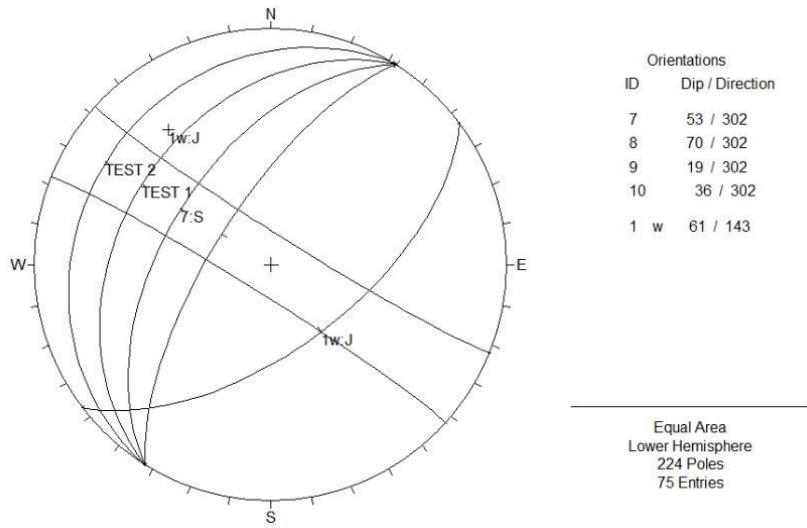
Η κλίση του πρανούς όπως μετρήθηκε στο πεδίο κυμαίνεται από **53° έως 70°** με διεύθυνση κλίσης ίση με **302°** . Στο πρανές αυτό οι περισσότερες ασυνέχειες που μετρήθηκαν ανήκαν σε οικογένειες. Είναι μικρές (~ 3.5 m) και απέχουν μεταξύ τους έως 50 cm. Αρχικά χαρακτηρίστηκαν πλατιές αλλά κατευθυνόμενοι προς το τέλος του χώρου μετρήσεων φαίνεται το άνοιγμά τους να αυξάνεται έως και 13 cm κάνοντάς τις πολύ πλατιές. Εξαιτίας αυτού του μεγάλου ανοίγματος είναι πληρωμένες στο κατώτερο σημείο τους με αργιλικό υλικό ενώ στα ψηλότερα σημεία είναι κενές δηλαδή το αργιλικό έχει ξεπλυθεί. Τέλος, οι ασυνέχειες ως προς την τραχύτητα χαρακτηρίζονται από ελαφρά τραχείες έως τραχείες.



Σχέδιο 4.19: Στερεογραφική απεικόνιση του πρανούς 7 και των σχηματιζόμενων σε αυτό οικογενειών ασυνεχειών

Είναι προφανές ότι λόγω της μιας και μοναδικής οικογένειας ασυνεχειών ο μόνος τρόπος να ολισθήσει θα ήταν επίπεδα. Όμως επειδή έχει σχηματιστεί αντίρροπα ως προς το πρανές απορρίπτεται και αυτή η περίπτωση.

Τέλος, έγινε έλεγχος και για πιθανές ανατροπές τεμαχίων. Σχεδιάστηκε κώνος γωνίας 80° στο σημείο επαφής του μεγίστου κύκλου του πρανούς με την περιφέρεια του δικτύου. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε μέγιστος κύκλος επιφανείας με διεύθυνση κλίσης ίδιας με αυτή του πρανούς και κλίσης ίση με του πρανούς αλλά απομειωμένη με τη γωνία τριβής. Επομένως, το TEST που κατασκευάστηκε έχει κλίση 19° – 36° και δ/νη κλίσης 302°. Παρατηρήθηκε λοιπόν ότι στην περιοχή που ορίζεται από το TEST, την περιφέρεια του δικτύου και τον κώνο δεν υπάρχει πόλος καμίας οικογένειας ασυνεχειών άρα δεν υπάρχει κίνδυνος ανατροπών στο Πρανές 7.



Σχέδιο 4.20: Έλεγχος ανατροπών στο Πρανές 7 με χρήση του προγράμματος *Dips*

5. Έλεγχος της πιθανότητας καταπτώσεων με χρήση του προγράμματος Rocfall και προσδιορισμός των μέτρων ανάσχεσής τους.

5.1 Γενικά στοιχεία σχετικά με το Rocfall

Το πρόγραμμα Rocfall βασίζεται στην εισαγωγή και ανάλυση στατιστικών δεδομένων για τον έλεγχο πιθανότητας εκδήλωσης καταπτώσεων σε πρανή. Έτσι έχοντας σχεδιάσει την τομή του εκάστοτε πρανούς ο χρήστης μπορεί να προσομοιώσει εικονικές καταπτώσεις τεμαχίων ποικίλων μαζών τα οποία θα ξεκινούν την πορεία τους από όποιο σημείο αυτός θέλει. Στην δοκιμή λαμβάνονται υπόψιν διάφορες παράμετροι όπως το υλικό σχηματισμού του πρανούς, η γωνία εσωτερικής τριβής μεταξύ τεμαχίων και πρανούς, οι ταχύτητες που θα αναπτύξουν τα τεμάχια και αρκετές ακόμα που θα αναλυθούν παρακάτω. Έχοντας λοιπόν προσδιορίσει όλες τις παραμέτρους με την δοκιμή μπορούν να υπολογισθούν :

- Το μέγιστο ύψος αναπήδησης των τεμαχίων
- Η απόσταση που θα φτάσουν τα τεμάχια μέχρι να μηδενιστεί η ταχύτητά τους
- Η συνολική κινητική ενέργεια που θα αναπτύξουν
- Η ταχύτητα καθ' όλη τη διάρκεια της πτώσης τους

Όλα αυτά απεικονίζονται σε διάγραμμα τόσο για τη συνολική πορεία των τεμαχίων κατά την πτώση τους όσο και για την πρόσκρουσή τους στα μέτρα ανάσχεσης που θα κατασκευασθούν. Επίσης το πρόγραμμα έχει τη δυνατότητα να εξάγει οποιοδήποτε διάγραμμα σχεδιαστεί σε υπολογιστικό φύλλο excel μαζί με όλα τα δεδομένα του σε πίνακα. Τέλος άλλες δυνατότητες /εργαλεία του προγράμματος είναι :

- Η εισαγωγή εικόνας από το αρχείο
- Η μέτρηση αποστάσεων και γωνιών
- Η σχεδίαση γραμμών, κύκλων και πολυγώνων
- Η προσθήκη κειμένου (για επεξήγηση ή τιτλοδότηση)

5.2 Προσδιορισμός παραμέτρων της δοκιμής

5.2.1 PROJECT SETTINGS

Με την εντολή αυτή προσδιορίζονται βασικές για την δοκιμή παράμετροι όπως :

1. Ο αριθμός των τεμαχίων που θα κατακρημνίζονται σε κάθε δοκιμή
2. Ο τρόπος που θα έχει υπολογιστεί η γωνία εσωτερικής τριβής
3. Η μέθοδος υπολογισμού του παράγοντα κρούσης R_n
4. Το κατά πόσον θα είναι τυχαίες οι τροχιές των τεμαχίων σε κάθε δοκιμή

Οι τιμές τους πρέπει να καθορίζονται πριν οποιαδήποτε δοκιμή και τυχόν αλλαγή μιας από αυτές απαιτεί εκ νέου την εκτέλεση της δοκιμής επειδή πιθανόν να προκύψει αρκετά διαφορετικό αποτέλεσμα.

1. ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΖΟΜΕΝΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ (NUMBER OF ROCKS TO THROW)

Πρόκειται για τον αριθμό των τεμαχίων που κατακρημνίζονται από το πρανές κάθε φορά που εκτελείται δοκιμή. Η δοκιμή εκτελείται πατώντας το κουμπί *compute* από την γραμμή εργαλείων και κάθε φορά που πατιέται τα νέα τεμάχια προστίθενται στα προηγούμενα. Έτσι για παράδειγμα αν έχουμε ορίσει 100 τεμάχια ανά δοκιμή πατώντας το κουμπί τρεις φορές το τελικό αποτέλεσμα που θα μας δώσει το πρόγραμμα θα είναι για 300 τεμάχια. Επίσης όσο περισσότερα είναι τα τεμάχια τόσο πιο πολλά είναι και τα πιθανά σενάρια που εξετάζει το πρόγραμμα ανά δοκιμή άρα μια δοκιμή 200 τεμαχίων είναι πιο ακριβής από αυτή με τα 100. Όμως αυξάνοντας τον αριθμό των τεμαχίων αυξάνεται και ο χρόνος που απαιτείται από το πρόγραμμα για να εκτελέσει τη δοκιμή, αλλά επειδή έτσι κι αλλιώς διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα είναι αμελητέα η διαφορά. Στην περίπτωση μας επειδή απαιτούνταν ακρίβεια θεωρήθηκε ότι τα 500 τεμάχια που χρησιμοποιήθηκαν ανά δοκιμή επαρκούσαν κατά πολύ.

2. ΓΩΝΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΤΡΙΒΗΣ (FRICTION ANGLE)

Ουσιαστικά πρόκειται για την γωνία τριβής μεταξύ της επιφάνειας του πρανούς και των τεμαχίων πάνω της, της οποίας η τιμή είναι η ελάχιστη που απαιτείται για την ολίσθησή τους. Έτσι η τιμή που θα επιλεγεί για αυτήν πρέπει να είναι αρκετά συντηρητική ώστε οι δοκιμές που θα γίνουν να βρίσκονται από την πλευρά της ασφάλειας. Το πρόγραμμα έχει τρεις επιλογές σχετικά με τη γωνία τριβής (Rocfall User's guide/Quick start Tutorial/ Re-running the analysis/ Project settings)

- *Use friction angle from Material Editor*

Η εντολή αυτή δίνει την επιλογή στον χρήστη να εισάγει διαφορετική γωνία τριβής σε κάθε υλικό που θα δημιουργήσει και στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσει στο material editor. Έτσι για κάθε υλικό στο οποίο έρχονται σε επαφή τα τεμάχια αλλάζει και η συμπεριφορά τους σε σχέση με την αναπήδησή τους, την ταχύτητα και την κινητική τους ενέργεια. Αυτή η επιλογή έχει χρησιμοποιηθεί και στην παρούσα διπλωματική εργασία. Οι τιμές των διαφορετικών γωνιών τριβής καθώς και ο τρόπος εισαγωγής και υπολογισμού τους θα παρουσιαστεί σε επόμενη παράγραφο (βλ. κεφ. 5.2.2 Material Editor).

- *Calculate friction angle from R_t*

Με αυτή την επιλογή η γωνία τριβής υπολογίζεται σε σχέση με την σταθερά επαφτομενικής αναπήδησης R_T και προκύπτει από τον τύπο :

$$\Phi = \arctan \left[\left(1 - R_T \right) / R_T \right]$$

- *Set friction angle to zero (Rolling)*

Σε αυτή την περίπτωση ουσιαστικά η τιμή της γωνίας τριβής εξισώνεται με το μηδέν κάνοντας έτσι την παραδοχή ότι εξετάζουμε το χειρότερο δυνατό σενάριο με λείες επιφάνειες. Έτσι τα τεμάχια αποκτούν μέγιστη ταχύτητα κατά την κίνησή τους αφού δεν υπάρχει τριβή και κατά συνέπεια καταλήγουν και με τη μέγιστη δυνατή κινητική ενέργεια στη βάση του πρανούς. Εξετάζοντας έτσι αυτή την περίπτωση τα μέτρα αντιμετώπισης που θα ληφθούν θα είναι και τα πιο συντηρητικά και ίσως μάλιστα να αποκλίνουν αρκετά σε σχέση με αυτά που απαιτείται να ληφθούν κανονικά.

3. ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΚΡΟΥΣΗΣ (R_n)

Ο παράγοντας κρούσης ουσιαστικά αναφέρεται στην σταδιακή απομείωση της ενέργειας λόγω της κρούσης των τεμαχίων στο πρανές. Στα *Project Settings* δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού του R_n με δύο διαφορετικούς τρόπους.

- *Scale R_n by velocity*

Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται το R_n ως προς την ταχύτητα σύμφωνα με τον τύπο (Pfeiffer and Bowen , 1989):

$$R_{n(\text{scaled})} = \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{V_{\text{rock}}}{K} \right)^2 \right]}$$

Όπου : V_{rock} : η ταχύτητα του βράχου

K: σταθερά ίση με 9,144 m/s

Ουσιαστικά υπολογίζοντάς τον με αυτή την μέθοδο “αντιπροσωπεύει μια μετάβαση από σχεδόν ελαστικές συνθήκες σε χαμηλές ταχύτητες σε εξαιρετικά ανελαστικές συνθήκες λόγω της αυξημένης θραύσης του βράχους και της δημιουργίας οπών στην επιφάνεια του πρανούς λόγω μεγαλύτερων ταχυτήτων πρόσκρουσης” (https://www.rocscience.com/help/rockfall/#t=rockfall%2FScaling_Functions.htm)

- *Scale R_n by Mass*

Σε αυτή την περίπτωση υπολογίζεται το R_n ως προς την μάζα των βραχοτεμαχίων σύμφωνα με τον τύπο:

$$R_{n(\text{scaled})} = \frac{R_n}{\left[1 + \left(\frac{M_{\text{rock}}}{C} \right)^2 \right]}$$

Όπου : M_{rock} : η μάζα του βράχου

C: σταθερά ίση με 1000 kg

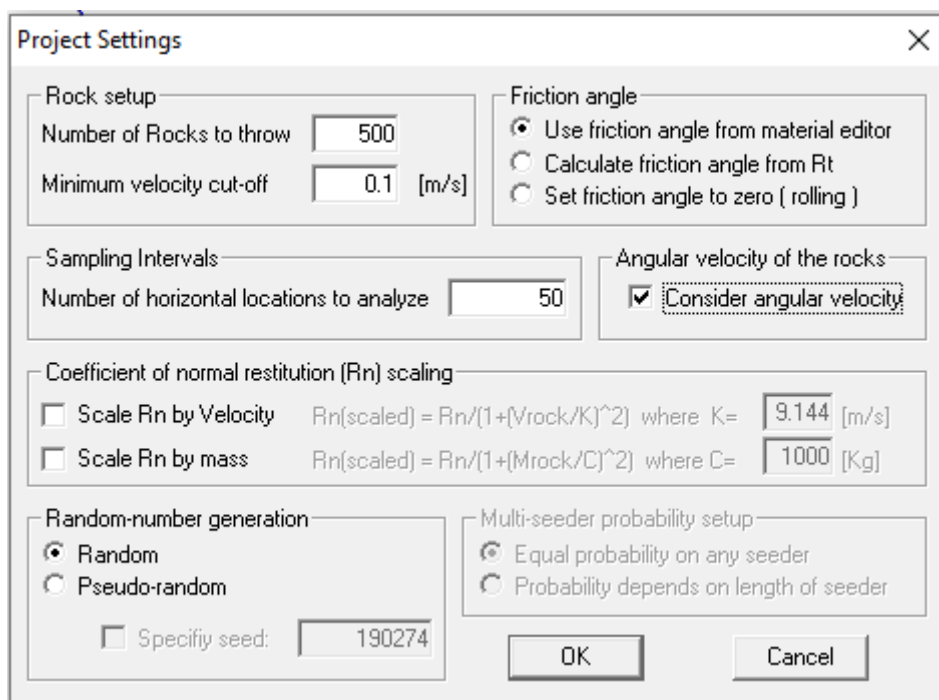
Η Rockscience ως κατασκευάστρια εταιρία του προγράμματος απαγορεύει την ταυτόχρονη χρήση και των δύο μεθόδων υπολογισμού του R_n . Ωστόσο στην παρούσα Διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκαν τιμές του R_n από συμπληρωματικό του προγράμματος πίνακα για κάθε υλικό ξεχωριστά και θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο (βλ.κεφ. 5.2.2 Material Editor).

4. RANDOM – NUMBER GENERATION

Η εντολή αυτή καθορίζει τα δεδομένα που θα εισάγει κάθε φορά το πρόγραμμα ώστε να εκτελέσει τη δοκιμή πτώσης των τεμαχίων στην επιφάνεια του πρανού. Οι επιλογές που δίνονται είναι δύο :

- *Random* (τυχαία)
- *Pseudo-random* (ψευδό – τυχαία)

Ουσιαστικά η διαφορά τους είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί η επιλογή *Random* κάθε φορά που θα εκτελείται η δοκιμή (μέσω της εντολής *compute*) οι τροχιές των τεμαχίων θα διαφέρουν ελαφρώς ανά δοκιμή. Αυτό συμβαίνει επειδή εισάγονται ελαφρώς διαφορετικά δεδομένα κάθε φορά ώστε να υπολογιστούν όλα τα δυνατά διαφορετικά σενάρια. Αντίθετα με την επιλογή *Pseudo-random* τα αποτελέσματα σε κάθε δοκιμή είναι ακριβώς ίδια δίνοντας ίδια εικόνα όσες φορές κι αν εκτελεστεί η δοκιμή. Αυτό είναι χρήσιμο για παρουσιάσεις που πρέπει για παράδειγμα να φανούν οι επιδράσεις κάποιου παράγοντα. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η πρώτη επιλογή επειδή ακριβώς υπήρξε η επιδίωξη να ελεγχθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις και όχι μια συγκεκριμένη.



Εικόνα 5.1: Οι τιμές των μεταβλητών όπως επιλέχθηκαν στην παρούσα Διπλωματική εργασία

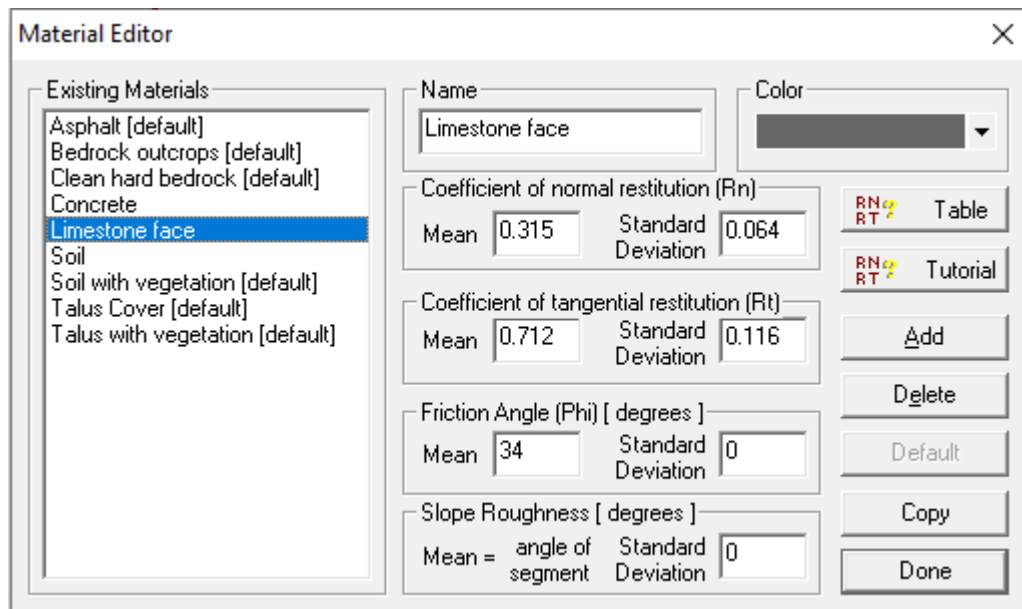
5.2.2 MATERIAL EDITOR

Σε αυτή την εντολή εισάγονται οι παράμετροι για κάθε διαφορετικό υλικό της τομής πρανούς που σχεδιάζεται. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής :

- Του παράγοντα κρούσης (R_n)
- Της εφαπτομενικής σταθεράς αναπήδησης (R_T)
- Της γωνίας τριβής (friction angle)
- Της τραχύτητας του πρανούς (slope roughness)

Οι τιμές των R_n και R_T προσδιορίζονται για κάθε υλικό από πίνακα που συνοδεύει το πρόγραμμα. Η γωνία τριβής για τον ασβεστόλιθο προέκυψε 34° (βλ. κεφ.) και για τα υπόλοιπα υλικά είτε προϋπήρχε στο πρόγραμμα είτε βρέθηκε βιβλιογραφικά. Τέλος η τραχύτητα θεωρήθηκε ίση με μηδέν σε όλα τα υλικά ώστε να προσομοιωθεί η χειρότερη περίπτωση που δεν υπάρχει αντίσταση από την τραχύτητα. Επίσης για κάθε διαφορετικό υλικό ορίζεται και ένα χρώμα με το οποίο θα απεικονίζεται στην τομή που θα κατασκευασθεί. Έτσι τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές είναι τα εξής :

- Έδαφος (*Soil*)
- Έδαφος με φυτοκάλυψη (*Soil with vegetation*)
- Ασβεστόλιθος (*Limestone face*)
- Σκυρόδεμα (*Concrete*)
- Άσφαλτος (*Asphalt*)



Εικόνα 5.2 :Εισαγωγή δεδομένων σε νέο υλικό στο material editor

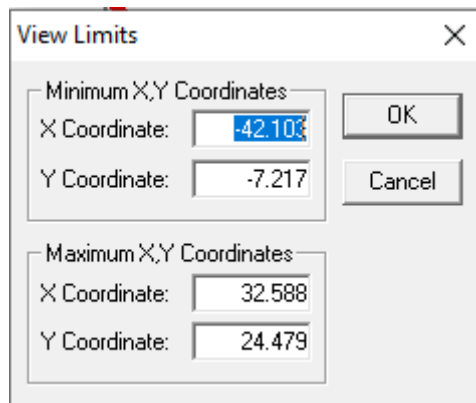
Πίνακας 5.1: Οι τιμές των μεταβλητών που εισήχθησαν στο material editor για κάθε υλικό

ΥΛΙΚΟ	R _N	St. Dev.	R _t	St. dev.	Φ/St.dev	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	0.315	0.064	0.712	0.116	34/0	0
ΕΔΑΦΟΣ	0.393	0	0.567	0	30/0	0
ΕΔΑΦΟΣ ΜΕ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	0.3	0.04	0.8	0.04	30/2	0
ΤΣΙΜΕΝΤΟ	0.85	0	0.53	0	37/0	0
ΑΣΦΑΛΤΟΣ	0.4	0.04	0.9	0.04	30/2	0

5.3 Σχεδίαση και προσδιορισμός της τομής του πρανούς

5.3.1 Όρια (LIMITS)

Πριν από τη σχεδίαση της τομής του εκάστοτε εξεταζόμενου πρανούς απαιτείται αρχικά ο προσδιορισμός των ορίων των τιμών στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα. Το πρόγραμμα εκτείνει τους άξονες των δύο διαστάσεων σε μεγάλη απόσταση τόσο θετικών όσο και αρνητικών αριθμών. Επομένως είναι αναγκαίο να ορισθούν οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές των δύο αξόνων οι οποίες αποτελούν ταυτόχρονα και τα όρια της εικόνας που έχει ο χρήστης. Αυτό πραγματοποιείται με την εντολή *limits* στην κατηγορία εντολών *View*.



Εικόνα 5.3: Μορφή της εντολής *Limits*

5.3.2 Σχεδίαση της τομής

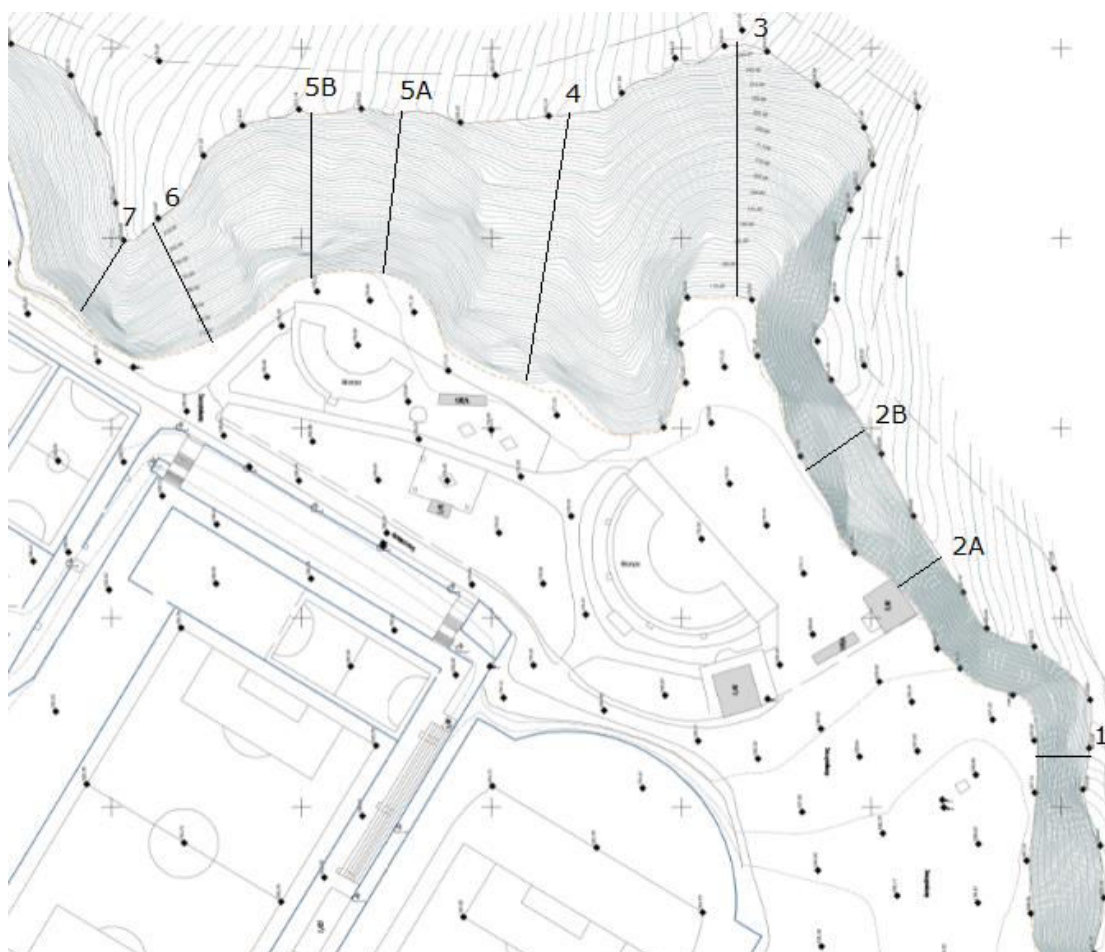
Η σχεδίαση της τομής του πρανούς επιτυγχάνεται με την εντολή *Define Slope*. Ουσιαστικά πρόκειται για την εισαγωγή ζευγών τιμών (x, y) οι οποίες τελικά σχηματίζουν την τομή. Ο κατακόρυφος άξονας y λαμβάνει τιμές ύψους ή υψομετρικού ενώ ο οριζόντιος άξονας x χρησιμοποιείται για την απεικόνιση της απόστασης της βάσης του πρανούς. Στην παρούσα Διπλωματική εργασία τα ζεύγη αυτών των τιμών ελήφθησαν από τομές πάνω στο τοπογραφικό του Θεάτρου Βράχων. Η εισαγωγή των σημείων μπορεί να γίνει είτε από μπάρα στο κάτω δεξιά μέρος της οθόνης είτε με την εντολή *slope editor* στην οποία υπάρχει και η δυνατότητα αλλαγής του υλικού σε κάθε σημείο της τομής.

Slope Editor

Vertex	X [m]	std dev	Y [m]	std dev	Material
1	-17.757	0	22.895	0	
2	-13.847	0	21.346	0	Clean hard bedrock [default]
3	-11.855	0	20.239	0	Clean hard bedrock [default]
4	-10.085	0	18.026	0	Clean hard bedrock [default]
5	-8.461	0	15.444	0	Clean hard bedrock [default]
6	-6.617	0	12.419	0	Clean hard bedrock [default]
7	-3.666	0	10.132	0	Clean hard bedrock [default]
8	0.023	0	8.877	0	Clean hard bedrock [default]
9	2.531	0	7.992	0	Clean hard bedrock [default]

Use standard deviations when generating slope vertices Common std dev... Copy OK Cancel

Εικόνα 5.4 : Η εντολή *Slope Editor*



Εικόνα 5.5: Οι τομές που σχεδιάστηκαν πάνω στο τοπογραφικό του θεάτρου (αρχείο Δήμου Βύρωνα)

5.3.3 Επιλογή σημείου εκκίνησης βραχοτεμαχίων

Μια πολύ σημαντική παράμετρος της επίλυσης είναι η σωστή τοποθέτηση του σημείου εκκίνησης των βραχοτεμαχίων πάνω στην τομή του πρανούς. Εάν είναι πολύ χαμηλά θα παραλειφθεί η εξέταση των σεναρίων πτώσης βραχοτεμαχίων από μεγαλύτερο ύψος και ουσιαστικά θα εξετασθούν τα πιο ευνοϊκά σενάρια. Από την άλλη αν το σημείο εκκίνησης έχει πολύ μικρή κλίση υπάρχει η πιθανότητα μέρος των βραχοτεμαχίων να μην πέσει και έτσι η δοκιμή να είναι ελλιπής (π.χ. αν ο αριθμός των τεμαχίων είναι 100 και πέσουν μόνο τα 50 τα αποτελέσματα θα είναι ψευδή). Συνήθως επιλέγεται μια περιοχή στην στέψη του πρανούς, καλύπτοντας έτσι όλες τις πιθανές περιπτώσεις, εκτός αν επιλεγεί κάποιο άλλο σημείο λόγω ιδιαίτερης μορφολογίας του πρανούς ή για την εξέταση της συμπεριφοράς μεμονωμένων επικίνδυνων τεμαχίων. Η διεργασία αυτή επιτυγχάνεται στο πρόγραμμα με την εντολή *Add Seeder* και μάλιστα δίνεται η δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε σημείο πτώσης βράχων (*point seeder*) ή περιοχής (*Line seeder*) από την οποία πέφτουν. Στην παρούσα Διπλωματική εργασία επιλέχθηκε ο *Line seeder* ο οποίος καλύπτει και περισσότερες αλλά και πιο ρεαλιστικές περιπτώσεις καταπτώσεων. Με την εντολή *Seeder* εισάγονται και οι εξής μεταβλητές :

- Οριζόντια ταχύτητα βραχοτεμαχίων (Horizontal Velocity)
- Κατακόρυφη ταχύτητα τεμαχίων (Vertical Velocity)
- Γωνιακή ταχύτητα (Angular Velocity)
- Μάζα των τεμαχίων που θα πέσουν στη δοκιμή (Mass)

Οι τιμές οριζόντιας , κατακόρυφης και γωνιακής ταχύτητας που εισάγονται αναφέρονται ουσιαστικά στις αρχικές τιμές που έχουν στη θέση εκκίνησης. Οι μεταβλητές αυτές ορίζονται ως μηδενικές συνήθως , έτσι και σε αυτή την εργασία, και δοκιμές με μη μηδενικές τιμές εκτελούνται μόνο στην περίπτωση που υπάρχει αρχική επιτάχυνση πχ. εκφόρτωση υλικών στην στέψη του πρανούς. Η μάζα των τεμαχίων επιλέγεται με βάση τα εξής :

1. Τη μάζα τυχόν υπερκείμενων επικίνδυνων τεμαχίων
2. Τη μάζα τυχόν βραχοσφηνών που σχηματίστηκαν στο εκάστοτε πρανές
3. Τη μάζα των βραχοτεμαχίων που έχουν ήδη κατακρημνιστεί και βρίσκονται στην βάση του πρανούς.

Σε όλη την έκταση παρατηρήθηκε μακροσκοπικά ότι τα επικρεμάμενα τεμάχια σε όλα σχεδόν τα πρανά κυμαίνονταν από $\frac{1}{4}$ έως $\frac{1}{2}$ του κυβικού δηλαδή περίπου στα 700 -1300 kg. Η εκτίμηση της μάζας των βραχοσφηνών πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα *Swedge* αφού είχαν πρώτα εντοπιστεί τα συστήματα ασυνεχειών στο πρόγραμμα *dips* . Τέλος στα κατακρημνισμένα τεμάχια στη βάση των πρανών μετρήθηκαν οι διαστάσεις τους και υπολογίστηκε αρχικά ο όγκος και στη συνέχεια, θεωρώντας ειδικό βάρος ασβεστολίθου $2,7 \text{ Kg/m}^3$, υπολογίστηκε και η μάζα τους. Με βάση αυτά χρησιμοποιήθηκε σε κάθε πρανές η μεγαλύτερη τιμή μάζας που αντιστοιχεί και στην χειρότερη περίπτωση κατακρήμνισης.



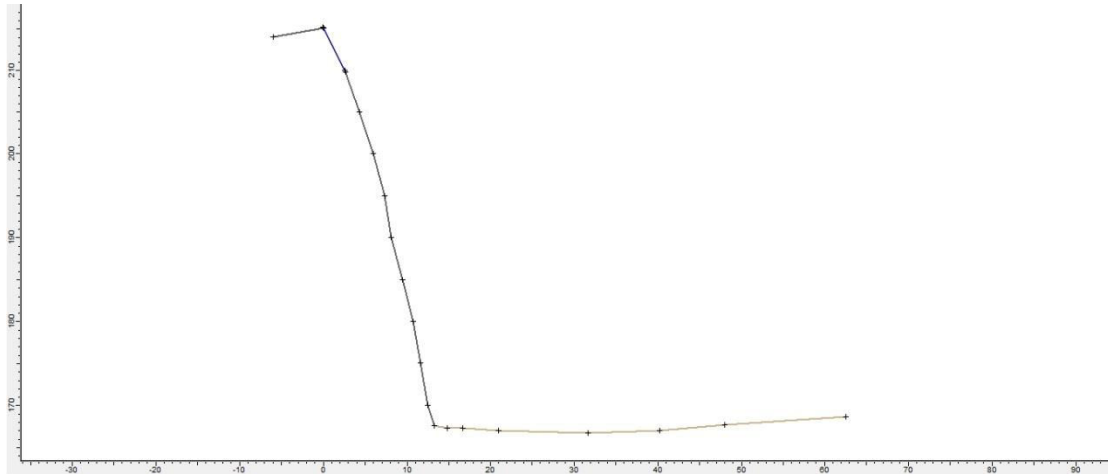
Εικόνα 5.6 και 5.7: Πάνω : Μέτρηση διαστάσεων κατακρημνισμένων βραχοτεμαχίων (προσωπικό αρχείο)

Εικόνα 5.8 :Κάτω ογκώδες βραχοτέμαχος στη βάση του 2ου πρανούς (προσωπικό αρχείο)

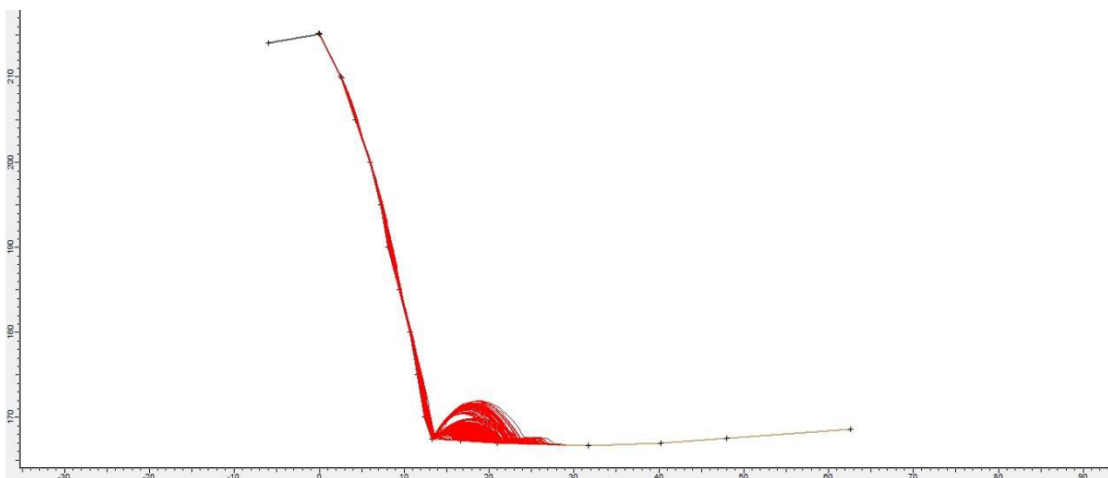
5.4 Εκτέλεση της δοκιμής με χρήση του προγράμματος Rocfall και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

5.4.1 Πρανές 1

Στο πρανές 1 σχεδιάστηκε αρχικά η τομή του (Σχήμα 5.1) όπως προέκυψε από την τοπογραφική αποτύπωση του θεάτρου. Έτσι το ύψος του ισούται με 47,8 m με μέγιστο υψομετρικό στα 215,3 και ελάχιστο στα 167,5. Ο seeder τοποθετήθηκε στο ψηλότερο σημείο (στέψη) του πρανούς στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών των 215 και 210 m. Η μάζα των βραχοτεμαχίων που χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή αντιστοιχούσε στην χειρότερη δυνατή περίπτωση και ισούται με 3000 kg. Η μάζα αυτή προέκυψε από τη μέτρηση των διαστάσεων ενός βράχου στη βάση του πρανούς και είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από την μάζα των επικρεμάμενων στην κορυφή τεμαχίων (700 – 1300 kg).



Σχέδιο 5.1: Η τομή του πρानούς 1 και η θέση του seeder

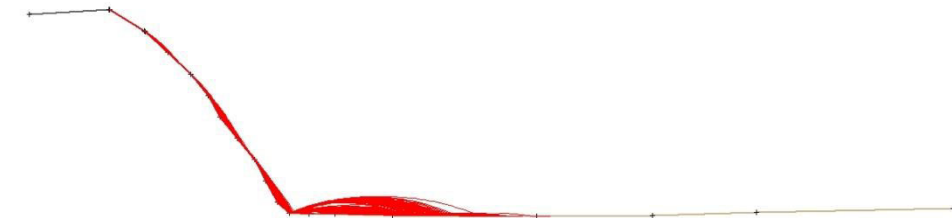
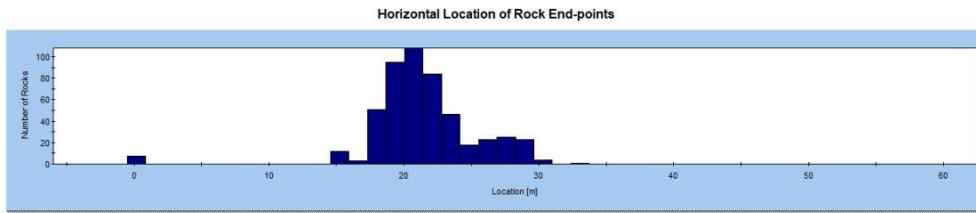


Σχέδιο 5.2: Η εκτέλεση της δοκιμής στο Πρανές 1 για μάζα ίση με 3000kg

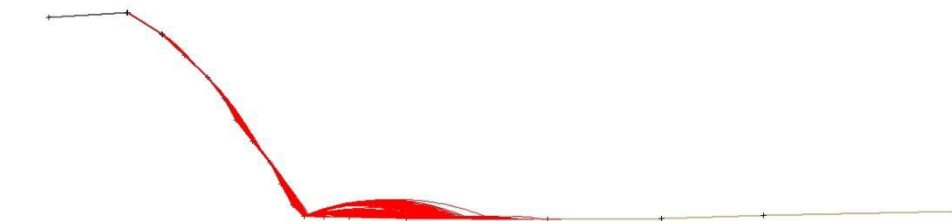
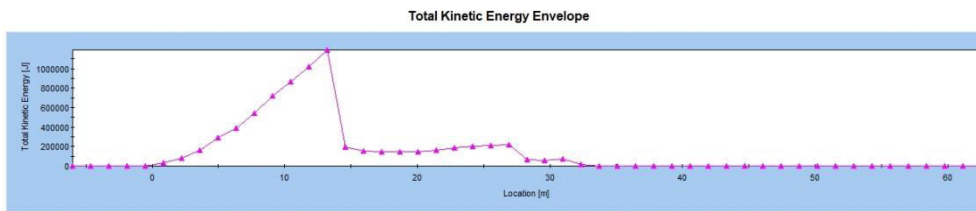
Μετά την εκτέλεση της δοκιμής σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα ύψους αναπήδησης των τεμαχίων (Σχήμα 5.5), τελικής κινητικής ενέργειας (Σχήμα 5.4) καθώς και το διάγραμμα που απεικονίζει τα τελικά σημεία που καταλήγουν τα τεμάχια (Σχήμα 5.3). Έτσι προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

- Τα τεμάχια , μετά την πρόσκρουσή τους στην βάση του πρानούς συνεχίζουν την πορεία τους στο έδαφος για ακόμα 17,7 m. Ο μεγαλύτερος αριθμός τους σταματάει στα 4,3 – 10,3 m από τη βάση του πρानούς.
- Από το διάγραμμα Κινητικής Ενέργειας προκύπτει ότι κατά την επαφή τους με το έδαφος έχουν *Total Kinetic Energy (TKE)* ίση με 200 KJ και διατηρείται σταθερή σχεδόν μέχρι το τέλος της πορείας τους.
- Τέλος από το διάγραμμα του Ύψους Αναπήδησης προκύπτει ότι τα τεμάχια μετά την επαφή τους με το έδαφος αναπηδούν σε ύψος 2.5 m ενώ το μέγιστο ύψος αναπήδησής τους παρατηρείται σε απόσταση 6,7 m (20 m) από τη βάση του πρानούς και ισούται με 4 m

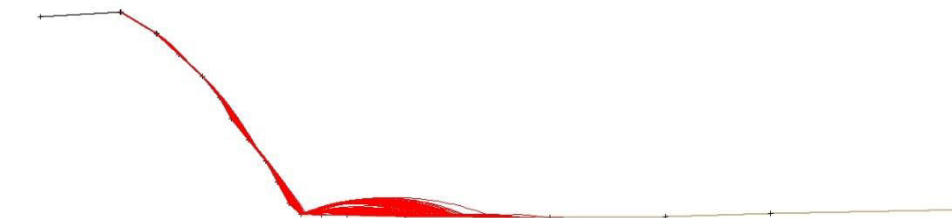
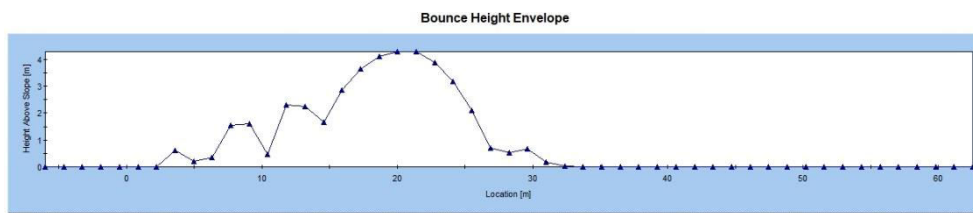
Ο χώρος που καταλήγουν τα τεμάχια χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης επαγγελματιών οδηγών ταξί , για την είσοδο βαρέων οχημάτων στον υπαίθριο χώρο του θεάτρου βράχων αλλά και ως χώρος αναψυχής πολιτών (τρέξιμο, περπάτημα κ.α.).



Σχέδιο 5.3: Διάγραμμα τελικών θέσεων των τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1



Σχέδιο 5.4: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1



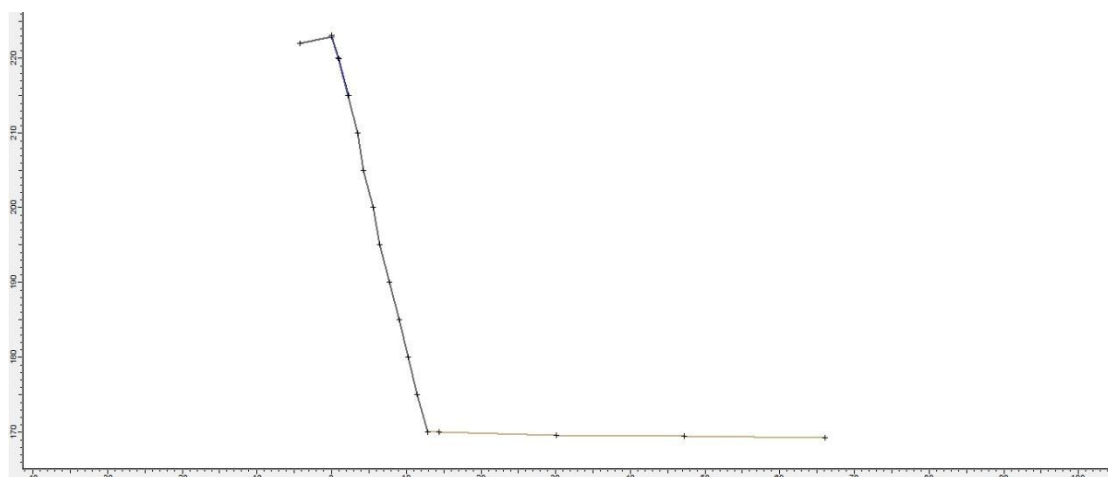
Σχέδιο 5.5: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης τεμαχών κατά μήκος του Πρανούς 1

5.4.2 Πρανές 2

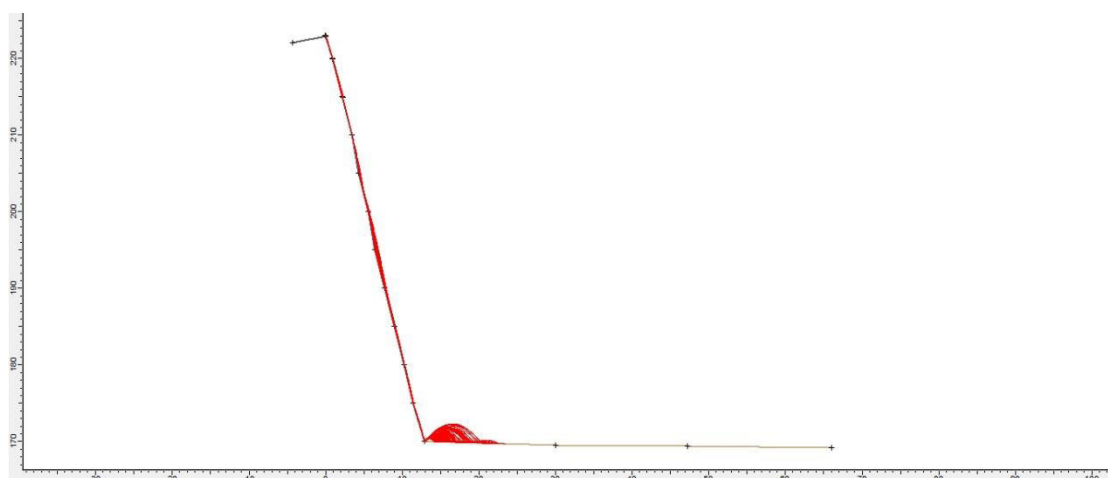
Στο Πρανές 2 επειδή αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά της μελέτης, καθώς βρίσκεται πίσω από το χώρο εκδηλώσεων του θεάτρου Μελίνα Μερκούρη, έγιναν δύο ξεχωριστές τομές μία στην αρχή και μια προς το τέλος του ώστε να αποτυπωθούν οι όποιες διαφορές στη μορφολογία του υπήρχαν. Έτσι έχουν γίνει δοκιμές για κάθε τομή ξεχωριστά και παρατίθενται στη συνέχεια.

Τομή 2A

Αρχικά κατασκευάστηκε η τομή (Σχήμα 5.6) ,όπως προέκυψαν τα σημεία από τη τοπογραφική αποτύπωση του θεάτρου βράχων , με ύψος 52,8 m (μεταξύ των υψομετρικών των 170 και 222,8 m). Ο seeder τοποθετήθηκε στην στέψη του πρανούς δηλαδή στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών 222,8 και 215 m , ενώ για τη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 2400 kg. Η μάζα αυτή επιλέχθηκε λόγω της ύπαρξης βράχου στη βάση του πρανούς , του οποίου οι διαστάσεις μετρήθηκαν , και προέκυψε θεωρώντας ειδικό βάρος ασβεστολίθου $2,7 \text{ t/m}^3$ η μάζα του. Επομένως εφόσον αυτή ήταν μεγαλύτερη της μάζας σφήνας (150 kg) που προέκυψε από το πρόγραμμα dips (βλ. κεφ.) αλλά και της μάζας των υπερκειμένων του πρανούς (700 - 1300 kg) επιλέχθηκε ως η δυσμενέστερη περίπτωση.



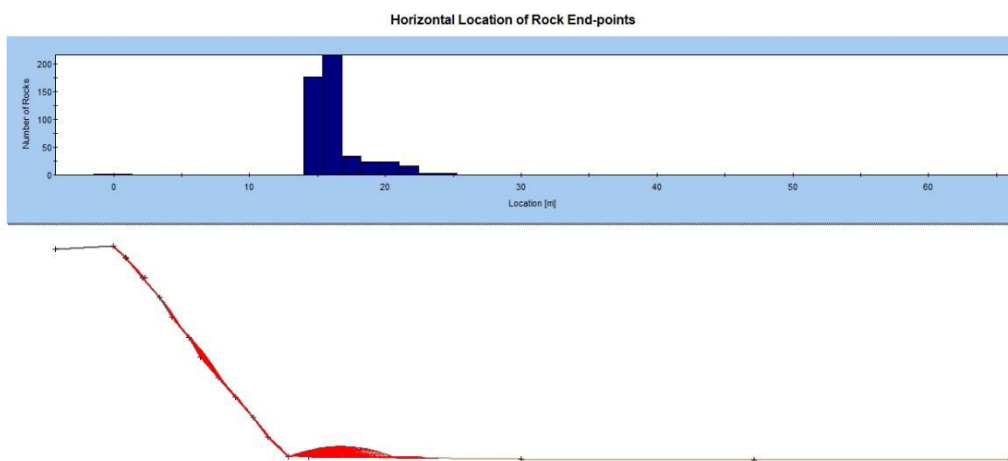
Σχέδιο 5.6: Η τομή 2A του Πρανούς 2 και η θέση του seeder σε αυτή



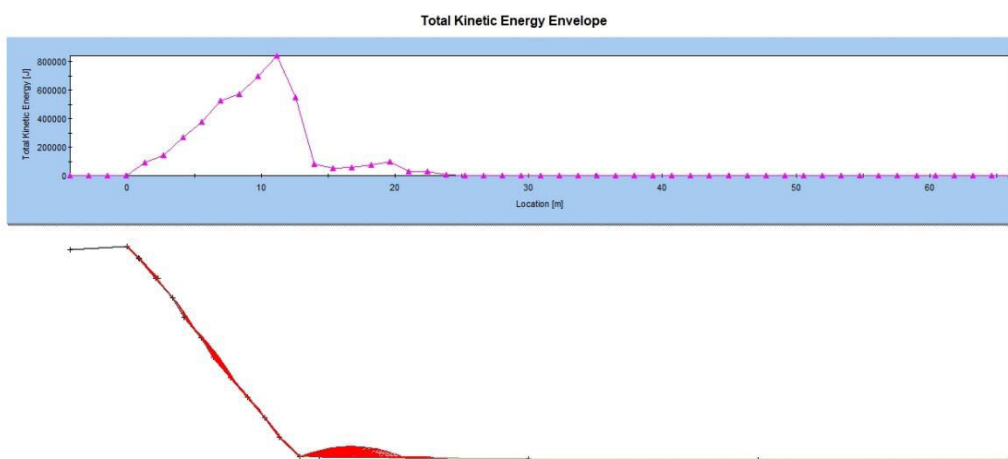
Σχέδιο 5.7: Εκτέλεση της δοκιμής στην τομή 2A με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 2400kg

Μετά την εκτέλεση της δοκιμής και κατασκευάζοντας τα σχετικά διαγράμματα προέκυψαν τα εξής:

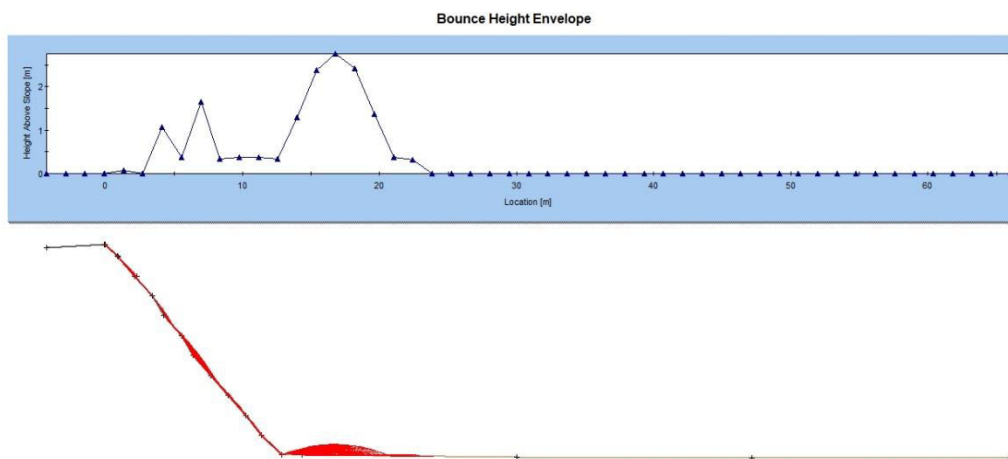
- Κατά την εκτέλεση της δοκιμής παρατηρήθηκε ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος τα τεμάχια συνεχίζουν όμως την πορεία τους για 12 μέτρα ακόμα (Σχήμα 5.8) .Σχεδόν κολλητά στη βάση του πρανούς και πιο συγκεκριμένα στα 0.3 m ξεκινούν κτηριακές εγκαταστάσεις του θεάτρου (τουαλέτες , καμαρίνια). Στην απόσταση λοιπόν των 12 οριακά τελειώνουν οι τουαλέτες του θεάτρου ενώ 1 m μετά ξεκινούν τα καμαρίνια.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα της Συνολικής Κινητικής Ενέργειας (Σχήμα 5.9) τα τεμάχια κατά την επαφή τους με το έδαφος έχουν $TKE = 75 \text{ KJ}$ την οποία διατηρούν σταθερή για 8 μέτρα ακόμα (21 m) και στην συνέχεια βαίνει μειούμενη ως τα 25 m που μηδενίζεται. Επομένως, θα συγκρουστούν με τις εγκαταστάσεις με μια τέτοια κινητική ενέργεια και σε συνδυασμό με τη μάζα τους τα αποτελέσματα θα είναι καταστροφικά.
- Τέλος η αναπήδηση των τεμαχίων 1,5 m μετά το σημείο επαφής με το έδαφος είναι ίση με 1,5 m (Σχήμα 5.10).



Σχέδιο 5.8: Διάγραμμα Τελικής Θέσης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2Α



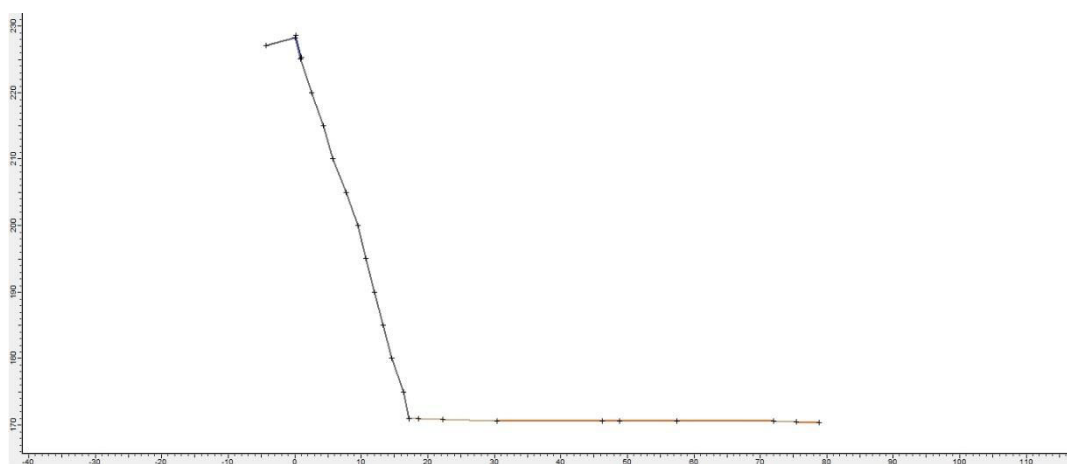
Σχέδιο 5.9: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2Α



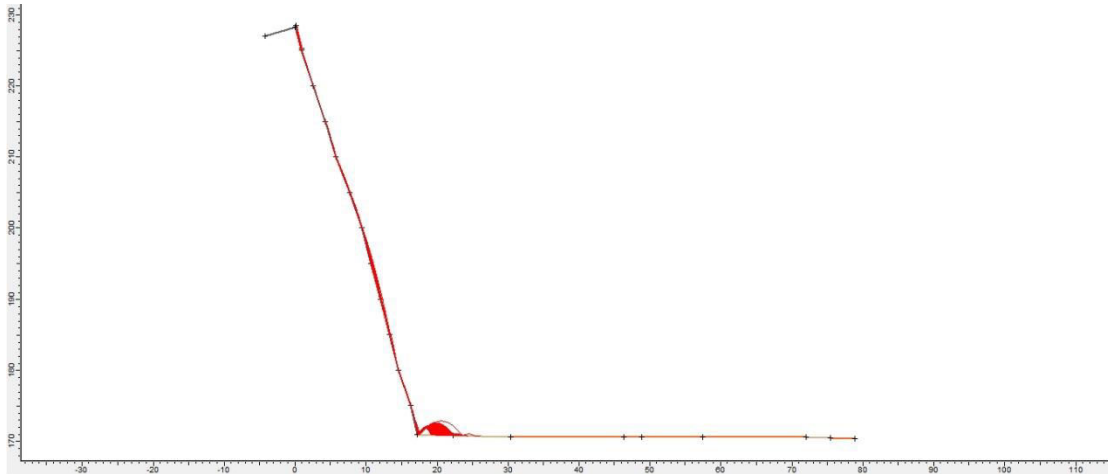
Σχέδιο 5.10: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2A

Τομή 2B

Η τομή 2B (Σχήμα 5.11) όπως προέκυψε από το τοπογραφικό του θεάτρου έχει ύψος 52,24 m (δηλαδή μεταξύ των υψομετρικών 228,17 και 170,93 m). Ο seeder έχει τοποθετηθεί στην στέψη του πρανούς δηλαδή στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών 228,2 και 225 m. Η μάζα των βραχοτεμαχίων που επιλέχθηκε για την δοκιμή είναι αυτή των επικρεμάμενων στο πρανές τεμαχίων δηλαδή 1300 kg . Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν επιλέχθηκε η μάζα των 2400 kg που είχε επιλεγεί στην τομή 2A , τόσο επειδή ο βράχος των 2400 kg βρέθηκε στην αρχή του πρανούς 2 δηλαδή σχεδόν στην τομή 2A αλλά και επειδή η δοκιμή με τα 1300 kg δίνει τα ίδια αποτελέσματα για 2400 με ελαφρά μικρότερη κινητική ενέργεια αλλά πολύ μεγαλύτερη αναπήδηση τεμαχίων.



Σχέδιο 5.11: Σκαρίφημα της τομής 2B του Πρανούς 2 και η θέση του seeder

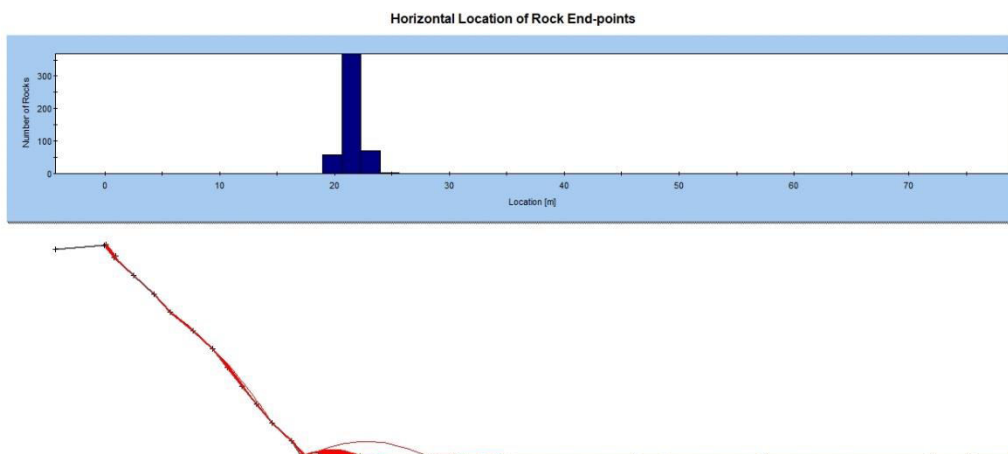


Σχέδιο 5.12: Η εκτέλεση της δοκιμής για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

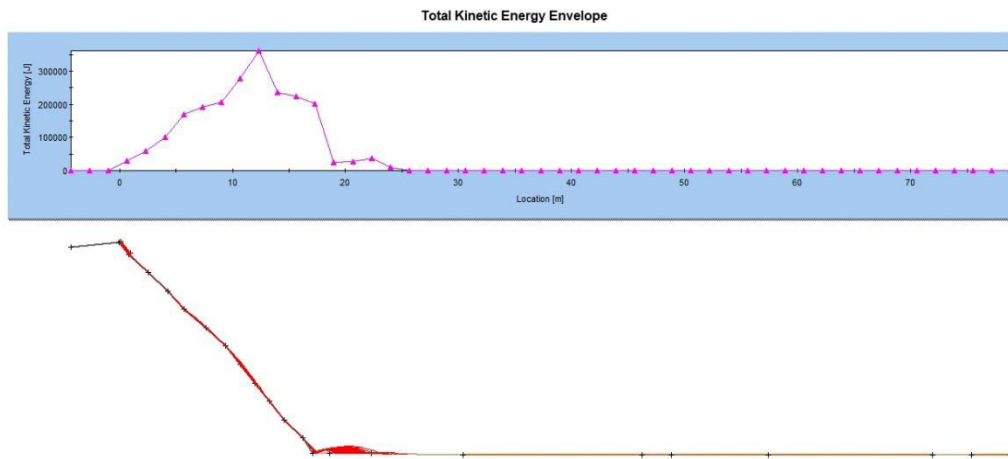
Μετά την εκτέλεση της δοκιμής και την κατασκευή των αντίστοιχων διαγραμμάτων προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα :

- Κατά την εκτέλεση της δοκιμής παρατηρήθηκε ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος σύμφωνα με το διάγραμμα τελικής θέσης των τεμαχίων (Σχήμα 5.13) φαίνεται οι βράχοι να συνεχίζουν την πορεία τους για 9 m ακόμα από τη βάση του πρανούς με τα περισσότερα να σταματούν στα +4 m .
- Από το διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας (Σχήμα 5.14) προκύπτει ότι οι βράχοι κατά την επαφή τους με το έδαφος έχουν κινητική ενέργεια ίση με 50 kJ η οποία και διατηρείται μέχρι να σταματήσουν την πορεία τους.
- Τέλος το μέγιστο ύψος που πετυχαίνουν τα τεμάχια φτάνει στα 4 m (Σχήμα 5.15). Σε απόσταση 1,5 m από το σημείο επαφής τους με το έδαφος (1^η αναπήδηση) έχουν αναπηδήσει σε ύψος 1,8 m.

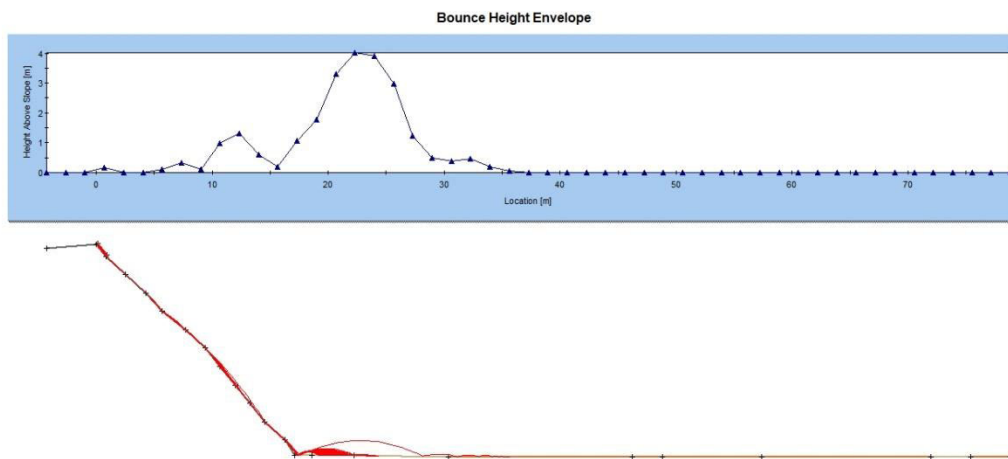
Αξίζει να σημειωθεί ότι σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς βρίσκεται η πίσω μεριά της εξέδρας η οποία χρησιμοποιείται για τις ανάγκες εκδηλώσεων που λαμβάνουν χώρα στο θέατρο Μελίνα Μερκούρη. Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι όλα σχεδόν τα τεμάχια συγκρούονται με αυτήν με ολέθρια αποτελέσματα.



Σχέδιο 5.13: Διάγραμμα Τελικής Θέσης των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B του Πρανούς 2



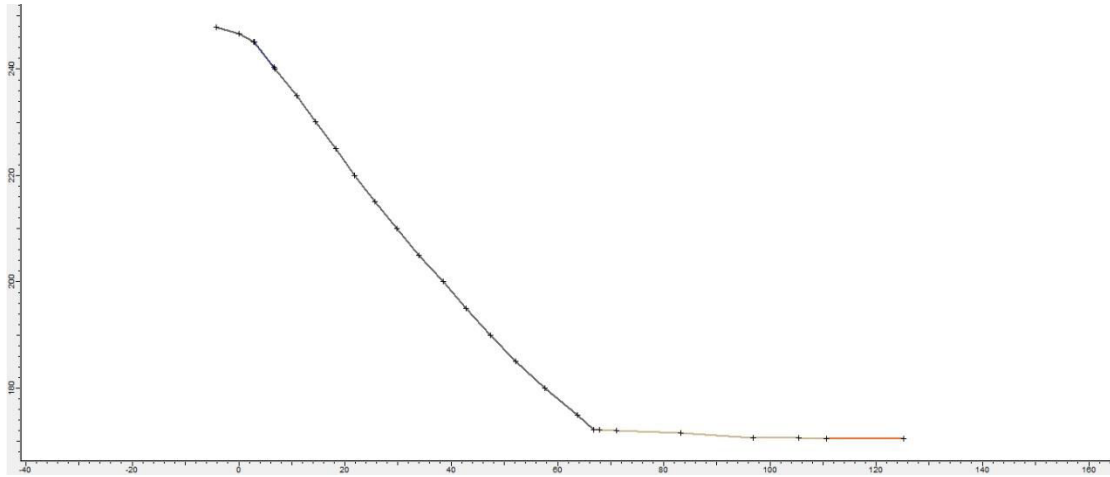
Σχέδιο 5.14: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2B του Πρανούς 2



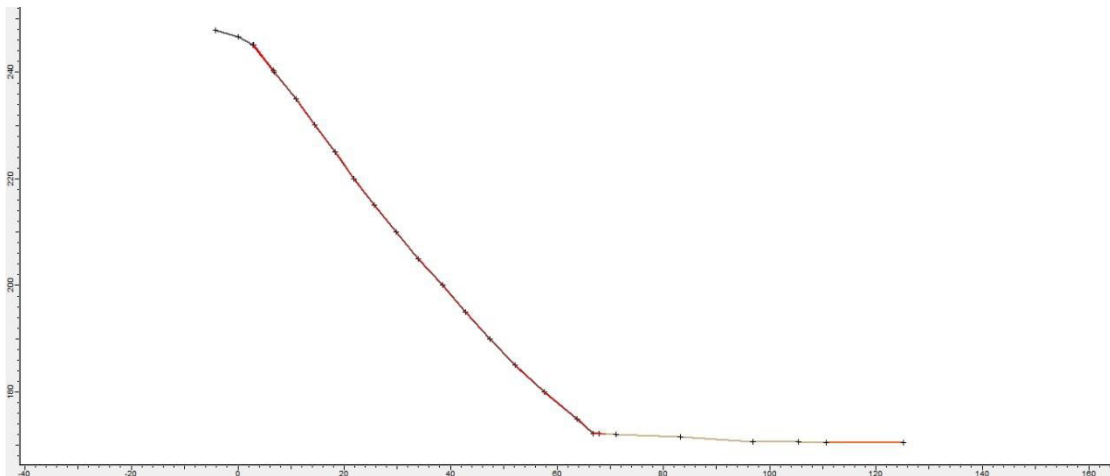
Σχέδιο 5.15: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 2B του Πρανούς 2

5.4.3 Πρανές 3

Η τομή του Πρανούς 3 (Σχήμα 5.16) σχεδιάστηκε με ύψος 74,6 m με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό στα 246,6 m και 172 m αντίστοιχα. Ο seeder τοποθετήθηκε στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών των 245 m και 240 m. Αυτή η περιοχή επιλέχθηκε, αν και δεν είναι το υψηλότερο σημείο του πρανού, επειδή σε δοκιμές με τον seeder σε ψηλότερα σημεία λόγω μικρής κλίσης του πρανού σε αυτά υπήρχαν βράχοι που έμειναν εκεί και δεν κύλησαν. Άρα για να είναι απόλυτα ακριβής η δοκιμή επιλέχθηκε αυτή η περιοχή ως σημείο εκκίνησης για τα βραχοτεμάχια μάζας ίσης με 1300 kg, δηλαδή μάζας των υπερκειμένων τεμαχίων του πρανού. Στο πρανές 3 εντοπίστηκε, με τη βοήθεια του προγράμματος dips, σφήνα μάζας 110 kg ενώ τα τεμάχια στη βάση του πρανού δεν ξεπερνούσαν τα 20 kg άρα προτιμήθηκαν τα 1300 kg.



Σχέδιο 5.16: Η τομή του Πρανούς 3 και η θέση του seeder



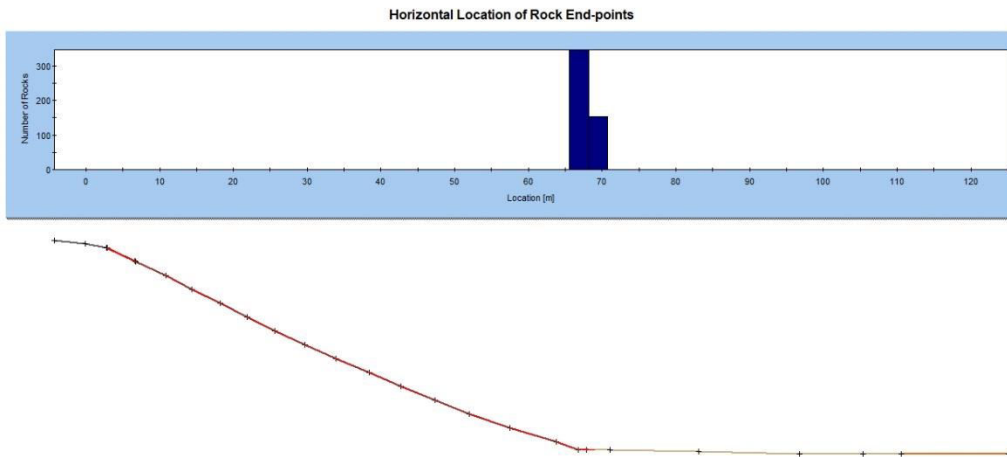
Σχέδιο 5.17: Η δοκιμή στο Πρανές 3 με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Από τη δοκιμή και την εξαγωγή των κατάλληλων διαγραμμάτων προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

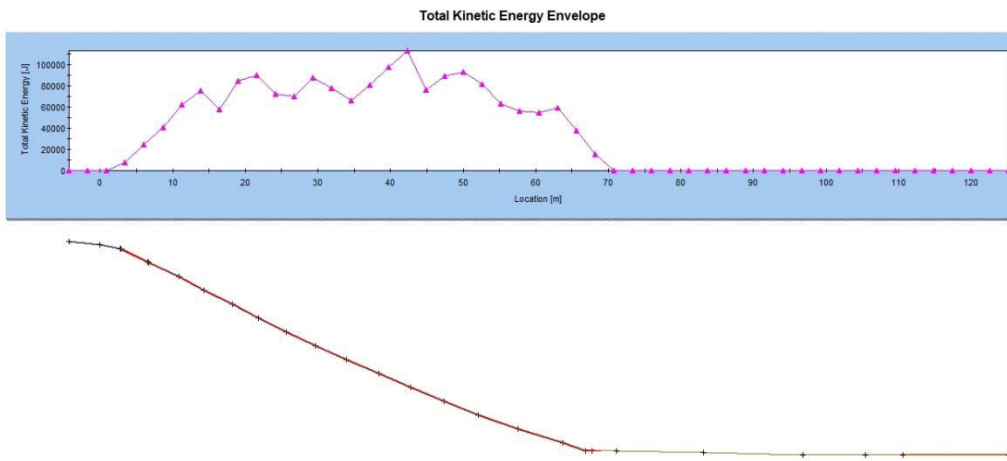
- Κατά την εκτέλεση της δοκιμής παρατηρήθηκε ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος τα βραχοτεμάχια συνεχίζουν την πορεία τους για ακόμα 4 m (Σχήμα 5.18) όπου και σταματούν με περισσότερα από τα μισά να έχουν σταματήσει ήδη κατά την επαφή τους με το πρανές (άρα συνεχίζει την κίνηση το 30 % περίπου των βράχων).
- Σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα (Σχήμα 5.19) η ΤΚΕ κατά την επαφή τους με το έδαφος ισούται με 20 kJ και βαίνει μειούμενη για τα επόμενα 4 m μέχρι να μηδενιστεί.
- Τέλος από το διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης (Σχήμα 5.20) προκύπτει ότι η μέγιστη αναπήδηση των τεμαχίων κατά μήκος της τομής του Πρανούς 3 είναι κάτω από 0,5 m όπως και στο σημείο επαφής τους με το έδαφος.

Ο χώρος που καταλήγουν οι βράχοι δεν χρησιμοποιείται και δεν εμπεριέχονται σε αυτόν εγκαταστάσεις του θεάτρου Μελίνα Μερκούρη. Το μόνο που υπάρχει είναι μια μεταλλική κατασκευή – βάση πάνω στην οποία τοποθετούνται προβολείς αλλά βρίσκεται σε αρκετή

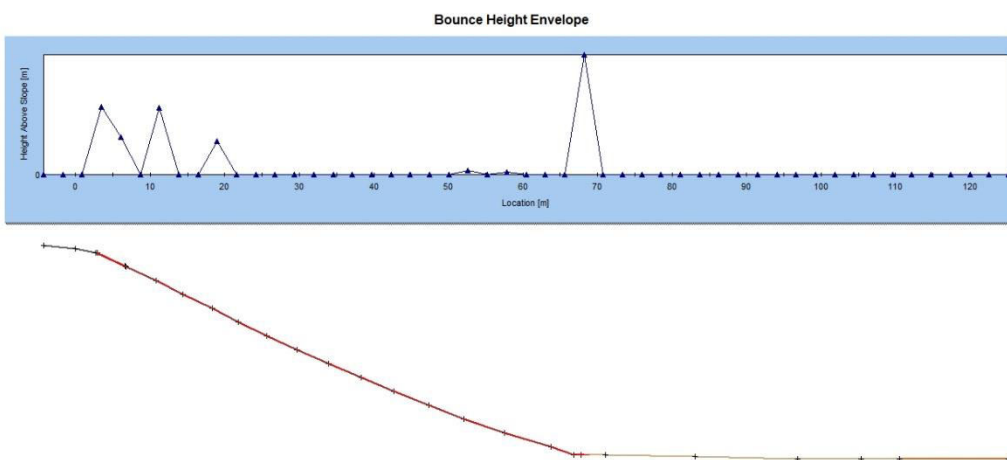
απόσταση από το πρανές και έτσι τα τεμάχια δεν φτάνουν τόσο μακριά ώστε να της προξενήσουν ζημιές.



Σχέδιο 5.18: Διάγραμμα των Τελικών Θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς3



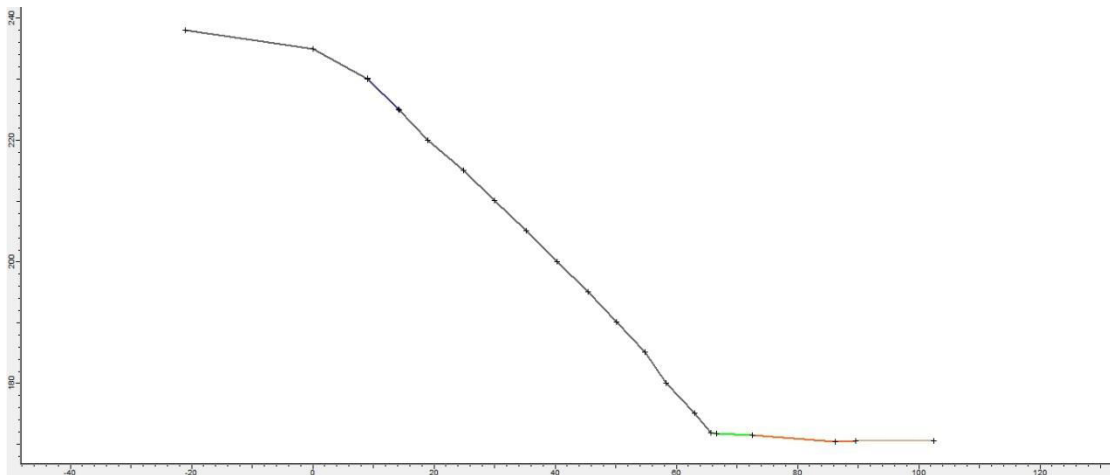
Σχέδιο 5.19: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 3



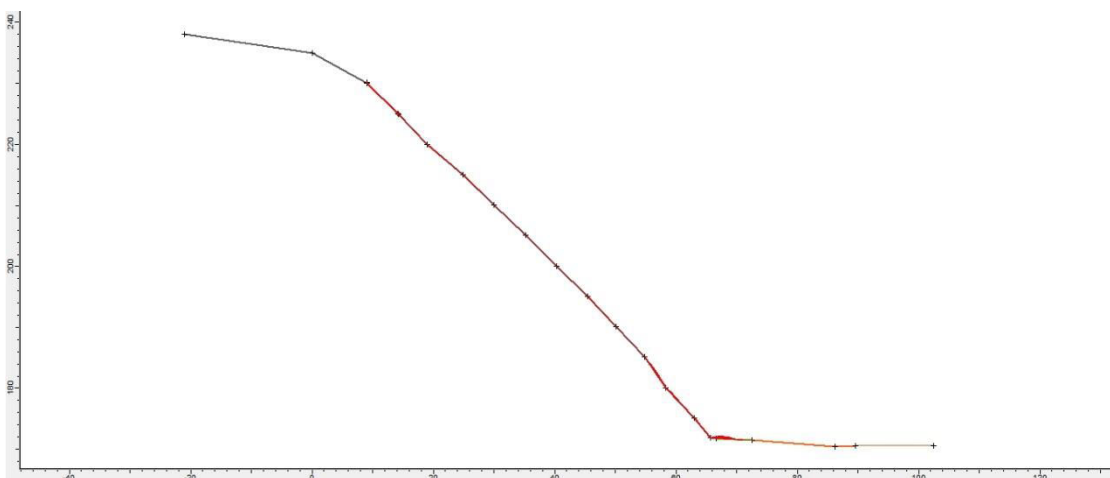
Σχέδιο 5.20: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 3

5.4.4 Πρανές 4

Το Πρανές 4 (Σχήμα 5.21), όπως μετρήθηκε από την τοπογραφική αποτύπωση του θεάτρου βράχων, έχει ύψος 66,5 m με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό 238,2 m και 171,7 m αντίστοιχα. Ο seeder τοποθετήθηκε στην περιοχή κοντά στην κορυφή του πρανούς μεταξύ των υψομετρικών των 225 m και 230 m. Η περιοχή αυτή επιλέχθηκε επειδή σε υψηλότερο σημείο, λόγω της μικρής κλίσης του πρανούς, μεγάλος αριθμός τεμαχίων έμενε στάσιμος με αποτέλεσμα η δοκιμή να μην είναι ακριβής και τα αποτελέσματα να μην αντιστοιχούν στον αριθμό των 500 τεμαχίων. Τέλος, η μάζα των βραχοτεμαχίων που θα ολισθήσουν επιλέχθηκε στα 1300 kg που αντιστοιχεί με το μέγιστο βάρος των επικρεμάμενων στο πρανές βράχων. Με τη βοήθεια του προγράμματος dips εντοπίστηκε βραχοσφήνα η οποία είχε όμως μάζα 46 kg ενώ τα τεμάχια στη βάση του πρανούς κυμαίνονταν από 50 έως 900 kg. Επομένως, η δοκιμή εκτελείται για 1300 kg.



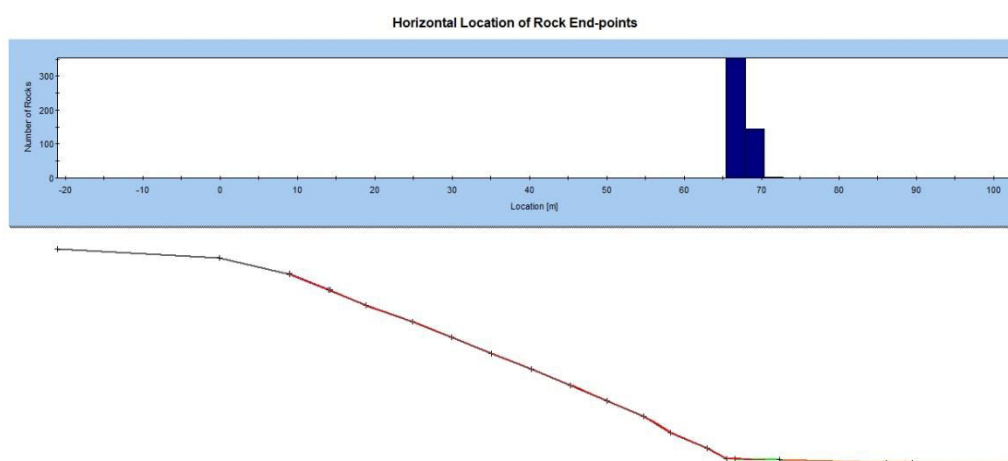
Σχέδιο 5.21: Η τομή του Πρανούς 4 και η θέση του seeder πάνω σε αυτή



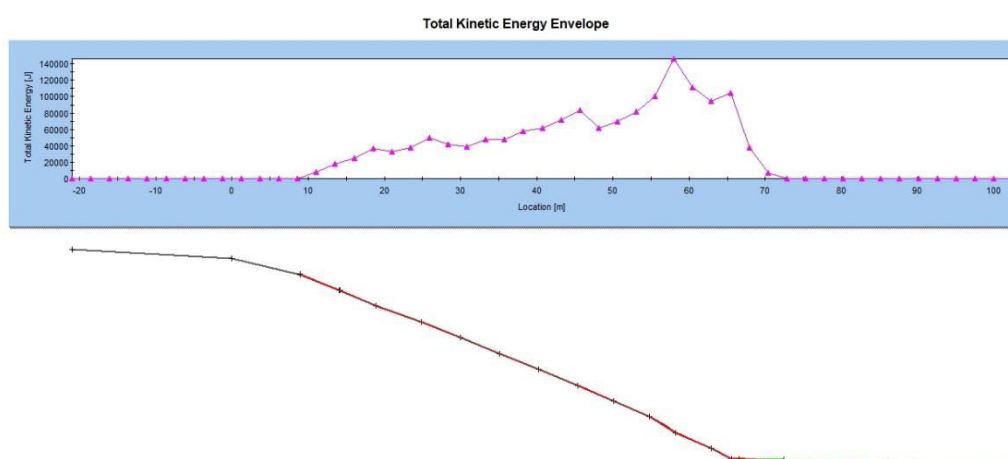
Σχέδιο 5.22: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Κατασκευάζοντας τα αντίστοιχα διαγράμματα και ερμηνεύοντάς τα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα :

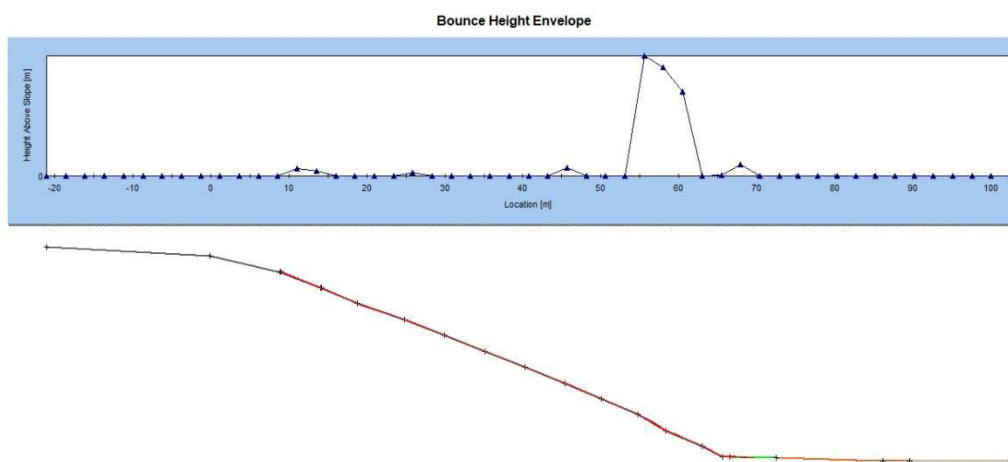
- Κατά την εκτέλεση της δοκιμής παρατηρήθηκε ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος τα περισσότερα τεμάχια συνεχίζουν την πορεία τους στο έδαφος για 4,5 m ακόμα (Σχήμα 5.23). Ένα μικρό ποσοστό (2% των τεμαχίων) συνεχίζει μέχρι τα 6,5 m. Τα τεμάχια οριακά δεν φτάνουν στοντσιμεντοστρωμένο χώρο του θεάτρου Άννα Συνοδινού και σε εγκαταστάσεις του (τουαλέτες) τα οποία ξεκινούν στα 7 m από τη βάση του πρανούς.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα κινητικής ενέργειας (Σχήμα 5.24) τα τεμάχια προσκρούουν στο έδαφος έχοντας κινητική ενέργεια 100 kj η οποία βαίνει μειούμενη μέχρι να σταματήσουν.
- Τέλος, η μέγιστη αναπήδηση των τεμαχίων καθ' όλη τη διάρκεια της πορείας τους δεν ξεπέρασε τα 0,5 m ενώ στο σημείο επαφής με το έδαφος ήταν μόλις 0,1 m (Σχήμα 5.25).



Σχέδιο 5.23: Οι τελικές θέσεις των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4



Σχέδιο 5.24: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4



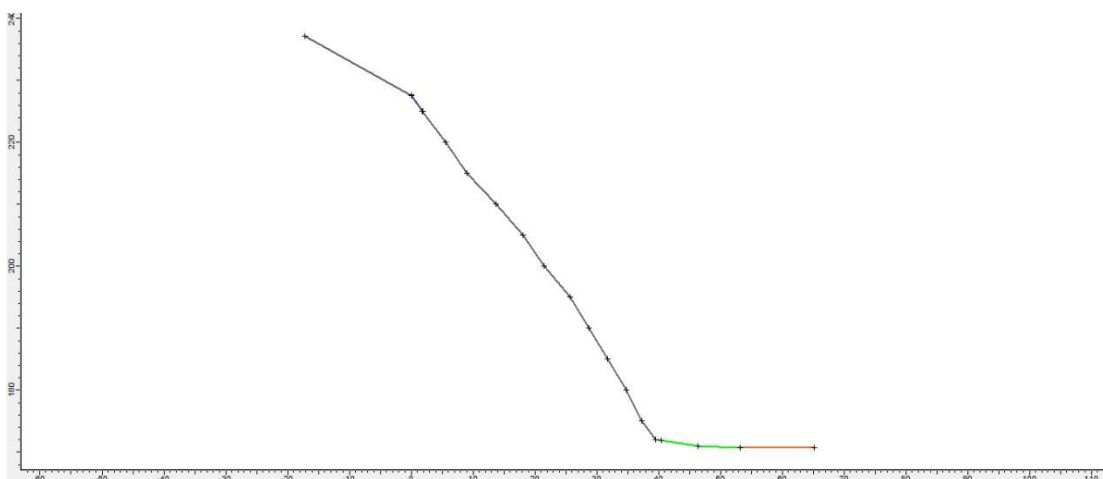
Σχέδιο 5.25: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 4

5.4.5 Πρανές 5

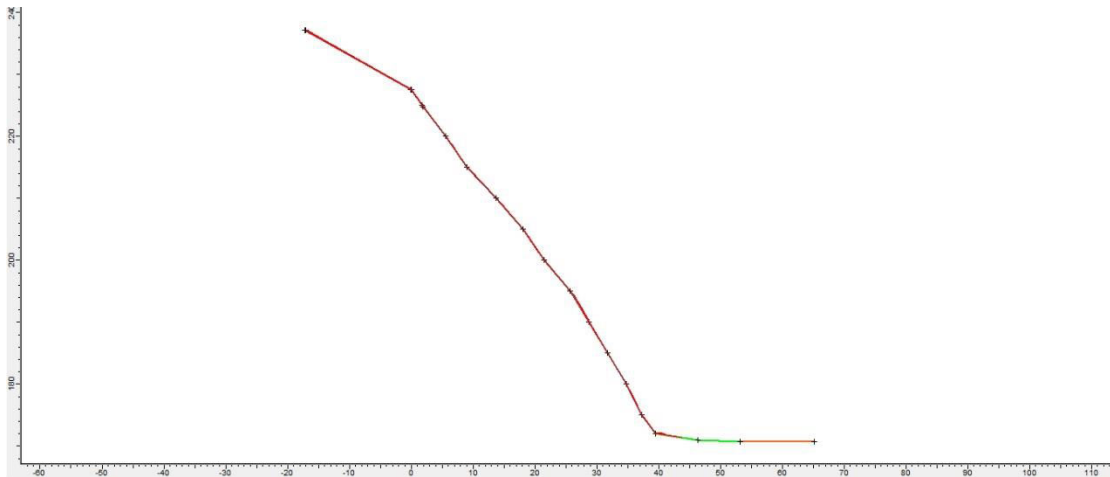
Το Πρανές 5 αποτελεί εξίσου σημαντικό πρανές με το 2 για τον ίδιο ακριβώς λόγο. Θέλοντας λοιπόν να εξετασθούν όλες οι πιθανές περιπτώσεις καταπτώσεων αλλά και να ληφθεί υπόψιν η αλλαγή της μορφολογίας του έγιναν σε αυτό δύο ξεχωριστές τομές.

Τομή 5A

Το πρανές που σχηματίστηκε (Σχήμα 5.26) έχει ύψος 55,4 m , με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό 227,4 m και 172 m αντίστοιχα όπως προέκυψε από την τομή πάνω στην τοπογραφική αποτύπωση του Θεάτρου Βράχων. Ο seeder τοποθετήθηκε στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών 227,4 και 225 m επειδή στην αμέσως υψηλότερη περιοχή ,λόγω μικρότερης κλίσης του πρανούς , υπήρξε ποσοστό των τεμαχίων που παρέμεινε στάσιμο και δεν ολίσθησε. Στο Πρανές 5 εντοπίστηκε με χρήση του προγράμματος dips βραχοσφήνα 24 kg , τα τεμάχη στη βάση του πρανούς κυμαίνονται από 5 έως 95 kg άρα για την εκτέλεση της δοκιμής χρησιμοποιήθηκε μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg , δηλαδή αυτή των επικρεμάμενων τεμαχίων.



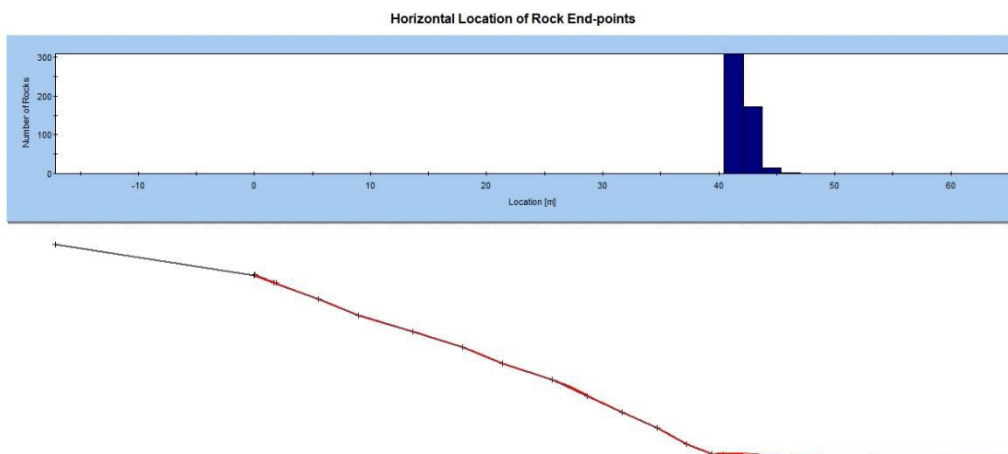
Σχέδιο 5.26: Η τομή 5A του Πρανούς 5 και η θέση του seeder πάνω σε αυτό



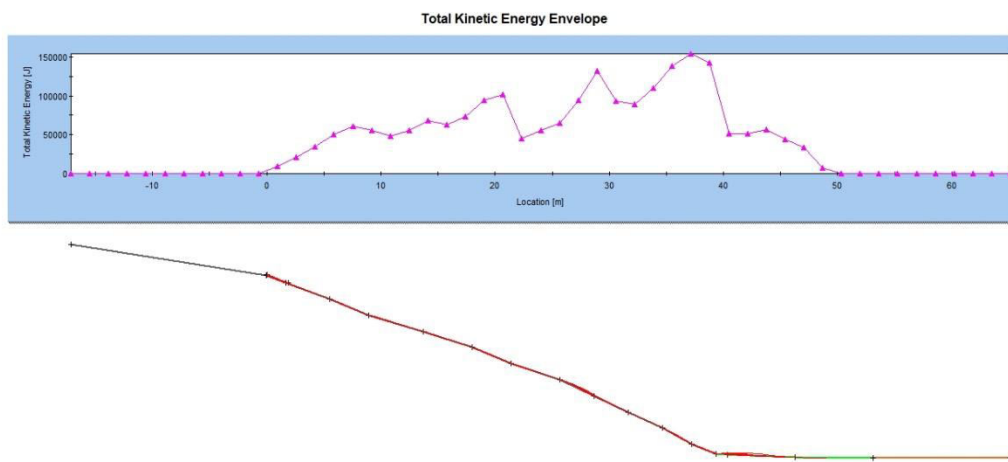
Σχέδιο 5.27: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Μετά την εκτέλεση της δοκιμής κατασκευάστηκαν τα σχετικά διαγράμματα , ερμηνεύθηκαν τα αποτελέσματά τους και προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

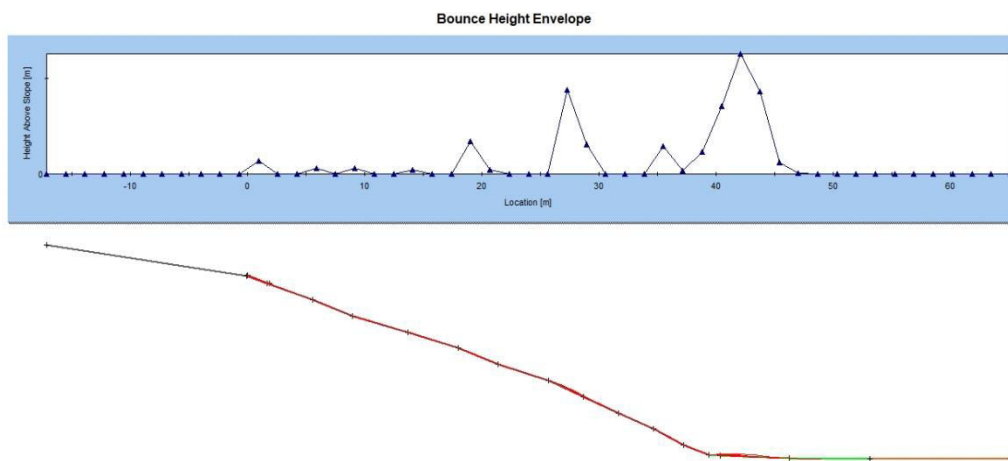
- Παρατηρήθηκε ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος τα τεμάχια συνεχίζουν την πορεία τους μέχρι και 6,6 m ακόμα (Σχήμα 5.28). Τα περισσότερα σταματούν την πορεία τους στα 2,6 m ενώ ένα μικρό ποσοστό (περίπου 2% ~ 10 τεμάχια) συνεχίζουν μέχρι τα 7,6 m. Στα 13 m από τη βάση του πρανούς αρχίζει ο χώρος που πραγματοποιούνται οι παραστάσεις στο θέατρο Άννα Συνοδινού. Αυτό δεν σημαίνει όμως ότι δεν υπάρχει πρόσβαση στην περιοχή που καταλήγουν οι βράχοι καθώς δεν υπάρχει κάποιο διαχωριστικό του θεάτρου με τα πρανή.
- Από το διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας (Σχήμα 5.29) προκύπτει ότι κατά την επαφή τους με το έδαφος τα τεμάχια έχουν κινητική ενέργεια ίση με 50 kJ την οποία διατηρούν έως τα 46 m και από εκεί βαίνει μειούμενη μέχρι το τέλος της πορείας τους.
- Τέλος από το διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης (Σχήμα 5.30) προκύπτει ότι η μέγιστη αναπήδηση των τεμαχίων καθ' όλη την πορεία τους είναι 0,6 m ενώ 1 m μετά την επαφή τους με το έδαφος είναι μόλις 0,2 m.



Σχέδιο 5.28: Διάγραμμα των τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A



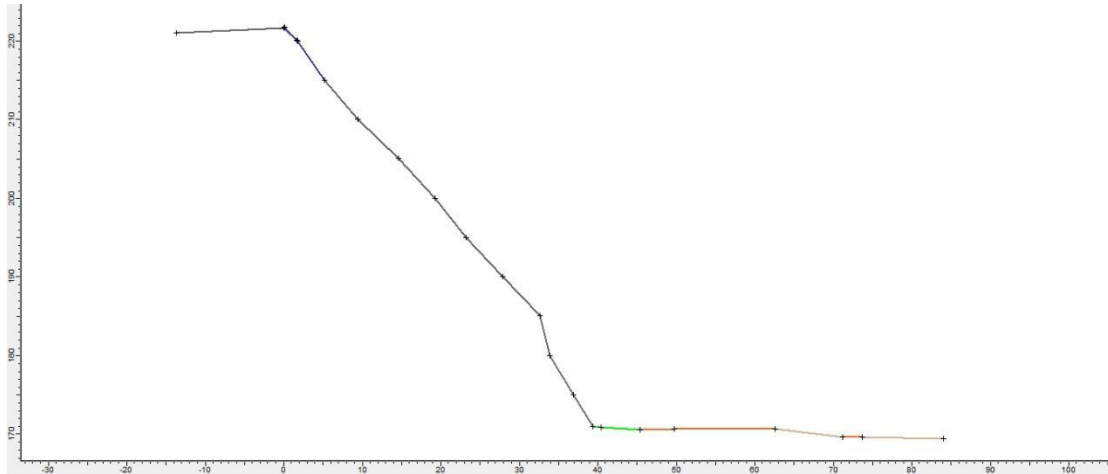
Σχέδιο 5.29: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A



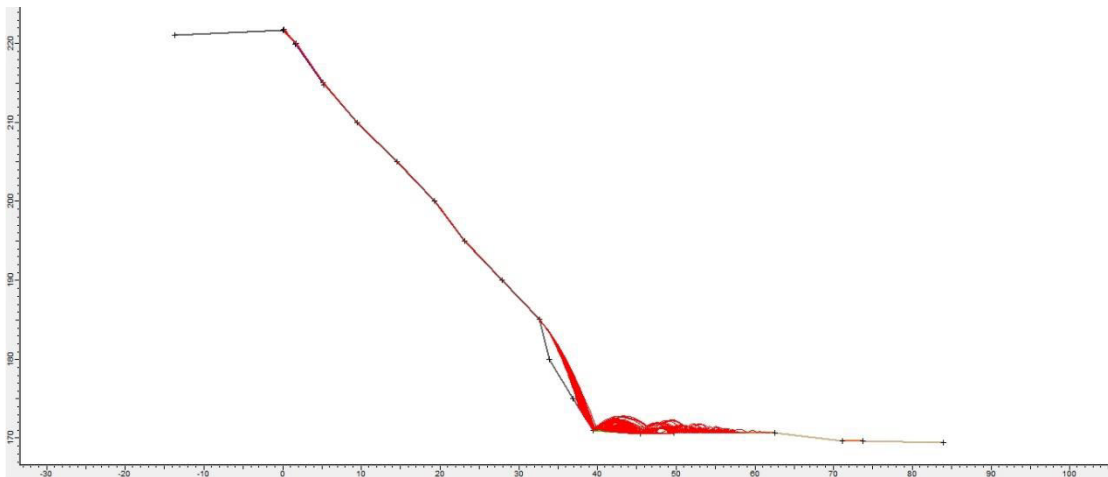
Σχέδιο 5.30: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5A

Τομή 5B

Το πρανές στην τομή 5B (Σχήμα 5.31) έχει ύψος 50,6 m , με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό 221,6 και 171 m αντίστοιχα. Ο seeder τοποθετήθηκε στην στέψη του πρανούς , δηλαδή στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών 221,6 και 220 m , εξετάζοντας έτσι την χειρότερη περίπτωση κατολίσθησης. Όπως και στην τομή 5A έτσι και σε αυτήν χρησιμοποιήθηκε για τη δοκιμή μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg για τους λόγους που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. κεφ. ΤΟΜΗ 5A). Παρακάτω παρατίθενται σχήματα με την αρχική τομή και τη θέση του seeder στο πρανές καθώς και η εκτέλεση της δοκιμής των 1300 kg και η πορεία που ακολούθησαν τα βραχοτεμάχια κατά μήκος του πρανούς.



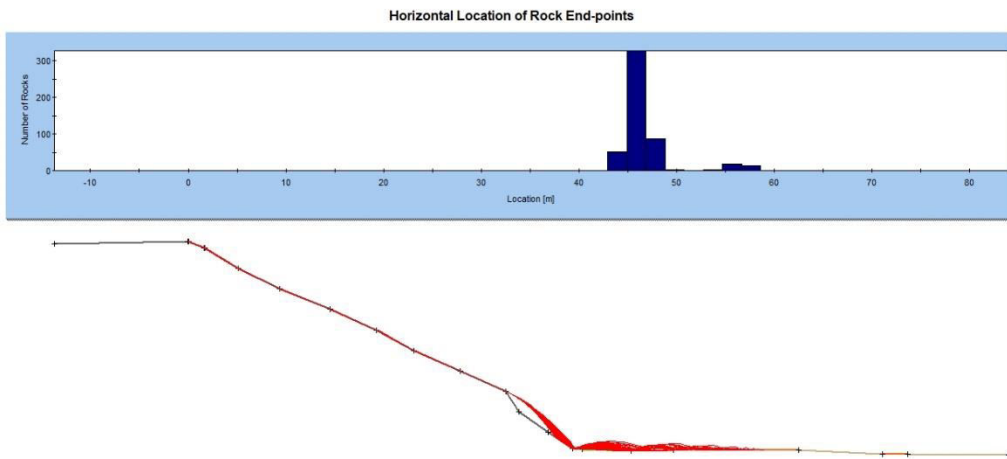
Σχέδιο 5.31: Η τομή 5B του Πρανούς 5 καθώς και η θέση του seeder σε αυτό



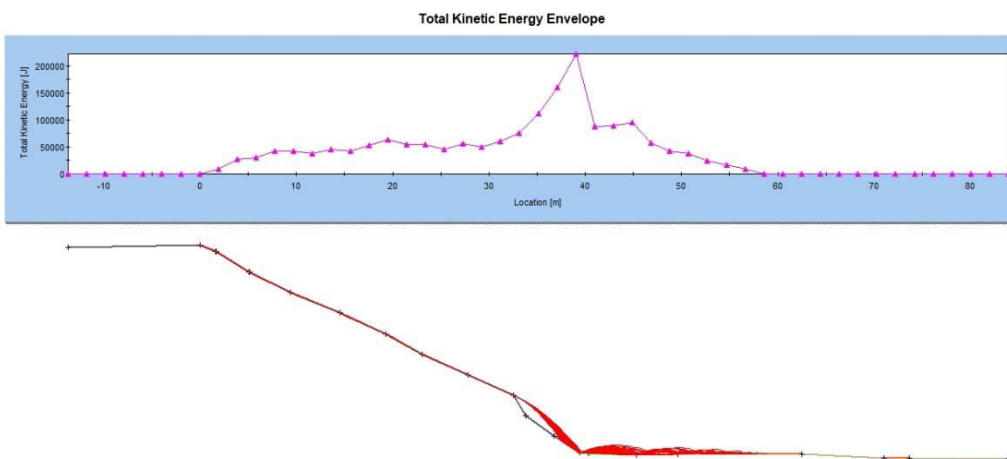
Σχέδιο 5.32: Η εκτέλεση της δοκιμής για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Από τα διαγράμματα που σχεδιάστηκαν μετά την εκτέλεση της δοκιμής προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα :

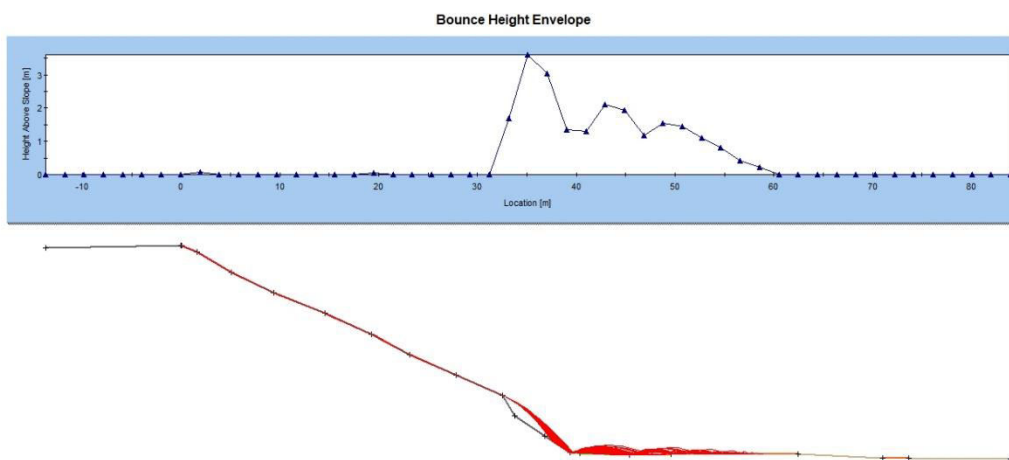
- Από το διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων (Σχήμα 5.33) προκύπτει ότι μετά την επαφή τους με το έδαφος τα τεμάχια συνεχίζουν την πορεία τους για ακόμα 19 m με τα περισσότερα να σταματούν στα 6,6 m . Ένα μέτρο πριν ξεκινά ο δρόμος περιφερειακά του θεάτρου Άννα Συνοδινού ενώ στα 9,6 m ξεκινάει το ίδιο το θέατρο.
- Σύμφωνα με το αντίστοιχο διάγραμμα (Σχήμα 5.34) η συνολική κινητική ενέργεια (ΤΚΕ) στο σημείο επαφής των τεμαχίων με το έδαφος είναι 200 kJ ενώ αφού μειωθεί σχεδόν αμέσως στα 85 kJ καταλήγει στον δρόμο στα 75 kJ βαίνοντας μειούμενη μέχρι το τέλος της πορείας των τεμαχίων.
- Τέλος, η μέγιστη αναπήδηση των τεμαχίων είναι 3,5 m ενώ στο σημείο επαφής αλλά και 1 m μετά είναι σταθερή στα 0,8 m (Σχήμα 5.35). Στον δρόμο τα τεμάχια αναπηδούν στο 1 m και από εκεί και μετά σε μικρότερα ύψη μέχρι να σταματήσουν.



Σχέδιο 5.33: Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B



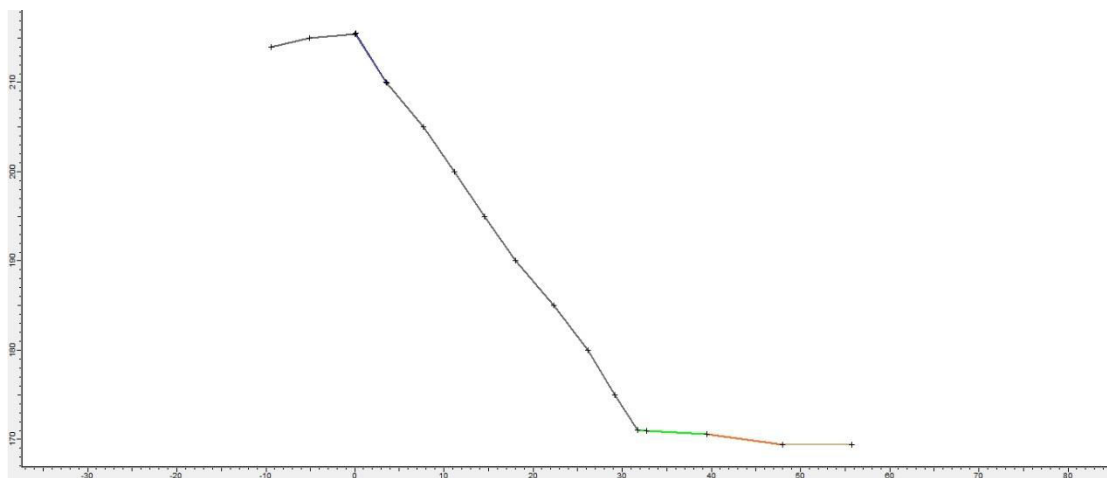
Σχέδιο 5.34: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B



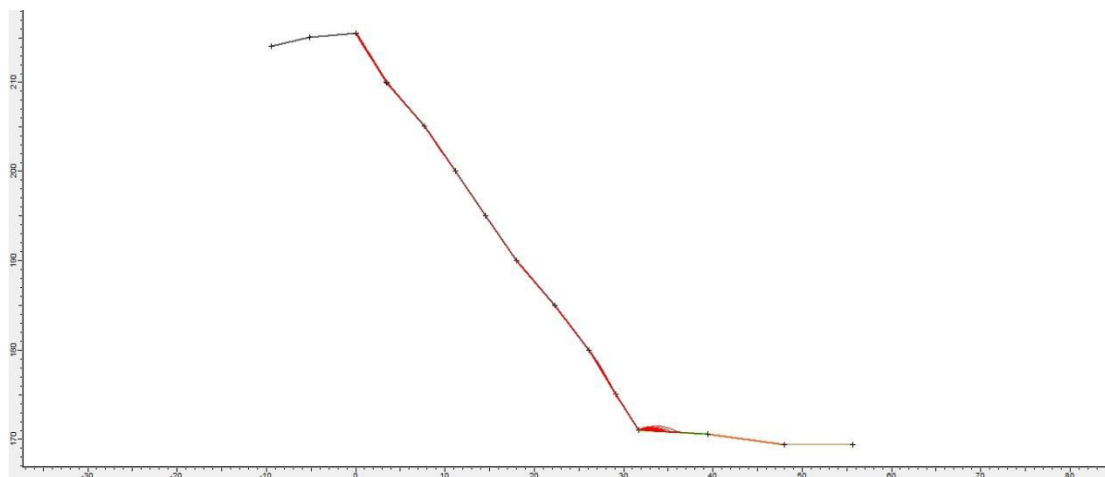
Σχέδιο 5.35: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος της τομής 5B

5.4.6 Πρανές 6

Το Πρανές 6, όπως προέκυψε από την τομή στην τοπογραφική αποτύπωση του θεάτρου βράχων, έχει ύψος 44,4 m με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό 215,4 m και 171 m αντίστοιχα (Σχήμα 5.36). Ο seeder τοποθετήθηκε στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών των 215,4 m και 210 m, δηλαδή στην στέψη του πρανούς. Η μάζα των τεμαχίων στη βάση του κυμαίνεται από 30 έως 100 kg. Επομένως, για την εκτέλεση της δοκιμής επιλέχθηκε η μάζα των 1300 kg δηλαδή αυτή των υπερκείμενων του πρανούς τεμαχίων.



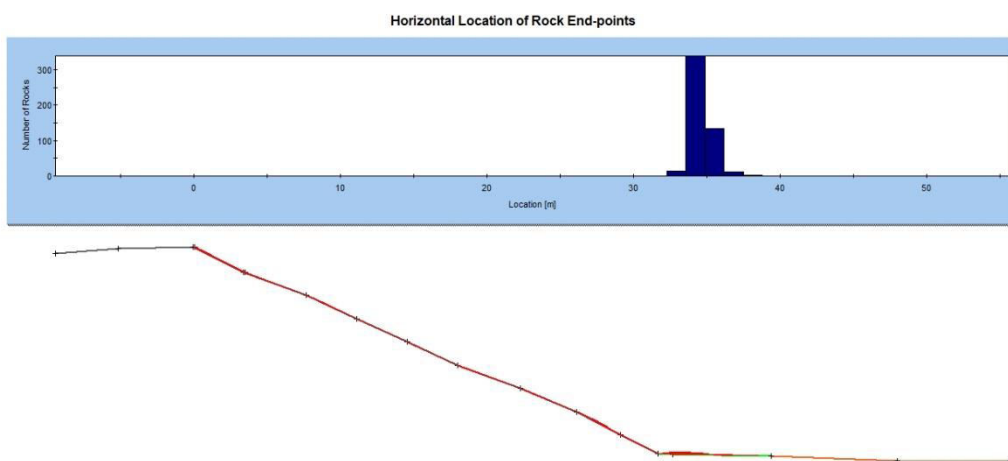
Σχέδιο 5.36: Η αρχική τομή του Πρανούς 6 και η θέση του seeder σε αυτή



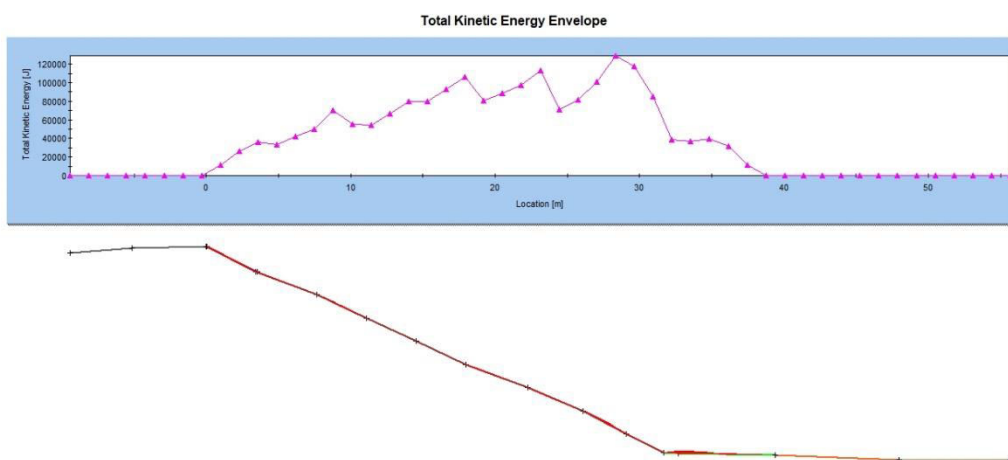
Σχέδιο 5.37: Η εκτέλεση της δοκιμής στο Πρανές 6 για μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Μετά την εκτέλεση της δοκιμής κατασκευάσθηκαν τα σχετικά διαγράμματα και προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα :

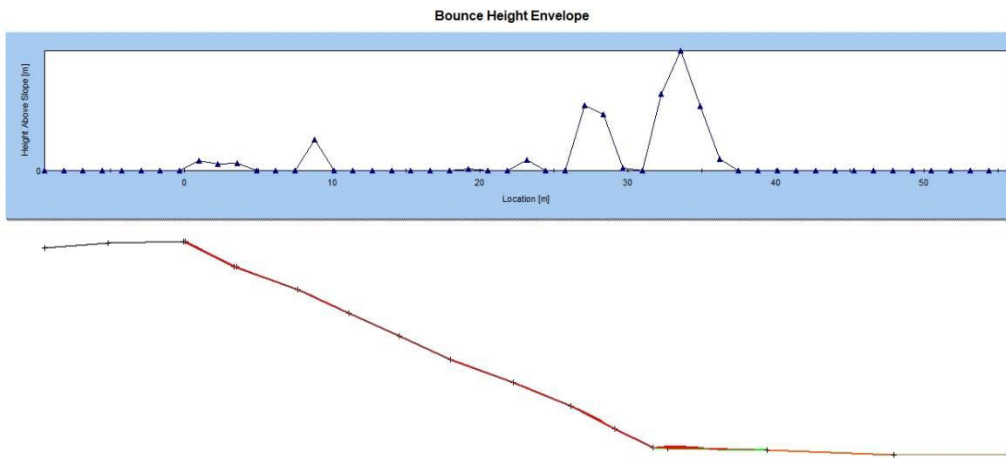
- Από το διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων (Σχήμα 5.38) προέκυψε ότι τα τεμάχια μετά την επαφή τους με το έδαφος συνεχίζουν την πορεία τους σε αυτό για 6,3 m ακόμα ενώ ένα μικρό ποσοστό τους (2% ~ 10 τεμάχια) φτάνουν έως τα 7,3 m. Αξίζει να σημειωθεί βέβαια ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των τεμαχίων (70 % ~ 350 τεμάχια) σταματούν την πορεία τους στα 3,3 m και μόνο τα υπόλοιπα συνεχίζουν. Όμως σε απόσταση 7,3 m από τη βάση του πρανούς αρχίζουν τα όρια του τιμμεντένιου δρόμου διέλευσης του κοινού περιμετρικά του θεάτρου Άννα Συνοδινού.
- Από το διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας (Σχήμα 5.39) προκύπτει ότι τα τεμάχια κατά την επαφή τους με το έδαφος έχουν ΤΚΕ ίση με 40 KJ την οποία διατηρούν για τα επόμενα 4,8 m (36,5 m) και στη συνέχεια βαίνει μειούμενη μέχρι το τέλος της πορείας τους.
- Τέλος η μέγιστη αναπήδηση των τεμαχίων σε όλη την πορεία τους δεν ξεπερνά τα 0,5 m (στα 34 m) , ενώ 1 m μετά το σημείο επαφής η αναπήδηση είναι μόλις στα 0,2 m (Σχήμα 5.40).



Σχέδιο 5.38: Διάγραμμα των τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6



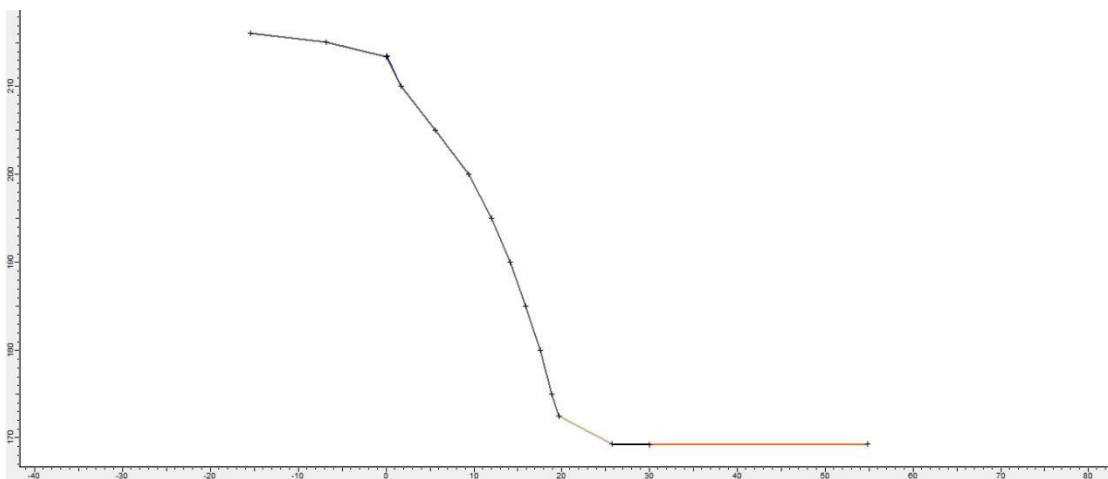
Σχέδιο 5.39: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6



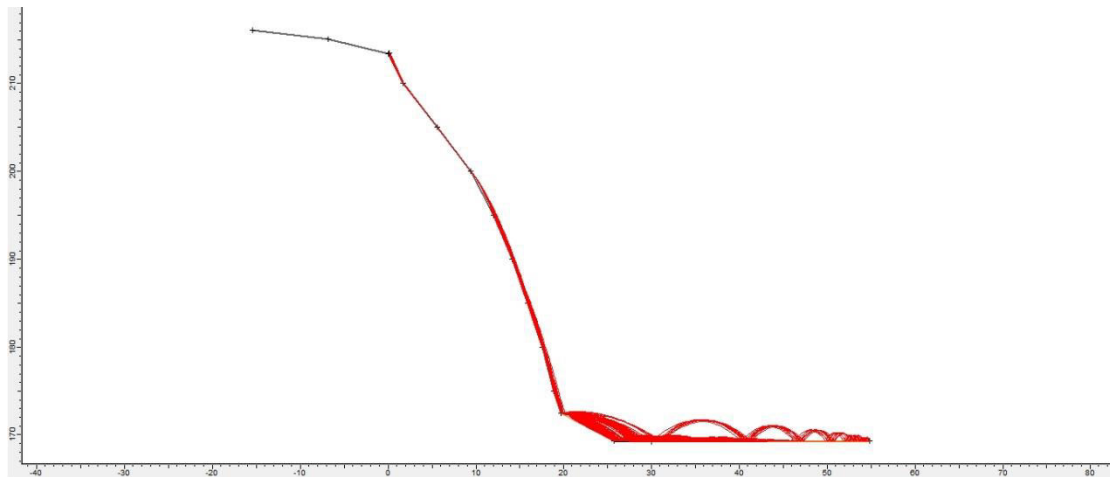
Σχέδιο 5.40: Διάγραμμα Ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 6

5.4.7 Πρανές 7

Η τομή στο Πρανές 7 (Σχήμα 5.41) έχει ύψος 40,9 m με μέγιστο και ελάχιστο υψομετρικό 213,4 και 172,5 όπως προέκυψε από την τοπογραφική αποτύπωση του θεάτρου βράχων. Ο seeder τοποθετήθηκε στην περιοχή μεταξύ των υψομετρικών των 213,4 m και 210 m , δηλαδή στο ψηλότερο σημείο του πρανούς στη στέψη του. Η μάζα των τεμαχίων στη βάση του πρανούς κυμαίνεται από 2 έως 30 kg , επομένως επιλέχθηκε για την εκτέλεση η μάζα των 1300 kg των υπερκειμένων δηλαδή τεμαχίων του πρανούς.



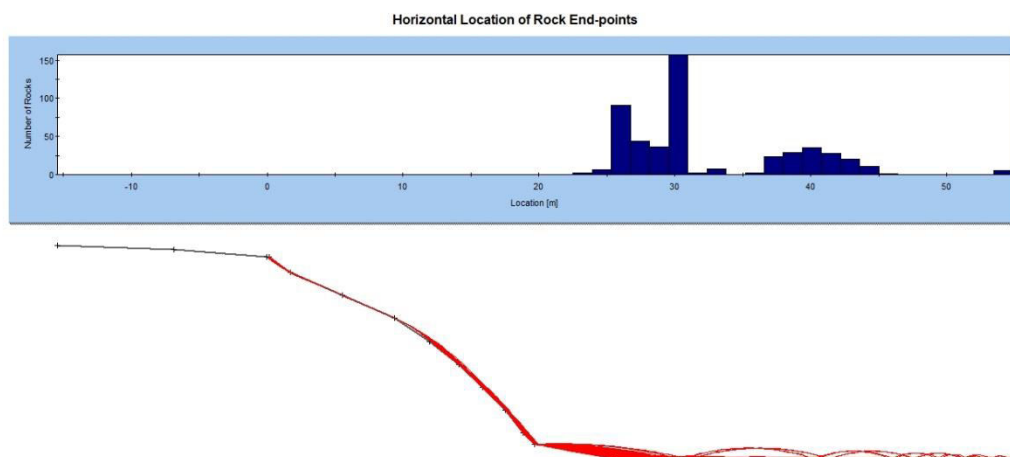
Σχέδιο 5.41: Η τομή του Πρανούς 7 και η θέση του seeder



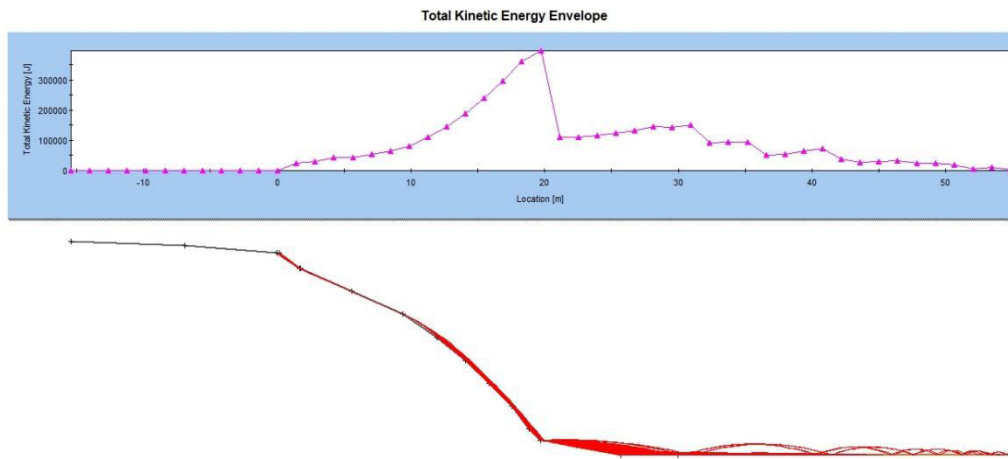
Σχέδιο 5.42: Εκτέλεση της δοκιμής με μάζα βραχοτεμαχίων ίση με 1300 kg

Μετά την εκτέλεση της δοκιμής εξάγονται από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν τα εξής συμπεράσματα :

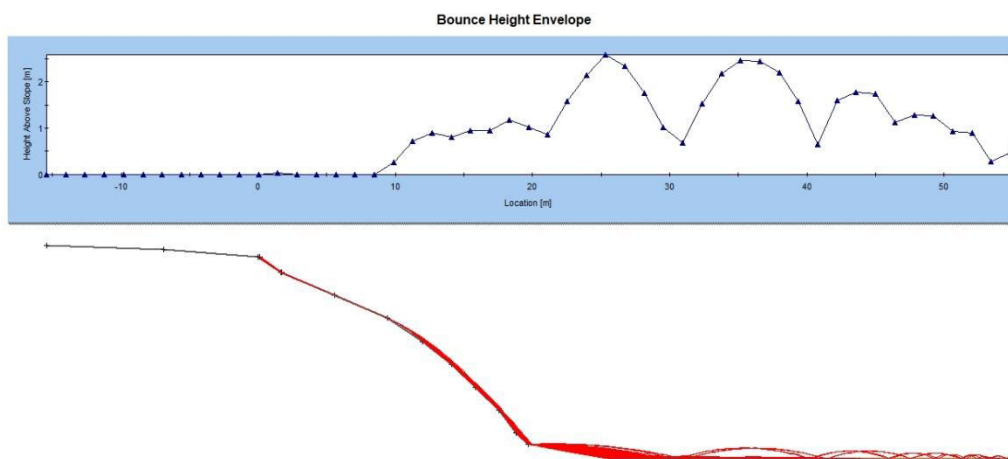
- Από το διάγραμμα τελικής θέσης βραχοτεμαχίων (Σχήμα 5.43) προέκυψε ότι τα τεμάχια μετά την επαφή τους με το έδαφος συνεχίζουν την πορεία τους για ακόμα 35,3 m . Το μεγαλύτερο μέρος τους σταματούν στα + 10,3 m από τη βάση του πρανούς. Όμως σε απόσταση +6m από τη βάση του πρανούς ξεκινάει δρόμος με άσφαλτο που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση στο χώρο των δύο θεάτρων. Επίσης σε απόσταση +11.3m εκεί δηλαδή που τελειώνει ο δρόμος ξεκινάει ο περιφραγμένος χώρος γηπέδων ποδοσφαίρου , όπου λόγω του μεγάλου ύψους της περίφραξης δεν κινδυνεύει άμεσα.
- Σύμφωνα με το διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας (Σχήμα 5.44) τα τεμάχια στο σημείο επαφής τους με το έδαφος έχουν ΤΚΕ ίση με 370 kJ , η οποία μειώνεται στα 130 μετά την πρόσκρουσή τους στην άσφαλτο, ενώ καταλήγουν με ΤΚΕ 150 kJ πάνω στην περίφραξη των γηπέδων.
- Τέλος , λίγο μετά το σημείο επαφής με το έδαφος τα τεμάχια έχουν αναπηδήσει 1 m , ενώ στην άσφαλτο εκτελούν άλματα έως και 2,5 m. Τέλος , όπως αναφέρθηκε και παραπάνω έχοντας εξασθενήσει το ύψος αναπήδησης στην περίφραξη φτάνει οριακά το 1 m (Σχήμα 5.45).



Σχέδιο 5.43: Διάγραμμα τελικών θέσεων των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7



Σχέδιο 5.44: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7



Σχέδιο 5.45: Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων κατά μήκος του Πρανούς 7

5.5 Μέτρα αντιμετώπισης των καταπτώσεων

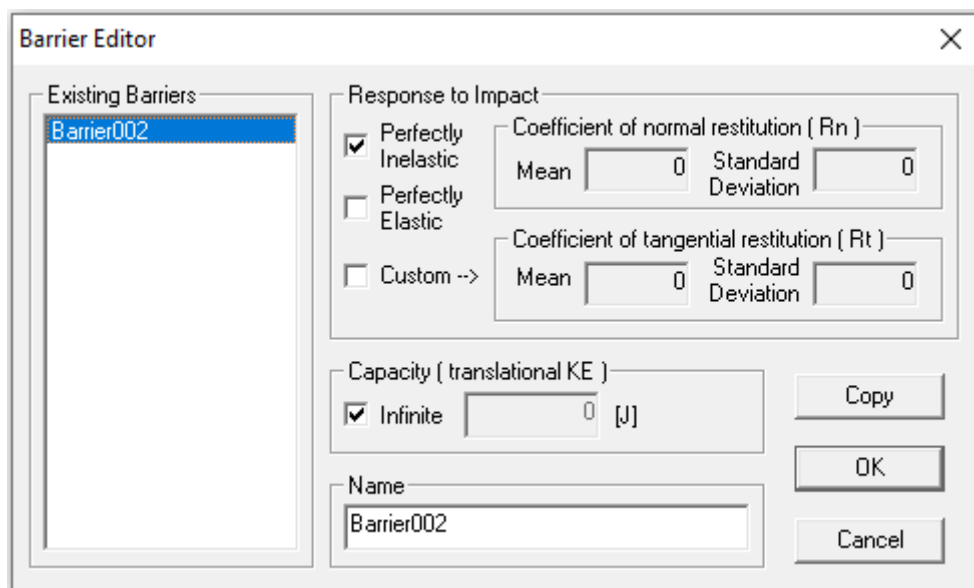
Τα μέτρα αντιμετώπισης των καταπτώσεων παρουσιάζονται αναλυτικά σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. κεφ.). Συνοπτικά , σύμφωνα με τον Λουπασάκη 2015, είναι τα εξής :

- **Τεχνικές ενίσχυσης και σταθεροποίησης**
 1. Αγκύρια βράχου – ήλοι
 2. Τοίχοι αντιστήριξης
 3. Εκτοξευόμενο Σκυρόδεμα
 4. Αντηρίδες και Υποστυλώσεις
 5. Αποστράγγιση των σχηματισμών
- **Τεχνικές διαμόρφωσης πρανούς και καθαίρεσης ασταθών τεμαχίων**
 1. Αποφόρτιση
 2. Αλλαγή γεωμετρίας του πρανούς
 3. Αποψίλωση Βλάστησης
 4. Καθαίρεση μεγάλων τεμαχίων μέσω εκρήξεων
 5. Καθαίρεση μικρών τεμαχίων – ξεσκάρωμα

- **Τεχνικές ανάσχεσης καταπτώσεων**
 1. Τάφροι ανάσχεσης
 2. Αναχώματα ανάσχεσης καταπτώσεων
 3. Φράχτες ανάσχεσης καταπτώσεων
 4. Αναρτημένα πλέγματα παγίδευσης

Η ΕΝΤΟΛΗ BARRIER

Το πρόγραμμα Rocfall δίνει τη δυνατότητα σχεδίασης τάφρων καθώς και δυνατότητα εξομάλυνσης εδαφών. Όμως δεν υπάρχει διαφορετική εντολή ελέγχου που διαχωρίζει τοίχους ή φράχτες ανάσχεσης αλλά και αναρτημένα στο πρηνές πλέγματα. Έτσι, υπάρχει η εντολή *Barrier* που ουσιαστικά προσομοιάζει την ύπαρξη κάποιας τεχνητής κατασκευής η οποία παρεμποδίζει την πορεία των βραχοτεμαχίων κατά την ολίσθησή τους ή τα αναγκάζει να ακολουθήσουν συγκεκριμένη πορεία. Η εισαγωγή του πραγματοποιείται με την εντολή *Add* ενώ δίνεται η δυνατότητα από το πρόγραμμα να καθοριστεί η συμπεριφορά του, έτσι ώστε να καλύψει τα διαφορετικά μέτρα ανάσχεσης καταπτώσεων (τοίχος, φράχτης κτλ.). Επομένως, μπορεί να θεωρηθεί τέλεια ελαστικό *Perfectly Elastic* , τέλεια ανελαστικό σώμα *Perfectly Inelastic* αλλά υπάρχει και η δυνατότητα μέσης λύσης με εισαγωγή των παραμέτρων R_n και R_T .

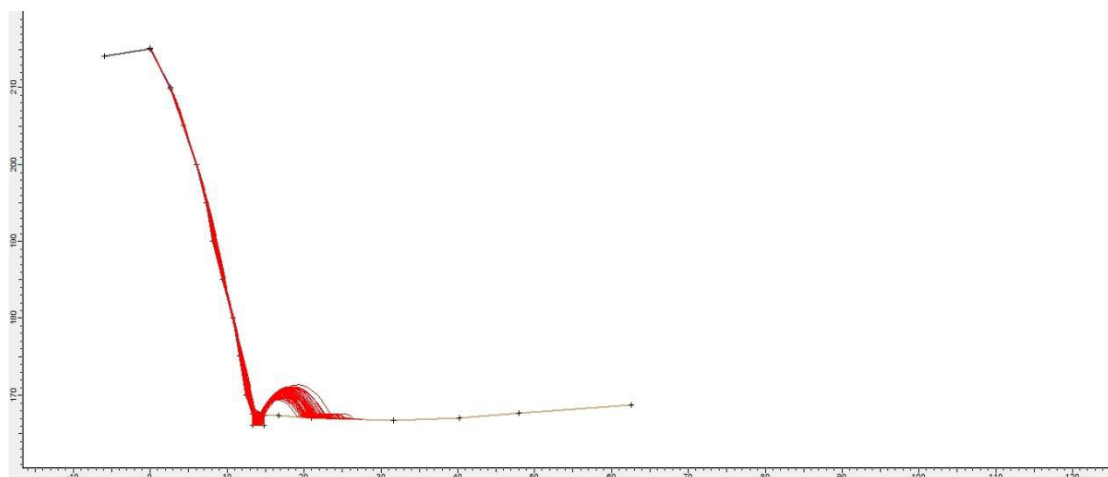


Εικόνα 5.9: Άποψη της εντολής *Barrier Editor*

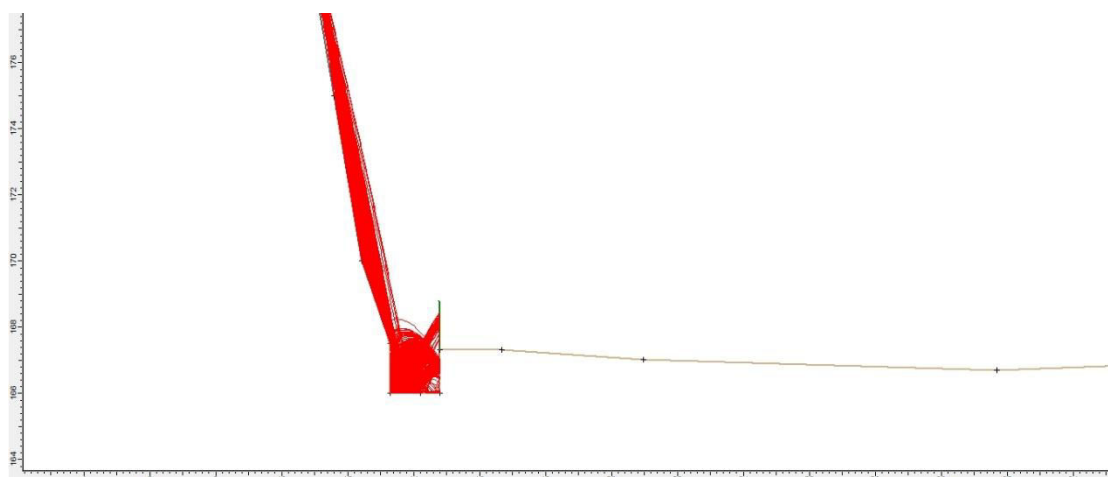
Παρακάτω παρουσιάζονται τα μέτρα που απαιτούνται για την ανάσχεση και τον περιορισμό των καταπτώσεων σε κάθε πρηνές του θεάτρου βράχων.

5.5.1 Πρανές 1

Στο Πρανές 1 κατασκευάζεται τάφρος πλάτους 1,5 m και βάθους 1,5 m σε όλο το μήκος του πρανούς (Σχήμα 5.46). Λόγω όμως της αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο σημείο αυτό (ύψος αναπήδησης 2.5 m) αυτό το μέτρο δεν είναι αρκετό από μόνο του. Έτσι κατασκευάζεται επιπρόσθετα τοίχος αντιστήριξης ύψους 1,5 m και σε συνδυασμό με την τάφρο ανακόπτουν την πορεία των βραχοτεμαχίων (Σχήμα 5.47).



Σχέδιο 5.46: Αποτυχημένη προσπάθεια ανάσχεσης της κατάπτωσης μόνο με τάφρο 1,5 * 1,5 m

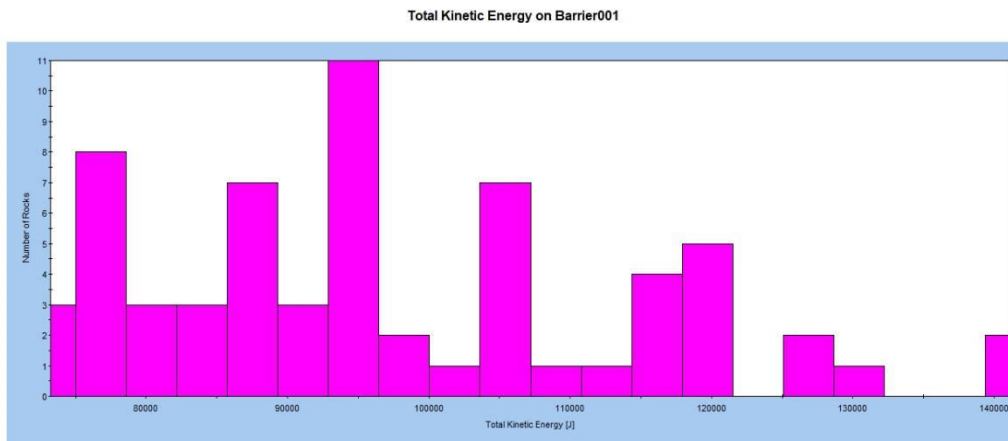


Σχέδιο 5.47: Ανάσχεση της κατάπτωσης στο Πρανές 1 με συνδυασμό τάφρου και τοίχου ανάσχεσης

Όπως προέκυψε από την κατασκευή των σχετικών διαγραμμάτων:

- Όλα τα τεμάχια σταματούν την πορεία τους με τα μέτρα αυτά (βλ. παράρτημα)
- Η αναπήδηση των βραχοτεμαχίων μηδενίζεται κατά την επαφή τους με τον τοίχο (βλ. παράρτημα)

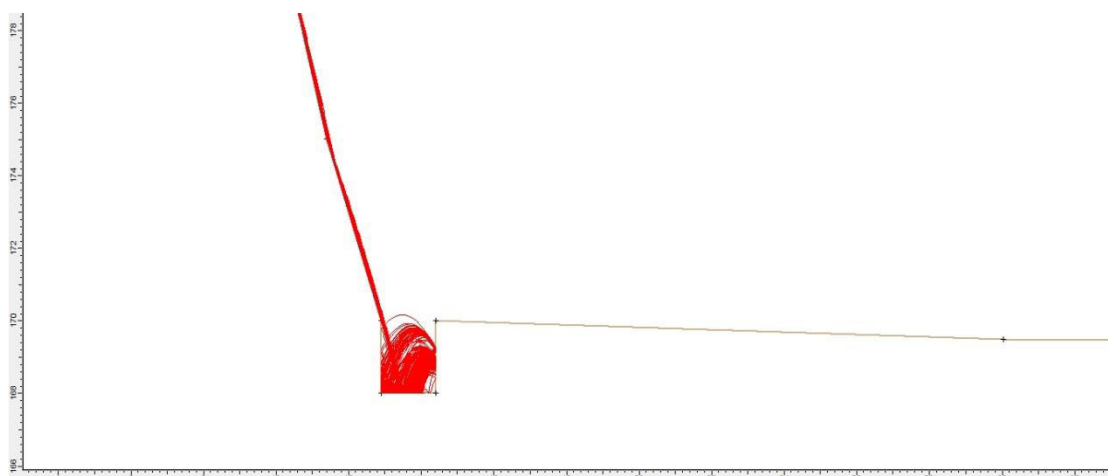
- Η συνολική κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με το έδαφος είναι ίση με 200 kJ , ενώ τα βραχοτεμάχια που προσκρούουν στον τοίχο έχουν ΤΚΕ ίση με 70 – 140 kJ (Σχήμα 5.48) η οποία είναι όμως λιγότερη από τη μέγιστη που μπορεί να δεχτεί ο τοίχος (500 kJ). Επομένως, δεν τίθεται θέμα αστοχίας του λόγω της πρόσκρουσης.



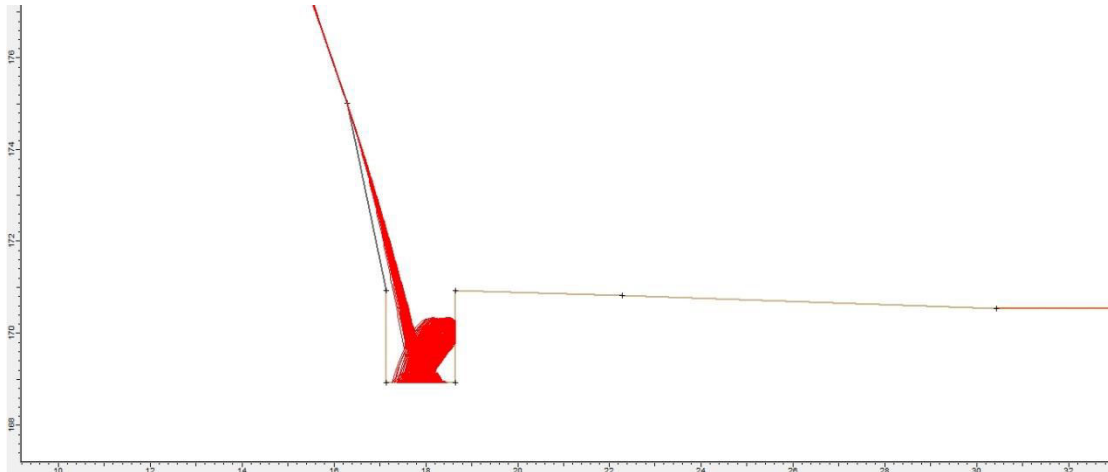
Σχέδιο 5.48: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με τον τοίχο ανάσχεσης

5.5.2 Πρανές 2

Στο Πρανές 2 κατασκευάστηκαν δύο τομές στη αρχή και στο τέλος του όμως από την ανάλυση των αποτελεσμάτων των δοκιμών επιλέχθηκε κοινή και ενιαία για όλο το πρανές επίλυση. Έτσι επιλέχθηκε η εκσκαφή μιας τάφρου πλάτους 1,5 m και βάθους 2 m σε όλο το μήκος του πρανούς εντός και εκτός του περιφραγμένου χώρου του θεάτρου βράχων (Σχήμα 5.49 ,5.50). Αναγκαστικά κρίθηκε η κατασκευή σιδερένιου κιγκλιδώματος ύψους 1,5 m, ώστε να αποτρέπει την πρόσβαση στο χώρο της τάφρου για αποφυγή τυχόν ατυχημάτων.



Σχέδιο 5.49: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στην τομή 2Α του Πρανούς 2 με τάφρο 1,5*2 m

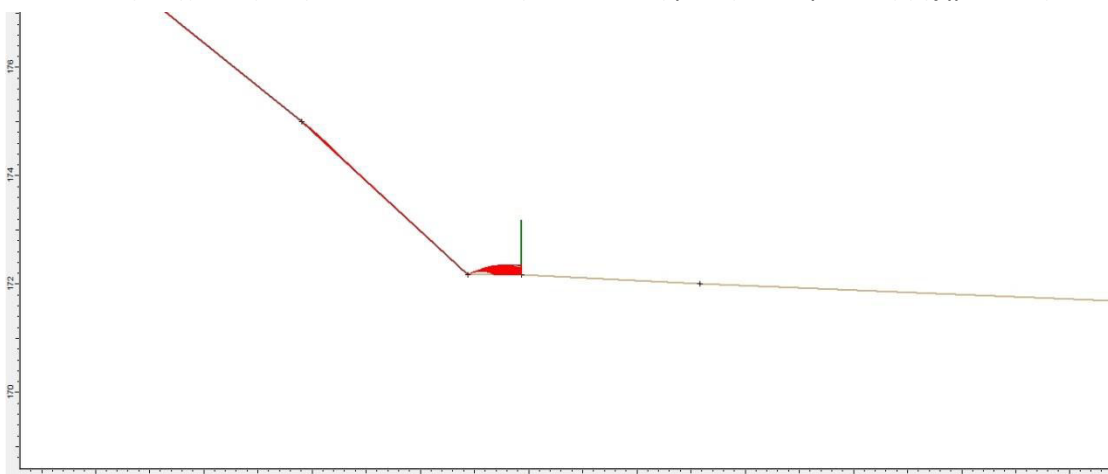


Σχέδιο 5.50: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B του Πρανούς 2 με τάφρο 1,5*2 m

Από τα σχετικά διαγράμματα προκύπτει ότι και στις 2 τομές τα βραχοτεμάχια σταματούν την πορεία τους εντός της τάφρου με την αναπήδησή τους να μηδενίζεται μετά την πρόσκρουσή τους σε αυτή. Τέλος η συνολική κινητική ενέργεια τόσο στην περίπτωση της τομής 2A (75 KJ) αλλά και σε αυτή της 2B (50 KJ) αποσοβείται και μηδενίζεται εντός της τάφρου (βλ. παράρτημα).

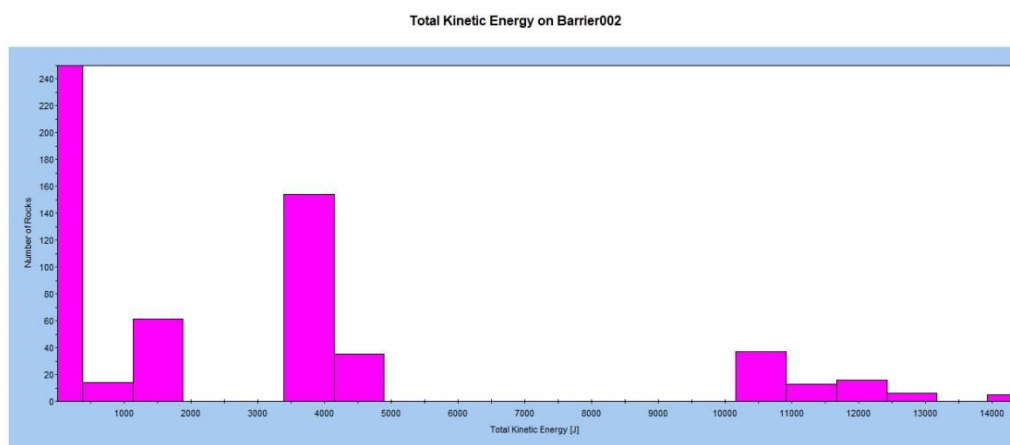
5.5.3 Πρανές 3

Στο Πρανές 3 δεν παρατηρήθηκε μεγάλη απομάκρυνση των τεμαχίων από τη βάση του πρανούς. Επίσης, λόγω της μικρής κλίσης του δεν αναπτύχθηκαν μεγάλες τιμές κινητικής ενέργειας (προσκρούουν στο έδαφος με ΤΚΕ ίση με 20 kj) και η μεγαλύτερη τιμή αναπήδησης των τεμαχίων δεν ξεπερνά το 0,5 m (βλ. κεφ.). Επομένως, επιλέχθηκε η κατασκευή τοίχου ύψους 1 m σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς (Σχήμα 5.51).



Σχέδιο 5.51: Ανάσχεση καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 3 με τοίχο ανάσχεσης 1 m

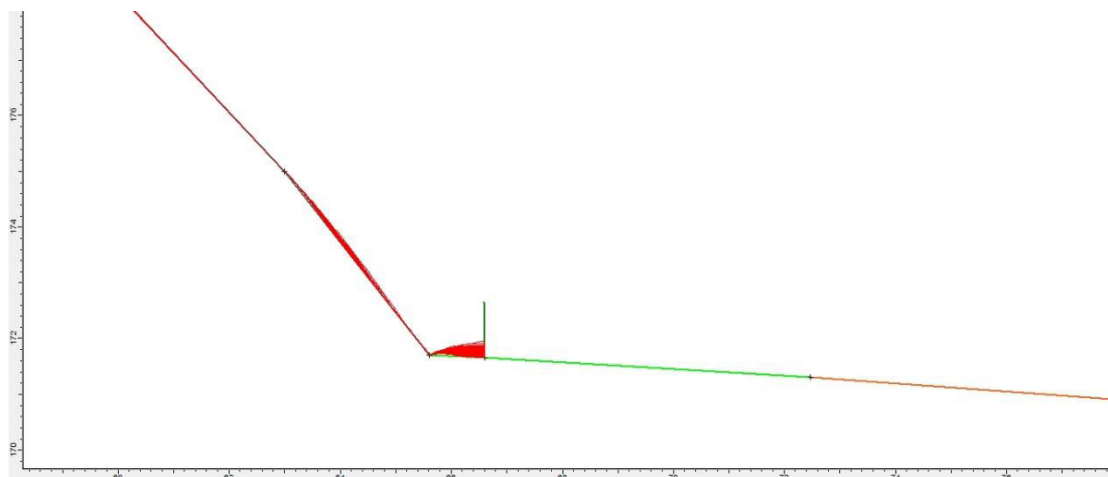
Από τα σχετικά διαγράμματα που κατασκευάστηκαν προκύπτει ότι η πορεία των τεμαχίων σταματάει με την πρόσκρουσή τους στον τοίχο και συνεπώς μηδενίζεται και η αναπήδησή τους (βλ. παράρτημα). Όσον αφορά στην κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με το έδαφος έχουν ΤΚΕ 20 kJ ενώ προσκρούουν στον τοίχο με ΤΚΕ που κυμαίνεται από 0 έως 14 kJ (Σχήμα 5.52). Εφόσον όμως ο τοίχος αντέχει έως 500 kJ δεν υπάρχει δυνατότητα αστοχίας του με τόσο μικρή κινητική ενέργεια.



Σχήμα 5.52: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος από τα βραχοτεμάχια κατά την πρόσκρουσή τους σε αυτόν

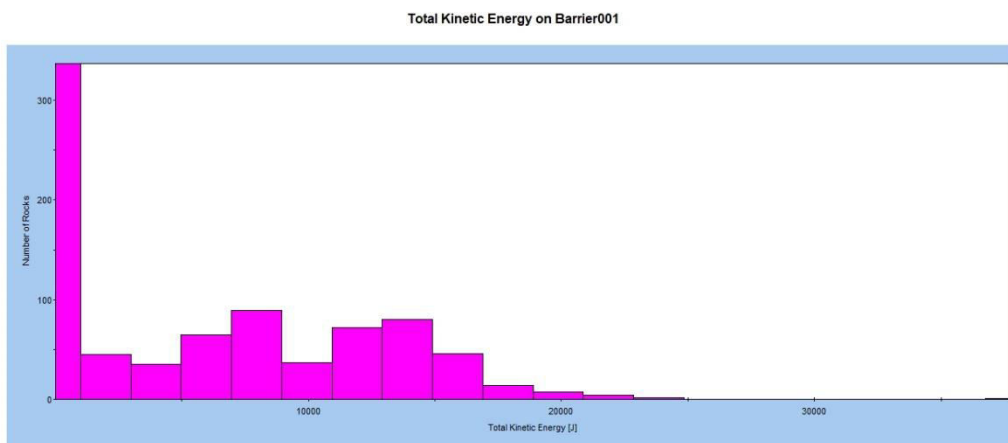
5.5.4 Πρανές 4

Στο Πρανές 4 ισχύουν περίπου οι ίδιες συνθήκες με αυτές του Πρανούς 3. Επιλέχθηκε , λοιπόν η κατασκευή τοίχου ανάσχεσης ύψους 1 m σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο (Σχήμα 5.53).



Σχήμα 5.53: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στο Πρανές 4 από τοίχο ύψους 1 m

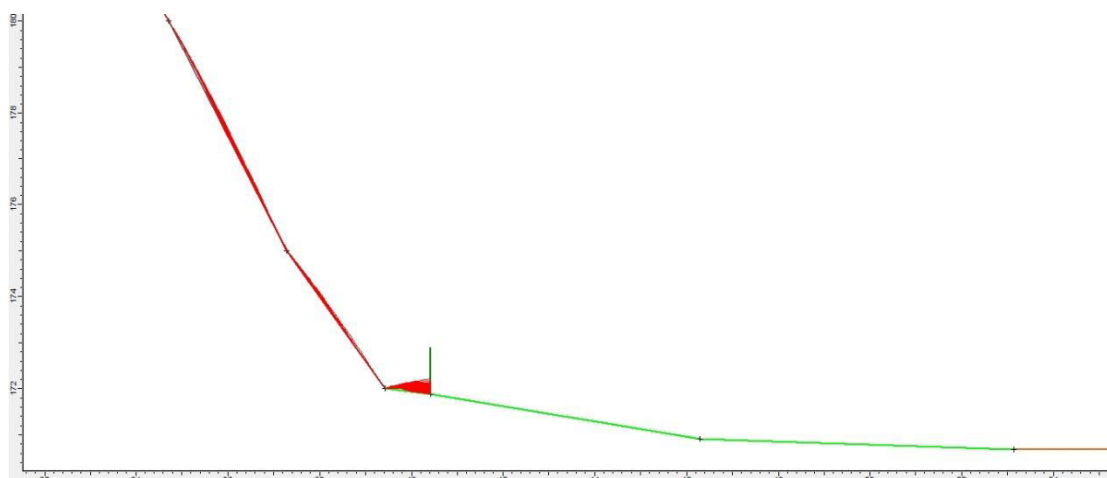
Από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης προκύπτει ότι όλα τα βραχοτεμάχια σταματούν την πορεία τους στην περιοχή πίσω από τον τοίχο και αυτόματα μηδενίζεται και η αναπήδησή τους (βλ. παράρτημα). Η συνολική κινητική ενέργεια των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με το έδαφος ισούται με 100 kJ ενώ στον τοίχο καταλήγουν με τιμές που κυμαίνονται από 0 – 24 kJ (Σχήμα 5.54). Άρα η λύση αυτή επαρκεί εφόσον ο τοίχος αντέχει έως 500 kJ.



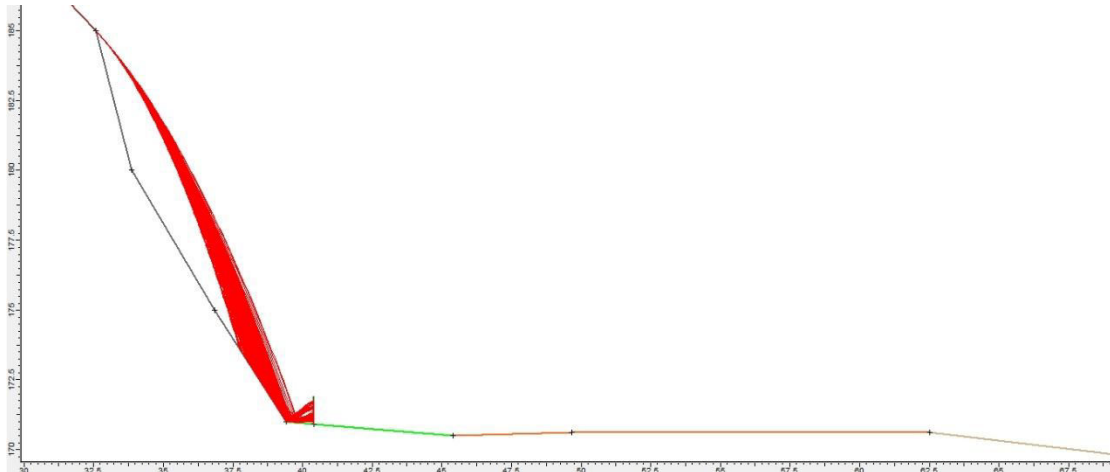
Σχέδιο 5.54: Διάγραμμα της Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος του Πρανούς 4 κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια

5.5.5 Πρανές 5

Στο Πρανές 5 , όπως και στο Πρανές 2 , κατασκευάστηκαν 2 τομές στα άκρα σχεδόν του πρανούς λόγω της αναγκαιότητας ελέγχου όλων των πιθανών περιπτώσεων αλλά και για να ληφθούν υπόψιν στις δοκιμές όλες οι μορφολογικές αλλαγές κατά μήκος του. Σύμφωνα , λοιπόν , με την ανάλυση που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο από τις δοκιμές προέκυψε ότι επαρκεί η κατασκευή τοίχου ύψους 1 m σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς (Σχήμα 5.55 και 5.56).

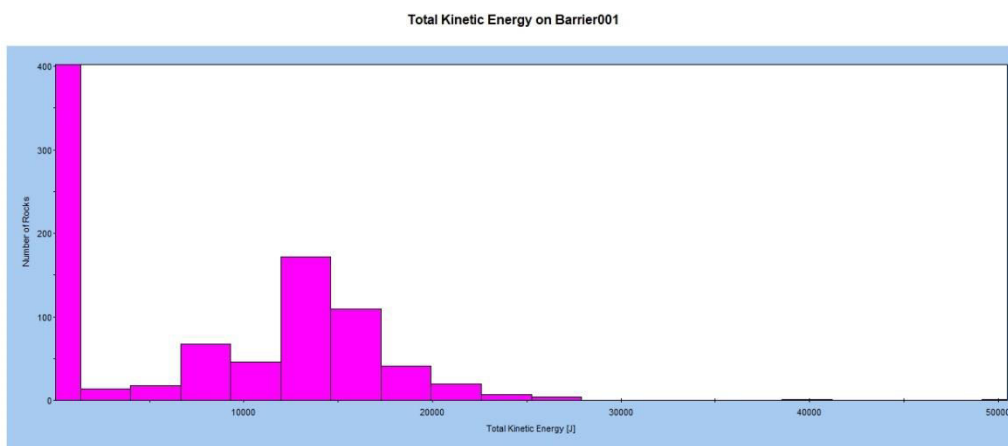


Σχέδιο 5.55: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στην τομή 5A του Πρανούς 5 από τοίχο ύψους 1 m

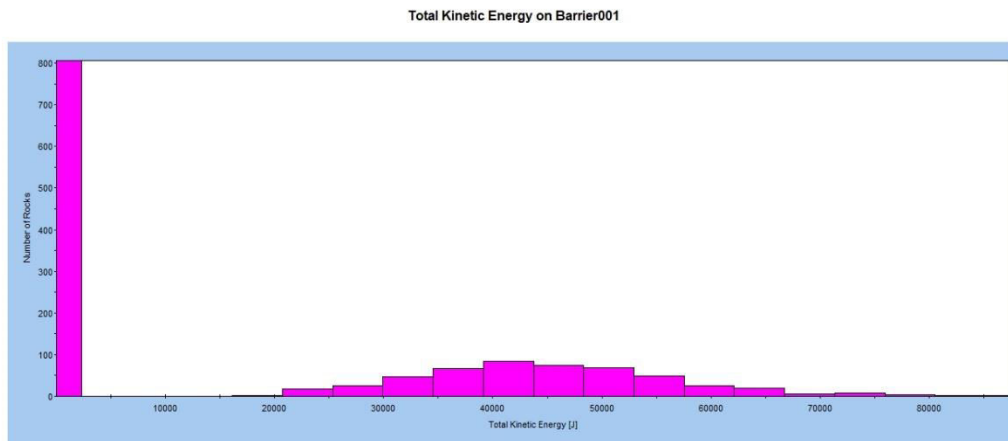


Σχέδιο 5.56: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στην τομή 5B του Πρανούς 5 από τοίχο ύψους 1 m

Μετά τη δοκιμή κατασκευάσθηκαν και στις δύο τομές τα αντίστοιχα διαγράμματα από τα οποία προέκυψε ότι και στις δύο τομές όλα τα τεμάχια σταματούν στην περιοχή πίσω από τον τοίχο και επομένως μηδενίζεται σε αυτόν και η αναπήδησή τους (βλ. παράρτημα). Στην τομή 5A η ΤΚΕ των βραχοτεμαχίων κατά την επαφή τους με το έδαφος είναι 50 kJ ενώ στον τοίχο καταλήγουν με ΤΚΕ που κυμαίνεται από 0 έως 26 kJ (Σχήμα 5.57). Στην τομή 5B από την άλλη, λόγω της μορφολογίας του πρανούς, τα τεμάχια καταλήγουν στο έδαφος με ΤΚΕ 200 kJ ενώ στον τοίχο προσκρούουν με ΤΚΕ 0 – 80 kJ (Σχήμα 5.58). Επομένως, αφού ο τοίχος αντέχει μέχρι 500 kJ δεν τίθεται θέμα αστοχίας του.



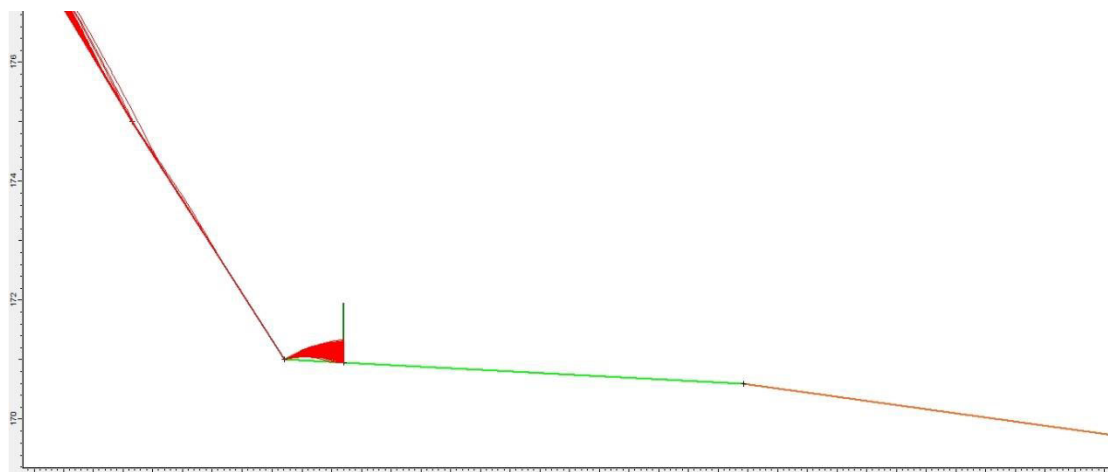
Σχέδιο 5.57: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος της τομής 5A κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια



Σχέδιο 5.58: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος της τομής 5B κατά την επαφή του με τα βραχοτεμάχια

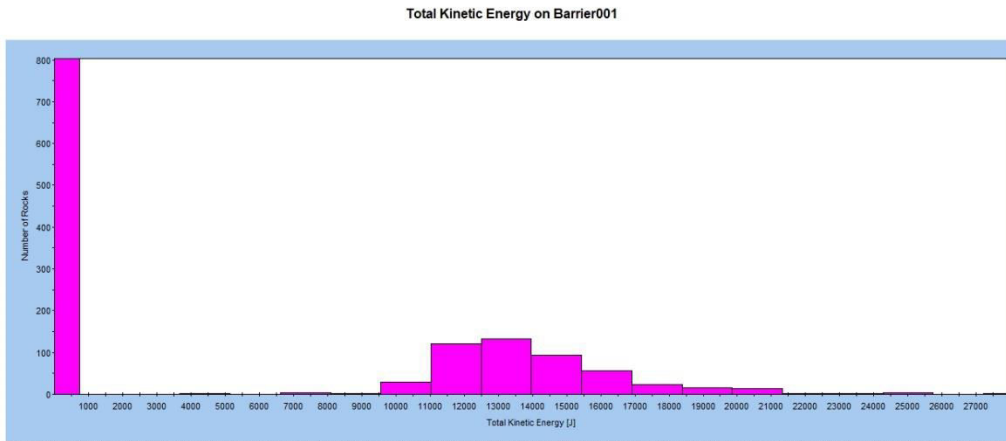
5.5.6 Πρανές 6

Στο Πρανές 6 λόγω της μικρής αναπήδησης των τεμαχίων (έως 1.5 m) αλλά και των μικρών τιμών κινητικής ενέργειας που αναπτύσσονται κατά την επαφή των βραχοτεμαχίων με το έδαφος (40 kj) , επιλέχθηκε η κατασκευή τοίχου ύψους 1 m σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς (Σχήμα 5.59).



Σχέδιο 5.59: Ανάσχεση καταπτώσεων βραχοτεμαχίων από τοίχο ύψους 1 m στο Πρανές 6

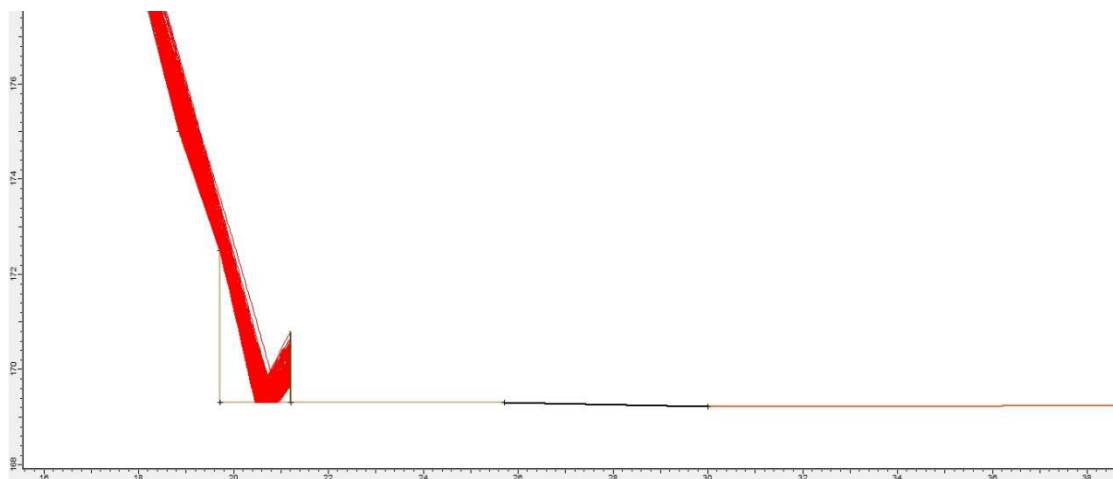
Από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν μετά τη δοκιμή προέκυψε ότι όλα τα τεμάχια σταματούν στην περιοχή μεταξύ της βάσης του πρανούς και του τοίχου μηδενίζοντας ταυτόχρονα την αναπήδηση αλλά και την κινητική τους ενέργεια κατά την επαφή τους με αυτόν (βλ. παράρτημα). Ο τοίχος , από την πρόσκρουση των βραχοτεμαχίων, δέχεται συνολική κινητική ενέργεια με τιμές 0 – 21,7 kj (Σχήμα 5.60) οι οποίες είναι όμως πολύ μικρές σε σχέση με αυτές που αντέχει ο τοίχος άρα δεν υπάρχει πιθανότητα αστοχίας του.



Σχέδιο 5.60: Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας που δέχεται ο τοίχος στο Πρανές 6

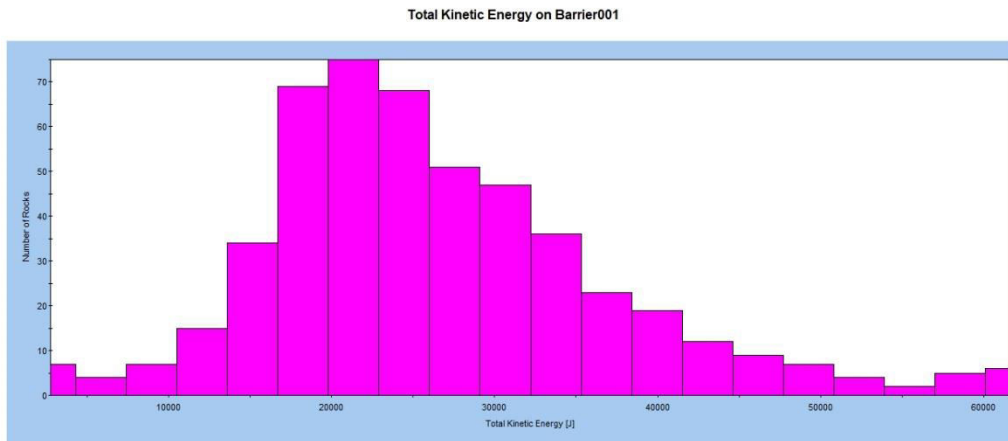
5.5.7 Πρανές 7

Στο Πρανές 7 διεξάγοντας την δοκιμή καταπτώσεων βραχοτεμαχίων παρατηρήθηκε ότι υπάρχει επικλινή επιφάνεια εδάφους κατά μήκος τη βάσης του πρανούς η οποία ευθύνεται για τις μεγάλες τιμές αναπήδησης των βραχοτεμαχίων αλλά και για την συνέχιση της πορείας τους για μεγάλη απόσταση. Έτσι, αρχικά προτείνεται η εξομάλυνση του συγκεκριμένου τμήματος έως ότου γίνει επίπεδο. Αυτό, το μέτρο όμως δεν είναι αρκετό από μόνο του, επειδή παρατηρήθηκαν και πάλι μεγάλες τιμές αναπήδησης των βραχοτεμαχίων (1 m σε απόσταση 1 m από την βάση του πρανούς). Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή τοίχου ύψους 1,5 m σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς Σχήμα 5.61.



Σχέδιο 5.61: Ανάσχεση καταπτώσεων στο Πρανές 7 από τοίχο ύψους 1,5 m μετά από εξομάλυνση του εδάφους

Από τα διαγράμματα που κατασκευάστηκαν μετά τη δοκιμή προέκυψε ότι όλα τα τεμάχια σταματούν στην περιοχή μεταξύ της βάσης του πρανού και του τοίχου μηδενίζοντας ταυτόχρονα την αναπήδηση αλλά και την κινητική τους ενέργεια κατά την επαφή τους με αυτόν (βλ. παράρτημα). Ο τοίχος, από την πρόσκρουση των βραχοτεμαχίων, δέχεται συνολική κινητική ενέργεια με τιμές 0 – 61 kJ (Σχήμα 5.62) οι οποίες είναι όμως πολύ μικρές σε σχέση με αυτές που αντέχει ο τοίχος άρα δεν υπάρχει πιθανότητα αστοχίας του.



Σχέδιο 5.62: Διάγραμμα συνολικής κινητικής ενέργειας που δέχεται ο τοίχος στο Πρανές 7 λόγω την επαφής των βραχοτεμαχίων με αυτόν

6. Σχολιασμός - συμπεράσματα

Το θέατρο Βράχων βρίσκεται στο χώρο του πρώην λατομείου « Εργάνη» του Δήμου Βύρωνα. Πρόκειται ουσιαστικά για δύο διαφορετικά θέατρα , το μικρότερο που έχει ονομαστεί « Άννα Συνοδινού» και το κεντρικό που έχει πάρει το όνομα « Μελίνα Μερκούρη» και τα δύο προς τιμήν τους. Σε αυτά λαμβάνουν χώρα , κυρίως τους θερινούς μήνες , ποικίλες πολιτιστικές εκδηλώσεις (συναυλίες, παραστάσεις) καθώς και το φεστιβάλ « Στη σκιά των βράχων» . Η περιοχή του πρανούς που εξετάστηκε ουσιαστικά καλύπτει όλον αυτό τον περιφραγμένο χώρο των θεάτρων καθώς και 120 m πρανούς εξωτερικά αυτού (*Εικόνα 6.1*).

Όσον αφορά τη γεωλογία του θεάτρου δεν παρουσιάζεται μακροσκοπικά διαφορά στο υλικό , οπότε αρχικά θεωρήθηκε ότι πρόκειται για ένα υλικό. Αυτό επιβεβαιώθηκε στη συνέχεια από σχετικούς γεωλογικούς χάρτες (βλ. κεφ. 3 Χάρτης ΙΓΜΕ φύλλο Κορωπί 1: 50.000). Έτσι, η περιοχή μελέτης αποτελείται από λευκούς έως τεφρούς αλλά και καστανόχρωμους ασβεστόλιθους οι οποίοι κατά κύριο λόγο φαίνονται συμπαγείς.

Σε κάποια σημεία ο σχηματισμός φαίνεται κερματισμένος λόγω τη πρότερης λατομικής δραστηριότητας , ενώ υπάρχουν και καρστικές εμφανίσεις (στο Πρανές Νο 2) με τη μορφή απόθεσης ασβεστίτη και οφείλονται στη ροή του βρόχινου νερού μέσα από τις ασυνέχειες στο εσωτερικό του βράχου.



Εικόνα 6.1: Περιοχή μελέτης

6.1 Μέτρα αντιμετώπισης

6.1.1 Πρανές 1

- Στο συγκεκριμένο πρανές δεν εντοπίστηκαν βραχοσφήνες, ενώ πέραν κάποιων επικρεμάμενων βραχοτεμαχίων το υπόλοιπο φαίνεται συμπαγές.
- Στο Πρανές 1 ,μετά την εκτέλεση της δοκιμής μέσω του προγράμματος Rockfall, προτείνεται η εκσκαφή τάφρου μήκους και βάθους 1,5 m.
- Λόγω , όμως, του μεγάλου ύψους αναπήδησης των τεμαχίων προτείνεται και η κατασκευή τοίχου ανάσχεσης ύψους 1,5 m.
- Τέλος, προτείνεται η φύτευση δέντρων ώστε να μειωθεί η αντίθεση που προκαλεί οπτικά ο τοίχος αλλά και να είναι δυσκολότερα προσβάσιμη η τάφρος. Επομένως, θα δεσμευθεί συνολικά ο χώρος σε απόσταση 2.5m από την βάση του πρανούς.

Τα υπόλοιπα 4.660 m² χώρου που απομένουν μπορούν να αξιοποιηθούν για την κατασκευή χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων ο οποίος λείπει από τον χώρο των θεάτρων.

6.1.2 Πρανές 2

- Στο πρανές 2 επαρκεί ,για την ανάσχεση των καταπτώσεων των βραχοτεμαχίων, η εκσκαφή τάφρου βάθους 2 m και πλάτους 1,5 m.
- Επειδή το μεγαλύτερο μέρος του πρανούς βρίσκεται εντός του χώρου των θεάτρων και μάλιστα είναι πίσω από την κεντρική σκηνή του « Μελίνα Μερκούρη» προτείνεται η κατασκευή σιδερένιου κιγκλιδώματος σε όλο το μήκος του. Το μέτρο αυτό δεν θα συμβάλλει στην ανάσχεση των καταπτώσεων αλλά θα εμποδίζει την πρόσβαση στην τάφρο από το κοινό.
- Επίσης, προτείνεται η φύτευση θάμνων και καλλωπιστικών φυτών , όχι μεγάλου ύψους, έως 1,5 m ώστε να φαίνεται η φυσική ομορφιά των πρανών από το κοινό. Ταυτόχρονα , βέβαια, θα καλύπτουν το κιγκλιδώμα μειώνοντας την οπτική αντίθεσή του με το φυσικό τοπίο.
- Τέλος, προτείνεται να μετακινηθούν οι εγκαταστάσεις του θεάτρου (τουαλέτες) που βρίσκονται σε απόσταση 0,3 m από τη βάση του πρανούς. Η απόσταση που θα ανακατασκευασθούν θα είναι ίση με τουλάχιστον 2,5 m , ώστε να υπάρχει επαρκής χώρος κατασκευής των μέτρων αντιμετώπισης.

6.1.3 Πρανή 3,4,5,6

- Τα Πρανή 3,4,5,6 απαιτούν τα ίδια μέτρα ανάσχεσης επομένως προτείνεται να κατασκευασθεί σε όλο το μήκος τους τοίχος που θα ξεκινάει σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς και θα έχει ύψος 1 m. Από το Rockfall προέκυψε ότι ο τοίχος αντέχει την κινητική ενέργεια που δέχεται από την πρόσκρουση των βραχοτεμαχίων σε αυτόν και στα 4 πρανή (βλ.κεφ.5.5).
- Προτείνεται συμπληρωματικά και η φύτευση θάμνων και καλλωπιστικών φυτών μπροστά από τον τοίχο ώστε να μην αλλοιώνεται η φυσική ομορφιά του χώρου και παράλληλα να μην φαίνεται σε μεγάλο βαθμό ο τοίχος.

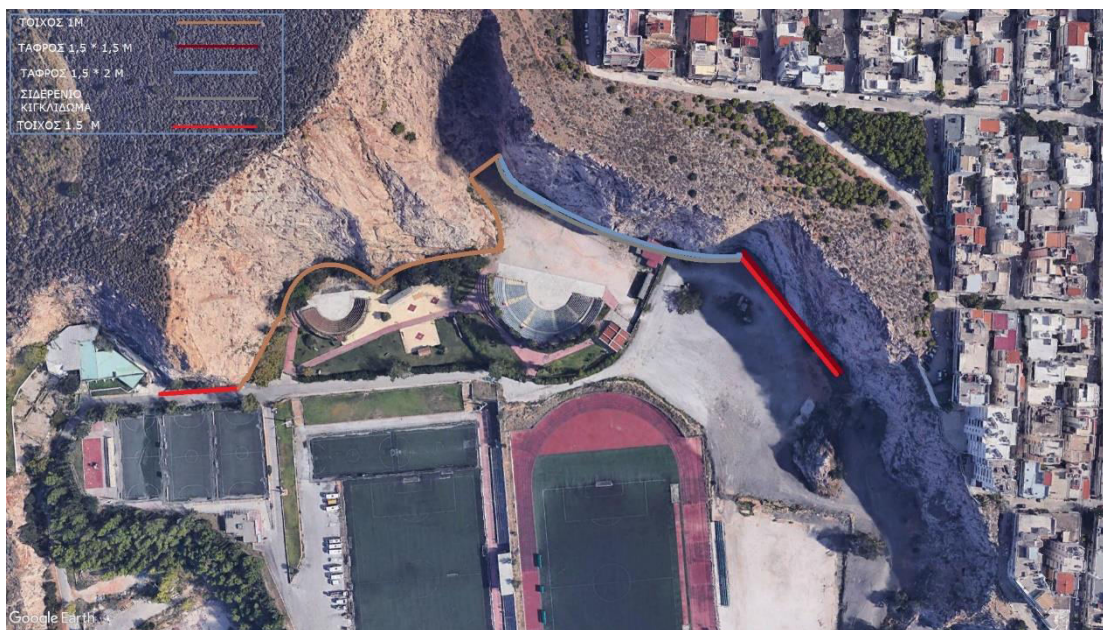
6.1.4 Πρανές 7

- Το Πρανές 7 είναι το τελευταίο της περιοχής μελέτης και ίσως αυτό που παρουσιάζει τον μεγαλύτερο κίνδυνο από όλα. Αυτό συμβαίνει επειδή το κομμάτι του , που βρίσκεται εκτός του χώρου των θεάτρων, είναι πολύ κοντά στον κεντρικό δρόμο που διασχίζει όλο το πάρκο , αλλά παρέχει και πρόσβαση από το Βύρωνα στα θέατρα.
- Αρχικά προτείνεται βλ. παράρτημα το ξεσκάρωμα των επικρεμάμενων τεμαχίων και η ήπια αναδιαμόρφωση του πρανούς(Εικόνα 6.2).
- Στη συνέχεια, απαιτείται εξομάλυνση του κομματιού εδάφους, που παρεμβάλλεται μεταξύ της βάσης του πρανούς και της ασφάλτου, στο επίπεδο του δρόμου για μείωση της αναπήδησης των βράχων.
- Τέλος, προτείνεται η κατασκευή τοίχου ύψους 1,5 m ,σε απόσταση 1 m από τη βάση του πρανούς.
- Όσον αφορά στο κομμάτι του πρανούς εντός του χώρου του θεάτρου συνίσταται και η φύτευση θάμνων και καλλωπιστικών φυτών μπροστά από τον τοίχο. Στο εξωτερικό κομμάτι αυτό δεν είναι εφικτό , επομένως ο τοίχος θα σταματήσει εφαπτόμενος με το δρόμο.



Εικόνα 6.2: Ανομοιομορφία πρόσοψης Πρανούς 7

Εν κατακλείδι, τα μέτρα ανάσχεσης όπως επιλέχθηκαν παρουσιάζονται συνολικά στην παρακάτω φωτογραφία (Εικόνα 6.3).



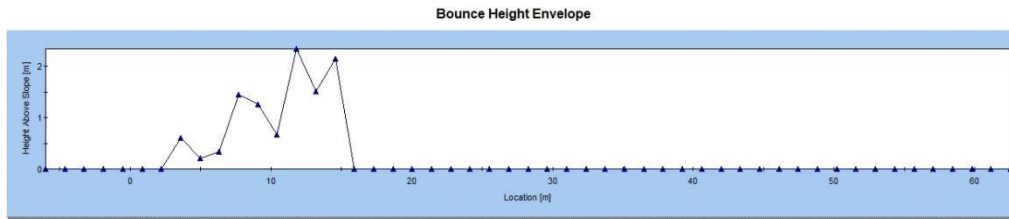
Εικόνα 6.3: Συγκεντρωτικά τα μέτρα αντιμετώπισης σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή

6.2 Επίλογος

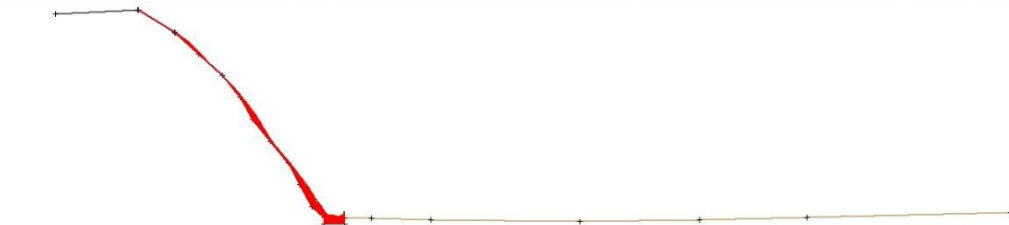
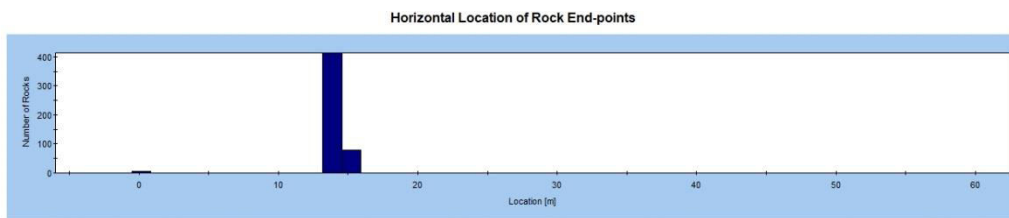
Η παρούσα Διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος σπουδών της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων και Μεταλλουργών του ΕΜΠ. Τόσο στις δοκιμές αλλά και στις μετρήσεις επιλέχθηκαν προς εξέταση οι δυσμενέστερες συνθήκες και περιπτώσεις καταπτώσεων ανά πρανές (μέγιστο ύψος έναρξης κατάπτωσης, μέγιστη δυνατή μάζα βραχοτεμαχίων κτλ.). Αν και ακολουθήθηκαν πιστά οι μέθοδοι και μεθοδολογίες των μετρήσεων και δοκιμών η παρούσα ερευνητική εργασία πρέπει να αντιμετωπιστεί μόνο ως εισήγηση. Αποτελεί δε μια ισχυρή ένδειξη ότι τα υφιστάμενα μέτρα δεν επαρκούν για τη διασφάλιση της εύρυθμης λειτουργίας του χώρου. Αν συνυπολογιστεί μάλιστα και ο αριθμός των χιλιάδων κόσμου που συρρέουν στις εκδηλώσεις ,που πραγματοποιούνται στον χώρο αυτό , αυξάνει την ανάγκη κατασκευής αποτελεσματικότερων μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

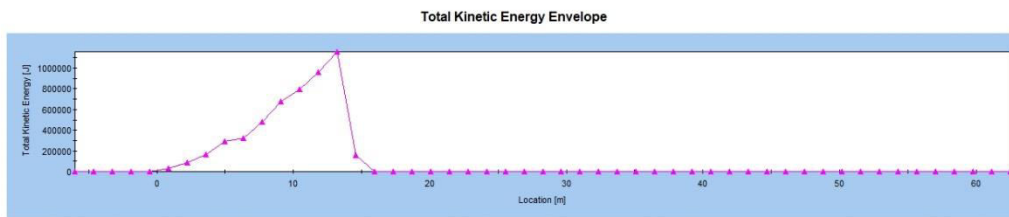
Πρανές 1



Σχήμα 1 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 1 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

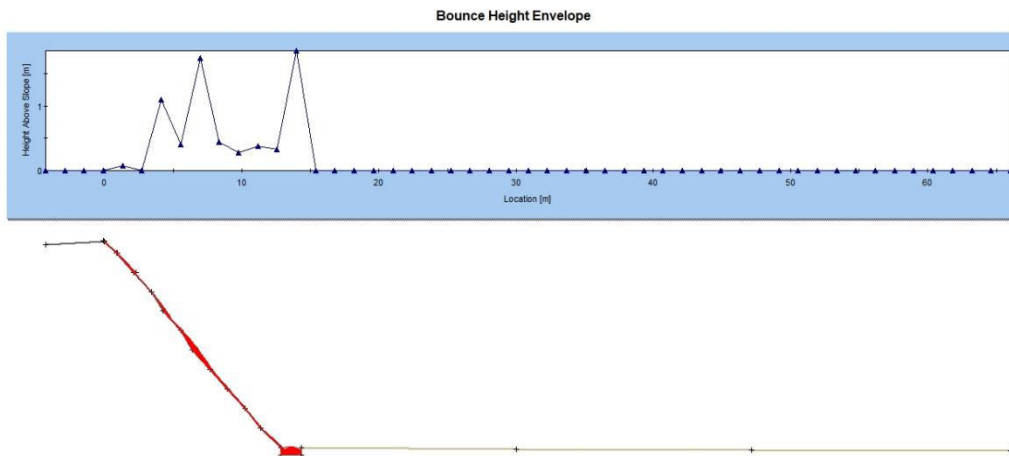


Σχήμα 2 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 1 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

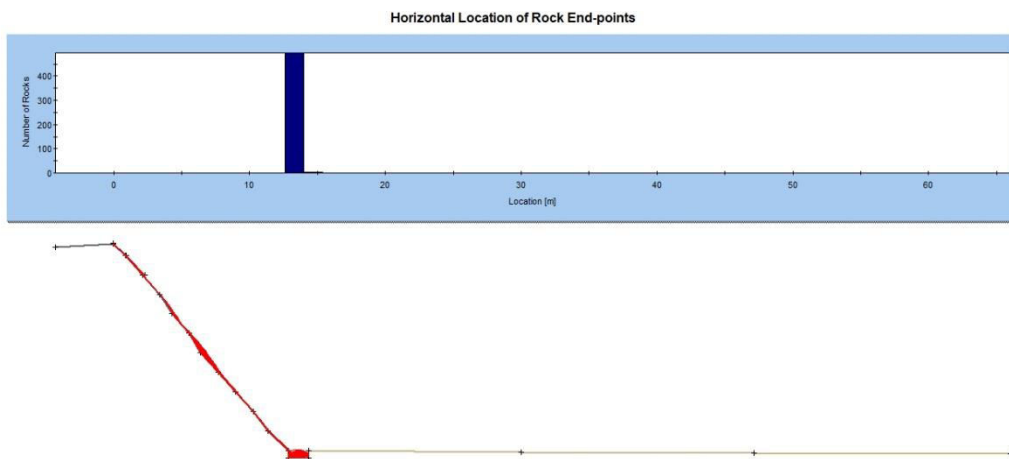


Σχήμα 3 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 1 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

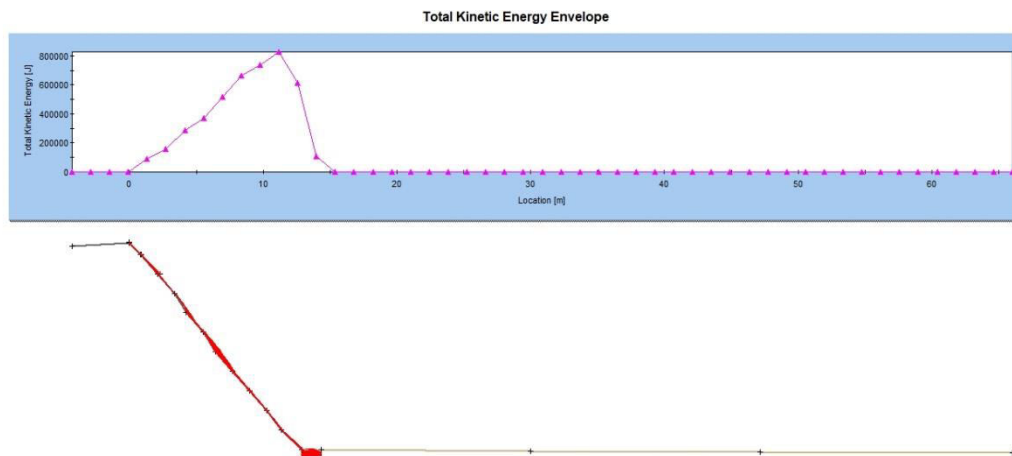
Πραγές 2 ΤΟΜΗ 2Α



Σχήμα 4 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στην τομή 2Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

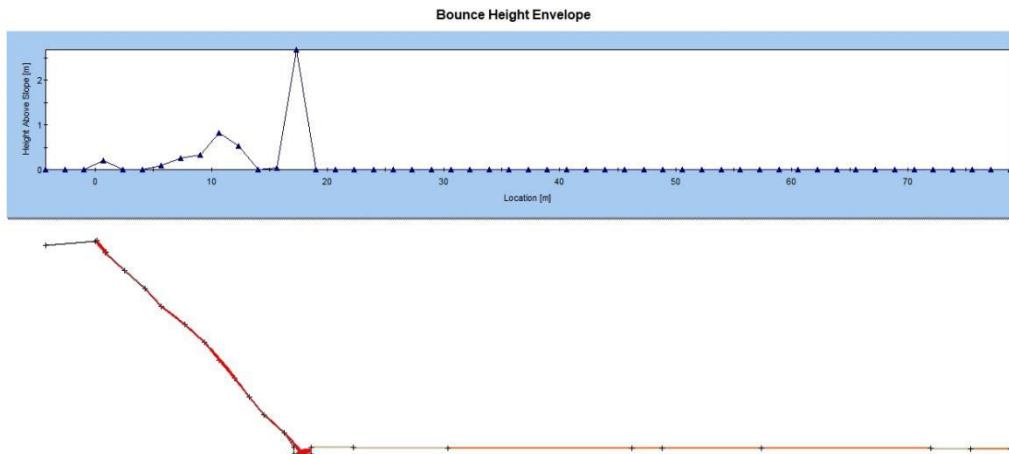


Σχήμα 5 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στην τομή 2Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

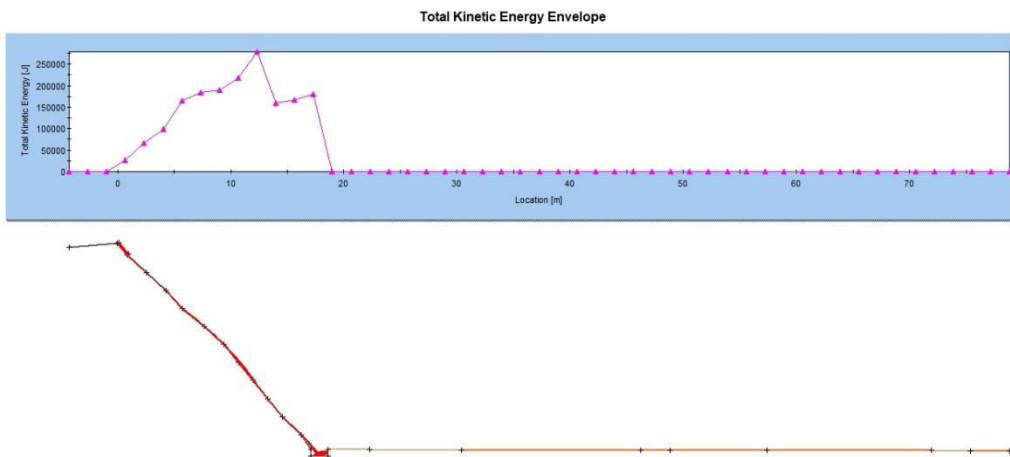


Σχήμα 6 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στην τομή 2Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

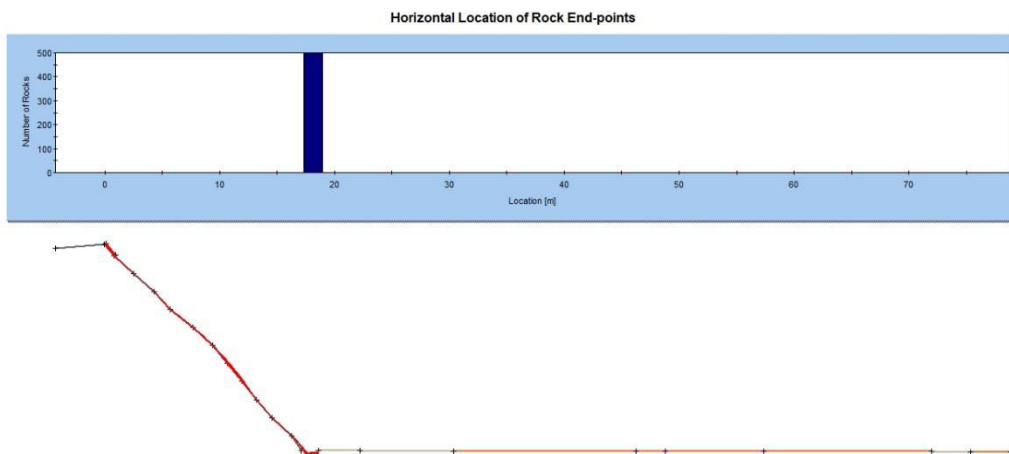
TOMH 2B



Σχήμα 7 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

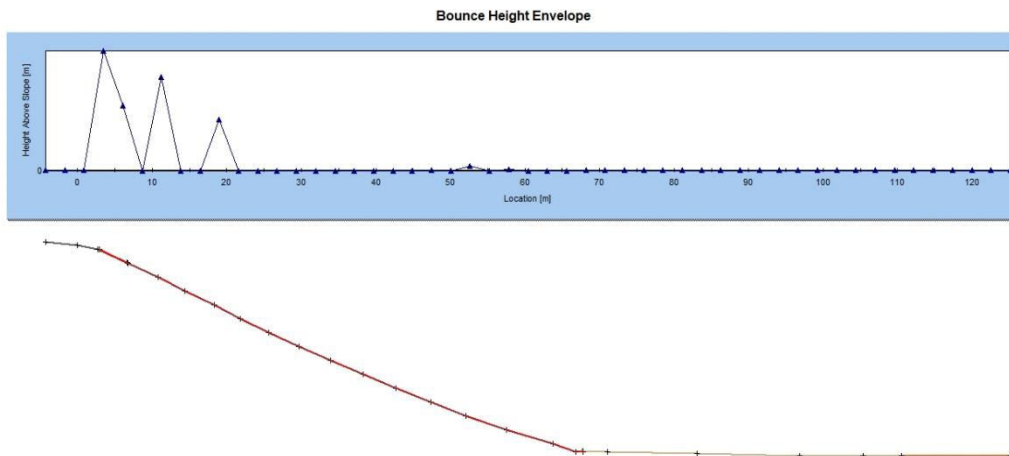


Σχήμα 8 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

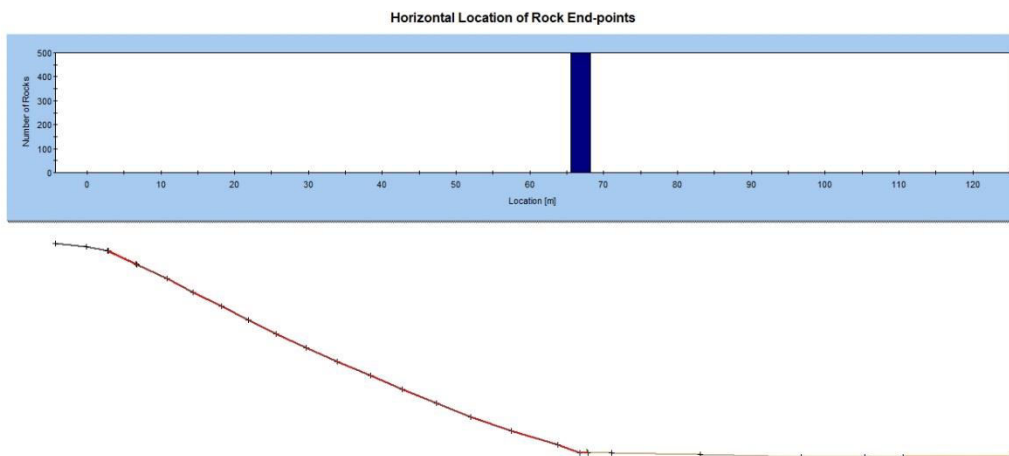


Σχήμα 9 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στην τομή 2B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

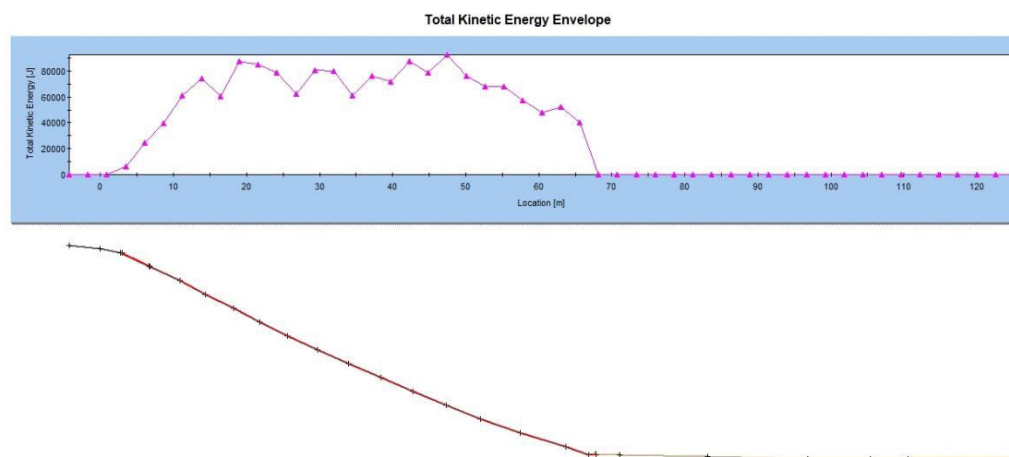
Πρανές 3



Σχήμα 10 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 3 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

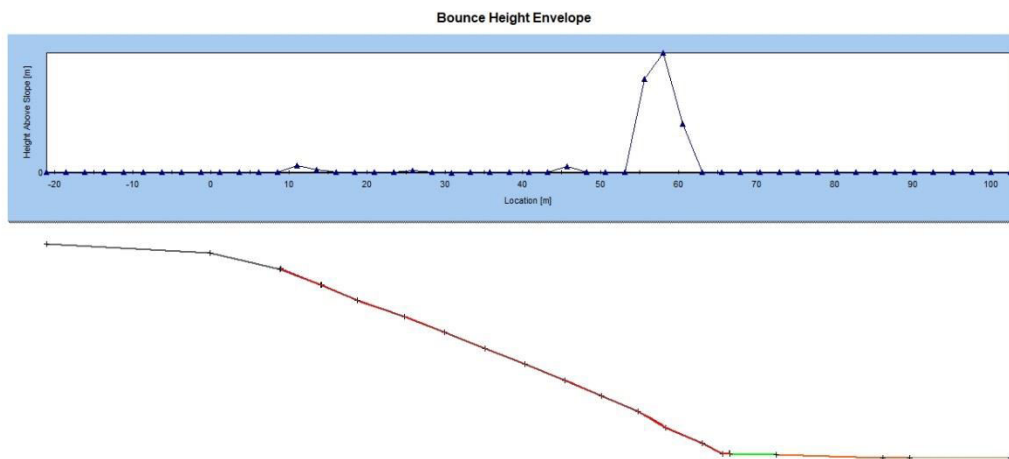


Σχήμα 11 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 3 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

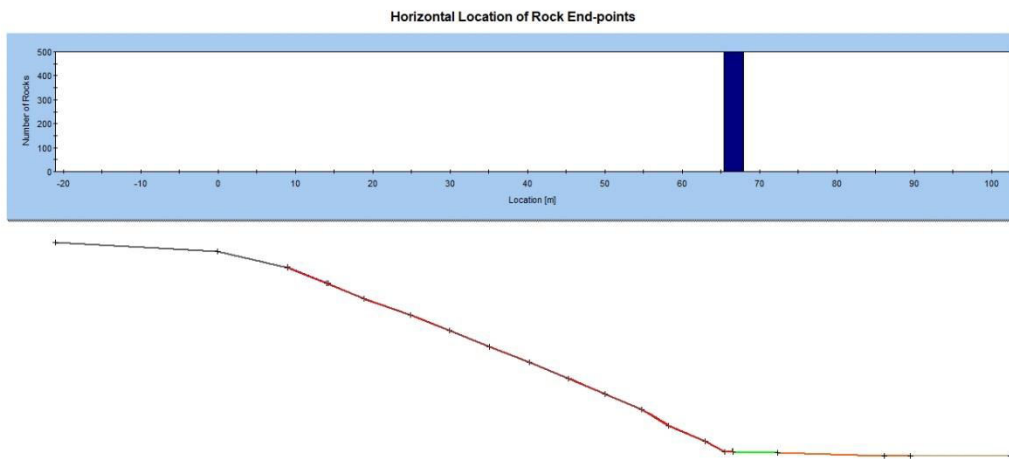


Σχήμα 12 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 3 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

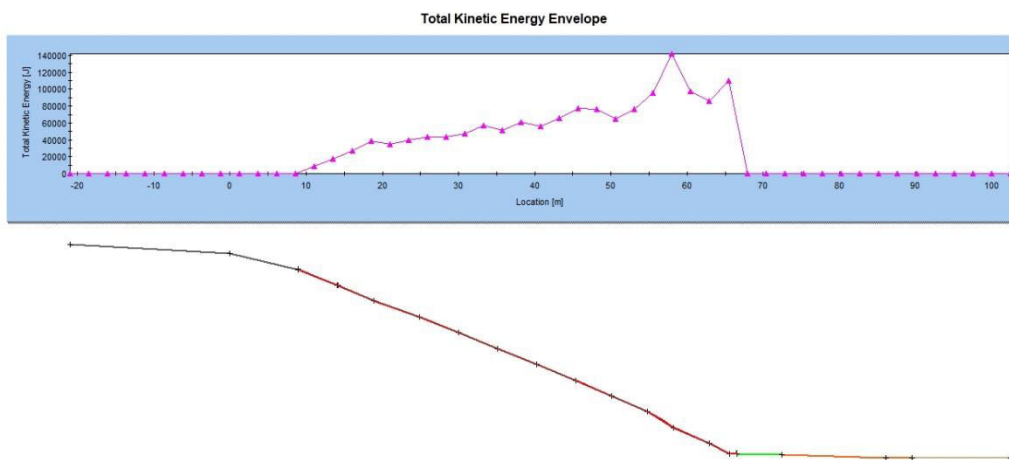
Πρανές 4



Σχήμα 13 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 4 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

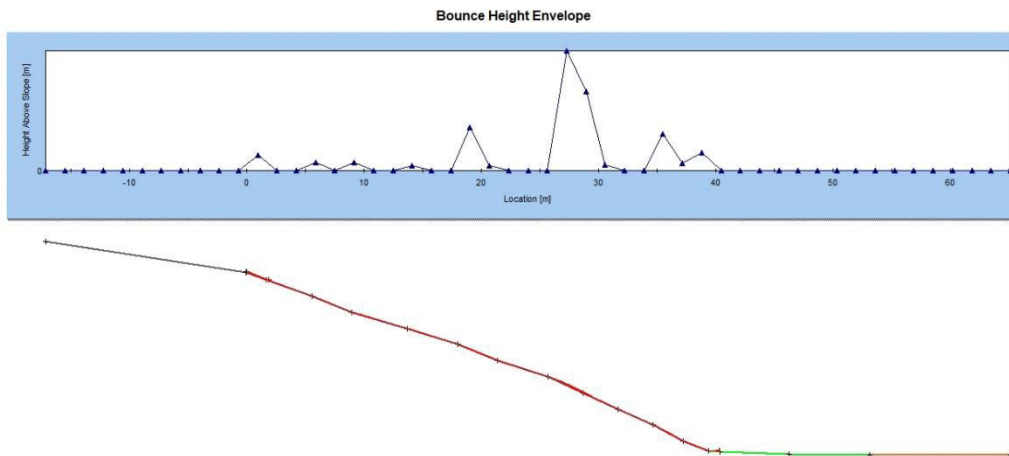


Σχήμα 14 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 4 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

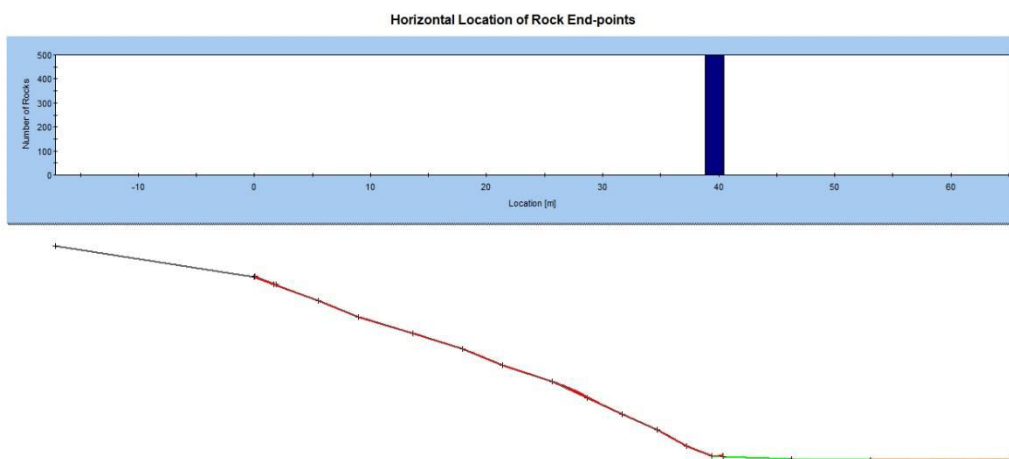


Σχήμα 15 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 4 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

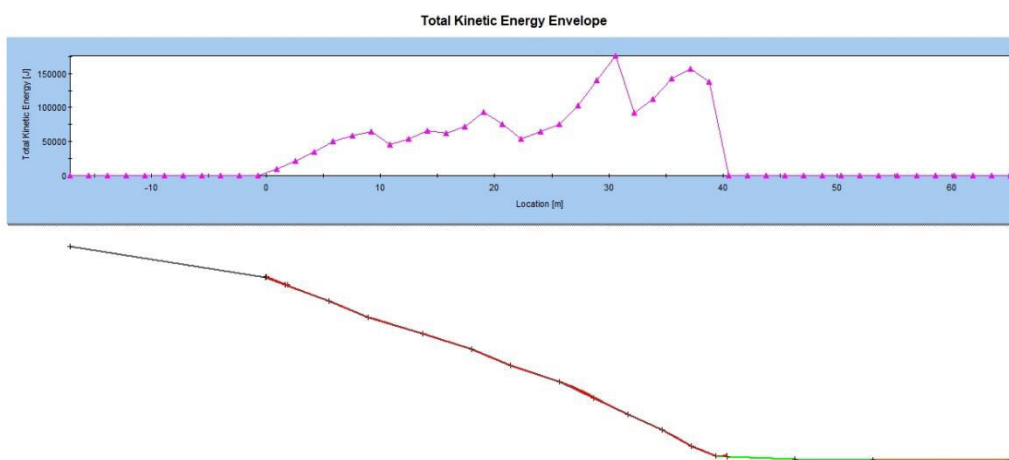
Πραξές 5
ΤΟΜΗ 5Α



Σχήμα 16 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στην τομή 5Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

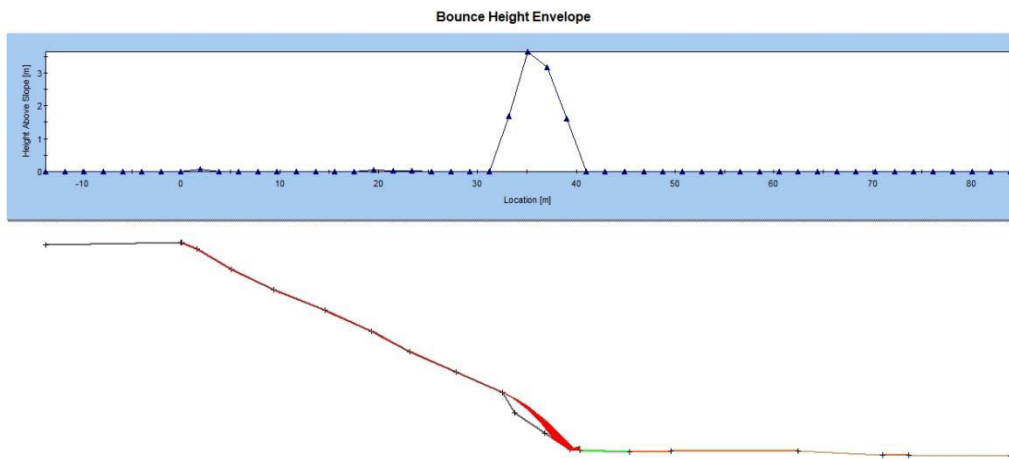


Σχήμα 17 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στην τομή 5Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

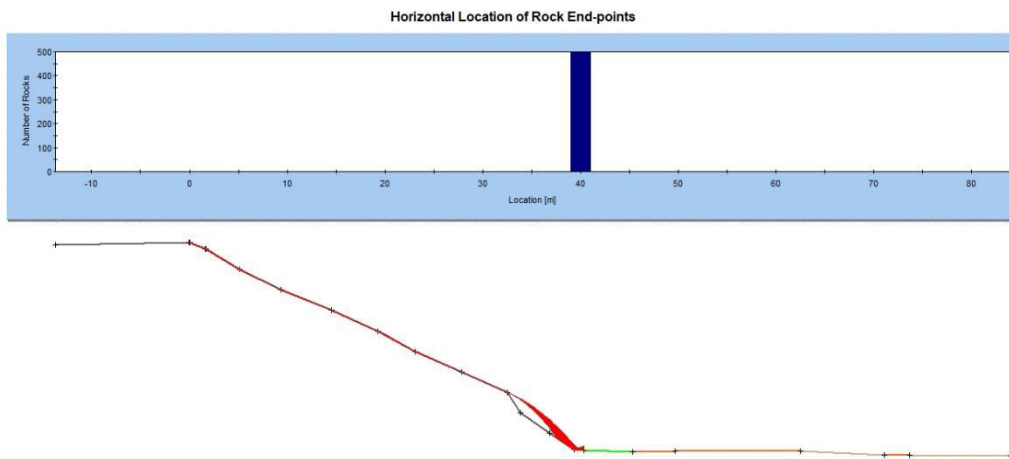


Σχήμα 18 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στην τομή 5Α μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

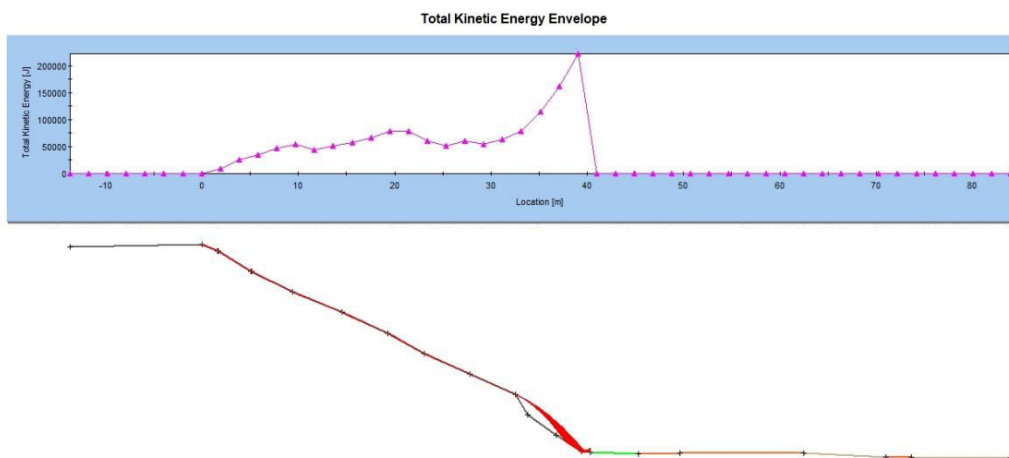
ΤΟΜΗ 5B



Σχήμα 19 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στην τομή 5B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

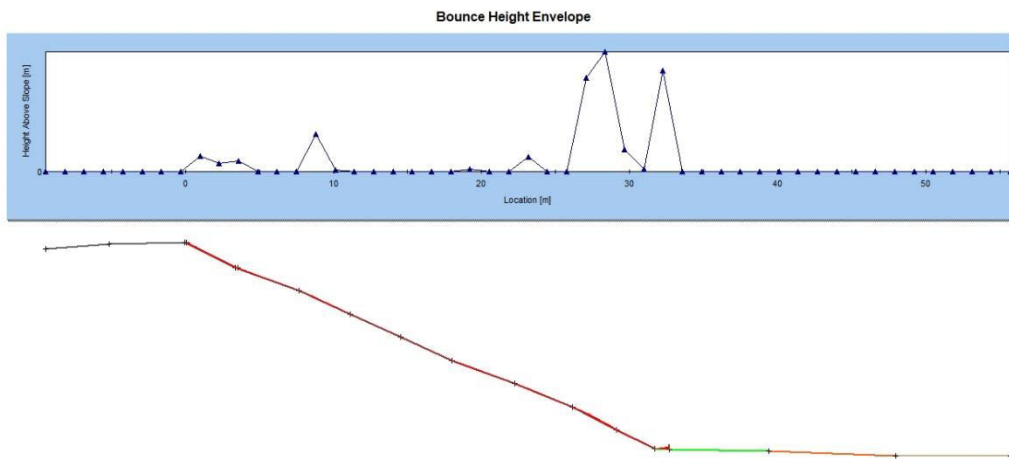


Σχήμα 20 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στην τομή 5B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

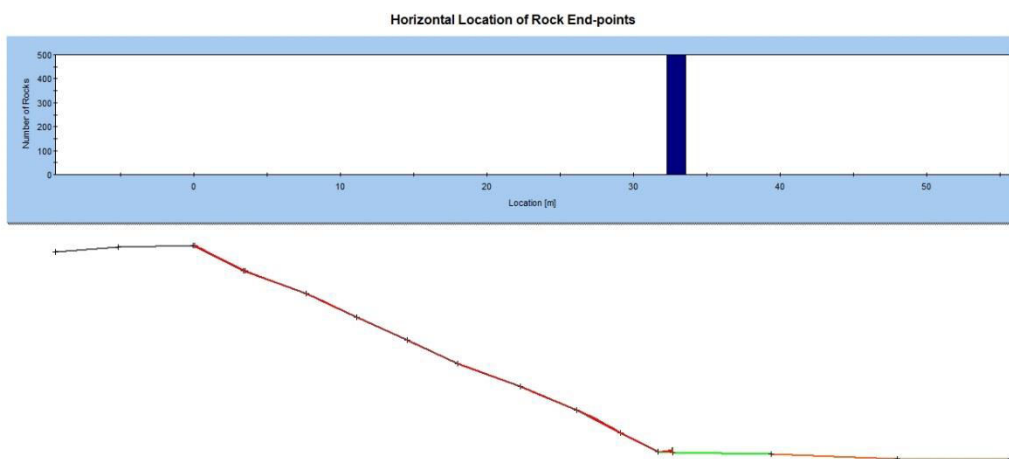


Σχήμα 21 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στην τομή 5B μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

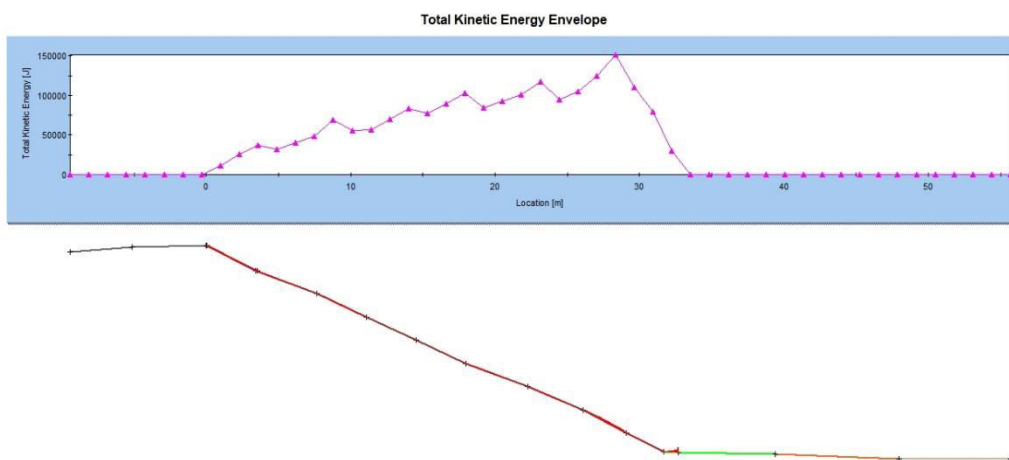
Πρανές 6



Σχήμα 22 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 6 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

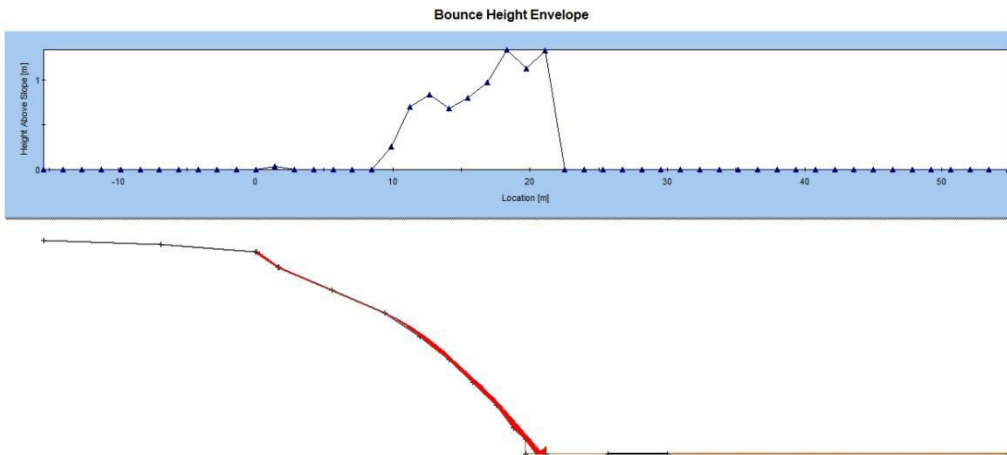


Σχήμα 23 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 6 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων

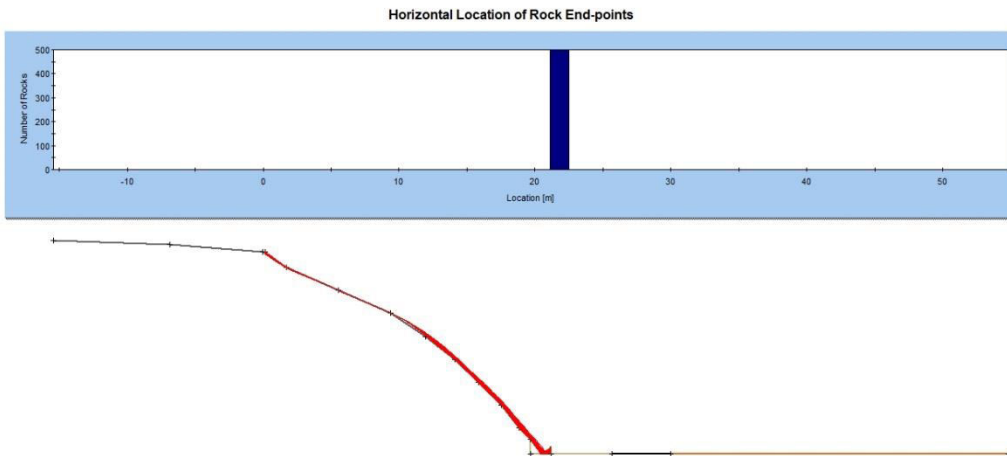


Σχήμα 24 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 6 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

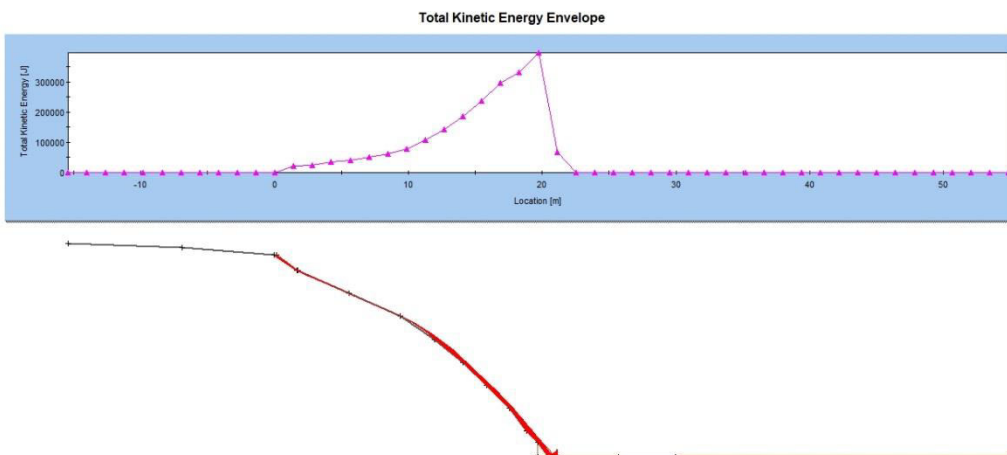
Πρανές 7



Σχήμα 25 : Διάγραμμα ύψους Αναπήδησης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 7 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων



Σχήμα 26 : Διάγραμμα τελικής θέσης των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 7 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης καταπτώσεων



Σχήμα 27 : Διάγραμμα Συνολικής Κινητικής Ενέργειας των βραχοτεμαχίων στο Πρανές 6 μετά την εφαρμογή των μέτρων ανάσχεσης

7.Βιβλιογραφία

- Στέφανος Χαραλάμπους**, «Εκτίμηση της ευστάθειας φυσικών και τεχνητών πρανών σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Έμφαση σε έργα Οδοποιίας» - 2ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Βόλος, 18-20 Μαΐου 2005 – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Αντώνης Κ. Αντωνιάδης**, 2018 – «Κατολισθήσεις και μηχανισμοί ενεργοποίησης. Περιπτώσεις οικισμών Ν. Αρκαδίας», Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- Αθανάσιος Κ. Βούδρης και Ηλίας Γ. Κωστόγιαννης**, 2013 – «Τριδιάστατη ανάλυση βραχοπτώσεων. Εφαρμογές στο πεδίο και στο εργαστήριο» - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μ.Σακελλαρίου, Σ. Κοζάνης, Σ Γουλάκος** , 1995 – «Το πρόβλημα των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων και η αντιμετώπισή τους σε συγκοινωνιακά έργα» - Πρακτικά 1ου Πανελληνίου Συνεδρίου Οδοποιίας, Λάρισα.
- Κατσίκια Πηνελόπη**, 2013 «Ευστάθεια υψηλών πρανών σε ασβεστολιθική βραχομάζα: Εφαρμογή σε περιοχές υψηλού κινδύνου της Ε.Ο. Πατρών – Τριπόλεως» - Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Orykta.gr**
<https://www.orykta.gr/geologia-oryktologia/geologia-elladas>
- Παπανικολάου Δ., Μπάση Ε., Κράνης Χ. και Δανάμος** - Παλαιογραφική εξέλιξη του Λεκανοπεδίου Αθηνών από το Άνω Μειόκαινο έως σήμερα - Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, Θεσ/νίκη 2004
- Δ. Ι. Παπανικολάου, Σ. Γ. Λόζιος, Κ. Ι. Σούκης και Εμ. Ν. Σκούρτσος** - "Γεωλογική δομή του Αλλόχθονου συστήματος των «Σχιστόλιθων Αθηνών»" - Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας τομ. XXXVI, Θεσ/νίκη 2004
- Michael Foumelis, Ioannis Fountoulis, Ioannis D. Papanikolaou, Dimitrios Papanikolaou**, 2013 – "Geodetic evidence for passive control of a major Miocene tectonic boundary on the contemporary deformation field of Athens(Greece)" - Annals of Geophysics.
- Αντωνίου Β. και Μιγκίρος Γ.**, 2002 - «Η μορφοτεκτονική δομή της Αττικής» - 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο.
- Ε.Λ.Λέκκας , Σ.Γ.Λοίζος και Γ.Δ.Δάναμος**, «Γεωλογική και Τεκτονική δομή της περιοχής μεταξύ των όρεων Αιγάλεω και Πάρνηθας (Αττική, Ελλάδα) και η σημασία τους στον αντισεισμικό σχεδιασμό.» - Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2001.

Eastmediterranean

<https://eastmediterranean.wordpress.com>

Καρβούνη Κωσταντίνα, 2011 «Συσχέτιση φυσικομηχανικών ιδιοτήτων και ιστού σε ολοκρυσταλλικά μαγματικά πετρώματα» - Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Malek Jedidi, 2020 – «Evaluation of the Quality of Concrete Structures by the Rebound Hammer Method».

Ρόζος Δ., 2007, Τεχνική Γεωλογία, Αθήνα,

Κωσταντίνος Λουπασάκης, 2015 – Τεχνική Γεωλογία Ι, Σημειώσεις διαλέξεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κωσταντίνος Λουπασάκης, 2016 – Τεχνική Γεωλογία ΙΙ, Σημειώσεις διαλέξεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Κωσταντίνος Λουπασάκης, 2015 – Βελτίωση Γεωτεχνικής Συμπεριφοράς Γεωλογικών σχηματισμών, Σημειώσεις διαλέξεων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Γεώργιος ΧΡ. Κούκης και Νικόλαος ΣΤ. Σαμπατακάκης, Αθήνα 2002 , Τεχνική Γεωλογία.

Γεώργιος ΧΡ. Κούκης και Νικόλαος ΣΤ. Σαμπατακάκης, Αθήνα 2007 , Γεωλογία Τεχνικών Έργων.

Πάυλος Νομικός, 2015 - Εισαγωγή στη μηχανική των πετρωμάτων.

Γεωργαράς Νίκος και Χρυσοχοΐδης Χρήστος, Αθήνα 2014 - «Ευστάθεια των βραχωδών πρανών και δυνατότητες αποκατάστασης και αξιοποίησης του εγκαταλειμμένου λατομείου "Βλάχου" στη περιοχή της Άνω Γλυφάδας» - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Ανίτα Χυσαϊ, 2018 «Μελέτη των συνθηκών ευστάθειας και σχεδίαση των έργων ανάσχεσης σε βραχώδη πρανή του λόφου των Τουρκοβουνίων» - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

Βραχλιώτης Σταύρος, Πάτρα 2011 – «Προσομοίωση καταπτώσεων βράχων με υπολογιστικές μεθόδους σε συνθήκες στατικής φόρτισης. Εφαρμογή σε συγκεκριμένες θέσεις περιπτώσεων καταπτώσεων» - Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Πιστιόλης Γκολφω – Νεκταρία, Πάτρα 2012 – «Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο όρυγμα χ.θ. 18+680 – 18+800 της Ιονίας οδού» - Πανεπιστήμιο Πάτρας.

Β. Χρηστάρας και Β. Μαρίνος, 2012 – Διαφάνειες μαθήματος για Ευστάθεια βραχωδών πρανών – Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας - Α.Π.Θ.

ACRO-BTP

<https://www.acro-btp.fr/en/securing/wire-mesh/>

MACCAFERRI

<https://www.maccaferri.com/gr/polimac/>

Η Καθημερινή

<https://www.kathimerini.gr/society/1000428/>

Geology.com

<https://geology.com/usgs/landslides/>

British Geological Survey

<http://www.tetrapods.co.uk/discoveringGeology/hazards/landslides/translationalSlides.htm>

!

School of Environmental Sciences, University of Guelph

<http://www.uoguelph.ca/ses/>

Rockscience.com

https://www.rockscience.com/help/rockfall/#t=rockfall%2FRocFall_Tutorials.htm

<https://www.rockscience.com/software/dips>

Rockfall Tutorial, Rockscience

Dips Reference Manual, Rockscience

Swedge Tutorial, Rockscience