



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΣΙΛΗΣ Π. ΜΑΡΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
ΓΡΕΝΔΑΣ Α. ΝΙΚΟΛΑΟΣ
Α.Ε.Μ.: 4773**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, 2014



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ
ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ
ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ
ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΒΑΣΙΛΗΣ Π. ΜΑΡΙΝΟΣ**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
ΓΡΕΝΔΑΣ Α. ΝΙΚΟΛΑΟΣ
Α.Ε.Μ.: 4773**

Στους γονείς μου...

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	21
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	22

ΜΕΡΟΣ Α'

ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ - ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	25
1.1. Μηχανική αντοχή του πετρώματος που δομεί την βραχώμαζα	25
1.2. Δείκτης κερματισμού βραχώμαζας (RQD)	26
1.3. Ασυνέχειες	27
1.4. Χαρακτηριστικά ασυνεχειών	28
1.5. Παρουσία υπόγειου νερού	31
1.6. Ταξινόμηση βραχώμαζας	31
1.7. Γεωλογικό πρότυπο φλύσχη	33
1.8. Τεχνικογεωλογικό πρότυπο φλύσχη	37
2. ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΑ	39
2.1. Μοντέλο Αυστραλιανής Γεωμηχανικής Κοινότητας (2010)	39
2.2. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων LSI (Landslide Susceptibility Index)	42
2.3. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τον παράγοντα βεβαιότητας CF (Certainty Factor)	43
2.4. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων όσον αφορά δεβριτικές ροές.	44
2.5. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων όσον αφορά τους μηχανισμούς ραγδαίων κατολισθήσεων	47
2.6. Σχηματικά μοντέλα αστοχιών ανάλογα με τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας (Density Index) Id	48
3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΕΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΑ	49
3.1. Μοντέλο όσον αφορά την γενική χαρτογράφηση κατολισθήσεων	50
3.2. Μοντέλο όσον αφορά την κλίμακα του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας	53

3.3. Παράδειγμα κατασκευής χάρτη ζώνωσης κατολισθήσεων με χρήση των μοντέλων InfoVal και Logistic regression και κατασκευή τελικού χάρτη με το μοντέλο Logistic regression.	54
4. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ LIDAR ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	63
4.1. Λειτουργία του οργάνου LIDAR.....	63
4.2. Η χρήση του οργάνου LIDAR στις κατολισθήσεις.....	68
4.3. Παραδοχές που αφορούν την διαδικασία σάρωσης.....	71
5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΑΝΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	73
6. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	76
6.1. Παθητικά μέτρα αντιστήριξης.....	76
6.2. Ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης.....	77
<u>ΜΕΡΟΣ Β'</u> ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	
7. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	81
7.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες νομού Ευρυτανίας.....	81
7.2. Γεωλογικό πρότυπο σχηματισμών και πετρωμάτων.....	82
7.2.1. Γεωλογικό – Γεωτεχνικό πρότυπο δεύτερου (2 ^{ου}) φλύσχη Πίνδου	83
7.3. Τεκτονική	84
7.4. Στοιχεία σεισμικότητας.....	85
8. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΠΑΛΙΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΟΧΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ.....	87
9. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΝΟΜΟΥ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ.....	89
9.1. Θέση κατολίσθησης: Τυμφορηστός.....	89

9.2. Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1	93
--	----

ΜΕΡΟΣ Γ'

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

10. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ..... 99

10.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες Δήμου Θήρας	99
10.2. Γεωμορφολογικές συνθήκες περιοχής μελέτης (Κόκκινη Παραλία)	100
10.3. Γεωλογικό πρότυπο σχηματισμών και πετρωμάτων	100
10.4. Τεκτονική	103
10.5. Στοιχεία σεισμικότητας	104
10.6. Υδρομετεωρολογικά στοιχεία	106
10.7. Γεωλογικό – Τεχνικογεωλογικό πρότυπο Ακρωτηρίου (Ακρωτήριο Μαυροραχίδι – Κόκκινη παραλία)	108

11. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΑΣΤΑΘΕΙΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ..... 110

11.1. Περιοχή - Κόκκινη Παραλία	110
11.1.1. Περιγραφή προγράμματος - RocPlane	110
11.1.2. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων RocPlane	112
11.1.3. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ηφαιστειακών πετρωμάτων.....	113
11.1.4. Περιοχή μελέτης – Κόκκινη παραλία	114
11.1.5. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά βραχώδων πρανών	115
11.1.6. Μοντελοποίηση της περιοχής της Κόκκινης παραλίας – Θέση Κ3	116
11.2. Περιοχή - Πάρκινγκ Κόκκινης Παραλίας	118
11.2.1. Παράγοντες που ωθούν σε κατάπτωση τεμαχών	118
11.2.2. Διαδικασία δημιουργίας μοντέλων RocFall.....	121
11.2.3. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων RockFall.....	122
11.2.4. Περιοχή μελέτης - Πάρκινγκ.....	123
11.2.5. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά βραχώδων πρανών	123
11.2.6. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π1	126
11.2.7. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π2	131
11.2.8. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π3	134

11.2.9. Περιγραφή λογισμικού SWedge	139
11.2.10. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων SWedge ..	141
11.2.11. Μοντελοποίηση της πτώσης των δημιουργηθέντων σφηνών στην περιοχή Π3 του Παρκινγκ.....	142
 12. ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	143
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	150
Αναλύσεις RocPlane.....	150
Αναλύσεις RocFall	159
Αναλύσεις Dips	181
Αναλύσεις SWedge	183
Φωτογραφίες περιοχής μελέτης: Νομός Ευρυτανίας	207
Φωτογραφίες περιοχής μελέτης: Δήμος Θήρας	215
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	220

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Διάγραμμα όσον αφορά την τραχύτητα επιφανειών – Joint Roughness Coefficient (JRC) (<i>Barton & Chubey 1977</i>)	30
Εικόνα 1.2 Διάγραμμα αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (Compressive Strength – JCS) όσον αφορά την χρήση της σφύρας Schmidt. (<i>Deere & Miller, 1966</i>)	31
Εικόνα 1.3 Διάγραμμα από το οποίο λαμβάνεται ο δείκτης GSI (<i>Hoek & Marinos, 2000</i>).....	33
Εικόνα 1.4 Υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από τον ηπειρωτικό. Με πράσινο χρώμα συμβολίζεται η λεκάνη ιζηματογένεσης. (<i>Penn State Geosciences</i>).....	34
Εικόνα 1.5 Τεκτονική καταπόνηση του φλύσχη με ανάστροφα ρήγματα και πτυχωσεις λόγω της επώθησης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας στην ηπειρωτική. Με κύκλο φαίνεται ένα παράδειγμα τεκτονικής επαφής που δημιουργείται λόγω της επώθησης (http://blog.effjot.net/)	35
Εικόνα 1.6 (Α) Ρευστοποιημένη ροή κοκκοποιημένου στρώματος. (Β) Προφίλ ταχυτήτων ενός τρέχοντος και υπαρκτού, βασικού, γρήγορου ρέοντος κοκκοποιημένου στρώματος, υπερκαλλυμένου από τουρβιδιτική ροή (<i>Sanders 1965</i>).	36
Εικόνα 1.7 Διατμημένος φλύσχος	37
Εικόνα 2.1 Παραδείγματα υπολογισμού της γωνίας τριβής φα. (<i>Finlay et al. 1996</i>)	40
Εικόνα 2.2 Γράφημα συναρτήσεως του $\log F - \log V$ για διάφορα γεγονότα κατολισθήσεων, όπου $\log F = \tan \phi$ και $\log V =$ όγκος κατολισθήσεων. (<i>Finlay et al. 1996</i>).....	41
Εικόνα 2.3 Σχηματική απεικόνιση δεβριτικής ροής. (<i>Pierson 1986</i>).....	46
Εικόνα 2.4 Κριτήρια για την πραγματοποίηση δεβριτικής ροής. (<i>Arumanini et al. 2003</i>).....	46
Εικόνα 2.5 Συνοπτικά οι τύποι κατολισθήσεων με βάση τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας. (<i>Gonghui Wang, Kyoji Sassa 2007</i>)	48
Εικόνα 3.1 Τύποι κατολισθήσεων (<i>Varnes 1978, modified by Cruden & Varnes 1996</i>)	49
Εικόνα 3.2 Περιοχή μελέτης (<i>Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013</i>).....	54
Εικόνα 3.3 Θεματικοί χάρτες κατασκευασμένοι με χρήση GIS. (<i>Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013</i>)	57

Εικόνα 3.4 α)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Σεπτέμβριο του 2000, β)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Σεπτέμβριο του 2004, γ)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Οκτώβριο του 2004, δ)Ετήσια βροχόπτωση για την περιοχή Niihama, ε)Μέγιστη βροχόπτωση για 1 ώρα για την περιοχή Niihama για χρονική περίοδο 1976-2012, ς) Μέγιστη βροχόπτωση για 1 μέρα για την περιοχή Niihama για χρονική περίοδο 1976-2012. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)	58
Εικόνα 3.5 Κατανομή κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης λόγω των τριών περιστατικών βροχόπτωσης. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013).....	59
Εικόνα 3.6 Η επί τόπου παρατήρηση στην περιοχή μελέτης έδειξε ότι η πλειοψηφία των κατολισθήσεων ήταν ρηχές δεβριτικές ολισθήσεις, βάθους <2 m και όγκου από λίγες δεκάδες σε μερικές εκατοντάδες m ³ . (Varnes 1978, modified by Cruden & Varnes 1996)	59
Εικόνα 3.7 Χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τα δύο πρώτα περιστατικά βροχοπτώσεων. Οι χάρτες LSI-1 και LSI-2 προέρχονται από τον μοντέλο InfoVal και οι χάρτες LSI-3 και LSI-4 προέρχονται από τον μοντέλο Logistic regression. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)	61
Εικόνα 3.8 Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση το μοντέλο Logistic regression. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)	62
Εικόνα 4.1 Βασική αρχή σάρωσης επιφάνειας με όργανο LiDar (Michel Jaboyedoff et al., 2010)	63
Εικόνα 4.2 Αναπαράσταση του τρόπου σάρωσης με χρήση εναέριου συστήματος LIDAR. (Amar Nayegandhi, 2007).....	67
Εικόνα 4.3 α)Αναγνώριση παλιάς κατολίσθησης με προσδιορισμό περιοχών μεγαλύτερης ταχύτητας, β) Παράλληλη τομή στις περιοχές μεγαλύτερης ταχύτητας. (Michel Jaboyedoff et al., 2010).....	69
Εικόνα 4.4 β) Καταγραφή τεκτονικών στοιχείων των οικογενειών των ασυνεχειών. γ) Αποτύπωση των τεκτονικών στοιχείων σε δίκτυο Schmidt. (Michel Jaboyedoff et al., 2010).....	70
Εικόνα 4.5 Παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν μέσω ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου. α)Εμμογή και πυκνότητα, β)Τραχύτητα. (Abbelan et al. 2014).....	71
Εικόνα 4.6 Πρότυπο ικανοποιητικής σάρωσης (Kemeny, John and Turner, Keith, 2008).....	72

Εικόνα 5.1 Διαφορετικές μορφές κατολίσθησης σε πρανές. <i>a) Από Terzaghi & Peck (1948), b) Από Ibsen & Bromhead (1999).</i>	74
Εικόνα 5.2 Σχηματική απεικόνιση κατολίσθησης με χαρακτηριστικές μετρήσεις. CM είναι το κέντρο της κατολισθείσας μάζας.	74
Εικόνα 6.1 Παράδειγμα αντιμετώπισης κατολίσθησης στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής. (http://www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech/geo_design/geo_design_west/west.html).....	79
Εικόνα 7.1 Με κίτρινο περίγραμμα περικλείεται ο νομός Ευρυτανίας άρα και η περιοχή μελέτης.	81
Εικόνα 7.2 Αλληλουχία στρωματογραφικών στηλών κατά μήκος της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Το ανώτερο τμήμα των στρωματογραφικών στηλών αποτελεί τον δεύτερο φλύσχη της Πίνδου, τον σχηματισμό τον οποίο συναντούμε στην περιοχή μελέτης (<i>Aubouin, 1959</i>).....	83
Εικόνα 7.3 Χαρακτηριστική εικόνα του δεύτερου φλύσχη της Πίνδου τον οποίο συναντούμε στην περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε τις πτυχώσεις που τον χαρακτηρίζουν. (<i>Κίλιας</i>).....	84
Εικόνα 7.4 Στο σχήμα παρατηρούμε την περιοχή μελέτης, τα συστήματα ρηγμάτων των Κρεμαστών (KFS) και του Σπερχειού (SFS). (<i>A. Kiliass et al.</i>)	85
Εικόνα 7.5 Εικόνα από τη βάση δεδομένων GreDaSS στην οποία φαίνεται η περιοχή μελέτης και οι προαναφερθέντες σεισμοί.	86
Εικόνα 7.6 Στην εικόνα φαίνονται οι σεισμοί για την κεντρική Ελλάδα που έχουν λάβει χώρα από το διάστημα 16/1/2014 - 16/4/2014 (http://geophysics.geo.auth.gr/ss/REAL_TIME_MAPS/index.htm)	86
Εικόνα 9.1 Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις κατολισθήσεων οι οποίες σαρώθηκαν με τον σαρωτή LiDar. Διακρίνεται το Καρπενήσι.....	89
Εικόνα 9.2 Θέση σάρωσης και θέσης κατολίσθησης – Τυμφρηστός. (Google Earth)	91
Εικόνα 9.3 Θέση σάρωσης και θέσης κατολίσθησης – Τυμφρηστός. (Google Earth)	92
Εικόνα 9.4 Θέση κατολίσθησης – Τυμφρηστός (απλή εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνονται τα συρματοκιβώτια.	92
Εικόνα 9.5 Θέση κατολίσθησης – Τυμφρηστός (φιλτραρισμένη εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνονται τα συρματοκιβώτια.	92
Εικόνα 9.6 Θέση σάρωσης και κατολίσθησης – Φιδάκια 1 (Google Earth)	95

Εικόνα 9.7 Θέση σάρωσης και κατολίσθησης – Φιδάκια 1 (Google Earth)	95
Εικόνα 9.8 Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια1 (απλή εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνεται το πρανές, κάτω από το οποίο εκδηλώνεται περισσότερο έντονα η κατολίσθηση.	96
Εικόνα 9.9 Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια1 (φιλτραρισμένη εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνεται το πρανές, κάτω από το οποίο εκδηλώνεται περισσότερο έντονα η κατολίσθηση.....	96
Εικόνα 9.10 Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα GSI για τον φλύσχη και τα εύρη τιμών για κάθε κατολίσθηση.	97
Εικόνα 10.1 Αποψη της Σαντορίνης (Google Earth)	99
Εικόνα 10.2 Απλοποιημένος τεκτονικός χάρτης του ηφαιστειακού κέντρου της Σαντορίνης. Οι συνεχείς γραμμές αντιπροσωπεύουν γνωστά ρήγματα ενώ οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις δύο κύριες τεκτονικές γραμμές, την τεκτονική γραμμή της Καμένης και την τεκτονική γραμμή του Κολούμπου. Με τα τρίγωνα παρουσιάζονται οι θέσεις των ηφαιστειακών κέντρων (Heiken and McCoy, 1984)	104
Εικόνα 10.3 Κατανομή των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης για το διάστημα 550 π.Χ – 2009 μ.Χ (Google Earth με τροποποιήσεις)	106
Εικόνα 10.4 Ετήσια ύψη βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 1992-93 έως και 2012-13	107
Εικόνα 10.5 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 1992-93 έως και 2012-13	107
Εικόνα 10.6 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 2009-10 έως και 2012-13	108
Εικόνα 10.7 Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ακρωτηρίου (Druitt et al. 1999 με τροποποιήσεις)	109
Εικόνα 11.1 Απεικόνιση των μοντέλων που μοντελοποιούνται με το λογισμικό RocPlane. Φαίνεται το πρανές, η στέψη του πρανούς, η εφελκυστική ρωγμή, το επίπεδο που ολισθαίνει και η ασυνέχεια πάνω στην οποία γίνεται η ολίσθηση. (www.rocscience.com, 2014)	111
Εικόνα 11.2 Αποψη της Κόκκινης παραλίας. Με μπλε κύκλο φαίνονται τα τεμάχια τα οποία είναι επιρρεπή σε ολίσθηση. Το αριστερό τέμαχος	116
Εικόνα 11.3 Αποψη της Κόκκινης παραλίας. Με μπλε κύκλο φαίνεται η κατολίσθηση που συνέβη τον Αύγουστο του 2013. Επίσης με βέλος μπορούμε να παρατηρήσουμε την εφελκυστική ρωγμή που διαχωρίζει το τέμαχος 1 από το υπόλοιπο πρανές.....	116

Εικόνα 11.4 Εγκάρσια τομή στο τέμαχος 1.....	117
Εικόνα 11.5 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος (<i>Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας, 2004</i>)	121
Εικόνα 11.6 Περιοχή Π1 του πάρκινγκ. Φαίνεται το μέρος από το οποίο είχε ξεκολλήσει στο παρελθόν μία σφήνα.	124
Εικόνα 11.7 Άποψη της περιοχής του Πάρκινγκ στην οποία φαίνονται οι θέσεις Π1 και Π2.....	126
Εικόνα 11.8 Άποψη της περιοχής του Πάρκινγκ στη οποία φαίνονται οι θέσεις Π1, Π2 και Π3	126
Εικόνα 11.9 Άποψη της θέσης Π1 από εικόνα LiDar. Φαίνονται 10 επικρεμάμενα τεμάχια καθώς και η χάραξη μίας εγκάρσιας τομής. Κάτω και αριστερά μπορούμε να παρατηρήσουμε το δεξί μέρος από το εκκλησάκι.....	127
Εικόνα 11.10 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στη θέση Π1	127
Εικόνα 11.11 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στη θέση Π1	128
Εικόνα 11.12 Άποψη της θέσης Π2 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση επικρεμάμενων τεμαχίων με το λογισμικό CorelDRAW.....	131
Εικόνα 11.13 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στην θέση Π2	132
Εικόνα 11.14 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στην θέση Π2	132
Εικόνα 11.15 Άποψη της θέσης Π3 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση με το λογισμικό CorelDRAW.....	134
Εικόνα 11.16 Άποψη της θέσης Π3 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση με το λογισμικό CorelDRAW. Στην εικόνα φαίνονται μόνο τα μεγαλύτερα τεμάχια.	135
Εικόνα 11.17 Στην εικόνα LiDar φαίνεται η άποψη του Πάρκινγκ στη θέση Π3 ενώ με κόκκινο σημειώνονται τα επισφαλή τεμάχια τα οποία ογκομετρήθηκαν.	136
Εικόνα 11.18 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στην θέση Π3	136
Εικόνα 11.19 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στην θέση Π3	137
Εικόνα 11.20 Στην εικόνα LiDar της περιοχής του Πάρκινγκ και από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι τομές με κόκκινο χρώμα, οι οποίες είναι οι εξής: 3-1, 3-2, 3-3, 3-4.....	138

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή (<i>ISRM, 1981</i>)	26
Πίνακας 1.2 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση τον βαθμό αποσάθρωσης (<i>British Geological Society, 1970</i>)	26
Πίνακας 1.3 Ποιότητα βραχώμαζας ανάλογα τον δείκτη RQD (<i>Deere, 1989</i>)	27
Πίνακας 1.4 Απόσταση ασυνεχειών (κατά <i>ISRM, 1981</i>)	29
Πίνακας 1.5 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (<i>Μαρίνος 2007</i>)	38
Πίνακας 1.6 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (<i>Μαρίνος 2007</i>)	38
Πίνακας 2.1 Πιθανότητες της απόστασης διανύσματος των κατολισθήσεων. (<i>Australian geomechanics society</i>).....	39
Πίνακας 2.2 Προτεινόμενες ταχύτητες κατολισθήσεων και η σημασία τους σε πιθανή καταστροφή. (<i>Cruden & Varnes 1996</i>).....	41
Πίνακας 2.3 Οι δέκα παράγοντες κατολισθήσεων με τους συντελεστές τους 1 (Factor 1) και τους τελικούς παράγοντες στάθμισης, μετά από περιστροφή του Varimax. (<i>Vassiliades 2010</i>)	42
Πίνακας 2.4 Κλίμακα για την ταχύτητα των κατολισθήσεων. (<i>Cruden & Varnes 1996</i>).....	47
Πίνακας 2.5 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων τύπου ροής. (<i>Hungr et al. 2001</i>)	47
Πίνακας 3.1 Μέθοδοι για την απογραφή υπαρχόντων κατολισθήσεων και χαρακτηρισμό πιθανών κατολισθήσεων. (<i>Cascini 2008</i>)	52
Πίνακας 3.2 Μέθοδοι για την εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που μπορούν να διανύσουν οι κατολισθήσεις. (<i>Cascini 2008</i>).....	52
Πίνακας 3.3 Μέθοδοι για την εκτίμηση της συχνότητας των κατολισθήσεων. (<i>Cascini 2008</i>)	52
Πίνακας 3.4 Κλίμακες χαρτών ζώνωσης κατολισθήσεων και οι εφαρμογές τους. (<i>Robin Fell, Jordi Corominas et al., 2008</i>)	53
Πίνακας 3.5 Στατιστικά στοιχεία μέσω της μεθόδου ROC για τα μοντέλα InfoVal και Logistic regression, με βάση τις δύο περιπτώσεις βροχοπτώσεων. (<i>Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013</i>)	61

Πίνακας 4.1 Σε αυτόν τον πίνακα φαίνονται οι προϋποθέσεις [μέγιστη απόσταση σάρωσης (m), ακρίβεια (mm), ταχύτητα (pt/sec)] για την χρήση κάθε μίας από τις παραπάνω μεθόδους. (<i>Marc – Henri Derron et al., 2014</i>)	64
Πίνακας 4.2 Τιμές ανακλαστικότητας για διάφορα υλικά εκφρασμένες επί τοις εκατό. (<i>A. Wehr, U. Lohr, 1999</i>)	66
Πίνακας 4.3 Ταξινόμηση των διάφορων εργασιών όσον αφορά κατολισθήσεις με την χρήση οργάνου LIDAR. (<i>Michel Jaboyedoff et al., 2010</i>).....	68
Πίνακας 10.1 Ισχυροί ιστορικοί σεισμοί της ευρύτερης περιοχής (<i>Β.Παπαζάχος & Κ. Παπαζάχου 1989 http://geophysics.geo.auth.gr/</i>)	105
Πίνακας 11.1 Φαίνονται οι τιμές του ειδικού βάρους (kN/m^3), οι τιμές αναπήδησης της σφύρας Schmidt (R_I), οι τιμές της σημειακής φόρτισης ($I_{s(50)}$) και οι τιμές της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (MPa) για λάβα υγιή (F) και αποσαθρωμένη (A). (<i>Rodrigo del Porto, Marcel Hurlimann 2008</i>)	113
Πίνακας 11.2 Φαίνονται οι τιμές του ειδικού βάρους (kN/m^3), οι τιμές της γωνίας τριβής ($^\circ$) και οι τιμές της συνοχής (MPa) για ηφαιστειακά εδάφη συνεκτικά, μη συνεκτικά και μαζώδεις αποθέσεις. (<i>Rodrigo del Porto, Marcel Hurlimann 2008</i>)	113
Πίνακας 11.3 Φαίνονται οι γεωτεχνικές παράμετροι για λάβα, λάβα+τεμαχώδη κομμάτια, τεμαχώδη κομμάτια και πυροκλαστικές αποθέσεις. (<i>T. Aruani et al. 2005</i>)	114
Πίνακας 11.4 Ανώτατα όρια του συντελεστή ασφαλείας (FS) σύμφωνα με το ΦΕΚ 1221/30-11-98	118
Πίνακας 11.5 Μετρήσεις διαστάσεων 20 τεμαχών από την ράμπα της θέσης Π2 ..	124
Πίνακας 11.6 Φαίνονται οι τιμές του κάθετου και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης για κάθε γεωυλικό.	129
Πίνακας 11.7 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π1, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για τις σκωρίες της Κόκκινης παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη αρχική ταχύτητα των τεμαχών.	129
Πίνακας 11.8 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π2, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για την λάβα της Κόκκινης παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη αρχική ταχύτητα των τεμαχών.	133
Πίνακας 11.9 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π3, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για την λάβα της Κόκκινης	

παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη
αρχική ταχύτητα των τεμαχών. 138

Πίνακας 11.10 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι σημειακές θέσεις οι οποίες είναι
πιθανές για την εφαρμογή φράκτη ανάσχεσης στην θέση Π3, το ύψος και η κλίση
αυτού καθώς και η κινητική ενέργεια που θα πρέπει να μπορεί να αντέξει. 139

Πίνακας 11.11 Στοιχεία κλίσης και προσανατολισμού των τεσσάρων ομάδων
διακλάσεων της θέσης Π3 στην περιοχή του Parking..... 142

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους 1 σε ξηρές συνθήκες. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 1.02	156
Σχήμα 2 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους 1 σε συνθήκες άσκησης πίεσης του νερού μετά από βροχόπτωση. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 0.92	157
Σχήμα 3 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους 1 σε συνθήκες άσκησης πίεσης του νερού μετά από βροχόπτωση. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 0.87	158
Σχήμα 4 Τομή 1. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π1.....	171
Σχήμα 5 Τομή 1. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π1. Φαίνονται τα σημεία με την μικρότερη ολική κινητική ενέργεια ως προσφορότερα για την εφαρμογή φράκτη ανάσχεσης τα οποία μετέπειτα απορρίφθηκαν.	172
Σχήμα 6 Τομή 2. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π2.....	173
Σχήμα 7 Τομή 2. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π2. Φαίνεται μία πιθανή κατάλληλη θέση εφαρμογής φράκτη ανάσχεσης.	174
Σχήμα 8 Τομή 3-3. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π3.	175
Σχήμα 9 Τομή 3-3. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π3. Φαίνεται μία πιθανή κατάλληλη θέση εφαρμογής φράκτη ανάσχεσης	176
Σχήμα 10 Τομή 2i. Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (Φράκτης ανάσχεσης). Θέση Π2.	177
Σχήμα 11 Τομή 2i. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π2. Το σημείο όπου διακόπτεται η καμπύλη αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που έχουν τα τεμάχια την στιγμή της πρόσκρουσης.	178
Σχήμα 12 Τομή 3-3i. Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (Φράκτης ανάσχεσης). Θέση Π3.	179
Σχήμα 13 Τομή 3-3i. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π3. Το σημείο όπου διακόπτεται η καμπύλη αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που έχουν τα τεμάχια την στιγμή της πρόσκρουσης.	180
Σχήμα 14 Προβολή σε δίκτυο Schmidt της συγκέντρωσης των πόλων των διακλάσεων στην περιοχή του Parking στην θέση Π3 και προσδιορισμός των κύριων επιπέδων των ομάδων διακλάσεων. Διακρίνονται 4 ομάδες διακλάσεων.	181

- Σχήμα 15** Προβολή της κινηματικής ανάλυσης τύπου Markland όσον αφορά σφήνοειδείς ολισθήσεις που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο τεκτονικό διάγραμμα. Παρατηρούμε ότι τα κύρια επίπεδα που δημιουργούν σφήνες είναι τα επίπεδα των ομάδων διακλάσεων 1, 2 και 3. 182
- Σχήμα 16** Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.03 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. 199
- Σχήμα 17** Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. 200
- Σχήμα 18** Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 2 και 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. 201
- Σχήμα 19** Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ως βασικό επίπεδο λαμβάνεται η ομάδα διακλάσεων 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. 202
- Σχήμα 20** Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.46. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.16 MN. 203
- Σχήμα 21** Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.96 MN. 204
- Σχήμα 22** Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 2 και 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.80 MN. 205

Σχήμα 23 Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ως βασικό επίπεδο λαμβάνεται η ομάδα διακλάσεων 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.97 MN. 206

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

Φωτογραφία 1 Άποψη της κατολίσθησης από το σημείο σάρωσης. Στο βάθος και δεξιά φαίνονται αχνά τα συρματοκιβώτια.	207
Φωτογραφία 2 Φαίνεται η θέση κατολίσθησης – Τυμφρηστός. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δρόμος είναι ασφαλτοστρωμένος ξανά ενώ στο βάθος φαίνονται τα συρματοκιβώτια (ζαρζανετία) τα οποία συγκρατούν τα κορήματα της κατολίσθησης.	207
Φωτογραφία 3 Εμφάνιση του ψαμμιτικού φλύσχη της περιοχής.	208
Φωτογραφία 4 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.	208
Φωτογραφία 5 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.	209
Φωτογραφία 6 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.	209
Φωτογραφία 7 Εφελκυστική ρωγμή στην επαφή των συρματοκιβωτίων με τα κορηματικά υλικά.	210
Φωτογραφία 8 Φαίνεται ο αγωγός για την ομαλή διέλευση του νερού μέσα από την μάζα της κατολίσθησης. Είναι εμφανής η καταστροφή του έργου λόγω των αναπτυσσόμενων τάσεων.	210
Φωτογραφία 9 Άποψη της θέσης κατολίσθησης – Φιδάκια 1.	211
Φωτογραφία 10 Άποψη του φλύσχη της περιοχής στην θέση κατολίσθησης - Φιδάκια 1.	211
Φωτογραφία 11 Άποψη της καταστροφής που επιδέχεται ο δρόμος λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1.	212
Φωτογραφία 12 Εφελκυστικές ρωγμές που υφίσταται ο δρόμος λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1.	212
Φωτογραφία 13 Μέτρηση ανοίγματος εφελκυστικής ρωγμής στον δρόμο λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1. Παρατηρούμε ότι το άνοιγμα είναι 2.5cm.	213
Φωτογραφία 14 Κάτοψη του εδάφους σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου, στην οποία φαίνεται εφελκυστική ρωγμή.	213
Φωτογραφία 15 Ασβεστιτικό υλικό με ενστρώσεις ιλυολίθου σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου. Παρατηρείται έντονη διάτμηση του υλικού.	214
Φωτογραφία 16 Κάμψη δέντρου λόγω της κατολίσθησης και του επερχόμενου ερπυσμού εδάφους, σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου.	214

Φωτογραφία 17 Άποψη της Κόκκινης παραλίας.	215
Φωτογραφία 18 Άποψη της Κόκκινης Παραλίας.....	215
Φωτογραφία 19 Πρανές στην Κόκκινη Παραλία. Φαίνεται η στρώση των σκωριών καθώς και η υποσκαφή στην βάση του πρανούς.....	215
Φωτογραφία 20 Πρανές στην Κόκκινη Παραλία. Φαίνεται η στρώση των σκωριών, οι βολίδες, τα λιθάρια καθώς και η υποσκαφή στη βάση του πρανούς.	216
Φωτογραφία 21 Λάβες Κόκκινης Παραλίας δακτιτικής – ανδεσιτικής σύστασης... ..	216
Φωτογραφία 22 Κάτω δεξιά φαίνεται πεσμένα τεμάχια λάβας στην Κόκκινη παραλία.	217
Φωτογραφία 23 Θέση από την οποία κατολίσθησε η μάζα σκωριών των Αύγουστο του 2013, όγκου 300 m ²	217
Φωτογραφία 24 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι θέσεις Π1, Π2 και Π3.....	218
Φωτογραφία 25 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Φαίνονται οι θέσεις Π2 και Π3, αριστερά και δεξιά, αντίστοιχα.	218
Φωτογραφία 26 Άποψη της Κόκκινης Παραλίας. Εικόνα LiDar.....	219
Φωτογραφία 27 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι θέσεις Π2 και Π3, αντίστοιχα. Εικόνα LiDar.	219
Φωτογραφία 28 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας (Θέση Π1). Εικόνα LiDar.	219

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας ήταν ένα σημείο σταθμός για εμένα καθώς μέσω αυτής μπόρεσα να εντρυφήσω σε έννοιες τις τεχνικής γεωλογίας, οι οποίες μου ήταν πρωτόγνωρες κατά τις αρχές του τετάρτου έτους της προπτυχιακής σταδιοδρομίας μου στο πανεπιστήμιο. Μέσω της διπλωματικής μου εργασίας συνειδητοποίησα ότι ο τομέας της εφαρμοσμένης γεωλογίας και ειδικότερα της τεχνικής γεωλογίας είναι ένας από τους επιστημονικούς κλάδους της γεωλογίας με τους οποίους θα ήθελα να ασχοληθώ πολύ πιο εντατικά στο μέλλον, εάν φυσικά μου δοθεί η ευκαιρία.

Γι' αυτόν τον λόγο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Βασίλη Μαρίνο για την αμέριστη γνώση και βοήθεια που μου παρείχε, τόσο στην επίτευξη της ολοκλήρωσης της διπλωματικής μου εργασίας, όσο και στην ανάπτυξη της γνώσης και της εμπειρίας μου ως γεωλόγος. Θα ήθελα να επισημάνω πως κατά την διάρκεια του τετάρτου έτους, ο Βασίλης Μαρίνος μου εμπιστεύθηκε μέρος της ερευνητικής μελέτης την οποία είχε αναλάβει αυτός και η ομάδα του, όσον αφορά κατολισθήσεις στη Κόκκινη Παραλία του Δήμου Θήρας. Η χαρά καθώς και η βοήθεια μου ήταν αμέριστη και μετά από συνεννόηση, η δουλειά η οποία εκπόνησα για την μελέτη, εισήχθη και στην διπλωματική μου εργασία. Η γνώση που έλαβα καθώς και η εμπειρία της συνεργασίας για την εκπόνηση μίας τέτοια μελέτης ήταν πρωτόγνωρη και εντυπωσιακή για μένα και γι' αυτόν τον λόγο δούλεψα με όρεξη και μεράκι.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ακόμη τους Διδάκτορες, Γιώργο Παπαθανασίου και Τριαντάφυλλο Κακλή για την βοήθεια που μου παρείχαν στην προχώρηση της διπλωματικής μου εργασίας καθώς με βοήθησαν σε πολύ μεγάλο βαθμό στην εκμάθηση λογισμικών όπως το Polyworks της InnonMetric καθώς επίσης και το RocFall, το RocPlane και το SWedge της RocScience. Επίσης, σε οποιαδήποτε ερώτηση και πρόβλημα που μου δημιουργούνταν, στάθηκαν αρωγοί.

Συν τοις άλλοις, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Αδαμάντιο Κίλια για τις πολύ χρήσιμες πληροφορίες και στην βιβλιογραφία που μου παρείχε σε ζητήματα τεκτονικής και γεωλογίας των περιοχών μελέτης.

Τέλος, η εργασία αυτή δεν θα είχε πραγματοποιηθεί χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση των γονιών μου, Μπούλα και Σάκη οι οποίοι με καθοδήγησαν σωστά μέχρι αυτό το σημείο της ζωής μου και συνεχίζουν ακούραστα το καθήκον τους. Σε αυτούς αφιερώνω την διπλωματική μου εργασία.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κατολίσθηση ως γεγονός αποτελεί μία φυσική καταστροφή, η οποία είναι δυνατόν να πλήξει ανθρώπινες κατασκευές και το σημαντικότερο, ανθρώπινες ζωές. Η ανάγκη του ανθρώπου για την αντιμετώπισή της προκαλεί την εντατική μελέτη και εργασία των επιστημόνων και ερευνητών. Έτσι, έχουν αναπτυχθεί θεωρίες και μοντέλα από διάφορους μελετητές τα οποία φαίνονται πολύ χρήσιμα για την επικείμενη μελέτη των κατολισθήσεων. Οι ανάστροφες αναλύσεις που έχουν πραγματοποιηθεί για μεγάλες κατολισθήσεις του παρελθόντος, έχουν δώσει πλήθος δεδομένων τα οποία βρίσκονται στην διεθνή βιβλιογραφία και αποτελούν οδηγό και εργαλεία για την μελέτη των κατολισθήσεων.

Η παρούσα εργασία ξεφεύγει από τα στενά πλαίσια του όρου «διπλωματική εργασία» και ως επί το πλείστον αποτελεί μία μελέτη των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που υφίστανται στις περιοχές μελέτης (Νομός Ευρυτανίας – Δήμος Θήρας), όσον αφορά κατολισθήσεις που έχουν συμβεί.

Η εργασία αποτελείται από 3 μέρη.

Το πρώτο (Α') μέρος αποτελείται από 6 κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στα χαρακτηριστικά και στην ποιότητα των βραχομαζών και ποια στοιχεία μπορούμε να καταγράψουμε. Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στην επιδεκτικότητα κατολισθήσεων και σε ορισμένα μοντέλα τα οποία έχουν κατασκευαστεί από διάφορους ερευνητές, όσον αφορά την επιδεκτικότητα. Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται εξ' ολοκλήρου στην χαρτογράφηση των κατολισθήσεων και τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να γίνει αυτό, καθώς αναφέρονται διάφορα μοντέλα μελετητών όσον αφορά την χαρτογράφηση. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στην τεχνολογία LiDAR και πως αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην μελέτη των κατολισθήσεων. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφερόμαστε στην σχέση που μπορεί να έχει η μορφολογία του πρανούς με την ολισθαίνουσα μάζα και πως αυτή η σχέση επηρεάζει την μορφή της κατολίσθησης. Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά στα μέτρα αντιστήριξης που εφαρμόζονται στις κατολισθήσεις.

Το δεύτερο (Β') μέρος αποτελείται από πληροφορίες όσον αφορά τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες του Νομού Ευρυτανίας. Συγκεκριμένα, στο έβδομο κεφάλαιο αναφερόμαστε στα γεωλογικά – γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και σχηματισμών του Νομού Ευρυτανίας. Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μία αναφορά σε παλιότερες κατολισθήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Ευρυτανίας ούτως ώστε να πάρει ο αναγνώστης μία γενικότερη ιδέα για την σεισμικότητα της περιοχής. Στο ένατο κεφάλαιο αναφερόμαστε στις εδαφικές ολισθήσεις του Νομού Ευρυτανίας και πιο συγκεκριμένα, στις εδαφικές ολισθήσεις που μελετήθηκαν.

Το τρίτο (Γ') μέρος αποτελείται από πληροφορίες όσον αφορά τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες του Δήμου Θήρας. Συγκεκριμένα, στο δέκατο κεφάλαιο αναφερόμαστε στα γεωλογικά – γεωτεχνικά χαρακτηριστικά των πετρωμάτων και σχηματισμών του Δήμου Θήρας και της περιοχής μελέτης (Κόκκινη Παραλία). Στο ενδέκατο κεφάλαιο περιγράφονται λεπτομερώς οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στις περιοχές Κόκκινη παραλία και Πάρκινγκ Κόκκινης Παραλίας καθώς και τα μέτρα αντιστήριξης που προτείνονται.

Στο δωδέκατο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που δημιουργήθηκαν όσον αφορά τις κατολισθήσεις στις περιοχές μελέτης ως έναυσμα για συζήτηση μεταξύ των μελετητών.

Τέλος, στο Παράρτημα παρατίθενται εικόνες των περιοχών μελέτης καθώς και τα διαγράμματα των αναλύσεων που πραγματοποιήθηκαν για την Κόκκινη Παραλία, για την ευκολότερη κατανόηση από τον αναγνώστη.

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΜΕΡΟΣ Α΄

ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ - ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Με τον όρο βραχόμαζα (rock mass) αναφερόμαστε σε ένα ασυνεχές μέσο το οποίο αποτελείται από έναν ή περισσότερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Στην φύση, σπάνια απαντάται ακέραιο καθώς τις περισσότερες φορές διατέμνεται από ασυνέχειες (ρήγματα, διακλάσεις, ρωγμές κ.α). Χαρακτηρίζεται από διαφορετικό, κάθε φορά, βαθμό κερματισμού, αποσάθρωσης και εξαλλοίωσης. Τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας, τα οποία πρωτογενώς και δευτερογενώς επιδρούν σε αυτήν, παρατίθενται παρακάτω:

- Μηχανική αντοχή του πετρώματος που δομεί την βραχόμαζα
- Δείκτης κερματισμού βραχόμαζας (RQD)
- Ασυνέχειες και χαρακτηριστικά τους
- Παρουσία υπόγειου νερού
- Ταξινόμηση βραχόμαζας

1.1. Μηχανική αντοχή του πετρώματος που δομεί την βραχόμαζα

Όπως προαναφέρθηκε, η βραχόμαζα σαν σύνολο αποτελείται από μία ή περισσότερες μονάδες πετρωμάτων. Για να διευκρινιστούν τα γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας θα πρέπει να ελεγχθεί ο κάθε ένας σχηματισμός όσον αφορά την αντοχή του, τον βαθμό αποσάθρωσής του και τον βαθμό κερματισμού του. Έτσι στους

Πίνακας 1.1 και Πίνακας 1.2 περιγράφονται οι τρόποι με τους οποίους χαρακτηρίζουμε το κάθε πέτρωμα. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι για να υπάρχουν ακριβή αποτελέσματα θα πρέπει να ελεγχθεί ένα πλήθος δοκιμίων καθώς τα μεμονωμένα δοκίμια μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικά της βραχόμαζας.

Πίνακας 1.1 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή (*ISRM, 1981*)

Αντοχή σ _{ci} (Μpa)	Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή
>250	Εξαιρετικά ισχυρό	Δεν θραύεται με γεωλογικό σφυρί
100 - 250	Πολύ ισχυρό	Θραύεται μετά από αρκετούς κτύπους με γεωλογικό σφυρί
50 - 100	Ισχυρό	Θραύεται με περισσότερους από ένα κτύπους με γεωλογικό σφυρί
25 - 50	Μετρίως ισχυρό	Δεν χαράσσεται με μαχαίρι
5 - 25	Ασθενές	Δύσκολα χαράσσεται με μαχαίρι
1 - 5	Πολύ ασθενές	Χαράσσεται εύκολα με μαχαίρι. Δεν χαράσσεται με το νύχι
0.25 - 1	Εξαιρετικά ασθενές	Χαράσσεται με το νύχι

Πίνακας 1.2 Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση τον βαθμό αποσάθρωσης (*British Geological Society, 1970*)

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή
Υγιές	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών
Λίγο αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού
Μέτρια αποσαθρωμένο	εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού
πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού με διατήρηση της υφής και της δομής
Έδαφος	Η υφή και δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)

1.2. Δείκτης κερματισμού βραχόμαζας (RQD)

Το RQD (Rock Quality Designation) είναι μία μέθοδος χαρακτηρισμού της βραχόμαζας ως προς τον κερματισμό της λόγω των ασυνεχειών. Είναι γνωστό για την

εφαρμογή του στους πυρήνες των γεωτρήσεων και στην ουσία, το RQD είναι ένας λόγος ο οποίος έχει ως αριθμητή το άθροισμα των τεμαχίων του πυρήνα που έχουν μήκος >10cm και ως παρονομαστή το συνολικό μήκος του πυρήνα. Εκφράζεται επί τοις εκατό (%). Στον Πίνακα 1.3 περιγράφονται οι χαρακτηρισμοί του πυρήνα ανάλογα με το ποσοστό του RQD.

Πίνακας 1.3 Ποιότητα βραχώμαζας ανάλογα τον δείκτη RQD (Deere, 1989)

RQD	Ποιότητα Βραχώμαζας
<25%	Πολύ φτωχή
25 - 50%	Φτωχή
50 - 75%	Μέτρια
75 - 90%	Καλή
90 - 100%	Εξαιρετική

Παρά ταύτα, το RQD μπορεί να μετρηθεί και σε μία φυσική ή τεχνική τομή της βραχώμαζας όταν θα «χαράξουμε» μία γραμμή πάνω στην τελευταία και λειτουργήσουμε με τον ίδιο τρόπο όπως στους πυρήνες των γεωτρήσεων.

Μπορούν όμως να σημειωθούν ορισμένα προβλήματα που εμφανίζει ο υπολογισμός του RQD.

- Εάν σε όλο το μήκος του πυρήνα έχουμε τεμάχια των 11cm τότε η ποιότητα της βραχώμαζας χαρακτηρίζεται ως εξαιρετική ενώ εάν έχουμε τεμάχια των 9cm τότε η ποιότητα της βραχώμαζας χαρακτηρίζεται ως πολύ φτωχή. Αυτό σημαίνει ότι για πολύ μικρή διαφορά του μήκους των τεμαχίων του πυρήνα έχουμε πολύ μεγάλες διαφορές στον χαρακτηρισμό της ποιότητας της βραχώμαζας.
- Η κάθετη απόσταση από οποιαδήποτε άλλη μεταξύ 2 ασυνεχειών είναι η μικρότερη. Συνεπώς έχει μεγάλη σημασία ο τρόπος με τον οποίο έχει γίνει η δειγματοληπτική πυρηνοληψία καθώς το γεωτρύπανο δεν τρυπάει ποτέ απόλυτα κάθετα ως προς της ασυνέχειες. Έτσι, το τελικό αποτέλεσμα της ποιότητας της βραχώμαζας θα καταλήξει να είναι πιο ευνοϊκό από το πραγματικό, άρα θα πρέπει να είμαστε προσεκτικοί στις μετρήσεις που πραγματοποιούμε.

1.3. Ασυνέχειες

Οι ασυνέχειες που μπορούν διατέμνουν την βραχώμαζα είναι ποικίλων μορφών καθώς ο τρόπος γένεσής τους διαφέρει. Συνεπώς, ως ασυνέχειες χαρακτηρίζονται τα εξής:

- **Στρώση (Bedding)**, η οποία παρουσιάζεται στα ιζηματογενή πετρώματα και δημιουργείται κατά την φάση ιζηματογένεσης, όταν τα ορυκτά αποτίθενται στον πυθμένα υδάτινης μάζας και προσανατολίζονται.

- **Σχιστότητα ή Φολλίδωση (Foliation)**, εμφανίζεται στα μεταμορφωμένα πετρώματα των οποίων τα φυλλώδη ορυκτά προσανατολίζονται λόγω της πίεσης που ασκείται σε βάθος.
Σημ.: Εάν ο πρωτόλιθος δεν εμπεριέχει φυλλώδη ορυκτά, τότε το μεταμορφωμένο πέτρωμα δεν θα εμφανίσει σχιστότητα.
- **Διάκλαση (Joint)**, ονομάζεται η ασυνέχεια που δημιουργείται λόγω τεκτονικής καταπόνησης στο πέτρωμα, η οποία όμως δεν προκαλεί μετατόπιση.
- **Ρωγμή (Crack)**, ονομάζεται η διάκλαση σε ένα πέτρωμα της οποίας τα 2 τεμάχια εκατέρωθεν της έχουν αποχωριστεί. Δηλαδή έχει δημιουργηθεί άνοιγμα, το οποίο μπορεί να μετρηθεί μακροσκοπικά. Η ρωγμή μπορεί να είναι πληρωμένη με λεπτόκοκκο υλικό.
- **Ρήγμα (Fault)**, ονομάζεται η μικρής ή μεγάλης κλίμακας διάρρηξη σε έναν ή περισσότερους σχηματισμούς, η οποία προκαλεί μετατόπιση των 2 τεμαχίων εκατέρωθεν της διάρρηξης και η οποία μπορεί να μετρηθεί μακροσκοπικά. Τα ρήγματα χωρίζονται στα εκτατικά (κανονικά), συμπιεστικά (ανάστροφα) και στα οριζόντια μετατόπισης. Τα πιο συνήθη στην φύση είναι οι συνδιασμοί ρηγμάτων εκτατικών-οριζόντιας μετατόπισης και συμπιεστικών-οριζόντιας μετατόπισης.
Σημ.: Τα ρήγματα μεγάλης κλίμακας παρουσιάζουν ελάχιστη ή μηδενική ζώνη διάρρηξης ενώ σε ρήγματα μικρής κλίμακας έχουν παρατηρηθεί ζώνες διάρρηξης εκατοντάδων μέτρων. Μέσα στην ζώνη διάρρηξης το υλικό κερματίζεται ή αργιλοποιείται καθώς επίσης δημιουργούνται γραμμώσεις οι οποίες δείχνουν την κίνηση που πραγματοποιήθηκε κατά μήκος του ρήγματος.

1.4. Χαρακτηριστικά ασυνεχειών

Ομάδες ασυνεχειών

Σε μία βραχόμαζα μπορούν να υφίστανται περισσότερες από 1 ομάδες ασυνεχειών και αυτό λόγω του διαφορετικού προσανατολισμού των διαφορετικών τεκτονικών γεγονότων που επέδρασαν σε μία περιοχή κατά τον γεωλογικό χρόνο. Συνεπώς, μπορεί να πραγματοποιηθεί καταγραφή των ομάδων ασυνεχειών που υφίστανται σε μία βραχόμαζα.

Προσανατολισμός (Orientation)

Αναφερόμαστε στην διεύθυνση της τομής της ασυνέχειας με το οριζόντιο επίπεδο στον χώρο, στην διεύθυνση στην οποία κλίνει η ασυνέχεια καθώς επίσης και με ποια ακριβώς γωνία. Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται με την χρήση της γεωλογικής πυξίδας.

Πυκνότητα

Η διακλάσεις κατανέμονται στον χώρο πιο αραιά ή πιο πυκνά ανάλογα την φύση του πετρώματος και τον βαθμό τεκτονικής καταπόνησης. Έτσι, μπορούμε να καταγράψουμε ως δεδομένο την μέση απόσταση που μεσολαβεί από την μία ασυνέχεια στην επόμενη της ίδιας ομάδας. Καταυτόν τον τρόπο προσδιορίζουμε έμμεσα το μέγεθος των τεμαχών στα οποία χωρίζεται η βραχώμαζα. Στον *Πίνακα 1.4 Απόσταση ασυνεχειών (κατά ISRM, 1981)* φαίνονται οι χαρακτηρισμοί της μετρηθείσας απόστασης των συνεχειών.

Πίνακας 1.4 Απόσταση ασυνεχειών (κατά ISRM, 1981)

Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (m)	Χαρακτηρισμός της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών
> 2m	Μεγάλη
0.6 - 2m	Αρκετά μεγάλη
0.2 - 0.6m	Μέση
0.06 - 0.2m	Μικρή
<0.06m	Πολύ μικρή

Άνοιγμα (Aperture)

Είναι σημαντικό να καταγραφεί το μέσο άνοιγμα που παρατηρείται ανά ομάδα ασυνεχειών καθώς αυτό προσδιορίζει τον βαθμό του αλληλοκλειδώματος των τεμαχών των ασυνεχειών.

Εμμονή (Persistence)

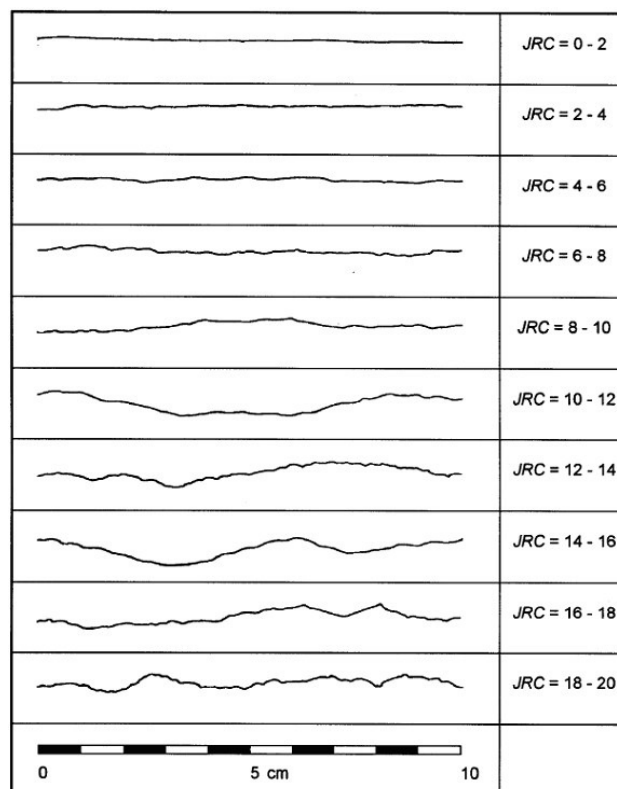
Ως εμμονή χαρακτηρίζεται η συνέχιση της ασυνέχειας στον χώρο και η οποία εξαρτάται από τον βαθμό τεκτονισμού που υφίσταται η περιοχή. Καταυτόν τον τρόπο προσδιορίζουμε έμμεσα το μέγεθος των τεμαχών στα οποία χωρίζεται η βραχώμαζα.

Υλικό πλήρωσης (Infill)

Όπως προαναφέρθηκε, εάν μια διάκλαση μετατραπεί σε ρωγμή, δύναται να πληρωθεί με λεπτόκοκκο υλικό. Αυτό το υλικό μπορεί να προσδιοριστεί ώστε να γίνει μία γενική εκτίμηση των στοιχείων που μεταφέρουν τα ρευστά καθώς επίσης μπορεί να προσδιοριστεί το πώς επιδρούν αυτά στην αντοχή (συνοχή και γωνία τριβής) της ασυνέχειας.

Τραχύτητα (JRC)

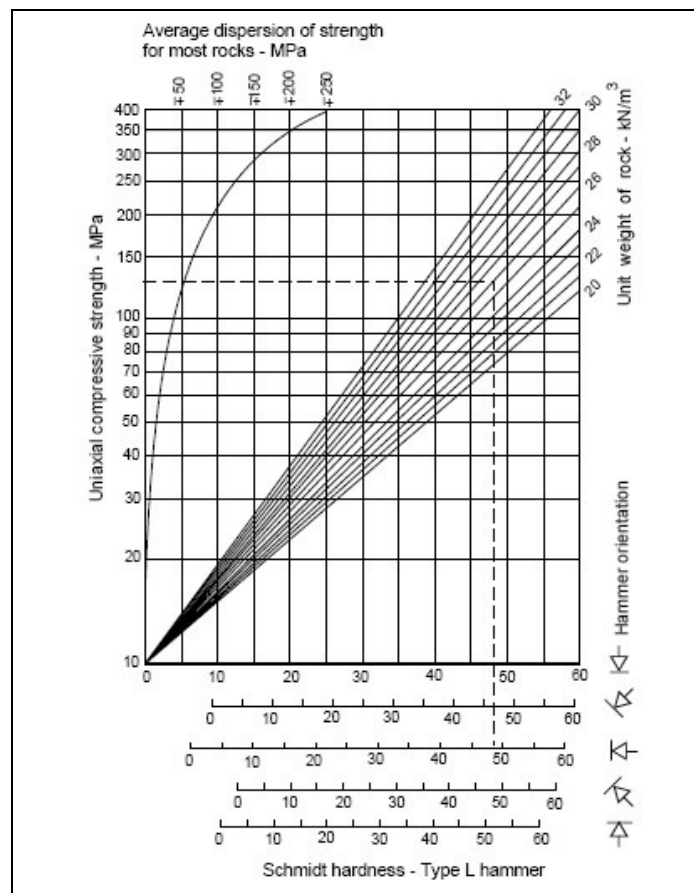
Αυτό το χαρακτηριστικό αναφέρεται στο πόσο ομαλή η τραχεία,, ευθεία ή κυματιστή είναι μία ασυνέχεια. Γι' αυτόν τον λόγο έχει προταθεί από τους *Barton & Chubey, 1977* μία εμπειρική μέθοδος η οποία ονομάζεται Joint Roughness Coefficient (JRC) κατά την οποία μπορούμε να χαρακτηρίσουμε την τραχύτητα με ένα νούμερο, όπως φαίνεται στην *Εικόνα 1.1*



Εικόνα 1.1 Διάγραμμα όσον αφορά την τραχύτητα επιφανειών – Joint Roughness Coefficient (JRC) (*Barton & Chubey 1977*)

Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (JCS)

Αναφερόμαστε στην πίεση που μπορεί να παραλάβει το τοίχωμα μίας ασυνέχειας καθώς η πίεση αυτή είναι μικρότερη του ανέπαφου πετρώματος λόγω της αποσάθρωσης που έχει υποστεί. Η αντοχή αυτή μπορεί να υπολογιστεί έμμεσα με την χρήση γεωλογικού σφυριού (Intact Rock Strength – IRS) ή άμεσα με την χρήση της σφύρας Schmidt. Γι' αυτόν τον λόγο έχει κατασκευαστεί ένα διάγραμμα από τους *Deere & Miller, 1966* για τον υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (Joint Compressive Strength – JCS). Αυτό το διάγραμμα παρατίθεται παρακάτω, στην *Εικόνα 1.2*



Εικόνα 1.2 Διάγραμμα αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (Compressive Strength – JCS) όσον αφορά την χρήση της σφύρας Schmidt. (Deere & Miller, 1966)

1.5. Παρουσία υπόγειου νερού

Η παρουσία υπόγειου νερού στη βραχώμαζα μπορεί να αποτελέσει πολύ σημαντικό παράγοντα όσον αφορά τον γεωτεχνικό χαρακτηρισμό της. Η κυκλοφορία υπόγειου νερού σε βραχώμαζες οι οποίες εμπεριέχουν αργιλικά ορυκτά μπορεί να προκαλέσει διόγκωση με αποτέλεσμα την ταχεία αποσάθρωση της βραχώμαζας και μείωσης των μηχανικών της χαρακτηριστικών. Ακόμη, η κυκλοφορία του υπόγειου νερού δια μέσω των ασυνεχειών της βραχώμαζας μπορεί να προκαλέσει «ξέπλυμα» του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών αφήνοντάς τες ανοικτές και εκτεθειμένες σε επικείμενη θραύση.

1.6. Ταξινόμηση βραχώμαζας

Οι ταξινομήσεις βραχώμαζας καθορίζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό της εικόνα που μπορεί να έχει ένας μελετητής για την υπό μελέτη βραχώμαζα καθώς επίσης και για την ασφαλή κατασκευή ενός τεχνικού έργου με υπόβαθρο αυτή. Είναι πολύ χρήσιμες και βοηθητικές καθώς προσομοιάζουν την βραχώμαζα με έναν αριθμό ή με ένα εύρος αριθμών τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από άλλους μελετητές και ιδίως μηχανικούς.

Γι' αυτόν τον λόγο έχουν προταθεί διάφορα συστήματα για την ταξινόμηση βραχώμαζας εκ των οποίων, αυτά που διακρίνονται είναι τα εξής:

- Σύστημα GSI
- Σύστημα RMR
- Σύστημα Q

Από τα παραπάνω, αυτό που είναι πολύ εύχρηστο, γρήγορο στην χρήση, πρακτικό και το οποίο δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα, είναι το σύστημα GSI. Συνεπώς για αυτό για γίνει ιδιαίτερη αναφορά.

Το σύστημα GSI (Geological Strength Index) προτάθηκε από τον Hoek το 1995 και το 2000 έφτασε στην τελική του μορφή μετά από σύμπραξη με το Π. Μαρίνο. Αναφέρεται σε ένα μεγάλο εύρος βραχομαζών, από σχεδόν άρηκτες μέχρι πολύ κερματισμένες ή πτυχωμένες. Το θετικό στοιχείο που κάνει αυτό το σύστημα ταξινομήσης πιο πρακτικό από άλλα είναι το ότι δεν εμπεριέχει στο υπολογισμό το RQD. Λειτουργεί πολύ καλά σε πτωχής ποιότητας βραχώμαζες καθώς βοηθάει στην καλύτερη αντίληψη αυτών των βραχομαζών ως σύνολα. Οι παράμετροι που συνιστούν το GSI είναι:

- Ποιότητα και κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών της βραχώμαζας καθώς έτσι προσδιορίζεται εμμεσα το μέγεθος της διατμητικής αντοχής τους.
- Η δομή βραχώμαζας σε σχέση με τις ασυνέχειες και την πτύχωση που έχει υποστεί.

Στην *Εικόνα 1.3* φαίνεται το διάγραμμα από το οποίο λαμβάνεται ο δείκτης GSI.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that $GSI = 35$. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
		Very rough, fresh unweathered surfaces	Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	Smooth, moderately weathered and altered surfaces	Slickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	Slickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
STRUCTURE	DECREASING SURFACE QUALITY					
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90				N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80					
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70					
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60					
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50					
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	40					
	30					
	20					
	10					
	N/A	N/A				

Εικόνα 1.3 Διάγραμμα από το οποίο λαμβάνεται ο δείκτης GSI (Hoek & Marinos, 2000)

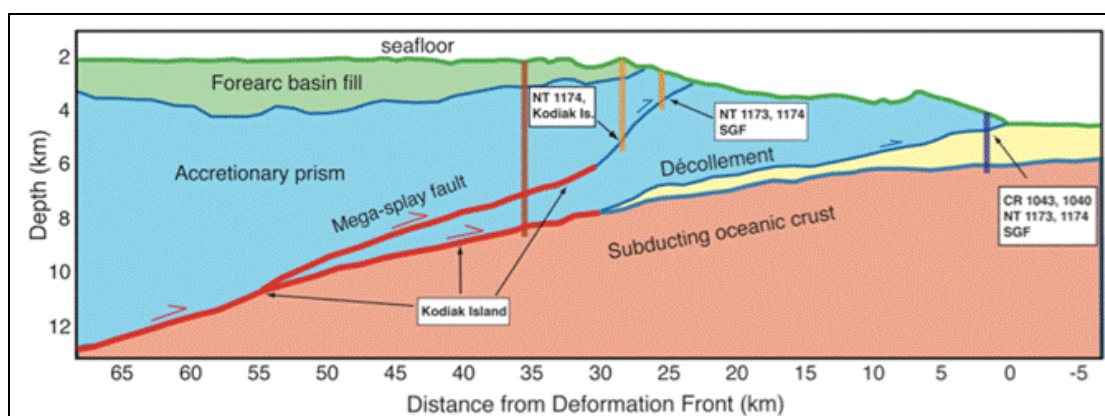
1.7. Γεωλογικό πρότυπο φλύσχη

Ο Φλύσξης εντάσσεται σε μία ευρύτερη ομάδα σχηματισμών, τους τουρβιδίτες. Σύμφωνα με τον BERNHARD STUDER (1827), ο οποίος για πρώτη φορά τον αναγνώρισε στο Simmental στην Ελβετία, ο φλύσξης δεν αποτελεί έναν συγκεκριμένο στρωματογραφικό σχηματισμό. Ακόμη δεν είναι ένα συγκεκριμένο πέτρωμα όπως πολλές φορές παρερμηνεύεται, αντιθέτως αποτελείται από συνεχείς εναλλαγές πετρωμάτων όπως ψαμμίτη, ιλυόλιθο, αργιλίτη, αργιλικό σχιστόλιθο και ιλυολιθικό σχιστόλιθο με πάχη που κυμαίνονται από μερικά εκατοστά έως πολλά μέτρα. Το υλικό προέρχεται από υποθαλάσσιες και μη αυλακώσεις το οποίο υπόκειται σε ρυθμική ιζηματογένεση, δημιουργώντας τα προαναφερθέντα

πετρώματα. Κατά το LOMBARD (1972), μέσα στον φλύσχη μπορούμε να βρούμε πελαγική μικροπανίδα.

Ο λόγος ύπαρξης του φλύσχη προσανατολίζεται στην διαδικασία κλεισίματος ενός ωκεανού. Συμπιεστικές δυνάμεις, υποχρεώνουν την ωκεάνια λιθόσφαιρα –η οποία συνδέεται με ηπειρωτικό φλοιό- να υποβυθιστεί κάτω από άλλη ωκεάνια λιθόσφαιρα ή κατευθείαν κάτω από ηπειρωτικό φλοιό. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία λεκάνης στην οποία αποτίθενται τα υλικά διάβρωσης του ηπειρωτικού και ωκεάνιου φλοιού. Αυτά τα υλικά θα διαγενεθούν και θα αποτελέσουν στο μέλλον τον φλύσχη. Επισημαίνω ότι όσο πιο μακρόχρονη είναι η υποβύθιση την ωκεάνιας λιθόσφαιρας, τόσο μεγαλύτερο πάχος θα αποκτήσουν τα ιζήματα του φλύσχη. Εν τέλει, το αποτέλεσμα είναι η σύγκρουση των 2 ηπειρωτικών φλοιών με την ορογενετική διαδικασία και την συμπιεστική τεκτονική να ρηγματώνει και να πτυχώνει την μεταξύ τους περιοχή, αναδεικνύοντας τον φλύσχη έντονα τεκτονισμένο. Οι μεγαλύτερες λεκάνες ιζηματογένεσης από υποβύθιση έχουν παρατηρηθεί σε σύγκρουση ηπειρωτικού με ηπειρωτικού φλοιού. (Λεκάνη των Ιμαλαΐων, λεκάνη των Απαλάτχιων, λεκάνη της Αδριατικής κ.α)

Αποτελεί δηλαδή έναν προ-ορογενετικό σχηματισμό ο οποίος σταματά να αποτίθεται στα πρώτα στάδια της ορογένεσης και πριν την παροξυσμική διαδικασία της πτυχογώνου τεκτονικής. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ακόμα και στα πρώτα στάδια της ορογενετικής διαδικασίας έχουμε απόθεση του φλυσχικού σχηματισμού όμως με βιαιότερες τουρβιδιτικές ροές η οποίες περιέχουν περισσότερα και μεγαλύτερα κλαστικά υλικά όπως επίσης και ολισθόλιθους ηπειρωτικών πετρωμάτων ή ασβεστιτικούς ογκόλιθους της υφαλοκρηπίδας. Στα τελευταία στάδια της φλυσχικής ιζηματογένεσης μπορεί να παρατηρηθούν στρώματα νηριτικού ασβεστόλιθου καθώς το βάθος ιζηματογένεσης μειώνεται λόγω της ορογενετικής διαδικασίας.

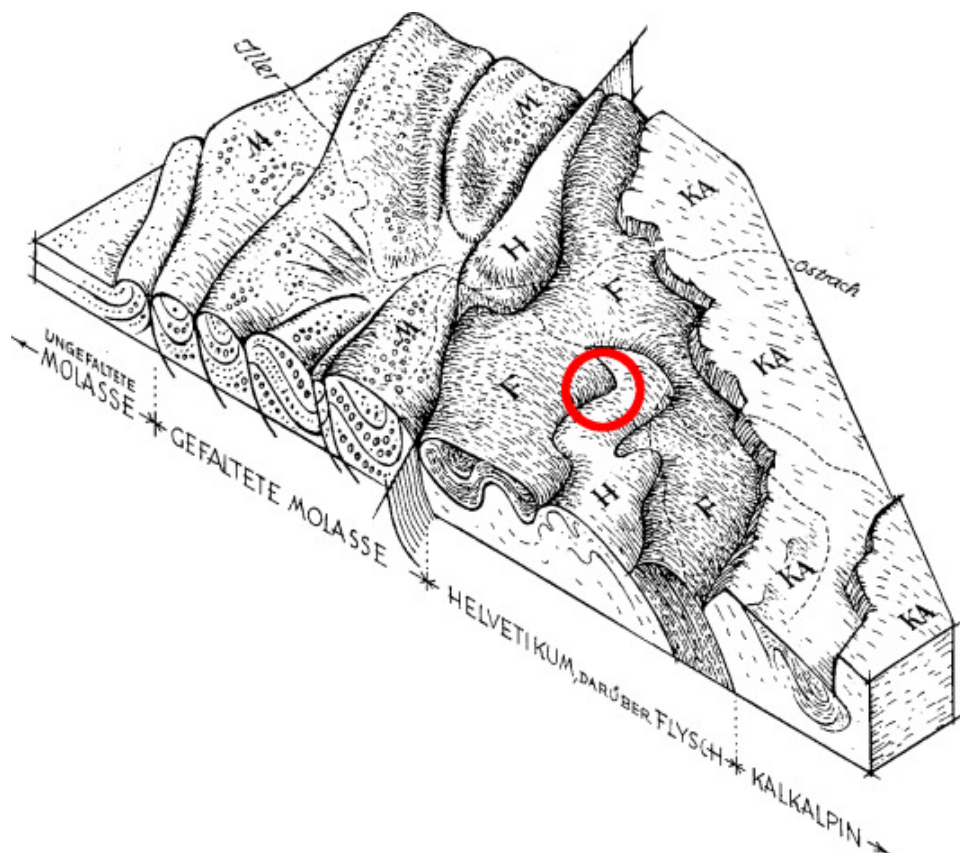


Εικόνα 1.4 Υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από τον ηπειρωτικό. Με πράσινο χρώμα συμβολίζεται η λεκάνη ιζηματογένεσης. (Penn State Geosciences)

Ο φλύσξης είναι ο ενδιάμεσος σχηματισμός μεταξύ των νηριτικών ασβεστόλιθων της υφαλοκρηπίδας και των κερατόλιθων, συνεπώς εμφανίζει μεταβατικές ζώνες σε σχέση με αυτά τα πετρώματα οι οποίες λόγω της τεκτονικής παραμόρφωσης χάνουν εν μέρει τα χαρακτηριστικά τους.

Επίσης πρέπει να επισημανθεί ότι ορισμένες φορές, η διάπλαση του φλύσχη μπορεί να συνδέεται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα (pillow lavas) η οποία είναι σύγχρονη του φλύσχη.

Άμεσο επακόλουθο της προαναφερθέντας διαδικασίας είναι η τεκτονική καταπόνηση του φλύσχη. Η ορογενετική διαδικασία σαν γενικότερη έννοια χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλη πτύχωση και λεπίωση των πετρωμάτων που συμμετέχουν με τη δημιουργία αντικλινικών και συγκλινικών δομών, όπως επίσης και από πληθώρα ρηγμάτων κυρίως συμπιεστικών (ανάστροφα) όμως και εκτατικών (κανονικά), όπως φαίνεται στην *Εικόνα 1.5*

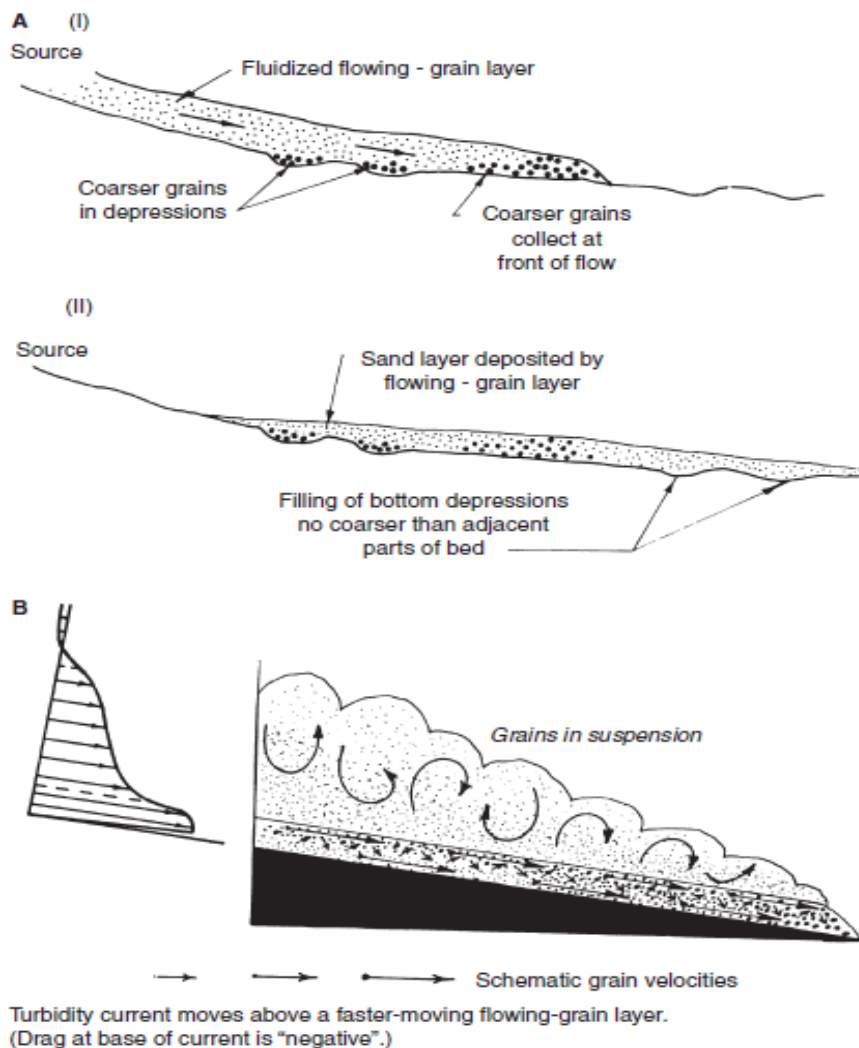


Εικόνα 1.5 Τεκτονική καταπόνηση του φλύσχη με ανάστροφα ρήγματα και πτυχώσεις λόγω της επώθησης της ωκεάνιας λιθόσφαιρας στην ηπειρωτική. Με κύκλο φαίνεται ένα παράδειγμα τεκτονικής επαφής που δημιουργείται λόγω της επώθησης (<http://blog.effiot.net/>)

Σε πολλές περιοχές των Άλπεων και των Απεννίνων, παρατηρήθηκαν τουρβιδιτικοί σχηματισμοί τύπου φλύσχη οι οποίοι είναι πτυχωμένοι και ρηγματωμένοι σε πολύ μεγάλο βαθμό σχηματίζοντας σχεδόν χαοτική δομή, εμπεριέχοντας ολισθόλιθους από τους ανώτερους σχηματισμούς όμως και από τους κατώτερους τους! (Το πιο σημαντικό παράδειγμα είναι η Rhenodanubian ζώνη του φλύσχη στα ΒΑ των Άλπεων με ηλικία Κ. Κρητιδικό – Μ. Ηώκαινο και αποτελείται κυρίως από πηλό και ψαμμίτη. Έχει μήκος 500 χιλιόμετρα και αποτελεί τον πρώτο παρατηρημένο φλυσχικό σχηματισμό.) Σε αντίθεση με τους λιγότερο τεκτονισμένους και πτυχωμένους

φλύσχικούς σχηματισμούς, ο F. J. KAUFMANN (1886) ονόμασε αυτού του τύπου σχηματισμούς αγριοφλύσχη (wildflysch).

Είναι σχεδόν απίθανο να βρεθεί φλύσχικός σχηματισμός ο οποίος να μην παρουσιάζει συμπιεστικές δομές όμως είναι σαφές ότι ο φλύσχος μπορεί να παρουσιάζει έντονη διακύμανση σε πετρογραφικό και τεκτονικό επίπεδο. Αυτό, διότι οι διάφορες ορογενετικές κινήσεις ανά τον κόσμο χαρακτηρίζονται από διαφορετικού μεγέθους συμπιεστικές τάσεις καθώς επίσης και από διαφορετικούς πετρογραφικούς τύπους φλύσχη.



Εικόνα 1.6 (Α) Ρευστοποιημένη ροή κοκκοποιημένου στρώματος. (Β) Προφίλ ταχυτήτων ενός τρέχοντος και υπαρκτού, βασικού, γρήγορου ρέοντος κοκκοποιημένου στρώματος, υπερκαλλυμένου από τουρβιδιτική ροή (Sanders 1965).



Εικόνα 1.7 Διατμημένος φλύσχος

1.8. Τεχνικογεωλογικό πρότυπο φλύσχη

Από τεχνικογεωλογική άποψη ο φλύσχος είναι ένας ιδιαίτερος σχηματισμός ο οποίος χρήζει ειδικού τεχνικογεωλογικού χαρακτηρισμού. Αυτό, λόγω της ετερογένειας και της πολυπλοκότητάς του λιθολογικά όπως επίσης, της έντονης τεκτονικής του καταπόνησης και της συμπεριφοράς του στα τεχνικά έργα.

Γι' αυτό τον λόγο έχει προταθεί ένα σύστημα ταξινόμησης και αξιολόγησης των λιθολογικών μορφών του φλύσχη σε 11 λιθότυπους (I – XI) με βάση τα ποσοστά των ψαμμιτικών μελών έναντι των ιλυολιθικών και την τεκτονικής τους διαφοροποίηση. Αυτή η ταξινόμηση φαίνεται στον *Πίνακα 1.5 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (Μαρίνος 2007)*(Μαρίνος 2007).

Αντίστοιχα για την βαθμονόμηση και την ποσοτικοποίηση της αντοχής του φλύσχη έχει προταθεί ένα διάγραμμα GSI (*Hoek, Marinos 2001*) το οποίο είναι συνάρτηση των τύπων – τεκτονικής καταπόνησης του φλύσχη και της ποιότητας των ασυνεχειών του. Το προαναφερθέν διάγραμμα GSI για τον φλύσχη αναθεωρήθηκε και το νέο διάγραμμα φαίνεται στον *Πίνακα 1.6 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (Μαρίνος 2007)*(Μαρίνος 2007).

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Πίνακας 1.5 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (Μαρίνος 2007)

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI	ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI	ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΔΟΜΗ – ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ GSI
Τύπος I. Αδιάτακτος μεσοστρωματώδης έως παχυστρωματώδης ψαμμίτης με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ιλυολίθου	Δομή: Τεμαχώδης (S) Ποιότητα Ασυνεχείων: Πολύ Καλή - Καλή (VG-G) GSI : 60-65		Τύπος II. Αδιάτακτος ιλυολίθος με σποραδικές λεπτές ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Τεμαχώδης (S) Ποιότητα Ασυνεχείων: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 55-65	
Τύπος IV. Μέτρια διαταραγμένη βραχώδης αποτελούμενη από εναλλασσείς ψαμμίτη-ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχείων: Καλή - Μέτρια (G - F) GSI : 45-55		Τύπος V. Μέτρια διαταραγμένη βραχώδης αποτελούμενη από ιλυολίθου με ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Πολύ Τεμαχώδης (VB) Ποιότητα Ασυνεχείων: Μέτρια - Πτωχή (P - VP) GSI : 40-55	
Τύπος VII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώδης η οποία διατρεί τη δομή της και αποτελείται από εναλλασσείς ψαμμίτη – ιλυολίθου σε ίσες αναλογίες	Δομή: Πτυχωμένη - Πολύ Διαταραγμένη (BD) Ποιότητα Ασυνεχείων: Μέτρια - Πτωχή (F - P) GSI : 25-40		Τύπος VIII. Έντονα διαταραγμένη – πτυχωμένη βραχώδης η οποία διατρεί τη δομή της και δεν έχει παραμορφωθεί-διατρεί σε μεγάλο βαθμό και αποτελείται κυρίως από ιλυολίθου με ενστρώσεις ψαμμίτη	Δομή: Πτυχωμένη - Πολύ Διαταραγμένη (BD) Ποιότητα Ασυνεχείων: Μέτρια - Πτωχή (F - P) GSI : 20-35	
Τύπος X. Τεκτονικά παραμορφωμένος, έντονα πτυχωμένος, ρηγματωμένος ιλυολίθος ή αργιλικός σχιστόλιθος με κερματισμένα και παραμορφωμένα ψαμμίτικα τεμάχια τα οποία διαμορφώνουν σχεδόν χαοτική δομή	Δομή: Αποδιοργανωμένη (D) Ποιότητα Ασυνεχείων: Πτωχή - Πολύ Πτωχή (P - VP) GSI : 15-25		Τύπος XI. Τεκτονικός έντονα διατμημένος ιλυολίθος ή αργιλικός σχιστόλιθος σε χαοτική δομή με θύλακες αργίλου	Δομή: Φυλλώδης-Διατμημένη (F) Ποιότητα Ασυνεχείων: Πτωχή - Πολύ Πτωχή (P - VP) GSI : 10-20	
Η γεωτεχνική ταξινόμηση βασίστηκε στο νέο διάγραμμα GSI για στερογενείς βραχώδεις όπως ο φλύσχη (Μαρίνος, 2007)					

Πίνακας 1.6 Περιγραφή και βαθμονόμηση των αντιπροσωπευτικών τύπων του φλύσχη (Μαρίνος 2007)

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX (GSI) FOR HETEROGENEOUS ROCK MASSES SUCH AS FLYSCH (V. Marinos, 2007)					
Heterogeneous rockmasses are meant those with alternating layers of clearly different lithology types with significant differences in their strength properties. For flysch, a typical formation with heterogeneous rock masses, these alterations are consisting of sandstones and siltstones. Clay shales may be present. From a description of the lithology, structure and surface conditions of discontinuities (particularly of the bedding planes), choose a box in the chart. The selection of the structure should be based on the tectonic disturbance (undisturbed, slightly disturbed, strongly disturbed - folded, desintegrated, sheared), the proportion of siltstones against sandstones and the expressed or not stratification inside the siltstone layers. In the type IV and V when the thickness of sandstone beds exceed 50cm an increase of the GSI value by 5 is suggested. From type IV and the following types, the stratification planes are perceptible inside the siltstone mass. Locate the position in the box that corresponds to the conditions and estimate the average value GSI from the contours. The determination of the structure and the condition of discontinuities may range between two adjacent fields. Note that the Hoek - Brown criterion does not apply to structurally controlled failures. Where unambiguously oriented continuous weak planar discontinuities are present, these will dominate the behaviour of the rock mass. The strength of some rock masses is reduced by the presence of groundwater and this can be allowed for by a slight shift to the right in the columns for fair, poor and very poor conditions. Water pressure does not change the value of GSI and it is dealt with by using effective stress analysis.					
STRUCTURE AND COMPOSITION		SURFACE CONDITIONS OF DISCONTINUITIES (Predominantly bedding planes)		DECREASE OF THE QUALITY OF DISCONTINUITIES	
TYPE I. Undisturbed, with thick to medium thickness sandstone beds with sporadic thin films of siltstones. In shallow tunnels or slopes where confinement is poor the mode of the failure has a kinematic character controlled by the bedding planes and GSI is meaningless TYPE III. Moderately disturbed sandstones with thin films of siltstone interlayers TYPE VII. Strongly disturbed, folded rockmass that retains its structure, with sandstone and siltstone in similar extent TYPE IX. Desintegrated rockmass that can be found in wide zones of faults or/and of high weathering. In this type mainly brittle material is present with some disturbed siltstones between rock pieces TYPE XI. Tectonically strongly sheared siltstone or clayey shale forming a chaotic structure with pockets of clay. Thin layers of sandstone are transformed into small rock pieces. Ultimately the ground behavior is that of a soil	TYPE II. Undisturbed massive siltstone (stratification planes are imperceptible) with sporadic thin interlayers of sandstones TYPE IV. Moderately disturbed rockmass with sandstone and siltstone similar amounts TYPE V. Moderately disturbed siltstones with sandstone interlayers TYPE VI. Moderately disturbed siltstones with sparse sandstone interlayers TYPE VIII. Strongly disturbed, folded rockmass, with siltstones and sandstone interlayers. The structure is retained and deformation - shearing is not strong TYPE X. Tectonically deformed intensively folded/ faulted siltstone or clay shale with broken and deformed sandstone layers forming an almost chaotic structure	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces GOOD Rough, slightly weathered or oxidized surfaces FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces POOR Very smooth, occasionally slickensided surfaces with compact coatings or fillings with angular fragments VERY POOR Very smooth, slickensided or highly weathered surfaces with soft clay coating or fillings	80 70 60 50 40 30 20 10	I II III IV V VI VII VIII IX X XI	N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A
N/A Means geologically impossible combination. In the non - shadowed areas, such rockmasses are not impossible to find but it is very unusual → Direction of tectonic disturbance and deformation of equivalent rockmass lithology					

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. ΕΠΕΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΑ

2.1. Μοντέλο Αυστραλιανής Γεωμηχανικής Κοινότητας (2010)

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της επικινδυνότητας πρόκλησης κατολίσθησης και με βάση την γεωμορφολογία, την γεωλογία, την υδρογεωλογία, το κλίμα και την βλάστηση, μπορούμε να καθορίσουμε:

- Τα είδη των πιθανών κατολισθήσεων που έχουμε στην περιοχή μελέτης (Varnes 1978, modified by Cruden & Varnes 1996)
- Εκτίμηση της τοποθεσίας, του πλήθους και της επιφανειακής έκτασης των πιθανών κατολισθήσεων.
- Εκτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών του υλικού που μπορεί να αστοχήσει και της ιδιότητας του πρανούς.
- Εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που μπορεί να διανύσει η μάζα που αστοχεί.
- Εκτίμηση της πιθανότητας των ραγδαίων γεγονότων, όπως ροές και πτώσεις.

Η ταχύτητα και η απόσταση διανύσματος της κατολισθείσας μάζας υπολογίζονται συνήθως μέσω του προσδιορισμού της γωνίας τριβής ή «γωνία σκίασης» **φ_a**. Τα πιο περιεκτικά δεδομένα ανήκουν στον COROMINAS 1996. Στην *Εικόνα 2.1* φαίνονται παραδείγματα κατολισθήσεων σε σχέση με την γωνία τριβής.

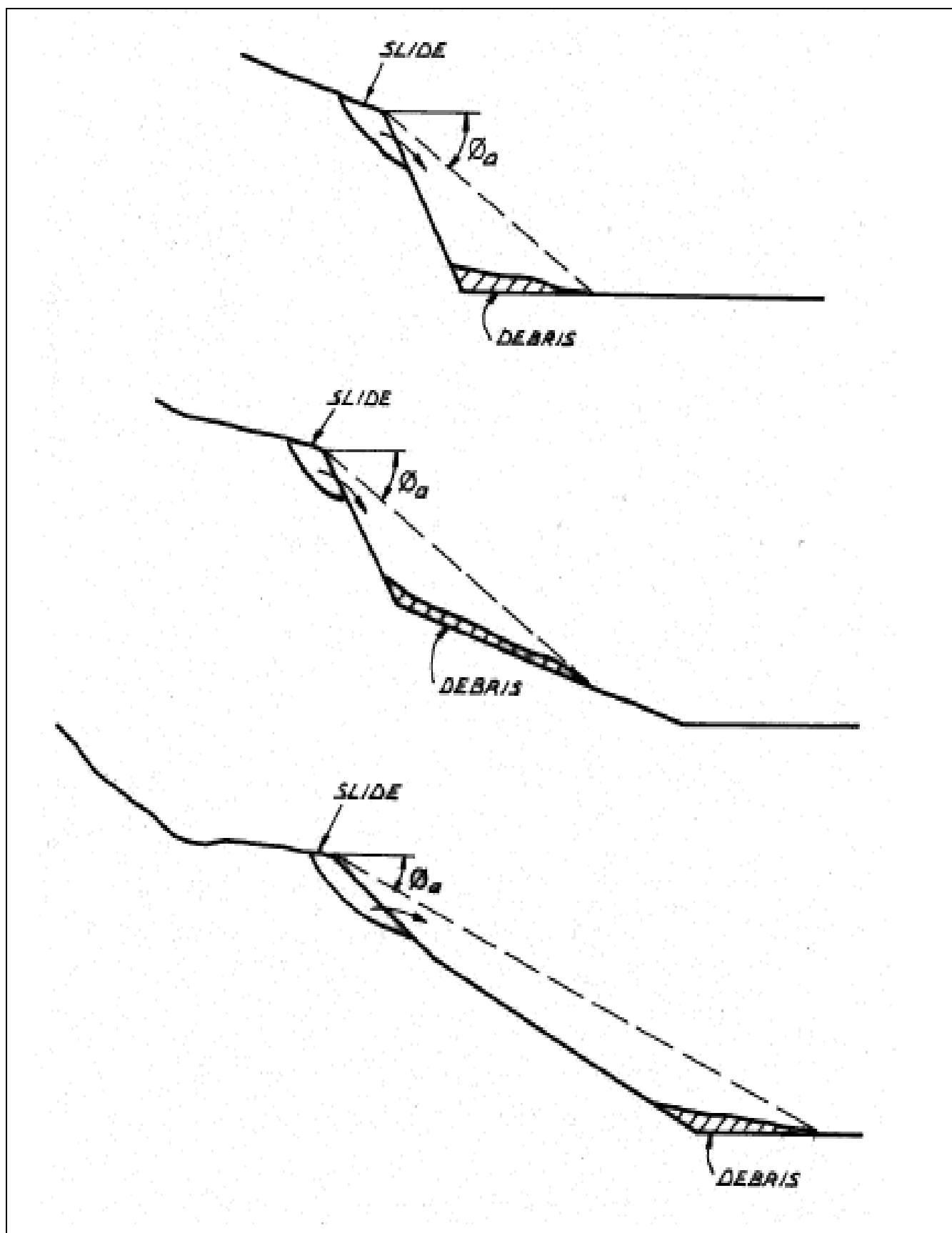
Λίγο πιο γενικά, μπορούμε να δηλώσουμε πως για απόσταση διανύσματος 20 - 30 m βρίσκουμε πιθανότητα 60% ενώ για μικρότερες ή μεγαλύτερες αποστάσεις το ποσοστό είναι μικρότερο (~20%).

Στην *Εικόνα 2.2* παρατηρούμε ένα διάγραμμα συναρτήσεως του $\tan\phi_a$ και του όγκου των κατολισθήσεων με δεδομένα του FINLAY 1996, και την περιοχή η οποία οριοθετείται από τον COROMINAS 1996.

Μέσω της παρατήρησης από εγκατεστημένα όργανα, μπορούμε να υπολογίσουμε την μετακίνηση (αργή ή ραγδαία) μαζών. Μέσω της πληροφορίας αυτήν και την πληροφορία του *Πίνακα 2.1* μπορούμε να προβούμε στις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιηθούν.

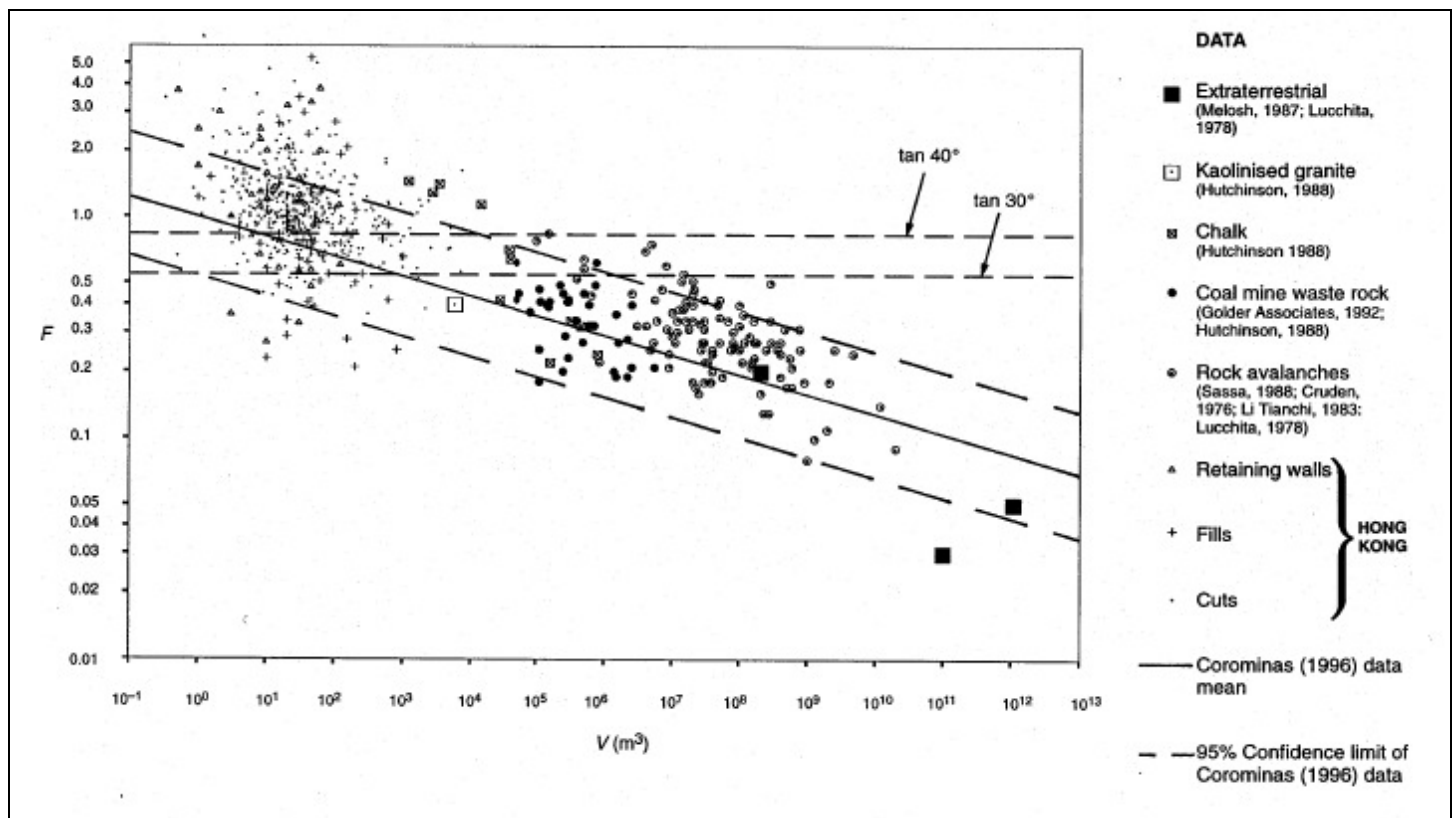
Πίνακας 2.1 Πιθανότητες της απόστασης διανύσματος των κατολισθήσεων. (*Australian geomechanics society*)

Travel Distance	Probability
<20m	0.2
20m – 30m	0.6
30m – 40m	<u>0.2</u>
	<u>1.0</u>



Εικόνα 2.1 Παραδείγματα υπολογισμού της γωνίας τριβής ϕ_a . (Finlay et al. 1996)

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ**



Εικόνα 2.2 Γράφημα συναρτήσεως του $\log F - \log V$ για διάφορα γεγονότα κατολισθήσεων, όπου $\log F = \tan \phi$ και $\log V =$ όγκος κατολισθήσεων. (Finlay et al. 1996)

Πίνακας 2.2 Προτεινόμενες ταχύτητες κατολισθήσεων και η σημασία τους σε πιθανή καταστροφή. (Cruden & Varnes 1996)

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	5×10^3	5 m/sec	Catastrophe of major violence; buildings destroyed by impact of displaced material; many deaths; escape unlikely
6	Very Rapid	5×10^1	3 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/hr	Escape evacuation possible; structures, possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	5×10^{-7}	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
	Extremely SLOW			Imperceptible without instruments; construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS

2.2. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων LSI (Landslide Susceptibility Index)

Σύμφωνα με τους ερευνητές Σαμπατακάκης, Κούκης, Βασιλιάδης, Λάινας (2012) μπορούμε να υπολογίσουμε τον δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων LSI (Landslide Susceptibility Index) τον οποίο παίρνουμε από τον τύπο:

$$LSI (\%) = \frac{\sum (WC \times LRF)}{\text{Max} (WC \times LRF)} \times 100$$

Όπου **WC** (Weighting coefficient) είναι ο παράγοντας στάθμισης από τους 10 προγνωστικούς παράγοντες κατολίσθησης τους οποίους παίρνουμε από τον Πίνακα 2.3 και **LRF** (Landslide Relative Frequency) είναι η σχετική συχνότητας κατολισθήσεων.

Σημειώνεται ότι **Max(WCxLRF)=0.259**

Πίνακας 2.3 Οι δέκα παράγοντες κατολισθήσεων με τους συντελεστές τους 1 (Factor 1) και τους τελικούς παράγοντες στάθμισης, μετά από περιστροφή του Varimax. (Vassiliades 2010)

Predictor		Factor 1 loadings	Positive coefficient (addition +1)	Final weighting coefficient (reduction to unity)
1	Rainfall	0.76488	1.76488	0.14074
2	Climate	0.69254	1.69254	0.13497
3	Elevation	0.63083	1.63083	0.13005
4	Land use	0.45496	1.45496	0.11602
5	Lithology	0.37401	1.37401	0.10957
6	Drainage density	0.32102	1.32102	0.10534
7	Seismic hazard	0.28003	1.28003	0.10207
8	Road network density	-0.18445	0.81555	0.06503
9	Slope angle	-0.36588	0.63413	0.05056
10	Population density	-0.42829	0.57172	0.04559
	Total		12.53967	1.00000

Ο παράγοντας LSI κυμαίνεται μεταξύ 6 κλάσεων οι οποίες είναι οι εξής:

- Πολύ χαμηλή ευαισθησία (>40 – 50 %)
- Χαμηλή ευαισθησία (>50 – 60 %)
- Μέση ευαισθησία (>60 – 70 %)
- Υψηλή ευαισθησία (>70 – 80 %)
- Πολύ υψηλή ευαισθησία (>80 – 90 %)
- Εξαιρετικά υψηλή ευαισθησία (> 90 – 100 %)

Όσον αφορά την Σχετική Συχνότητα Κατολισθήσεων RLF μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον τύπο:

$$LRF = \frac{\left(\frac{LF}{CA}\right)}{\sum \left(\frac{LF}{CA}\right)}$$

Όπου **LF** (Landslide Frequency) είναι η συχνότητα κατολισθήσεων καταγεγραμμένων περιστατικών μέσα στην επιμέρους περιοχή μελέτης (με μέγιστα καταγεγραμμένα περιστατικά, τα 100) και **CA** (Class Area) είναι το εμβαδόν την περιοχής μελέτης.

2.3. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τον παράγοντα βεβαιότητας CF (Certainty Factor).

Σύμφωνα με τους ερευνητές *Shortliffe and Buchanan (1975)*, με αυτό το μοντέλο μπορούμε να προσδιορίσουμε την επιδεκτικότητα κατολίσθησης για μια περιοχή μελέτης με βάση τον παράγοντα βεβαιότητας (Certainty Factor). Για τον υπολογισμό του παράγοντα βεβαιότητας λαμβάνουμε υπόψη τους προκαθορισμένους παράγοντες που ωθούν προς ολίσθηση (λιθολογία, κλίση πρανούς, απόσταση από ρήγμα κ.τ.λ.) και τον υπολογίζουμε για κάθε έναν παράγοντα ξεχωριστά. Ο παράγοντας βεβαιότητας υπολογίζεται με τον τύπο:

$$CF = \begin{cases} \frac{PP_a - PP_s}{PP_a(1 - PP_s)} & \text{if } PP_a \geq PP_s \\ \frac{PP_a - PP_s}{PP_s(1 - PP_a)} & \text{if } PP_a < PP_s \end{cases}$$

Για κάθε έναν παράγοντα υπολογίζουμε το εμβαδόν που αντιπροσωπεύει στην περιοχή μελέτης και μετράμε την κατολισθείσα έκταση μέσα στον προαναφερθέν εμβαδόν.

Συνεπώς, όπου **pp_a** είναι ο λόγος που έχει ως αριθμητή το αντιπροσωπευτικό εμβαδόν του κάθε παράγοντα και ως παρονομαστή την εκάστοτε κατολισθείσα έκταση.

Όπου **pp_s**, ο λόγος μεταξύ της συνολικής κατολισθείσας έκτασης στην περιοχή μελέτης και του εμβαδού της περιοχής μελέτης.

Οι παράγοντες που ωθούν προς ολίσθηση είναι οι εξής:

- Λιθολογία
- Απόσταση από κύρια ρήγματα (km)
- Γωνία κλίσης πρανούς (°)
- Προσανατολισμός πρανούς
- Καμπυλότητα πρανούς
- Υψόμετρο (m)

Έπειτα οι υπολογισμένοι παράγοντες βεβαιότητας, για κάθε παράγοντα, συνδυάζονται ανά δύο με βάση τον τύπο (*Chung and Fabbri, 1993*):

$$Z_{cf} = \begin{cases} x + y - xy & \text{if } x, y \geq 0 \\ \frac{x + y}{1 - \min(|x|, |y|)} & \text{if } x, y \geq \text{opposite sign} \\ x + y + xy & \text{if } x, y \leq 0 \end{cases}$$

Όπου x και y είναι οι 2 παράγοντες βεβαιότητας.

Ο παράγοντας βεβαιότητας παίρνει τιμές από -1 μέχρι 1. Όταν εμφανίζεται κοντά στο -1 τότε έχουμε μειωμένη βεβαιότητα όσον αφορά την κατολίσθηση ενώ παίρνει θετικές τιμές κοντά στο 1 τότε έχουμε αυξημένη βεβαιότητα. Όταν ο παράγοντας βεβαιότητας κυμαίνεται κοντά στο 0 τότε αυτό σημαίνει ότι το pp_a είναι περίπου ίσο με το pp_s και δεν μπορούμε να έχουμε κάποια εκτίμηση όσον αφορά την βεβαιότητα.

2.4. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων όσον αφορά δεβριτικές ροές.

Ο T. Takahasi (2009,) προτείνει 3 τύπους μηχανικών αιτιών από τις οποίες μπορούν να προκληθούν δεβριτικές ροές:

- Η δεβριτική ροή προκαλείται από αραίωση του υλικού λόγω περίσσειας νερού ή από το υλικό της κατολίσθησης το οποίο είναι τόσο αραιωμένο ώστε να προσεγγίζει το υγρό και γι' αυτόν τον λόγο η πυκνότητα του υλικού φτάνει σε τέτοιο σημείο ώστε να προκληθεί η ροή του.
- Ένα κατολισθθέν τέμαχος μετατρέπεται σε δεβριτική ροή την ώρα της κίνησης λόγω του νερού που περιέχει ή του νερού που δέχεται από το περιβάλλον.
- Δεβριτική ροή που προκαλείται από την κατάρρευση ενός δεβριτικού φράγματος.

Οι παρακάτω τύποι αφορούν μόνο τον πρώτο τύπο μηχανικής αιτίας για την οποία έχουμε δεβριτική ροή.

Τύπος 1.

$$\tan \theta_2 = \frac{\Lambda \tan \phi + H_*(1 + \Lambda^2 \tan^2 \phi - H_*^2)^{1/2}}{1 - H_*^2}$$

Τύπος 2.

$$\tan \theta = \frac{F_0}{F_2} \left\{ 1 + \frac{c}{gaF_0} \frac{(1 - c^2 g^{-2} a^{-2} F_2^{-2} + F_0^2 F_2^{-2})^{1/2}}{(1 - c^2 g^{-2} a^{-2} F_2^{-2})} \right\}$$

Τύπος 3.

$$\tan \theta_1 = \frac{F_0}{F_1} \left\{ 1 + \frac{c}{\kappa g h_0 F_0} \right. \\ \left. \times \frac{(1 - c^2 g^{-2} \kappa^{-2} h_0^{-2} F_1^{-2} + F_0^2 F_1^{-2})^{1/2}}{(1 - c^2 g^{-2} \kappa^{-2} h_0^{-2} F_1^{-2})} \right\}$$

Τύπος 4.

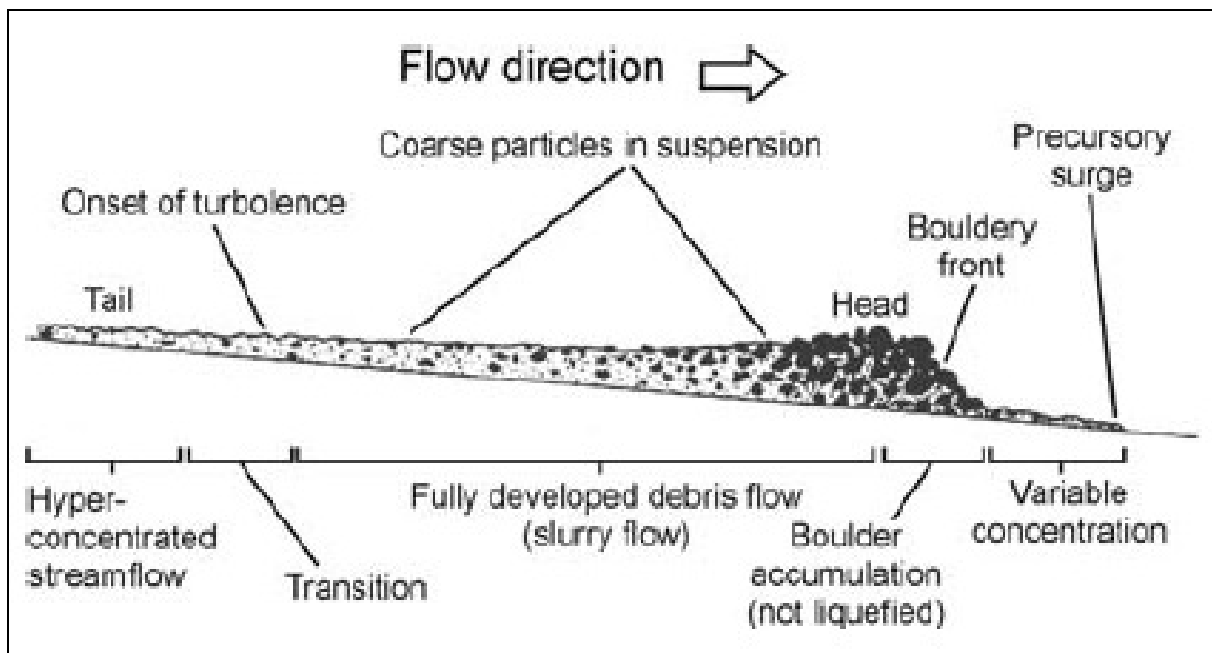
$$\left. \begin{aligned} \Lambda &= \frac{C_*(\sigma - \rho)}{C_*(\sigma - \rho) + \rho}, \quad H_* = \frac{c}{gD\{C_*(\sigma - \rho) + \rho\}} \\ F_0 &= C_*(\sigma - \rho) \tan \phi \\ F_1 &= C_*(\sigma - \rho) + \rho(1 + \kappa^{-1}) \\ F_2 &= C_*(\sigma - \rho) + \rho(1 + h_0 a^{-1}) \end{aligned} \right\}$$

Όπου C^* είναι η συγκέντρωση κόκκων του ενός στατικού στρώματος, ρ η πυκνότητα του υγρού, σ η πυκνότητα των κόκκων, h_0 τον βάθος της επιφανειακής ροής, a το πάχος του στρώματος που αρχίζει να ολισθαίνει, κ ο αριθμητικός παράγοντας κοντά στη μονάδα, ϕ η εσωτερική γωνία τριβής, c η συνεκτικότητα του στρώματος και g η επιτάχυνση της βαρύτητας.

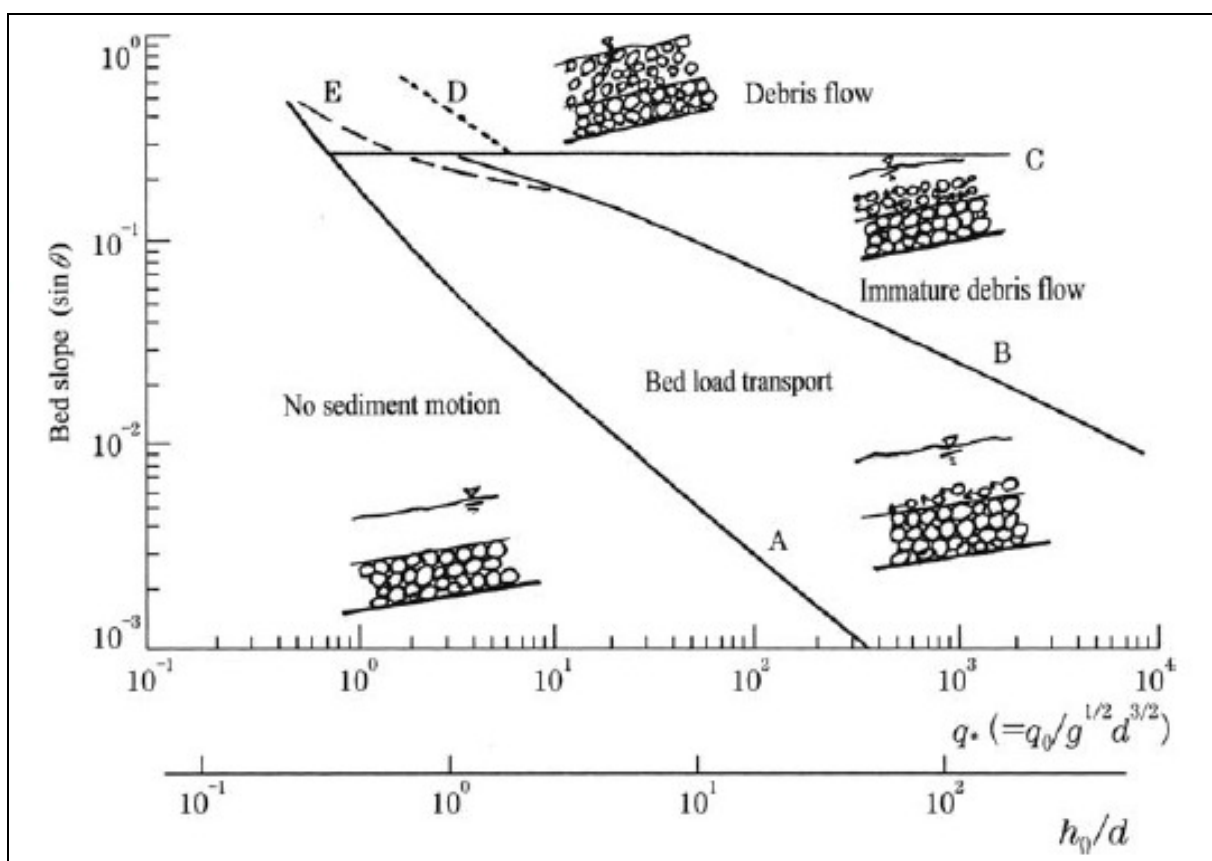
Μέσω του *τύπου 1* μπορούμε να υπολογίσουμε την γωνία θ_2 , ενός μέγιστου απότομου πρανούς, το οποίο είναι σταθερό και του οποίου η επιφάνεια συμπίπτει με την επιφάνεια στάθμης των διαρροών νερού.

Μέσω του *τύπου 2* μπορούμε να βρούμε την σχέση που συνδέει την γωνία κλίσης του πρανούς, θ , με το πάχος του στρώματος που ολισθαίνει.

Μέσω του *τύπου 3* μπορούμε να υπολογίσουμε την ελάχιστη γωνία κλίσης του πρανούς, θ_1 , για την οποία υφίσταται δεβριτική ροή και είναι σταθερή όταν τα στρώματα είναι μη συνεκτικά.



Εικόνα 2.3 Σχηματική απεικόνιση δεβριτικής ροής. (Pierson 1986)



Εικόνα 2.4 Κριτήρια για την πραγματοποίηση δεβριτικής ροής. (Arumanini et al. 2003)

2.5. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων όσον αφορά τους μηχανισμούς ραγδαίων κατολισθήσεων.

Πίνακας 2.4 Κλίμακα για την ταχύτητα των κατολισθήσεων. (Cruden & Varnes 1996)

Velocity class	Description	Velocity (mm s ⁻¹)	Typical velocity	Human response
7	Extremely rapid	5×10^3	5 m s ⁻¹	Nil
6	Very rapid	5×10^1	3 m min ⁻¹	Nil
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m h ⁻¹	Evacuation
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m month ⁻¹	Evacuation
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m yr ⁻¹	Maintenance
2	Very slow	5×10^{-7}	16 mm yr ⁻¹	Maintenance
1	Extremely slow			Nil

Σύμφωνα με τον *O. Hungr (2007)*, και ως προς τις κατολισθήσεις τύπου ροής, ανάλογα τον υλικό και την υγρασία του, η κατολίσθηση θα πραγματοποιηθεί με διαφορετική ταχύτητα. Έτσι ο παρακάτω πίνακας περιγράφει το υλικό και την κατάστασή του με τελικό αποτέλεσμα την ταχύτητα κατολίσθησής του.

Πίνακας 2.5 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων τύπου ροής. (Hungr et al. 2001)

Material	Water content ^a	Special condition	Velocity	Name
Silt, sand, gravel, debris (talus)	Dry, moist or saturated	- No excess pore-pressure - Limited volume	Various	NON-LIQUEFIED SAND (SILT, GRAVEL, DEBRIS) FLOW
Silt, sand, debris, weak rock ^b	Saturated at rupture surface	- Liquefiable material^c - Constant water content	Ex. rapid	SAND (SILT, DEBRIS, ROCK) FLOW SLIDE
Sensitive clay	At or above liquid limit	- Liquefaction in situ^c - Constant water content^d	Ex. rapid	CLAY FLOW SLIDE
Peat	Saturated	Excess pore-pressure	Slow to very rapid	PEAT FLOW
Clay or earth	Near plastic limit	- Slow movements - Plug flow (sliding)	<Rapid	EARTH FLOW
Debris	Saturated	- Established channel^e - Increased water content^d	Ex. rapid	DEBRIS FLOW
Mud	At or above liquid limit	Fine-grained debris flow	>Very rapid	MUD FLOW
Debris	Free water present	Flood^f	Ex. rapid	DEBRIS FLOOD
Debris	Partly or fully saturated	- No established channel^e - Relatively shallow, steep source	Ex. rapid	DEBRIS AVALANCHE
Fragmented rock	Various, mainly dry	- Intact rock at source - Large volume^g	Ex. rapid	ROCK AVALANCHE

2.6. Σχηματικά μοντέλα αστογιών ανάλογα με τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας (Density Index) I_d .

Σύμφωνα με τους Spence & Guymer (1997) ανάλογα με τον σχετικό παράγοντα της πυκνότητας των πετρωμάτων τα διακρίνουμε στις εξής κατηγορίες:

- Εξαιρετικά χαλαρά: $I_d < 0$
- Πολύ χαλαρά: $0 < I_d < 0.15$
- Χαλαρά: $0.15 < I_d < 0.35$
- Μεσαία: $0.35 < I_d < 0.65$
- Πυκνά: $0.65 < I_d < 0.85$
- Πολύ πυκνά: $0.85 < I_d < 1$

Όπου $I_d = (e_{\max} - e) / (e_{\max} - e_{\min})$

Με $e_{\max}$ και $e_{\min}$ είναι ο μέγιστος και ο ελάχιστος λόγος κενών ξηρής άμμου και e είναι ο αρχικός λόγος των κενών.

Στην Εικόνα 2.5 οι κατολισθήσεις κατηγοριοποιούνται σε 4 τύπους (A, B, C, D) ανάλογα με τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας που τους διακρίνει).

Sample	Failure mode	Wetting	Precursory slides	Major failure	Successive motion
S7	Type A $I_d \leq 0.01$ Retrogressive sliding	Initial surface Wetting front Visible normal displacement	Ball Slow retrogressive toe sliding	Sudden multiple sliding Δs	Place of Ball before sprinkling Very shallow flowslide
S7	Type B $0.01 < I_d \leq 0.49$ Retrogressive sliding	Initial surface Wetting front No visible normal displacement	Slow retrogressive toe sliding	Slow retrogressive sliding Δs	Very shallow flowslide
S8 M10 M20 M30	Type C $-0.14 < I_d \leq 0.30$ Flowsliding	Initial surface Wetting front With ($I_d < 0$)/without ($I_d \geq 0$) visible normal displacement	Potential shear zone Shear displacement Slow retrogressive toe sliding with visible deformation as a whole	Flowsliding with relative motion between soil layers Δs	Capacity of linear displacement transducer: 1 m Slow sliding 1 m
S8	Type D $0.30 < I_d \leq 0.46$ Flowsliding	Initial surface Wetting front Without visible normal displacement	Potential shear zone Shear displacement Slow retrogressive toe sliding without visible deformation as a whole	Retrogressive sliding followed by movements with relative motion between soil layers Δs	Capacity of linear displacement transducer: 1 m Slow sliding 1 m

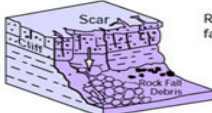
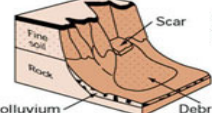
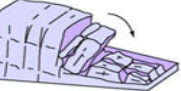
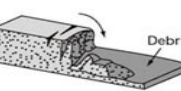
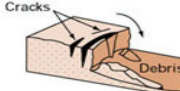
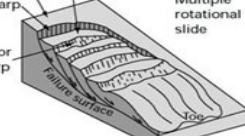
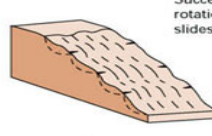
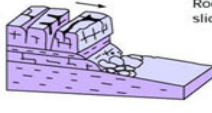
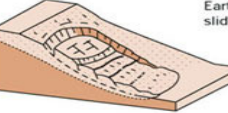
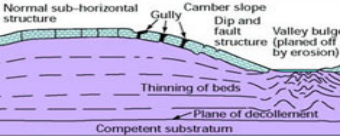
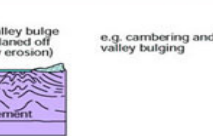
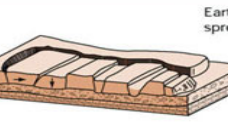
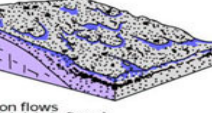
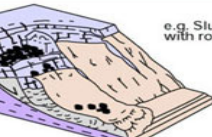
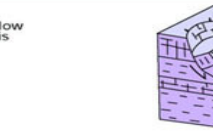
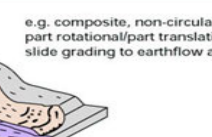
Εικόνα 2.5 Συνοπτικά οι τύποι κατολισθήσεων με βάση τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας.
(Gonghui Wang, Kyoji Sassa 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΕΩΝ – ΜΟΝΤΕΛΑ

Υπάρχουν 5 τύποι κατολισθήσεων:

- Πτώσεις (Falls)
- Ανατροπές (Toppling)
- Ολισθήσεις (Slides)
- Εξαπλώσεις (Spreads)
- Ροές (Flows)
- [Σύνθεση αυτών (Complex)]

Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS				
		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES				
		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	Rotational			
	Translational (Planar)			
SPREADS				
		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS				
		Solifluction flows (Periglacial debris flows)	Debris flow	Earth flow (mud flow)
COMPLEX				
		e.g. Slump-earthflow with rockfall debris	e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe	

Εικόνα 3.1 Τύποι κατολισθήσεων (Varnes 1978, modified by Cruden & Varnes 1996)

Για το καθορισμό των παραμέτρων της καταστροφής από κατολισθήσεις εντάσσουμε έννοιες όπως η *επιδεκτικότητα* της περιοχής μελέτης για κατολισθήσεις, η *συχνότητα* με την οποία πραγματοποιούνται και το *ρίσκο* που μπορούμε να λάβουμε για αυτές τις περιοχές. Οι έννοιες αυτές, οι οποίες μεταφράζονται σε αριθμούς, υποβάλλονται επάνω στον γεωλογικό χάρτη και ζωνοποιούνται με αποτέλεσμα τον προσδιορισμό των περιοχών οι οποίες είναι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις.

Η βαθμονόμηση των παραμέτρων γίνεται με βάση την μορφολογία, την γεωλογία, τις γεωτεχνικές ιδιότητες των βράχων ή του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες, την βλάστηση και τις ανθρωπογενείς διαδικασίες που έχει υποστεί μία περιοχή. Φυσικά, αυτές οι παράμετροι αλλάζουν ανάλογα τον τύπο της κατολίσθησης (πτώσεις, ανατροπές κ.τ.λ.).

3.1. Μοντέλο όσον αφορά την γενική χαρτογράφηση κατολισθήσεων

Οι διάφοροι «οδηγοί» (guidelines) για την μοντελοποίηση των κατολισθήσεων προτείνουν 3 τύπους χαρτογράφησης και ζώνωσης οι οποίοι είναι, *L. Cascini, 2008*:

- **Χαρτογράφηση απογραφής κατολισθήσεων (Landslide inventory mapping):**
Σε αυτήν την περίπτωση προσδιορίζουμε την τοποθεσία των κατολισθήσεων, τον τύπο τους, το πλήθος τους, την θέση τους στον χρόνο και άλλα χαρακτηριστικά που μπορούμε να μετρήσουμε και να επισημάνουμε. Είναι η βασικότερη χαρτογράφηση και πρέπει να γίνει σε μεγαλύτερη κλίμακα από την ζώνωση ευαισθησίας και την ζώνωση κινδύνου.
- **Ζώνωση ευαισθησίας κατολισθήσεων (Landslide susceptibility zoning):**
Η ζώνωση αυτή εμπεριέχει την ταξινόμηση, το πλήθος και την χωρική κατανομή των υπαρχόντων και πιθανών κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης. Ακόμη μπορεί να περιέχει την ένταση, την ταχύτητα και απόσταση που μπορεί να διανύσουν οι κατολισθήσεις. Η ζώνωση των συγκεκριμένων παραμέτρων βοηθάει σε μεγάλο βαθμό την απογραφή παλιών κατολισθήσεων και την εκτίμηση για μελλοντικές κατολισθήσεις στην περιοχή μελέτης όμως σε καμία περίπτωση δεν βοηθάει στην πρόβλεψη της συχνότητας των κατολισθήσεων στην περιοχή.
- **Ζώνωση κινδύνου κατολισθήσεων (Landslide hazard zoning):**
Η ζώνωση αυτή αναφέρεται στον προσδιορισμό της συχνότητας των πιθανών κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης (ετήσια πιθανότητα). Ο κίνδυνος εκφράζεται ως η συχνότητα ενός συγκεκριμένου τύπου κατολισθήσεων ενός ορισμένου πλήθους, ή η συχνότητα κατολισθήσεων συγκεκριμένου τύπου, πλήθους και ταχύτητας, ή η συχνότητα κατολισθήσεων συγκεκριμένης έντασης, όπου η ένταση μετράται ως κινητική ενέργεια. Η ένταση είναι πιο εύκολο να μετρηθεί για καταπτώσεις ή δεβριτικές ροές. Η ζώνωση αυτή πρέπει να γίνει για κάθε τύπο πιθανής κατολίσθησης που μπορεί να υπάρξει στην περιοχή μελέτης.

Ο *L. Cascini* προτείνει 3 μεθόδους χαρτογράφησης κατολισθήσεων:

- **Βασική.**

1. **Ως προς την απογραφή υπαρχόντων και πιθανών κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε εμπειρικά μοντέλα και έχει σαν δεδομένα την τοπογραφία, την απογραφή κατολισθήσεων, την γεωλογία και την γεωμορφολογία.
2. **Ως προς την εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που διανύουν οι κατολισθήσεις:** Βασίζεται σε εμπειρικά μοντέλα και έχει σαν δεδομένα ιστορικές πληροφορίες για κατολισθήσεις, την τοπογραφία, την γεωλογία και την γεωμορφολογία.
3. **Ως προς την εκτίμηση της συχνότητας κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε εμπειρικά μοντέλα και έχει σαν δεδομένα την γεωμορφολογία, αεροφωτογραφίες και πληροφορίες από περιστατικά κατολισθήσεων.

- **Ενδιάμεση.**

1. **Ως προς την απογραφή υπαρχόντων και πιθανών κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου συν δεδομένα από κατατάξεις εδάφους και πετρωμάτων.
2. **Ως προς την εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που διανύουν οι κατολισθήσεις:** Βασίζεται σε εμπειρικά μοντέλα και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου συν δεδομένα από μηχανισμούς κατολισθήσεων και κατατάξεις εδάφους και πετρωμάτων.
3. **Ως προς την εκτίμηση της συχνότητας κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου συν δεδομένα από δορυφορικές φωτογραφίες και παράγοντες ενεργοποίησης κατολισθήσεων.

- **Εξειδικευμένη.**

1. **Ως προς την απογραφή υπαρχόντων και πιθανών κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου, της ενδιάμεσης συν υδρογεωλογικά και γεωτεχνικά δεδομένα.
2. **Ως προς την εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που διανύουν οι κατολισθήσεις:** Βασίζεται σε εμπειρικά μοντέλα και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου, της ενδιάμεσης συν δεδομένα από Digital Terrain Models (DTM) και γεωτεχνικά δεδομένα.
3. **Ως προς την εκτίμηση της συχνότητας κατολισθήσεων:** Βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις και έχει σαν δεδομένα τα δεδομένα της βασικής μεθόδου, της ενδιάμεσης συν γεωτεχνικά δεδομένα.

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ**

Οι Πίνακας 3.1, Πίνακας 3.2 και Πίνακας 3.3 περιγράφουν συνοπτικά τις προαναφερθέντες μεθόδους χαρτογράφησης κατολισθήσεων.

Πίνακας 3.1 Μέθοδοι για την απογραφή υπαρχόντων κατολισθήσεων και χαρακτηρισμό πιθανών κατολισθήσεων. (Cascini 2008)

Method	Input Procedure	Topography, landslide inventory, geology, geomorphology	Adding soil classification and depth, terrain units	Adding hydrogeology and geotechnics
Basic	Heuristic or empirical models	*		
Intermediate	Statistical analyses	*	*	
Sophisticated	Deterministic (physically based or geotechnical) models	*	*	*

Πίνακας 3.2 Μέθοδοι για την εκτίμηση της ταχύτητας και της απόστασης που μπορούν να διανύσουν οι κατολισθήσεις. (Cascini 2008)

Method	Input Procedure	Historical info, topography, geology and geomorphology	Adding likely landslide mechanism and soil classification	Adding DTM and geotechnics
Basic	Heuristic or empirical models	*		
Intermediate	Empirical models or simplified analyses	*	*	
Sophisticated	Deterministic	*	*	*

Πίνακας 3.3 Μέθοδοι για την εκτίμηση της συχνότητας των κατολισθήσεων. (Cascini 2008)

Method	Input Procedure	Geomorphology, aerial photographs, incident data	Adding proxy data, satellite images, triggering factors, etc.	Adding geotechnics
Basic	Heuristic	*		
Intermediate	Statistical analysis	*	*	
Sophisticated	Statistical or deterministic	*	*	*

3.2. Μοντέλο όσον αφορά την κλίμακα του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Μία σημαντική παράμετρος που δεν έχει σχέση αυτή καθαυτή με την γεωλογία της περιοχής μελέτης, είναι η κλίμακα του χάρτη στον οποίο θα αποτυπώσουμε την γεωλογική πληροφορία.

Ο Πίνακας 3.4 (Robin Fell, Jordi Corominas et al., 2008) αντιστοιχεί την κλίμακα που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε με την έκταση της περιοχής μελέτης και την γεωλογική πληροφορία που θα αποτυπώσουμε.

- Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι εάν ο γεωμορφολογικός ή ο τοπογραφικός χάρτης στον οποίο βασιζόμαστε έχει μία Α κλίμακα, ο χάρτης ζωνοποίησης κατολισθήσεων θα πρέπει να έχει μία κλίμακα Β μικρότερη του Α διότι με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζουμε την ποιότητα και την ευκρίνεια των ορίων των ζωνών που χαρτογραφήσαμε.
- Οι χάρτες μεγάλης και ειδικότερα λεπτομερειακής κλίμακας, είναι απαραίτητο εργαλείο για την κατασκευή τεχνικών έργων ή οικοδομημάτων που προβλέπεται να ανεγερθούν στην περιοχή μελέτης σε αντίθεση με του χάρτες μικρής ή μεσαίας κλίμακας που χρησιμεύουν απλώς στην ανάδειξη περιοχών κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Πίνακας 3.4 Κλίμακες χαρτών ζώνωσης κατολισθήσεων και οι εφαρμογές τους. (Robin Fell, Jordi Corominas et al., 2008)

Scale Description	Indicative Range of Scales	Examples of Zoning Application	Typical Area of Zoning
Small	< 1:100,000	Landslide inventory and susceptibility to inform policy makers and the general public	>10,000 square kilometres
Medium	1:100,000 to 1:25,000	Landslide inventory and susceptibility zoning for regional and local development or very large scale engineering projects. Preliminary level hazard mapping for local areas	1000 – 10,000 square kilometres
Large	1:25,000 to 1:5,000	Landslide inventory, susceptibility and hazard zoning for local areas Preliminary level risk zoning for local areas and the advanced stages of planning for large engineering structures, roads and railways	10-1000 square kilometres
Detailed	> 5,000	Intermediate and advanced level hazard and risk zoning for local and site specific areas and for the design phase of large engineering structures, roads and railways	Several hectares to tens of square kilometres

Οι κατολισθήσεις ως μεγάλο και ξεχωριστό κεφάλαιο στην τεχνική γεωλογία απασχολεί σε μεγάλο βαθμό τους γεωεπιστήμονες, για την εύρεση γεωλογικών μοντέλων ως προς την κίνηση, τη συχνότητα, την ταχύτητα, το ρίσκο, την πιθανότητα και την απόσταση που μπορούν να διανύσουν οι κατολισθήσεις.

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα ερευνητών καθώς και οι τρόποι χαρτογράφησης και ζωνοποίησης των κατολισθήσεων που οι ίδιοι προτείνουν.

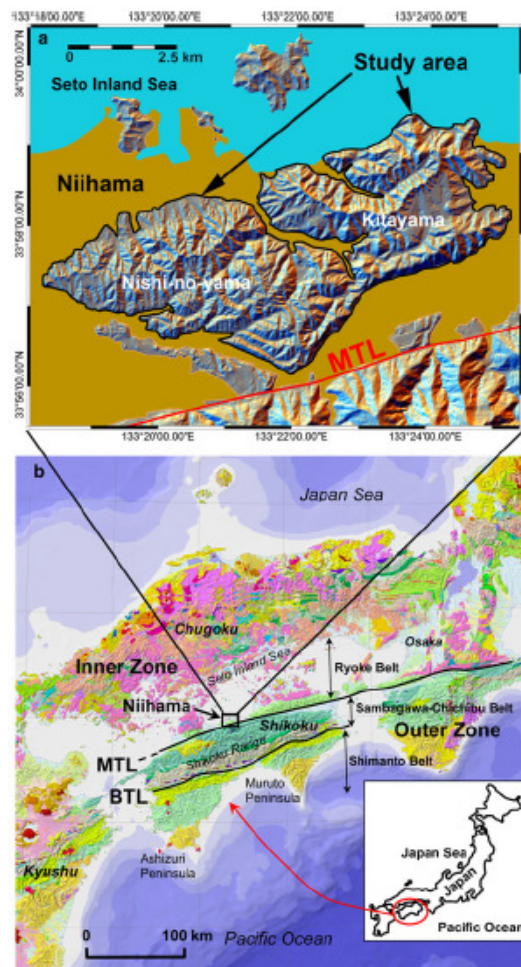
3.3. Παράδειγμα κατασκευής χάρτη ζώνωσης κατολισθήσεων με χρήση των μοντέλων InfoVal και Logistic regression και κατασκευή τελικού χάρτη με το μοντέλο Logistic regression.

Πηγή: Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe (2013) «Rainfall event-based landslide susceptibility zonation mapping»

Nat Hazards

Περιοχή μελέτης

Όπως φαίνεται και στην *Εικόνα 3.2*, ως περιοχή μελέτης αναφέρεται το Βόρειο τμήμα του νησιού Σικόκου, της Ιαπωνίας με γεωγραφικές συντεταγμένες $33^{\circ}55'48.57''\text{B}$ μέχρι $34^{\circ}00'37.06''\text{B}$ γεωγραφικό πλάτος και $133^{\circ}17'55.16''\text{A}$ μέχρι $133^{\circ}25'23.15''\text{A}$ γεωγραφικό μήκος. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 0 – 285 m.



Εικόνα 3.2 Περιοχή μελέτης (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

Γεωλογία περιοχής μελέτης

Η περιοχή αποτελείται από Μειοκαινικά ιζήματα (ψαμμίτες, σχιστόλιθους και κροκαλοπαγή), μεταμορφωμένα πετρώματα (πελίτες, σχιστόλιθους και γνευσίους) και μία σειρά από πλουτωνίτες γρανιτικής σύστασης που ονομάζονται γρανίτες του Ryoke. Τα ιζήματα κλίνουν με 30-50° προς τα ανατολικά.

Κλίμα

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από κρύους χειμώνες και ζεστά καλοκαίρια με έντονες βροχοπτώσεις ειδικότερα τους μήνες Ιούλιο - Σεπτέμβριο. Τα ετήσια κατακρημνίσματα κυμαίνονται από 1,000 – 3,500 mm. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, η πλειοψηφία των κατολισθήσεων στα πρανή να προέρχεται από αυτόν τον παράγοντα κατά κύριο λόγο.

Μεθοδολογία

Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν είναι δύο. Το μοντέλο *InfoVal* και το μοντέλο *Logistic regression*.

- Το μοντέλο InfoVal (Information Value) προτάθηκε από τον van Westen το 1997 και αποτελεί μία μέθοδο ανάλυσης της επιδεκτικότητας κατολίσθησης μιας περιοχής εξετάζοντας την πιθανότητα ύπαρξης κατολίσθησης.

Χρησιμοποιούμε τον τύπο: $Wi = \log e \left\{ \frac{D_{clas}}{D_{map}} \right\}$ (1), στην γενικευμένη του

μορφή όπου: W_i είναι η βαρύτητα ενός συγκεκριμένου παράγοντα που επιδρά στην ολίσθηση, D_{clas} είναι η πυκνότητα κατολισθήσεων οφειλόμενη σε έναν συγκεκριμένο παράγοντα και D_{map} είναι το σύνολο της πυκνότητας κατολισθήσεων όλων των παραγόντων.

- Το μοντέλο Logistic regression αποτελεί μία μέθοδο υπολογισμού της σχέσης της ύπαρξης κατολισθήσεων με τους παράγοντες που επιδρούν σ' αυτές. (Guzzetti et al. 1999, Dai and Lee 2002, Ohlmacher and Davis 2003, Ayalew and Yamagishi 2005, Lee 2005, Zhu and Huang 2006, Chen and Wang 2007, Akgun and Bulut 2007, Chauhan et al. 2010, Bui et al. 2011, Dahal et al. 2012)

Υπολογίζουμε την γραμμική σχέση:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \quad (2)$$

Όπου y είναι ο γραμμικός συνδυασμός των ανεξάρτητων παραγόντων που επιδρούν στην κατολίσθηση, b_0 είναι η σταθερά της εξίσωσης, $x_1, x_2, \dots, x_n$ είναι οι ανεξάρτητοι παράγοντες και $b_1, b_2, \dots, b_n$ είναι οι συντελεστές των ανεξάρτητων παραγόντων.

Η σχέση που συνδέει την πιθανότητα ύπαρξης κατολισθήσεων (P) με τον γραμμικό συνδυασμό των ανεξάρτητων παραγόντων (y), δίνεται από την σχέση:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}} \quad (3).$$

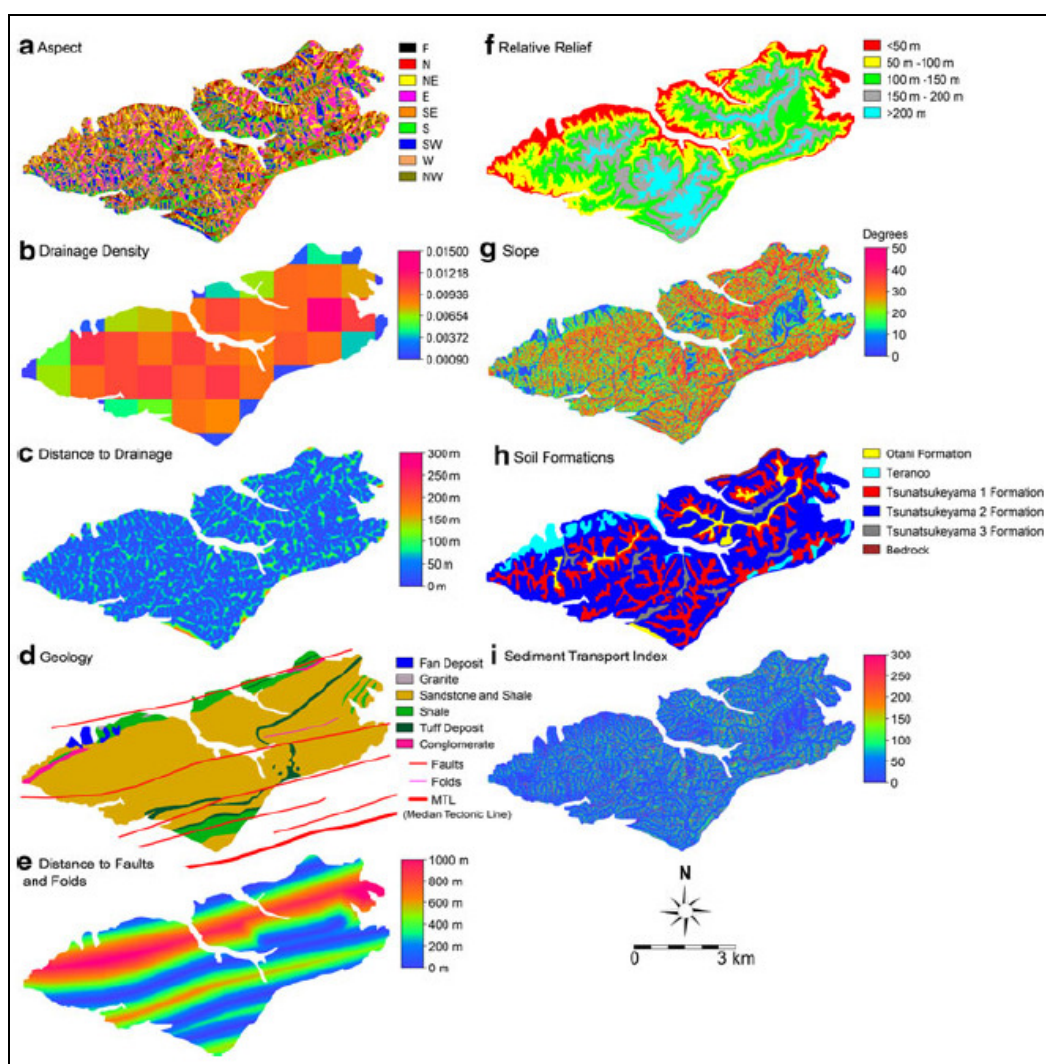
Συνδυάζοντας τους τύπους (2) και (3) έχουμε:

$$\log\left(\frac{P}{1-P}\right) = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + \dots + b_nx_n \quad (4).$$

Συλλογή δεδομένων και κατασκευή θεματικών χάρτων

Για τον υπολογισμό των μοντέλων InfoVal και Logistic regression χρησιμοποιήθηκαν θεματικοί χάρτες οι οποίοι δημιουργήθηκαν με χρήση GIS, όπως φαίνεται στην **Εικόνα 3.3**, τα δεδομένα που περιλαμβάνει ο κάθε χάρτης είναι τα εξής:

- Κατεύθυνση κλίσης επιφανειών (a)
- Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου (b)
- Απόσταση από ρέματα (c)
- Γεωλογία (d)
- Απόσταση από ρήγματα και πτυχές (e)
- Σχετικό υψόμετρο (f)
- Γωνία κλίσης πρανών (g)
- Εδαφικοί σχηματισμοί (h)
- Δείκτης μεταφοράς ιζημάτων (i)

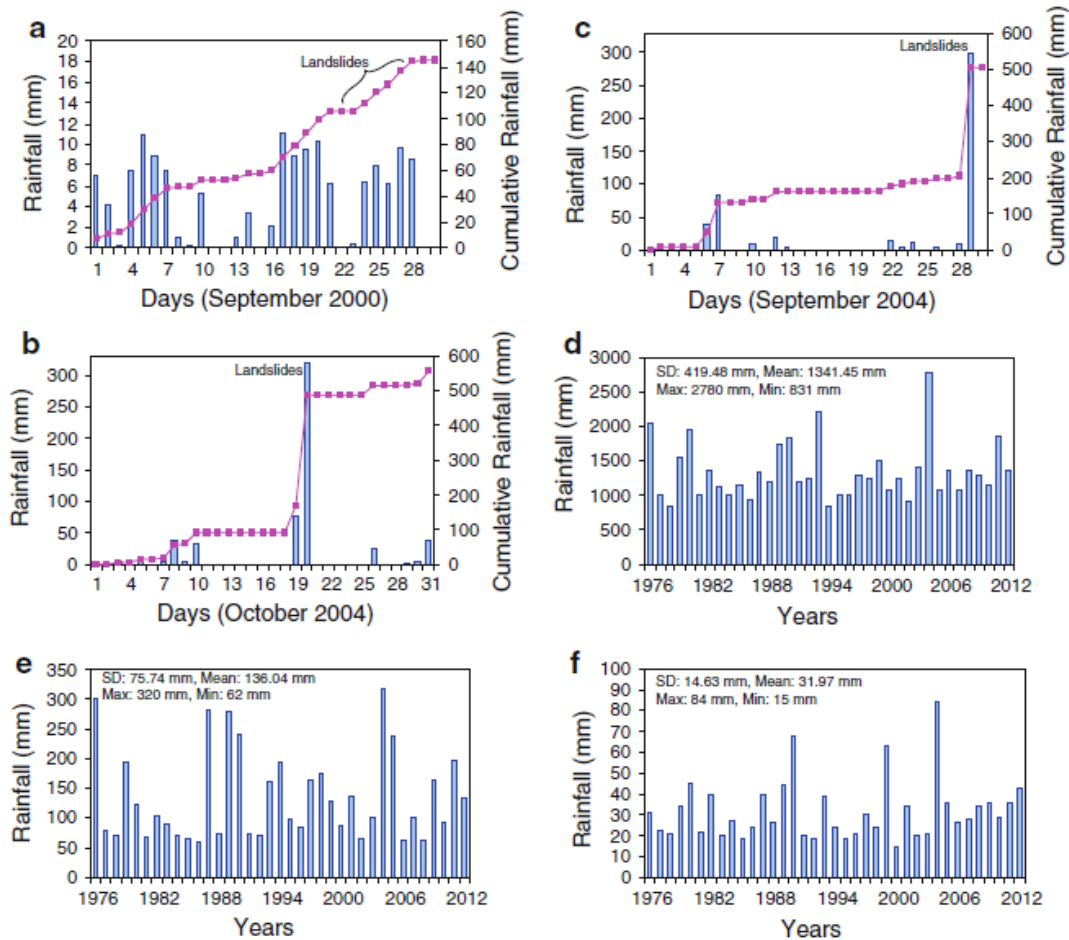


Εικόνα 3.3 Θεματικοί χάρτες κατασκευασμένοι με χρήση GIS. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

Όπως προαναφέρθηκε, οι ραγδαίες βροχοπτώσεις στην περιοχή αποτελούν τον κύριο παράγοντα κατολισθήσεων. Τα πιο δριμύα γεγονότα βροχοπτώσεων –τα οποία προκάλεσαν και τις περισσότερες κατολισθήσεις- συνέβησαν τον Σεπτέμβριο του 2000 με πολλές βροχές σε καθημερινή βάση των 8 – 12 mm, τον Σεπτέμβριο του 2004 με λίγες βροχές και μία με 280 mm και τον οκτώβριο του 2004 με λίγες βροχές και μία με >300 mm.

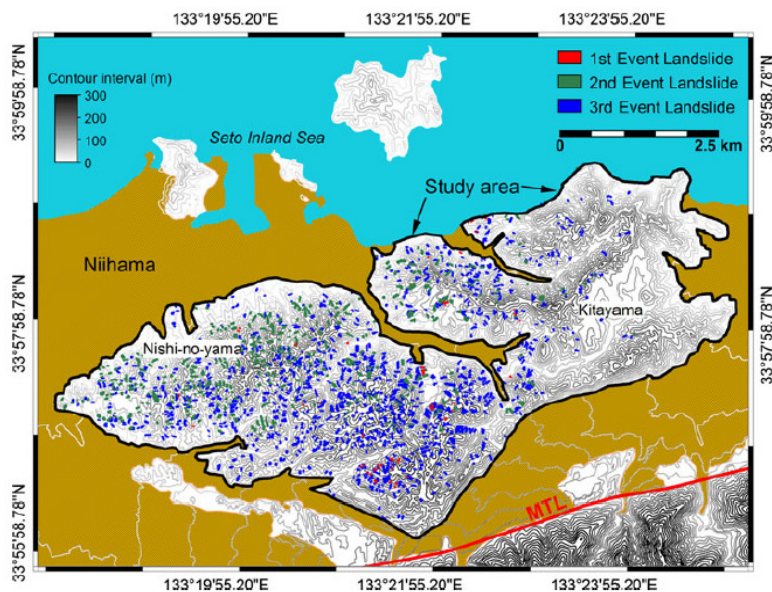
Για τον υπολογισμό της επιδεκτικότητας κατολίσθησης (LSI) μέσα από τα μοντέλα InfoVal και Logistic regression, χρησιμοποιήθηκαν τα περιστατικά α (Σεπτέμβριος 2000) και c (Σεπτέμβριος 2004). Κατ' αυτόν τον τρόπο κατασκευάστηκαν 4 χάρτες επιδεκτικότητας κατολίσθησης (συνδυασμός 2 μοντέλων και 2 περιπτώσεων). Έπειτα η ακρίβεια των δύο μοντέλων κρίθηκε με την μέθοδο ROC και το μοντέλο με την μεγαλύτερη ακρίβεια χρησιμοποιήθηκε, σε συνδυασμό με το τρίτο περιστατικό b (Οκτώβριος 2004), για την κατασκευή του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων.

Στην *Εικόνα 3.4* φαίνεται η σχέση των βροχοπτώσεων με τις κατολισθήσεις και τα ετήσια κατακρημνίσματα με χρονικό εύρος 1976 – 2012.

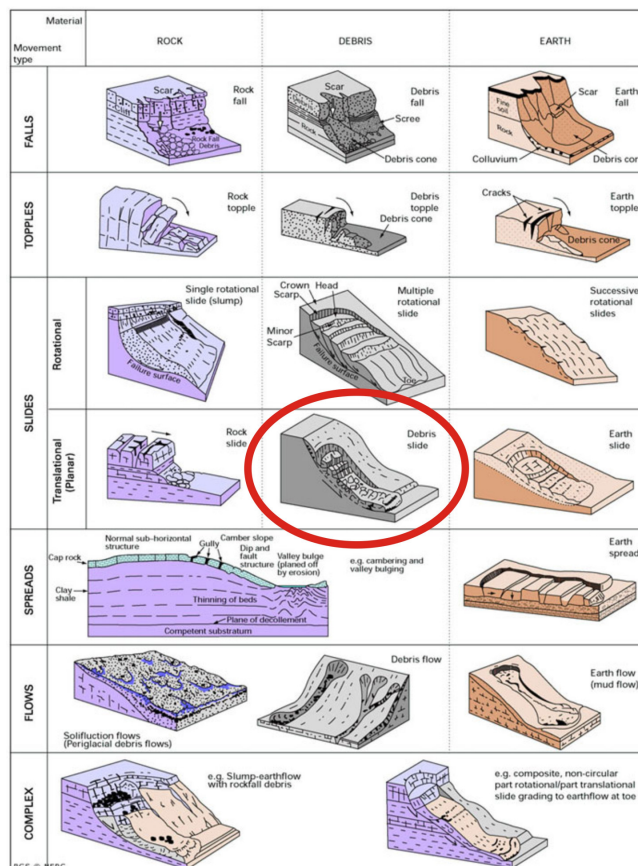


Εικόνα 3.4 α)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Σεπτέμβριο του 2000, β)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Σεπτέμβριο του 2004, γ)Περίπτωση βροχοπτώσεων για τον Οκτώβριο του 2004, δ)Ετήσια βροχόπτωση για την περιοχή Niihama, ε)Μέγιστη βροχόπτωση για 1 ώρα για την περιοχή Niihama για χρονική περίοδο 1976-2012, ς) Μέγιστη βροχόπτωση για 1 μέρα για την περιοχή Niihama για χρονική περίοδο 1976-2012. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

Ανάλυση και αποτελέσματα



Εικόνα 3.5 Κατανομή κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης λόγω των τριών περιστατικών βροχόπτωσης. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)



Εικόνα 3.6 Η επί τόπου παρατήρηση στην περιοχή μελέτης έδειξε ότι η πλειοψηφία των κατολισθήσεων ήταν ρηχές δεβριτικές ολισθήσεις, βάθους <2 m και όγκου από λίγες δεκάδες σε μερικές εκατοντάδες m³. (Varnes 1978, modified by Cruden & Varnes 1996)

Ακόμη, οι κατολισθήσεις παρατηρήθηκαν τόσο σε φυσικά πρηνή όσο και σε τεχνητά με μικρή ποσότητα κολλούβιων κορημάτων στην βάση τους.

Ανάλυση δεδομένων

Οι κάθε θεματικός χάρτης (Εικόνα 3.3) αναλύθηκε σε μέγεθος pixel 10*10 m και αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε για 100 τέτοια pixel. Τα δεδομένα που εξήχθησαν, εισήχθησαν στα παρακάτω μοντέλα με αποτέλεσμα την κατασκευή των χαρτών επιδεκτικότητας κατολίσθησης (Εικόνα 3.7)

- Μοντέλο InfoVal

Για τον υπολογισμό της βαρύτητας των παραγόντων για κάθε ένα pixel, ο τύπος (1) μετασχηματίστηκε σε αυτόν:

$$W_i = \log e \left(\frac{N_{pix_a}}{N_{pix_b}} \frac{S_{pix_a}}{S_{pix_b}} \right), (5)$$

Όπου W_i είναι η βαρύτητα ενός συγκεκριμένου παράγοντα που επιδρά στην ολίσθηση, N_{pix_a} είναι ο αριθμός των κατολισθέντων pixel για έναν θεματικό χάρτη και N_{pix_b} είναι ο συνολικός αριθμός των pixel.

Η συνολική βαρύτητα των παραγόντων για κάθε ένα pixel δίνεται από τον τύπο:

$$W_{ij} = W_{iSlope} + W_{iAspect} + W_{iDmDen} + W_{iDisDrain} + W_{iDisLinea} + W_{iGeology} + W_{iSoil} + W_{iRelief} + W_{iSTI}, (6)$$

όπου W_{iSlope} , $W_{iAspect}$, W_{iDmDen} , $W_{iDisDrain}$, $W_{iDisLinea}$, $W_{iGeology}$, W_{iSoil} , $W_{iRelief}$, W_{iSTI} είναι αντίστοιχα η κατανομή της βαρύτητας των παραγόντων: Κλίση πλαγιάς, Κατεύθυνση κλίσης πλαγιάς, Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου, Απόσταση από ρήγματα και πτυχές, Γεωλογία, Εδαφικοί σχηματισμοί, Σχετικό υψόμετρο, Παράγοντας μεταφοράς ιζημάτων.

Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, του παράγοντα πιθανής επιδεκτικότητας κατολίσθησης, με την μέθοδο ROC έδωσε τα εξής αποτελέσματα (Σχήμα 6):

- Για την πρώτη περίπτωση βροχοπτώσεων: 0.826
- Για την δεύτερη περίπτωση βροχοπτώσεων: 0.772

- Μοντέλο Logistic regression

Χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$L_D = \frac{l_i/a_i}{\sum_{i=1}^n l_i/a_i}, (7)$$

όπου L_D είναι η πυκνότητα κατολισθήσεων, l_i είναι η κατολισθήσα περιοχή για την i κλάση ενός παράγοντα που επιδρά στην ολίσθηση (π.χ. για κλάση γωνίας κλίσης πρηνούς $10^\circ - 20^\circ$), a_i είναι η περιοχή της i κλάσης και n είναι το σύνολο των κλάσεων για έναν συγκεκριμένο παράγοντα.

Κατ' αυτόν τον τρόπο εξάγουμε την πυκνότητα κατολισθήσεων για όλους τους παράγοντες και έπειτα με βάση τον τύπο (4) μπορούμε να υπολογίσουμε την πιθανότητα εκδήλωσης κατολισθήσεων για κάθε ένα pixel.

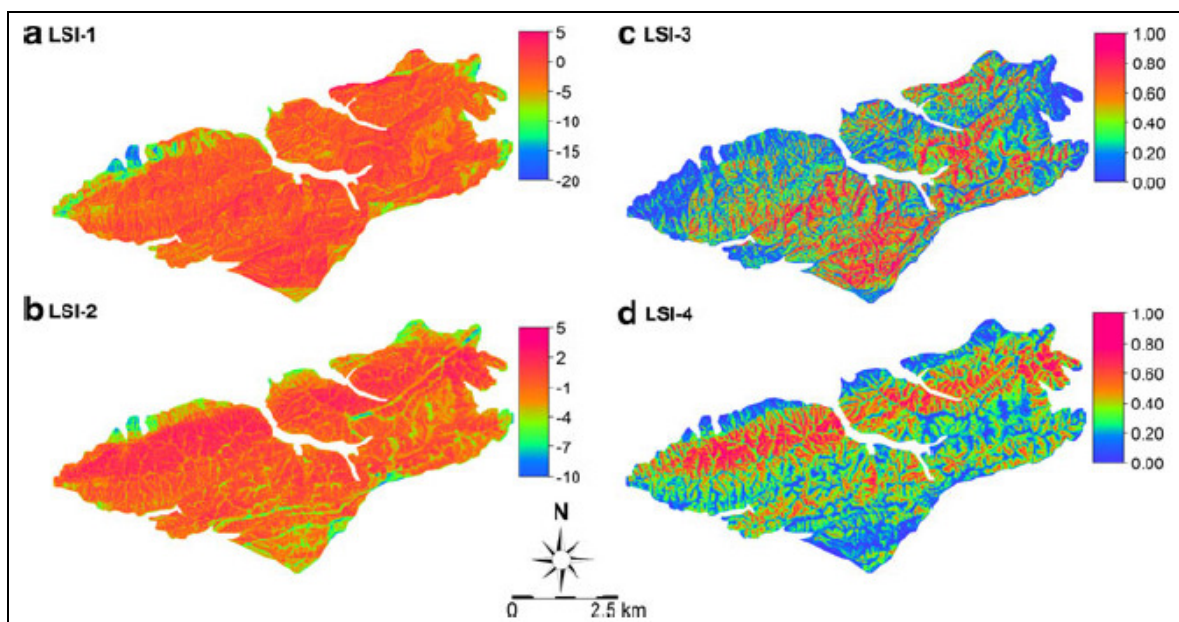
Η επεξεργασία των αποτελεσμάτων, της πιθανότητας εκδήλωσης κατολισθήσεων, με την μέθοδο ROC έδωσε τα εξής αποτελέσματα (Πίνακας 3.5):

- Για την πρώτη περίπτωση βροχοπτώσεων: 0.797
- Για την δεύτερη περίπτωση βροχοπτώσεων: 0.726

Πίνακας 3.5 Στατιστικά στοιχεία μέσω της μεθόδου ROC για τα μοντέλα InfoVal και Logistic regression, με βάση τις δύο περιπτώσεις βροχοπτώσεων. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

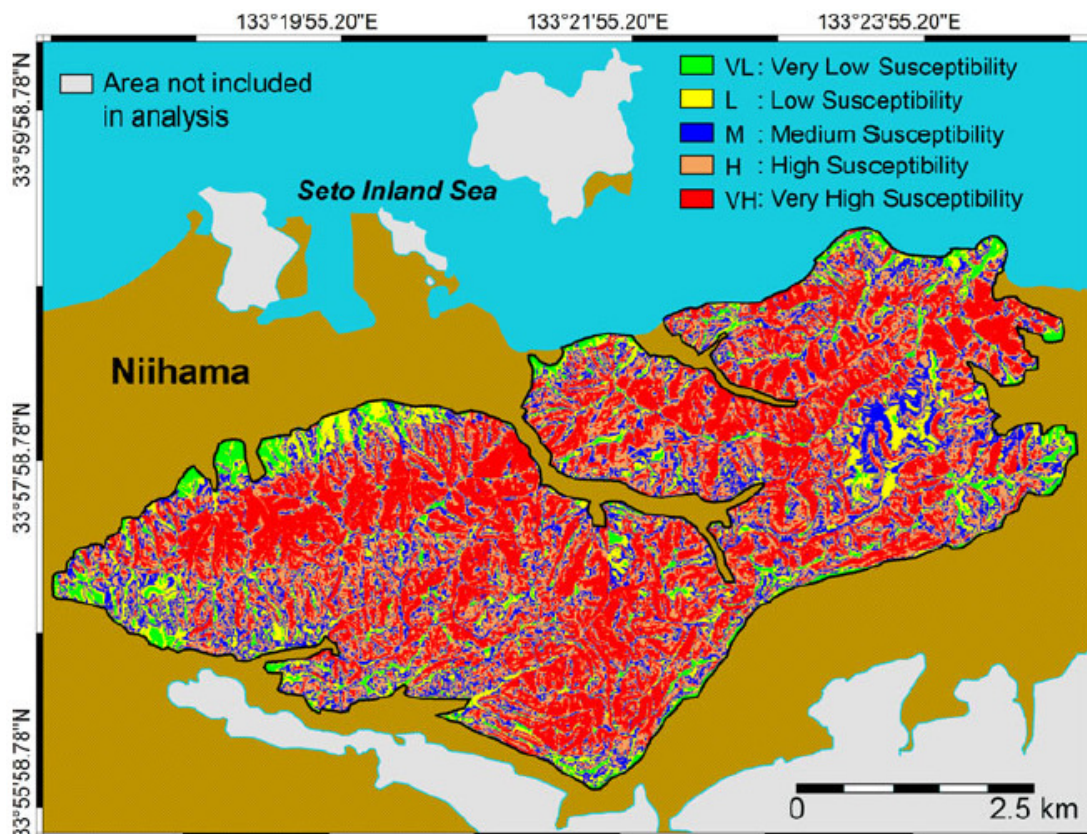
Events of landslide	Hosmer–Lemeshow test			-2log likelihood	Cox and Snell R^2	Nagelkerke R^2	ROC value of logistic regression model	ROC value of InfoVal model
	χ^2	df	sig					
First event landslide	11.896	8	0.156	494.51	0.261	0.347	0.797	0.826
Second event landslide	12.784	8	0.120	13222.69	0.149	0.199	0.726	0.772

Για να είναι έγκυρα τα αποτελέσματα των μοντέλων InfoVal και Logistic regression, θα πρέπει οι τιμές που παίρνουμε από την μέθοδο ROC να είναι >0.5 πράγμα το οποίο συμβαίνει και στις τέσσερις περιπτώσεις. Συνεπώς και τα δύο μοντέλα εξάγουν έγκυρα αποτελέσματα.



Εικόνα 3.7 Χάρτες επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τα δύο πρώτα περιστατικά βροχοπτώσεων. Οι χάρτες LSI-1 και LSI-2 προέρχονται από τον μοντέλο InfoVal και οι χάρτες LSI-3 και LSI-4 προέρχονται από τον μοντέλο Logistic regression. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

Το μοντέλο που επιλέχθηκε για την κατασκευή του τελικού χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων, είναι το Logistic regression καθώς αυτό είναι που ταιριάζει σε μεγαλύτερο βαθμό στην ζητούμενη ακρίβεια κατασκευής του χάρτη. Στην *Εικόνα 3.8 Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση το μοντέλο Logistic regression. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)* φαίνεται ο τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων ο οποίος κατασκευάστηκε με βάση και το τρίτο περιστατικό βροχόπτωσης.



Εικόνα 3.8 Τελικός χάρτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση το μοντέλο Logistic regression. (Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe, 2013)

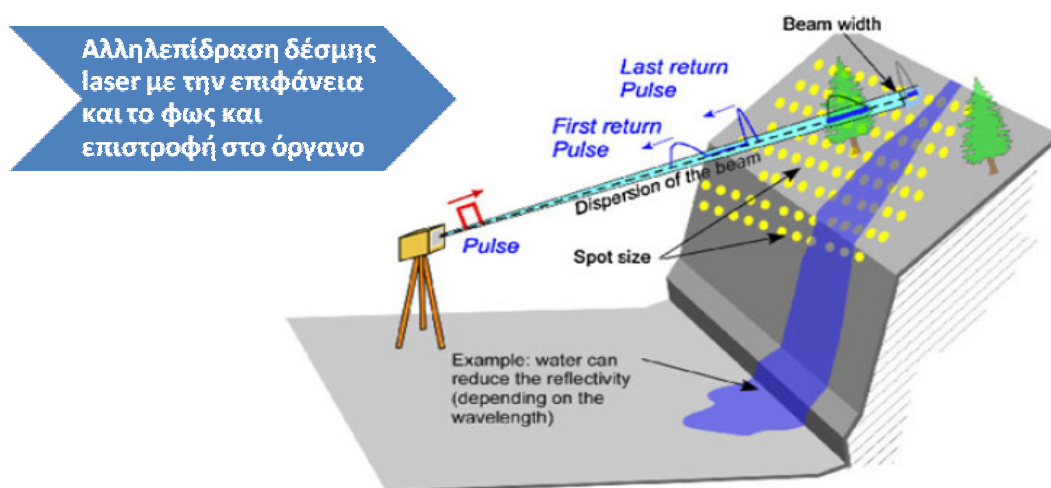
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΟΥ LIDAR ΣΤΗΝ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

4.1. Λειτουργία του οργάνου LIDAR

Τα όργανα τύπου LIDAR (*Light Detection and Ranging*) αποτελούν την σύγχρονη τεχνολογία αποτύπωσης και δημιουργίας ψηφιακού ανάγλυφου. Οι εικόνες που μπορούν να παραχθούν είναι τριών διαστάσεων (3D), γεγονός το οποίο μας δίνει τη δυνατότητα λήψης -μετρήσιμων και μη- πληροφοριών οι οποίες δεν μπορούν να ληφθούν με φωτογραφίες δύο διαστάσεων (2D), όπως είναι το ύψος, το βάθος, τα μεγέθη στοιχείων και άλλα.

Η λειτουργία του οργάνου βασίζεται στην εκτόξευση δέσμης laser επάνω σε μία επιφάνεια, η οποία δέσμη επιδρά με την τελευταία και με το φως και επιστρέφει στο όργανο με καταγεγραμμένες τις σημειακές αποστάσεις που διένυσε. Η πληροφορία αυτή μετατρέπεται σε 3D εικόνα με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και έπειτα με στοχευόμενη επεξεργασία της εικόνας, προσομοιάζεται η σαρωμένη επιφάνεια σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βαθμό ακρίβειας.



Εικόνα 4.1 Βασική αρχή σάρωσης επιφάνειας με όργανο LiDar (Michel Jaboyedoff et al., 2010)

Για την επίτευξη και την κατασκευή 3D αναπαραστάσεων είναι απαραίτητη η πληροφορία που προέρχεται από την δέσμη laser που εκτοξεύει το όργανο. Γι' αυτόν τον λόγο χρειάζεται ένας τρόπος να μετρηθεί η απόσταση που διανύει η δέσμη laser από το όργανο μέχρι την επιφάνεια και ένας τρόπος να σαρωθεί ολόκληρη η ζητούμενη επιφάνεια από το όργανο. Σύμφωνα με τον Marc – Henri Derron et al.,

2014, υπάρχουν τρεις τρόποι να μετρηθεί η απόσταση που διανύει η δέσμη laser και εξίσου τρεις τρόποι να σαρωθεί ολόκληρη η επιφάνεια από το όργανο.

Όσον αφορά την μέτρηση της απόστασης διανύσματος της ακτίνας laser οι τρόποι είναι οι εξής:

1. Μέτρηση του χρόνου “πτήσης”.

Με αυτή την μέθοδο, η απόσταση χαρακτηρίζεται ως το $\frac{1}{2}$ του χρόνου που χρειάζεται η ακτίνα για να φύγει από το όργανο, να ανακλαστεί στην επιφάνεια και να επιστρέψει, επί την ταχύτητα της ακτίνας.

2. Μέτρηση των φάσεων.

Με αυτή την μέθοδο, η απόσταση χαρακτηρίζεται ως το γινόμενο του πλήθους των φάσεων με το μήκος του κύματος της ακτίνας. Το γινόμενο του πλήθους των φάσεων ορίζεται ως το γινόμενο της αλλαγής φάσης του κύματος από τον πηγαιμό στην επιστροφή με την συχνότητα.

3. Μέτρηση με τριγωνισμό.

Για αυτήν την μέθοδο είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενσωματωμένης ψηφιακής κάμερας στη στο όργανο LIDAR. Έτσι η απόσταση είναι η κάθετος του τριγώνου που έχει ως βάση την απόσταση μεταξύ των δύο καμερών και ως πλευρές τις αποστάσεις μεταξύ των καμερών και ενός συγκεκριμένου σημείου στην επιφάνεια. Άρα, αν α είναι η γωνία που σχηματίζει η βάση με την πλευρά της ψηφιακής κάμερας, ϕ η γωνία που σχηματίζει η βάση με την πλευρά της κάμερας laser και d η βάση, έχουμε ότι η ζητούμενη απόσταση είναι $d \cdot [\tan \alpha \cdot \tan \phi / (\tan \alpha + \tan \phi)]$.

Πίνακας 4.1 Σε αυτόν τον πίνακα φαίνονται οι προϋποθέσεις [μέγιστη απόσταση σάρωσης (m), ακρίβεια (mm), ταχύτητα (pt/sec)] για την χρήση κάθε μίας από τις παραπάνω μεθόδους. (Marc – Henri Derron et al., 2014)

	Max range [m]	Accuracy [mm]	Speed [pt/sec]
Time of flight	1000	10	$1 - 10^4$
Phase	100	1 - 5	$10^5 - 10^6$
Triangulation	10	0,1	10^5

Από τον Πίνακα 4.1 παρατηρούμε ότι και οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Αυτό σημαίνει ότι ο χρήστης τεχνολογίας LIDAR

πρέπει να γνωρίζει καλά τις ιδιότητες του οργάνου που κατέχει για να μπορεί να προσαρμόζει τις λειτουργίες του οργάνου κατάλληλα για την εκάστοτε λήψη. Για παράδειγμα, είναι φανερό ότι ένα όργανο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο του τριγωνισμού έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από ένα άλλο που χρησιμοποιεί την μέθοδο του χρόνου πτήσης όμως το πρώτο μηχάνημα δεν μπορεί να σαρώσει μία επιφάνεια από απόσταση >10m ενώ το δεύτερο μπορεί να σαρώσει από απόσταση ενός χιλιομέτρου. Γι' αυτόν τον λόγο η κατάλληλη γνώση των ιδιοτήτων του οργάνου αποτελεί πολύτιμη πληροφορία.

Όσον αφορά την σάρωση ολόκληρης της επιφάνειας από το όργανο, υπάρχουν τόσο λειτουργικές όσο και συμβατικές μέθοδοι ώστε να επιτευχθεί αυτό. Οι τρόποι που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι 3 και είναι οι εξής:

1. Χρήση κινούμενων καθρέπτων.

Η λειτουργία αυτή εφαρμόζεται στον σαρωτή OPTECH-ILRIS 3D – το όργανο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη-. Το όργανο είναι σταθερό ενώ η ακτίνα laser προσπίπτει σε κινούμενους καθρέπτες οι οποίοι μεταφέρουν την ακτίνα laser προς όλες τις κατευθύνσεις.

2. Χρήση κινούμενου οργάνου.

Η λειτουργία αυτή εφαρμόζεται στον σαρωτή LEICA SCANSTATION. Η ακτίνα laser εκτοξεύεται προς μία κατεύθυνση ενώ το όργανο κινείται κάθετα με γωνία 270° και οριζόντια με γωνία 360° μεταφέροντας την ακτίνα laser προς όλες τις κατευθύνσεις.

3. Χρήση κινούμενου οργάνου και καθρέπτη.

Η λειτουργία αυτή εφαρμόζεται στον σαρωτή RIEGL-vz4000. Η ακτίνα laser μέσω ενός καθρέπτη διαμοιράζεται σε ένα κατακόρυφο επίπεδο με γωνία 60° ενώ το όργανο περιστρέφεται οριζόντια με γωνία 360° μεταφέροντας της ακτίνα laser προς όλες τις κατευθύνσεις.

Αυτές οι 2 ιδιότητες των οργάνων LIDAR –δηλαδή η μέτρηση των αποστάσεων και ο τρόπος σάρωσης ολόκληρης της επιφάνειας- επηρεάζουν και διαμορφώνουν τον τρόπο λήψης ενός ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου σε σημαντικό βαθμό όμως αποτελούν το ένα σκέλος της διαδικασίας διαμόρφωσης του τρόπου λήψης. Το άλλο σκέλος αποτελείται από τις ιδιότητες του υλικού το οποίο πρόκειται να σαρωθεί. Αυτές οι ιδιότητες αφορούν την ανακλαστικότητα του υλικού. Η βασική αρχή λήψης 3D αναπαράστασης ορίζει ότι όσο λιγότερη ανακλαστικότητα έχει το υλικό που πρόκειται να σαρωθεί τόσο πιο κοντά στην επιφάνεια πρέπει να στήσουμε το όργανο LIDAR. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να γνωρίζουμε καλά τόσο τις ιδιότητες του οργάνου όσο και τις ιδιότητες του υλικού της ζητούμενης επιφάνειας. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές ανακλαστικότητας (%) για κάθε υλικό.

Πίνακας 4.2 Τιμές ανακλαστικότητας για διάφορα υλικά εκφρασμένες επί τοις εκατό. (A. Wehr, U. Lohr, 1999)

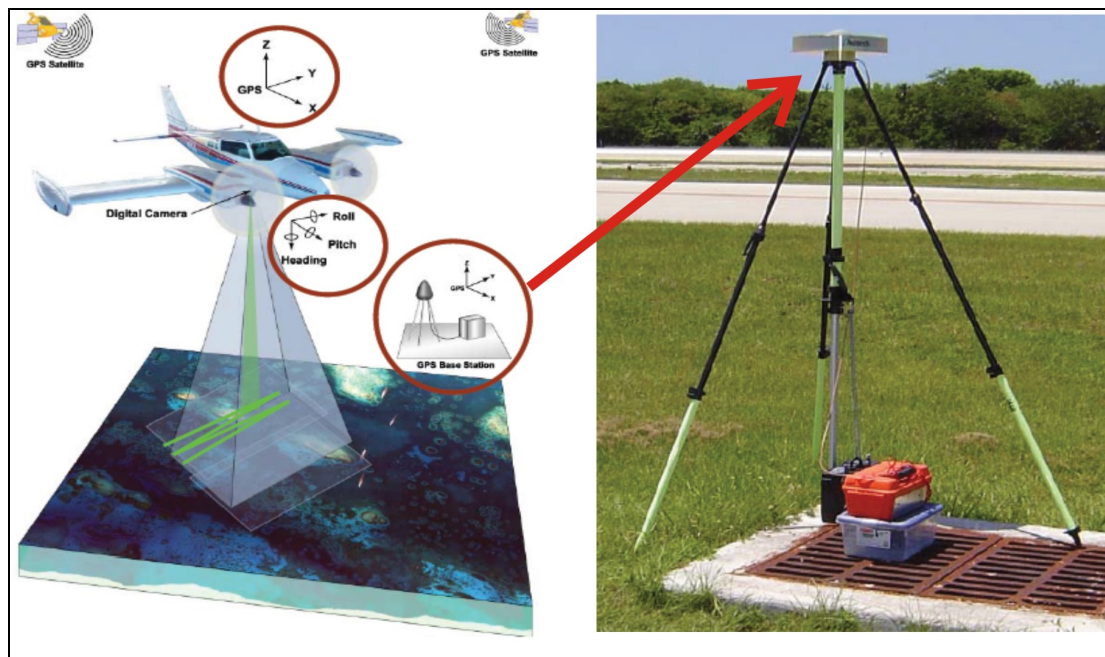
Material	Reflectivity (%)
Lumber (pine, clean, dry)	94
Snow	80 - 90
White masonry	85
Limestone, clay	Up to 75
Deciduous trees	Typ. 60
Coniferous trees	Typ. 30
Carbonate sand (dry)	57
Carbonate sand (wet)	41
Beach sand, Bare areas in desert	Typ. 50
Rough wood pallet	25
Concrete, smooth	24
Asphalt with pebbles	17
Lava	8
Black neoprene (synthetic rubber)	5

Η τεχνολογία LIDAR και οι αναπαραστάσεις επιφανειών που παράγει, κάνει δυνατή την καταγραφή μορφολογικών, γεωλογικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών με εργασία γραφείου. Ως γνωστόν, στην ύπαιθρο υπάρχουν περιοχές που είναι δύσβατες ή ακόμα και απροσπέλαστες με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η καταγραφή των προαναφερθέντων στοιχείων. Μέχρι πρότινος, την λύση έδιναν οι πανχρωματικές φωτογραφίες με περιορισμένο όμως βαθμό πληροφοριών. Η τεχνολογία LIDAR, εφόσον υπάρχει, προσομοιάζει αυτές τις περιοχές και η μετρήσεις πλέον γίνονται σαν να είναι in situ. Θα πρέπει να τονιστεί ότι τα όργανα LIDAR δεν αποτελούν απαραίτητο και μη εξαιρετέο εργαλείο γεωέρευνας, όμως παρά ταύτα η ύπαρξή τους δίνει λύση σε πολύ ικανοποιητικότερο βαθμό από άλλες μεθόδους σε προβλήματα, όπως αυτά που προαναφέρθηκαν. Ακόμη, η χρήση των οργάνων LIDAR θα πρέπει να συνδέεται άμεσα και έμμεσα με την εργασία υπαίθρου καθώς τα αποτελέσματα που μπορούν να ληφθούν από τις 3D αναπαραστάσεις ίσως είναι ανακριβή και θα πρέπει να επιβεβαιωθούν με την επιτόπου παρατήρηση.

Υπάρχουν τριών ειδών κατηγορίες οργάνων LIDAR, των οποίων η φιλοσοφία λειτουργίας είναι η ίδια όμως αλλάζει ο τρόπος χρήσης:

- Εναέρια συστήματα LIDAR (Airborne Laser Scanning – ALS)
- Επίγεια συστήματα LIDAR (Terrestrial Laser Scanning – TLS)
- Κινητά συστήματα LIDAR (Mobile Laser Scanning – MLS)

Τα εναέρια συστήματα (ALS) αποτελούνται από τον σαρωτή LIDAR (με την μονάδα ελέγχου του) ο οποίος βρίσκεται στο αεροσκάφος και καταγράφει κατακόρυφα την επιφάνεια της Γης, τον πομπό και τον δέκτη του GPS εκ των οποίων ο πομπός βρίσκεται στο αεροσκάφος και ο δέκτης σε σταθερό σημείο της επιφάνειας της Γης και τέλος -προαιρετικά- από μία παγχρωματική κάμερα. Είναι φανερό ότι η χρήση εναέριων συστημάτων LIDAR χρησιμοποιείται κυρίως για 3D αποτύπωση μεγάλων επιφανειακών δομών μέτριας έως μικρής κλίμακας.



Εικόνα 4.2 Αναπαράσταση του τρόπου σάρωσης με χρήση εναέριου συστήματος LIDAR.
(Amar Nayegandhi, 2007)

Αντίθετα, τα επίγεια συστήματα (TLS) χρησιμοποιούνται κυρίως για την 3D αποτύπωση επιφανειών κλίμακας πρανούς με σκοπό την λήψη πληροφοριών με μεγάλη ακρίβεια. Αποτελούνται από τον σαρωτή LIDAR, την μονάδα ελέγχου, το τροφοδοτικό μηχανήμα και τον τρίποδα. Επίσης, προαιρετικά ενσωματωμένα στο μηχανήμα βρίσκονται το σύστημα GPS και η παγχρωματική κάμερα, καθώς ο χρήστης του οργάνου LIDAR μπορεί να λάβει αυτές τις πληροφορίες με ξεχωριστά όργανα. (Βλ. Εικόνα 4.1)

Όσον αφορά τα κινητά συστήματα (MLS), χρησιμοποιούνται κυρίως για την σάρωση επιμηκών πρανών. Τέτοια πρανή είναι τα τεχνητά ή φυσικά πρανή των δρόμων ή των ακτών. Έτσι τα συστήματα αυτά προσαρμόζονται σε αυτοκίνητο, τρένο, σκάφος ή οτιδήποτε άλλο κινείται επίγεια και καθώς το όχημα κινείται, το όργανο πραγματοποιεί συνεχείς λήψεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου το οποίο περιέχει πληροφορία αρκετών μέτρων. Είναι σαφές ότι η μέθοδος αυτή πάσχει σε ακρίβεια σε σχέση με τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου που προέρχονται από τα συστήματα (TLS).

4.2. Η χρήση του οργάνου LIDAR στις κατολισθήσεις

Τα εναέρια, τα επίγεια και τα κινητά όργανα LIDAR αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο στην μελέτη των κατολισθήσεων τόσο στην αναγνώριση όσο και στην επεξεργασία και μοντελοποίηση τους. Τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου που παράγονται δίνουν εξαιρετικές πληροφορίες με τελικό αποτέλεσμα την κατασκευή χαρτών επιδεκτικότητας κατολισθήσεων. Μεγάλη εφαρμογή βρίσκουν τα συστήματα LIDAR στην παρακολούθηση (monitoring) υπαρχόντων κατολισθήσεων και επιφανειών επιδεκτικών στην κατολίσθηση όσον αφορά τις μετακινήσεις που δύναται να υπάρχουν. Καταυτών τον τρόπο μπορούμε να προβλέψουμε κάποια πιθανή ολίσθηση –βίαιη ή μη- η οποία θα επηρεάσει το φυσικό ανάγλυφο και ως αποτέλεσμα, τις ανθρωπογενείς διεργασίες.

Γι αυτόν τον λόγο προτείνονται διάφορα μοντέλα από τους ερευνητές όσον αφορά την μελέτη των κατολισθήσεων με την χρήση οργάνων LIDAR. Ένα τέτοιο μοντέλο προτάθηκε από τους *Michel Jaboyedoff et al., 2010*, και αναφέρεται στην αναγνώριση και τον χαρακτηρισμό κατολισθήσεων, στην χαρτογράφηση της επιδεκτικότητας κατολισθήσεων και στην εκτίμηση της διακινδύνευσης, στην μοντελοποίηση των κατολισθήσεων και στην παρακολούθησή τους, κατατάσσοντας τις κατολισθήσεις σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Κατολισθήσεις (Περιστροφικές, ολισθήσεις)
- Βραχοκαταπτώσεις
- Δεβριτικές ροές

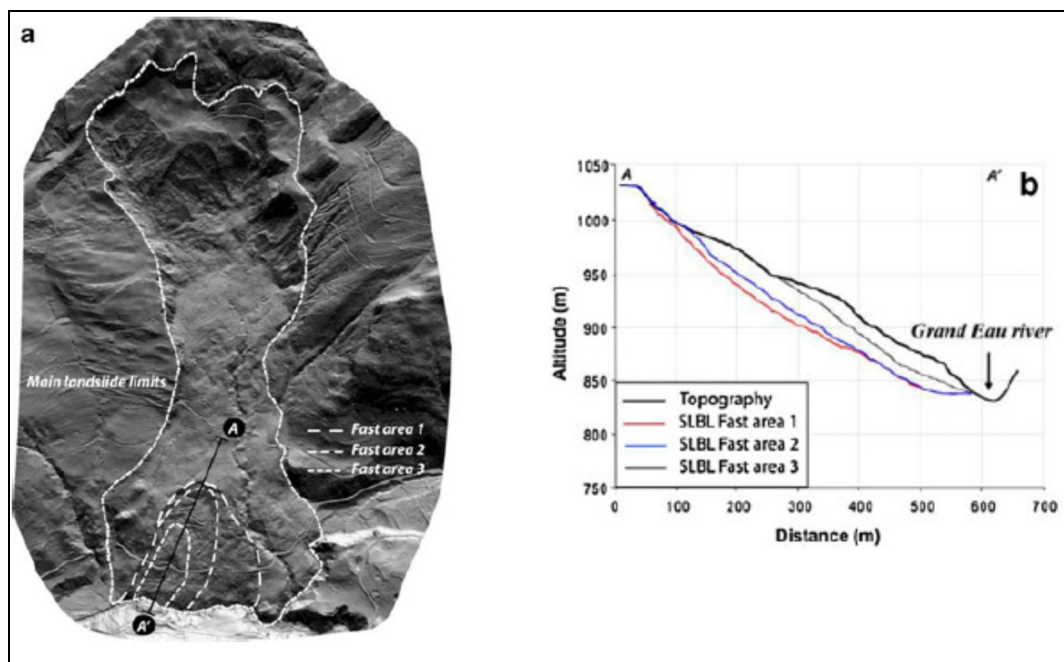
Πίνακας 4.3 Ταξινόμηση των διάφορων εργασιών όσον αφορά κατολισθήσεις με την χρήση οργάνου LIDAR. (*Michel Jaboyedoff et al., 2010*)

	landslide	Rockfall	Debris-flow
(1) Landslide detection and characterization	• Mapping of geomorphic features	• Rock face imaging and characterization • Calculate discontinuity orientation	• Detecting of mobilizable volumes • Hydromorphic characterization
(2) Hazard assessment and susceptibility mapping	• Mainly as support for mapping	• Some attempts for susceptibility and hazard mapping (not yet achieved)	• Input for mapping hazard based on geomorphologic approach
(3) Modelling	• Classical modeling tools are not able yet handle huge 3D information density • HRDEM allow more accurate landslide modeling by improving their geometrical characterizations	• High-resolution DEM for trajectory modeling	• Input for spreading modeling
(4) Monitoring	• Monitoring of surface displacements • Volume budget	• Monitoring of surface displacements • Detection of pre-failure displacements (under development) • Quantification of rockfall activity (volumes)	• Sediment budget • Monitoring of morphologic changes in channel

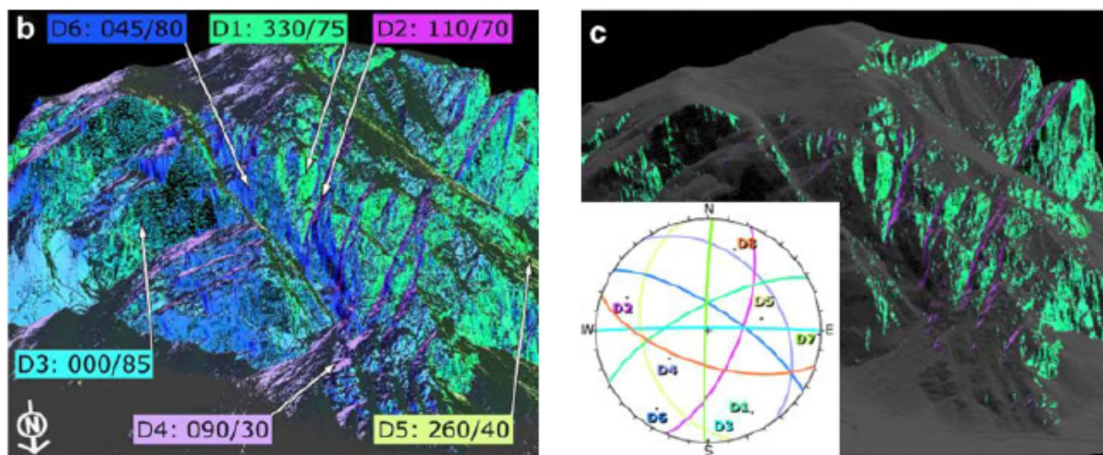
Μέσω της επεξεργασίας των ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου μπορούμε να ανιχνεύσουμε παλιές κατολισθήσεις, παρατηρώντας μορφολογικά στοιχεία όπως τοξοειδείς ασυνέχειες στα πρηνή και αιφνίδιες αλλαγές στην κλίση τους, την στέψη, τις θραύσεις ή το πόδι κάποιας κατολίσθησης. Έτσι μπορούμε να προσδιορίσουμε σε ποιες περιοχές υπάρχουν παλιές κατολισθήσεις και αν είναι δυνατόν και η διάβρωση δεν τις έχει επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό, να αναφέρουμε τι είδος κατολίσθησης είναι. Είναι δυνατόν ακόμη να καταγράψουμε τις ασυνέχειες μίας βραχώδους και να προσδιορίσουμε τις οικογένειες ασυνεχειών που υπάρχουν –αν υπάρχουν- και να τις αποτυπώσουμε σε μία στερεογραφική προβολή ώστε να φανεί εάν δύναται να υπάρχουν καταπτώσεις βράχων (πτώσεις, ολισθήσεις, ανατροπές ή σφήνες).

Μέσω των μετρήσεων που μπορούμε να πραγματοποιήσουμε στα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου είναι δυνατόν να καταγραφούν τα γεωμετρικά στοιχεία των επιδεκτικών προς πτώση τεμαχών ώστε να υπολογιστεί ο όγκος τους με τελικό αποτέλεσμα την κατασκευή ενός διαγράμματος κατανομής όγκου – σχετικής συχνότητας. Έτσι έχουμε μια σφαιρική εικόνα για το μέγεθος επικινδυνότητας βραχοκαταπτώσεων που μπορεί να υπάρχει, ώστε να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Τέλος, μέσω δύο διαδοχικών σαρώσεων στην ίδια ακριβώς περιοχή με ικανοποιητική χρονική διαφορά, μπορούμε να προσδιορίσουμε κινήσεις μαζών και γενικότερα, μορφολογικές διαφοροποιήσεις από το ένα ψηφιακό μοντέλο στο άλλο οι οποίες δημιουργήθηκαν κατά κύριο λόγο από την ύπαρξη κατολίσθησης η οποία δρα με πολύ μικρό βαθμό μετακίνησης.



Εικόνα 4.3 α) Αναγνώριση παλιάς κατολίσθησης με προσδιορισμό περιοχών μεγαλύτερης ταχύτητας, β) Παράλληλη τομή στις περιοχές μεγαλύτερης ταχύτητας. (Michel Jaboyedoff et al., 2010)



Εικόνα 4.4 b) Καταγραφή τεκτονικών στοιχείων των οικογενειών των ασυνεχειών. c) Αποτύπωση των τεκτονικών στοιχείων σε δίκτυο Schmidt. (Michel Jaboyedoff et al., 2010)

Αν αναφερθούμε σε μία, λίγο περισσότερο συστηματοποιημένη διαδικασία λήψης πληροφοριών που αφορούν την βραχώμαζα και τα μεμονωμένα τεμάχια βράχων, θα πρέπει να συσχετίσουμε τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες στις οποίες βρίσκεται η βραχώμαζα με την εύρεση και ανάδειξή τους μέσω των ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου. Έτσι, σε μία βραχώμαζα αναζητούμε τον τύπο του πετρώματος, τον τύπο και τις οικογένειες των ασυνεχειών, το πλήθος των ασυνεχειών, τον προσανατολισμό και την κλίση τους, την πυκνότητά τους ανά οικογένεια, την εμμόνη, την τραχύτητα, την αντοχή τους, την αποσάθρωση, το άνοιγμά τους, το υλικό πλήρωσης (αν υπάρχει), την υγρασία μέσα στις ασυνέχειες και το μέγεθος των μπλοκ τα οποία σχηματίζουν οι τεμνόμενες ασυνέχειες. Σύμφωνα όμως με τον *A. Abellan et al., 2014*, με την χρήση της τεχνολογίας LIDAR δεν μπορούμε να υπολογίσουμε όλα τα προαναφερθέντα στοιχεία. Είναι δυνατός μόνο ο υπολογισμός του τύπου πετρώματος, το πλήθος και οι οικογένειες των ασυνεχειών, η πυκνότητά τους, η εμμόνη τους, η τραχύτητα και η υγρασία τους.

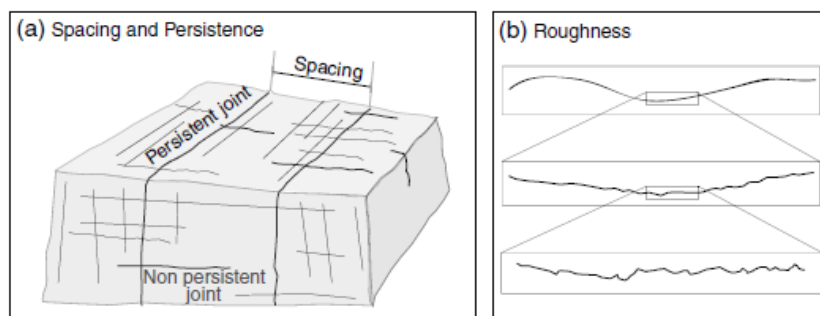
Με την επεξεργασία της 3D αναπαράστασης είναι δυνατή η εξακρίβωση της ανακλαστικότητας σε διάφορα σημεία της σαρωμένης επιφάνειας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να μας δώσει χρήσιμες πληροφορίες όσον αφορά τον τύπο του πετρώματος με βάση την ανακλαστικότητά του, ώστε να συγκρίνουμε το αποτέλεσμα με την επί τόπου παρατήρηση. Η ανακλαστικότητα μπορεί να φανεί εξίσου χρήσιμη και στον προσδιορισμό της υγρασίας των ασυνεχειών, καθώς όπως προαναφέρθηκε, το νερό (στα σημεία που υπάρχει) μειώνει κατά πολύ την ανακλαστικότητα της επιφάνειας. (Βλ. Πίνακας 4.2)

Τα ψηφιακά μοντέλα ανάγλυφου φαίνονται πολύ χρήσιμα εύρεση της τραχύτητας των ασυνεχειών. Στην ύπαιθρο, ο προσδιορισμός της τραχύτητας γίνεται με ειδικά εργαλεία και αποτελεί χρονοβόρα μέθοδο καθώς για να είναι αντιπροσωπευτική η συνολική τραχύτητα, πρέπει να ληφθούν αρκετές μετρήσεις. Με την χρήση των 3D αναπαραστάσεων είναι πολύ εύκολο να δημιουργήσουμε πολλές τομές κατά μήκος

της επιφάνειας ασυνεχειών και να έχουμε μία πιο ξεκάθαρη απεικόνιση της τραχύτητας.

Το πλήθος και η οικογένειες ασυνεχειών, η πυκνότητάς τους και η εμμονή τους προσδιορίζονται εύκολα με απλή παρατήρηση των 3D αναπαραστάσεων και μετρήσεις.

Πρέπει να τονίσουμε ότι ο προσδιορισμός του προσανατολισμού των ασυνεχειών μέσω των 3D αναπαραστάσεων είναι πιο έγκυρος τις περισσότερες φορές από τις μετρήσεις στην ύπαιθρο με την γεωλογική πυξίδα καθώς σε ένα ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου μετριοούνται αυτόματα όλες οι οικογένειες ασυνεχειών. Στην ύπαιθρο δεν είναι δυνατό να μετρηθούν όλες οι ασυνέχεις και το σημαντικότερο είναι ότι μετριοούνται κυρίως τμήματα των ασυνεχειών με αποτέλεσμα να υπάρχει σφάλμα, μικρό ή μεγάλο ανάλογα την εμπειρία και την ικανότητα του μελετητή. Για έγκυρα αποτελέσματα σε μεγάλο βαθμό, είναι αναγκαίο να συνδυάζονται αυτές οι 2 μέθοδοι, δηλαδή η εργασία υπαίθρου και η εργασία γραφείου.



Εικόνα 4.5 Παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν μέσω ψηφιακών μοντέλων ανάγλυφου. α)Εμμονή και πυκνότητα, β)Τραχύτητα. (Abbelan et al. 2014)

4.3. Παραδοχές που αφορούν την διαδικασία σάρωσης

Σύμφωνα με τους *Kemeny, John and Turner, Keith, 2008* υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος σάρωσης μίας επιφάνειας πρανούς ή πλαγιάς όσον αφορά τις ιδιότητες του οργάνου και την επιτόπου χρήση του.

Σε γενικές γραμμές, αυτές οι παραδοχές είναι οι εξής:

- Η απόσταση του οργάνου από τον στόχο θα πρέπει να είναι το λιγότερο όσο το ύψος της πλαγιάς
- Η οριζόντια προβολή του σαρωτή θα πρέπει να είναι 50°
- Οι πολλαπλές λήψεις μίας περιοχής δεν είναι απαραίτητες αν δεν συντρέχουν λόγοι που να υποχρεώνουν σε τέτοια διαδικασία (περίπλοκες μορφολογικές και γεωλογικές συνθήκες, περιοχές υψηλού κινδύνου σε σχέση με τις κατολισθήσεις κ.α.). Εάν πρόκειται να πραγματοποιηθούν πολλαπλές λήψεις, προτείνεται αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των λήψεων κατά 20%
- Σε οποιαδήποτε περίπτωση σάρωσης επιφάνειας για τεχνικογεωλογική μελέτη, δεν προτείνεται απόσταση ψηφιακών σημείων >5cm
- Οι σαρώσεις θα πρέπει να είναι υψηλής ακρίβειας



Εικόνα 4.6 Πρότυπο ικανοποιητικής σάρωσης (*Kemeny, John and Turner, Keith, 2008*)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΚΑΙ ΟΛΙΣΘΑΝΟΥΣΑΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

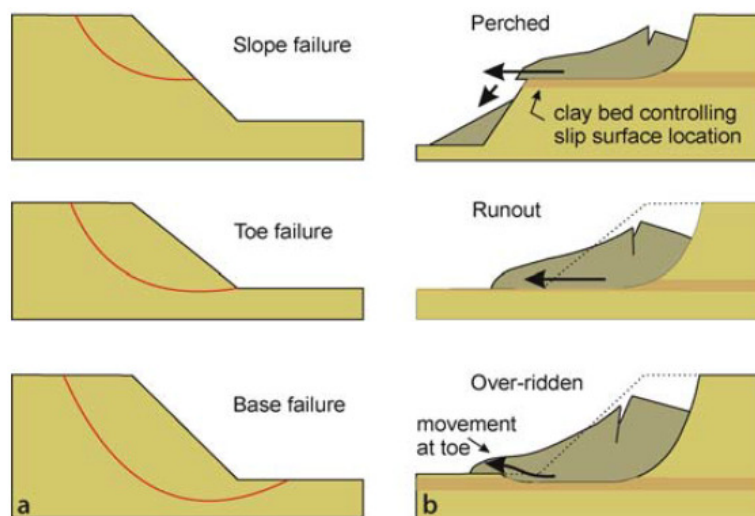
Οι κατολισθήσεις ως γεγονότα αποτελούν δριμύεις μα και εντυπωσιακές καταστάσεις εύρεσης ισορροπίας του εδάφους. Τα αποτελέσματά τους αφήνουν το στίγμα τους σε ανθρωπογενείς κατασκευές διακόπτοντας τη χρήση τους για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε αχρηστεύοντάς τες εξ ολοκλήρου. Η διαδικασία αυτή όμως είναι σύγχρονη με την ροή της ζωής του ανθρώπου, ώστε η δράση των κατολισθήσεων να υποδηλώνει τα αίτια γένεσης και κυρίως την ακριβή τους θέση.

Ένα μεγάλο πρόβλημα το οποίο ζητά λύση και βρίσκεται συνεχώς κάτω από το μικροσκόπιο των ερευνητών, είναι οι μέθοδοι ανακάλυψης και αποκάλυψης παλιών κατολισθήσεων ή ολίσθησεων με πάρα πολύ μικρή ταχύτητα μετακίνησης, οι οποίες λόγω της αποσάθρωσης και της φυτοκάλυψης είναι εξαιρετικά δύσκολο να αναγνωριστούν. Η εύρεση τέτοιων δομών αποτελεί ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο όσον αφορά την θέση και την θεμελίωση μεγάλων τεχνικών έργων όπως είναι η οδοποιία, οι γέφυρες, τα φράγματα και άλλα.

Είναι σαφές ότι καθώς η επιφάνεια του εδάφους μεταβάλλεται είτε από τεκτονικούς είτε από ανθρωπογενείς παράγοντες, βρίσκεται σε κατάσταση ανισορροπίας. Στην προσπάθειά του να βρεθεί σε κατάσταση ισορροπίας, θα μετακινηθεί αργά ή βίαια (ανάλογα τον βαθμό μεταβολής της επιφάνειας της γης) αλλάζοντας το μορφολογικό ανάγλυφο δημιουργώντας αναβαθμούς. Το υλικό το οποίο δημιουργεί τους αναβαθμούς χαρακτηρίζεται από μηδενική αντοχή και δεν δύναται να παραλάβει οποιοσδήποτε τάσεις.

Σύμφωνα με τους *Edward N. Bromhead & Maia L. Ibsen, 2007* οι λόγοι ύπαρξης μιας κατολίσθησης οι οποίοι απαιτούν την ανάγκη μελέτης της περιοχής, οφείλονται στα εξής:

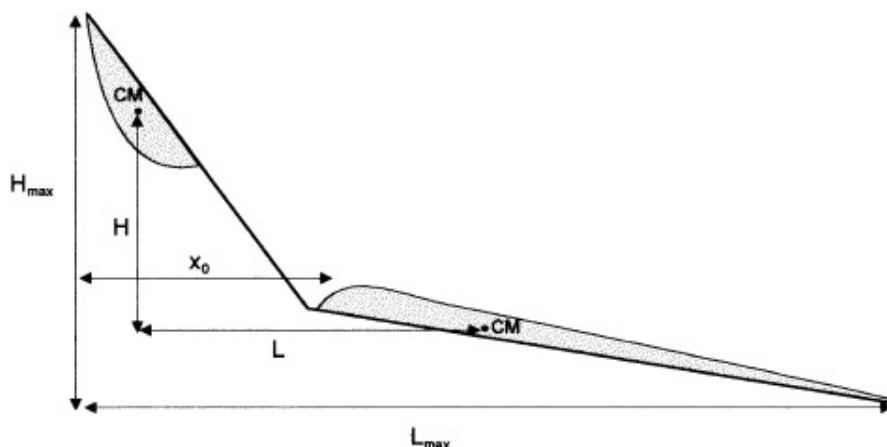
- Δημιουργία επιφάνειας ολίσθησης λόγω ύπαρξης ζώνης υψηλής πλαστικότητας ή κορεσμένης ζώνης.
- Μεταβολή της ακαμψίας πάνω από έναν σκληρό σχηματισμό με δημιουργία θραύσης και επιφάνειας ολίσθησης.
- Αλλαγή της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα λόγω αλλαγή στην διαπερατότητα του σχηματισμού με αποτέλεσμα την μεταβολή των ασκούμενων τάσεων.
- Αποσάθρωση στην βάση του πρανούς και κατάρρευση λόγω αδυναμίας συγκράτησης του βάρους του.



Εικόνα 5.1 Διαφορετικές μορφές κατολίσθησης σε πρανές. *a)* Από Terzaghi & Peck (1948),
b) Από Ibsen & Bromhead (1999).

Στην *Εικόνα 5.1* παρατηρούμε τις διαφορετικές μορφές κατολίσθησης σε ένα πρανές με μηδενική κλίση των στρωμάτων. Παρά τις διαφορές στον τρόπο μετακίνησης, παρατηρούμε ότι και στις 3 περιπτώσεις πραγματοποιείται οπισθοκύληση του άνω τεμάχους της κατολίσθησης καθώς και ένα χαρακτηριστικό ‘σπάσιμο’ που χωρίζει το άνω από το κάτω τέμαχος.

Σύμφωνα με τον *F. Legros, 2002*, η κατάπτωση μάζας και η απόθεσή της σε απόσταση L μεταβάλλει το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης και δημιουργεί δομές από τις οποίες πρέπει να λάβουμε μετρήσεις για την κατανόηση της φύσης και του μηχανισμού της κατολίσθησης.



Εικόνα 5.2 Σχηματική απεικόνιση κατολίσθησης με χαρακτηριστικές μετρήσεις. CM είναι το κέντρο της κατολισθείσας μάζας.

Για να καταλάβουμε τις ιδιότητες του μέσου στο οποίο γίνεται η κατολίσθηση και τις ιδιότητες της ίδιας της κατολισθείσας μάζας θα πρέπει να υπολογίσουμε ένα μέγεθος το οποίο να χαρακτηρίζει αυτές ακριβώς τις ιδιότητες. Το μέγεθος που πρέπει να

υπολογιστεί είναι ο παράγοντας της τριβής και έχει δύο μορφές υπολογισμού, δηλαδή $H_{\max}/L_{\max}$ και H/L . Για την ανάγκη και την απλοποίηση των υπολογισμών θεωρούμε ότι το $H_{\max}$ είναι περίπου ίδιο με το H .

Μέσω αυτής της μεθόδου μπορούμε να βρούμε την εξάπλωση της κατολίσθησης και τον βαθμό στον οποίο λεπταίνει ο κύριος όγκος της κατολίσθησης. Έτσι σύμφωνα με τον *F. Legros, 2002*, έχουμε ότι για μεγάλες κατολισθήσεις είναι $H_{\max}/L_{\max}=0,1$ και $H/L=0,6$. Αυτό σημαίνει ότι το L είναι το ένα έκτο ($1/6$) του $L_{\max}$ και ότι το κέντρο μάζας της κατολίσθησης βρίσκεται πολύ κοντά στο πρηνές και πολύ μακριά από το πέρας της κατολίσθησης.

Σε άλλη περίπτωση όπου η κατολίσθηση εγκιβωτίζεται σε περιβάλλον απόθεσης με υψηλά τοιχώματα (όπως είναι οι κοίτες ρεμάτων) τότε έχουμε ότι το L είναι το ένα τρίτο ($1/3$) του $L_{\max}$, άρα δηλαδή δεν πραγματοποιείται λέπτυνση του υλικού κατολίσθησης σε μεγάλο βαθμό και σε μεγάλη απόσταση από την πηγή του υλικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

Τα μέτρα αντιστήριξης αποτελούν μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούνται για την αντιστήριξη, βελτίωση ή ενίσχυση της βραχώμαζας έναντι των ολισθήσεων, των καταπτώσεων ή των ανατροπών. Παρακάτω αναφέρονται οι κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται τα διάφορα μέτρα αντιστήριξης που χρησιμοποιούνται:

6.1. Παθητικά μέτρα αντιστήριξης

Αποτελούν μεθόδους αντιστήριξης της βραχώμαζας, με μέτρα τα οποία δεν ασκούν κάποια δύναμη ή τάση σε αυτήν. Αντιθέτως επιτρέπεται στην βραχώμαζα να αστοχήσει, με αποτέλεσμα τα παθητικά μέτρα αντιστήριξης να βοηθούν στην αποφυγή καταστροφών ή απωλειών ζών (όπως για παράδειγμα με πτώση των τεμαχών σε αυτοκινητόδρομους, σιδηροδρομικές γραμμές κλπ). Το θετικό αυτών των μέτρων αντιστήριξης είναι ότι έχουν πολύ μικρότερο κόστος από τα υπόλοιπα και πολλές φορές συνδυάζονται απλώς με προειδοποίηση ως προς κατολίσθηση. Τα παθητικά μέτρα αντιστήριξης είναι τα εξής:

- **Αφαίρεση επικρεμάμενων τεμαχών**
Αποτελεί την οικονομικότερη μέθοδο. Πολλές φορές χρησιμοποιείται η μέθοδος εισαγωγής υλικού (φορτίου) στην βάση του πρανούς για την αποφυγή τυχόν ολισθήσεων. Η τελευταία μέθοδος είναι παρόμοια με την εφαρμογή τοίχων αντιστήριξης.
- **Τάφροι**
Οι τάφροι εφαρμόζονται ως μέτρο αντιστήριξης με σκοπό την πτώση των τεμαχών μέσα σε αυτές με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συνεχίσουν την πορεία τους προς τον δρόμο ή προς κατοικημένη περιοχή.
- **Αναβαθμοί**
Κατασκευάζονται στο πρανές δημιουργώντας αναβαθμούς ανά σταθερή απόσταση. Χαρακτηρίζονται από την μείωση των δυνάμεων που τείνουν να προκαλέσουν αστοχία καθώς, με την κατασκευή αναβαθμών μειώνεται η συνολική γωνία κλίσης του πρανούς. Ακόμη χρησιμεύουν και ως επίπεδα τα οποία μπορούν να ανακόψουν την πορεία καταπτωθέντων τεμαχών.
- **Δίκτυα/Πλέγματα**
Τα δίκτυα ή πλέγματα χρησιμεύουν κυρίως στην κατακράτηση στο πρανές των μικρότερων τεμαχών τα οποία δεν μπορούν να αντιστηριχτούν με άλλο τρόπο λόγω του μεγέθους τους, όμως παρόλα αυτά η πτώση τους μπορεί να προκαλέσει μικρή ή μεγάλη καταστροφή.

- **Εμπόδια**

Χρησιμεύουν στην αντίσταση ως προς ολίσθηση και μπορούν να συγκρατήσουν μεγάλες ωθήσεις χωρίς σημαντική ζημιά, λόγω της φύσης της κατασκευής τους. Συνήθως είναι συρματοκιβώτια πληρωμένα με χονδρόκοκκο αδρανές υλικό το οποίο επιτρέπει στο νερό να διέρχεται δια μέσω τους. Συνεπώς πραγματοποιείται έμμεσα και αποστράγγιση.

- **Τοίχοι ή φράκτες**

Οι παθητικοί τοίχοι αντιστήριξης χρησιμεύουν στην κατακράτηση των καταπτοθέντων τεμαχών ώστε να μην φτάσουν σε δρόμο ή κατοικημένη περιοχή. Επιβραδύνουν και απορροφούν την ενέργεια της βραχόπτωσης καθώς επίσης παρουσιάζουν ελαστικότητα. Κατασκευάζονται από τσιμέντο ή από μεταλλικά υλικά (Geobrugg)

- **Γεωύφασμα**

Κατασκευάζονται με σκοπό τον έλεγχο της επιφανειακής διάβρωσης και την διευκόλυνση της φυτικής ανάπτυξης. Ως εκ τούτου, το εκτεθειμένο πέτρωμα στις καιρικές συνθήκες παραμένει προστατευμένο με αποτέλεσμα να μειώνεται η πιθανότητα ολίσθησης.

- **Έργα αποστράγγισης**

Τα έργα αποστράγγισης αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά μέτρα αντιστήριξης καθώς το νερό επηρεάζει σε σημαντικό βαθμό την σταθερότητα ενός πρανούς. Εάν δεν αποστραγγίζεται με φυσικό τρόπο, τότε ασκεί πολύ μεγάλες πιέσεις στην μάζα του πρανούς. Συνεπώς η αποστράγγιση, ειδικά σε βραχώμαζες που δεν αποστραγγίζονται φυσικά, αποτελεί ένα απαραίτητο μέτρο αντιστήριξης.

6.2. Ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης

Τα ενεργητικά μέτρα αντιστήριξης λειτουργούν με εφαρμογή τάσης στην βραχώμαζα η οποία δύναται τα προκαλέσει αστοχία. Χρησιμοποιούνται όταν τα παθητικά μέτρα αντιστήριξης δε μπορούν να αποτρέψουν μία επικείμενη καταστροφή καθώς είτε τα τεμάχια είτε η μάζα που πρόκειται να ολισθήσει είναι πολύ μεγάλα σε όγκο. Τα ενεργητικά μέτρα που χρησιμοποιούνται είναι τα παρακάτω:

- **Αγκυρώσεις βράχου**

Τα αγκύρια χρησιμεύουν στην αύξηση της αντοχής και της ευστάθειας της βραχώμαζας καθώς συνδέουν επικρεμάμενα τεμάχια στην βραχώμαζα. Η λειτουργία τους βασίζεται στην διάτρηση του τεμάχους και της σταθερής βραχώμαζας ούτως ώστε η διάτρηση να φτάσει μέχρι το σημείου στο οποίο η βραχώμαζα είναι υγιής. Τότε, τα σιδερένια αγκύρια εισέρχονται στην οπή και η οπή γεμίζεται με ένεμα. Η ακύρωση μπορεί να χωριστεί σε 2 κατηγορίες:

➤ **Αγκύρωση με προένταση (Ενεργητικά αγκύρια)**

Η χρήση αυτών των αγκυρίων προϋποθέτει την εφαρμογή τάσης στη βραχώμαζα με σκοπό την αύξηση της αντίστασης της τριβής και της συνοχής. Εφαρμόζεται τάση μεγαλύτερη από αυτήν που ασκεί η βραχώμαζα.

➤ **Αγκύρωση χωρίς προένταση (Παθητικά αγκύρια)**

Σε αυτή την περίπτωση τα αγκύρια απλώς τοποθετούνται χωρίς να εφαρμόζουν αντίθετη τάση. Έτσι το φορτίο που δέχονται ξεκινά από μηδενική τάση και με τον χρόνο αυξάνεται καθώς η ολίσθηση των τεμαχών διακόπτεται από τα αγκύρια.

Όσον αφορά τα αγκύρια, διακρίνονται 3 τύποι αγκυρίων:

➤ **Αγκύρια πλήρους πάκτωσης**

Αναφερόμαστε στα αγκύρια τα οποία εισέρχονται στην οπή μετά από το άνοιγμά της και πληρώνονται με ένεμα.

➤ **Αγκύρια άμεσης ενέργειας τύπου Swellex**

Αναφερόμαστε στα αγκύρια τα οποία εισέρχονται στην οπή μετά το άνοιγμά της και με την εισπίεση νερού ή αέρα μέσα σε αυτά, διαστέλλονται και έπειτα η οπή γεμίζει με ένεμα.

➤ **Αυτοδιατρούμενα αγκύρια (self drilling)**

Αναφερόμαστε στα αγκύρια τα οποία λειτουργούν και ως εξάρτημα διάτρησης. Χρησιμοποιούνται όπου το πέτρωμα είναι πολύ φτωχής ποιότητας και η οπή καταρρέει μετά το άνοιγμά της. Συνεπώς, χρειάζονται αγκύρια τα οποία θα ανοίγουν την οπή και θα μένουν μέσα της, μαζί με ενεμάτωση. Αποτελεί τον πιο ακριβό τύπο αγκυρίου.

• **Αγκύρια – πλέγματα**

Αναφερόμαστε στα πλέγματα τα οποία εφαρμόζονται στην βραχώμαζα για συγκρατήσουν μικρότερα τεμάχια, με την διαφορά ότι το πλέγμα αγκυρώνεται πάνω στην βραχώμαζα με την χρήση αγκυρίων. Καταυτόν τον τρόπο δημιουργούμε ένα σύστημα αγκυρίων αλληλοσυνδεδεμένων μεταξύ τους.

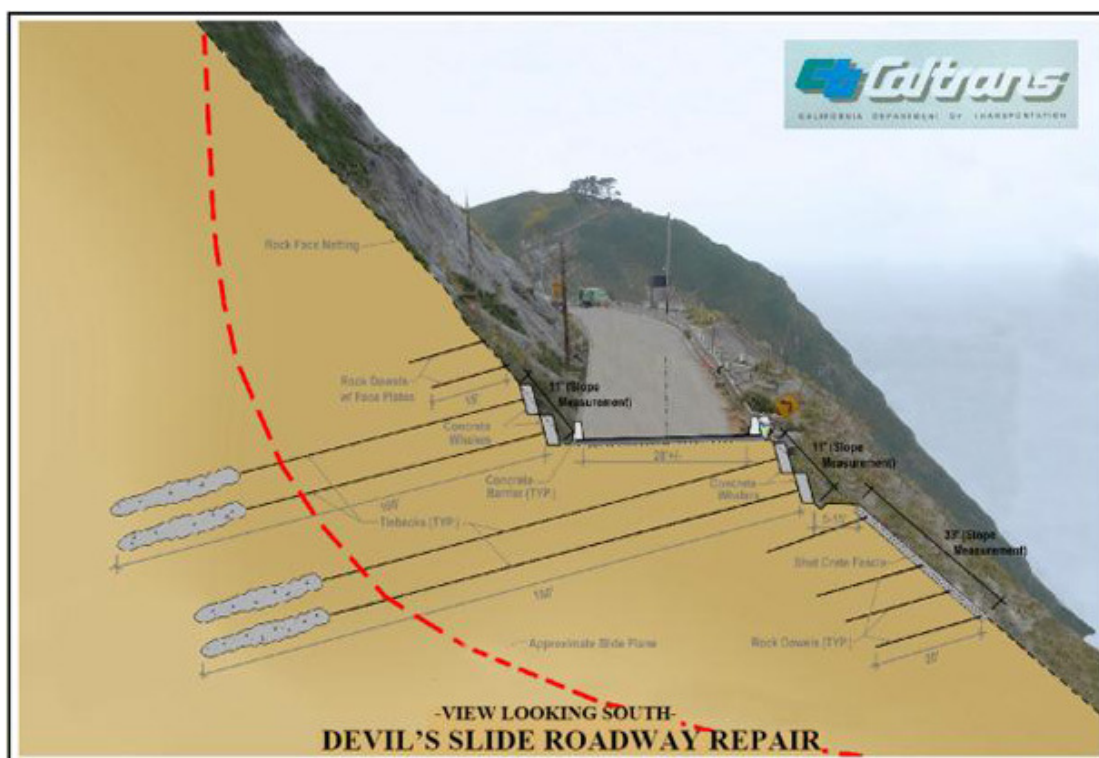
• **Εκτοξευμένο σκυρόδεμα**

Το εκτοξευμένο σκυρόδεμα χρησιμοποιείται για την αύξηση της αντοχής της βραχώμαζας και για την υποστήριξη μικρότερων τεμαχών και την αποφυγή αποσάθρωσης. Το αρνητικό στοιχείο που το χαρακτηρίζει είναι ότι το

εκτοξευμένο σκυρόδεμα είναι αντιαισθητικό και γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να χρησιμοποιείται με φειδώ στην αντιστήριξη πρανών.

- **Πάσσαλοι-Φρεατοπάσσαλοι**

Οι πάσσαλοι χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που πρέπει να ανασχεθεί με κάθε τρόπο η μετακίνηση μεγάλων μαζών. Στην ουσία, οι πάσσαλοι σταθεροποιούν την ολισθαίνουσα μάζα καθώς την συνδέουν με την υγιή βραχώμαζα κάτω από αυτήν.



Εικόνα 6.1 Παράδειγμα αντιμετώπισης κατολίσθησης στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.
(http://www.dot.ca.gov/hq/esc/geotech/geo_design/geo_design_west/west.html)

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΜΕΡΟΣ Β'

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

7.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες νομού Ευρυτανίας

Ο νομός Ευρυτανίας βρίσκεται σχεδόν στο κέντρο του κορμού της Ελλάδας ενώ η οροσειρά της Πίνδου διέρχεται από μέσα του. Το υψόμετρο κυμαίνεται μεταξύ 700 – 1400 m καθώς ο νομός αποτελείται κυρίως από ορεινούς όγκους, με πιο σημαντικούς τα βουνά Τυμφρηστός και Παναιτωλικός.

Τα ποτάμια που συναντώνται ανατολικά του νομού είναι ο Αγραφιώτης και ο Μέγδοβας ενώ στα δυτικά απαντάται ο Αχελώος ο οποίος εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος. Λόγω του απότομου ανάγλυφου και της φύσης των πετρωμάτων που συναντώνται, η περιοχή χαρακτηρίζεται από συνεχείς κατολισθήσεις λίγων έως εκατοντάδων κυβικών μέτρων (m^3), προκαλώντας προβλήματα κυρίως σε δρόμους και δευτερευόντως σε οικισμούς και σπίτια. Αυτό, διότι ο νομός Ευρυτανίας είναι από τους πιο αραιοκατοικημένους νομούς της Ελλάδας.



Εικόνα 7.1 Με κίτρινο περίγραμμα περικλείεται ο νομός Ευρυτανίας άρα και η περιοχή μελέτης.

7.2. Γεωλογικό πρότυπο σχηματισμών και πετρωμάτων

Σύμφωνα με τον Μουντρακή, 2010, οι σχηματισμοί και τα πετρώματα της περιοχής μελέτης και της ευρύτερης περιοχής του νομού Ευρυτανίας ανήκουν στην γεωτεκτονική ζώνη Ωλονού – Πίνδου. Η λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Ωλονού – Πίνδου συνίσταται από 4 μεγαενότητες, οι οποίες από κάτω προς τα πάνω αποτελούνται από τους σχηματισμούς του Τριαδικού, του Ιουρασικού, του Κρητιδικού και του Παλαιογενούς. Πιο αναλυτικά, οι παραπάνω μεγαενότητες εμπεριέχουν:

- **Σχηματισμοί Τριαδικού**

- **Μέσο Τριαδικό:** Εμφανίζονται Αλπικά ιζήματα όπως ψαμμίτες, πυριτιόλιθοι, μάργες και ασβεστόλιθοι ως μία κλαστική ιζηματογενής σειρά.
- **Άνω Τριαδικό:** Ασβεστιτικοί τουρβιδίτες Καρνίου, ασβεστόλιθοι με παρεμβολές κερατόλιθων, ασβεστόλιθοι με Ammonitico Rosso καθώς επίσης και ηφαιστειοϊζηματογενή υλικά με ανδεσίτες, τόφφους και βασάλτες.

- **Σχηματισμοί Ιουρασικού**

Κατά την διάρκεια όλου του Ιουρασικού υπήρξε η συνεχής απόθεση ιζημάτων βαθιάς θάλασσας με ραδιολαριτικούς κερατόλιθους, αργίλους, ψαμμίτες, πελαγικούς πυριτικούς ασβεστόλιθους και ιάσπιδες. Αυτή η συνεχής ιζηματογενής σειρά αναφέρεται στην Ελληνική βιβλιογραφία ως «σχιστοκερατολιθική διάπλαση». Χαρακτηριστικό της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης είναι τα πλούσια και έντονα κοκκινοπράσινα χρώματά της.

- **Σχηματισμοί Κρητιδικού**

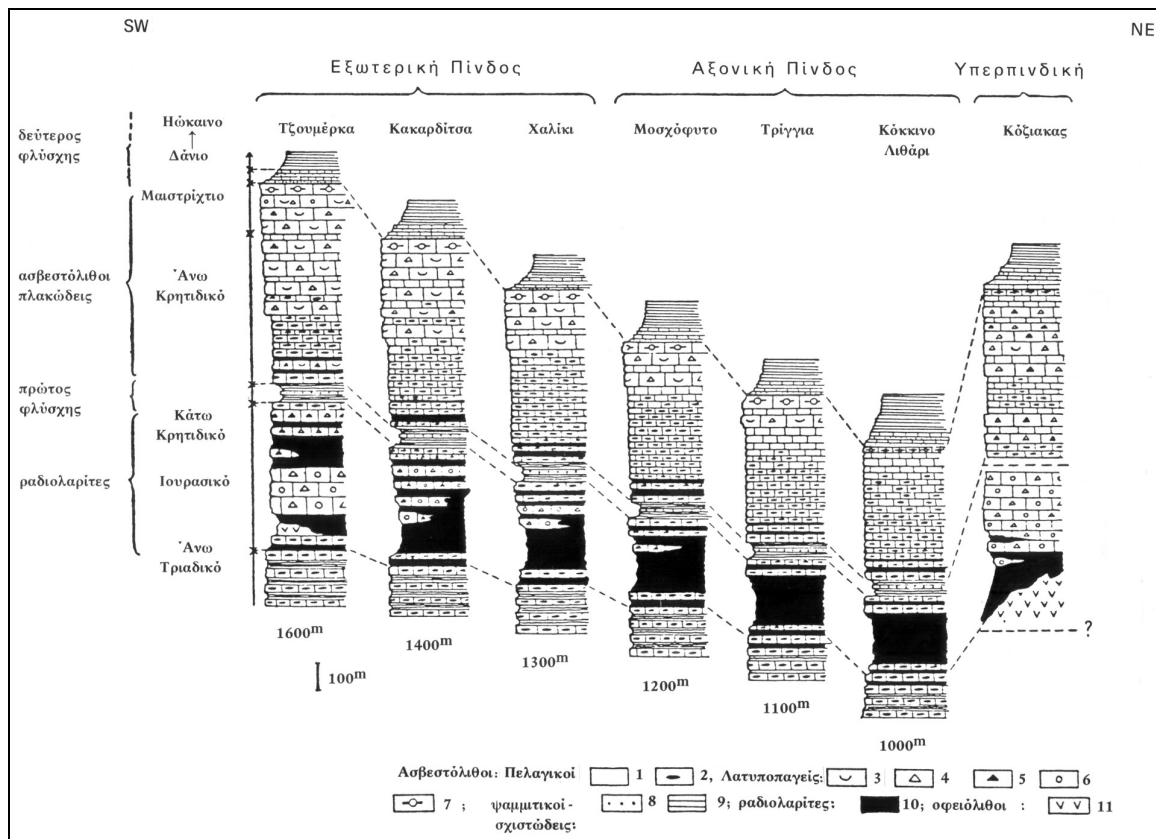
- **Κάτω Κρητιδικό:** Σειρά ρυθμικών εναλλαγών από πελίτες, ψαμμίτες, μάργες, ραδιολαρίτες, πελαγικούς και λατυποπαγείς ασβεστόλιθους. Αυτή η ιζηματογενής σειρά θυμίζει συμπεριφορά φλύσχη και γι' αυτόν τον λόγο την ελληνική βιβλιογραφία αναφέρεται ως «πρώτος φλύσχης Πίνδου». Παρόλα αυτά ο σχηματισμός αυτός δεν είναι ο κλαστικός φλύσχης διότι δεν ακολούθησε ανάδυση.
- **Μέσο – Άνω Κρητιδικό:** Συνεχής, χωρίς κάποια ασυμφωνία απόθεση πλακωδών ασβεστόλιθων, με ενστρώσεις πυριτικών και αργιλικών ορυκτών, ασβεστιτικών τουρβιδιτών και μαργών.

- **Σχηματισμός Παλαιόκαινου**

Ο σχηματισμός αυτός ονομάζεται «δεύτερος φλύσχης της Πίνδου» λόγω της διάκρισής του από τον «πρώτο φλύσχη» και παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά ενός κλασσικού και τυπικού φλύσχη. Αποτελείται από

ρυθμικές εναλλαγές ψαμμιτών και μαργών και σπανιότερα κροκαλοπαγών και ασβεστόλιθων.

Ο σχηματισμός αυτός είναι ο κυριότερος ο οποίος εμφανίζεται στην περιοχή μελέτης και γι' αυτό κρίθηκε σκόπιμο να αναλυθεί περαιτέρω σε ξεχωριστό κεφάλαιο .

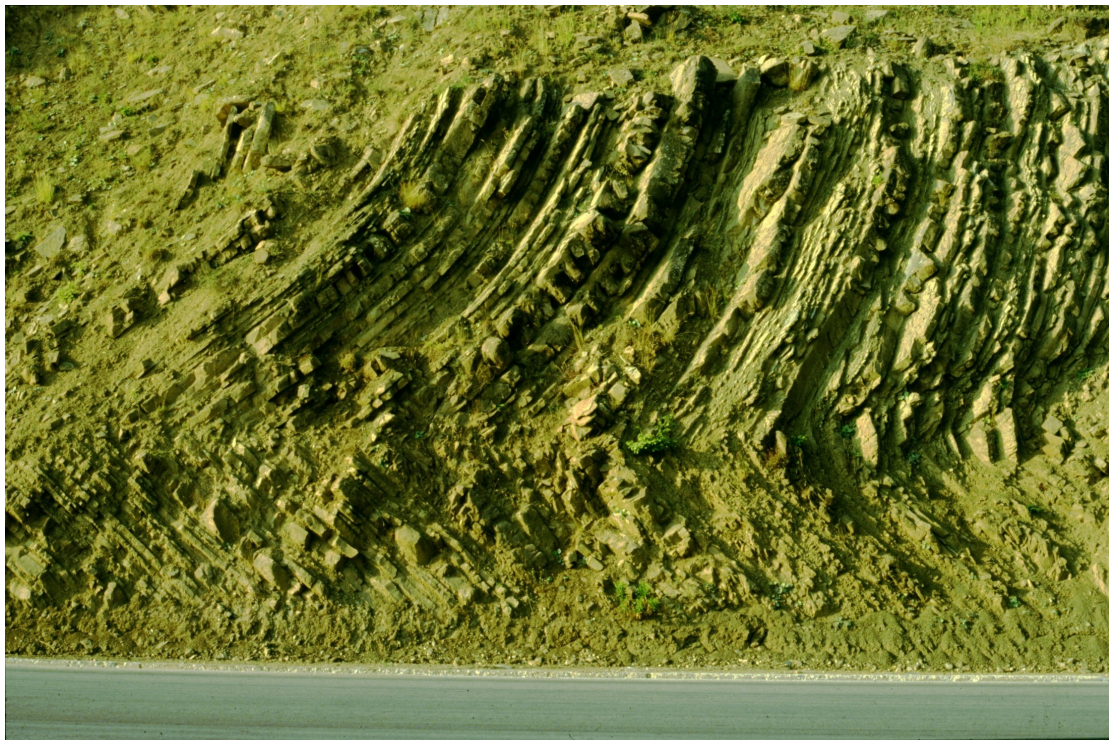


Εικόνα 7.2 Αλληλουχία στρωματογραφικών στηλών κατά μήκος της ζώνης Ωλονού – Πίνδου. Το ανώτερο τμήμα των στρωματογραφικών στηλών αποτελεί τον δεύτερο φλύσχη της Πίνδου, τον σχηματισμό τον οποίο συναντούμε στην περιοχή μελέτης (Aubouin, 1959)

7.2.1. Γεωλογικό – Γεωτεχνικό πρότυπο δεύτερου (2^{ου}) φλύσχη Πίνδου

Με την απόθεση του δεύτερου φλύσχη της Πίνδου ολοκληρώθηκε η Αλπική ιζηματογένεση στην ζώνη Ωλονού – Πίνδου και διαμορφώθηκε η τελική της δομή. Όπως προαναφέρθηκε, ο δεύτερος φλύσχη παρουσιάζει την τυπική δομή ενός φλύσχη. Τα ιζήματα του συγκεκριμένου φλύσχη είναι αργιλοψαμμιτικά ενώ μέσα σ' αυτά εμφανίζονται αρκετά συχνά όγκοι ολισθόλιθων ποικίλων διαστάσεων (cm – m). Η σύσταση αυτών των ολισθόλιθων είναι ίδια με τα ιζήματα του φλύσχη κάτι το οποίο σημαίνει ότι προέρχονται από τον ίδιο τον φλύσχη. Επίσης παρουσιάζονται έντονα τεκτονισμένοι, γεγονός το οποίο ενισχύει την υπόθεση ότι προήρθαν από τον ίδιο τον φλύσχη. Κατά τα πρώτα στάδια της ανάδυσης, ο φλύσχη βρισκόταν σε περιβάλλον έντονων ασκήσεων πίεσης και τάσεων με αποτέλεσμα ο τεκτονισμός που υφίστανται τα ιζήματα του φλύσχη να προκαλεί την διάσπασή του και την δημιουργία ολισθόλιθων. Το τελικό αποτέλεσμα της ανάδυσης είναι ένα χαοτικό μίγμα λόγω της

τεκτονικής και των ολισθόλιθων. Έτσι, στην βιβλιογραφία, ο δεύτερος φλύσχη της Πίνδου ονομάζεται και άγιος φλύσχη λόγω της περίπλοκης και διαταραγμένης δομής του. Χαρακτηριστικό του δεύτερου φλύσχη είναι οι πτυχωμένες δομές του. Το τέλος της ανάδυσης σηματοδοτείται από τα μολασσικά ιζήματα ηλικία Ολιγόκαινο, τα οποία επικάθονται με ασυμφωνία στα πτυχωμένα στρώματα του φλύσχη της Πίνδου, ηλικίας Άνω Ηώκαινου.



Εικόνα 7.3 Χαρακτηριστική εικόνα του δεύτερου φλύσχη της Πίνδου τον οποίο συναντούμε στην περιοχή μελέτης. Παρατηρούμε τις πτυχώσεις που τον χαρακτηρίζουν. (Κίλιας)

7.3. Τεκτονική

Η τελική ανάδυση των στρωμάτων της ζώνης Ωλονού – Πίνδου κατά το Άνω Ηώκαινο – Κάτω Ολιγόκαινο προκλήθηκε της ηπειρωτικής σύγκρουσης της Απουλίας με την Ευρασία, το οποίο είχε ως αποτέλεσμα της ύπαρξη ισχυρών συμπιεστικών τάσεων. Οι δημιουργηθείσες τάσεις προκάλεσαν την πτύχωση των στρωμάτων της ζώνης Ωλονού – Πίνδου προς και την ταυτόχρονη λεπίωση της προς τα δυτικά με αποτέλεσμα να επιπεύσει την ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης. Έτσι, η ζώνη Ωλονού – Πίνδου αποτελεί ένα τεκτονικό κάλυμμα το οποίο αναφέρεται στην βιβλιογραφία ως το τεκτονικό κάλυμμα της Πίνδου. Τα τεκτονικά λείπια της Πίνδου έχουν γενική διεύθυνση Β-Ν έως ΒΒΔ-ΝΝΔ και κλίση προς τα Ανατολικά. Κατά την διάρκεια της πτύχωσης δημιουργήθηκε και ένας μεγάλος αριθμός ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης τα οποία τέμνουν τα τεκτονικά λείπια εγκάρσια.

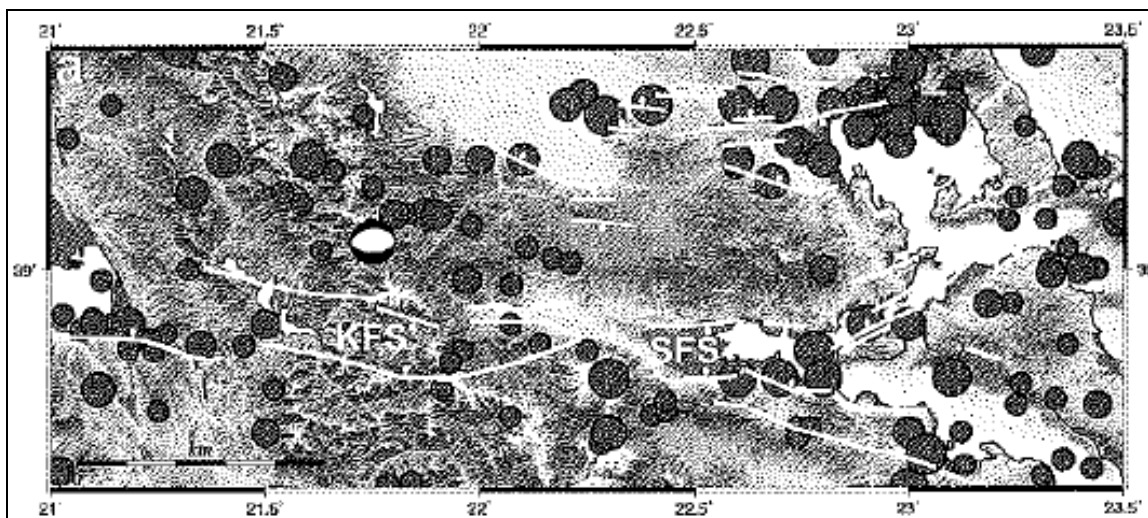
Έπειτα, κατά το Ολιγόκαινο επικράτησε εφελκυστική τεκτονική η οποία είχε γενική διεύθυνση κίνησης προς τα ΝΔ και προκάλεσε την κατάρρευση του ορογενούς. Ως αποτέλεσμα στην περιοχή υπάρχουν εκτατικά ρήγματα γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ.

7.4. Στοιχεία σεισμικότητας

Τα κυριότερα συστήματα ρηγμάτων που υπάρχουν στην περιοχή μελέτης είναι των Κρεμαστών, το οποίο προεκτείνεται στο σύστημα ρηγμάτων του Σπερχειού. Όσον αφορά το σύστημα ρηγμάτων των Κρεμαστών και σύμφωνα με τους Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003, στην περιοχή υπάρχουν 2 γνωστοί σεισμοί από τον 5ο αιώνα π.Χ. με μέγεθος σεισμικής ροπής $M_w > 6$ και ένας γνωστός και καταγεγραμμένος από σεισμολογικά όργανα. Πιο συγκεκριμένα, αυτοί οι σεισμοί είναι οι εξής:

- Ο σεισμός στην Πίνδο το 1514 μ.Χ.
 - Γεωγραφικό πλάτος: 39.1° N
 - Γεωγραφικό μήκος: 21.5° E
 - Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w): 6
- Ο σεισμός στα Άγραφα το 1566 μ.Χ.
 - Γεωγραφικό πλάτος: 39.1° N
 - Γεωγραφικό μήκος: 21.6° E
 - Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w): 6.4
- Ο σεισμός στην λίμνη των Κρεμαστών το 1966 μ.Χ. (καταγεγραμμένος από σεισμολογικά όργανα)
 - Γεωγραφικό πλάτος: 39.05° N
 - Γεωγραφικό μήκος: 21.75° E
 - Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w): 6.2

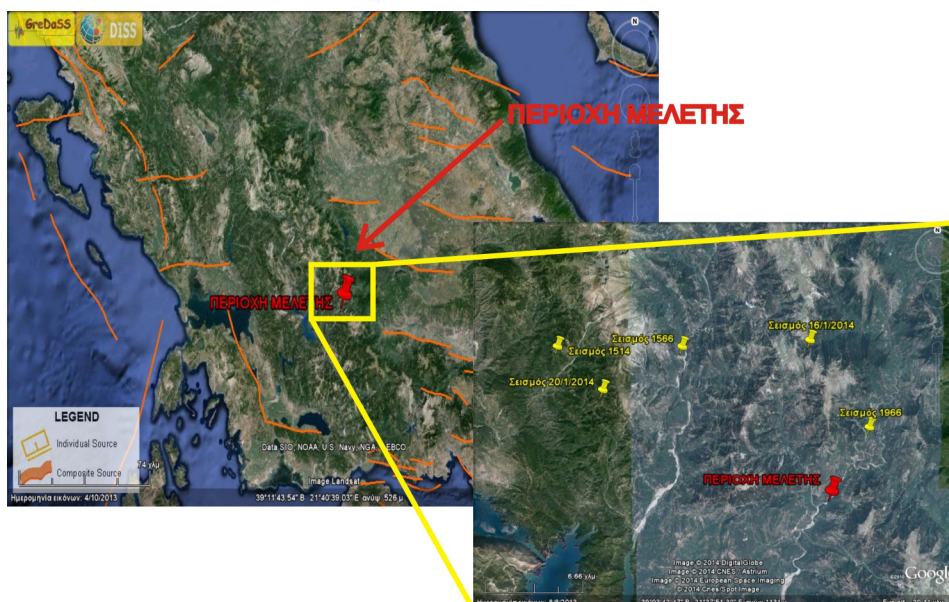
Στο **Εικόνα 7.4** παρατηρούμε τα συστήματα ρηγμάτων των Κρεμαστών και του Σπερχειού ενώ στο **Εικόνα 7.5** παρατηρούμε μόνο το σύστημα ρημάτων του Σπερχειού. Το **Εικόνα 7.6** προέρχεται από την βάση δεδομένων GreDaSS η οποία δεν συμπεριλαμβάνει τον σύστημα ρηγμάτων των Κρεμαστών, όμως οι σεισμοί που έχουν προηγηθεί στην περιοχή υποδηλώνουν την ύπαρξή του.



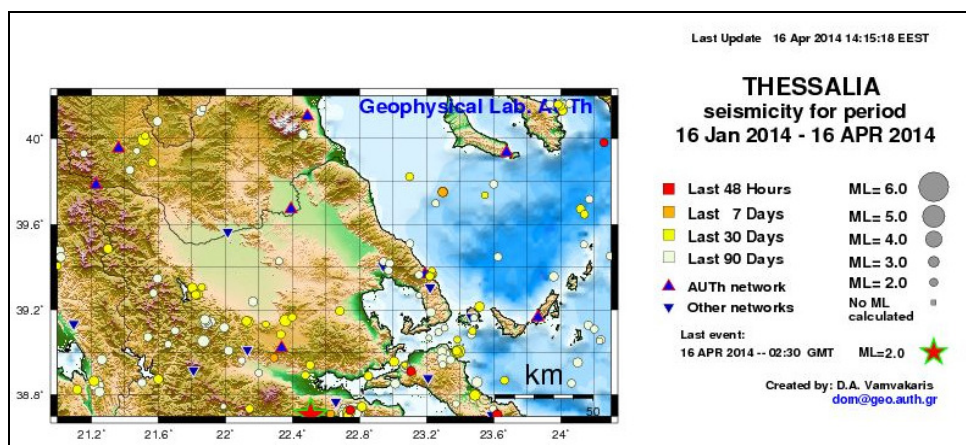
Εικόνα 7.4 Στο σχήμα παρατηρούμε την περιοχή μελέτης, τα συστήματα ρηγμάτων των Κρεμαστών (KFS) και του Σπερχειού (SFS). (Α. Kiliyas et al.)

Ακόμη, σύμφωνα με την βάση δεδομένων των σεισμών Ελλάδος πραγματικού χρόνου του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (ΑΠΘ), παρατηρούμε ότι για διάστημα τεσσάρων μηνών (16/1/2014 – 16/4/2014) έχουν συμβεί 2 σεισμοί στην περιοχή μελέτης. Πιο συγκεκριμένα:

- 16/1/2014
 - Γεωγραφικό πλάτος: 39.103° N
 - Γεωγραφικό μήκος: 21.701° E
 - Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w): 2
- 20/1/2014
 - Γεωγραφικό πλάτος: 39.073° N
 - Γεωγραφικό μήκος: 21.573° E
 - Μέγεθος σεισμικής ροπής (M_w): 2.3



Εικόνα 7.5 Εικόνα από τη βάση δεδομένων GreDaSS στην οποία φαίνεται η περιοχή μελέτης και οι προαναφερθέντες σεισμοί.



Εικόνα 7.6 Στην εικόνα φαίνονται οι σεισμοί για την κεντρική Ελλάδα που έχουν λάβει χώρα από το διάστημα 16/1/2014 - 16/4/2014
(http://geophysics.geo.auth.gr/ss/REAL_TIME_MAPS/index.htm)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΣΕ ΠΑΛΙΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΟΧΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

Η μελέτη της περιοχής –ως προς τις κατολισθήσεις- του νομού Ευρυτανίας με επίκεντρο ερευνών την ευρύτερη περιοχή του Καρπενησίου, απαιτεί μία προϋπάρχουσα γνώση για κατολισθήσεις οι οποίες έχουν συμβεί στο παρελθόν. Αυτό έχει ως σκοπό την καλύτερη κατανόηση του τρόπου δημιουργίας και του μηχανισμού γένεσης των κατολισθήσεων στην συγκεκριμένη περιοχή. Ακόμη, αυτές οι πληροφορίες θα επεξεργαστούν στατιστικά και θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή του χάρτη επικινδυνότητας κατολισθήσεων. Παρά τις λίγες, σε αριθμό, εργασίες που έχουν πραγματοποιηθεί στην ευρύτερη περιοχή του νομού Ευρυτανίας, στην συνέχεια παρατίθενται ορισμένες πληροφορίες σχετικά με κατολισθήσεις που έχουν συμβεί στο παρελθόν σε παραπλήσιες περιοχές. Η απόσταση των περιοχών από το Καρπενήσι δεν ξεπερνά τα 90 km.

- **Κατολισθήσεις στο ορεινό τμήμα του νομού Ευρυτανίας.**

Η μελέτη εκπονήθηκε από τους Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε. και αναφέρεται στο ορεινό τμήμα του νομού Ευρυτανίας και συγκεκριμένα στο Παλαιό Μικρό Χωριό, το οποίο απέχει 18 km από το Καρπενήσι νότια αυτού. Το υψόμετρο της περιοχής κυμαίνεται από 850 – 950 m. Οι λιθολογικές ενότητες της περιοχής αποτελούνται από αναμοχλευμένες μάζες παλιών κατολισθήσεων, αποθέσεις κοίτης, υλικά μανδύα αποσάθρωσης, πλευρικά κορήματα, τον φλύσχη της Πίνδου και λεπτοπλακώδεις λευκότεφρους ασβεστόλιθους με πυριτόλιθους.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής χωρίζονται στα παλαιά και τα νεότερα:

1. Τα παλαιά κατολισθητικά φαινόμενα συνέβησαν στις 13/1/1963 προκαλώντας τον θάνατο 13 ανθρώπων και την καταστροφή του μεγαλύτερου τμήματος του χωριού. Οι κατολισθήσεις συνέβησαν στα υλικά των κορημάτων όπου αυτά είχαν μεγάλο πάχος. Οι κατολισθήσεις προκάλεσαν την ανάδειξη του υποβάθρου (ασβεστόλιθοι και σχιστοκερατόλιθοι) ενώ οι παράγοντες που προκάλεσαν τις κατολισθήσεις ήταν κυρίως οι βροχοπτώσεις και οι χιονοπτώσεις καθώς και η σεισμικότητα που έδρασε την ίδια εποχή.
2. Τα νεότερα κατολισθητικά φαινόμενα είναι περιορισμένης έκτασης και επηρεάζουν μόνο τα υλικά του μανδύα της ζώνης μετάβασης των ασβεστόλιθων προς τον φλύσχη. Οι θραύσεις έχουν άλμα μόνο μερικών εκατοστών και τον μήκος των θραύσεων είναι σχετικό μικρό.

- **Κατολισθήσεις στο ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων.**

Η μελέτη αυτή διεξήχθη από τους Μπαθρέλλος Γ., Σκυλοδήμου Χ., Καλυβάς Δ., και αναφέρεται στο ορεινό τμήμα του νομού Τρικάλων της δυτικής Θεσσαλίας. Η έκταση της περιοχής μελέτης ήταν 1.631,21 km² και το υψόμετρο κυμαίνεται από 200-2.400 m. Η περιοχή απέχει 90km από το Καρπενήσι βόρεια αυτού. Οι λιθολογικές ενότητες της περιοχής αποτελούνται από τεταρτογενείς και νεογενείς αποθέσεις, μολασσοειδείς σχηματισμούς, φλύσχη (πρώτος φλύσχη Πίνδου, φλύσχη Πίνδου, στρώματα μετάβασης φλύσχη Πίνδου, φλύσχη Υποπελαγονικής), ανθρακικά πετρώματα, σχιστοκερατολιθική διάπλαση, μεταμορφωμένα πετρώματα, εκρηξιγενή και οφιολιθικούς σχηματισμούς.

Στην περιοχή παρατηρήθηκαν –από παλιές φωτογραφίες και αεροφωτογραφίες- 608 παλιά κατολισθητικά φαινόμενα. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 16,8% των κατολισθητικών φαινομένων ανήκει στον φλύσχη της Πίνδου και το 5,3% στον πρώτο φλύσχη Πίνδου. Όσον αφορά τις κλίσεις των στρωμάτων, το 39,6% ανήκει σε κλίσεις >30°.

- **Κατολισθήσεις στο ορεινό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας.**

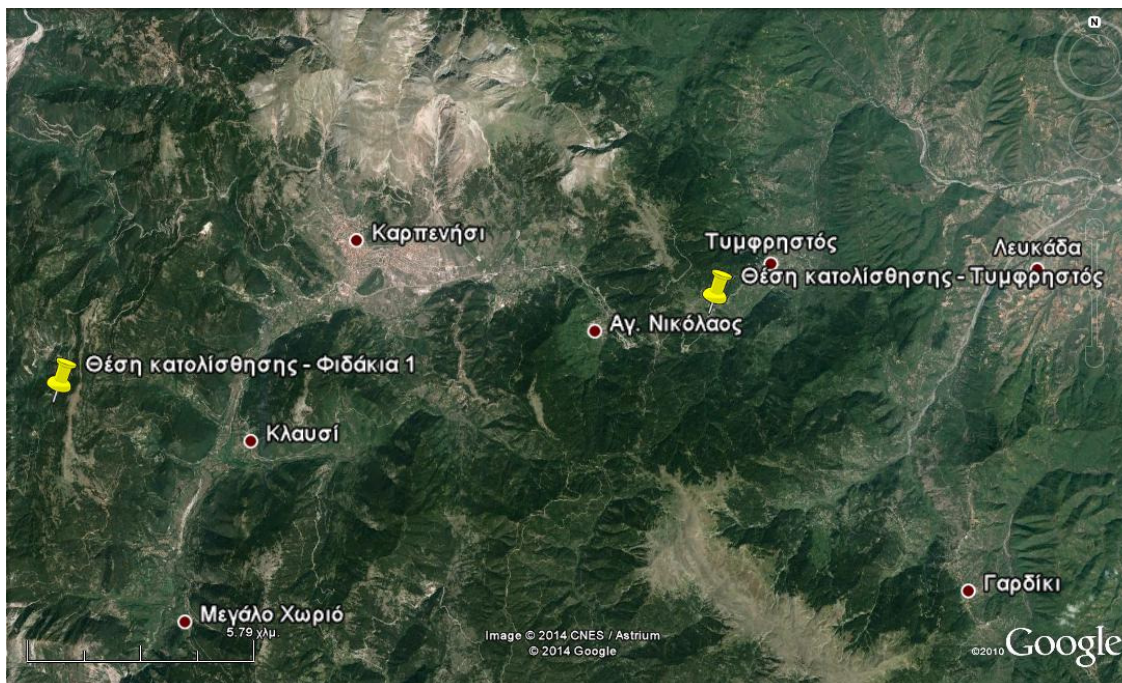
Η μελέτη εκπονήθηκε από την Κωσταντοπούλου Γ. και αναφέρεται στο ορεινό τμήμα του νομού Αιτωλοακαρνανίας και πιο συγκεκριμένα στις δυτικές πλαγιές του Παναιτωλικού όρους, κοντά στη λίμνη Κρεμαστών. Το υψόμετρο κυμαίνεται από 700-950m. Η περιοχή απέχει 43 km από το Καρπενήσι νοτιοδυτικά αυτού. Η λιθολογικές ενότητες της περιοχής αποτελούνται από υλικά επιχωμάτωσης, αποθέσεις κοίτης, υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων, κορήματα, ραδιολαρίτες, τους ασβεστόλιθους του Δρυμού, τον πρώτο φλύσχη της Πίνδου, τον φλύσχη της ενότητας Ταυρωπού και τον φλύσχη της ζώνης Γαβρόβου.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα προσανατολίζονται στο ανατολικό τμήμα του κεντρικού οικισμού της Χούνης. Αναφέρεται μία μεγάλη κατολίσθηση που πραγματοποιήθηκε το 1956 και προκάλεσε σοβαρές βλάβες σε 5 σπίτια και στο κοινοτικό γραφείο. Επίσης προκάλεσε προβλήματα στον δρόμο. Ίχνη παλιών κατολισθήσεων, σύγχρονων ερπυστικών κινήσεων και εδαφικών θραύσεων παρατηρούνται στον χαοτικό φλύσχη της ενότητας Ταυρωπού. Οι νεότερες κατολισθήσεις είναι βραδέως εξελισσόμενες και μικρού βάθους, ενώ παράλληλα υπάρχουν κατολισθήσεις μεγάλης κλίμακας και συχνότητας, κυρίως κατά μήκος των ρεμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9. ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΛΑΦΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΝΟΜΟΥ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ

Για την μελέτη των κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης του Νομού Ευρυτανίας χρειάστηκε η επί τόπου εργασία και παρατήρηση των γεωλογικών σχηματισμών και των κατολισθήσεων, καθώς επίσης και η σάρωση των κατολισθήσεων με την χρήση του οργάνου LiDar. Το όργανο το οποίο χρησιμοποιήθηκε ανήκει στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και ονομάζεται OPTECH-ILRIS 3D (Βλ. 4^ο Κεφάλαιο). Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα των σαρώσεων που πραγματοποιήθηκαν με αυτό το μηχάνημα.



Εικόνα 9.1 Στην εικόνα φαίνονται οι θέσεις κατολισθήσεων οι οποίες σαρώθηκαν με τον σαρωτή LiDar. Διακρίνεται το Καρπενήσι.

9.1. Θέση κατολίσθησης: Τυμφρηστός

Τα στοιχεία της συγκεκριμένη θέσης κατολίσθησης αντιστοιχούν σε:

- Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude): 38.897886 N ή 38°53'52.39" N
- Γεωγραφικό μήκος (Longitude): 21.897275 E ή 21°53'50.19" E
- Μέσο Υψόμετρο (Middle Height): 993m

Τα στοιχεία της θέσης σάρωσης της συγκεκριμένης θέσης κατολίσθησης αντιστοιχούν σε:

- Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude): 38.876240 ή 38° 52' 34.464"
- Γεωγραφικό μήκος (Longitude): 21.897921 ή 21° 53' 52.5156"

- Υψόμετρο (Height): 995m
- Διεύθυνση προσανατολισμού σάρωσης: 335 NW

Τεχνικογεωλογικά στοιχεία

Ο φλύσχης στην συγκεκριμένη θέση εμφανίζεται ως ψαμμιτικός με λεπτές ενστρώσεις αργίλου – ιλυολίθου. Λόγω της έντονης φυτοκάλυψης και των πεσμένων κορηματικών υλικών λόγω της κατολίσθησης και της διάβρωσης, ήταν σχεδόν αδύνατον να μετρηθεί το μέγιστο πάχος των ψαμμιτικών στρωμάτων. Η αποσάθρωση δεν φαίνεται να έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό καθώς ο ψαμμίτης διατηρεί την αντοχή του και θραύεται με >3 κτύπους του γεωλογικού σφυριού. Επίσης, οι επιφάνειές του εμφανίζονται ελαφρώς οξειδωμένες. Αντιθέτως, ο φλύσχης παρατηρείται έντονα διατμημένος λόγω της φύσης του φλύσχη και ως έναν βαθμό παραμορφωμένος, λόγω των μετακινήσεων εξαιτίας της μάζας της κατολίσθησης. Από την επί τόπου παρατήρηση έγινε μία εκτίμηση του GSI της βραχώμαζας και λαμβάνοντας υπόψη τις δυσκολίες που προαναφέρθηκαν όσον αφορά «διαυγή» παρατήρηση του φλύσχη, το GSI κυμαίνεται μεταξύ 50 – 60.

Λόγω της κατολίσθησης, αναπτύσσονται ρωγμές κατά μήκος του δρόμου και κάθε χρόνο είναι απαραίτητη η ανακατασκευή του με ασφαλτόστρωση. Από αυτό το δεδομένο μπορούμε να καταλάβουμε ότι η κατολίσθηση είναι ενεργή στην οποία πραγματοποιούνται σημαντικές μετακινήσεις. Ως μέτρα αντιστήριξης έχουν τοποθετηθεί ήδη συρματοκιβώτια (ζαρζανέτια) με αδρανές υλικό πλήρωσης. Δυστυχώς, η επίσκεψή μας ως γεωλόγοι στην περιοχή πραγματοποιήθηκε μετά την ανακατασκευή του δρόμου με αποτέλεσμα να μην μπορούμε να παρατηρήσουμε επιφανειακές ρωγμές επάνω στον δρόμο, παρά μόνο σε ορισμένα σημεία πιο ψηλά. Αυτή η παρατήρηση των επιφανειακών ρωγμών έγινε χάρη σε ένα ρέμα το οποίο διέρχεται μέσα από την κύρια μάζα της κατολίσθησης και το οποίο έχει δημιουργήσει μία φυσική τομή. Μέσα σε αυτό το ρέμα έγινε η εύρεση των επιφανειακών ρωγμών οι οποίες μετρήθηκαν και φωτογραφήθηκαν (βλ. Παράρτημα). Όπως φαίνεται στις φωτογραφίες, το άνοιγμα των ρωγμών είναι λίγο μικρότερο από το μέγεθος του γεωλογικού σφυριού, δηλαδή περίπου 25 - 30cm. Αυτό σημαίνει ότι οι ρωγμές είναι αρκετά μεγάλες το οποίο καθιστά την κατολίσθηση επισφαλή σε σημαντικό βαθμό. Για την ομαλή ροή του ρέματος έχει κατασκευαστεί αγωγός ο οποίος διέρχεται κάτω από τον δρόμο. Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς στις φωτογραφίες του παραρτήματος, ο αγωγός έχει καταστραφεί από τις αναπτυσσόμενες τάσεις λόγω της μάζας της κατολίσθησης. Επίσης στην πίσω μεριά των συρματοκιβωτίων έχει αναπτυχθεί εφελκυστική ρωγμή με μέγιστο πλάτος 20 - 25 cm.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν με την γεωλογική πυξίδα, όσον αφορά το πρηνές, αυτό παρουσιάζει διεύθυνση κλίσης 125° - 130° στην περιοχή πίσω από τα συρματοκιβώτια, ενώ αριστερά του ρέματος αλλάζει η διεύθυνση κλίσης και παρουσιάζεται ως 70° - 80° . Κατά μήκος της μάζας της κατολίσθησης, μετρήθηκε χονδρικά η γωνία κλίσης του πρηνούς και σε όλη την μάζα, η γωνία κλίσης μετρήθηκε $50^{\circ} \pm 10^{\circ}$.

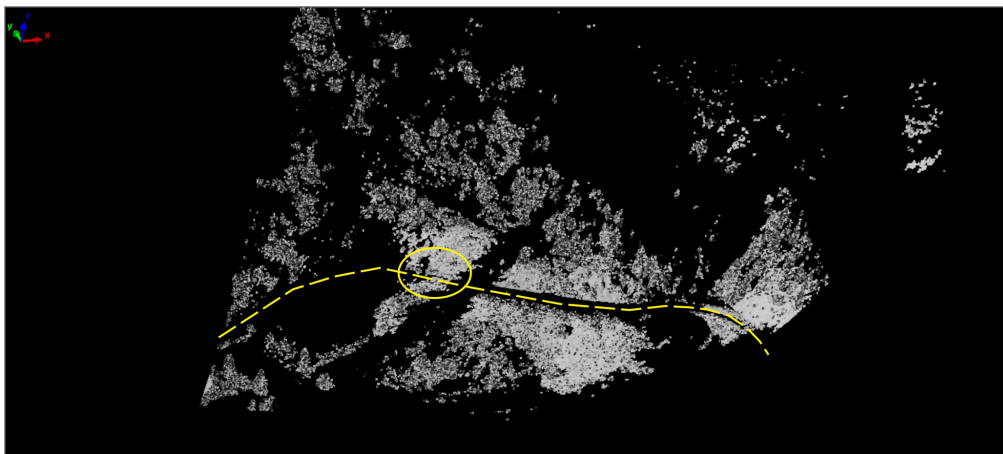
Όσον αφορά την σάρωση που πραγματοποιήθηκε στην θέση κατολίσθησης - Τυμφρηστός με το όργανο τηλεπισκόπησης LiDAR, η εικόνα που πάρθηκε παρατίθεται παρακάτω, όπου παρουσιάζονται 2 μορφές της. Η μία περιέχει όλα τα σημεία που κατέγραψε το μηχάνημα ενώ η δεύτερη είναι η φιλτραρισμένη μορφή της πρώτης εικόνας. Στην φιλτραρισμένη μορφή έγινε περικοπή των σημείων που απεικόνιζαν την χλωρίδα με σκοπό την απομόνωση του βραχώδους τμήματος της κατολίσθησης (πρανές), του δρόμου και των υποκείμενων κορημάτων. Καταυτόν τον τρόπο μπορεί να γίνει εύκολα μία ανάλυση της κύριας μάζας της κατολίσθησης στην οποία μπορούν να μετρηθούν κυρίως αποστάσεις. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι η κύρια μάζα της κατολίσθησης έχει πλάτος $\approx 200\text{m}$. Καθώς, λόγω της έντονης φυτοκάλυψης της περιοχής και της ανυπαρξίας σημείων σάρωσης που να καλύπτουν πλήρως την μάζα της κατολίσθησης, είναι αδύνατο να μετρηθεί ή κατακόρυφη απόσταση της στέψης και του ποδός της κατολίσθησης. Παρόλα αυτά μπορεί να γίνει μία εκτίμηση του όγκου της κατολισθείσας μάζας. Έτσι, αν υποθέσουμε ότι η κατολίσθηση ξεκινά από υψόμετρο 1010m και καταλήγει σε υψόμετρο 960m, η οριζόντια απόσταση μεταξύ του φρυδιού της κατολίσθησης και του πόδα είναι ίση με 140m και χρησιμοποιώντας την πληροφορία ότι η κατολίσθηση εκτείνεται σε μήκος 200m, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε ότι η μάζα της κατολίσθησης αντιστοιχεί σε όγκο $\leq 1.157.200\text{m}^3$.



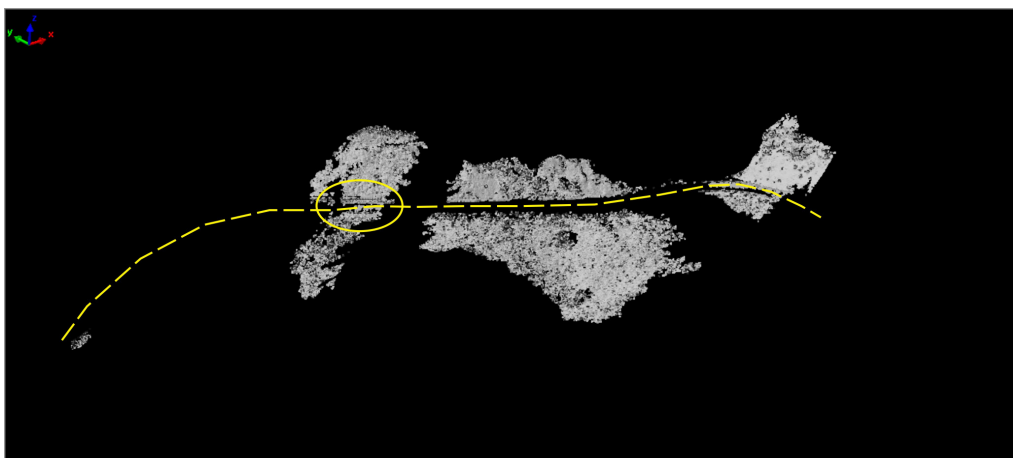
Εικόνα 9.2 Θέση σάρωσης και θέσης κατολίσθησης – Τυμφρηστός. (Google Earth)



Εικόνα 9.3 Θέση σάρωσης και θέσης κατολίσθησης – Τυμφορηστός. (Google Earth)



Εικόνα 9.4 Θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός (απλή εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνονται τα συρματοκιβώτια.



Εικόνα 9.5 Θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός (φιλτραρισμένη εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνονται τα συρματοκιβώτια.

9.2. Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1

Τα στοιχεία της συγκεκριμένη θέσης κατολίσθησης αντιστοιχούν σε:

- Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude): 38.877625° N ή 38° 52' 39.45" N
- Γεωγραφικό μήκος (Longitude): 21.705400° E ή 21° 42' 19.44" E
- Μέσο Υψόμετρο (Middle Height): 1136m

Τα στοιχεία της θέσης σάρωσης της συγκεκριμένης θέσης κατολίσθησης αντιστοιχούν σε:

- Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude): 38.879467° N ή 38° 52' 46.08" N
- Γεωγραφικό μήκος (Longitude): 21.703644° E ή 21° 42' 13.12" E
- Υψόμετρο (Height): 1126m
- Διεύθυνση προσανατολισμού σάρωσης: 170 NE

Για την συγκεκριμένη θέση πραγματοποιήθηκε και μία ακόμη μέτρηση συντεταγμένων ακριβώς έξω από την κατολίσθηση, για να βοηθήσει στην σύγκριση των στοιχείων με μία επικείμενη μέτρηση μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα. Έτσι, οι συντεταγμένες του σημείου ακριβώς έξω από την κατολίσθηση θα είναι οι ίδιες μετά από ορισμένο χρονικό διάστημα ενώ οι συντεταγμένες του σημείου μέσα στην κατολίσθηση θα αλλάξουν. Καταυτόν τον τρόπο θα μπορεί να μετρηθεί μία υποτυπώδης διαφορά αποστάσεων των 2 σημείων μέσα στην κατολίσθηση σε σχέση με το σημείο ακριβώς έξω από την κατολίσθηση. Η διαφορά αποστάσεων θα είναι η μετακίνηση της κύρια μάζας της κατολίσθησης για ορισμένο χρονικό διάστημα. Επίσης, με βάση την διαφορά υψομέτρου των 2 σημείων μέσα στην κατολίσθηση θα μπορεί να βρεθεί η απόλυτη κατακόρυφη μετακίνηση.

Τα στοιχεία του σημείου έξω από την κατολίσθηση είναι τα εξής:

- Γεωγραφικό Πλάτος (Latitude): 38.877132° N ή 38° 52' 37.68" N
- Γεωγραφικό μήκος (Longitude): 21.704990° E ή 21° 42' 17.96" E
- Μέσο Υψόμετρο (Middle Height): 1140m

Τεχνικογεωλογικά στοιχεία

Ο φλύσχης στην συγκεκριμένη θέση εμφανίζεται ψαμμιτικός με ενστρώσεις ιλυολίθου ανάμεσα στα ψαμμιτικά στρώματα πάχους 1mm – 15cm ή και μεγαλύτερα. Ακόμη ανάμεσα στις διακλάσεις του ψαμμίτη παρατηρήθηκε ασβεστίτικο υλικό ως υλικό πλήρωσης. Οι επιφάνειες φαίνονταν αρκετά οξειδωμένες λόγω της έντονης παρουσίας νερού ενώ η αποσάθρωση θα μπορούσε να χαρακτηριστεί μέτρια – αρκετή, καθώς ο ψαμμίτης θραύονταν με ένα κτύπο (μέτριας έντασης). Ακόμη, ο φλύσχης είναι έντονα διατμημένος λόγω της φύσης του καθώς και αρκετά πτυχωμένος. Από τα παραπάνω στοιχεία μπορούμε να εκτιμήσουμε ένα εύρος τιμών GSI το οποίο είναι ίσο με 35 – 40.

Στο κεντρικό σημείο της μάζας της κατολίσθησης υπήρχε μία περιοχή όπου τα επιφανειακά νερά συγκεντρώνονταν εκεί χωρίς όμως να δημιουργούνται κάποιο ρέμα. Σε εκείνο το σημείο κυρίως παρατηρήθηκε ασβεστίτικο υλικό το οποίο είχε την μορφή αλλούβιων κορημάτων. Η προφανής απάντηση είναι ότι αυτό το ασβεστίτικο υλικό προερχόταν από ένα σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου, στο οποίο υπήρχε εμφάνιση ασβεστόλιθου. Αυτή η υπόθεση επιβεβαιώθηκε με επί τόπου παρατήρηση, όπου φάνηκε ότι ο φλύσχη αποτελούνταν και από στρώσεις ασβεστόλιθου. Αυτό σήμαινε ότι το νερό το οποίο κατεισδύει στον ασβεστόλιθο, ο οποίος είναι υψομετρικά πιο ψηλά από τον ψαμμιτικό φλύσχη, δεν μπορεί να συνεχίσει να κατεισδύει στην επαφή με τον ψαμμιτικό φλύσχη (λόγω του ιλυολίθου), με αποτέλεσμα να αποστραγγίζεται επιφανειακά. Αυτό δημιουργεί καταστάσεις ύπαρξης μεγάλων ποσοτήτων νερού επιφανειακά κατά την διάρκεια βροχοπτώσεων, κάτι το οποίο επηρεάζει πολύ αρνητικά την μάζα του πετρώματος στην περιοχή της κατολίσθησης, ως προς την ολίσθηση.

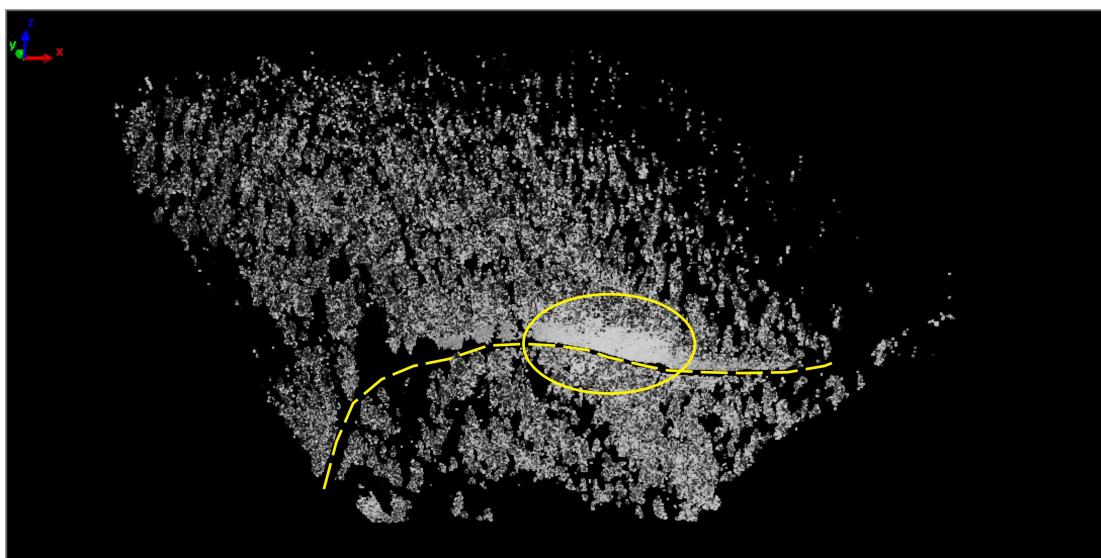
Όσον αφορά την σάρωση που πραγματοποιήθηκε στην θέση κατολίσθησης - Φιδάκια 1 με το όργανο τηλεπισκόπησης LiDAR, οι παράμετροι που ισχύουν είναι οι ίδιοι που ισχύουν για την θέση κατολίσθησης – Τυμφρηστός και οι εικόνες παρουσιάζονται παρακάτω. Αυτό σημαίνει ότι η αδυναμία ύπαρξης θέσης σάρωσης ικανής να καλύψει όλη την έκταση της κατολίσθησης, προκαλεί τον περιορισμό της μέτρησης της μάζας της κατολίσθησης μόνο ως προς το πλάτος και όχι ως προς την κατακόρυφη απόσταση. Έτσι λοιπόν, από την φιλτραρισμένη μορφή της εικόνας LiDAR για την θέση της κατολίσθησης προκύπτει ότι το πλάτος της κατολίσθησης είναι ίσο με 230 m. Όσον αφορά την εκτίμηση του όγκου της κατολίσθησης, θα λειτουργήσουμε έτσι όπως λειτουργήσαμε και για την θέση κατολίσθησης – Τυμφρηστός. Άρα, θεωρούμε ότι η κατολίσθηση ξεκινά από υψόμετρο 1160m και λήγει σε υψόμετρο 1110m. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ του φρυδιού της κατολίσθησης και του πόδα είναι ίση με 120m. Το πλάτος της κατολίσθησης είναι περίπου ίσο με 230 Άρα υπολογίζουμε ότι η κατολίσθηση έχει όγκο $\leq 1.018.670\text{m}^3$.



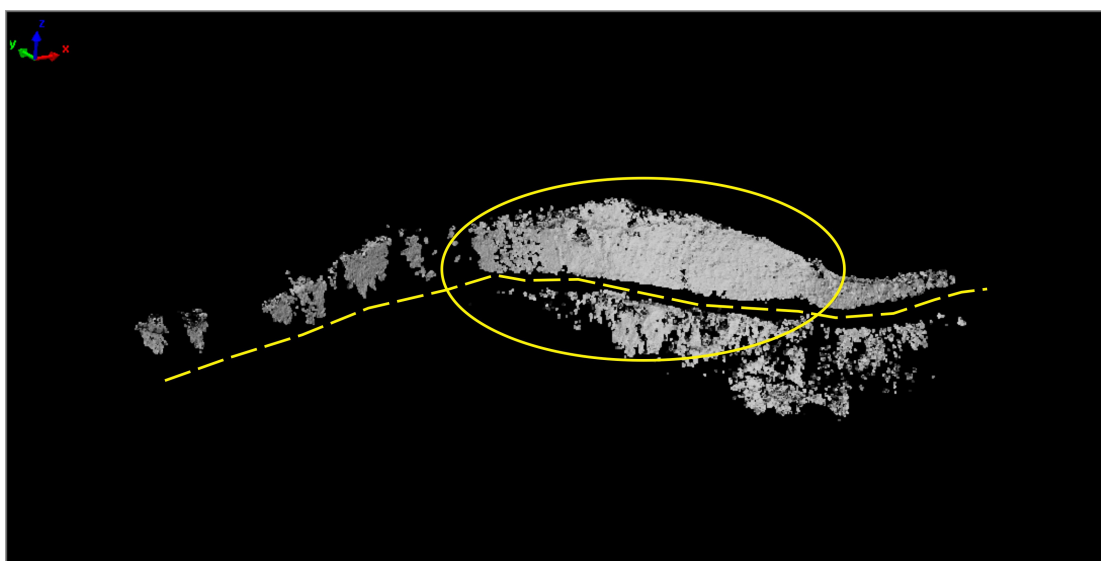
Εικόνα 9.6 Θέση σάρωσης και κατολίσθησης – Φιδάκια 1 (Google Earth)



Εικόνα 9.7 Θέση σάρωσης και κατολίσθησης – Φιδάκια 1 (Google Earth)

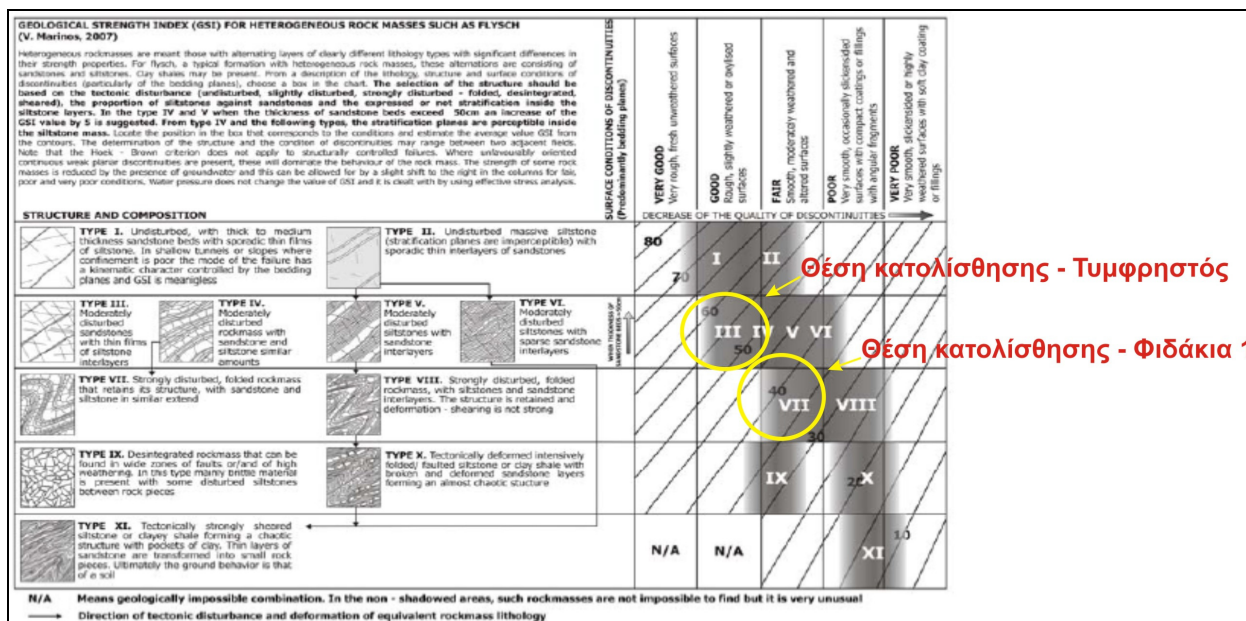


Εικόνα 9.8 Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια1 (απλή εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνεται το πρανές, κάτω από το οποίο εκδηλώνεται περισσότερο έντονα η κατολίσθηση.



Εικόνα 9.9 Θέση κατολίσθησης – Φιδάκια1 (φιλτραρισμένη εικόνα). Με κίτρινη γραμμή φαίνεται ο δρόμος και με κύκλο φαίνεται το πρανές, κάτω από το οποίο εκδηλώνεται περισσότερο έντονα η κατολίσθηση.

**ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ**



Εικόνα 9.10 Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το διάγραμμα GSI για τον φλύσχη και τα εύρη τιμών για κάθε κατολίσθηση.

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΜΕΡΟΣ Γ'

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

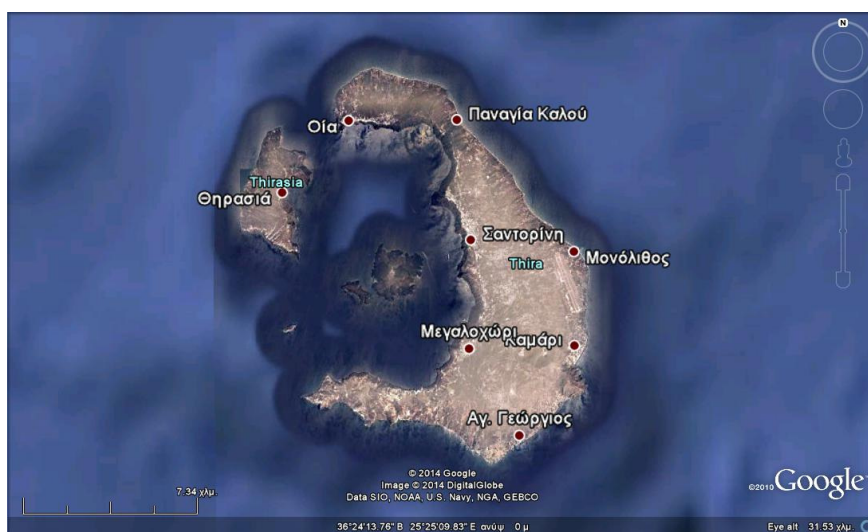
10.1. Γεωμορφολογικές συνθήκες Δήμου Θήρας

Η Σαντορίνη αποτελεί ένα νησί-ηφαίστειο. Βρίσκεται στο νότιο τμήμα των Κυκλάδων, νότια της Ίου και δυτικά της Ανάφης. Οι διαδοχικές εκρήξεις που έλαβαν χώρα στο νησί ξεκίνησαν πριν από 2 Ma με την τελευταία γνωστή έκρηξη να πραγματοποιείται το 1950 στην νησίδα Νέα Καμμένη. Η έκχυση των προϊόντων των εκρήξεων σε συνδυασμό με καταρρεύσεις του νησιού συνέβαλλαν στην διαμόρφωση της δομής της σημερινής μορφής της Σαντορίνης.

Η Σαντορίνη χαρακτηρίζεται σε γενική βάση από ομαλό ανάγλυφο, καθώς τα πυροκλαστικά υλικά των εκρήξεων αποτίθενται οριζόντια στην επιφάνεια του νησιού δημιουργώντας πλατό. Αυτή η κατάσταση αλλάζει απότομα στα πρανή της καλδέρας, καθώς οι καταρρεύσεις έχουν δημιουργήσει πολύ απότομα πρανή με κλίση μεγαλύτερη των 70°.

Στο εσωτερικό του νησιού, οι μορφολογικά ήπιες επιφάνειες σταματάνε στις περιοχές των βουνών: Κόκκινο και Μαύρο Βουνό, Προφήτης Ηλίας και Μέσα Βουνό (τα 2 τελευταία ενώνονται με έναν αυχένα, την Σελλάδα), τα οποία καταλαμβάνουν όχι περισσότερο από το 20% της συνολικής επιφάνειας του νησιού.

Όσον αφορά την υδρογεωλογία του νησιού, η Σαντορίνη αποτελεί ένα από τα πιο άνυδρα νησιά του Αιγαίου λόγω της έλλειψης υπόγειων πηγών και των ελάχιστων κατακρημνίσεων.



Εικόνα 10.1 Άποψη της Σαντορίνης (Google Earth)

10.2. Γεωμορφολογικές συνθήκες περιοχής μελέτης (Κόκκινη Παραλία)

Η Κόκκινη Παραλία (36°20'53.56''B, 25°23'41.54''A) αποτελείται από ηφαιστειακούς σχηματισμούς (σκωρίες και λάβες) οι οποίοι έχουν δώσει το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα στην περιοχή. Αυτοί οι σχηματισμοί έχουν διαβρωθεί από την δράση του θαλάσσιου νερού και του αέρα με αποτέλεσμα να έχει δημιουργηθεί μία φυσική τομή του ηφαιστείου ως ημικόκλιο. Συνεπώς υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης της δομής του εσωτερικού του ηφαιστείου.

Λόγω της έντονης διάβρωσης, η κλίση του πρσανούς που έχει διαμορφωθεί είναι μεγαλύτερη από 80°. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το νερό διαβρώνει σε μεγάλο βαθμό και ταχύ ρυθμό την βάση του πρσανούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, αυτή η υποσκαφή, να δημιουργεί αρνητικές κλίσεις στην βάση του πρσανούς, κάτι το οποίο επιτρέπει σε μεγάλους όγκους σκωριών να είναι μετέωροι (θα γίνει ειδικότερη αναφορά παρακάτω).

Η διάβρωση του τμήματος της παραλίας που εμπεριέχει τις λάβες, έχει προκαλέσει την πτώση μεγάλων τεμαχών με αποτέλεσμα η μορφολογία στο συγκεκριμένο τμήμα να είναι τραχιά με ποιο ήπιες όμως κλίσεις.

10.3. Γεωλογικό πρότυπο σχηματισμών και πετρωμάτων

Σύμφωνα με του Druitt et al., 1999, η Σαντορίνη ανήκει στα νησιά των Κυκλάδων και αποτελείται από ένα σύνολο νησιών τα οποία είναι η Θήρα, η Θηρασία, το Ασπρονήσι, η Παλαιά Καμμένη και η Νέα Καμμένη. Η Σαντορίνη, αποτελεί ένα ηφαιστειακό κέντρο το οποίο εντάσσεται στο ελληνικό ηφαιστειακό τόξο, το οποίο δημιουργήθηκε λόγω της υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από Ευρασιατική. Η ηφαιστειακή δράση στην Σαντορίνη ξεκίνησε πριν από 2 Ma και εκτός από ένα μικρό τμήμα μη ηφαιστειακού υποβάθρου, το υπόλοιπο τμήμα της Σαντορίνης αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα (πυριγενή πετρώματα, ιγκνιμβρίτες, σκωρίες και τόφους). Ορόσημο για το νησί αποτελεί η Μινωική έκρηξη, η οποία το έπληξε το 1613 π.Χ., κατά την ύστερη εποχή του χαλκού. Η έκρηξη αυτή συντάραξε της Μεσόγειο καθώς ήταν μία από τις μεγαλύτερες των ιστορικών χρόνων. Η λιθοστρωματογραφία της Σαντορίνης περιγράφεται παρακάτω:

- **Προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο:** Αποτελείται από μεταμορφωμένους ασβεστόλιθους και σχιστόλιθους Τριαδικής – Τριτογενούς ηλικίας, οι οποίοι μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν λόγω της Αλπικής ορογένεσης. Η μεταμόρφωση είναι κυανοσχιστολιθικού βαθμού. Τα πετρώματα αυτά παρατηρούνται επιφανειακά στο νότιο μέρος του νησιού και συγκεκριμένα στο βουνό Προφήτης Ηλίας, στις τοποθεσίες Γαβρήλος, Μέσα Βουνό, Πύργος, Μονόλιθος και Αθηνιός. Επίσης, έχει ανακαλυφθεί μετά από γεώτρηση, γρανίτης ηλικίας 9,5 Ma ο οποίος είναι όμοιος με τους υπόλοιπους γρανίτες των Κυκλάδων και έχει δημιουργήσει φαινόμενα θερμομεταμόρφωσης επαφής Skarn.

- **Προ-Μινωική ηφαιστειότητα**

- **Ηφαιστειακή δράση Ακρωτηρίου (2 Ma – 500 Ka)**

Είναι τα παλαιότερα ηφαιστειακά πετρώματα που συναντάμε στην Σαντορίνη και κυρίως στην περιοχή του Ακρωτηρίου και των Χριστιανών. Αποτελούνται από δακιτικές και ανδεσιτικές λάβες με την συνοδεία των τόφφων και των σκωριών. Εξήλθαν από τον πυθμένα της θάλασσας και φτάνοντας της επιφάνειάς της, δημιούργησαν ροές τις οποίες παρατηρούμε σήμερα στην Σαντορίνη. Η υδροθερμική αλλοίωση παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό στα συγκεκριμένα πετρώματα.

Τα πετρώματα της ηφαιστειακής δράσης του Ακρωτηρίου είναι αυτά που συναντάμε στην περιοχή μελέτης (Κόκκινη παραλία) και γι' αυτόν τον λόγο θα ασχοληθούμε περαιτέρω σε ξεχωριστό κεφάλαιο, όσον αφορά τα γεωλογικά – τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων πετρωμάτων.

- **Ηφαιστειακή δράση Περιστεριάς – Θήρας (530-250 Ka)**

- ▶ **530 – 430 Ka:** Δημιουργείται το ηφαίστειο Περιστεριάς το οποίο είναι ένα ασπιδόμορφο ηφαίστειο. Τα προϊόντα της έκρηξης είναι κυρίως ανδεσιτικές λάβες και δευτερευόντως βασαλτικές και δακιτικές λάβες. Τα προαναφερθέντα προϊόντα εμφανίζονται στα βουνά Προφήτης Ηλίας και Μεγάλο Βουνό. Συγχρόνως, εμφανίζεται στρομπόλια ηφαιστειακή δραστηριότητα νοτιότερα του νησιού η οποία δημιουργεί κώνους σκωριών βασαλτικής και ανδεσιτικής σύστασης. Η περιοχές στις οποίες εμφανίζεται αυτή η δραστηριότητα είναι τα Ακρωτήρια Μπάλος, Κοκκινόπετρα και Μαυροραχίδι.

Το ακρωτήριο Μαυροραχίδι εμπεριέχει την Κόκκινη παραλία και όπως προαναφέρθηκε για την ηφαιστειακή δράση του Ακρωτηρίου (2 Ma – 500 Ka), θα γίνει ιδιαίτερη αναφορά και για τις γεωλογικές - τεχνικογεωλογικές συνθήκες των σκωριών της Κόκκινης παραλίας, ως περιοχή μελέτης.

- ▶ **350 – 250 Ka:** Δημιουργείται σχεδόν στο κέντρο της σημερινής καλδέρας ένα ασπιδόμορφο ηφαίστειο, το ηφαίστειο Θήρας. Τα υλικά αυτής της έκρηξης συνενώνουν τα παλιότερα ηφαιστειακά κέντρα δημιουργώντας ένα ενιαίο νησί. Τα υλικά αυτής της έκρηξης έχουν ανδεσιτική έως ρυοδακιτική σύσταση και παρατηρούνται κυρίως στα Ακρωτήρια Αλαί και Αλωνάκι.

➤ **Πρώτος κύκλος ηφαιστειακής δραστηριότητας (360 – 180 Ka)**

Περιλαμβάνονται 5 μεγάλες εκρήξεις. Οι 3 πρώτες ονομάζονται «Θερμιά 1,2 και 3» (360 – 200 Ka) οι οποίες αποθέτουν παχιά ρεύματα σκωριών ανδεσιτικής σύστασης, οι μετέπειτα ανδεσιτικοί ιγκνιμβρίτες. Εμφανίζονται από το ακρωτήριο Θερμιά μέχρι τα Φηρά. Οι επόμενες 2 ονομάζονται εκρήξεις «Κατώτερης Κίσσηρης 1 και 2» με ιγκνιμβρίτες ρυοδακτιτικής σύστασης και αποθέσεις πτώσεις κίσσηρης. Εμφανίζονται από το Ακρωτήρι μέχρι τα Φηρά αλλά και στην περιοχή της Οίας.

Η δράση του πρώτου κύκλου ολοκληρώνεται με την δημιουργία μίας καλδέρας.

➤ **Δεύτερος κύκλος ηφαιστειακής δραστηριότητας (180 – 3,6 Ka)**

Περιλαμβάνονται 7 εκρηκτικά επεισόδια τα οποία λήγουν με την Μινωική έκρηξη πριν 3,6 Ka.

Πριν από 170 Ka έχουμε τον σχηματισμό του ασπιδόμορφου ηφαιστείου Σημαντήρι με ρεύματα λάβας βασαλτικής έως ανδεσιτικής σύστασης.

Έπειτα έχουμε 4 κύρια εκρηκτικά επεισόδια (60 – 40 Ka) τα οποία αναφέρονται ως Μεσαία σειρά Τόφων. Αυτή περιλαμβάνει τους εξής σχηματισμούς:

- Ιγκνιμβρίτης Φηρών
- Μεσαία Κίσσηρης
- Βούρβουλος
- Ανώτερες Σκωρίες 1

Τα προϊόντα είναι κυρίως ιγκνιμβρίτες και αποθέσεις πτώσης ανδεσιτικής έως δακτιτικής σύστασης.

Παράλληλα επαναδραστηριοποιούνται ηφαιστειακά κέντρα στο Μεγάλο Βουνό τα οποία σχηματίζουν τους κώνους Σκωριών του Μεγάλου και του Κόκκινου Βουνού. Επίσης, έχουμε τον σχηματισμό του δακτυλίου τόφων Κολούμπου στο ακρωτήριο Κολούμπο, από ηφαιστειακή δραστηριότητα maar. Τέλος, έχουμε τον σχηματισμό της καλδέρας Σκάρου.

Στα 40 Ka έχουμε τον σχηματισμό «Ανώτερες Σκωρίες 2», ένας κόκκινος ιγκνιμβρίτης ενδιάμεσης σύστασης.

Στα 21 Ka έχουμε μία πολύ μεγάλη έκρηξη από το ακρωτήριο Ρίβα στη Θηρασία, η οποία δημιουργεί τον ιγκνιμβρίτη του Ρίβα, ένας πυροκλαστικός σχηματισμός ρυοδακτιτικής σύστασης. Η έκρηξη αυτή συνοδεύεται με την δημιουργία της προτελευταίας καλδέρας.

Τέλος, έχουμε την Μινωική έκρηξη στα 3,6 Ka (1613 π.Χ.), τα προϊόντα της οποίας αποτελούνται κυρίως από κίσηρη η οποία καλύπτει όλο το νησί. Η έκρηξη αυτή διαμορφώνει την σημερινή καλδέρα στην τελική της μορφή.

- **Νέα ηφαιστειότητα (3,6 Ka – Σήμερα)**

Συντελείται με την ηφαιστειακή δράση στο κέντρο, περίπου, της σημερινής καλδέρας με την τελευταία έξαρση να έχει πραγματοποιηθεί το 1950. Τα προϊόντα αυτών των δράσεων δημιούργησαν την Παλαιά και Νέα Καμμένη.

10.4. Τεκτονική

Σύμφωνα με τους Kiliyas et al., 1998, τα τεκτονικά δεδομένα που έχουν συλλεχθεί από τους γεωεπιστήμονες για την Σαντορίνη μπορούν να αποκαλύψουν και να δώσουν εξήγηση για ποιον λόγο υφίσταται η ηφαιστειότητά της. Έτσι, τα τεκτονικά στοιχεία καθώς και πλήθος γεωφυσικών μοντέλων που έχουν πραγματοποιηθεί για την συγκεκριμένη περιοχή, δείχνουν καθαρά μία τεκτονική τάφρο η οποία έχει γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

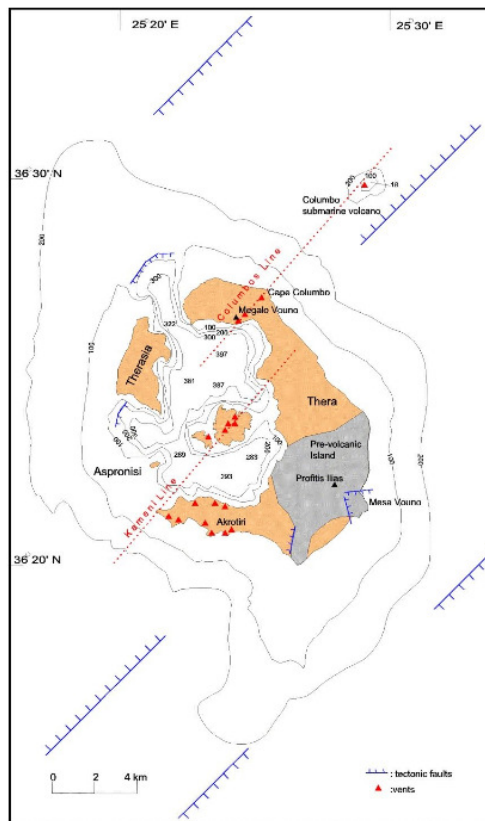
Σημαντικό στοιχείο είναι η χαρτογράφηση όλων των ηφαιστειακών κέντρων του νησιού τα οποία κατανέμονται σε μία γραμμή 4.500 km γενικής διεύθυνσης Β65Α, και σε μία ζώνη πλάτους 600 m. Η γραμμή αυτή λέγεται «γραμμή Καμμένης». Αυτό σημαίνει πως η τεκτονική τάφρος και η κατανομή των ηφαιστειακών κέντρων συνδέονται καθώς η ηφαιστειακή δραστηριότητα πραγματοποιείται πάνω σε αυτήν την τάφρο.

Η εξήγηση δίνεται με την θεώρηση ύπαρξης εκτατικού πεδίου, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ, το οποίο επιβεβαιώνεται λόγω των νεοτεκτονικών δεδομένων. Αυτή η εκτατική τεκτονική προέρχεται λόγω της υποβύθισης της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική και τα σημεία στα οποία αυτή εκδηλώνεται είναι κατάλληλα για την δημιουργία ηφαιστειακής δράσης.

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι η μετατόπιση των ηφαιστειακών κέντρων που υπάρχει στην Νέα Καμμένη, πραγματοποιείται πάνω στην ίδια διεύθυνση της κατανομής των ηφαιστειακών κέντρων του νησιού.

Η δεύτερη γραμμή η οποία παρατηρείται έχει γενική διεύθυνση Β60Α και διαμορφώνεται με βάση τους κώνους σκωριών του Μεγάλου Βουνού (Μαύρο και Κόκκινο Βουνό), του δακτυλίου τόφρων στο Ακρωτήριο Κολούμπο και το υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπος. Αυτή η τεκτονική γραμμή ονομάζεται «γραμμή Κολούμπου».

Με βάση την γνώση της ύπαρξης των 2 τεκτονικών γραμμών, μπορούμε να προσδιορίσουμε ποια ηφαιστειακά γεγονότα συνδέονται με την εκάστοτε τεκτονική γραμμή. Έτσι, τα ηφαιστειακά γεγονότα Κατώτερη Κίσηρης 2, Μεσαία Κίσηρης, Ανώτερες Σκωρίες 1 και 2 και η Μινωική έκρηξη συνδέονται με την γραμμή Καμμένης, ενώ τα ηφαιστειακά γεγονότα Βούρβουλος και Ρίβα συνδέονται με την τεκτονική γραμμή Κολούμπου.



Εικόνα 10.2 Απλοποιημένος τεκτονικός χάρτης του ηφαιστειακού κέντρου της Σαντορίνης. Οι συνεχείς γραμμές αντιπροσωπεύουν γνωστά ρήγματα ενώ οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις δύο κύριες τεκτονικές γραμμές, την τεκτονική γραμμή της Καμένης και την τεκτονική γραμμή του Κολούμπου. Με τα τρίγωνα παρουσιάζονται οι θέσεις των ηφαιστειακών κέντρων (Heiken and McCoy, 1984)

10.5. Στοιχεία σεισμικότητας

Όπως προαναφέρθηκε στο κεφάλαιο για την τεκτονική της Σαντορίνης, η 2 κύριες τεκτονικές γραμμές είναι οι γραμμές Καμένης και Κολούμπου. Συνεπώς οι κύρια σεισμική δραστηριότητα θα προέρχεται από αυτά τα 2 κύρια συστήματα ρηγμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται, στον

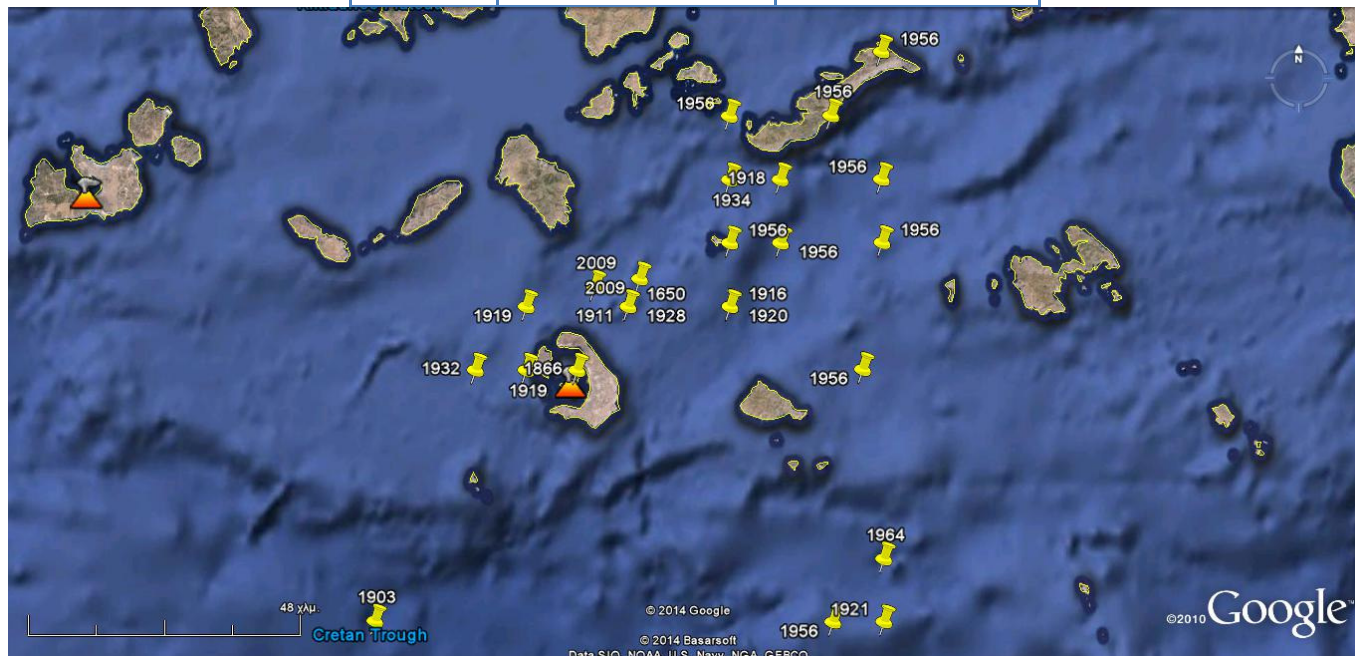
Πίνακα 10.1, οι σεισμοί με μέγεθος $M_w > 5$ για το χρονικό διάστημα το 550 π.Χ. έως 2009 μ.Χ. Αξίζει να παρατηρήσουμε πως το 1911 παρατηρείται ένας σεισμός με

μέγεθος 7.1 και το 1956 παρατηρείται ένας σεισμός με μέγεθος 7.5, με τον τελευταίο να είναι και ο ισχυρότερος.

Πίνακας 10.1 Ισχυροί ιστορικοί σεισμοί της ευρύτερης περιοχής (B.Παπαζάχος & K. Παπαζάχου 1989 <http://geophysics.geo.auth.gr/>)

Ημ/νία	Σεισμικό επίκεντρο	Μέγεθος (Richter)
-198	25.40 36.40	6
46	25.40 36.40	6.5
1650	25.50 36.50	6
1707	25.40 36.40	6
1866	25.40 36.40	6.1
1903	25.00 36.00	5.5
1911	25.50 36.50	7.1
1916	25.70 36.50	5.3
1918	25.80 36.70	6.6
1919	26.00 37.00	5.2
1919	25.30 36.40	6.1
1919	25.30 36.50	5.6
1919	25.30 36.50	5
1920	25.70 36.50	5
1921	26.00 36.00	5.3
1928	25.50 36.50	5.3
1932	25.20 36.40	5.8
1934	25.70 36.70	6.2
1956	25.96 36.40	7.5
1956	25.70 36.60	6.9
1956	26.00 36.70	5.0
1956	25.80 36.60	5.4
1956	25.90 36.80	5.6
1956	26.00 36.90	5.4
1956	26.00 36.70	5.3
1956	26.00 36.60	5.4
1956	25.90 36.00	5.1
1956	25.70 36.80	5.0

Ημ/νία	Σεισμικό επίκεντρο	Μέγεθος (Richter)
1964	26.00 36.10	5.3
2009	25.434 36.531	5.1
2009	25.523 36.544	5.0



Εικόνα 10.3 Κατανομή των σεισμών στην ευρύτερη περιοχή της Σαντορίνης για το διάστημα 550 π.Χ – 2009 μ.Χ (Google Earth με τροποποιήσεις)

Από την *Εικόνα 10.3* μπορούμε να παρατηρήσουμε πως τα σεισμικά κέντρα κατανέμονται πάνω σε μία νοητή γραμμή με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, με ελάχιστα να αποκλίνουν. Αυτό επιβεβαιώνει την υπόθεση της ύπαρξης του εκτατικού πεδίου τάσεων το οποίο έχει διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

Όσον αφορά τον σεισμό του 1956, μεγέθους 7.5, έλαβε χώρα σε περιοχή στο Νότιο Αιγαίο η οποία είχε χαρακτηριστεί ως «ασεισμικό πλατό». Το συγκεκριμένο γεγονός είναι το μεγαλύτερο του τελευταίου αιώνα για τον Ελλαδικό χώρο και αξίζει να παρατηρηθεί ότι δημιούργησε μεγάλο τσουνάμι το οποίο επηρέασε τα γειτονικά και κυρίως την Αστυπάλαια. Η συνολική καταστροφή του 1956 στην Σαντορίνη μετράει 53 νεκρούς, 100 τραυματίες, 529 ολικές καταρρεύσεις σπιτιών, 1482 σοβαρές ζημιές σε σπίτια και 1750 ελαφρές. Οι περισσότερες καταστροφές συνέβησαν στην Οία στο Ημεροβίγλι και στα Φηρά.

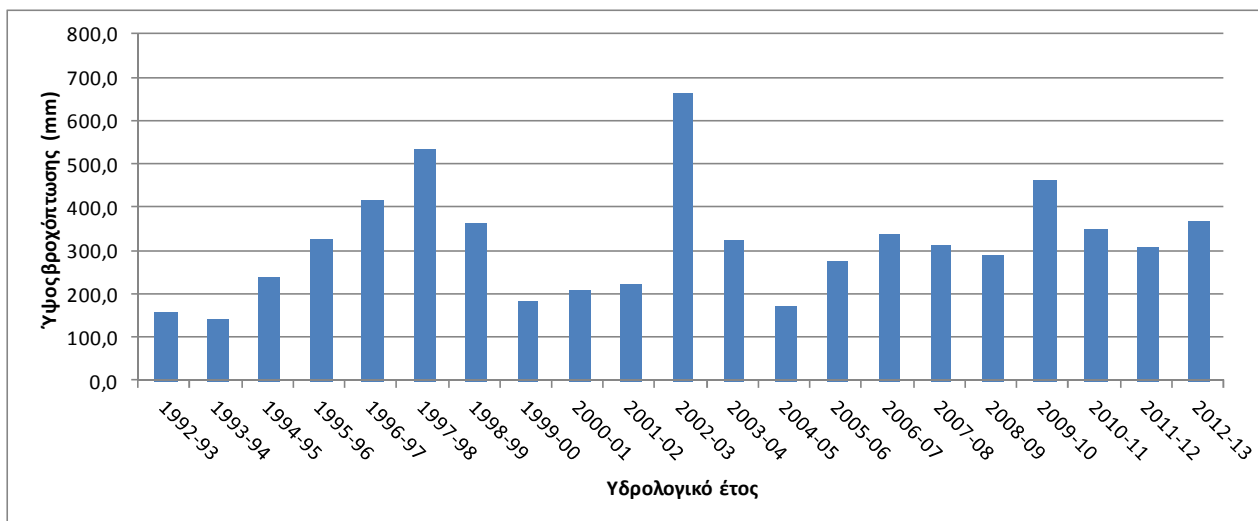
10.6. Υδρομετεωρολογικά στοιχεία

Τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία που συλλέχθηκαν αφορούν το μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων (mm) των υδρολογικών ετών (Οκτώβριος έως Σεπτέμβριο επομένου έτους) 1992-93 έως και 2012-13 του Μετεωρολογικού Σταθμού της Ε.Μ.Υ. στη Σαντορίνη (κωδ. Σταθμού WMO 16744 «Θήρα»)

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

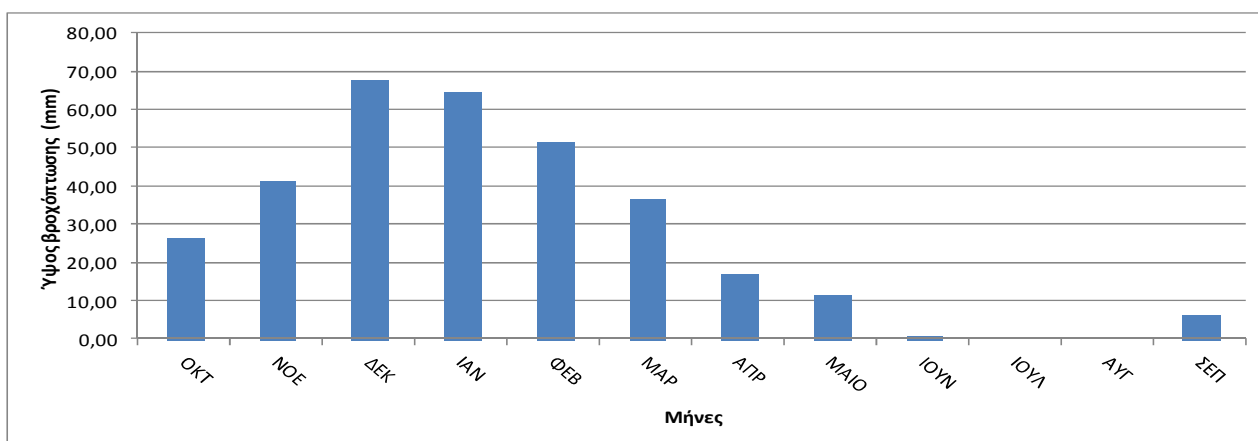
Η μέση ετήσια βροχόπτωση για το διάστημα αυτό υπολογίστηκε σε 319,2 mm με ελάχιστη τιμή τα 145,2 mm το υδρολογικό έτος 1993-94 και μέγιστη τα 666,7 mm το υδρολογικό έτος 2002-03. Ο μήνας που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη βροχόπτωση είναι ο Δεκέμβριος, με μέση βροχόπτωση 67,9 mm και ο αντίστοιχος με τη μικρότερη βροχόπτωση είναι ο Ιούλιος (0,07 mm).

Στην *Εικόνα 10.4* δίνεται η ετήσια κατανομή της βροχόπτωσης για το διάστημα από το 1992 έως και το 2013.



Εικόνα 10.4 Ετήσια ύψη βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 1992-93 έως και 2012-13

Στην *Εικόνα 10.5* δίνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για το διάστημα των παρατηρήσεων.

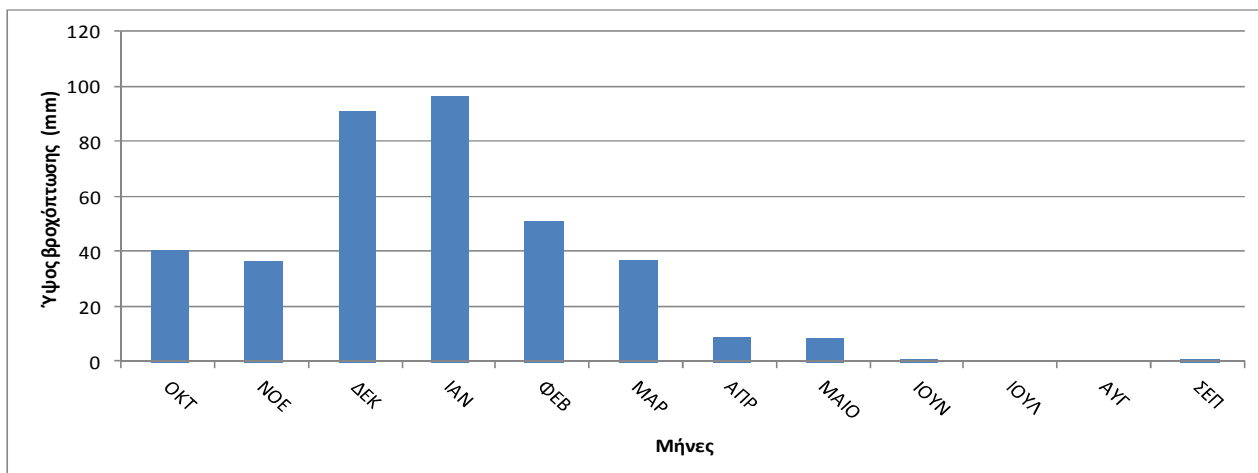


Εικόνα 10.5 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 1992-93 έως και 2012-13

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται η κατανομή της βροχόπτωσης στη διάρκεια του έτους. Παρατηρούμε ότι ο κύριος όγκος των κατακρημνισμάτων εμφανίζεται κατά

τους μήνες Δεκέμβριο με Φεβρουάριο για όλα το υδρολογικά έτη. Ο όγκος τους μειώνεται αισθητά κατά το διάστημα Μαρτίου-Μαΐου, και κατά τους θερινούς μήνες τα κατακρημνίσματα είναι μηδενικά.

Στην *Εικόνα 10.6* αποτυπώνονται οι μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης για τα 4 τελευταία υδρολογικά έτη (2009-10 έως και 2012-13).



Εικόνα 10.6 Μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης της περιοχής έρευνας για τα υδρολογικά έτη 2009-10 έως και 2012-13

Από την *Εικόνα 10.6* φαίνεται πως η ακολουθία των κατακρημνισμάτων ακολουθεί σε γενικές γραμμές την ενδοετήσια κατανομή όλων των προηγούμενων ετών με την διαφορά ότι κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο ήταν αυξημένη κατά περίπου 30% σε σχέση με τους αντίστοιχους μήνες των προηγούμενων ετών.

10.7. Γεωλογικό – Τεχνικογεωλογικό πρότυπο Ακρωτηρίου (Ακρωτήριο Μαυροραχίδι – Κόκκινη παραλία)

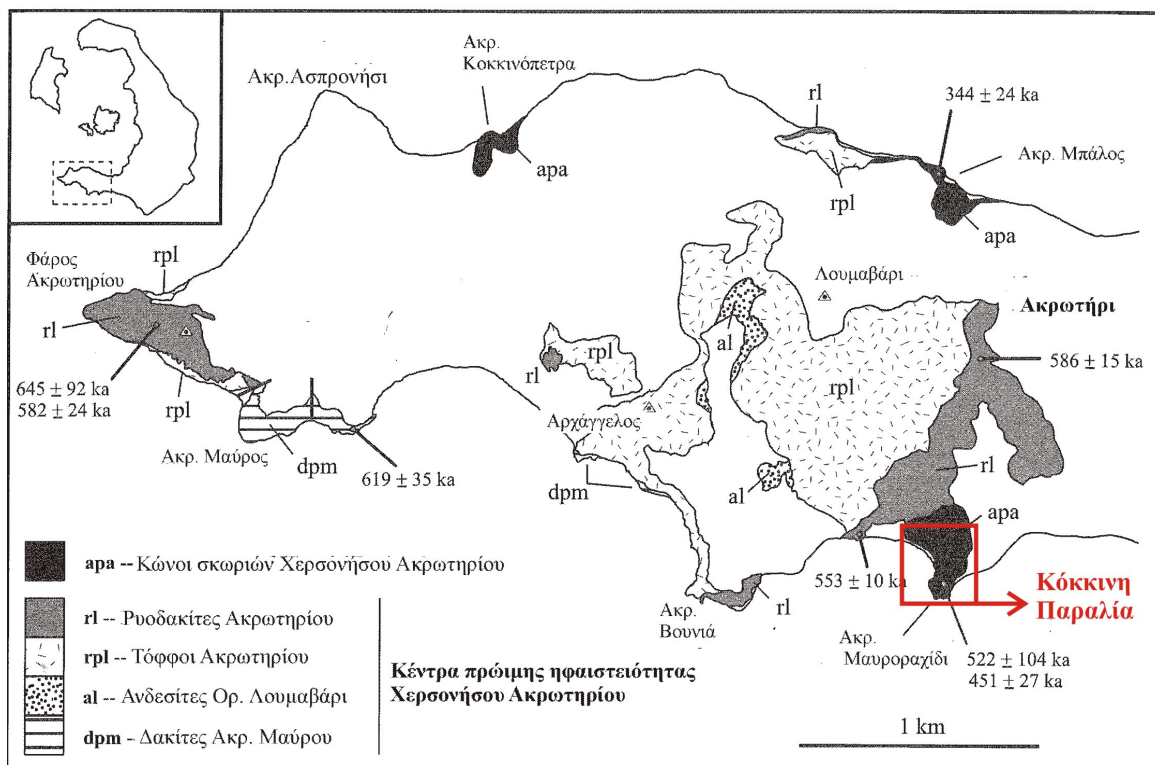
Όπως προαναφέρθηκε, η Κόκκινη παραλία αποτελείται κατά κύριο λόγο από λάβες δακτιτικής έως ανδεσιτικής σύστασης και από τόφφους και κώνους σκωριών βασαλτικής έως ανδεσιτικής σύστασης. Οι κώνοι σκωριών είναι υπεύθυνες για το χαρακτηριστικό κόκκινο χρώμα της Κόκκινης παραλίας.

Από την σκοπιά της τεχνικής γεωλογίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι σκωρίες της Κόκκινης παραλίας αποτελούνται από στρώσεις, με γωνία κλίσης ομόροπη με την γωνία κλίσης του πρανούς, λόγω της απόθεσης των πυροκλαστικών υλικών ως ίζημα. Γι' αυτόν τον λόγο δημιουργούνται επιφάνειες αδυναμίας πάνω στις οποίες μπορεί να πραγματοποιηθεί ολίσθηση. Ουσιαστικά, εκτός από την αδυναμία των υλικών του κώνου σκωριών λόγω της μικρή συνοχής που παρουσιάζουν, παρουσιάζεται ως αρνητικό του σχηματισμού η στρώση του. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό των σκωριών, είναι ότι περιέχουν σφαιρικά κομμάτια λάβας (λιθάρια – βολίδες) τα οποία εκτινάσσονται από το ηφαίστειο και καταλήγουν στην περιοχή του τόφφου. Αυτά τα κομμάτια όγκου 1-5 m³, είναι επιρρεπή σε κατάπτωση καθώς η διαφορετική διάβρωση των σκωριών και των τεμαχών λάβας συμβάλλει σε επικείμενη

κατάπτωσή τους. Ακόμη, η Κόκκινη παραλία παρουσιάζει τεκτονικές ασυνέχειες οι οποίες είναι αποτέλεσμα της τεκτονικής δράσης που υφίσταται το νησί. Έτσι, οι ασυνέχειες που παρατηρούνται έχουν γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και αποτελούν ένα τρίτο στοιχείο το οποίο επιδρά αρνητικά στο σχηματισμό, ως τεχνικογεωλογική ενότητα.

Η Κόκκινη παραλία, εκτός από τις σκωρίες, αποτελείται και από συμπαγείς λάβες οι οποίες παρουσιάζονται τεκτονισμένες και κερματισμένες σε μεγάλο βαθμό με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μπλοκ από 1 μέχρι 20 m³. Τα δημιουργηθέντα μπλοκ είναι επιρρεπή σε πτώση η οποία μπορεί να φανεί άκρως επικίνδυνη σε περίπτωση που στην περιοχή υπάρχουν άνθρωποι.

Πρέπει να τονιστεί ότι λόγω της διάβρωσης και υποσκαφής της βάσης του σχηματισμού από το νερό, η αρνητικές κλίσεις που δημιουργούνται συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στην δημιουργία επικρεμάμενων όγκων σκωριών, οι οποίοι δύναται να υποστούν κατάπτωση όταν το βάρος τους υπερνικήσει την συνοχή τους. Αυτό σε συνδυασμό με την στρώση και τις τεκτονικές ασυνέχειες των σκωριών μπορεί να αποβεί πολύ επικίνδυνο στην περίπτωση που υπάρχουν άνθρωποι στην περιοχή, καθώς τα προαναφερθέντα στοιχεία μπορούν να δημιουργήσουν οριοθετημένες μάζες μεγάλων κυβικών μέτρων ($\geq 300 \text{ m}^3$). Μία τέτοια περίπτωση ήταν η κατολίσθηση που συνέβη τον Αύγουστο του 2013, με την αποκόλληση ενός τμήματος σκωριών της Κόκκινης Παραλίας, όγκου 300 m³, χωρίς –ετυχώς– θύματα.



Εικόνα 10.7 Γεωλογικός χάρτης περιοχής Ακρωτηρίου (Druitt et al. 1999 με τροποποιήσεις)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

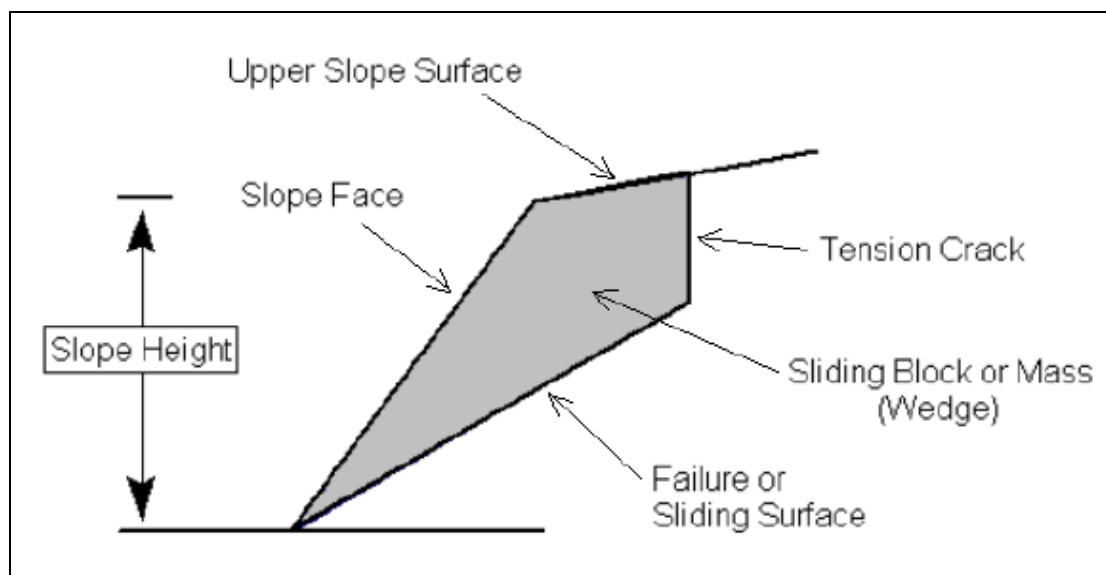
11. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΩΝ ΑΣΤΑΘΕΙΩΝ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

11.1. Περιοχή - Κόκκινη Παραλία

11.1.1. Περιγραφή προγράμματος - RocPlane

Το λογισμικό RocPlane της εταιρίας Rocscience, είναι ένα μέσο για τη δημιουργία δυσδιάστατων (2-D) μοντέλων όσον αφορά τις επίπεδες ολισθήσεις. Η δυνατότητα κατασκευής ντετερμινιστικών ή πιθανοτικών μοντέλων παρέχει στον χρήστη ένα μεγάλο εύρος επιλογών, τις οποίες αξιολογεί και μπορεί να καταλήξει στην κατάλληλη ανάλογα τα δεδομένα που κατέχει. Με βάση αυτό το λογισμικό παραμετροποιούνται όλα τα γεωμετρικά στοιχεία του εκάστοτε πρανού, τα γεωτεχνικά του στοιχεία και οι δυνάμεις που ωθούν ή συγκρατούν την ολίσθηση.

Η λειτουργία του συγκεκριμένου λογισμικού βασίζεται στην ύπαρξη μιας ασυνέχειας η οποία ανατέλλει στο πρανές και της οποίας η γωνία κλίσης είναι μικρότερη από την γωνία κλίσης του πρανού. Το λογισμικό δίνει επίσης την δυνατότητα θεώρησης επικείμενης εφελκυστικής ρωγμής. Η διεύθυνση κλίσης του πρανού, της στέψης τους πρανού της ασυνέχειας και της εφελκυστικής ρωγμής δεν χρειάζεται να υπολογιστούν καθώς έχουν θεωρηθεί παράλληλες ή υποπαράλληλες από τον κατασκευαστή (με απόκλιση $\leq 20^\circ$). Μια σχηματική απεικόνιση των επιπέδων που μοντελοποιούνται με το λογισμικό RocPlane, φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 11.1 Απεικόνιση των μοντέλων που μοντελοποιούνται με το λογισμικό RocPlane. Φαίνεται το πρανές, η στέψη του πρανούς, η εφελκυστική ρωγμή, το επίπεδο που ολισθαίνει και η ασυνέχεια πάνω στην οποία γίνεται η ολίσθηση. (www.rocsience.com, 2014)

Το λογισμικό RocPlane δίνει επίσης την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει υδρογεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα τα οποία προβάλλει παραστατικά στο μοντέλο. Έτσι, μπορεί να δημιουργηθεί μία όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική ανάλυση του πρανούς. Συγκεκριμένα, το λογισμικό δίνει τις εξής δυνατότητες:

- Εισαγωγή υδρογεωλογικών στοιχείων όσον αφορά την πίεση του νερού (Unit Weight=0.00981 MN/m³) στις ασυνέχειες που ορίζουν το επίπεδο:
 - Μέγιστη πίεση νερού στη μέση του επιπέδου
 - Μέγιστη πίεση νερού στην βάση του επιπέδου
 - Μέγιστη πίεση νερού στην βάση της εφελκυστικής ρωγμής
 - Προσαρμοζόμενη πίεση νερού
- Εισαγωγή σεισμολογικών δεδομένων
 - Επίδραση του σεισμικού συντελεστή κάθετα στο επίπεδο
 - Επίδραση του σεισμικού συντελεστή σε προσαρμοζόμενο προσανατολισμό όσον αφορά το επίπεδο
- Εξωτερική δύναμη
 - Εισαγωγή γωνίας και ποσού δύναμης (MN/m) που επιδρά στο επίπεδο

Μία ακόμη παράμετρος που πρέπει να προσδιοριστεί είναι η συμπεριφορά του επιπέδου έναντι ολίσθησης και αυτό μπορεί να γίνει με τον προσδιορισμό παραμέτρων ορισμένων κριτηρίων αστοχίας. Τα κριτήρια αστοχίας που υποστηρίζει το λογισμικό RocPlane είναι τα εξής:

- Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.
 - Γωνία τριβής (°)
 - Συνοχή (MPa)
- Κριτήριο αστοχίας Barton-Bandis
 - JCS (MPa)
 - JRS
 - Γωνία τριβής (°)
- Κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown
 - UCS (MPa)
 - m & s (σταθερές υλικού)

➤ Γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown

- UCS (MPa)
- m_b (απομειωμένη τιμή της σταθεράς m_i)
- a & s (σταθερές υλικού)

➤ Κριτήριο αστοχίας Power Curve

- a & b & c (σταθερές υλικού)

Τέλος, το λογισμικό RocPlane δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να προσομοιάσει την αντιστήριξη του πρανού μέσω αγκυρίων παθητικών ή ενεργητικών. Τα δεδομένα που θα πρέπει να εισαχθούν είναι το μήκος (m) και η γωνία ($^\circ$) εισαγωγής του αγκυρίου καθώς και η αντοχή (MN) που θα πρέπει να μπορεί να παραλάβει. Το λογισμικό RocPlane δίνει επίσης, την ευκαιρία στον χρήστη, της επιλογής του συντελεστή ασφαλείας που θα ήθελε να χαρακτηρίζει το πρανές μετά την εισαγωγή του αγκυρίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται μία οπτικοποιημένη διεργασία σχεδιασμού αντιστήριξης πρανούς, από τον γεωλόγο ή από οποιονδήποτε εκπονεί μία αντίστοιχη εργασία ή μελέτη.

Στην συγκεκριμένη εργασία, η χρήση του συγκεκριμένου λογισμικού καθίσταται αναγκαία καθώς η προσπάθεια ανάλυσης της πιθανότητας κατάπτωσης ενός τεμάχους (όπως το *τέμαχος 1* στην Κόκκινη παραλία) με συμβατικές υπολογιστικές μεθόδους θα ήταν σχεδόν αδύνατη ή στην καλύτερη περίπτωση θα εμπεριείχε μεγάλο ποσοστό σφάλματος.

11.1.2. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων RocPlane

Για την δημιουργία μοντέλων RocPlane είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες παραδοχές. Αυτές θα βοηθήσουν τόσο στην απλοποίηση των μοντέλων χωρίς όμως να λείπει ο ρεαλισμός, όσο και στην αποφυγή λαθών τα οποία μπορούν να προέλθουν από την προσπάθεια εισαγωγής μιας, υπέρ του δέοντος, περιπλοκότητα και λεπτομέρεια. Συνεπώς και σύμφωνα με την εταιρία Rocscience (www.rocscience.com), οι παραδοχές που λαμβάνονται υπόψη είναι οι εξής:

- Η ανάλυση RocPlane πραγματοποιείται σε 2 διαστάσεις (2-D) καθώς έχει θεωρηθεί ότι για να πραγματοποιηθεί επίπεδη ολίσθηση θα πρέπει, οι διευθύνσεις κλίσης του πρανού, της στέψης του πρανού, της ασυνέχειας πάνω στην οποία πραγματοποιείται η ολίσθηση και μιας προαιρετικής εφελκυστικής ρωγμής, να είναι παράλληλες ή υποπαράλληλες με μέγιστη απόκλιση τις 20° .
- Η ασυνέχεια στην οποία πραγματοποιείται η ολίσθηση θα πρέπει να ανατέλλει στο πρανές με γωνία κλίσης μικρότερη από την γωνία κλίσης του πρανού.
- Όσον αφορά τους αριθμητικούς υπολογισμούς, το πλάτος του πρανού θεωρείται μοναδιαίο.

- Όλες οι δυνάμεις που ασκούνται επάνω στο πρανές και χρησιμοποιούνται στις αναλύσεις όπως για παράδειγμα η δύναμη που ασκεί το νερό ή η αντίθετη δύναμη που ασκούν τα μέτρα υποστήριξης, θεωρείται οι ασκούνται στο κέντρο του επιπέδου που ολισθαίνει.

Για την κατασκευή των μοντέλων RocPlane είναι αναγκαίο να καθοριστούν ορισμένες παράμετροι οι οποίες θα συμβάλλουν στην ρεαλιστικότερη μοντελοποίηση των επίπεδων ολισθήσεων. Τέτοιες παράμετροι είναι οι εξής:

- Γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς (κλίση, ύψος)
- Γεωμετρικά στοιχεία εφελκυστικής ρωγμής (κλίση, σημειακή θέση)
- Γεωμετρικά στοιχεία του τεμάχους που ολισθαίνει (κλίση)
- Γωνία τριβής (ϕ) και συνοχή (c)
- Προσδιορισμός δυνάμεων που ωθούν προς ολίσθηση

Τα γεωμετρικά στοιχεία μπορούν να υπολογιστούν με βάση την υπαίθρια παρατήρηση και την χρήση του λογισμικού Polyworks της InnonMetric για την επεξεργασία εικόνων LiDAR. Στην προκειμένη περίπτωση, ο υπολογισμός των γεωμετρικών στοιχείων έγινε κυρίως με την επεξεργασία εικόνας LiDAR. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η χρήση τέτοιων λογισμικών, δίνει αποτελέσματα ακριβείας όσον αφορά μετρήσεις γεωμετρικών στοιχείων ενώ ο υπολογισμός τέτοιων στοιχείων με βάση μόνο την υπαίθρια παρατήρηση εμπεριέχει σημαντικό σφάλμα. Η ιδανική περίπτωση είναι ο υπολογισμός τέτοιων στοιχείων με την χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων και η επιβεβαίωσή τους στην ύπαιθρο.

11.1.3. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά ηφαιστειακών πετρωμάτων

1. Λάβα

Πίνακας 11.1 Φαίνονται οι τιμές του ειδικού βάρους (kN/m^3), οι τιμές αναπήδησης της σφύρας Schmidt (R_L), οι τιμές της σημειακής φόρτισης ($I_{s(50)}$) και οι τιμές της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη (MPa) για λάβα υγρή (F) και αποσαθρωμένη (A). (Rodrigo del Porto, Marcel Hurlimann 2008)

Unit	Unit weight (kN/m^3)	R_L	$I_{s(50)}$	σ_{ci} (MPa)
Lava (F)	24.6 ± 2.3	47.5 ± 2.7	5.2 ± 2.2	113 ^a
Lava (A)	22.2 ± 3	–	1.7	29.6 ± 11.8

2. Ηφαιστειακά εδάφη

Πίνακας 11.2 Φαίνονται οι τιμές του ειδικού βάρους (kN/m^3), οι τιμές της γωνίας τριβής ($^\circ$) και οι τιμές της συνοχής (MPa) για ηφαιστειακά εδάφη συνεκτικά, μη συνεκτικά και μαζώδεις αποθέσεις. (Rodrigo del Porto, Marcel Hurlimann 2008)

Material	Unit weight (kN/m ³)	φ' (°)	c' (MPa)
Cohesionless soil	14.2±4	33.9±9.3	0
Cohesive soils	14.9	13±7.3	1±0.5
Avalanche deposit	17.1±2	41±3	0.5±0.5

3. Γεωτεχνικές παράμετροι ηφαιστειακών πετρωμάτων

Πίνακας 11.3 Φαίνονται οι γεωτεχνικές παράμετροι για λάβα, λάβα+τεμαχώδη κομμάτια, τεμαχώδη κομμάτια και πυροκλαστικές αποθέσεις. (T. Aruani et al. 2005)

Lithotechnical units: physical-mechanical properties				
	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
	Lava	Lava+Breccia	Breccia	Pyroclastic deposits
Bulk volume γ_d (kN/m ³)	19.71–26.68 (22.56) ^{Lb}	(18.63)	8.83–17.46 (14.71) ^S	(14.71)
Porosity n (%)	3–20 ^{Lb}			
Intact rock UCS (MPa)	50–162 (50) ^{Lb}	40–100 (40) ^{un}	30–80 (30) ^{un}	10–50 (20) ^{un}
m_i	25±5 (25) ^{Tr}	22±5 (19) ^{Tr}	19±5 (18) ^{Tr}	13±5 (15) ^{Tr}
Geological strength index GSI	40–55 (40) ^S	30–45 (30) ^S	15–35 (20) ^S	8–20 (15) ^S
Disturbance factor D	0–0.6 (0) ^S	0–0.6 (0) ^S	0–0.6 (0) ^S	0–0.6 (0) ^S
Base friction angle ϕ_b (°)	22–32 ^{Lb}			
<i>Hoek–Brown failure criterion and Mohr–Coulomb equivalent parameters function of σ_{3max} (5–20 MPa)</i>				
Friction angle ϕ_p (°)	43–31	35–25	29–20	23–15
Apparent cohesion c (MPa)	1.5–3.9	1.1–2.8	0.8–2.0	0.6–1.4
Tensile strength σ'_{tm} (MPa)	–0.022	–0.011	–0.004	–0.002
Uniaxial compressive strength UCS _m (MPa)	1.654	0.688	0.239	0.100
Global strength σ'_{gm} (MPa)	11.05	6.109	3.348	1.682
Modulus of deformation E_m (MPa)	3976	2000	974	596

11.1.4. Περιοχή μελέτης – Κόκκινη παραλία

Η Κόκκινη παραλία αποτελεί ένα μέρος φυσικού κάλους στην Σαντορίνη, το οποίο επισκέπτονται κάθε χρόνο χιλιάδες τουρίστες. Ο λόγος για τον οποίο η Κόκκινη παραλία αποτελεί πόλο έλξης για τους τουρίστες είναι ο ίδιος για τον οποίο η επιδεκτικότητα σε κατολισθήσεις, στην περιοχή αυτή, έχει μεγάλο βαθμό.

Μπορούμε να διακρίνουμε πως τα πρηνή της Κόκκινης παραλίας είναι εξαιρετικά απότομα και ψηλά (>75°), κάτι το οποίο μας δίνει την δυνατότητα να παρατηρήσουμε σε όλο το μήκος της την δομή του εσωτερικού του παλιού ηφαιστείου. Το διαβρωτικό μέσο είναι η θάλασσα και ο αέρας τα οποία υποσκάπτουν την βάση της παραλίας. Συνεπώς, η δράση εφελκυστικών ρηγμάτων σε συνδυασμό με την διαδικασία της διάβρωσης, μπορεί να δώσει κατολισθήσεις της τάξης των εκατοντάδων κυβικών μέτρων, κάτι εξαιρετικά επικίνδυνο για τους ανθρώπους που μπορεί να παρευρίσκονται στον χώρο. Συμπερασματικά, οι σημαντικού όγκου κατολισθήσεις που πραγματοποιούνται σχετικά συχνά στην περιοχή της Κόκκινης παραλίας, είναι

αυτές οι οποίες ευθύνονται για το όμορφο και πρωτόγνωρο τοπίο που έχει δημιουργηθεί καθώς επίσης και για τον πληθωρικό τουρισμό.

11.1.5. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά βραχώδων πρανών

Η κόκκινη παραλία απαρτίζεται κυρίως από καλά συγκολλημένες σκωρίες ερυθρού χρώματος, οι οποίες παρουσιάζουν ψευδοσυνοχή [η ιδιότητα των κοκκωδών ($1\text{cm} < d < 5\text{cm}$) σχηματισμών να σχηματίζουν κατακόρυφα πρανή όχι λόγω της πραγματικής συνοχής αλλά συνοχής που προέρχεται από την συγκόλληση των κόκκων λόγω του νερού]. Κατά την δράση του ηφαιστείου, τα υλικά της έκρηξης εκτοξεύονται στην ατμόσφαιρα και αποτίθενται στα πρανή του ηφαιστείου, δημιουργώντας στρώματα. Το αποτέλεσμα είναι οι λεγόμενες σκωρίες, οι οποίες αποτελούν το υλικό το οποίο είναι επιρρεπές στην ολίσθηση και αυτό συμβαίνει καθώς λειτουργούν ως ιζηματογενές πέτρωμα παρουσιάζοντας ασυνέχειες λόγω της στρώσης. Εφόσον το υλικό αυτό ολισθήσει, θα χάσει την ισορροπία του και λόγω της ενέργειας που θα αποκτήσει, οι παραγόμενες δονήσεις θα συμβάλουν ώστε το υλικό να χάσει και την ψευδοσυνοχή του. Ως αποτέλεσμα, το κατολισθέν υλικό θα διασπαστεί στους κόκκους από τους οποίους αποτελείται και θα αποτεθεί στον πόδα του πρανού με την μορφή έκχυσης.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζονται τεμάχια της Κόκκινης παραλίας τα οποία είναι επιρρεπή στην ολίσθηση καθώς και η εικόνα της κατολίσθησης που συνέβη τον Αύγουστο του 2013. (Στην



Εικόνα 11.2 παρατηρούμε το αριστερό τέμαχος το οποίο χαρακτηρίζεται ως τέμαχος I και θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση επίπεδης ολίσθησης με το λογισμικό RocPlane):



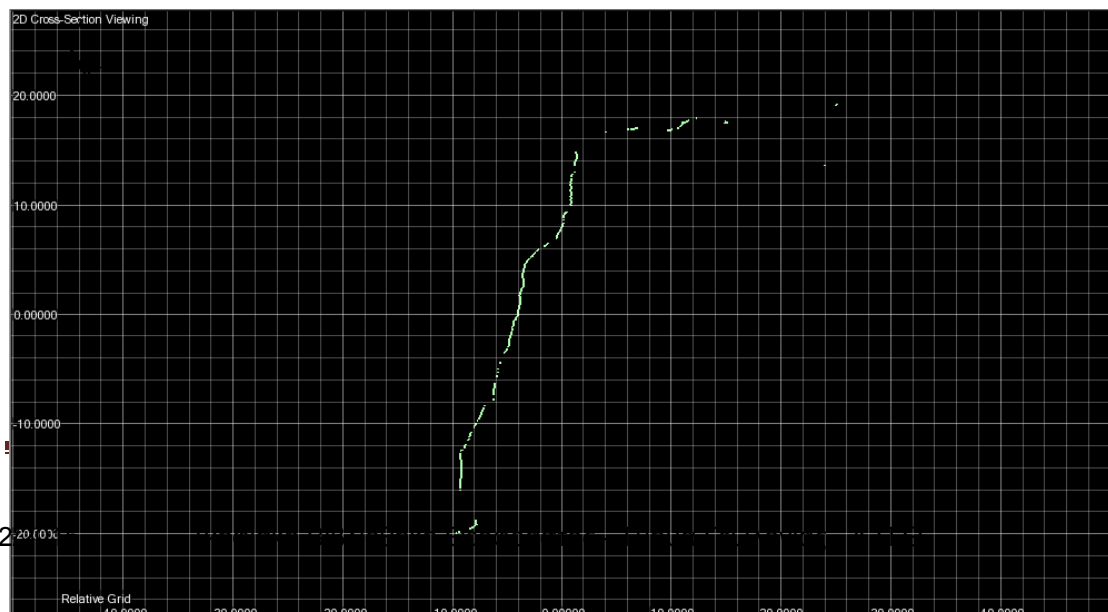
Εικόνα 11.2 Άποψη της Κόκκινης παραλίας. Με μπλε κύκλο φαίνονται τα τεμάχια τα οποία είναι επιρρεπή σε ολίσθηση. Το αριστερό τέμαχος



Εικόνα 11.3 Άποψη της Κόκκινης παραλίας. Με μπλε κύκλο φαίνεται η κατολίσθηση που συνέβη τον Αύγουστο του 2013. Επίσης με βέλος μπορούμε να παρατηρήσουμε την εφελκυστική ρωγμή που διαχωρίζει το τέμαχος 1 από το υπόλοιπο πρανές.

11.1.6. Μοντελοποίηση της περιοχής της Κόκκινης παραλίας – Θέση K3

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εγκάρσια τομή του τεμάχους 1 από την οποία λήφθηκαν τα δεδομένα για τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς:



Εικόνα 11.4 Εγκάρσια τομή στο τέμαχος 1.

Από την *Εικόνα 11.4* μπορούμε να εξάγουμε τα εξής στοιχεία:

- Το ύψος του πρανούς υπολογίζεται σε 35 m
- Η κλίση του πρανούς υπολογίζεται σε 70°
- Η σημειακή θέση της εφελκυστικής ρωγμής υπολογίζεται σε 12 m από το άνω άκρο του πρανούς
- Η γωνία κλίσης του επιδεκτικού σε ολίσθηση τεμάχους υπολογίζεται στις 35°.
- Η γωνία κλίσης της στέψης του πρανούς υπολογίζεται στις 8°.

Επίσης σύμφωνα με την εικόνα LiDar της Κόκκινης παραλίας, το πλάτος του *τεμάχους 1* υπολογίζεται σε 15.6 m.

Όσον αφορά τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά του τεμάχους, οι παραδοχές οι οποίες θα γίνουν θα βασιστούν κυρίως στην βιβλιογραφία. Επίσης, ως κριτήριο αστοχίας θα χρησιμοποιηθεί το κριτήριο Mohr-Coulomb. Συνεπώς, σύμφωνα με τον *Πίνακα 11.3*, τα στοιχεία είναι τα εξής:

- Η γωνία τριβής υπολογίζεται στις 18°.
- Η συνοχή υπολογίζεται στα 0.1 MPa.

Στη συγκεκριμένη ανάλυση θα προβληθούν 3 περιπτώσεις όσον αφορά την εκτίμηση της ολίσθησης του *τεμάχους 1*. Η πρώτη περίπτωση αφορά την συμπεριφορά του τεμάχους σε ξηρές συνθήκες, η δεύτερη περίπτωση αφορά την συμπεριφορά του τεμάχους μετά από βροχόπτωση με τις ασυνέχειες πληρωμένες κατά 40% ενώ η τρίτη περίπτωση αφορά την συμπεριφορά του τεμάχους μετά από σεισμική φόρτιση με σεισμικό συντελεστή 0.24. Συνεπώς, στην δεύτερη περίπτωση, ως εξωτερική δύναμη θα θεωρηθεί η πίεση του νερού που βρίσκεται στις ασυνέχειες και στην τρίτη περίπτωση, ως εξωτερική δύναμη θα θεωρηθεί η σεισμική επίδραση.

Σημείωση: Ο σεισμικός συντελεστής καθορίζει την δύναμη με την οποία θα επιδράσει ο σεισμός στο πρανές και θα επηρεάσει το τέμαχος το οποίο είναι επιρρεπές σε κατάρπτωση. Ο μαθηματικός τύπος με τον οποίο υπολογίζεται η προαναφερθείσα δύναμη είναι ο εξής:

$$F = a \cdot g \cdot m \quad (1)$$

Όπου

F: η δύναμη με την οποία επιδρά ο σεισμός στο πρανές

a: ο σεισμικός συντελεστής

g: η επιτάχυνση της βαρύτητας

m: η μάζα του τεμάχους που ολισθαίνει

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται το ανώτατο επιτρεπόμενο όριο του συντελεστή ασφαλείας για διάφορες περιπτώσεις, όπως ορίζεται από το ΦΕΚ 1221/30-11-98 περί «Ανάλυσης τιμών και λοιπών θεμάτων Γεωτεχνικών ερευνών, Μελετών Γεωτεχνικών έργων και Γεωτεχνικών Μελετών».

Πίνακας 11.4 Ανώτατα όρια του συντελεστή ασφαλείας (FS) σύμφωνα με το ΦΕΚ 1221/30-11-98

Συντελεστής ασφαλείας	Συνθήκες
FS=1.4	Για συνθήκες ομαλής φόρτισης και ομαλής λειτουργίας
FS=1.3	Για συνθήκες στατικής φόρτισης και πιθανής εκτιμώμενης ακραίας περίπτωσης ανύψωσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για ζωή έργου 50 χρόνια
FS=1.0	Για περίπτωση σεισμικής φόρτισης

Στο Παράρτημα όπου φαίνονται οι αναλύσεις του τεμάχους 1 με το λογισμικό RocPlane, φαίνεται ότι και στις 3 περιπτώσεις, η μάζα του επιπέδου υπολογίζεται σε 7.82 t/m. Εφόσον το τεμάχος 1 έχει πλάτος 15.6 m, η μάζα του αντιστοιχεί σε 122 t.

Στο Σχήμα 1 του Παραρτήματος μπορούμε να παρατηρήσουμε την ανάλυση της πρώτης περίπτωσης, πιθανούς ολίσθησης του τεμάχους 1 (ξηρές συνθήκες). Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) υπολογίζεται σε FS=1.02. Σύμφωνα με Πίνακας 11.4, ως κατώτατο όριο συντελεστή ασφαλείας ορίζεται το FS=1.4. Αντίστοιχα, στο Σχήμα 2 ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται σε FS=0.92 ενώ σύμφωνα με τον Πίνακας 11.4, το κατώτατο όριο του συντελεστή ασφαλείας ορίζεται το FS=1.3. Επίσης, στο Σχήμα 3 ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται σε FS=0.70 ενώ σύμφωνα με τον Πίνακας 11.4, το κατώτατο όριο του συντελεστή ασφαλείας ορίζεται το FS=1.0.

Και στις 3 περιπτώσεις, ο συντελεστής ασφαλείας βρίσκεται κάτω από το επιτρεπτό όριο.

11.2. Περιοχή - Πάρκινγκ Κόκκινης Παραλίας

11.2.1. Παράγοντες που ωθούν σε κατάπτωση τεμαχών

Η δημιουργία μιας κατολίσθησης σε ένα πρανές και το κατά πόσο τα υλικά αυτής έχουν την δυναμική να φτάσουν στο επίπεδο της περιοχής όπου δρουν οι άνθρωποι, αποτελεί ένα ντετερμινιστικό φαινόμενο. Η προϋπάρχουσα γνώση που χρειάζεται για

την ανάλυση του φαινομένου προέρχεται κυρίως από την γεωλογική εργασία υπαίθρου και έπειτα από την τις πληροφορίες που μπορούμε να εισπράξουμε από την διεθνή βιβλιογραφία.

Η γεωλογική εργασία υπαίθρου μπορεί να μας δώσει πληροφορίες σχετικά:

- με την φύση του γεωυλικού που θα αναλυθεί
- με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τόσο του πρανούς (κλίση/διεύθυνση κλίσης) όσο και υλικών που δύναται να ολισθήσουν (βάρος, σχήμα)
- με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των τεκτονικών δομών (κλίση/διεύθυνση κλίσης)
- με τις υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής

Αντίστοιχα, η διεθνής βιβλιογραφία μπορεί να δώσει πληροφορίες όσον αφορά προϋπάρχουσες αναλύσεις σε δοκίμια γεωυλικών. Με βάση ένα εύρος τέτοιων δοκιμών, έχουν προκύψει –από στατιστική ανάλυση-, δεδομένα που αφορούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των διάφορων γεωυλικών όπως:

- η πυκνότητα (*density - d*)
- η γωνία τριβής (*friction angle - φ*) και
- ο κάθετος και εφαπτομενικός συντελεστής αναπήδησης (*normal & tangential restitution*).

Στην προκειμένη περίπτωση, χρησιμοποιήθηκε ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου με τη χρήση γεωδαιτικού οργάνου LiDar, από το οποίο μπορέσαμε να λάβουμε δεδομένα για την γεωμετρία του πρανούς και τον υλικών που δύναται να ολισθήσουν, με πολύ ικανοποιητική ακρίβεια.

Είναι πολύ σημαντικό να τονιστεί ότι πέρα από τις προαναφερθείσες πληροφορίες, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της μεταθετικής ταχύτητας των εκάστοτε βραχιδών τεμαχών που είναι πιθανό να ολισθήσουν. Αυτό, διότι ο κύριος παράγοντας που συνιστά στην αλλαγή της ισορροπίας του πρανούς και ως αποτέλεσμα, στην αποκόλληση των επικρεμάμενων τεμαχών από το πρανές, είναι ο σεισμός και οι κάθετες και οριζόντιες κινήσεις που μπορεί να επιφέρει.

Την στιγμή που αποκολλάται το τέμαχος και αρχίζει να ολισθαίνει στην στέψη του πρανούς, η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητάς του είναι μηδενική ενώ η οριζόντια συνιστώσα μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο, ο οποίος συνδέει την ταχύτητα με την σεισμική επιτάχυνση και την μετακίνηση που χρειάζεται για να αποσπαστεί το τέμαχος. Η σχέση είναι η εξής:

$$v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot s}$$

Όπου: γ η σεισμική επιτάχυνση ($\gamma = a \times g$) και

s η μετακίνηση που πρέπει να συμβεί για την απόσπαση του τεμάχους.

Η παραπάνω σχέση μπορεί να προέρθει από βασικές σχέσεις της κλασσικής μηχανικής. Άρα έχουμε ότι:

$$W = F \cdot s \quad (1)$$

$$W = m \cdot \gamma \cdot s \quad (2)$$

Όπου

W: Το παραγόμενο έργο

F: η δύναμη που ασκείται στο σώμα

s: η μετακίνηση του σώματος

m: η μάζα του σώματος

γ : η σεισμικής επιτάχυνση ($\gamma = a \times g$)

Για να μετακινηθεί ένα σώμα χρειάζεται η ύπαρξη ταχύτητας, άρα χρειάζεται να καταναλωθεί κινητική ενέργεια. Αυτή δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$E_{\text{κιν}} = W = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (3)$$

Όπου

$E_{\text{κιν}}$: η κινητική ενέργεια

m: η μάζα του σώματος

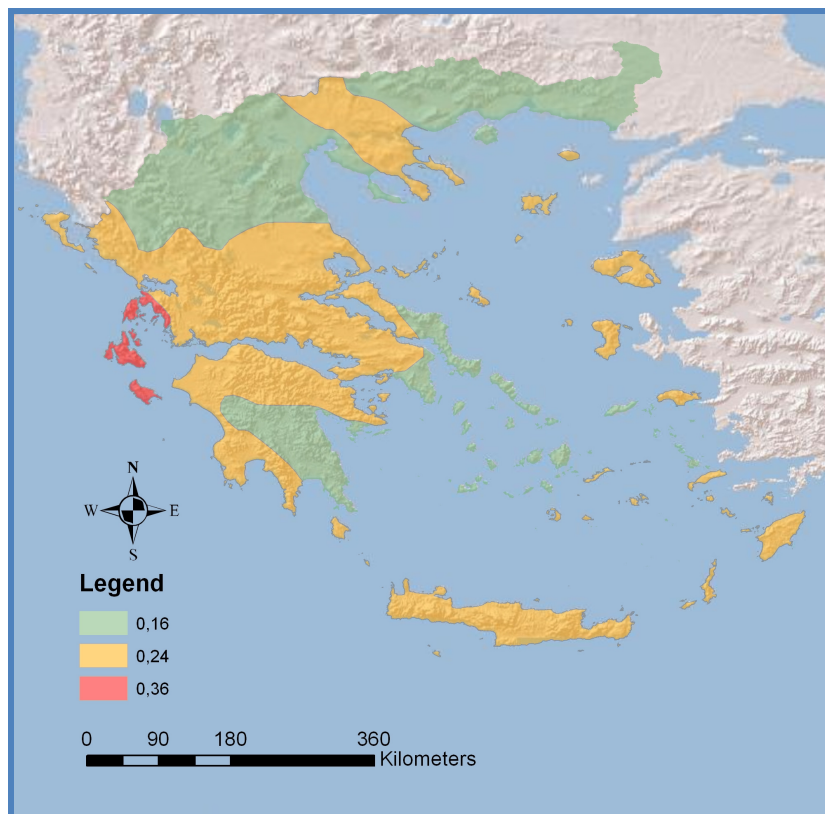
v: η ταχύτητα του σώματος

Με συνδυασμό της (2) και της (3) παίρνουμε:

$$m \cdot \gamma \cdot s = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot s} \quad (4)$$

Για παράδειγμα, αν ένα σώμα χρειάζεται 0.05m για να αποκολληθεί από το πρανές, η ελάχιστη αναγκαία ταχύτητα που θα πρέπει να έχει είναι 0.49m/s.

Αξίζει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής σεισμικής επικινδυνότητας λαμβάνεται από τον χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, ο οποίος παρατίθεται παρακάτω. Όσον αφορά την Σαντορίνη, ο σεισμικός συντελεστής αντιστοιχεί σε $a=0,24g$.



Εικόνα 11.5 Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδος (Οργανισμός Αντισεισμικής Προστασίας, 2004)

11.2.2. Διαδικασία δημιουργίας μοντέλων RocFall

Οι αναλύσεις των καταπτώσεων έγιναν με το λογισμικό RocFall 5.0 της εταιρίας Rocscience Ltd. Τα δεδομένα που υπεισέρχονται στην κατασκευή των μοντέλων είναι τα εξής:

- Γεωμετρία ανάγλυφου (x,y)
- Γεωμετρία βραχώδων τεμαχών (σχήμα)
- Βάρος βραχώδων τεμαχών (όγκος, μάζα, πυκνότητα)
- Αρχική ταχύτητα (v_0)
- Κάθετος συντελεστής αναπήδησης (R_n)
- Εφαπτομενικός συντελεστής αναπήδησης (R_t)
- Γωνία τριβής γεωλικών (ϕ)
- Τραχύτητα ανάγλυφου

Με την χρήση αυτού του λογισμικού είναι δυνατόν να προσομοιώσουμε την κίνηση των πιθανών καταπτωθέντων τεμαχών και την μέγιστη απόσταση που αυτά μπορούν να διανύσουν. Η προσομοίωση αυτή βασίζεται στην ανάλυση των πιθανοτήτων που υπάρχουν όσον αφορά την μετακίνηση και την κύλιση του τεμάχους επάνω στο πρανές. Αυτό σημαίνει ότι κατά την ανάλυση δεν υπάρχει μία μόνο πιθανή διαδρομή που μπορεί να ακολουθήσει το τέμαχος, αντιθέτως υπάρχουν άπειρες διαδρομές οι

οποίες όμως μπορούν να καταλήξουν στη περιοχή ανάμεσα σε ένα μέγιστο και ένα ελάχιστο σημείο στο άξονα των x .

Είναι προφανές ότι κατά την φάση της δημιουργίας του μοντέλου και της ανάλυσης είναι να δυνατόν να υπάρξει σφάλμα καθώς τα δεδομένα που εισάγουμε όσον αφορά την γεωμετρία και τις παραμέτρους του πρανούς και των βραχύδων τεμαχών, υπάρχει η περίπτωση να απέχουν από την πραγματικότητα. Αυτό σημαίνει ότι κατά την φάση λήψης των δεδομένων θα πρέπει να είμαστε όσο το δυνατόν πιο προσεκτικοί και λεπτομερείς (συμπεριλαμβανομένων επίσης και των δεδομένων που συλλέγονται από την διεθνή βιβλιογραφία), όπως επίσης θα πρέπει να είμαστε όσο το δυνατόν πιο συντηρητικοί στις παραδοχές και στις εκτιμήσεις που πραγματοποιούμε.

Έπειτα, θα μας φανεί πολύ χρήσιμη η οριοθέτηση και αρίθμηση των επικρεμάμενων τεμαχών επάνω σε μία εικόνα του πρανούς με την χρήση ενός σχεδιαστικού προγράμματος, όπως το CorelDRAW της εταιρίας Graphics Suite. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργούμε έναν οδηγό και ως εκ τούτου γνωρίζουμε την επακριβή θέση κάθε τεμάχους στο πρανές. Εν συνεχεία, μπορούμε να εντοπίσουμε τα τεμάχη στο γεωδαιτικό λογισμικό Polyworks της εταιρίας InnonMetric με την χρήση της αντίστοιχης εικόνας LiDAR και να υπολογίσουμε τον όγκο του κάθε τεμάχους, ξεχωριστά.

Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός γραφήματος Όγκου τεμαχών – Σχετικής συχνότητας (%). Η χρήσιμη πληροφορία που εξάγουμε από ένα τέτοιο γράφημα είναι η διακριτοποίηση των όγκων των τεμαχών που συνιστούν το 90% του συνολικού αριθμού τεμαχών τα οποία βρίσκονται επάνω στο πρανές. Έτσι, αφού υπολογίσουμε την μέση μάζα των προαναφερθέντων τεμαχών, μπορούμε να την εισάγουμε στο μοντέλο RocFall.

11.2.3. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων RockFall

Κατά την κατασκευή των μοντέλων RocFall είναι αναγκαίο να καθοριστούν ορισμένες παράμετροι και να γίνουν κάποιες παραδοχές. Γι' αυτόν τον λόγο φάνηκε εξαιρετικά χρήσιμο το εγχειρίδιο του λογισμικού καθώς και δεδομένα από την αντίστοιχη διεθνή βιβλιογραφία.

Για την απεικόνιση ενός όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικού μοντέλου, πρέπει να καθοριστούν οι τιμές του κάθετου και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης μέσω των διαθέσιμων δεδομένων.

Άλλες παραδοχές:

- Η στατιστική ανάλυση για κάθε μοντέλο, περιλαμβάνει 200 πιθανές διαδρομές κατάπτωσης.
- Η μορφολογία των πρανών αντιπροσωπεύεται από το μέγιστο των 4 τομών για κάθε πρανές.
- Η μορφολογία των πρανών απλοποιήθηκε σε ≤ 25 διαδοχικά σημεία.

- Η γωνίες τριβής των υλικών λήφθηκε εξ' ολοκλήρου από την διαθέσιμη βιβλιογραφία.
- Τα πιθανά τεμάχια προς κατάπτωση αντιπροσωπεύονται από σημειακά φορτία (όταν τα τεμάχια είναι μεμονωμένα και εμφανή) ή από γραμμικά φορτία (όταν ένα μεγάλο ποσοστό τεμαχίων ίδιου όγκου κυριαρχεί στο πρανές)
- Τα πιθανά μέτρα υποστήριξης που θα προσομοιώνονται στο πρανές είναι φράκτες ανάσχεσης.

11.2.4. Περιοχή μελέτης - Πάρκινγκ

Η συγκεκριμένη περιοχή αποτελεί έναν χώρο αρκετά προκλητικό όσον αφορά τις καταπτώσεις βραχώδων τεμαχίων και αυτό έγκειται σε 3 λόγους.

Πρώτον, η περιοχή αυτή χρησιμοποιείται ως χώρος στάθμευσης των οχημάτων των ανθρώπων που θέλουν να επισκεφτούν την Κόκκινη παραλία είτε ως λουόμενοι είτε ως απλοί παρατηρητές. Ειδικότερα τους θερινούς μήνες και δη τον Ιούλιο η περιοχή χαρακτηρίζεται από πληθώρα τουριστών οι οποίοι σταθμεύουν τα οχήματά τους στον χώρο.

Δεύτερον, στον χώρο υπάρχει ένα εκκλησάκι το οποίο αποτελεί και αυτό χώρο επίσκεψης των διάφορων τουριστών στην περιοχή. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται ο αριθμός των ανθρώπων που παραμένουν στον χώρο και συνεπώς αυξάνεται η επικινδυνότητα.

Τρίτον και σημαντικότερο ως προς την μοντελοποίηση και τις αναλύσεις, ο χώρος δομείται από περισσότερα του ενός γεωλικά, δημιουργώντας διαφορετικές καταστάσεις καταπτώσεων ανά τομέα γεωλικών.

11.2.5. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά βραχώδων πρανών

- *Θέση III*

Η θέση αυτή συνίσταται από καλά συγκολλημένες σκωρίες (κώνος σκωριών του παλιού ηφαιστείου της Κόκκινη παραλίας) η οποίες εμφανίζουν ασυνέχειες σε μικρό αριθμό και καλή συνοχή λόγω κάποιου φυσικού συγκολλητικού υλικού. Τα τεμάχια που μπορούν να αποκολληθούν είναι σφήνες λόγω της τομής 2 ασυνεχειών και παράλληλα ευνοϊκών συνθηκών ή αποκόλληση κάποιου μαζώδους τεμαχίου ως επικρεμάμενο με αποτέλεσμα κατά την πτώση του να διαχωριστεί στα μικρότερα τεμάχια που συνιστούν τις σκωρίες. Στην θέση αυτή έχει παρατηρηθεί ήδη η θέση της αποκόλλησης μίας σφήνας.



Εικόνα 11.6 Περιοχή Π1 του πάρκινγκ. Φαίνεται το μέρος από το οποίο είχε ξεκολλήσει στο παρελθόν μία σφήνα.

- *Θέση Π2*

Η θέση αυτή αποτελείται από συμπαγή λάβα (λάβες του παλιού ηφαιστείου της Κόκκινης παραλίας). Στην προκειμένη περίπτωση οι λάβες εμφανίζουν ένα πυκνό δίκτυο διακλάσεων, πράγμα που καθιστά τους όγκους των τεμαχών όχι πολύ μεγάλους. Το ανάγλυφο εμφανίζεται με μεγάλη γωνία κλίσης η οποία μειώνεται προς τη βάση του πρανούς. Λόγω των πολλών διακλάσεων, έχουν αποκολληθεί στο παρελθόν αρκετά τεμάχια τα οποία κατέληξαν στο ίδιο το πρανές, σε απόσταση 2-10 m από τον δρόμο και επάνω από το εδαφικό στρώμα. Αυτό σημαίνει πρώτον, ότι έχει δημιουργηθεί μία ράμπα η οποία ευνοεί την αναπήδηση των καταπτωθέντων τεμαχών σε μεγαλύτερη απόσταση προς τον δρόμο και δεύτερον, ότι κάποια πιθανή κατάπτωση τεμαχών είναι δυνατόν να προκαλέσει καταστροφή στην ισορροπία της ράμπας και να ολισθήσουν κομμάτια της προς τον δρόμο παράλληλα με τα καταπτωθέντα τεμάχια. Συγκεκριμένα, στην ράμπα μετρήθηκαν 20 πεσμένα τεμάχια των οποίων ο όγκος φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 11.5 Μετρήσεις διαστάσεων 20 τεμαχών από την ράμπα της θέσης Π2

	x (m)	y (m)	z (m)	V(m ³)
1	1,6	1,6	1	2,56
2	1,4	0,6	0,9	0,756
3	1,6	0,9	0,9	1,296
4	0,8	0,5	0,6	0,24
5	1,6	1,6	2	5,12
6	1	0,8	0,5	0,4
7	3,3	1,9	1,3	8,151
8	0,7	0,4	0,3	0,084
9	0,6	0,3	0,3	0,054
10	1,9	1,2	0,9	2,052
11	0,8	0,6	0,7	0,336
12	1,5	1,7	1,2	3,06
13	1	0,7	0,6	0,42
14	2,2	1,4	1,1	3,388
15	0,7	0,5	0,6	0,21
16	1,4	1,6	1,2	2,688
17	0,8	0,9	1,1	0,792
18	0,9	1,2	0,8	0,864
19	1,7	1,5	1,8	4,59
20	1,3	1,2	1,2	1,872

- *Θέση Π3*

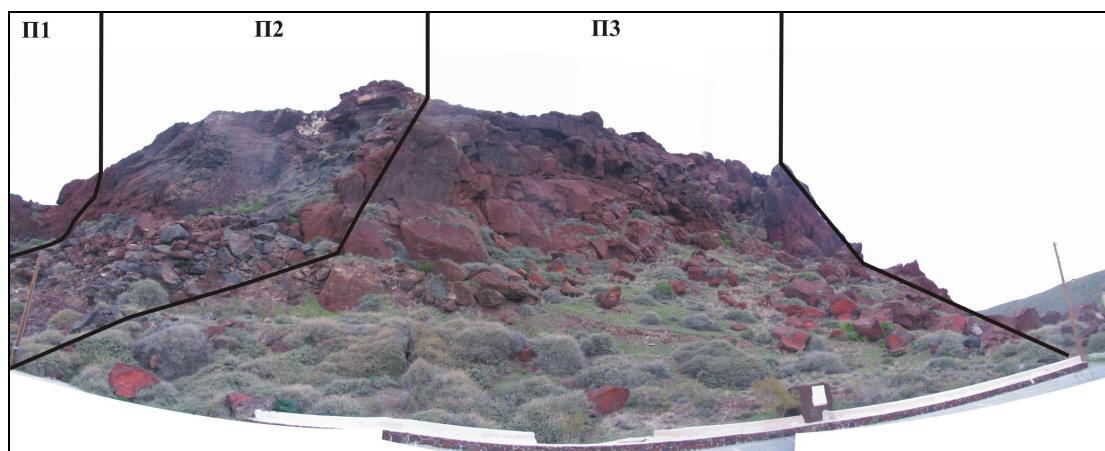
Η θέση Π3 δεν διαφέρει λιθολογικά από την θέση Π2. Ο λόγος διαχωρισμού της θέσης Π2 από την Π3 είναι η διαφορά στους όγκους των τεμαχών. Στην μεν θέση Π2 έχουμε ένα πυκνό δίκτυο διακλάσεων δημιουργώντας πολλά τεμάχια όχι πολύ μεγάλου όγκου, στη δε Π3 οι διακλάσεις είναι πιο αραιές ώστε δημιουργούνται μεγαλύτερα τεμάχια έως και 14 m³!

Είναι φανερό ότι έχουμε 3 διαφορετικές γεωτεχνικές ενότητες οι οποίες χρήζουν διαφορετικής αντιμετώπισης και υποστήριξης. Σε θεωρητικό επίπεδο θα προταθούν ξεχωριστά μέτρα για κάθε μία από τις 3 θέσεις Π1, Π2 και Π3 όμως στην περίπτωση όπου η αντίστοιχη ανάλυση πραγματοποιείται για την εκπόνηση κάποιας γεωτεχνικής μελέτης, είναι πρέπον να συνδυάζονται οι πιθανές λύσεις που προκύπτουν, έτσι ώστε να υπάρξει το λιγότερο μία λύση για όλα τα μελλοντικά αντιστηριγμένα πρανή. Αυτό συμβαίνει ώστε να μειωθεί το κόστος και ο χρόνος εφαρμογής των μέτρων αντιστήριξης.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η περιοχή του Πάρκινγκ η οποία έχει διαχωριστεί σε 3 τομείς, κυρίως λόγω της διαφορετικής λιθολογίας και έπειτα ανάλογα με το μέγεθος των βραχώδων τεμαχών.



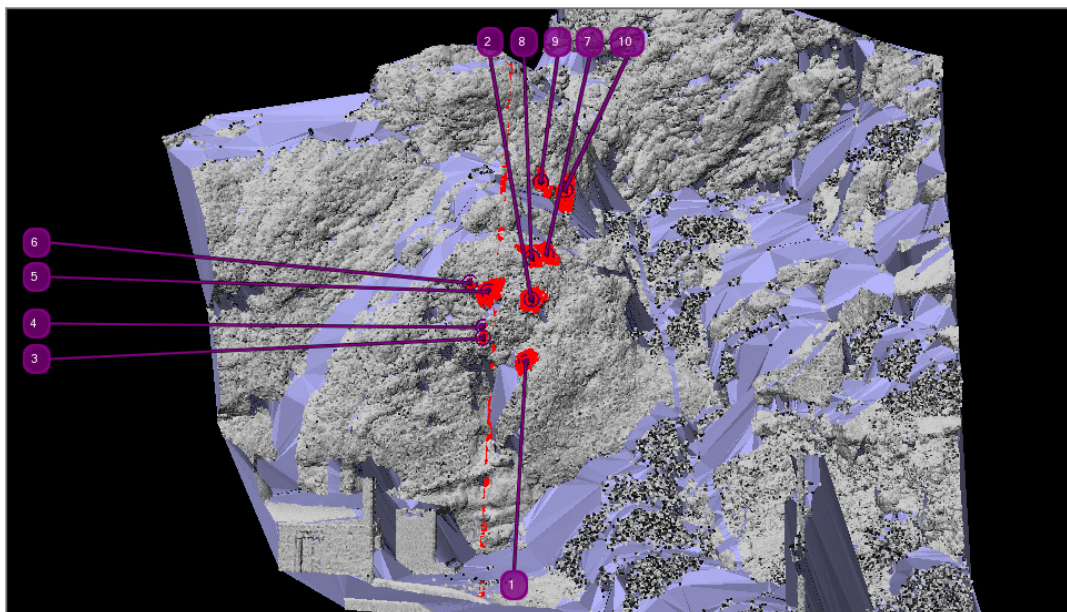
Εικόνα 11.7 Άποψη της περιοχής του Πάρκινγκ στην οποία φαίνονται οι θέσεις Π1 και Π2



Εικόνα 11.8 Άποψη της περιοχής του Πάρκινγκ στη οποία φαίνονται οι θέσεις Π1, Π2 και Π3

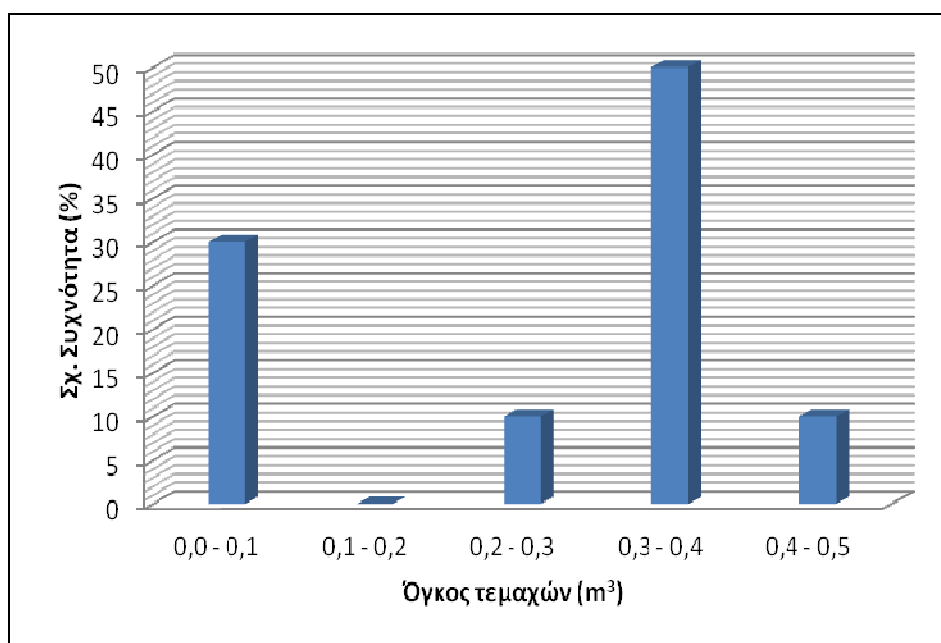
11.2.6. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π1

Η ογκομέτρηση των επικρεμάμενων τεμαχών στην θέση Π1 έγινε αποκλειστικά με την χρήση του λογισμικού Polyworks από την επξεργασία της αντίστοιχης εικόνας LiDar. Αυτό διότι η υπαίθρια παρατήρηση στην θέση Π1 πραγματοποιήθηκε για μικρό χρονικό διάστημα καθώς επίσης, επειδή δεν υπάρχουν στο πρυνές πεσμένα τεμάχια. Το απότομο ανάγλυφο στην συγκεκριμένη θέση όπως επίσης και η κατασκευή της εκκλησίας συντέλεσαν στην μη ύπαρξη πεσμένων τεμαχών στο πρυνές. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μία άποψη της θέσης Π1 από την διαθέσιμη εικόνα LiDar, στην οποία έχουν διακριθεί 10 επικρεμάμενα τεμάχια. Επίσης έχει χαραχθεί και η αντίστοιχη τομή που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση με το λογισμικό RocFall.

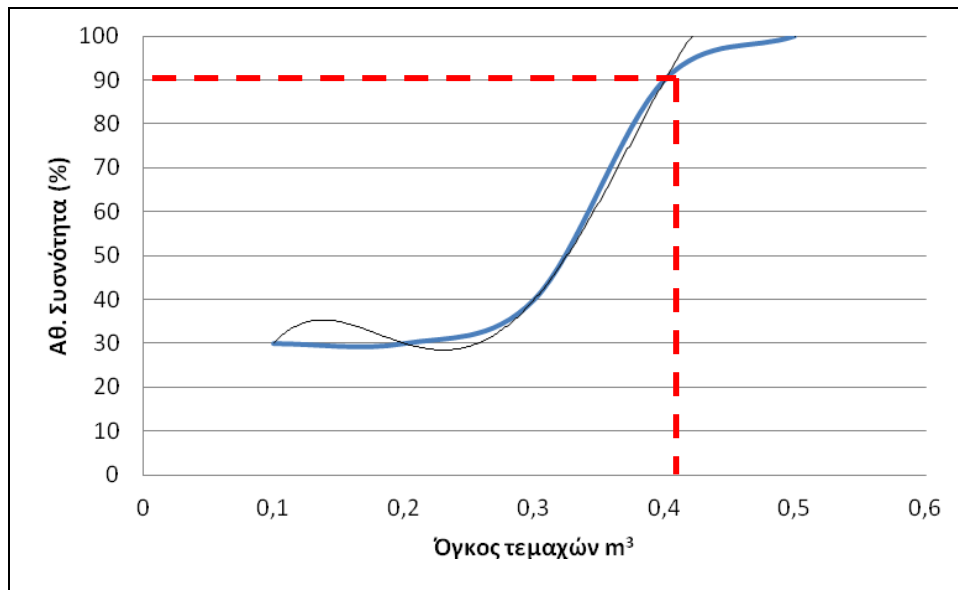


Εικόνα 11.9 Αποψη της θέσης Π1 από εικόνα LiDar. Φαίνονται 10 επικρεμάμενα τεμάχια καθώς και η χάραξη μίας εγκάρσιας τομής. Κάτω και αριστερά μπορούμε να παρατηρήσουμε το δεξί μέρος από το εκκλησάκι.

Η ογκομέτρηση των τεμαχίων πραγματοποιήθηκε με τον αυτόματο τρόπο, τον οποίο προσφέρει το λογισμικό Polyworks, και όχι με τη συμβατική μέθοδο μέτρησης μήκους-πλάτους-βάθους και πολλαπλασιασμό αυτών. Αυτό, διότι η πρώτη μέθοδος δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα μετά από έλεγχο και σύγκριση των 2 τρόπων. Τα διαγράμματα Σχετικής Συχνότητας - Όγκου και Αθροιστικής Συχνότητας - Όγκου φαίνονται στην *Εικόνα 11.10* και στην *Εικόνα 11.11* και αντίστοιχα.



Εικόνα 11.10 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στη θέση Π1



Εικόνα 11.11 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στη θέση ΠΙ

Από το διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας – Όγκου μπορούμε να παρατηρήσουμε πως το 90% των επικρεμάμενων τεμαχίων είναι της τάξης των $0,4 \text{ m}^3$. Με βάση αυτή την παρατήρηση μπορούμε να κατασκευάσουμε το μοντέλο RocFall. Δεδομένου ότι οι σκωρίες στην περιοχή έχουν ειδικό βάρος $14,7 \text{ KN/m}^3$ (Πίνακας 11.3) και με βάση την σχέση:

$$\text{Density (Kg/m}^3\text{)} * 0.00980665 = \text{Unit Weight (KN/m}^3\text{)} \quad (2)$$

έχουμε ότι η πυκνότητα της λάβας αντιστοιχεί σε $\approx 1499 \text{ Kg/m}^3$.

Ισχύει ότι $\text{Density} = \text{Mass/Volume}$ ($\gamma = M/V$), άρα για όγκο $0,4 \text{ m}^3$ έχουμε μάζα ίση με 600 Kg .

Για την προσομοίωση των υλικών καθώς και του κάθετου και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης, πραγματοποιήθηκε άντληση δεδομένων από το εγχειρίδιο του λογισμικού RocFall και από την διεθνή βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 11.6 Φαίνονται οι τιμές του κάθετου και εφαπτομενικού συντελεστή αναπήδησης για κάθε γεωυλικό.

Γεωυλικό	Κάθετος συντελεστής αναπήδησης	Εφαπτομενικός συντελεστής αναπήδησης	Τυπική απόκλιση
Λάβα Κόκκινης παραλίας	0.550	0.900	0.040
Σκωρίες Κόκκινης παραλίας	0.500	0.900	0.040
Εδαφικό στρώμα	0.320	0.820	0.040
Εδαφικό στρώμα με λίγη βλάστηση	0.320	0.800	0.040
Άσφαλτος	0.400	0.900	0.040

Στην προκειμένη περίπτωση μας ενδιαφέρουν οι συντελεστές αναπήδησης για τις σκωρίες της Κόκκινης παραλίας, για το εδαφικό στρώμα, για το εδαφικό στρώμα με λίγη βλάστηση και για την άσφαλτο.

Όσον αφορά τις σκωρίες και σύμφωνα με τον

Πίνακα 11.6, οι γωνία τριβής των σκωριών λήφθηκε ως ο μέσος όρος της ελάχιστης και μέγιστης γωνίας τριβής και υπολογίστηκε στις 20°. Οι γωνίες τριβής για το εδαφικό στρώμα και την άσφαλτο είναι οι τυπικές τις οποίες προτείνει το λογισμικό RocFall.

Επίσης θεωρήθηκε ότι για να υπάρξει κατάπτωση των τεμαχών στην θέση Π1, θα πρέπει να επέλθει μετακίνηση των τεμαχών από τον σεισμό της τάξης των 0.20m. Σύμφωνα με τον τύπο (4) έχουμε ότι:

$$v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot s} \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 2.40 \cdot 0.20} \Rightarrow v = 1.0 \text{ m/s}$$

Θεωρήθηκε ακόμα ότι κατά την φάση αποκόλλησης του τεμάχους από το πρανές η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας είναι μηδενική. Άρα η παραπάνω τιμή αντιστοιχεί στην οριζόντια συνιστώσα.

Πίνακας 11.7 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π1, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για τις σκωρίες της Κόκκινης παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη αρχική ταχύτητα των τεμαχών.

Θέση	Όγκος (m ³)	Μάζα (Kg)	Γωνία τριβής (°)	Αρχική ταχύτητα (m/s)
Π1	0.4	600±125	20±5	1.0±0.2

Στο Παραρτημα παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την χρήση του λογισμικού RocFall, όσον αφορά την θέση Π1. Τα επισυναπτόμενα διαγράμματα

αφορούν τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας των αποκολληθέντων τεμαχίων. Αυτά θα φανούν χρήσιμα κατά τη φάση επιλογής της κατάλληλης θέσης εφαρμογής του φράκτη ανάσχεσης.

Στο Σχήμα 5 του παραρτήματος φαίνεται ότι η ολική κινητική ενέργεια των τεμαχίων βρίσκεται στο ελάχιστό της, στην σημειακή θέση +7.9 m και είναι της τάξης των 35 KJ. Η σημειακή αυτή θέση αντιπροσωπεύει το οδόστρωμα. Γίνεται λοιπόν σαφές ότι ο φράκτης ανάσχεσης δεν μπορεί να κατασκευαστεί σε αυτή την θέση. Συνεπώς θα πρέπει να κατασκευαστεί σε μία σημειακή θέση τουλάχιστον 5 m πριν από το οδόστρωμα. Η δυνατότητα αυτή όμως δεν είναι ρεαλιστική καθώς η πρώτη θέση πριν το οδόστρωμα με σχετικά μικρή κινητική ενέργεια βρίσκεται πριν το μέγιστο έξαρμα του πρανούς προς το οδόστρωμα και συγκεκριμένα στην σημειακή θέση -3.3 m. Σε μία προσπάθεια σχεδιασμού φράκτη ανάσχεσης, στην τελευταία προαναφερθείσα θέση, με σχετικά μεγάλη κλίση ώστε να συγκρατεί και τα καταπτωθέντα τεμάχια από το μέγιστο έξαρμα του πρανούς, θα έπρεπε, ο φράκτης ανάσχεσης, να σχεδιαζόταν με ύψος >10 m και κλίση $\approx 60^\circ$, κάτι το οποίο δεν προσφέρεται ως λογική επιλογή.

Καταλήγουμε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι στην θέση Π1 δεν δύναται να κατασκευαστεί φράκτης ανάσχεσης. Συνεπώς θα πρέπει να προταθεί μία άλλη λύση για την αντιμετώπιση των καταπτώσεων. Μία τέτοια λύση αποτελεί η εφαρμογή πλέγματος σε όλο το μήκος του πρανούς της θέσης Π1, ώστε να αποφευχθούν τυχόν αποκολλήσεις σφηνών περιορισμένου όγκου ή μαζώδη τεμάχια σκωριών. Το πλέγμα είναι δυνατόν να ενισχυθεί με συστηματική αγκύρωση σε τέτοιο βάθος ώστε να συγκρατούνται και οι σφήνες που δημιουργούνται λόγω των ασυνεχειών.

11.2.7. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π2

Στην περίπτωση της θέσης Π2, η αρχική αποτύπωση των τεμαχών στο λογισμικό CorelDRAW έδωσε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 11.12 Άποψη της θέσης Π2 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση επικρεμάμενων τεμαχών με το λογισμικό CorelDRAW.

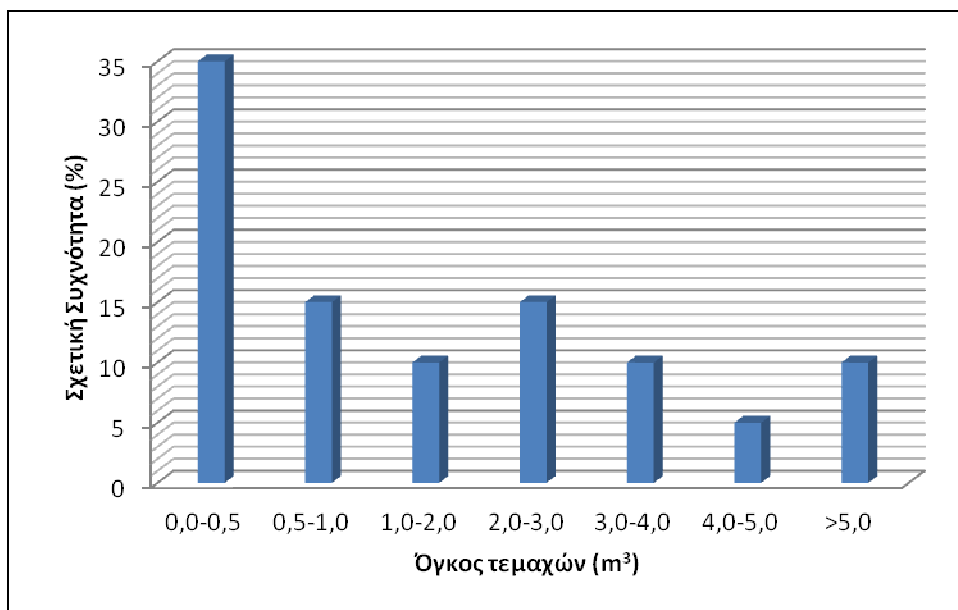
Σε αυτήν την εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε 3 στοιχεία.

Αρχικά, παρατηρούμε ότι στο κέντρο της εικόνας και πάνω, υπάρχει μία περιοχή όπου δεν έχουν σημειωθεί τεμάχη. Αυτό διότι τα τεμάχη είναι πολύ μικρά ($<0,1\text{m}^3$) και ως εκ τούτου δεν θα ήταν χρήσιμο και πρακτικά εφικτό να σημειώσουμε καθένα από αυτά.

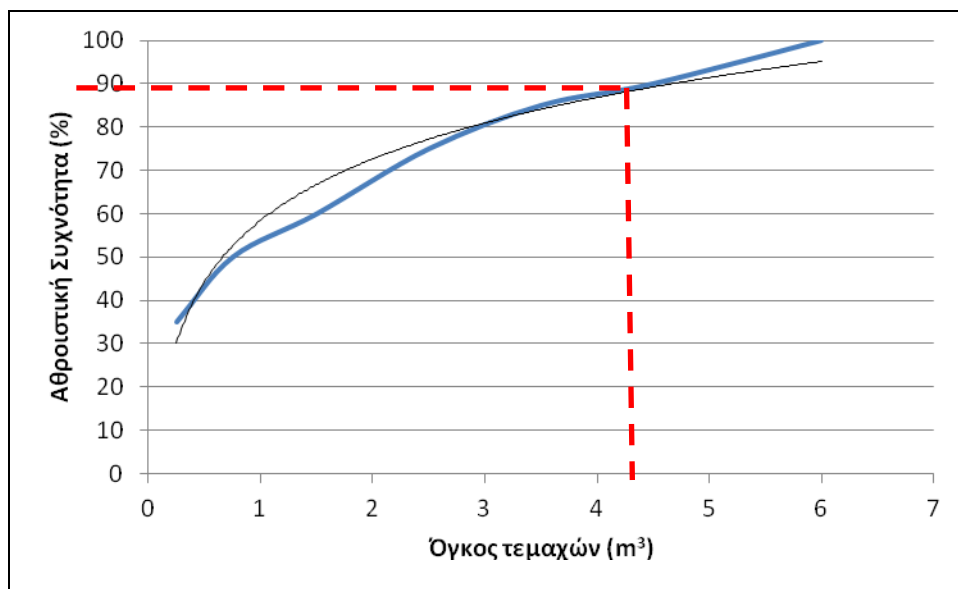
Έπειτα, παρατηρούμε το πλήθος των τεμαχών που είναι σημειωμένα και τα οποία προέρχονται από το πυκνό δίκτυο διακλάσεων. Αυτά τα τεμάχη αποτελούν απειλή και η ανάλυση θα γίνει ως προς αυτά.

Τέλος, μπορούμε να παρατηρήσουμε στο μισό και κάτω μέρος της εικόνας, την προαναφερθείσα ράμπα η οποία αποτελείται από υλικά παλιότερων καταπτώσεων. Οι μετρήσεις όγκων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτά και οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 11.5, θα χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα στην ανάλυση και κατασκευή του μοντέλου RocFall.

Από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προαναφερθέντα τεμάχια, λάβαμε τα παρακάτω 2 διαγράμματα. Η Εικόνα 11.13 αντιστοιχεί στην κατανομή Σχετικής Συχνότητας και η Εικόνα 11.14 στην κατανομή Αθροιστικής Συχνότητας σε σχέση με τους όγκους.



Εικόνα 11.13 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στην θέση Π2



Εικόνα 11.14 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στην θέση Π2

Από το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας (Εικόνα 11.14) μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι το 90% των τεμαχών που βρίσκονται στην ράμπα της περιοχής Π2, αντιστοιχούν σε όγκο μικρότερο ή ίσο των 5 m³. Δεδομένου του ότι η λάβα στην περιοχή είναι Μέτρια υγής – Υγής, ότι το ειδικό βάρος της είναι ≈24 KN/m³ (Πίνακας 11.1) και με βάση τη σχέση:

$$\text{Density (Kg/m}^3\text{)} * 0.00980665 = \text{Unit Weight (KN/m}^3\text{)} \quad (2)$$

έχουμε ότι η πυκνότητα της λάβας αντιστοιχεί σε ≈2500 Kg/m³.
Ισχύει ότι Density=Mass/Volume (γ=M/V), άρα για όγκο 5 m³ έχουμε μάζα ίση με 12.500 Kg.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση RocFall όσον αφορά τον κάθετο και εφαπτομενικό συντελεστή αναπήδησης, φαίνονται στον

Πίνακας 11.6. Στην προκειμένη περίπτωση μας ενδιαφέρουν οι συντελεστές αναπήδησης για την λάβα της Κόκκινης παραλίας, για το εδαφικό στρώμα, για το εδαφικό στρώμα με λίγη βλάστηση και για την ασφαλτο.

Όσον αφορά την γωνία τριβής για την λάβα της Κόκκινης παραλίας, υπολογίζεται στις 30±5°, δηλαδή λίγο πιο κάτω από την μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η λάβα σύμφωνα με τον

Πίνακας 11.6. Οι γωνίες τριβής για το εδαφικό στρώμα και την ασφαλτο είναι οι τυπικές τις οποίες προτείνει το λογισμικό RocFall.

Επίσης θεωρήθηκε ότι για να υπάρξει κατάπτωση των τεμαχών στην θέση Π2, θα πρέπει να επέλθει μετακίνηση των τεμαχών από τον σεισμό της τάξης των 0.30m. Σύμφωνα με τον τύπο (4) έχουμε ότι:

$$v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot s} \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 2.40 \cdot 0.30} \Rightarrow v = 1.2 \text{ m/s}$$

Θεωρήθηκε ακόμα ότι κατά την φάση αποκόλλησης του τεμάχους από το πρανές η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας είναι μηδενική. Άρα η παραπάνω τιμή αντιστοιχεί στην οριζόντια συνιστώσα.

Πίνακας 11.8 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π2, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για την λάβα της Κόκκινης παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη αρχική ταχύτητα των τεμαχών.

Θέση	Όγκος (m ³)	Μάζα (Kg)	Γωνία τριβής (°)	Αρχική ταχύτητα (m/s)
Π2	5	12500±500	30±5	1.2±0.2

Στο Παράρτημα παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την χρήση του λογισμικού RocFall, όσον αφορά την θέση Π2. Τα επισυναπτόμενα διαγράμματα αφορούν τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας των αποκολληθέντων τεμαχών. Αυτά

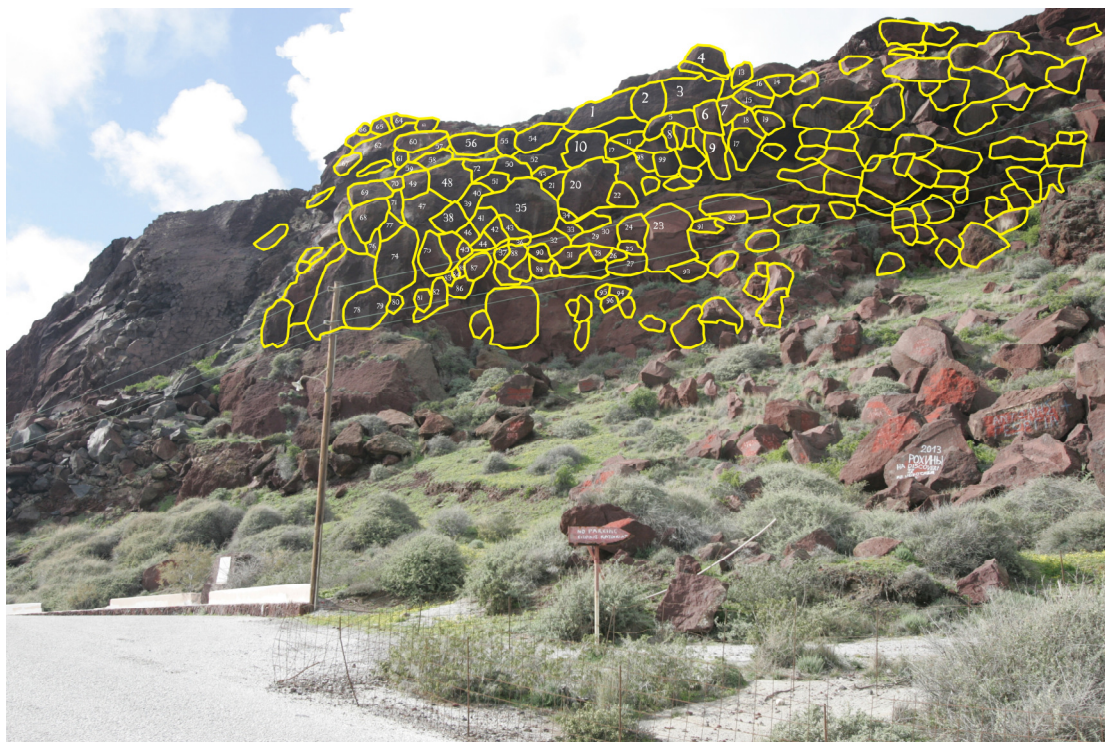
θα φανούν χρήσιμα κατά τη φάση επιλογής της κατάλληλης θέσης εφαρμογής του φράκτη ανάσχεσης.

Παρατηρούμε ότι στο Σχήμα 7 του παραρτήματος, η ελάχιστη συνολική κινητική ενέργεια των τεμαχών, πριν φτάσουν στο οδόστρωμα βρίσκεται στη σημειακή θέση +14.8 m και είναι της τάξης των 1244 KJ. Είναι όμως προφανές ότι ο φράκτης ανάσχεσης δεν μπορεί να εφαρμοστεί ακριβώς πριν το οδόστρωμα διότι κατά την πτώση τεμαχών θα παραμορφωθεί και εισέλθει στο οδόστρωμα. Συνεπώς, οι πιθανές θέσεις εφαρμογής του φράκτη ανάσχεσης θα πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον 5 m ανάντη του οδοστρώματος.

Αντιθέτως στο ίδιο σχήμα φαίνεται μία πιθανή θέση εφαρμογής του φράκτη ανάσχεσης η οποία αντιπροσωπεύεται από την σημειακή θέση +4.4m. Στην συγκεκριμένη θέση η συνολική κινητική ενέργεια είναι σχετικά μικρή και είναι της τάξης των 1774 KJ. Αυτό σημαίνει ότι ο φράκτης ανάσχεσης που θα πρέπει να εφαρμοστεί θα πρέπει να έχει αντοχή ≥ 1774 KJ. Ακόμη θα πρέπει να έχει ύψος 2.5 m και κλίση 75° .

11.2.8. Μοντελοποίηση της περιοχής του Πάρκινγκ – Θέση Π3

Η ανάλυση με το λογισμικό CorelDRAW στην θέση Π3 έδωσε το παρακάτω αποτέλεσμα:



Εικόνα 11.15 Αποψη της θέσης Π3 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση με το λογισμικό CorelDRAW.

Στην εικόνα μπορούμε να διακρίνουμε ένα μεγάλο πλήθος τεμαχών τα οποία βρίσκονται επικρεμάμενα στο πρηνές της θέσης Π3. Όπως μπορούμε να

παρατηρήσουμε, κατά μήκος του εδαφικού στρώματος υπάρχουν διάσπαρτα τεμάχια τα οποία έχουν αποκολληθεί στο παρελθόν. Προφανώς αρκετά έχουν φτάσει στο ύψος του οδοστρώματος και έχουν απομακρυνθεί. Κρίνοντας από το μέγεθος των ήδη πεσόντων τεμαχίων, μπορούμε να συνειδητοποιήσουμε το μέγεθος της επικινδυνότητας εάν ένα παρόμοιο τέμαχος φτάσει στο ύψος του οδοστρώματος ενώ υπάρχουν σταθευμένα οχήματα ή κίνηση ανθρώπων.

Κατά την επί τόπου παρατήρηση μετρήθηκαν αρκετά από τα ήδη πεσμένα τεμάχια που υπάρχουν επάνω στο εδαφικό κάλυμμα ενώ πραγματοποιήθηκαν και κάποιες οπτικές παρατηρήσεις μικρής ακρίβειας. Αυτές είναι οι εξής:

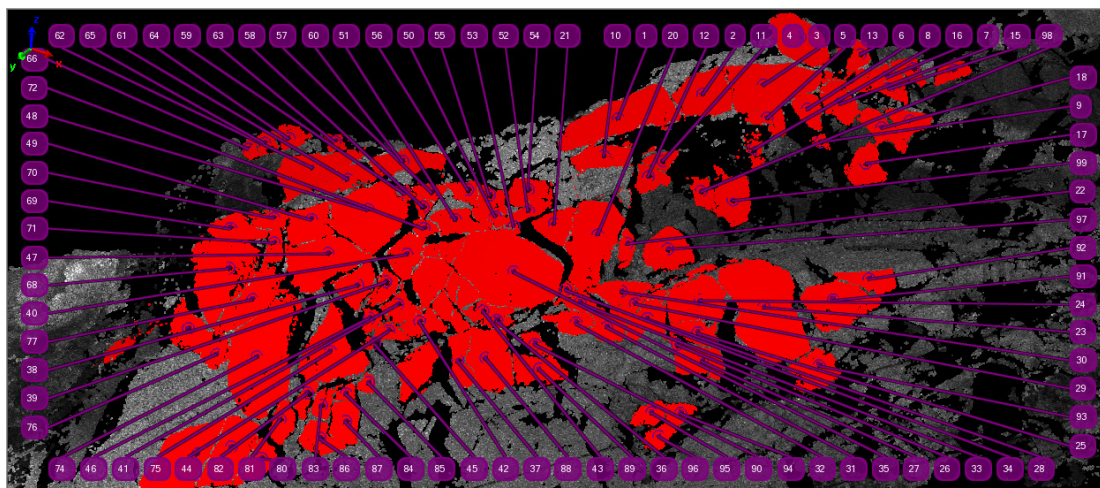
- Το βάθος του τεμάχους υπ' αριθμό 1 είναι πάνω από 2m
- Ο όγκος του τεμάχους 2 προσδιορίστηκε περίπου σε $3 \times 1.5 \times 1.5 = 6.75 \text{ m}^3$
- Υπάρχουν τεμάχια πεσμένα σε όλο το πρηνές που ορισμένα από αυτά είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος (παράδειγμα ένα από τα πιο μεγάλα –τεμαχος 27- μετρήθηκε επί τόπου σε $4,4 \times 2.10 \times 1.9 = 17,5 \text{ m}^3$!!)
- Από κάποια κενά που υπάρχουν στο πρηνές οι αποσπάσεις είναι μεγάλες σε όγκο, συγκεκριμένα ένα κενό εκτιμήθηκε σε $3.5 \times 3.5 \times 3.5 = 42,9 \text{ m}^3$.
- Τα υλικά στη βάση του πρηνους Π3, κάτω από τα επικρεμάμενα τεμάχια της συμπαγούς λάβας είναι τεμάχια που στην πλειονότητα τους έχουν διασπαστεί κατά την πτώση.

Για να υπάρξει μία καλύτερη άποψη της επικινδυνότητας του πρηνούς, διακριτοποιήθηκαν τα μεγαλύτερα τεμάχια που ανατέλλουν στο πρηνές. Το αποτέλεσμα της ανάλυσης με το λογισμικό CorelDRAW είναι το παρακάτω:



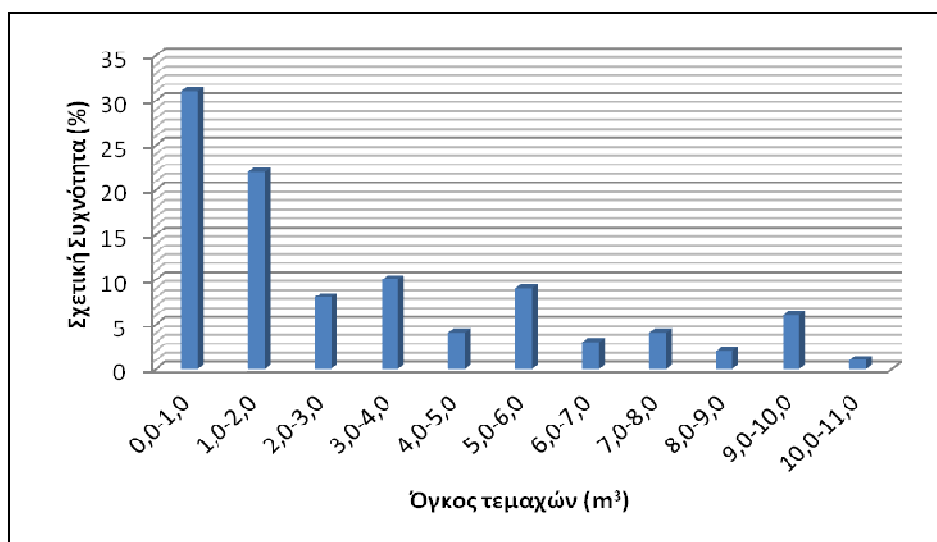
Εικόνα 11.16 Άποψη της θέσης Π3 στην περιοχή του Πάρκινγκ και ανάλυση με το λογισμικό CorelDRAW. Στην εικόνα φαίνονται μόνο τα μεγαλύτερα τεμάχια.

Η ογκομέτρηση των επικρεμάμενων τεμαχίων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό Polyworks της εταιρίας InnovMetric και αυτό διότι δεν θα ήταν επαρκές να μετρηθούν οι όγκοι μόνο των ήδη πεσόντων τεμαχίων. Η 3D εικόνα προέρχεται από την χρήση του οργάνου LiDar. Είναι σαφές ότι η μέτρηση των όγκων in situ και η μέτρηση των όγκων με τη χρήση λογισμικού εμπεριέχουν ένα ποσοστό σφάλματος αναλόγως τον τρόπο μέτρησης και την υποκειμενικότητα του κάθε μελετητή. Τα καταμετρηθέντα τεμάχια, με την χρήση του Polyworks, για τη θέση Π3, είναι 100 και φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:

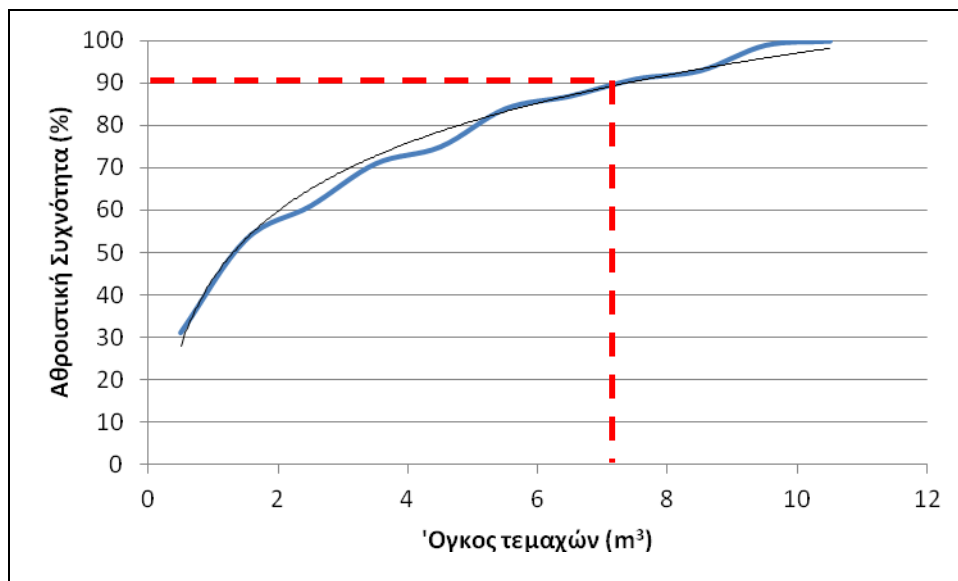


Εικόνα 11.17 Στην εικόνα LiDar φαίνεται η άποψη του Παρκινγκ στη θέση Π3 ενώ με κόκκινο σημειώνονται τα επισφαλή τεμάχια τα οποία ογκομετρήθηκαν.

Από την στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα προαναφερθέντα τεμάχια, λάβαμε τα παρακάτω 2 διαγράμματα. Η *Εικόνα 11.18* αντιστοιχεί στην κατανομή Σχετική Συχνότητας και η *Εικόνα 11.19* στην κατανομή Αθροιστική Συχνότητα σε σχέση με τον όγκο.



Εικόνα 11.18 Διάγραμμα Σχετικής Συχνότητας (%) στην θέση Π3



Εικόνα 11.19 Διάγραμμα Αθροιστικής Συχνότητας (%) στην θέση Π3

Από το διάγραμμα αθροιστικής συχνότητας (Εικόνα 11.19) μπορούμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι το 90% των τεμαχών που βρίσκονται στην ράμπα της περιοχής Π3, αντιστοιχούν σε όγκο μικρότερο ή ίσο των 7.5 m³.

Όσον αφορά την πυκνότητα της λάβας, υπολογίστηκε κατά την ανάλυση της θέσης Π2 ότι αντιστοιχεί σε 2500 Kg/m³. Συνεπώς, για όγκο 7.5 m³ έχουμε μάζα ίση με 18.750 Kg.

Τα γεωυλικά που δομούν το πρανές της θέσης Π3 καθώς και οι συντελεστές αναπήδησης, είναι τα ίδια με την θέση Π2. Συνεπώς τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή των μοντέλων RocFall παρατίθενται στον

Πίνακας 11.6.

Επίσης θεωρήθηκε ότι για να υπάρξει κατάπτωση των τεμαχών στην θέση Π3, θα πρέπει να επέλθει μετακίνηση των τεμαχών από τον σεισμό της τάξης των 0.20m. Το μέγεθος αυτό είναι μικρότερο από το αντίστοιχο της θέσης Π2 καθώς σε αυτήν την περίπτωση έχουμε πιο απότομο πρανές.

Συνεπώς, σύμφωνα με τον τύπο (4) έχουμε ότι:

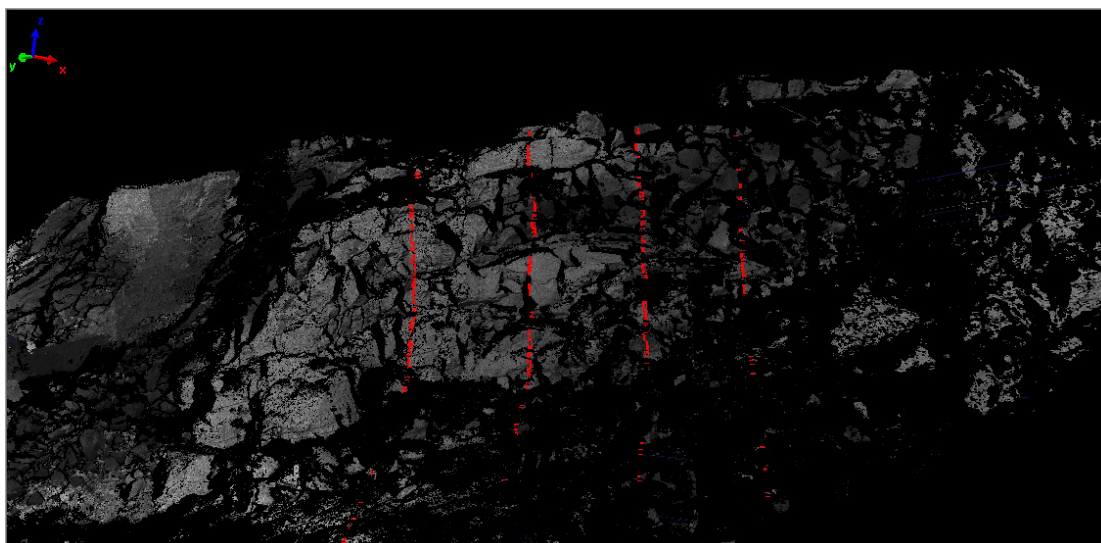
$$v = \sqrt{2 \cdot \gamma \cdot s} \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot 2.40 \cdot 0.20} \Rightarrow v = 0.98 \text{ m/s}$$

Θεωρήθηκε ακόμα ότι κατά την φάση αποκόλλησης του τεμαχούς από το πρανές η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας είναι μηδενική. Άρα η παραπάνω τιμή αντιστοιχεί στην οριζόντια συνιστώσα.

Πίνακας 11.9 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι όγκοι του 90% των τεμαχών για την θέση Π3, η υπολογισμένη μάζα, η γωνία τριβής για την λάβα της Κόκκινης παραλίας, σύμφωνα με την προτεινόμενη βιβλιογραφία καθώς και η υπολογισμένη αρχική ταχύτητα των τεμαχών.

Θέση	Όγκος (m ³)	Μάζα (Kg)	Γωνία τριβής (°)	Αρχική ταχύτητα (m/s)
Π3	7.5	18750±500	30±5	0.98±0.2

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τομές που πραγματοποιήθηκαν στην θέση Π3 και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση καταπτώσεων.



Εικόνα 11.20 Στην εικόνα LiDAR της περιοχής του Παρκινγκ και από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι τομές με κόκκινο χρώμα, οι οποίες είναι οι εξής: 3-1, 3-2, 3-3, 3-4.

Στο Παράρτημα παρατίθενται τα αποτελέσματα της ανάλυσης με την χρήση του λογισμικού RocFall, όσον αφορά την θέση Π3. Τα επισυναπτόμενα διαγράμματα αφορούν τη μεταβολή της κινητικής ενέργειας των αποκολληθέντων τεμαχών. Αυτά θα φανούν χρήσιμα κατά τη φάση επιλογής της κατάλληλης θέσης εφαρμογής του φράκτη ανάσχεσης.

Από τις παραπάνω αναλύσεις, μόνο η τομή 3-3 θα παρουσιαστεί στο παράρτημα ως η πιο αντιπροσωπευτική καθώς επίσης και για μείωση ανούσιας έκτασης της εργασίας. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων των υπόλοιπων τομών παρουσιάζονται παρακάτω.

Στην προηγούμενη ανάλυση (θέση Π2) αναφέραμε ότι ο φράκτης ανάσχεσης πρέπει να εφαρμοστεί τουλάχιστον 5 μέτρα ανάντη του οδοστρώματος. Συνεπώς, σύμφωνα με τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό RocFall για τη θέση Π3, καταλήγουμε στα συμπεράσματα που φαίνονται στον Πίνακα 11.10 για κάθε μία από τις τέσσερις διατομές.

Πίνακας 11.10 Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται οι σημειακές θέσεις οι οποίες είναι πιθανές για την εφαρμογή φράκτη ανάσχεσης στην θέση Π3, το ύψος και η κλίση αυτού καθώς και η κινητική ενέργεια που θα πρέπει να μπορεί να αντέξει.

Θέση	Διατομή	Σημειακή θέση εφαρμογής φράκτη ανάσχεσης (m)	Κινητική ενέργεια (KJ)	Ύψος φράκτη ανάσχεσης (m)	Κλίση φράκτη ανάσχεσης (°)
Π3	3-1i	0.16	≥2207	5.0	75
Π3	3-2i	2.96	≥3481	5.1	75
Π3	3-3i	-2	≥2678	6.2	75
Π3	3-4i	12	≥1142	1.5	75

Στις προηγούμενες παραγράφους αναλύσαμε την πιθανότητα ύπαρξης κατολίσθησης ή κατάρρευσης τεμαχών στην Κόκκινη παραλία και στην περιοχή του Parking με την χρήση των λογισμικών RocFall και RocPlane της εταιρίας Rocscience. Με βάση αυτά τα λογισμικά μπορέσαμε να μοντελοποιήσουμε τα πρηνή με αποτέλεσμα να καταλήξουμε σε συμπεράσματα όσον αφορά την αντιστήριξη του εκάστοτε πρηνούς. Στην περιοχή του Parking η ανάλυση περιελάμβανε μια γενικότερη παραμετροποίηση των τεμαχών που δύναται να ολισθήσουν, ώστε το τελικό αποτέλεσμα να έχει στόχο περισσότερο την διαδρομή που θα ακολουθήσουν τεμάχια ίδιου όγκου και όχι τόσο την ανάλυση της πιθανότητας που έχουν τα τεμάχια ως προς την ολίσθηση. Συνεπώς, εφόσον με βάση το λογισμικό RocFall καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι τα τεμάχια που θα μπορούσαν να ολισθήσουν θα φτάσουν στο οδόστρωμα, χρειάζεται η ανάλυση των τεμαχών ως μονάδες ως προς μια επικείμενη ολίσθηση.

11.2.9. Περιγραφή λογισμικού SWedge

Το λογισμικό SWedge αποτελεί έναν τρόπο ανάλυσης και μοντελοποίησης των πρηνών τα οποία δύναται να αστοχήσουν μέσω σφηνοειδών ολισθήσεων. Ο τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου λογισμικού δεν διαφέρει πολύ από τα προαναφερθέντα λογισμικά της εταιρίας Rocscience.

Οι παράμετροι και τα δεδομένα τα οποία υπεισέρχονται στο λογισμικό αφορούν κυρίως μετρήσεις που πραγματοποιούνται από τον γεωλόγο στην ύπαιθρο ή μέσω ορισμένων γεωδαιτικών οργάνων και λογισμικών (στην προκειμένη περίπτωση, το γεωδαιτικό όργανο είναι το LiDAR και το λογισμικό είναι το Polyworks της εταιρίας InnonMetric). Συνεπώς, οι μετρήσεις υπαίθρου οι οποίες εισάγονται στο λογισμικό είναι οι εξής:

- Κλίση/Διεύθυνση κλίσης ασυνεχειών
- Κλίση/Διεύθυνση κλίσης πρηνούς
- Ύψος και μήκος πρηνούς
- Κλίση/Διεύθυνση κλίσης της στέψης του πρηνούς
- Πλάτος αναβαθμίδας (αν υπάρχει)
- Κλίση/Διεύθυνση κλίσης εφελκυστικής ρωγμής (αν υπάρχει)
- Σημειακή θέση ανατολής της εφελκυστικής ρωγμής

- Κλίση/Διεύθυνση κλίσης βασικού επιπέδου
 - ❖ Στην τελευταία έκδοση του λογισμικού SWedge (6.0) υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μοντέλων, στα οποία οι δημιουργημένες σφήνες ορίζονται από 3 επίπεδα, ενώ στις προηγούμενες εκδόσεις τα επίπεδα έπρεπε να είναι αυστηρά 2 εκτός και αν υπήρχε εφελκυστική ρωγμή. Το τρίτο επίπεδο ορίζεται ως «βασικό επίπεδο» και αποτελεί στην ουσία μία τρίτη ασυνέχεια.

Αξίζει να σημειωθεί ότι το λογισμικό SWedge συμπίπτει με το λογισμικό Dips της ίδιας εταιρίας, από το οποίο είναι δυνατόν να εισαχθούν, κατευθείαν στο SWedge, τα στοιχεία (Κλίση/Διεύθυνση κλίσης) των ασυνεχειών όπως επίσης και τα στοιχεία του πρανούς, της στέψης του πρανούς, του βασικού επιπέδου και της εφελκυστικής ρωγμής.

Το λογισμικό Dips είναι ένα μέσο κατασκευής δικτύων Schmidt, με το οποίο μπορούν να προβληθούν οι πόλοι των επιπέδων, η συγκέντρωσή τους και τα κύρια επίπεδα των συγκεντρώσεων, καθώς επίσης μπορεί να πραγματοποιηθεί κινηματική ανάλυση.

Το λογισμικό SWedge δίνει επίσης την δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει υδρογεωλογικά και σεισμολογικά δεδομένα τα οποία προβάλλει παραστατικά στο μοντέλο. Έτσι, μπορεί να δημιουργηθεί μία όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστική ανάλυση του πρανούς. Συγκεκριμένα, το λογισμικό δίνει τις εξής δυνατότητες:

- Εισαγωγή υδρογεωλογικών στοιχείων όσον αφορά την πίεση του νερού (Unit Weight=0.00981 MN/m³) στις ασυνέχειες που ορίζουν το επίπεδο:
 - 100% πληρωμένες όλες οι ασυνέχειες με νερό
 - Μέγιστη πίεση νερού στη μέση του επιπέδου
 - Μέγιστη πίεση νερού στην βάση του επιπέδου
 - Μέγιστη πίεση νερού αντιδιαμετρικά της κορυφής της σφήνας
 - Προσαρμοζόμενη πίεση νερού
- Εισαγωγή σεισμολογικών δεδομένων
 - Επίδραση του σεισμικού συντελεστή παράλληλα στο επίπεδο στο οποίο πραγματοποιείται η ολίσθηση
 - Επίδραση του σεισμικού συντελεστή οριζόντια και παράλληλα με την διεύθυνση κλίσης του επιπέδου πάνω στο οποίο πραγματοποιείται η ολίσθηση
 - Επίδραση του σεισμικού συντελεστή με προσαρμοζόμενη κλίση και προσανατολισμό

➤ Εξωτερική δύναμη

- Εισαγωγή γωνίας, προσανατολισμού και ποσού δύναμης (MN/m) που επιδρά στο επίπεδο

Μία ακόμη παράμετρος που πρέπει να προσδιοριστεί είναι η συμπεριφορά της σφήνας έναντι ολίσθησης και αυτό μπορεί να γίνει με τον προσδιορισμό παραμέτρων ορισμένων κριτηρίων αστοχίας. Τα κριτήρια αστοχίας που υποστηρίζει το λογισμικό SWedge είναι τα εξής:

➤ Κριτήριο αστοχίας Mohr-Coulomb.

- Γωνία τριβής (°)
- Συνοχή (MPa)

➤ Κριτήριο αστοχίας Barton-Bandis

- JCS (MPa)
- JRS
- Γωνία τριβής (°)

➤ Κριτήριο αστοχίας Power Curve

- a & b & c & d (σταθερές υλικού)

Τέλος, το λογισμικό SWedge δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να προσομοιάσει την αντιστήριξη του πρανούς μέσω αγκυρίων παθητικών ή ενεργητικών. Τα δεδομένα που θα πρέπει να εισαχθούν είναι το μήκος (m), η γωνία (°) και ο προσανατολισμός (°) εισαγωγής του αγκυρίου καθώς και η αντοχή (MN) που θα πρέπει να μπορεί να παραλάβει. Το λογισμικό SWedge δίνει επίσης, την ευκαιρία στον χρήστη, της επιλογής του συντελεστή ασφαλείας που θα ήθελε να χαρακτηρίζει το πρανές μετά την εισαγωγή του αγκυρίου. Κατ' αυτόν τον τρόπο, πραγματοποιείται μία οπτικοποιημένη διεργασία σχεδιασμού αντιστήριξης πρανούς, από τον γεωλόγο ή από οποιονδήποτε εκπονεί μία αντίστοιχη εργασία ή μελέτη.

11.2.10. Παραδοχές και παράμετροι στην δημιουργία μοντέλων SWedge

Έχοντας ως πρωταρχικά δεδομένα τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στις ασυνέχειες του πρανούς της θέσης Π3 του Parking (κλίση/διεύθυνση κλίσης) δημιουργήσαμε ένα τεκτονικό διάγραμμα στο οποίο φαίνονται οι πόλοι των επιπέδων που μετρήθηκαν και οι συγκεντρώσεις τους. Η εξαγόμενη εικόνα του τεκτονικού διαγράμματος φαίνεται στο Παράρτημα. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορέσαμε να εξάγουμε το συμπέρασμα ότι στην θέση Π3 κυριαρχούν 4 ομάδες διακλάσεων οι οποίες έχουν τα εξής στοιχεία:

Πίνακας 11.11 Στοιχεία κλίσης και προσανατολισμού των τεσσάρων ομάδων διακλάσεων της θέσης Π3 στην περιοχή του Parking.

Ομάδες διακλάσεων	κλίση (°)	Διεύθυνση κλίσης (°)
1	68	175
2	88	221
3	63	119
4	74	289

Γνωρίζοντας ότι η κλίση και ο προσανατολισμός του πρηνούς στην θέση Π3 είναι 75° και 130° αντίστοιχα καθώς και ότι η γωνία τριβής της λάβας στην συγκεκριμένη περιοχή είναι 30° , πραγματοποιήθηκε κινηματική ανάλυση τύπου Markland. Από την ανάλυση προέκυψε ότι η ολισθήσεις που δύναται να πραγματοποιηθούν είναι τύπου σφήνας με εμπλοκή των κύριων επιπέδων των ομάδων διακλάσεων 1, 2 και 3. Η εξαγόμενη εικόνα της κινηματικής ανάλυσης στο δίκτυο Schmidt φαίνεται στο Παράρτημα.

Συνεπώς, θα πραγματοποιηθούν αναλύσεις με το λογισμικό SWedge όσον αφορά τις τομές των επιπέδων 1-2, 2-3, 1-3 καθώς επίσης και τον συνδυασμό αυτών. Όπως έχει αναφερθεί στην παράγραφο στην οποία αναλύεται η λειτουργία του λογισμικού SWedge, υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής μοντέλου σφηνοειδούς ολίσθησης, με σφήνα η οποία δημιουργείται από 3 διακλάσεις. Οι 2 διακλάσεις λειτουργούν ως τα κύρια επίπεδα που δημιουργούν την αστοχία ενώ η τρίτη διάκλαση λειτουργεί ως ένα βασικό επίπεδο. Στην προκειμένη περίπτωση, ως κύρια επίπεδα θα χαρακτηριστούν τα επίπεδα των ομάδων διακλάσεων 1 και 2 ενώ ως βασικό επίπεδο θα χαρακτηριστεί το επίπεδο της ομάδας διακλάσεων 3. Τα αποτελέσματα ανάλυσης σφηνοειδών ολισθήσεων με την χρήση του λογισμικού SWedge φαίνονται στο Παράρτημα.

11.2.11. Μοντελοποίηση της πτώσης των δημιουργηθέντων σφηνών στην περιοχή Π3 του Παρκινγκ.

Από τις εικόνες 16 – 19 του Παραρτήματος μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο συντελεστής ασφαλείας είναι μηδενικός λόγω του βάρους της σφήνας και της σεισμικής επιτάχυνσης. Αυτό σημαίνει ότι τα μέτρα αντιστήριξης που θα πρέπει να εφαρμοστούν θα πρέπει να μπορούν να παραλάβουν πιέσεις, τέτοιες ώστε να ισοδυναμούν με την πίεση που θα ασκεί η σφήνα ως τέμαχος συν την πίεση λόγω σεισμικής επιτάχυνσης.

Έτσι, στα σχήματα 20 - 23 του Παραρτήματος βλέπουμε ότι τα εφαρμοζόμενα αγκύρια είναι παθητικά και παραλαμβάνουν πιέσεις 0.16 MN, 0.96MN, 0.80MN, 0.97MN, αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

12. ΣΥΝΟΨΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παραπάνω εργασία αποτέλεσε μία κατάθεση δεδομένων τόσο βιβλιογραφικών όσο και πρωτότυπων από την επί τόπου έρευνα στις περιοχές μελέτης. Ειδικότερα, τα δεδομένα που προέκυψαν από την επί τόπου εργασία, αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν με σκοπό την ανάδειξη αποτελεσμάτων τα οποία οδηγούν σε συμπεράσματα για τις κατολισθήσεις που μελετήθηκαν. Έτσι, κάποιος μελλοντικός αναγνώστης θα μπορεί να ανατρέξει στην παρούσα εργασία και να πληροφορηθεί για την θεωρία πίσω από το πρακτικό μέρος, αλλά κυρίως για τα δεδομένα και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την μελέτη των κατολισθήσεων των περιοχών μελέτης (Νομός Ευρυτανίας – Δήμος Θήρας). Κατά την δημιουργία των αποτελεσμάτων από την μελέτη των κατολισθήσεων προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, όσον αφορά τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες, τον τρόπο δημιουργίας των αποτελεσμάτων και τον μέτρων αντιστήριξης που δύναται να εφαρμοστούν.

Πιο συγκεκριμένα, αρχικά αναφέρονται συμπεράσματα που προέκυψαν για τον φλύσχη ως γεωλογικός – γεωτεχνικός σχηματισμός ενώ ακολουθούν συμπεράσματα που αφορούν τα μοντέλα επιδεκτικότητας κατολισθήσεων και χαρτογράφησης κατολισθήσεων. Έπειτα, αναφέρονται κάποια συμπεράσματα που δημιουργήθηκαν για την χρήση και την λειτουργία των οργάνων LiDAR και τέλος ακολουθούν τα συμπεράσματα για τις κατολισθήσεις των περιοχών μελέτης «Νομός Ευρυτανίας – Κόκκινη Παραλία». Παρακάτω παρατίθενται τα εν λόγω συμπεράσματα:

Τα συμπεράσματα που αφορούν τον φλύσχη ως γεωλογικό – τεχνικογεωλογικό σχηματισμό είναι τα εξής:

- Ο φλύσχης ως γεωλογικός σχηματισμός αποτελεί έναν από τους πιο προκλητικούς σχηματισμούς όσον αφορά την τεχνική γεωλογία σε θέματα τεχνικών έργων. Αυτό, λόγω της πολύπλοκης δομή που τον διακατέχει η οποία προέρχεται τόσο από την φύση την δημιουργίας του (λιθολογία) όσο και από την τεκτονική που τον έχει επηρεάσει (πτυχώσεις, ρήγματα). Γι' αυτόν τον λόγο ο φλύσχης έχει χωριστεί σε 11 κατηγορίες (Μαρίνος, 2007) τις οποίες συναντάμε στο ειδικό διάγραμμα GSI (Μαρίνος, 2007), το οποίο έχει κατασκευαστεί με σκοπό την αξιολόγηση των φλύσχικών σχηματισμών όσον αφορά τα τεχνικά έργα –στην παρούσα μελέτη, τις κατολισθήσεις-.
- Ο Πινδικός φλύσχης αποτελεί έναν πολυπτυχωμένο και ρηγματωμένο φλύσχη ο οποίος έχει απομειωμένο GSI και είναι ένας «δύσκολος» σχηματισμός σε σχέση με την αντιμετώπισή του ως τεχνικογεωλογική ενότητα. Οι κατολισθήσεις στον νομό Ευρυτανίας έχουν δημιουργηθεί σε αυτόν τον σχηματισμό και παρακάτω μπορούμε να διακρίνουμε περιπτώσεις κατά τις οποίες αυτός ο σχηματισμός είναι επιρρεπής σε κατολισθήσεις και δυσχεραίνει την μελέτη των εν λόγω κατολισθήσεων.

- Η στρωσιγένεια όπως επίσης η λιθολογική ετερογένεια του φλύσχη προκαλεί την διαφορική διάβρωση των υλικών του (ιλυόλιθος, ψαμμίτης, ασβεστόλιθος) με αποτέλεσμα την δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών όσον αφορά επίπεδη και σφηνοειδή ολίσθηση καθώς επίσης και ανατροπή.
- Η δευτερογενής δομή του λόγω του τεκτονισμού (ρήγματα, πτυχές) μετατρέπει τον φλύσχη σε ένα ισότροπο μέσο το οποίο μπορεί να αστοχήσει με την μορφή κυκλικών ολισθήσεων εάν διαταραχθεί η ισορροπία του. Οι δημιουργημένες ολισθαίνουσες μάζες μπορούν να αποκτήσουν όγκο μέχρι και χιλιάδες κυβικά μέτρα, κάτι πολύ επισφαλές όταν τέτοιου είδους κατολισθήσεις πραγματοποιούνται στον οδικό άξονα. Το καθεστώς δημιουργίας των κατολισθήσεων του νομού Ευρυτανίας που μελετήθηκαν, είναι ίδιο με το προαναφερθέν.
- Το υδρολογικό καθεστώς που υφίσταται σε τέτοιους σχηματισμούς είναι περίπλοκο με αδυναμία μοντελοποίησής του καθώς η λιθολογία του και ο τεκτονισμός έχει δράσει δεν το επιτρέπουν. Δηλαδή είναι πιθανό σε κάποιο σημείο του φλυσχικού σχηματισμού η ροή του υπόγειου νερού να είναι μηδενική λόγω στεγανοποίησης από τα ιλυολιθικά στρώματα αλλά η πιέσεις που ασκούνται να είναι μεγάλες λόγω εγκλωβισμού του υπόγειου νερού σε μία ζώνη διάτμησης. Σε αυτήν την περίπτωση η μοντελοποίηση μίας επικείμενης κατολίσθησης θα εμπεριείχε μεγάλο ποσοστό σφάλματος και η μάζα της κατολίσθησης θα επηρεαζόταν σε μεγάλο βαθμό λόγω των ασκούμενων πιέσεων.

Τα συμπεράσματα που αφορούν τα διάφορα μοντέλα επιδεκτικότητας κατολισθήσεων και χαρτογράφησης κατολισθήσεων είναι τα εξής:

- Οι παράγοντες που επιδρούν στην κατασκευή ενός μοντέλου επιδεκτικότητας κατολίσθησης είναι πολυποίκιοι (βροχόπτωση, κλίμα, ανάγλυφο, χρήση γης, λιθολογία, οδικό δίκτυο, σεισμικότητα, βροχόπτωση, κλίσεις πρανών, κατοικημένες περιοχές, κ.α.) και επαφίεται στην κρίση του κάθε μελετητή να επιλέξει ποιους από του παραπάνω παράγοντες θα χρησιμοποιήσει στην κατασκευή του μοντέλου του και τι βαρύτητα θα δώσει στον κάθε παράγοντα.
- Η μελέτη των κατολισθήσεων συνοδεύεται από την κατάλληλη επιλογή του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση. Έτσι έχει σημασία τι είδους μελέτη θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Για παράδειγμα, εάν θέλουμε να μελετήσουμε τα κατολισθητικά φαινόμενα σε μία περιοχή με όχι και τόσο μεγάλη λεπτομέρεια, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μοντέλα επιδεκτικότητας κατολισθήσεων τα οποία αναφέρονται σε όλων των ειδών τις κατολισθήσεις (π.χ. Μοντέλο επιδεκτικότητας κατολισθήσεων με βάση τον υπολογισμό του δείκτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων LSI). Εάν όμως θέλουμε να πραγματοποιήσουμε μία πολύ λεπτομερειακή μελέτη θα πρέπει να

προσανατολιστούμε σε μοντέλα που αναφέρονται σε κάθε έναν ξεχωριστό τύπο κατολίσθησης.

- Είναι πολύ σημαντικό να μπορέσουμε να διευκρινίσουμε τον τρόπο με το οποίο μπορεί να αστοχήσει ένας σχηματισμός καθώς αυτή η πληροφορία είναι η βάση για την εύρεση της ταχύτητας που μπορεί να αναπτύξει η κατολισθείσα μάζα και η απόσταση που θα διανύσει.
- Η χαρτογράφηση κατολισθήσεων είναι μία εξειδικευμένη εργασία η οποία για να πραγματοποιηθεί πρέπει να ληφθούν πολλών ειδών πληροφορίες για την περιοχή όπως μορφολογικά, γεωλογικά, τεκτονικά, τεχνικογεωλογικά και υδρομετεωρολογικά στοιχεία. Για την πραγματοποίησή της πρέπει να γίνουν παραδοχές οι οποίες έχουν να κάνουν με την λεπτομέρεια η οποία πρέπει να αποτυπωθεί και με την κλίμακα του χάρτη που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Έτσι, για τις 2 παραπάνω παραμέτρους διακρίνουμε τα εξής:

- Σύμφωνα με τον *L. Cascini*, η χαρτογράφηση κατολισθήσεων χωρίζεται στην βασική, την ενδιάμεση και την εξειδικευμένη. Με βάση τον παράγοντα «λεπτομέρεια» μπορεί ο κάθε μελετητής να επιλέξει ποιον τρόπο θα χρησιμοποιήσει. Η βασική χαρτογράφηση βασίζεται κυρίως στην χρήση εμπειρικών μοντέλων και παρατηρήσεων ενώ η ενδιάμεση και η εξειδικευμένη βασίζονται στην χρήση εμπειρικών μοντέλων αλλά και περαιτέρω απτών δεδομένων που μπορούν να βρεθούν στην διεθνή βιβλιογραφία. Εν τέλει, σε μία πρώτη προσέγγιση της περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η βασική χαρτογράφηση αλλά στην πραγματοποίηση μίας μελέτης είναι απαραίτητη η χαρτογράφηση ενδιάμεσου σταδίου ή αν υπάρχει η δυνατότητα, εξειδικευμένου σταδίου.
- Η επιλογή της κατάλληλης κλίμακας του χάρτη επιδεκτικότητας κατολισθήσεων ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί είναι καίριας σημασίας καθώς η ανάγκη κάθε φορά ο οποίος θα τον χρησιμοποιήσει, είναι διαφορετικές. Για παράδειγμα, άλλες ανάγκες έχει η πολιτεία η οποία χρειάζεται έναν τέτοιο χάρτη για να ενημερωθεί για την επιδεκτικότητα στην ευρύτερη περιοχή και άλλες ανάγκες έχει μία εταιρία κατασκευής τεχνικών έργων. Στη μία περίπτωση η κλίμακα του χάρτη είναι μικρή και στην δεύτερη περίπτωση, η κλίμακα του χάρτη πρέπει να είναι εξαιρετικά μεγάλη.

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν όσον αφορά την χρήση του οργάνου LiDar στην μελέτη των κατολισθήσεων είναι τα εξής:

- Υπάρχουν διάφοροι τρόποι σάρωσης μίας επιφάνειας με την τεχνολογία LiDar και η κάθε μία αντιπροσωπεύεται από ένα διαφορετικό όργανο. Οι 3 βασικές λειτουργίες είναι σάρωση με μέτρηση του χρόνου «πτήσης», η σάρωση με μέτρηση των φάσεων και η σάρωση με μέτρηση με τριγωνισμό. Οι 3 αυτές μέθοδοι έχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα όσον αφορά την μέγιστη απόσταση από την οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί η σάρωση και την

ακρίβεια με την οποία θα σαρωθεί η επιφάνεια. Η απόσταση σε σχέση με την ακρίβεια μεταβάλλονται δυσανάλογα κάτι το οποίο θέτει στον μελετητή την ευχέρεια της κατάλληλης επιλογής μηχανήματος. Η σάρωση με μέτρηση των φάσεων αποτελεί μία ενδιαμέση επιλογή καθώς ισορροπεί μεταξύ απόστασης και ακρίβειας σε σχέση με τις άλλες 2 μεθόδους.

- Η χρήση των οργάνων LiDar στις κατολισθήσεις είναι 4. Η αναγνώριση των κατολισθήσεων, η εκτίμηση κινδύνου και η χαρτογράφηση, η μοντελοποίηση των κατολισθήσεων και η παρακολούθησή τους. Στην παρούσα εργασία ασχοληθήκαμε με την μοντελοποίηση των κατολισθήσεων, το οποίο σημαίνει την αναγνώριση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών τους. Με αυτά τα στοιχεία μπορεί να προκύψει μία πρώτη εκτίμηση του όγκου των κατολισθήσεων, το οποίο είναι ένα σημαντικό στοιχείο όσον αφορά μία ενδεχόμενη πρόταση μέτρων αντιστήριξης.
- Πριν την διαδικασία σάρωσης, θα ήταν χρήσιμο να ενημερωθεί ο μελετητής τόσο από την διεθνή βιβλιογραφία για τις προϋποθέσεις που διακατέχουν την σάρωση, όσο και από το εγχειρίδιο χρήσης του εκάστοτε οργάνου LiDar. Καταυτόν τον τρόπο μειώνονται οι πιθανότητες πραγματοποίησης σάρωσης η οποία θα αποδειχθεί ανούσια. Σύμφωνα με τους Kemeny, John and Turner, Keith, 2008, η απόσταση του οργάνου από τον στόχο θα πρέπει να είναι το λιγότερο όσο το ύψος της πλαγιάς καθώς επίσης, οι σαρώσεις θα πρέπει να είναι υψηλής ακρίβειας.
- Σε σχέση με τη διαδικασία σάρωσης των κατολισθήσεων στην περιοχή μελέτης του Νομού Ευρυτανίας, πραγματοποιήθηκαν κάποιες παρατηρήσεις. Εκτός από τις 2 σαρώσεις κατολισθήσεων που περιγράφονται παραπάνω στο κεφάλαιο «Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά εδαφικών ολισθήσεων Νομού Ευρυτανίας», πραγματοποιήθηκαν ακόμη 2 με στόχο σάρωσης τις περιοχές με συντεταγμένες (38° 53' 32.80'' N, 21° 42' 45.99'' E) – Καρπενήσι 1, και (38° 54' 55.77'' N, 21° 49' 00.46'' E) – Φιδάκια 2, αντίστοιχα. Στην προκειμένη περίπτωση, το μηχάνημα LiDar λειτούργησε στις θέσεις με συντεταγμένες (38° 53' 25.55'' N, 21° 49' 28.57'' E) και (38° 52' 46.82'' N, 21° 42' 11.9'' E) αντίστοιχα. Οι αποστάσεις των σημείων σάρωσης με τις θέσεις σκόπευσης ήταν 3.0 Km και 1.6 Km, αντίστοιχα. Κατά την διάρκεια της επεξεργασίας των αποτελεσμάτων παρατηρήθηκε ότι για αυτές τις 2 σαρώσεις, το μηχάνημα δεν κατάφερε να σαρώσει τις κατολισθήσεις παρά μόνο κάποια δέντρα.
- Αυτή η παρατήρηση μπορεί να μας οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι το μηχάνημα LiDar OPTECH-ILRIS 3D, δεν μπορεί να σαρώσει περιοχές για απόσταση μεγαλύτερη από τουλάχιστον 1.6 Km. Κατά την γνώμη μου, η καλύτερη δυνατή απόσταση θα ήταν το μέγιστο 1 Km καθώς αυτή προτείνεται και από την διεθνή βιβλιογραφία.
- Όπως προαναφέρθηκε, είναι σημαντικό να γνωρίζει ο μελετητής τις δυνατότητες του οργάνου που κατέχει καθώς με βάση αυτήν την γνώση ελαχιστοποιεί το σφάλμα. Από την άλλη μεριά, τα προαναφερθέντα σφάλματα

εξοικειώνουν τον μελετητή με το εν λόγω μηχανήμα και προωθούν την ανάγκη για καλύτερη γνώση της λειτουργίας του.

Τα συμπεράσματα που αφορούν τις κατολισθήσεις που μελετήθηκαν στον νομό Ευρυτανίας είναι τα εξής:

- Οι εικόνες LiDar για τις κατολισθήσεις του Νομού Ευρυτανίας αρκετά δύσκολο να παρθούν λόγω του μεγάλου βαθμού φυτοκάλυψης και συνεπώς η οριοθέτηση των κατολισθήσεων ήταν μια διαδικασία που εμπεριείχε μεγάλο ποσοστό λάθους. Παρόλα αυτά η διαστασιολόγηση των συγκεκριμένων κατολισθήσεων πραγματοποιήθηκε με μία συνδυασμένη εργασία, τόσο των επί των επί τόπου παρατηρήσεων, όσο και των παρατηρήσεων από τις εικόνες LiDar.
- Οι θέσεις των κατολισθήσεων που μελετήθηκαν, επιλέχθηκαν λόγω των ήδη υπαρχόντων επιφανειακών συνεπειών της μετακίνησης που έχει πραγματοποιηθεί. Οι θέσεις αυτές βρίσκονται πάνω στο οδικό δίκτυο το οποίο σημαίνει ότι οι κατολισθήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν λόγω της αλλαγής του καθεστώτος των υπαρχόντων τάσεων εξ' αιτίας της κατασκευής του δρόμου. Συνεπώς οι θέσεις οι οποίες μελετήθηκαν είναι ενεργές κατολισθήσεις καθώς κάθε χρόνο είναι απαραίτητη η επιδιόρθωσή του δρόμου από την τοπική διοίκηση. Στην θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός έχουν επιβληθεί, ως μέτρο υποστήριξης, συρματοκιβώτια για την αντιμετώπιση των κορημάτων λόγω της κατολισθείσας μάζας. Στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1 δεν έχει επιβληθεί κάποιο μέτρο υποστήριξης παρά μόνο επιδιόρθωση του δρόμου.
- Η θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός βρίσκεται σε φλυσχικό σχηματισμό ο οποίος είναι ψαμμιτικός με λεπτές ενστρώσεις αργίλου – ιλυολίθου. Διατηρεί την αντοχή του ενώ χαρακτηρίζεται από GSI 50 – 60. Σε αυτή την θέση βρέθηκαν ρωγμές κατά μήκος της κατολίσθησης πάχους 25 – 30cm. Σύμφωνα με την **Εικόνα 3.1** θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε την κατολίσθηση ως κυκλική ολίσθηση που πραγματοποιείται σε βραχώδες σχηματισμό. Αν υποθέσουμε ότι η κατολίσθηση ξεκινά από υψόμετρο 1010m και καταλήγει σε υψόμετρο 960m, η οριζόντια απόσταση μεταξύ του φρυδιού της κατολίσθησης και του πόδα είναι ίση με 140m και χρησιμοποιώντας την πληροφορία ότι η κατολίσθηση εκτείνεται σε μήκος 200m, μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε ότι η μάζα της κατολίσθησης αντιστοιχεί σε όγκο $\leq 1.157.200\text{m}^3$.
- Η θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1 βρίσκεται και αυτή σε φλυσχικό σχηματισμό ο οποίος είναι ψαμμιτικός με ενστρώσεις ιλυολίθου ανάμεσα στα ψαμμιτικά στρώματα πάχους 1mm – 15cm ή και μεγαλύτερα. Αυτός ο φλυσχικός σχηματισμός μπορεί να χαρακτηριστεί μέτρια – πολύ αποσαθρωμένος ενώ παρατηρείται αρκετά πτυχωμένος. Χαρακτηρίζεται από GSI 35 – 40. Όπως και για την θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός, η

συγκεκριμένη κατολίσθηση μπορεί να χαρακτηριστεί ως κυκλική ολίσθηση. Επίσης αν υποθέσουμε ότι η κατολίσθηση ξεκινά από υψόμετρο 1160m και λήγει σε υψόμετρο 1110m. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ του φρυδιού της κατολίσθησης και του πόδα είναι ίση με 120m. Το πλάτος της κατολίσθησης είναι περίπου ίσο με 230 Άρα υπολογίζουμε ότι η κατολίσθηση έχει όγκο $\leq 1.018.670\text{m}^3$.

- Όσον αφορά τις κατολισθήσεις του Νομού Ευρυτανίας, η εικόνες LiDAR που πάρθηκαν, θα φανούν πολύ χρήσιμες για την σύγκρισή τους με εικόνες που θα παρθούν στο μέλλον για τις ίδιες περιοχές, των οποίων περιοχών η σάρωση θα πραγματοποιηθεί από τα σημεία σάρωσης με τις ίδιες συντεταγμένες. Καταυτόν τον τρόπο σε μέλλοντα χρόνο θα έχουμε 2 παρόμοιες εικόνες των ίδιων περιοχών οι οποίες μπορούν να μελετηθούν ως προς τις μετακινήσεις που δέχτηκαν. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των εικόνων LiDAR (Polyworks της InnonMetric) έχει την δυνατότητα αυτόματης σύγκρισης 2 εικόνων της ίδιας περιοχής από το ίδιο σημείο σάρωσης, η οποία δίνει ως αποτέλεσμα μία παραστατική εικόνα της περιοχής στην οποία φαίνονται η μετακινήσεις που δέχτηκε με καμπύλες ισότιμης μετακίνησης. Η εικόνες αυτές μπορούν να κατασκευαστούν και με την χρήση χρωματικής κλίμακας ανάλογα την μετακίνηση. Συνεπώς, σε μία μελλοντική εργασία που θα αφορά την ίδια περιοχή, ο ερευνητής θα μπορεί να χρησιμοποιήσει τα στοιχεία της τωρινής μελέτης για την επίτευξη του προαναφερθέντα στόχου.

Τα συμπεράσματα που αφορούν τις κατολισθήσεις που μελετήθηκαν στην Κόκκινη Παραλία του Δήμου Θήρας είναι τα εξής:

- Οι εικόνες LiDAR για την Κόκκινη Παραλία χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την καταμέτρηση τεμαχών λάβας και την διαστασιολόγηση των κατολισθέντων μαζών, στοιχεία τα οποία φαίνονται ξεκάθαρα και οι όγκοι τους μετρώνται εύκολα με μικρό σφάλμα.
- Η Κόκκινη Παραλία και το Παρκινγκ της, η οποία αποτέλεσε την δεύτερη περιοχή μελέτης, συνιστά ένα παλιό ηφαιστειακό κέντρο. Συνεπώς αποτελείται από δακτιτικές και ανδεσιτικές φλέβες καθώς επίσης και από σκωρίες. Η Κόκκινη παραλία αποτελείται σχεδόν εξολοκλήρου από σκωρίες ενώ το Παρκινγκ της Κόκκινης παραλίας αποτελείται κατά ένα μέρος από σκωρίες και ένα άλλο μέρος από τεμάχη λάβας. Στα υλικά αυτά έγινε ανάλυση επίπεδων και σφηνοειδών ολισθήσεων καθώς επίσης και ανάλυση κατάπτωσης τεμαχών.
- Όσον αφορά την Κόκκινη Παραλία, παρατηρήθηκε ότι τα μέτρα αντιστήριξης τα οποία υπάρχουν στην βιβλιογραφία είναι απαγορευτικά για το συγκεκριμένο μέρος. Είναι προφανές ότι η Κόκκινη παραλία είναι ένα τουριστικό μέρος το οποίο επισκέπτονται κάθε χρόνο εκατοντάδες τουρίστες. Θα ήταν λοιπόν λάθος να επιβληθούν κάποια κατασκευαστικά μέτρα

αντιστήριξης για την ομαλή λειτουργία της παραλίας ως τουριστικό θέρετρο καθώς αυτή η επιβολή θα ακύρωνε το μέρος ως ένα φυσικό τοπίο και θα απαξιωνόταν η φυσική ομορφιά του. Από τα παθητικά μέτρα υποστήριξης, το μόνο που θα μπορούσε να επιβληθεί –και αυτό υπό προϋποθέσεις- θα ήταν η υπόγεια και επιφανειακή αποστράγγιση έτσι ώστε να μειώνονταν οι πιέσεις πόρων. Παρόλα αυτά, από τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία φαίνεται ότι κατά τους καλοκαιρινούς μήνες τα κατακρημνίσματα είναι σχεδόν μηδενικά, συνεπώς η αποστράγγιση θα μπορούσε να μην αποφέρει αποτελέσματα.

- Αντιθέτως, η περιοχή του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας δεν αποτελεί τουριστικό θέρετρο στον ίδιο βαθμό που αποτελεί η Κόκκινη Παραλία. Έτσι, στην θέση Π1 στην περιοχή του Πάρκινγκ παρατηρήθηκε ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί φράκτης ανάσχεσης αλλά ούτε και αγκύρωση λόγω της φύσης του υλικού το οποίο είναι σκωρίες. Συνεπώς, η λύση προσανατολίζεται σε πλέγμα το οποίο θα αποτρέπει μικρότερα τεμάχια σκωριών να ολισθήσουν.
- Παρατηρήθηκε ότι στις θέσεις Π2 και Π3 στην περιοχή του Πάρκινγκ μπορεί να εφαρμοστεί μία συνδυασμένη αντιστήριξη με φράκτη ανάσχεσης και αγκυρώσεις. Οι αγκυρώσεις μπορούν να εφαρμοστούν στα τεμάχια τα οποία είναι πολύ μεγαλύτερα από τον μέσο όρο των τεμαχίων λάβας (π.χ. 23m^3) ενώ ο φράκτης ανάσχεσης μπορεί να παραλαμβάνει τα τεμάχια που κυμαίνονται από $0.1 - 10\text{m}^3$.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αναλύσεις RocPlane

RocPlane Analysis Information (Ξηρές & ασεισμικές συνθήκες)

Project Summary

File Name	RocPlane1ΚΠ
Project Title	RocPlane - Planar Wedge Stability
Analysis	
Date Created	30/7/2014, 7:58:44 πμ

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic	
Normal Force	6.40372 MN/m
Driving Force	4.48393 MN/m
Resisting Force	4.5807 MN/m
Factor of Safety	1.02158

Wedge is scaled, scale factor 0.8278

Geometry

Slope Height	35 m
Wedge Weight	7.8175 MN/m
Wedge Volume	300.673 m ³ /m
Wedge Height	28.9728 m
Unit Weight	0.026 MN/m ³
Slope Angle	70 °
Failure Plane Angle	35 °
Upper Face Angle	8 °
Bench Width	Not Present
Waviness	0 °
Intersection Point (B) of slope and upper face	(10.5453 , 28.9728)
Intersection point (C) of tension crack and upper face	(20.4788 , 30.3689)
Intersection point (D) of failure plane and tension crack	(20.4788 , 14.3394)
Slope length (Origin --> B)	37.2234 m
Tension Crack Length (C --> D)	16.0295 m
Failure Plane length (Origin --> D)	25 m
Tension Crack	Present
Tension Crack Angle	90 °
Distance From Crest	12 m
Tension Crack Length	16.0295 m

Strength

Shear Strength Model	Mohr-Coulomb
Friction Angle	18 °
Cohesion	0.1 MN/m ²
Shear Strength	0.183228 MN/m ²
Shear Resistance	4.5807 MN/m

Scaling

Maximum Persistence	
Failure Plane Scaling	25 m

RocPlane Analysis Information

(Σε συνθήκες άσκησης πίεσης του νερού)

Project Summary

File Name	RocPlane 1ΚΠ
Project Title	RocPlane - Planar Wedge Stability
Analysis	
Date Created	30/7/2014, 7:58:44 μμ

Analysis Results

Analysis Type Deterministic	
Normal Force	5.50181 MN/m
Driving Force	4.64912 MN/m
Resisting Force	4.28765 MN/m
Factor of Safety	0.92225

Wedge is scaled, scale factor 0.8278

Geometry

Slope Height	35 m
Wedge Weight	7.8175 MN/m
Wedge Volume	300.673 m ³ /m
Wedge Height	28.9728 m
Unit Weight	0.026 MN/m ³
Slope Angle	70 °
Failure Plane Angle	35 °
Upper Face Angle	8 °
Bench Width	Not Present
Waviness	0 °
Intersection Point (B) of slope and upper face	(10.5453 , 28.9728)
Intersection point (C) of tension crack and upper face	(20.4788 , 30.3689)
Intersection point (D) of failure plane and tension crack	(20.4788 , 14.3394)
Slope length (Origin --> B)	37.2234 m
Tension Crack Length (C --> D)	16.0295 m
Failure Plane length (Origin --> D)	25 m
Tension Crack	Present
Tension Crack Angle	90 °
Distance From Crest	12 m
Tension Crack Length	16.0295 m

Strength

Shear Strength Model	Mohr-Coulomb
Friction Angle	18 °
Cohesion	0.1 MN/m ²
Shear Strength	0.171506 MN/m ²
Shear Resistance	4.28765 MN/m

Water Pressure

Water Unit Weight	0.00981 MN/m ³
Pressure Distribution Model	TC Base
Percent Filled TC	40
Ignore Failure Plane Pressure	NO
Water Force on Failure Plane	0.786247 MN/m
Water Force on Tension Crack Plane	0.20165 MN/m

Scaling

Maximum Persistence	
Failure Plane Scaling	25 m

RocPlane Analysis Information

(Σε συνθήκες σεισμική φόρτισης)

Project Summary

File Name	RocPlane1ΚΠ
Project Title	RocPlane - Planar Wedge Stability
Analysis	
Date Created	30/7/2014, 7:58:44 πμ

Analysis Results

Analysis Type - Deterministic	
Normal Force	5.95533 MN/m
Driving Force	5.12431 MN/m
Resisting Force	4.435 MN/m
Factor of Safety	0.865484

Wedge is scaled, scale factor 0.8278

Geometry

Slope Height	35 m
Wedge Weight	7.8175 MN/m
Wedge Volume	300.673 m ³ /m
Wedge Height	28.9728 m
Unit Weight	0.026 MN/m ³
Slope Angle	70 °
Failure Plane Angle	35 °
Upper Face Angle	8 °
Bench Width	Not Present
Waviness	0 °
Intersection Point (B) of slope and upper face	(10.5453 , 28.9728)
Intersection point (C) of tension crack and upper face	(20.4788 , 30.3689)
Intersection point (D) of failure plane and tension crack	(20.4788 , 14.3394)
Slope length (Origin --> B)	37.2234 m
Tension Crack Length (C --> D)	16.0295 m
Failure Plane length (Origin --> D)	25 m
Tension Crack	Present
Tension Crack Angle	90 °
Distance From Crest	12 m
Tension Crack Length	16.0295 m

Strength

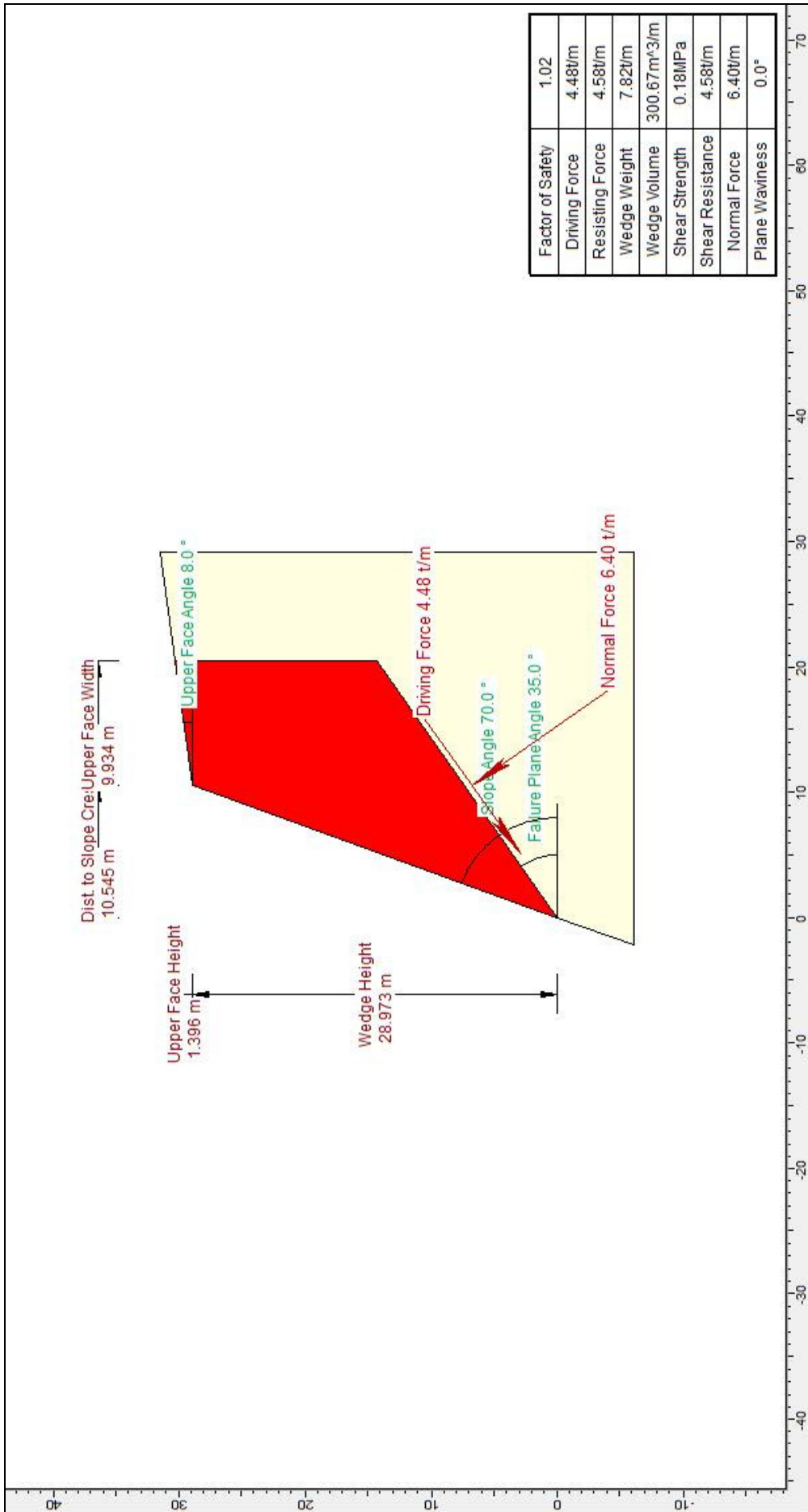
Shear Strength Model	Mohr-Coulomb
Friction Angle	18 °
Cohesion	0.1 MN/m ²
Shear Strength	0.1774 MN/m ²
Shear Resistance	4.435 MN/m

Seismic Force

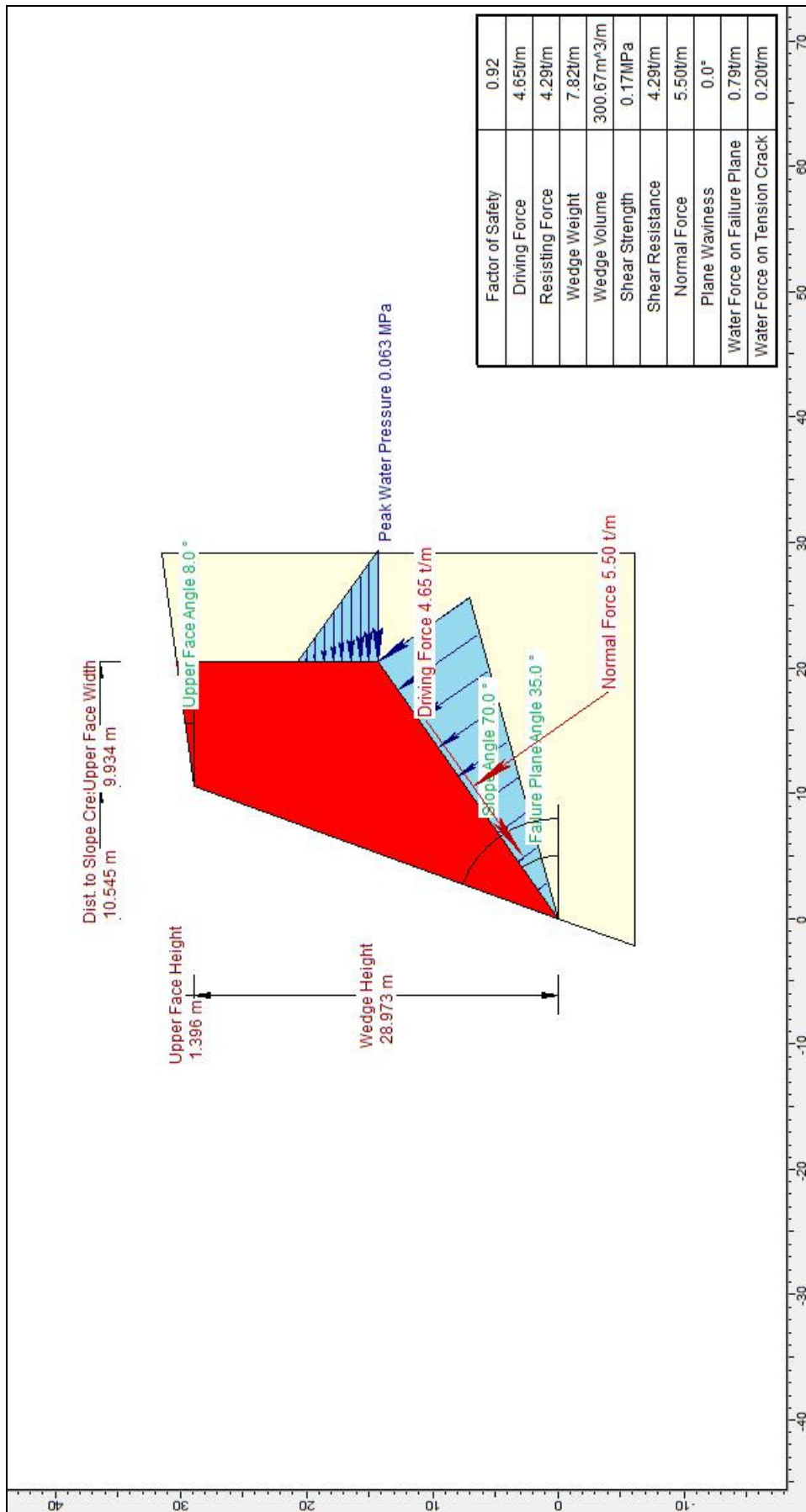
Direction	Horizontal
Seismic Coefficient	0.1
Seismic Force	0.78175 MN/m

Scaling

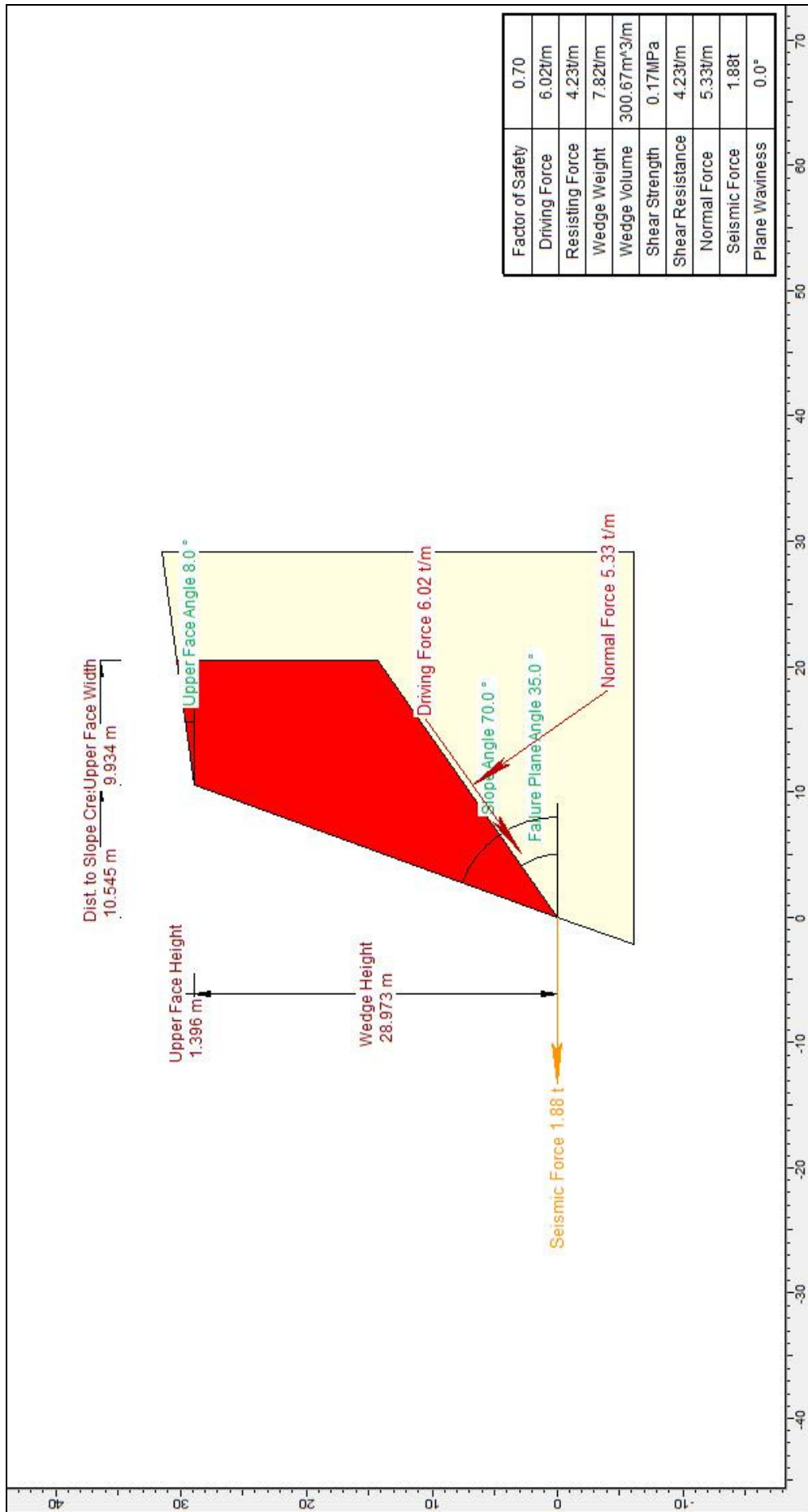
Maximum Persistence	
Failure Plane Scaling	2



Σχήμα 1 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους 1 σε ξηρές συνθήκες. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 1.02



Σχήμα 2 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους Ι σε συνθήκες άσκησης πίεσης του νερού μετά από βροχόπτωση. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 0.92



Σχήμα 3 Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση του τεμάχους 1 σε συνθήκες άσκησης πίεσης του νερού μετά από βροχόπτωση. Ο συντελεστής ασφαλείας (FS) είναι ίσος με 0.87

Αναλύσεις RocFall

RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name Π1
File Version 5.010
Date Created 29/7/2014, 10:01:24 μμ

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	-12.21	16.242		
2	-10	15		
3	-9	13.5		
4	-9.2	12.5		
5	-9.2	10.2		
6	-8.5	9.5		
7	-8.7	8.8		
8	-7.8	8.2		
9	-3.4	6.8		
10	-3.1	5		
11	-3.1	4.1		
12	-2.7	3.8		
13	-2.7	3.502		
14	-2.4	3.3		
15	-2.1	2.6		
16	-2.3	1.5		

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

17	-2.2	1
18	-2.56	0.781
19	-2.3	0
20	-2.5	-1
21	-4.5	-3.2
22	-4.3	-5
23	-3.2	-6.5
24	-4.2	-7.8
25	-4	-8.2
26	-4.2	-9
27	-4.2	-10
28	1.7	-12
29	18.438	-12

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Pyroclastic deposit	1	27
Talus Cover	27	28
Asphalt	28	29

Material Properties

Talus Cover

"Talus Cover" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.8	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Asphalt

"Asphalt" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Tangential Restitution	0.9	Normal	0.03	0.09	0.09
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Pyroclastic deposit

"Pyroclastic deposit" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.55	Exponential		0.05	0.05
Tangential Restitution	0.9	Exponential		0.05	0.05
Friction Angle (°)	20	Exponential		5	5
Slope Roughness (°)		None			

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Name	Seeder 1
Location	(-9, 13.5)

Rocks to Throw

Number of Rocks	200 Overall
-----------------	-------------

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	1	None			
Vertical Velocity (m/s)	0	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

Default Rock (Sphere)

Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	600	Exponential		125	125

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Density (kg/m³) 1499 None

RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name RocFall Model – Π2 (2)

File Version 5.010

Date Created 14/7/2014, 8:31:11 πμ

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass

Units Metric (m, kg, kJ)

Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	-35.574	30.495		
2	-30	27.5		
3	-26.9	14.2		
4	-26	13.2		
5	-19.5	7.8		
6	-18.5	6		
7	-5	-1.5		
8	1	-5		
9	0.8	-7		
10	4.2	-9.3		
11	5	-10.3		
12	5.5	-11		
13	7.5	-15		
14	8	-17		
15	10.698	-18.843		
16	13.5	-20		
17	32.722	-20		

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Lava	1	14
Talus Cover	14	15
Talus Cover with little Vegetation	15	16
Asphalt	16	17

Material Properties

Talus Cover

"Talus Cover" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.8	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Asphalt

"Asphalt" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.03	0.09	0.09
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Lava

"Lava" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.55	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.04	0.12	0.02
Friction Angle (°)	30	Normal	5	15	15
Slope Roughness (°)		None			

Talus Cover with little Vegetation

"Talus Cover with little Vegetation" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.04	0.02	0.02
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties

Location	(-30, 27.5)
----------	-------------

Rocks to Throw

Number of Rocks	200 Overall
-----------------	-------------

Initial Conditions

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	1.2	None			
Vertical Velocity (m/s)	0	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

Default Rock (Sphere)

Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	12500	Normal	500	1500	1500
Density (kg/m ³)	2500	None			

Barriers

Type	Custom
Capacity	1774.00kJ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Location (4.40039, -9.55049) to (5.04744, -7.13567)

Height (m) 2.5

RocFall Analysis Information

Project Summary

File Name RocFall Model – Π3 (3-3)
File Version 5.010
Date Created 13/7/2014, 3:24:26 μμ

Project Settings

General Settings:

Engine Lump Mass
Units Metric (m, kg, kJ)
Rock Throw Mode Number of rocks controlled by seeder

Slope Geometry

Vertex	X	Y	X Std.Dev.	Y Std.Dev.
1	-20	20		
2	-15	12.5		
3	-15.3	12		
4	-13.3	10.2		
5	-13	8		
6	-13.6	7.5		
7	-12.5	5.7		
8	-17	6		
9	-16.7	4		
10	-15.2	1		
11	-15.3	0		
12	-15	-1		
13	-13	-2.7		
14	-14.5	-4		
15	-10.5	-8		
16	-10.5	-9.5		
17	-9.5	-10.5		
18	-9.5	-11		
19	-9.5	-12.5		

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

20	-8.5	-13.2
21	-4.416	-16.45
22	0.708	-20.293
23	5.13	-23.05
24	9.5	-25
25	29.761	-25

Slope Material Assignment

Material	From Vertex	To Vertex
Lava	1	20
Talus Cover	20	22
Talus with Little Vegetation	22	24
Asphalt	24	25

Material Properties

Talus Cover

"Talus Cover" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.32	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.8	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Asphalt

"Asphalt" Properties

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.03	0.09	0.09
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Lava

"Lava" Properties

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.55	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.04	0.12	0.02
Friction Angle (°)	30	Normal	5	15	15
Slope Roughness (°)		None			

Talus with Little Vegetation

"Talus with Little Vegetation" Properties					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.04	0.12	0.02
Friction Angle (°)	30	None			
Slope Roughness (°)		None			

Seeders

Seeder 1

Seeder Properties					
Location	(-15, 12.5)				
Rocks to Throw					
Number of Rocks	200 Overall				
Rock Types	Seeder lava				
Initial Conditions					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Horizontal Velocity (m/s)	0.98	Normal	0.2	0.6	0.6
Vertical Velocity (m/s)	0	None			
Rotational Velocity (°/s)	0	None			
Initial Rotation (°/s)	0	Uniform		0	360

Rock Types

Seeder lava

Properties				
Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max

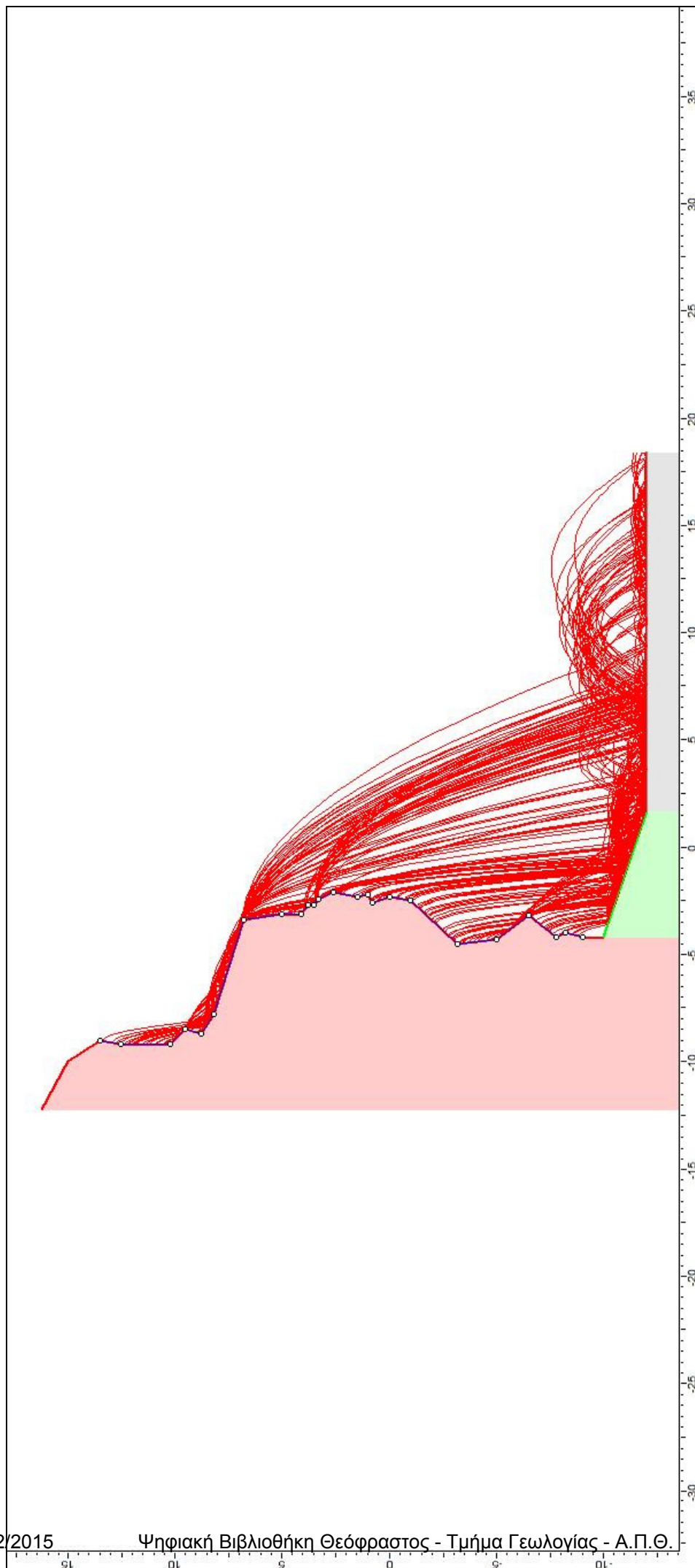
ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Mass (kg)	18750	Normal	500	1500	1500
Density (kg/m ³)	2500	None			

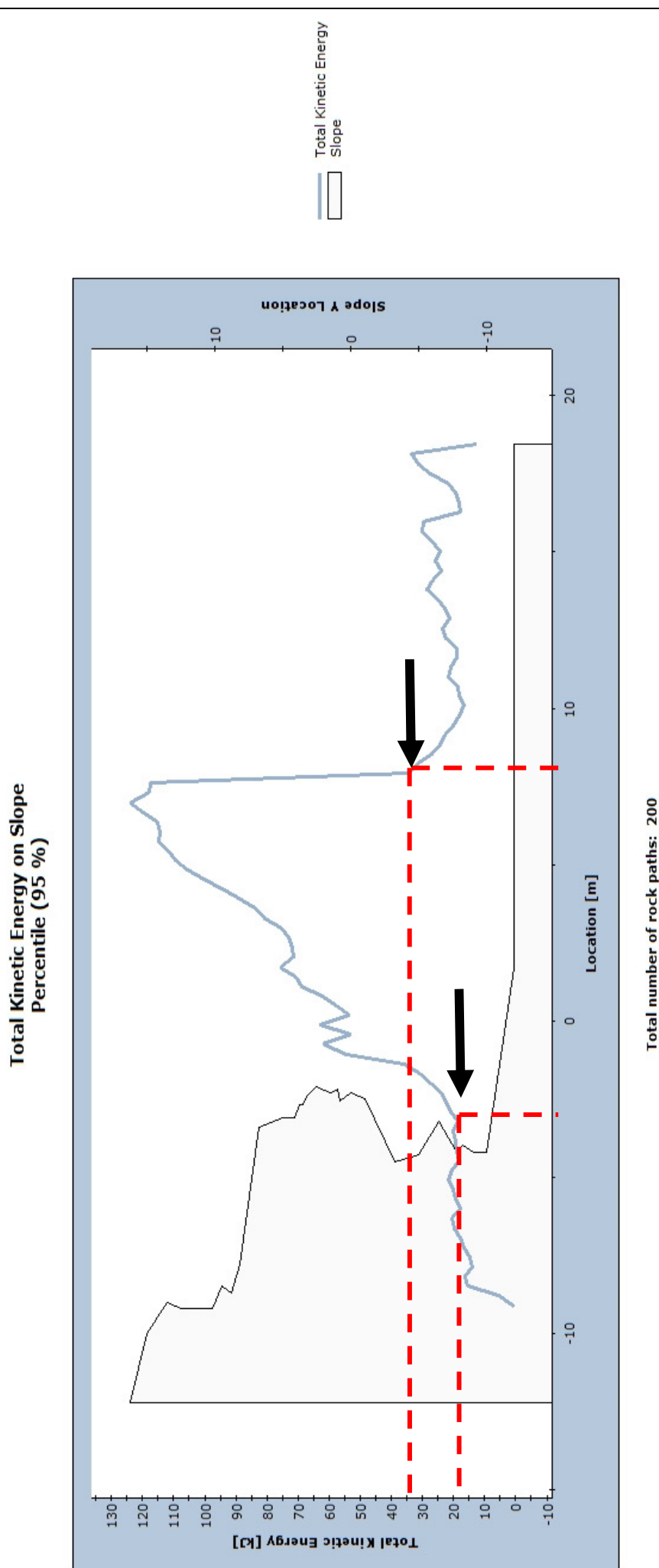
Barriers

Barrier 1

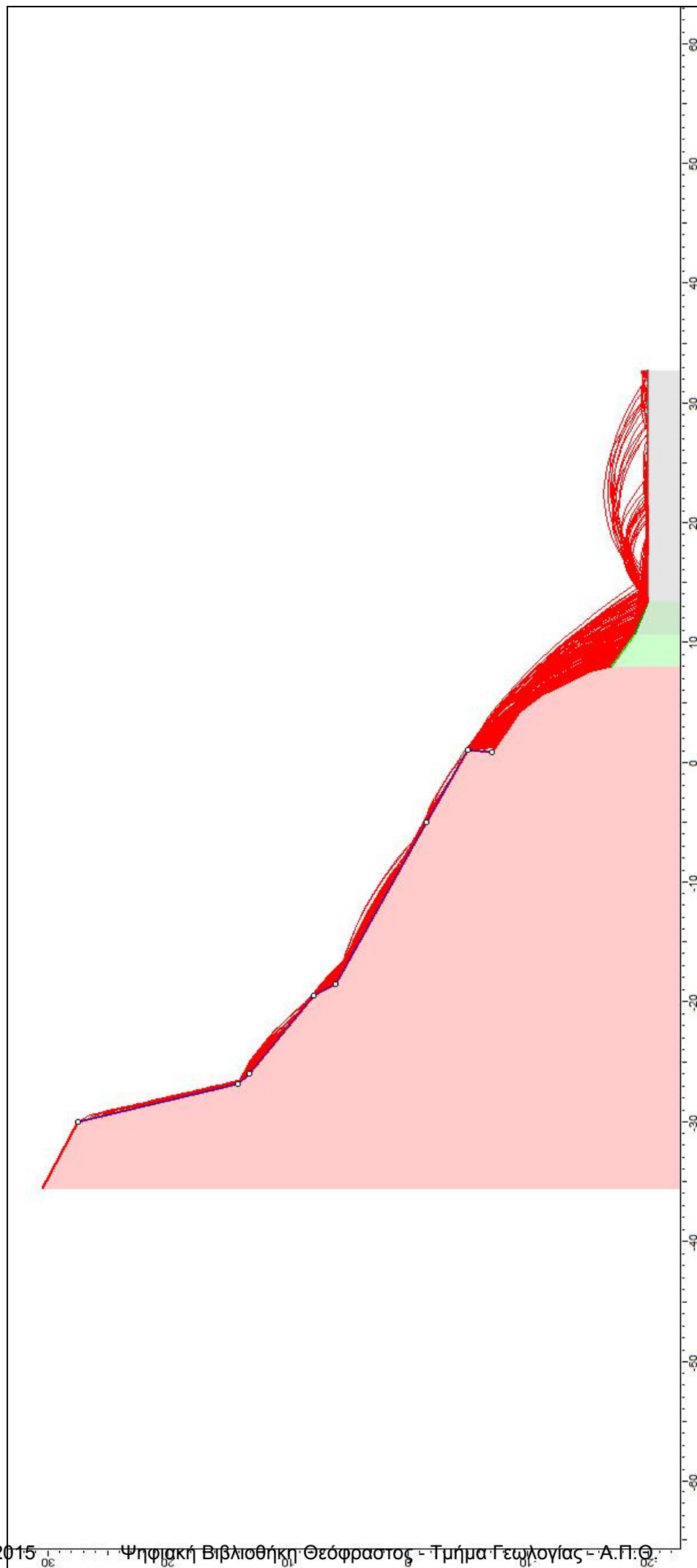
Type	Custom
Capacity	3345.00kJ
Location	(-3.09975, -17.4372) to (-1.49507, -11.4485)
Height (m)	6.2



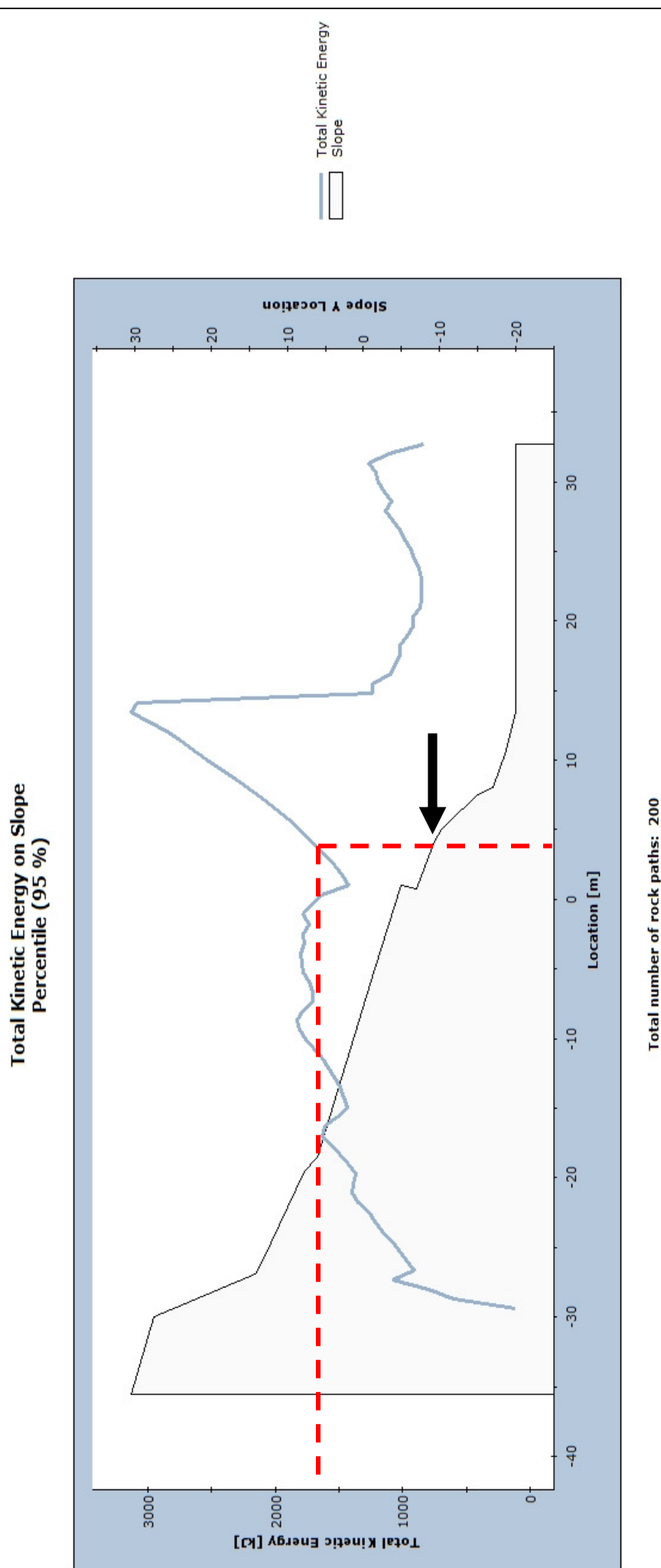
Σχήμα 4 Τομή 1. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π1.



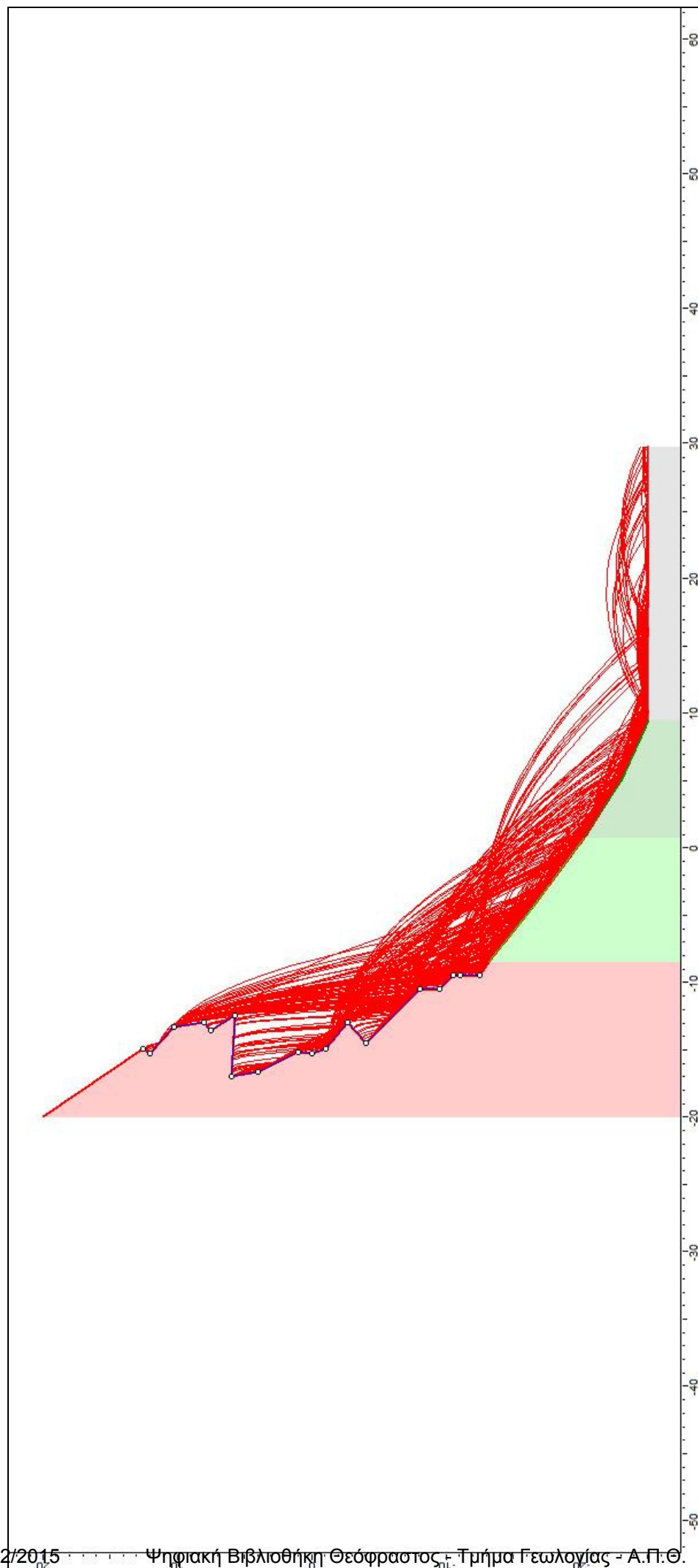
Σχήμα 5 Τομή 1. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π1. Φαίνονται τα σημεία με την μικρότερη ολική κινητική ενέργεια ως προσηφορότερα για την εφαρμογή φράκτη ανάσχεσης τα οποία μετέπειτα απορρίφθηκαν.



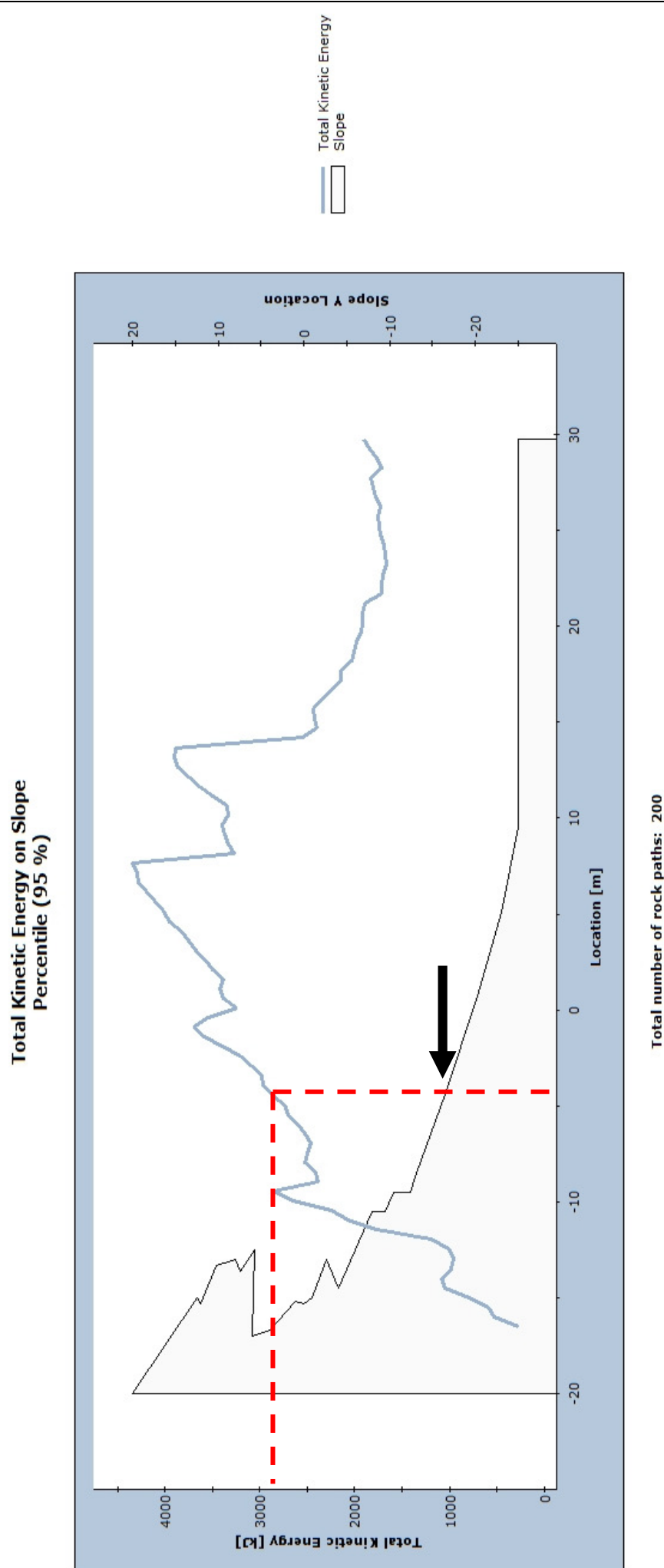
Σχήμα 6 Τομή 2. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π2.



Σχήμα 7 Τομή 2. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π2. Φαίνεται μία πιθανή κατάλληλη θέση εφαρμογής φράκτη ανάσχεσης.



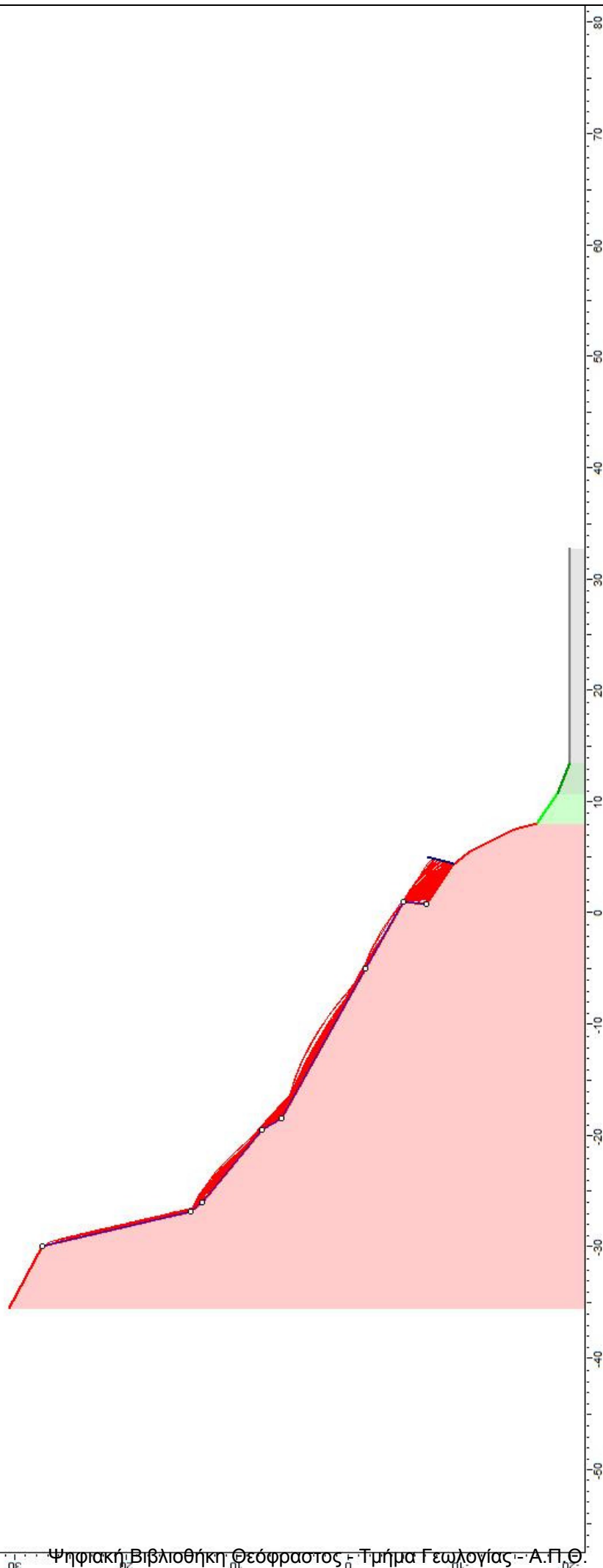
Σχήμα 8 Τομή 3-3. Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Θέση Π3.



Σχήμα 9 Τομή 3-3. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π3. Φαίνεται μία πιθανή κατάλληλη θέση εφαρμογής φράκτη ανάσχεσης

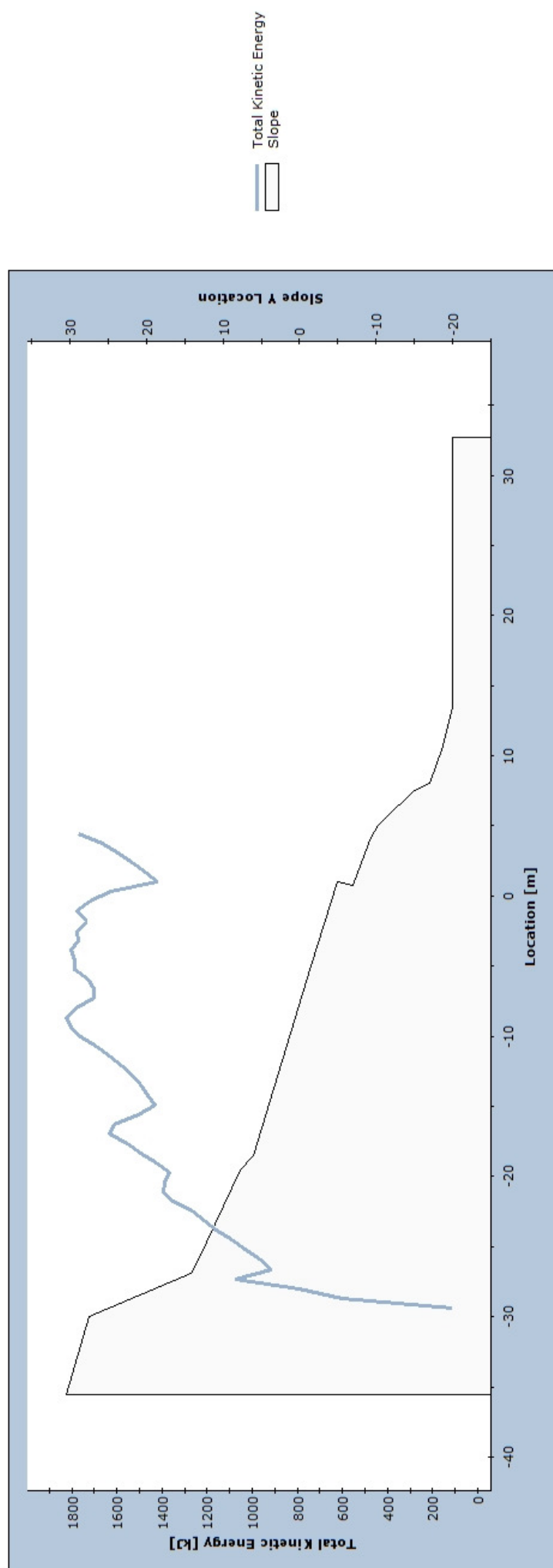
19/2/2015

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

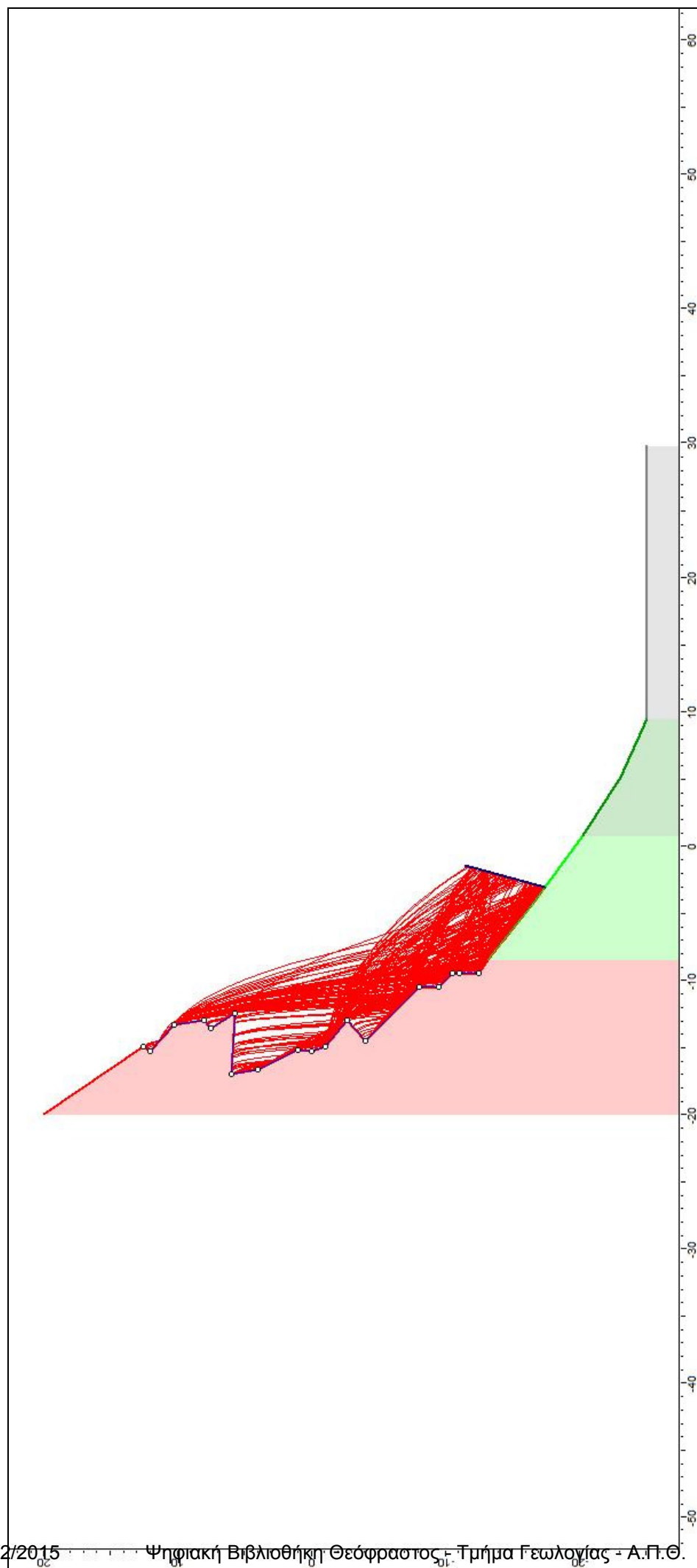


Σχήμα 10 Τομή 2i. Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (Φράκτης ανάσχεσης). Θέση Π2.

Total Kinetic Energy on Slope
Percentile (95 %)

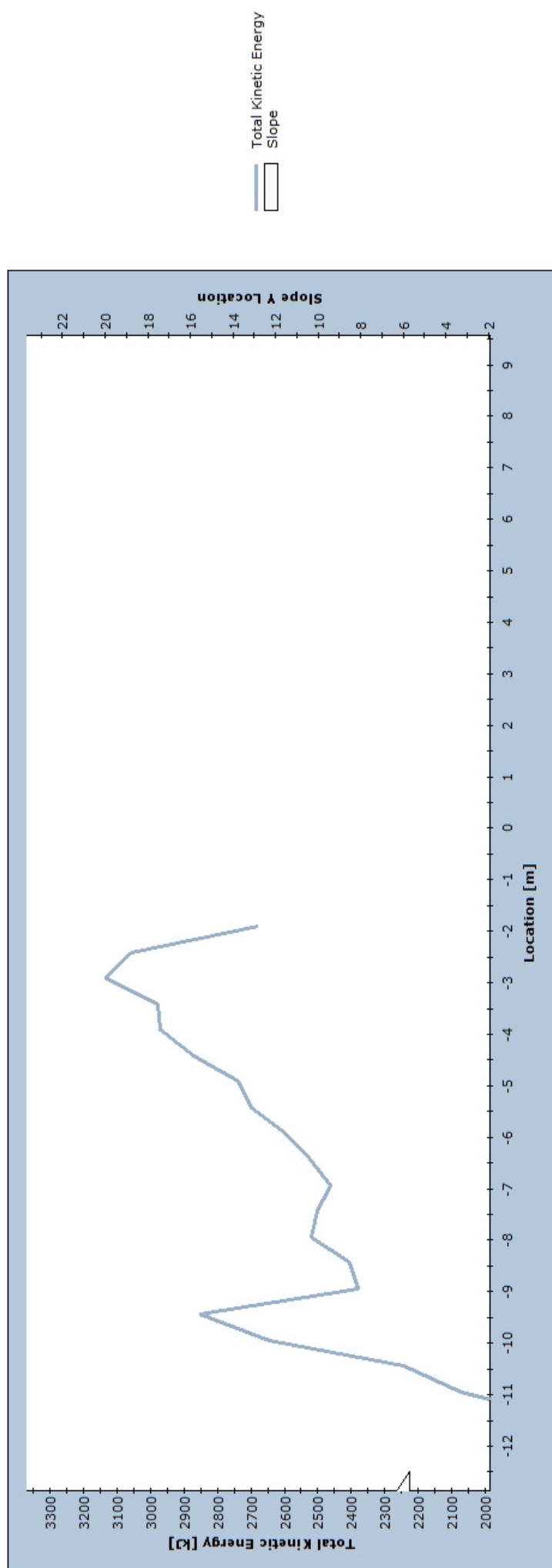


Σχήμα 11 Τομή 2i. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π2. Το σημείο όπου διακόπτεται η καμπύλη αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που έχουν τα τεμάχια την στιγμή της πρόσκρουσης.



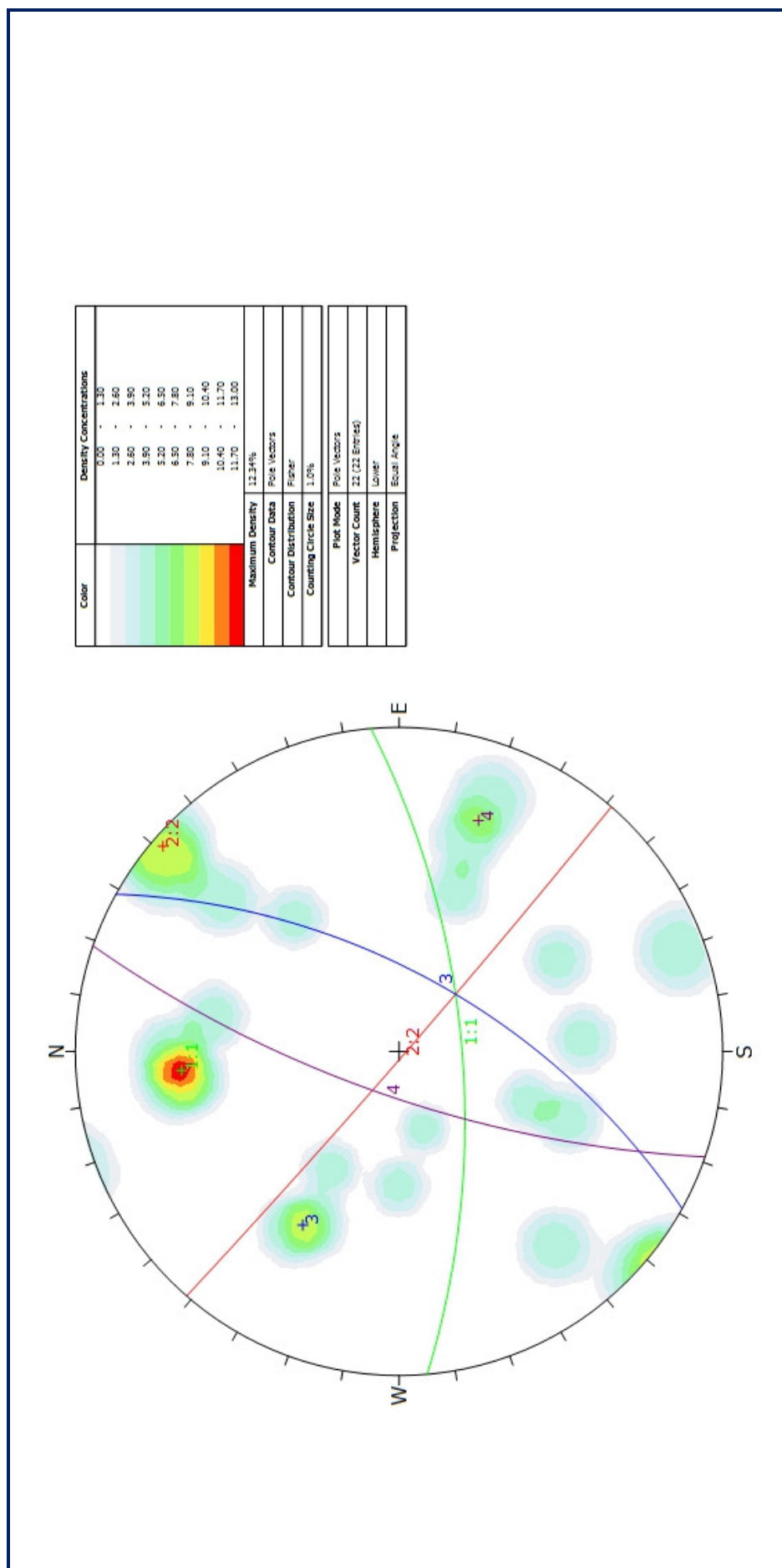
Σχήμα 12 Τομή 3-3i. Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης (Φράκτης ανάσχεσης). Θέση Π3.

Total Kinetic Energy on Slope
Percentile (95 %)

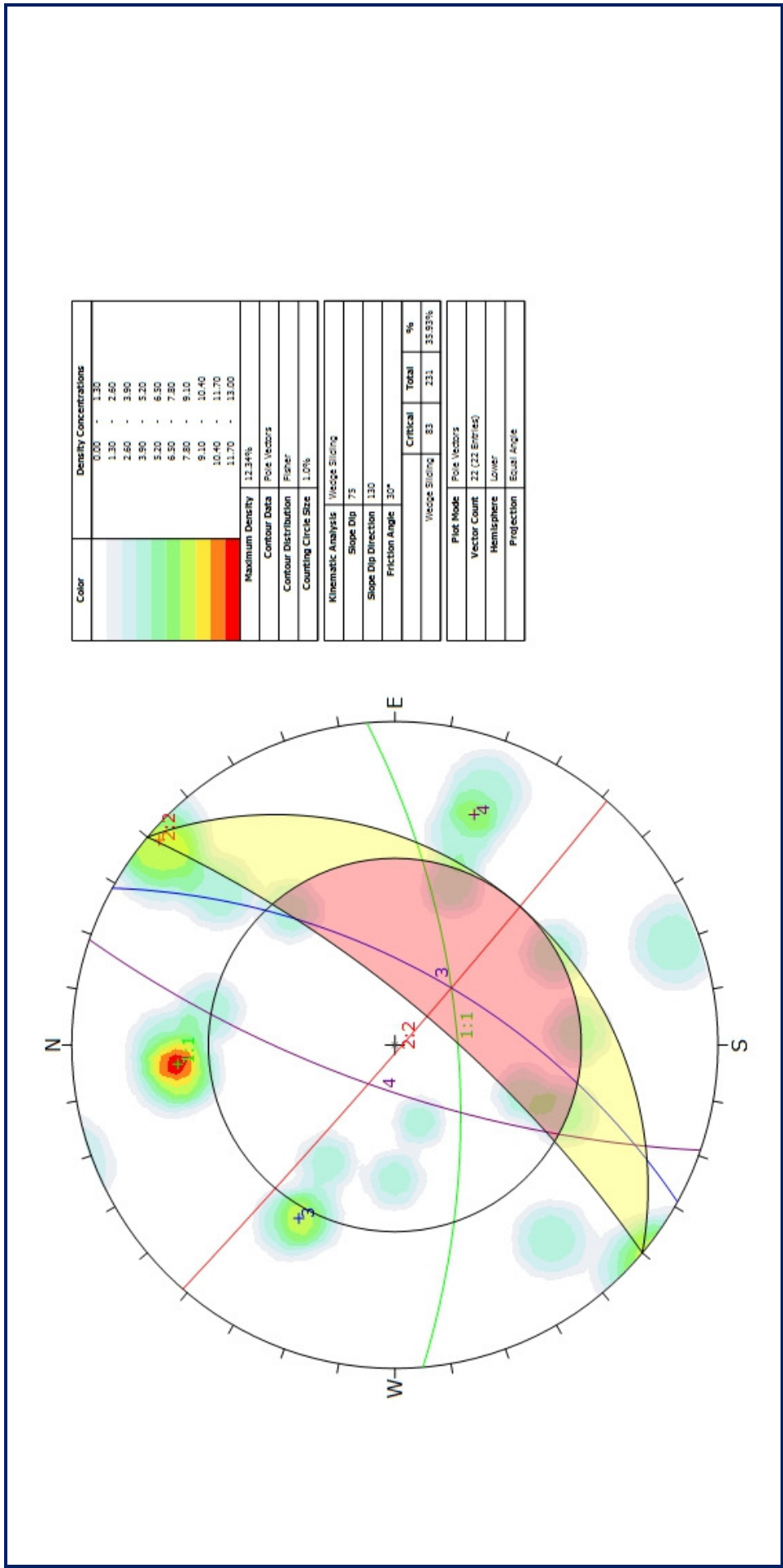


Σχήμα 13 Τομή 3-3i. Συνολική κινητική ενέργεια των καταπτώσεων στην θέση Π3. Το σημείο όπου διακόπτεται η καμπύλη αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια που έχουν τα τεμάχια την στιγμή της πρόσκρουσης.

Αναλύσεις Dips



Σχήμα 14 Προβολή σε δίκτυο Schmidt της συγκέντρωσης των πόλων των διακλάσεων στην περιοχή του Parking στην θέση Π3 και προσδιορισμός των κύριων επιπέδων των ομάδων διακλάσεων. Διακρίνονται 4 ομάδες διακλάσεων.



Σχήμα 15 Προβολή της κινηματικής ανάλυσης τύπου Markland όσον αφορά σφηνοειδείς ολισθήσεις που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο τεκτονικό διάγραμμα. Παρατηρούμε ότι τα κύρια επίπεδα που δημιουργούν σφήνες είναι τα επίπεδα των ομάδων διακλάσεων 1, 2 και 3.

Αναλύσεις SWedge

SWedge Analysis Information

Project Summary

File Name Π3(Deterministic)-Inter1
Project Title SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
Date Created 28/7/2014, 8:25:10 pm

Analysis Results

- Analysis type - Deterministic

Safety Factor	1.46346
Wedge height (on slope) [m]	4.79233
Bench width (on upper face) [m]	1.5
Wedge volume [m3]	1.53753
Wedge weight [MN]	0.0399758
Wedge area (joint1) [m2]	5.19169
Wedge area (joint2) [m2]	3.40636
Wedge area (slope) [m2]	3.34655
Wedge area (upper face) [m2]	1.03906

Effective Normal and Strength Properties

Driving force [MN]	0.10382
Resisting force [MN]	0.151936

Seismic Force

Seismic force [MN]	0.0959418
--------------------	-----------

Failure Mode

- Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
62.117	134.784	5.782

Trace Lengths

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	5.175	2.022
Joint 2	4.943	1.534

Persistence

Joint 1 [m] 5.78249

Joint 2 [m] 5.78249

Intersection Angles

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	15.171	42.068
Joint 1 & Crest	72.647	49.326
Joint 2 & Crest	92.183	88.606

Dip and Dip Direction

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	68.000	175.000
Joint Set 2	88.000	221.000
Slope	76.000	130.000
Upper Face	12.000	130.000

Joint Set 1 Data

Cohesion [MPa] 0

Friction Angle [deg] 30

Joint Set 2 Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Slope Data

Slope height [m] 25.5
Bench width [m] 1.5
Rock unit weight [MN/m³]: 0.026
Water pressures in the slope NO
Overhanging slope face NO
Externally applied force YES
Tension crack NO

Seismic Data

Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
Seismic coefficient: 2.4
Trend [deg]: 134.784
Plunge [deg]: -0

Bolt Data

Bolt 1 Data

Model	passive
Trend [deg]	310.000
Plunge [deg]	-0.000
Length [m]	3.000
Anch. Length [m]	2.613
Capacity [MN]	0.160

SWedge Analysis Information

Project Summary

File Name Π3(Deterministic)-Inter2
Project Title SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
Date Created 28/7/2014, 8:25:10 pm

Analysis Results

- Analysis type - Deterministic

Safety Factor	1.4088
Wedge height (on slope) [m]	4.78633
Bench width (on upper face) [m]	1.5
Wedge volume [m3]	9.27301
Wedge weight [MN]	0.241098
Wedge area (joint1) [m2]	5.18519
Wedge area (joint2) [m2]	19.9957
Wedge area (slope) [m2]	20.1834
Wedge area (upper face) [m2]	6.27456

Effective Normal and Strength Properties

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [MN]	0.000	0.000
Effective Normal stress [MPa]	0.000	0.000
Shear Strength [MPa]	0.000	0.000
Strength due to Waviness [MPa]	0.000	0.000

Driving force [MN] 0.626856
Resisting force [MN] 0.883115

Seismic Force

Seismic force [MN] 0.578636

Failure Mode

- Contact lost on both joints

Joint Sets 1&2 line of Intersection

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
62.104	134.746	5.776

Trace Lengths

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	5.168	2.022
Joint 2	8.273	7.035

Persistence

Joint 1 [m] 5.77642

Joint 2 [m] 8.27326

Intersection Angles

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	70.752	118.083
Joint 1 & Crest	72.647	49.326
Joint 2 & Crest	36.601	12.591

Dip and Dip Direction

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	68.000	175.000
Joint Set 2	63.000	119.000
Slope	76.000	130.000
Upper Face	12.000	130.000

Joint Set 1 Data

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Joint Set 2 Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Slope Data

Slope height [m] 25.5
Bench width [m] 1.5
Rock unit weight [MN/m³]: 0.026
Water pressures in the slope NO
Overhanging slope face NO
Externally applied force YES
Tension crack NO

Seismic Data

Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
Seismic coefficient: 2.4
Trend [deg]: 134.746
Plunge [deg]: -0

Bolt Data

Bolt 1 Data

Model	passive
Trend [deg]	310.000

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Plunge [deg]	-0.000
Length [m]	3.000
Anch. Length [m]	2.430
Capacity [MN]	0.960

SWedge Analysis Information

Project Summary

File Name Π3(Deterministic)-Inter3
Project Title SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
Date Created 28/7/2014, 8:25:10 pm

Analysis Results

- Analysis type - Deterministic

Safety Factor 1.40728
Wedge height (on slope) [m] 4.78515
Bench width (on upper face) [m] 1.5
Wedge volume [m3] 7.73549
Wedge weight [MN] 0.201123
Wedge area (joint1) [m2] 3.40125
Wedge area (joint2) [m2] 19.9907
Wedge area (slope) [m2] 16.8369
Wedge area (upper face) [m2] 5.23549

Effective Normal and Strength Properties

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [MN]	0.000	0.000
Effective Normal stress [MPa]	0.000	0.000
Shear Strength [MPa]	0.000	0.000
Strength due to Waviness [MPa]	0.000	0.000

Driving force [MN] 0.522919
Resisting force [MN] 0.735892

Seismic Force

Seismic force [MN] 0.482694

Failure Mode

- Contact lost on both joints

Joint Sets 1&2 line of Intersection

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
62.099	134.782	5.775

Trace Lengths

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	4.935	1.534
Joint 2	8.271	7.035

Persistence

Joint 1 [m] 5.77529

Joint 2 [m] 8.2712

Intersection Angles

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	55.581	76.015
Joint 1 & Crest	87.817	91.394
Joint 2 & Crest	36.601	12.591

Dip and Dip Direction

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	88.000	221.000
Joint Set 2	63.000	119.000
Slope	76.000	130.000
Upper Face	12.000	130.000

Joint Set 1 Data

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Joint Set 2 Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Slope Data

Slope height [m] 25.5
Bench width [m] 1.5
Rock unit weight [MN/m³]: 0.026
Water pressures in the slope NO
Overhanging slope face NO
Externally applied force YES
Tension crack NO

Seismic Data

Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
Seismic coefficient: 2.4
Trend [deg]: 134.782
Plunge [deg]: -0

Bolt Data

Bolt 1 Data

Model	passive
Trend [deg]	310.000

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

Plunge [deg]	-0.000
Length [m]	3.000
Anch. Length [m]	2.568
Capacity [MN]	0.800

SWedge Analysis Information

Project Summary

File Name Π3(Deterministic)-Basal
Project Title SWEDGE - Surface Wedge Stability Analysis
Date Created 28/7/2014, 8:25:10 pm

Analysis Results

- Analysis type - Deterministic

Safety Factor 1.40462
Wedge height (on slope) [m] 4.7838
Bench width (on upper face) [m] 1.49921
Wedge volume [m3] 9.25658
Wedge weight [MN] 0.240671
Wedge area (joint1) [m2] 5.17971
Wedge area (joint2) [m2] 0.0124292
Wedge area (basal) [m2] 19.9015
Wedge area (slope) [m2] 20.1005
Wedge area (upper face) [m2] 6.24878

Effective Normal and Strength Properties

	Joint 1	Joint 2	Basal Joint
Effective Normal force [MN]	0.000	0.000	0.000
Effective Normal stress [MPa]	0.000	0.000	0.000
Shear Strength [MPa]	0.000	0.000	0.000
Strength due to Waviness [MPa]	0.000	0.000	0.000

Driving force [MN] 0.625745
Resisting force [MN] 0.878934

Seismic Force

Seismic force [MN] 0.577611

Failure Mode

- Contact lost on both joints

Joint 1 & Basal Joint line of Intersection

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
62.104	134.746	5.773

Joint 2 & Basal Joint line of Intersection

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
62.099	134.782	0.349

Trace Lengths

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	5.165	2.021
Joint 2	0.298	0.093
Basal Joint	7.769	7.769

Persistence

Joint 1 [m] 5.77336
Joint 2 [m] 0.349121
Basal Joint [m] 7.96529
Tension Crack [m] 0

Intersection Angles

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Basal Joint	124.419	118.083
Joint 2 & Basal Joint	70.752	103.985

Dip and Dip Direction

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΦΛΥΣΧΗ ΣΤΟΝ ΝΟΜΟ ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ ΚΑΙ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΩΝ
ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΚΟΚΚΙΝΗ ΠΑΡΑΛΙΑ, ΔΗΜΟΥ ΘΗΡΑΣ

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	68.000	175.000
Joint Set 2	88.000	221.000
Basal Joint	63.000	119.000
Slope	76.000	130.000
Upper Face	12.000	130.000

Joint Set 1 Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Joint Set 2 Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 30

Basal Joint Data

Cohesion [MPa] 0
Friction Angle [deg] 35

Slope Data

Slope height [m] 25.5
Bench width [m] 1.5
Rock unit weight [MN/m³]: 0.026
Water pressures in the slope NO
Overhanging slope face NO
Externally applied force YES
Tension crack NO

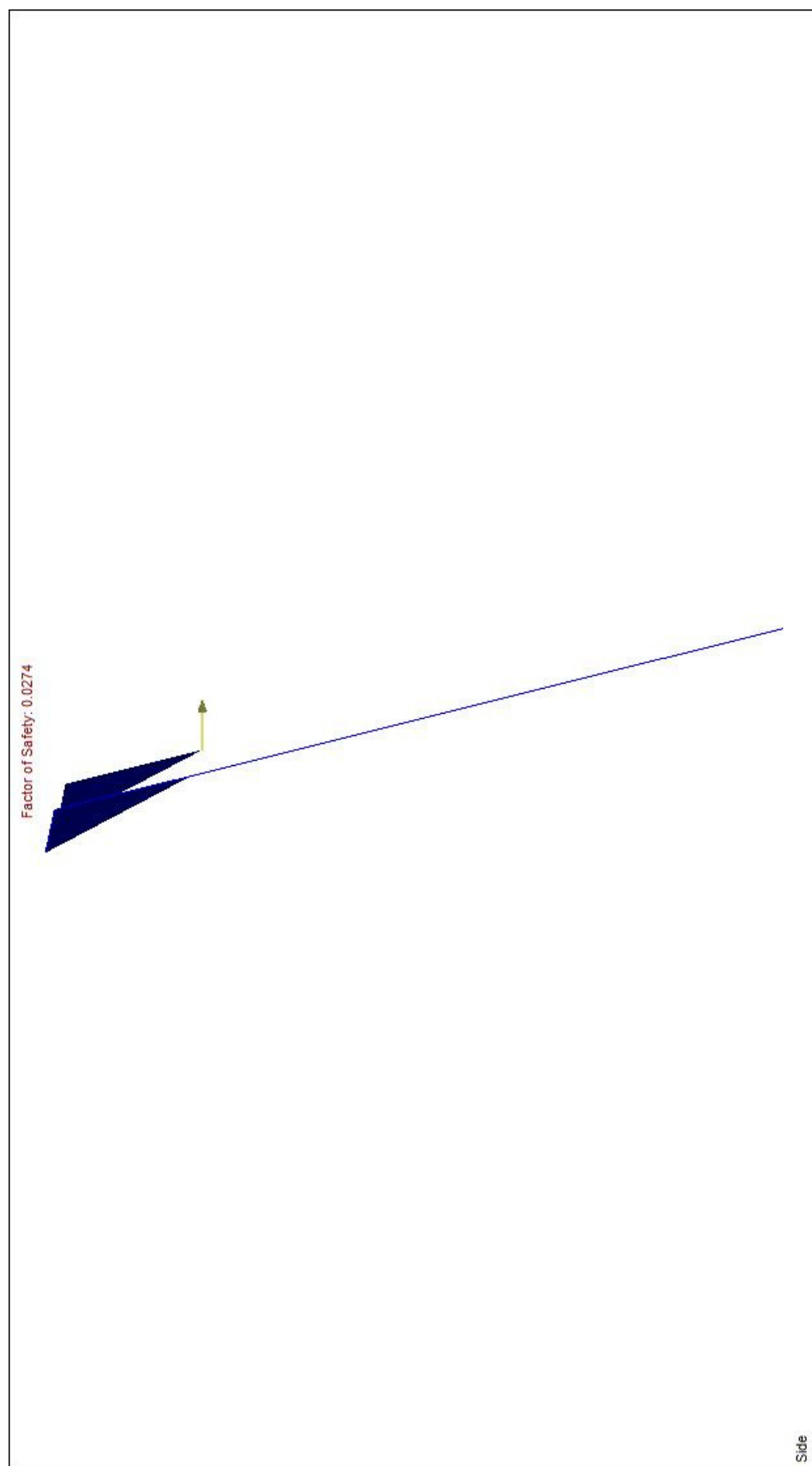
Seismic Data

Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
Seismic coefficient: 2.4
Trend [deg]: 119
Plunge [deg]: -0

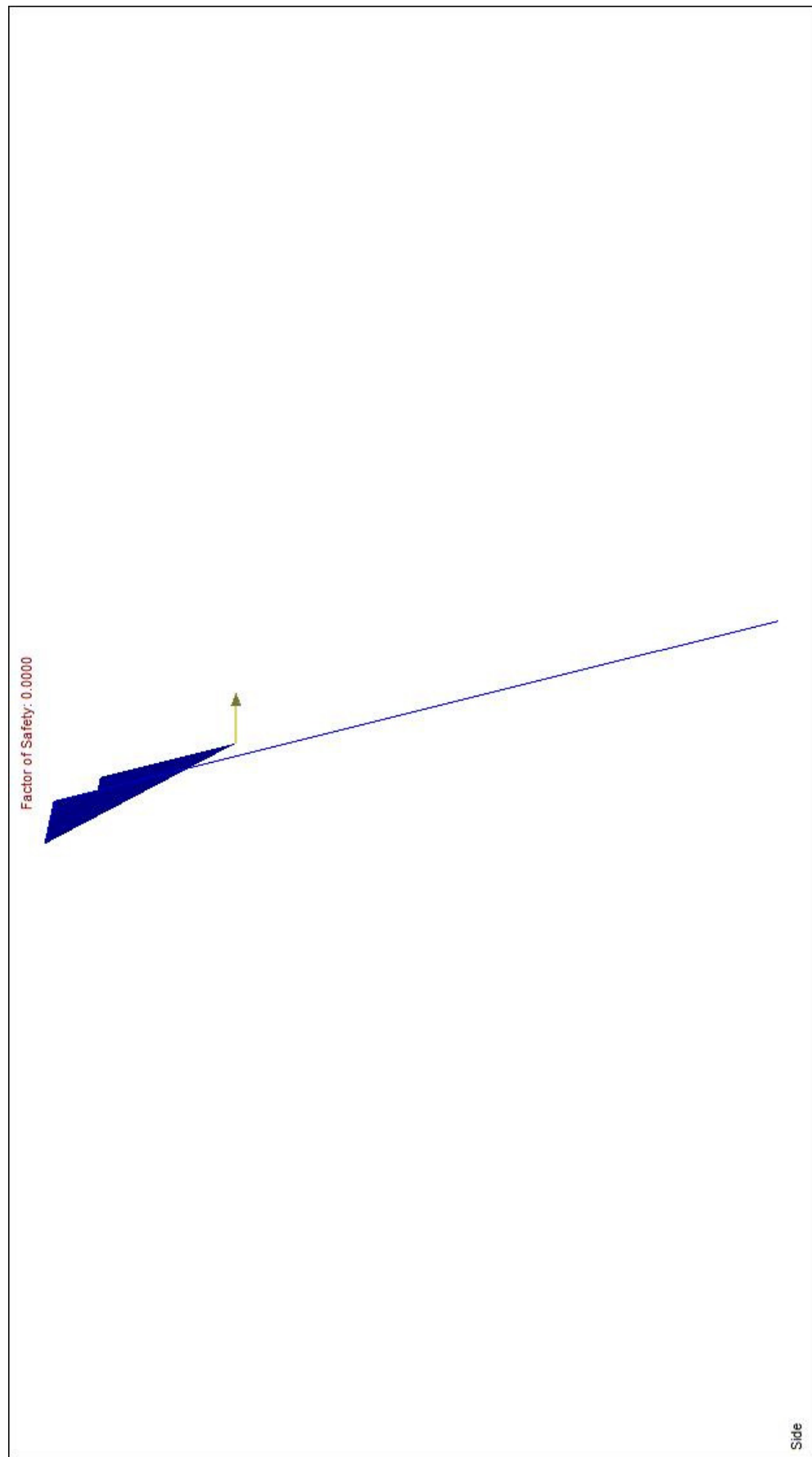
Bolt Data

Bolt 1 Data

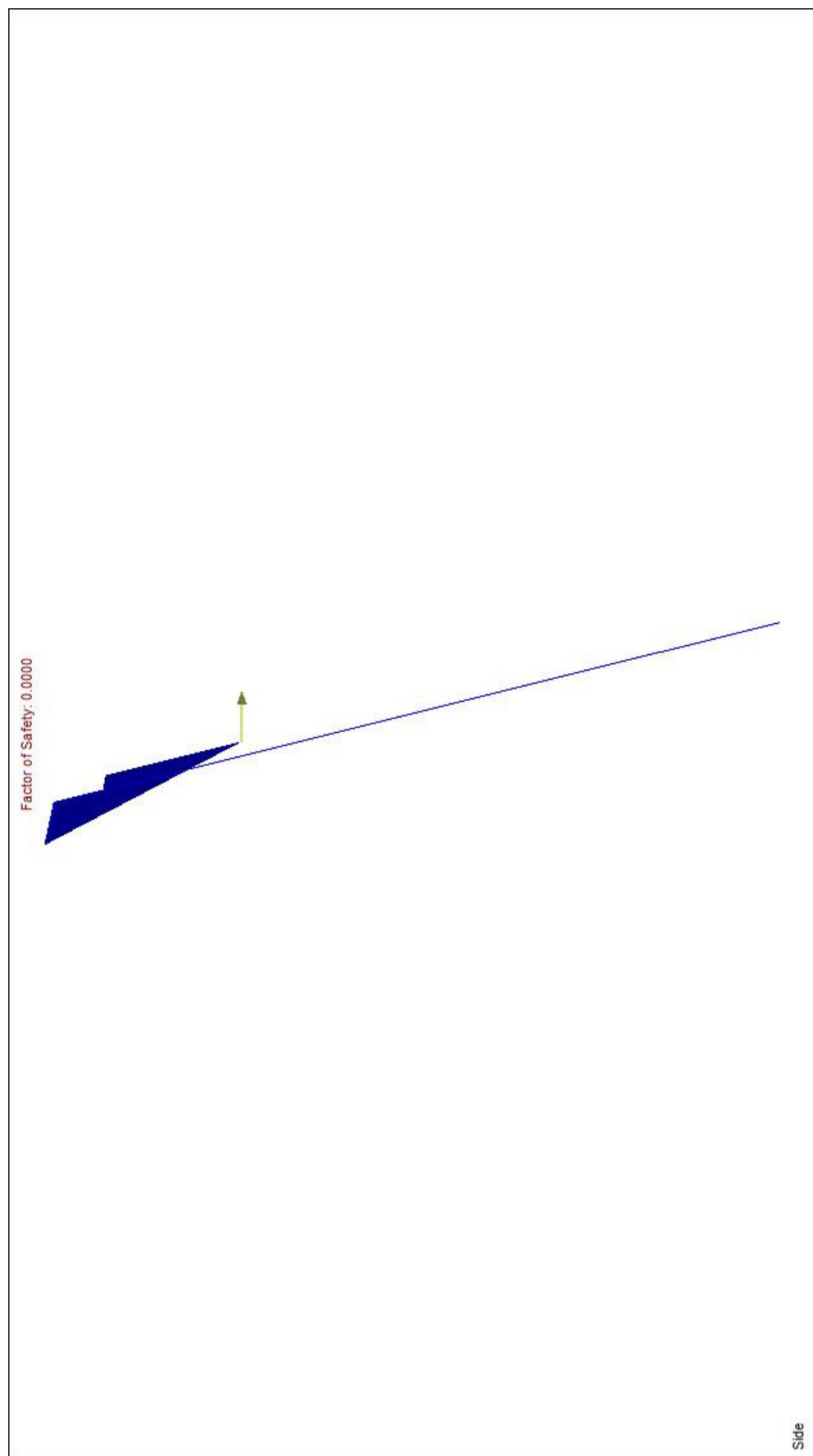
Model	passive
Trend [deg]	310.000
Plunge [deg]	-0.000
Length [m]	3.000
Anch. Length [m]	2.319
Capacity [MN]	0.970



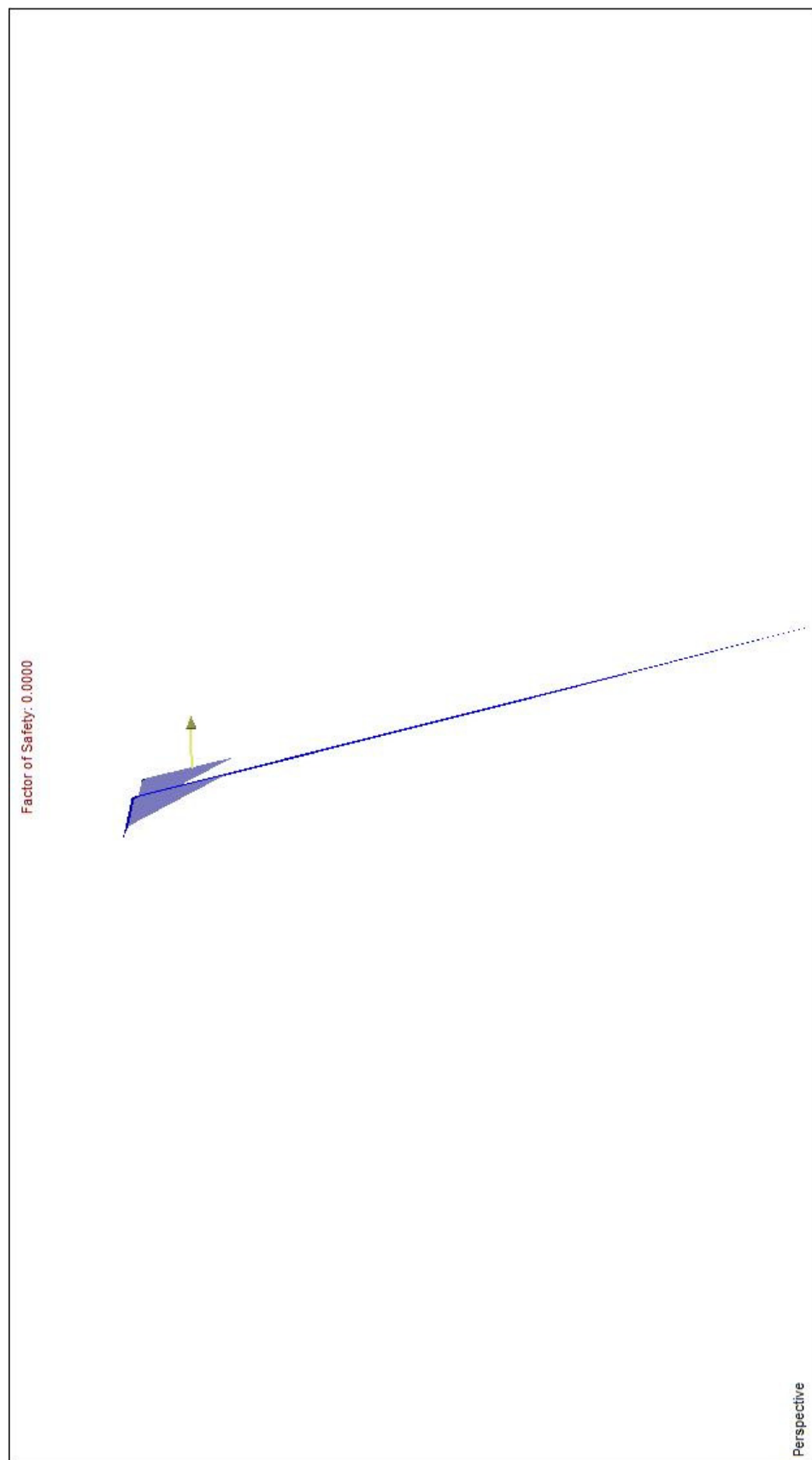
Σχήμα 16 Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.03 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g.



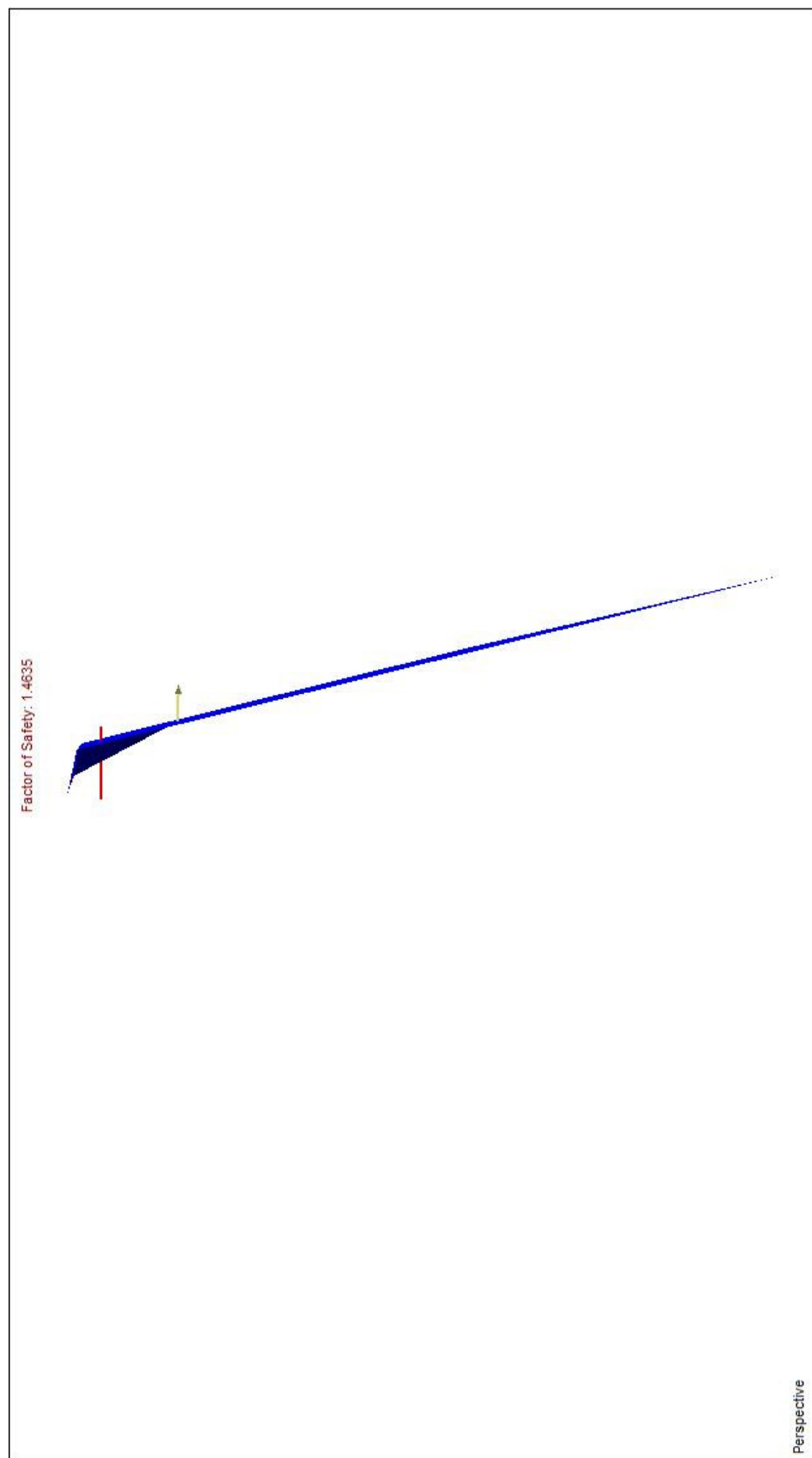
Σχήμα 17 Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g.



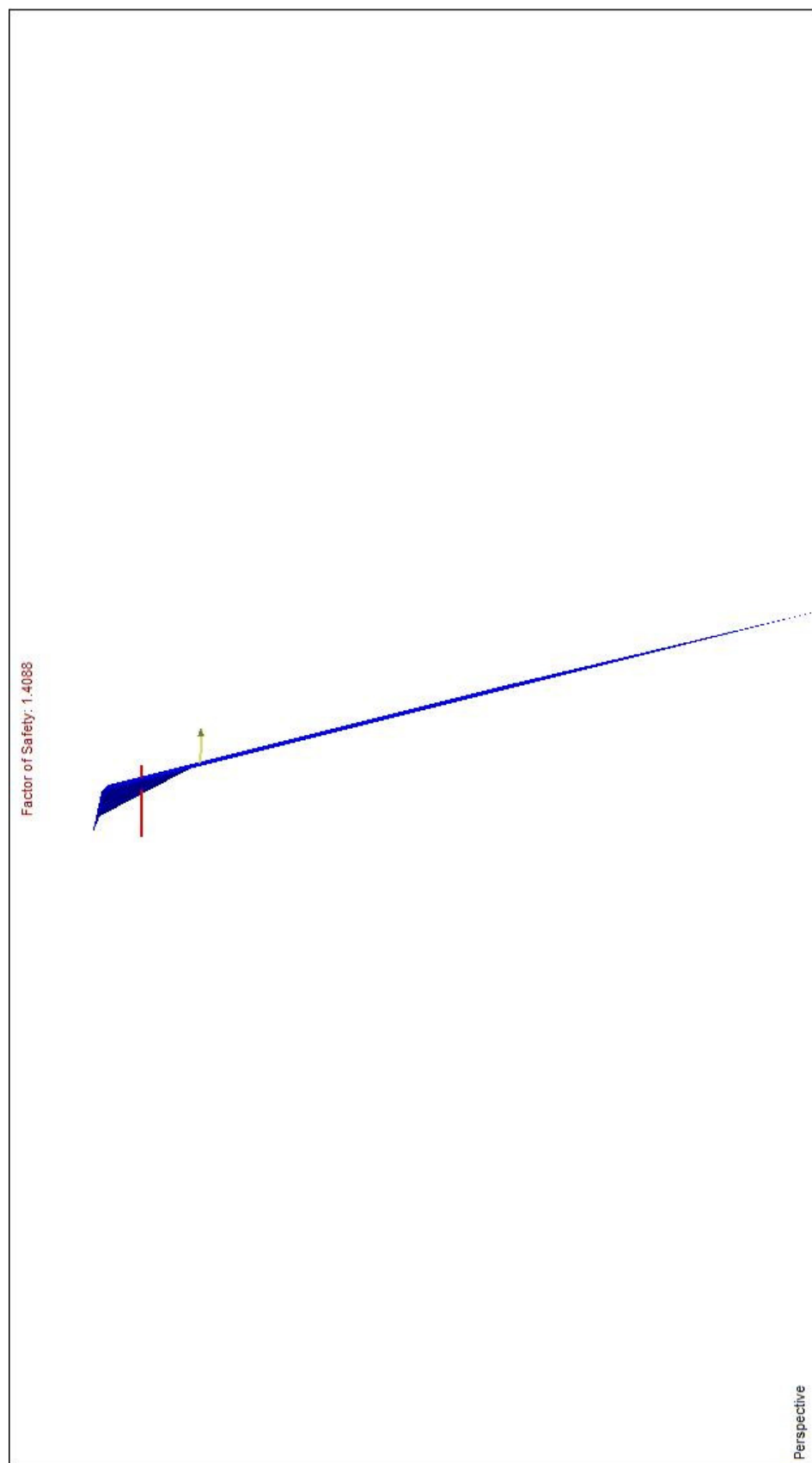
Σχήμα 18 Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 2 και 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g



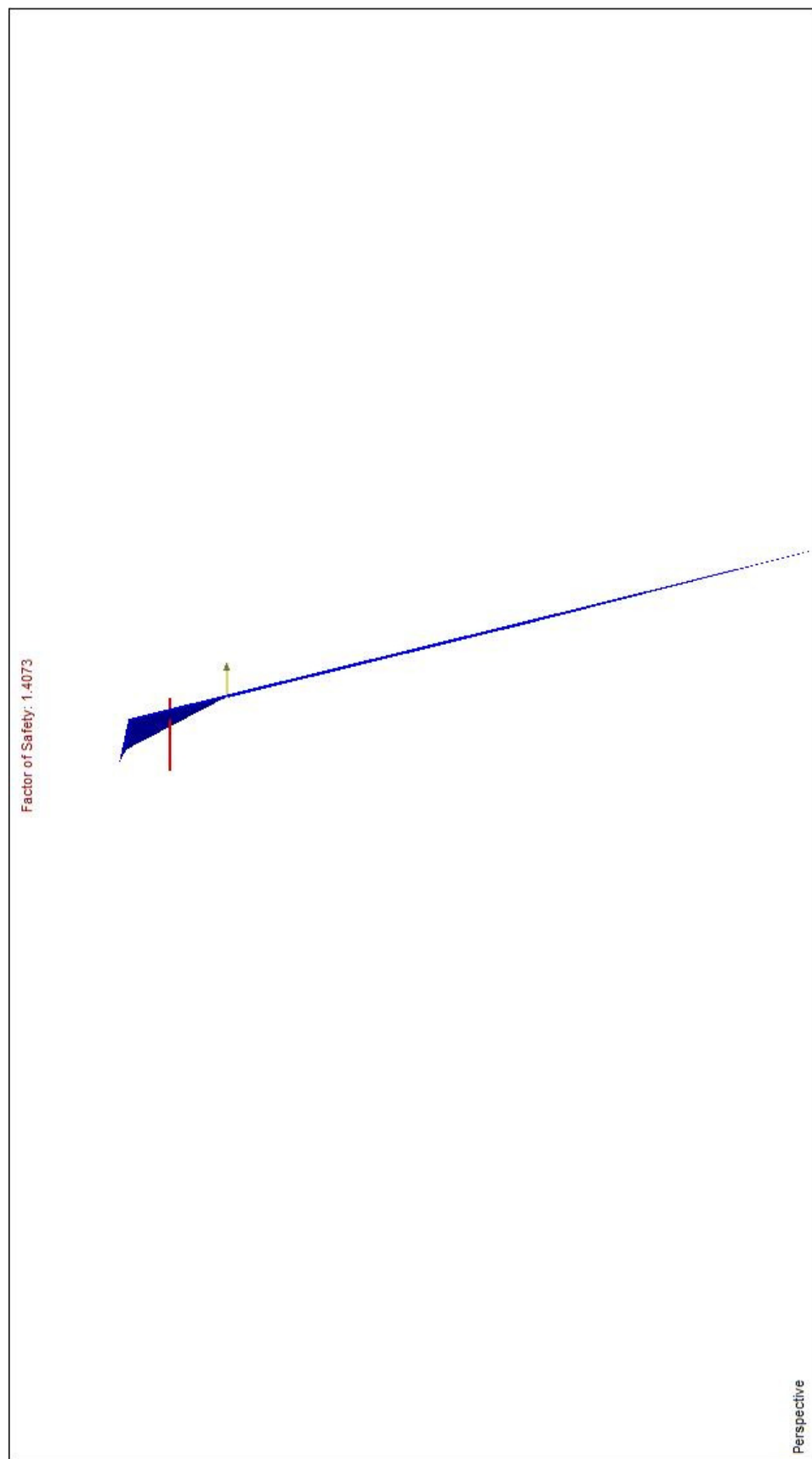
Σχήμα 19 Χωρίς εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ως βασικό επίπεδο λαμβάνεται η ομάδα διακλάσεων 3. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 0.00 καθώς λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g.



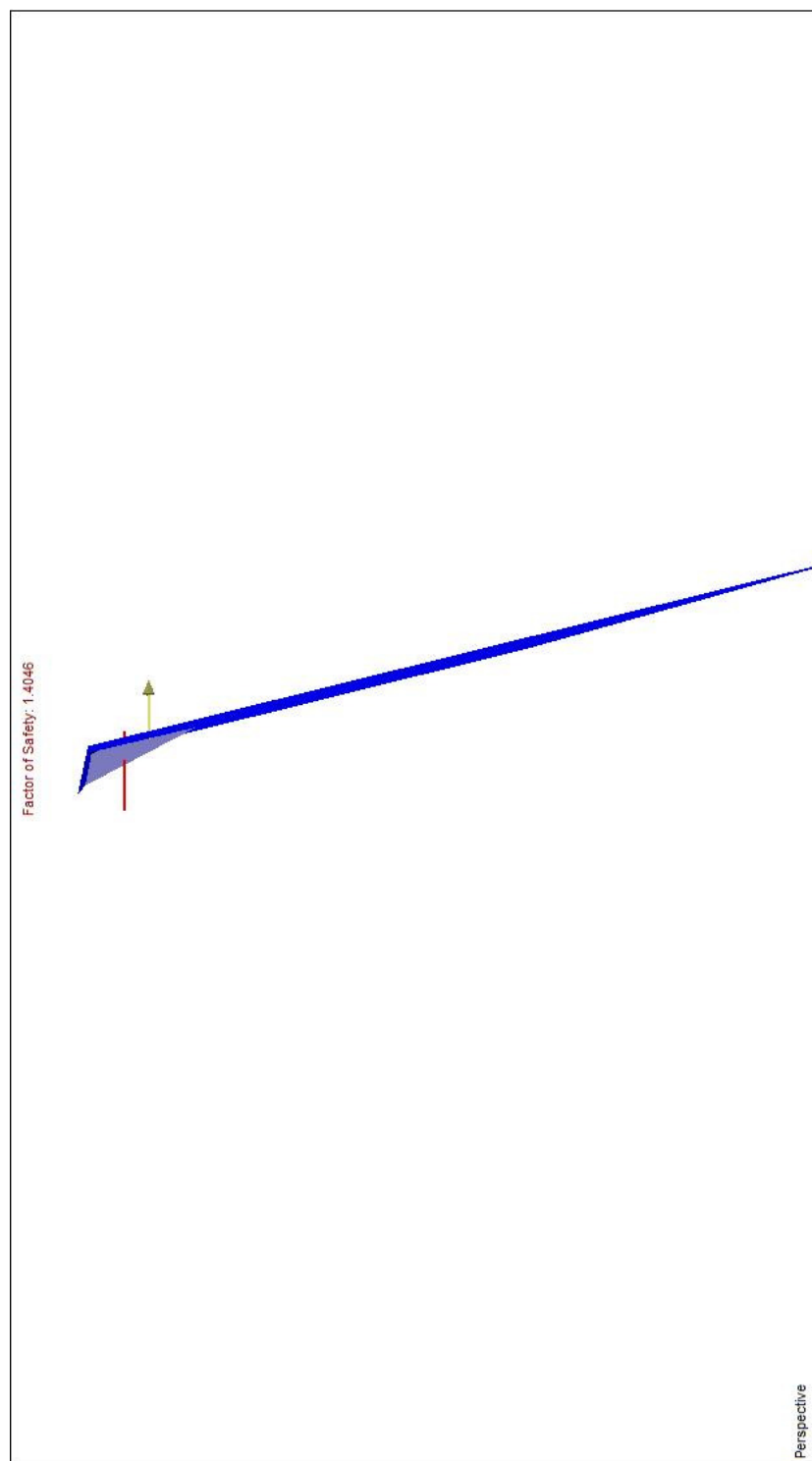
Σχήμα 20 Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.46. Το εφαρμοζόμενο αγκόριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.16 MN.



Σχήμα 21 Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο ανκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.96 MN.



Σχήμα 22 Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 2 και 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.80 MN.



Σχήμα 23 Με εφαρμογή μέτρων υποστήριξης. Φαίνεται η πιθανή ολίσθηση σφήνας με όσον αφορά τις ομάδες διακλάσεων 1 και 2. Ως βασικό επίπεδο λαμβάνεται η ομάδα διακλάσεων 3. Λαμβάνεται υπόψη και ο σεισμικός συντελεστής, ο οποίος είναι ίσος με 2.4g. Ο συντελεστής ασφαλείας (SF) είναι ίσος με 1.40. Το εφαρμοζόμενο αγκύριο είναι παθητικό, έχει μήκος 3m και μπορεί να παραλάβει 0.97 MN.

Φωτογραφίες περιοχής μελέτης: Νομός Ευρυτανίας

Κατολίσθηση - Τυμφορηστός



Φωτογραφία 1 Αποψη της κατολίσθησης από το σημείο σάρωσης. Στο βάθος και δεξιά φαίνονται αχνά τα σιρματοκιβώτια.



Φωτογραφία 2 Φαίνεται η θέση κατολίσθησης – Τυμφορηστός. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι δρόμος είναι ασφαλτοστρωμένος ξανά ενώ στο βάθος φαίνονται τα σιρματοκιβώτια (ζαρζανετια) τα οποία συγκρατούν τα κορήματα της κατολίσθησης.



Φωτογραφία 3 Εμφάνιση του ψαμμιτικού φλύσχη της περιοχής.



Φωτογραφία 4 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.



Φωτογραφία 5 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.



Φωτογραφία 6 Εφελκυστική ρωγμή στο έδαφος κατά πλάτος του ρέματος.



Φωτογραφία 7 Εφελκυστική ρωγμή στην επαφή των συρματοκιβώτιων με τα κορηματικά υλικά.



Φωτογραφία 8 Φαίνεται ο αγωγός για την ομαλή διέλευση του νερού μέσα από την μάζα της κατολίσθησης. Είναι εμφανής η καταστροφή του έργου λόγω των αναπτυσσόμενων τάσεων.

Κατολίσθηση – Φιδάκια 1



Φωτογραφία 9 Άποψη της θέσης κατολίσθησης – Φιδάκια 1.



Φωτογραφία 10 Άποψη του φλύσχη της περιοχής στην θέση κατολίσθησης - Φιδάκια 1.



Φωτογραφία 11 Άποψη της καταστροφής που επιδέχεται ο δρόμος λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1.



Φωτογραφία 12 Εφελκυστικές ρωγμές που υφίσταται ο δρόμος λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1.



Φωτογραφία 13 Μέτρηση ανοίγματος εφελκυστικής ρωγμής στον δρόμο λόγω της κατολίσθησης στην θέση κατολίσθησης – Φιδάκια 1. Παρατηρούμε ότι το άνοιγμα είναι 2.5cm.



Φωτογραφία 14 Κάτοψη του εδάφους σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου, στην οποία φαίνεται εφελκυστική ρωγμή.



Φωτογραφία 15 Ασβεστίτικο υλικό με ενστρώσεις ιλυολίθου σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου. Παρατηρείται έντονη διάτμηση του υλικού.

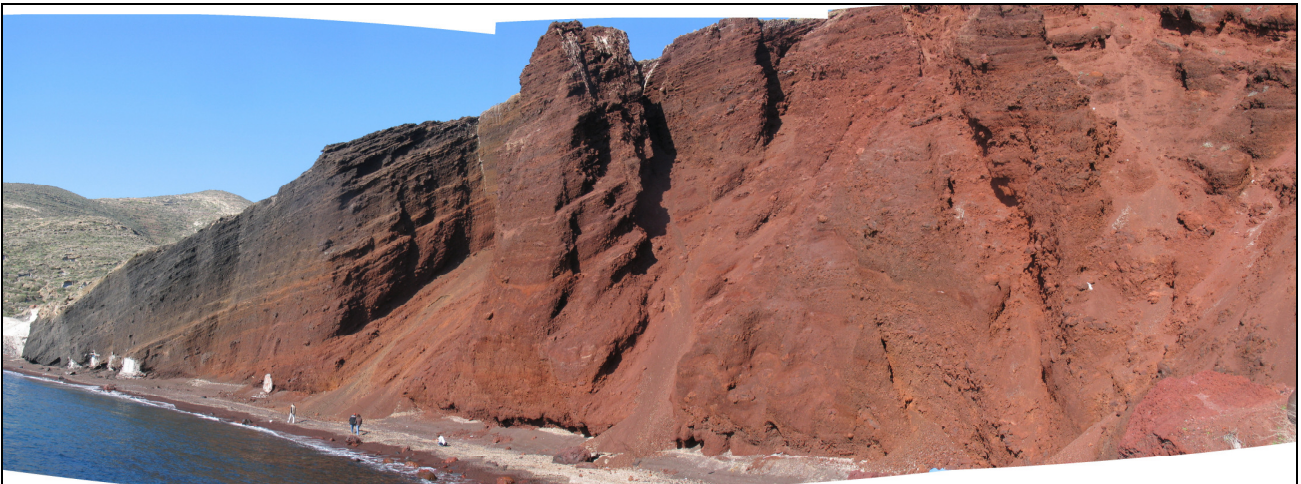


Φωτογραφία 16 Κάμψη δέντρου λόγω της κατολίσθησης και του επερχόμενου ερπυσμού εδάφους, σε σημείο πιο ψηλά από το ύψος του δρόμου.

Φωτογραφίες περιοχής μελέτης: Δήμος Θήρας



Φωτογραφία 17 Άποψη της Κόκκινης παραλίας.



Φωτογραφία 18 Άποψη της Κόκκινης Παραλίας.



Φωτογραφία 19 Πρανές στην Κόκκινη Παραλία. Φαίνεται η στρώση των σκωριών καθώς και η υποσκαφή στην βάση του πρανούς.



Φωτογραφία 20 Πρανές στην Κόκκινη Παραλία. Φαίνεται η στρώση των σκωριών, οι βολίδες, τα λιθάρια καθώς και η υποσκαφή στη βάση του πρανούς.



Φωτογραφία 21 Λάβες Κόκκινης Παραλίας δακτιτικής – ανδεσιτικής σύστασης.



Φωτογραφία 22 Κάτω δεξιά φαίνεται πεσμένα τεμάχια λάβας στην Κόκκινη παραλία.



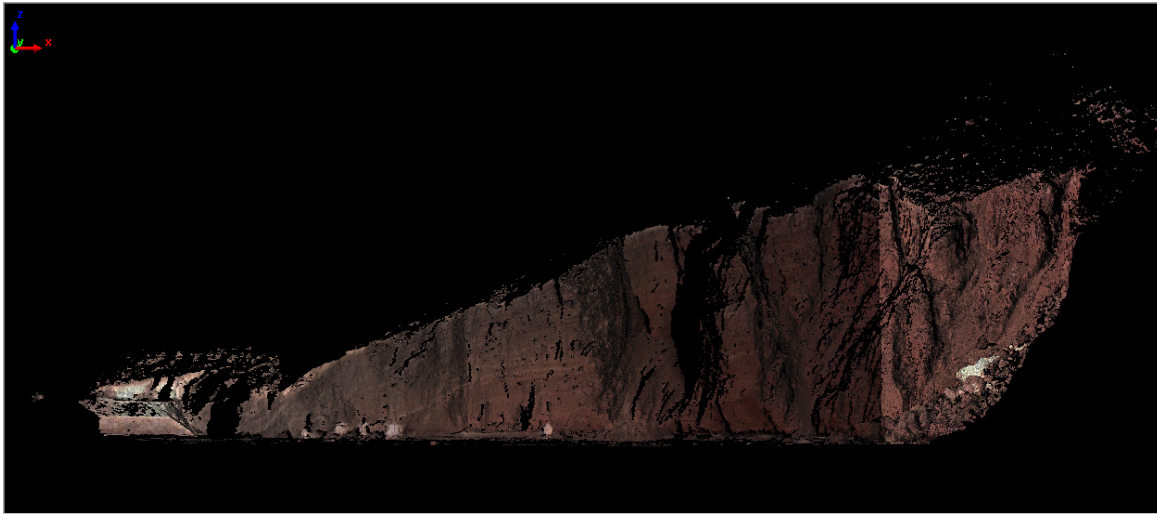
Φωτογραφία 23 Θέση από την οποία κατολίσθησε η μάζα σκωριών των Αύγουστο του 2013, όγκου 300 m².



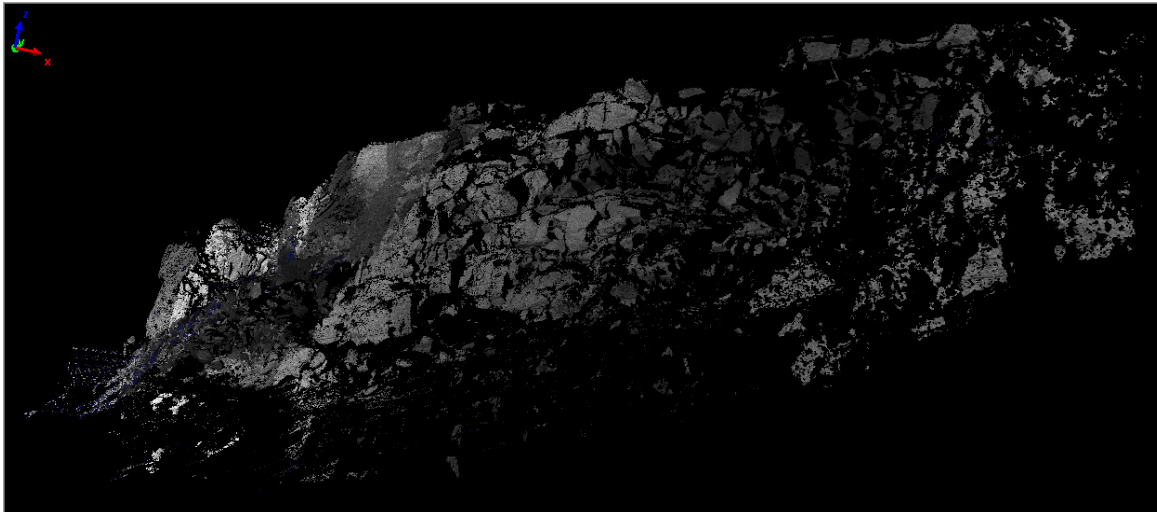
Φωτογραφία 24 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι θέσεις Π1, Π2 και Π3.



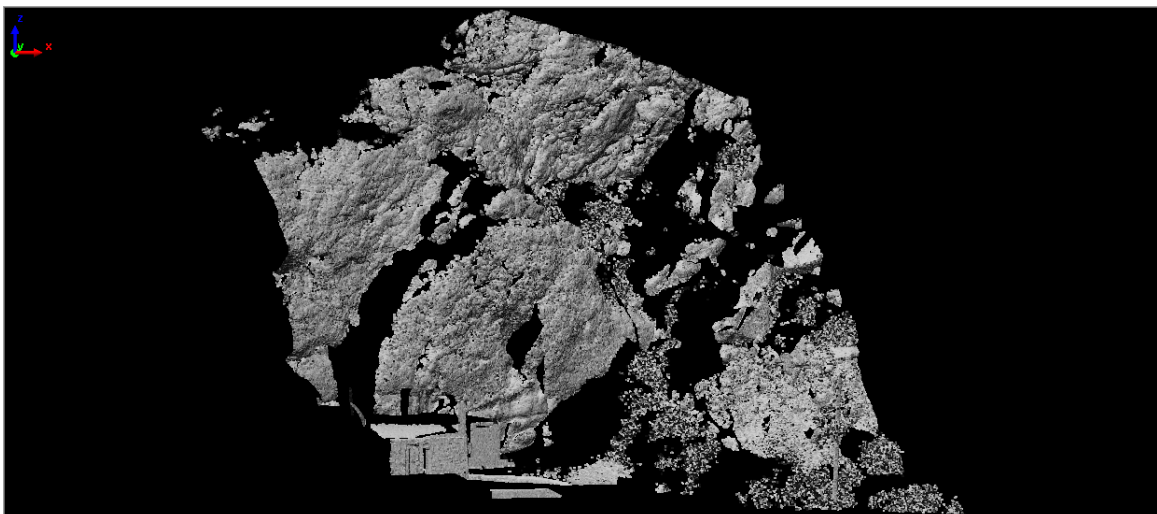
Φωτογραφία 25 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Φαίνονται οι θέσει Π2 και Π3, αριστερά και δεξιά, αντίστοιχα.



Φωτογραφία 26 Άποψη της Κόκκινης Παραλίας. Εικόνα LiDar.



Φωτογραφία 27 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας. Από αριστερά προς τα δεξιά φαίνονται οι θέσει Π2 και Π3, αντίστοιχα. Εικόνα LiDar.



Φωτογραφία 28 Άποψη του Πάρκινγκ της Κόκκινης Παραλίας (Θέση Π1). Εικόνα LiDar.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Marinos V., Fotsakis P., Prountzopoulos G., (2010) «Tunnel Stability and Support Issues in a Flysch Environment. Experiences from Tunnel Design and Construction in Greece»

Marinos P., Marinos V., Hoek E., (2005) «The Geological Strength index: Applications and Limitations»

Marinos V., Fotsakis P., Prountzopoulos G., (2011) «Estimation of Geological Properties and Classifications of Geotechnical Behavior in Tunneling for Flysch Rock Masses»

Marinos P., Marinos V., Hoek E., (2007) «Geological Strength Index (GSI). A Characterization Tool for Assessing Properties for Rock Masses»

Marinos P.V., (2010) «New Proposed Classification Charts for Weak or Complex Rock Masses»

Marinos P.V., (2010) «The New, Revised, Geotechnical Classification GSI System for heterogeneous rock masses such as Flysch»

Marinos P., Marinos V., Fotsakis P., Prountzopoulos G., (2010) «Permeability of Flysch and Mollase. Distribution, Comparison and Decrease with Depth. Groutings Under Dams»

Cano M., Tomas R., (2013) «Characterization of the Instability Mechanisms Affecting Slopes on Carbonating Flysch: Alicante (SE Spain), Case Study»
Engineering Geology

Robin Fell, Jordi Carominas, Christophe Bonnard, Leonardo Cascini, Eric Leroi, William Z. Savage (2008) «Guidelines for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Zoning for Land-use Planning»
Engineering Geology

Chowdhury R., Flentje P. (2002) «Role of Slope Reliability Analysis in Landslide Risk Managment»

Austalian Geomechanics Society (2000) «Landslides Risk Management Concepts and Guidelines»

Cees J. van Westen, Enrique Castellanos, Sekhar L.Kuriakose (2008) «Spatial Data for Landslide Susceptibility , Hazard and Vulnerability assessment: An Overview»
Engineering Geology

Leonardo Cascini (2008) «Applicability of Landslide Susceptibility and Hazard Zoning at Different Scales»
Engineering Geology

G.P. Tziallas, H. Saroglou, G. Tsiambaos (2013) «Determination of mechanical properties of Flysch using laboratory methods»

Engineering Geology

Mirco Galli, Francesca Ardizzone, Mauro Cardinali, Fausto Guzzetti, Paola Reichenbach (2008) «Comparing Landslide Inventory Maps»

Geomorphology

Bruce D. Malamud, Donald L. Turcotte, Fausto Guzzetti, Paola Reichenbach (2004) «Landslides, earthquakes and erosion»

Earth and Planetary Science Letter (EPSL)

N. Sabatakakis, G. Koukis, E. Vassiliades, S. Lainas (2012) «Landslide Susceptibility Zonation in Greece»

Nat Hazards

Roberta Pellicani, Cees J. van Westen, Giuseppe Spilotro (2013) «Assessing Landslide Exposure in Areas with Limited Landslide Information»

Landslides

Netra Prakash Bhandary, Ranjan Kumar Dahal, Manita Timilsina, Ryuichi Yatabe (2013) «Rainfall event-based landslide susceptibility zonation mapping»

Nat Hazards

Peng M., Zhang L. M. (2011) «Breaching Parameters of Landslide Dams»

Landslides

Shiva P. Pudasaini, Stephen A. Miller (2013) «The Hypermobility of Huge Landslides and Avalanches»

Engineering Geology

Oldrich Hungr (2007) «Dynamics of Rapid Landslides»

Progress in landslide science

Gonghui Wang, Kyoji Sassa (2007) «On the Pore-Pressure Generation and Movement of Rainfall-Induced Landslides in Laboratory Flume Tests»

Progress in landslide science

Michail E. Popescu, Katsuo Sasahara (2009) «Engineering Measures for Landslide Disaster Mitigation»

Landslides

J. Chacon, C. Irigaray, T. Fernandez (2006) «Engineering Geology Maps: Landslides and Geographical information maps»

Bulletin Engineering Geology and Environment

Dr. Earl Brabb (1979) «Hazard Mapping in Risk Evaluation for Engineering Structures»
Bulletin Engineering Geology and Environment

Rodrigo del Porto, Marcel Hurlimann (2008) «Geotechnical classification and
characterization of materials for stability analyses of large volcanic slopes»
Engineering Geology

Abellan A. et al. (2011) «Terrestrial laser scanning of rock slope instabilities»
Earth Surface Processes and Landforms

Michel Jaboyedoff (2010) «Use of LiDar in landslides investigations: A review»
Nat Hazards

Δημοσθένης Μ. Μουντράκης (2010) «Γεωλογίας και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας»
University Studio Press

Γεώργιος Χρ. Κούκης, Νικόλαος Στ. Σαμπατακάκης (2007) «Γεωλογία τεχνικών έργων»
Παπασωτηρίου

Νίκος Μπελαβίλας, Λήδα Παπαστεφανάκη (2009) «Ορυχεία στο Αιγαίο – Βιομηχανική
αρχαιολογία στην Ελλάδα»
Μέλισσα

Τσαπάκης Ι. (2005) «Ευστάθεια βραχώδων πρανών – Το παράδειγμα της Μονεμβασιάς»
Διπλωματική εργασία

Ρόζος Δ., Αποστολίδης Ε. (2004) «Τεχνικογεωλογική διερεύνηση των αστοχιών πρανών στο
Πλαιο Μικρό Χωριό Νομού Ευρυτανίας για την ασφαλή οικιστική ανάπτυξή του»
Δελτίον Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας

	Μοντέλο Σαμπατακάκης, Κούκης, Βασιλιάδης, Λάινας (2012)	Μοντέλο Αυστραλιανής Γεωμηχανικής Κοινότητας (2010)	Μοντέλο T. Takahashi (2009) (όσον αφορά κατολισθήσεις τύπου δεβριτικών ρωών)	Μοντέλο Oldrich Hungr (2007) (όσον αφορά ραγδαίες κατολισθήσεις)	Μοντέλο Gonghui Wang, Kyoji Sassa (2007) (όσον αφορά σχηματικά μοντέλα αστοχιών ανάλογα με τον σχετικό παράγοντα πυκνότητας (Density Index) Id)	Μοντέλο Shortliffe and Buchanan (1975) (Certainty Factor)		
Παράγοντες που επιδρούν σε ολίσθηση	Βροχόπτωση	Γεωμορφολογία	Αραιώση υλικού λόγω περισσειας νερού	Λιθολογία - Υλικό	Πυκνότητα κόκκων σχηματισμού	Λιθολογία		
	Κλίμα	Λιθολογία				Απόσταση από κύρια ρήγματα (km)		
	Υψόμετρο	Τεκτονική	Αραιώση υλικού λόγω παλιάς κατολίσθησης			Γωνία κλίσης πρανούς (ο)		
	Κάλυψη γης	Υπόγεια νερά		Περιεχόμενο νερό - Υγρασία	Περιεχόμενο νερό σχηματισού	Προσανατολισμός πρανούς		
	Λιθολογία	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	Περιεχόμενο νερό σε ένα κατολισθέν τέμαχος					
	Πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου	Κλίμα		(Πίεση πόρων)	Πίεση που ασκεί το νερό στους πόρους	Καμπυλότητα πρανούς		
	Σεισμικότητα	Βλάστηση	Αποδοχή περιβάλλοντος νερού από ένα κατολισθέν τέμαχος					
	Πυκνότητα οδικού δικτύου							
	Κλίσεις πρανών		Κατάρρευση χωμάτινου φράγματος					
	Πυκνότητα πληθυσμού					Μέγεθος κόκκων σχηματισμού	Υψόμετρο (m)	
Χρειάζομαστε	Χιλιοστά ετήσιας βροχόπτωσης (mm) κατανεμημένα ανά 200 mm	Γωνία τριβής ή γωνία σκίασης φα (Corominas 1996)	C - Συγκέντρωση κόκκων ενός στατικού στρώματος	Κατάταξη υλικού σε (Hungr et al. 2001): • Κατακλασμένος βράχος • Χαλαρός βράχος • Χαλίκια • Άμμος • Ιλύς • Άργιλος • Μαλακός πηλός • Τύρφη • Έδαφος • Δεβριτικό υλικό • Λάσπη • Συνδιασμός αυτών	e, είναι ο αρχικός λόγος των κενών	rra, ο λόγος που έχει ως αριθμητή το αντιπροσωπευτικό εμβαδόν του κάθε παράγοντα και ως παρονομαστή την εκάστοτε κατολισθήσα έκταση από τον προαναφερθέν εμβαδόν.		
	Κατάταξη κλίματος σε: • Πολύ υγρό • Υγρό, • Ημί-υγρό • Ημί-ξηρο • Ξηρό • Πολύ Ξηρό							
	Κατανομή υψομέτρου (m) ανά 200 m		ρ - Πυκνότητα υγρού σ - Πυκνότητα κόκκων		emax, ο μέγιστος λόγος κενών ξηρής άμμου			
	• Δασικές εκτάσεις • Εκτάσεις ημί-φυσικής βλάστησης • Βοσκοτόπια, καλλιεργήσιμες ή τεχνικές εκτάσεις		h0 - Βάθος επιφανειακής ροής					
	• Τεταρτογενή ιζήματα • Νεογενή ιζήματα • Φλύσχης • Σχιστόλιθοι-Κερατόλιθοι • Ανθρακικά πετρώματα • Μεταμορφωμένα • Πυριγενή		α - Πάχος στρώματος που αρχίζει να ολισθαίνει					
	Κατανομή πυκνότητας υδρογραφικού δικτύου (m/km2) ανά 500m με αυξανόμενο ρυθμό	Παρατήρηση των μαζών με εγκατεστημένα όργανα	κ - Αριθμητικός παράγοντας κοντά στη μονάδα			rrs ο λόγος μεταξύ της συνολικής κατολισθήσας έκτασης στην περιοχή μελέτης και του εμβαδού της περιοχής μελέτης.		
	Υπολογισμός σεισμικής επιτάχυνσης (g) και κατανομή της		φ - Εσωτερική γωνία τριβής				emin, ο ελάχιστος λόγος κενών ξηρής άμμου	
	Κατανομή πυκνότητας οδικού δικτύου (m/km2) ανά 5750m με αυξανόμενο ρυθμό							Κατάταξη περιεχόμενου νερού σε (Hungr et al. 2001): • Ξηρό • Υγρό • Κορεσμένο • Κορεσμένο σε θραυσιγενή επιφάνεια • Πάνω ή κάτω από το όριο κατάστασης ρευστοποίησης • Συνδιασμός αυτών
	Κατανομή κλίσης πρανών ανά: • <5ο • 5ο-15ο • 15ο-30ο • >30ο		c - Συνοχή στρώματος					
	Κατανομή πυκνότητας πλυθισμού (κάτοικοι/km2) ανά 20 κατοίκους με αυξανόμενο ρυθμό							
	CA - Εμβαδον περιοχής μελετης επι τοις εκατό							
	IA - Συχνότητα κατολισθήσεων σε κάθε μία υποκατηγορία των παραπάνω παραγόντων		g - Επιτάχυνση βαρύτητας					
	Υπολογίζουμε		LRF - Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων	Πιθανότητα μετακίνησης μαζών	Υπολογισμός της σχέσης που συνδέει την γωνία κλίσης του πρανούς, θ, με το πάχος του στρώματος που ολισθαίνει.	Πιθανή ταχύτητα μετακίνησης μαζών (Cruden & Varnes 1996)	Υπολογισμός του Id=(emax-e)/(emax-emin)	CF - Παράγοντας βεβαιότητας
			WC - Βαρύτητα επίδρασης του κάθε ένα παράγοντα με βάση την σχετική συχνότητα κατολισθήσεων	Πιθανή ταχύτητα μετακίνησης μαζών (Cruden & Varnes 1996)	Υπολογισμός της γωνίας θ2, ενός μέγιστου απότομου πρανούς, το οποίο είναι σταθερό και του οποίου η επιφάνεια συμπίπτει με την επιφάνεια στάθμης των διαρροών νερού.			
			LSI % - Δείκτης επιδεκτικότητας κατολισθήσεων		Υπολογισμός της ελάχιστης γωνίας κλίσης του πρανούς, θ1, για την οποία υφίσταται δεβριτική ροή και είναι σταθερή όταν τα στρώματα είναι μη συνεκτικά			Zcf - Συνδιασμός ανα δύο παράγοντες βεβαιότητας

19/2/2015

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.