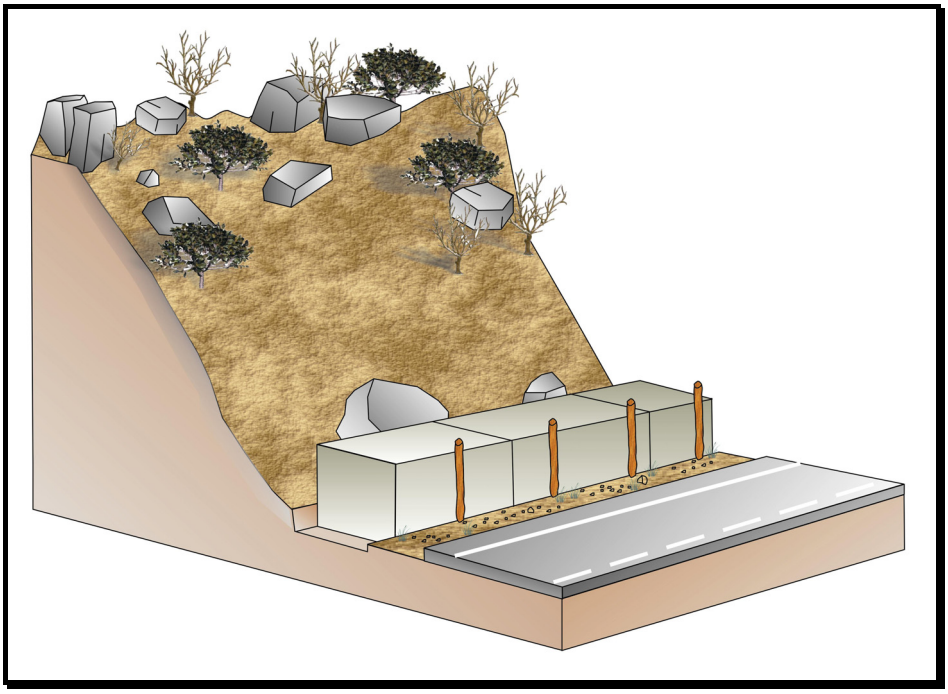
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ**

# ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ
## ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ-ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ
Η περίπτωση του Δρυμώνα στο νησί της Λευκάδας



**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας
Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία

Θεσσαλονίκη 2004

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ-ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΒΟΓΙΑΤΖΗΣ**
Γεωλόγος

# ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ
## ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ-ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ.
## Η περίπτωση του Δρυμώνα στο νησί της Λευκάδας

**ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας
Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία

Θεσσαλονίκη 2004

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

**Πρόλογος**
**Εισαγωγή** **6**

**ΜΕΡΟΣ Α: ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ**

**1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ** **9**
1.1 Αίτια κατάπτωσης βράχων **9**
1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τροχιά του βράχου **13**
1.2.1 Συντελεστής απόδοσης (coefficient of restitution) **14**
**2. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ** **19**
2.1 Γενικά στοιχεία **19**
2.2 Ξεσκάρωμα – Απομάκρυνση **19**
2.3 Προστατευτικά συρμάτινα πλέγματα **20**
2.4 Επιτόπου συγκράτηση **21**
2.5 Μείωση της ενέργειας με εκσκαφή **21**
2.6 Φυσικός περιορισμός των καταπτώσεων βράχων **21**
2.6.1 Υφασμάτινο τοιχίο **26**
**3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM** **28**
3.1 Ύψος Πρανούς (Slope Height) **30**
3.2 Αποτελεσματικότητα της τάφρου (Ditch Effectiveness) **30**
3.3 Μέσος κίνδυνος οχημάτων Average Vehicle Risk (AVR) **31**
3.4 Ποσοστό απόστασης -αντίδρασης του οδηγού (Percent of Decision Sight Distance) **31**
3.5 Το πλάτος του αυτοκινητόδρομου **32**
3.6 Γεωλογικός χαρακτήρας **33**
3.7 Το μέγεθος του πίπτοντος βραχώδους όγκου ή η ποσότητα, των βράχων που κατέπεσαν ανά κατολίσθηση (Block Size or Quantity of Rockfall Per Event) **35**
3.8 Το κλίμα και η παρουσία του νερού στο πρανές **36**
3.9 Ιστορικό καταπτώσεων βράχων **36**
3.10 Παράδειγμα εφαρμογής ταξινόμησης επικινδυνότητας κατάπτωσης βράχων σε όρυγμα αργιλίτη με το σύστημα RHRS **37**
**4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΠΟΔΕΚΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ** **40**

**ΜΕΡΟΣ Β: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΛΕΥΚΑΔΑ**

**5. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ 14/8/2003 ΣΤΟ ΑΝΑΝΤΗ ΠΡΑΝΕΣ ΤΟΥ ΧΩΡΙΟΥ ΔΡΥΜΩΝΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΣΦΑΚΙΩΤΩΝ, Ν. ΛΕΥΚΑΔΑΣ** **43**
5.1 Γεωλογία και σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής **44**
5.2 Τα αίτια δημιουργίας των καταπτώσεων βράχων στο Δρυμώνα-Στοιχεία του σεισμού **45**
5.3 Γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχή μελέτης **48**
5.4 Ανάλυση της τροχιάς **55**
5.4.1 Μαθηματικοί υπολογισμοί για την ανάλυση της τροχιάς **61**
5.5 Μέτρα προστασίας **62**
5.5.1 Εξομοίωση τροχιάς με την παρεμβολή των μέτρων προστασίας **64**
**6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ** **66**

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης στον κλάδο ειδίκευσης «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία».

Στο σημείο αυτό θεωρώ απαραίτητο να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. κ. Β. Χρηστάρα για την ανάθεση του θέματος, για τις πολύτιμες υποδείξεις του, τη συνεχή καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία αυτών των χρόνων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. κ. Γ. Δημόπουλο, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για την συμπαράστασή του, τις υποδείξεις του και το αμέριστο ενδιαφέρον του, καθώς επίσης και τον Καθηγητή του Τμήματος Πολ. Μηχανικών Α.Π.Θ. κ.Θ. Χατζηγώγο, μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις εύστοχες επισημάνσεις του στο κείμενο της διατριβής.

Θέλω ακόμα να ευχαριστήσω θερμά τον κοσμήτορα της Σχολής Θετικών Επιστήμων Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ. κ. Α. Φιλλιπίδη για την βοήθεια του στην ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής μου διατριβής.

Θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω ακόμα, την καθηγήτρια του Τμήματος Γεωλογίας Α.Π.Θ κ. Ε. Παπαδημητρίου για τις πολύτιμες συμβουλές της σε θέματα σεισμολογίας αλλά και για τις σημαντικές πληροφορίες που απέκτησα σχετικά με τον σεισμό της 14/8/2003 που έγινε στο νησί της Λευκάδας. Επίσης ευχαριστώ τον Δρ. Χ. Παπαϊωάννου για την παράδοση των σεισμολογικών στοιχείων της περιοχής.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον συνάδελφο αλλά και φίλο Δρ. Ν. Καντηράνη για την ηθική συμπαράσταση που μου προσέφερε και τις παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου. Επιπλέον ευχαριστώ τον αγαπητό συνάδελφο και φίλο υποψήφιο διδάκτορα Α. Δημητρίου, για τις εποικοδομητικές παρατηρήσεις, τις πολύτιμες συμβουλές του καθώς και για την άψογη συνεργασία μας. Ακόμη ευχαριστώ τον συνάδελφο και φίλο υποψήφιο διδάκτορα Γ. Παπαθανασίου για τις συμβουλές του κατά την διάρκεια των εργαστηριακών δοκιμών και κατά την διάρκεια της παρουσίας μου στο χώρο.

Τις θερμότερες ευχαριστίες μου προς τους φίλους μου και συναδέλφους μου υποψήφιο διδάκτορα Χ. Μυριούνη και μεταπτυχιακό φοιτητή Σ. Βαλκανιώτη για την πολύτιμη βοήθειά τους κυρίως κατά την συγγραφή αυτής της διατριβής, καθώς επίσης και για τις συζητήσεις σε επιστημονικά θέματα για την περιοχή έρευνας.

Ιδιαίτερα ευχαριστώ την φίλη μου Αλεξάνδρα Κυριακίδου για την ανοχή, υπομονή και κατανόηση που επέδειξε καθ' όλο το διάστημα των μέχρι τώρα σπουδών μου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την απεριόριστη ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

*στους γονείς μου*

# Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας αυτής, είναι η ανάλυση των μηχανισμών κίνησης, η αξιολόγηση των παραμέτρων των καταπτώσεων βράχων, η περιγραφή των εφαρμοσμένων μέτρων προστασίας, κυρίως στα έργα οδοποιίας και ο υπολογισμός μέτρων για την προστασία του χωριού Δρυμώνα στο νησί της Λευκάδας από καταπτώσεις βράχων που εκδηλώθηκαν κατά το σεισμό της 14/8/2003.

Οι καταπτώσεις βράχων (Rockfalls) αποτελούν έναν τεράστιο κίνδυνο κατά την διάνοιξη και λειτουργία γραμμικών τεχνικών έργων, δηλαδή των οδικών αξόνων και των σιδηροδρόμων. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά διαδεδομένο στον ελλαδικό χώρο λόγω του έντονου βραχώδους αναγλύφου (Σακελαρίου κ.α. 1995). Αν και οι καταπτώσεις βράχων δεν αποτελούν τους κύριους λόγους αστοχίας ενός έργου, που το καθιστούν σε αχρηστία για πολυήμερο χρονικό διάστημα, σε παγκόσμιο επίπεδο είναι αρκετές οι αναφορές, υποδομών που καταστράφηκαν και ανθρώπων οι οποίοι τραυματίστηκαν ή σκοτώθηκαν από καταπτώσεις βράχων. Οι Badger και Lowell (1983), του Washington State Department of Highways, αναφέρουν ότι το 45% των ασταθών πρανών σχετίζονται με φαινόμενα καταπτώσεων βράχων.

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται ο μηχανισμός καταπτώσεων βράχων καθώς και τα αιτία κατάπτωσης που τις προκαλούν. Επίσης περιγράφονται, οι παράγοντες που επηρεάζουν την τροχιά του καταπίπτοντος βράχου, με έμφαση στον συντελεστή απόδοσης (coefficient of restitution) των υλικών.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται τα πιθανά μέτρα προστασίας τεχνικών έργων και δομημένων περιοχών από καταπτώσεις βράχων. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο σύστημα ταξινόμησης επικινδυνότητας καταπτώσεων βράχων (**R**ockfall **H**azard **R**ating **S**ystem), το οποίο έχει σκοπό να συμβάλει στην αναγνώριση των προβληματικών πρανών, μόνο με οπτική επιθεώρηση και μαθηματικές σχέσεις. Ακόμη αναλύεται η επικινδυνότητα από καταπτώσεις βράχων σε αυτοκινητόδρομους με ένα παράδειγμα από καταπτώσεις βράχων σε όρυγμα αργιλίτη στον Αυτοκινητόδρομο 99 της BC Καναδά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο συγκρίνονται οι τιμές υπολογιζόμενου και αποδεκτού κινδύνου και αναλύεται η πιθανότητα που χαρακτηρίζει τον χώρο ενός έργου, αν δηλαδή επιτρέπεται η είσοδος στον οποιοδήποτε ή μόνο στους εργαζόμενους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πιθανά μέτρα προστασίας του χωριού Δρυμώνας (Δήμος Σφακιωτών, Ν. Λευκάδας) από καταπτώσεις βράχων στο σεισμό της 14/8/03 στο ανάντη πρανές. Στο κεφάλαιο αυτό

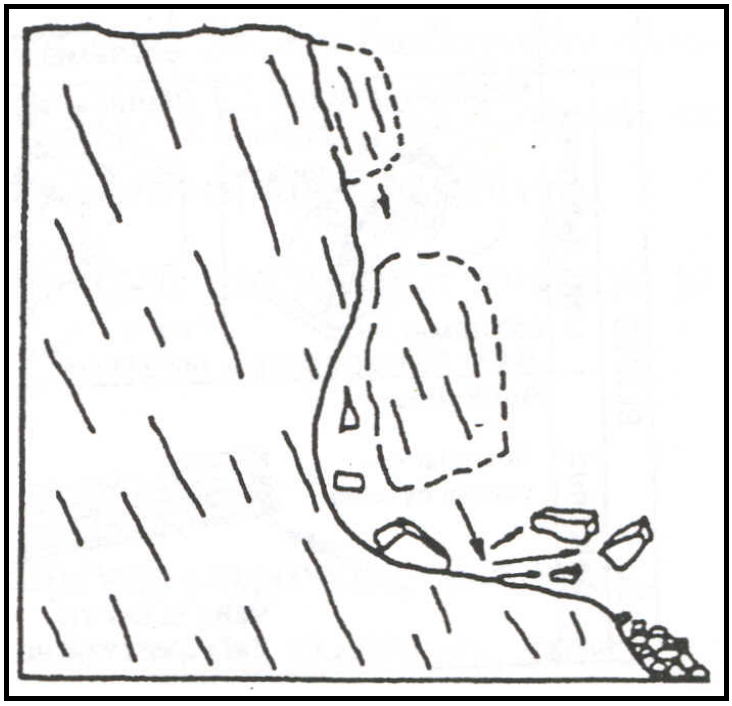
αναλύεται η γεωλογία και η σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής, εκτιμώνται τα αίτια δημιουργίας των καταπτώσεων βράχων στην Κοινότητα Δρυμώνα και παρουσιάζονται τα στοιχεία του σεισμού, οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχής. Πραγματοποιήθηκε ανάλυση της τροχιάς πτώσης και προσομοιώθηκε με τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo. Επίσης έγινε εξομοίωση τροχιάς με την παρεμβολή των μέτρων προστασίας. Επιπλέον προτείνονται ενδεικτικά μέτρα προστασίας για το εν λόγω πρανές. Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή του Δρυμώνα Λευκάδας.

# ΜΕΡΟΣ Α: ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1
# ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ

## 1.1 Αίτια κατάπτωσης βράχων

Όταν ένας βραχώδης όγκος οποιουδήποτε μεγέθους αποκολλάται απότομα από πρανές με μεγάλη κλίση και στη συνέχεια αυτός μετακινείται λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, κύλισης ή αναπήδησης, τότε η κίνηση αυτή καλείται κατάπτωση (***Σχ. 1.1***), (Varnes, 1978).

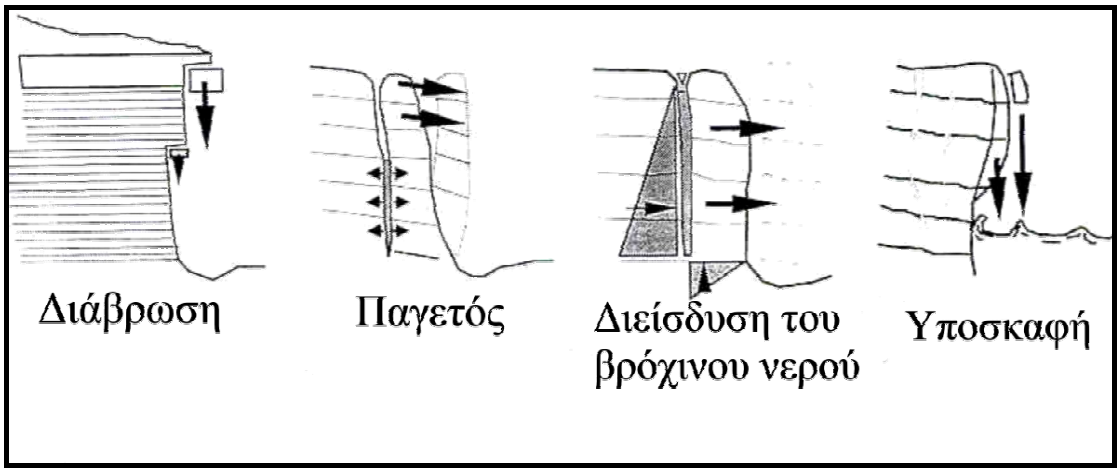


**Σχήμα 1.1** Πτώση βράχων (Varnes, 1978*)*

Η κίνηση είναι γρήγορη και αυξάνει προς τα κάτω λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Πρόκειται για σύνηθες φαινόμενο σε απότομα βραχώδη πρανή και βραχώδεις ακτές μεγάλου ύψους, που δημιουργούνται από τη δράση των κυμάτων ή τεκτονικών κινήσεων. Οι καταπτώσεις βράχων σχετίζονται με ορισμένα κλιματικά ή βιολογικά γεγονότα τα οποία μπορούν να επιφέρουν αλλαγή στις δυνάμεις που ενεργούν στο βράχο (Hoek 2000).

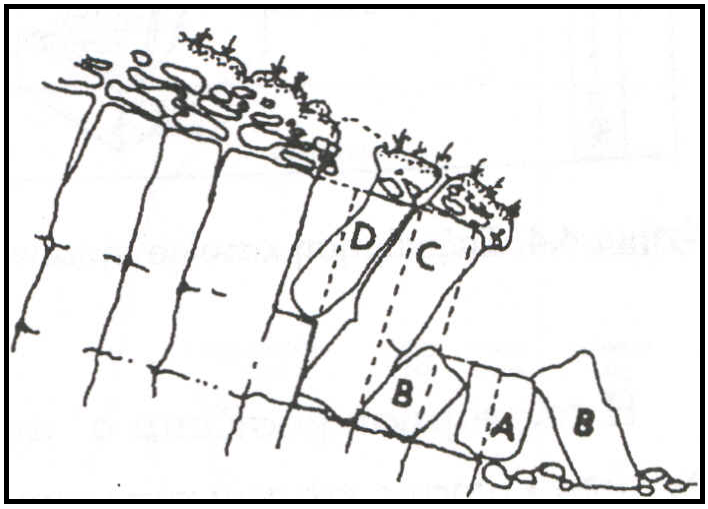
Κατά κανόνα, η χαλάρωση των βράχων συνδέεται με την ύπαρξη ασυνεχειών. Στην κατάπτωση βράχων συμβάλλουν η αύξηση της πίεσης πόρων λόγω διείσδυσης του βρόχινου νερού, η διάβρωση, η αποσάθρωση, ο παγετός, η υποσκαφή της βάσης του βραχώδους σχηματισμού, η διαταραχή που προκαλείται από υπερκείμενους ασταθείς βράχους, το ριζικό σύστημα

το οποίο δρα ως μοχλός, η θερμική διαστολή-συστολή και οι σεισμοί (***Σχ 1.2***).




**Σχήμα 1.2** Μερικά από τα αιτία καταπτώσεων βράχων (www.maccaferri.com)

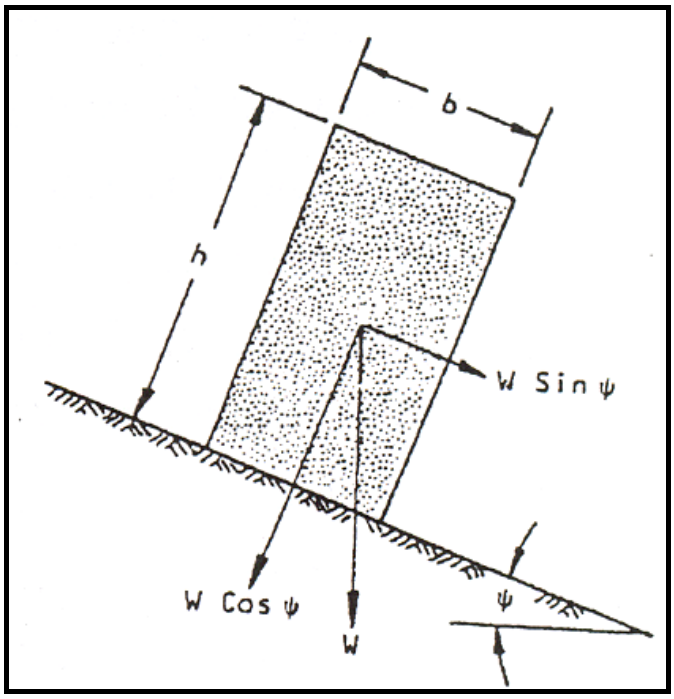
Μια ακόμη αιτία καταπτώσεων βράχων, είναι η ανατροπή (toppling). Στην περίπτωση αυτή, βραχώδεις όγκοι με διεύθυνση βάσης ομόρροπη του πρανούς, δύναται να ανατραπούν, αντί να ολισθήσουν όταν το ύψος είναι αρκετά μεγαλύτερο των διαστάσεων της βάσης και η επιφάνεια έδρασης τραχεία. (***Σχ 1.3***).




**Σχήμα 1.3** Ανατροπή βράχων σε κερματισμένα συμπαγή πετρώματα (de Freitas & Watters, 1973).

Στην περίπτωση του σχήματος 1.4, οι διαστάσεις του τεμάχους καθορίζονται από το ύψος h και τη βάση b, ενώ η συνοχή θεωρείται ότι είναι ίση με c = 0. Όταν το διάνυσμα του βάρους W πέφτει μέσα στη βάση b, η ολίσθηση του τεμάχους θα συμβεί εάν η κλίση του επιπέδου ψ είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής φ, ενώ όταν το τέμαχος είναι ψηλό και

λεπτό (h>b), το διάνυσμα του βάρους W μπορεί να πέφτει έξω από τη βάση b οπότε το τέμαχος θα ανατραπεί.

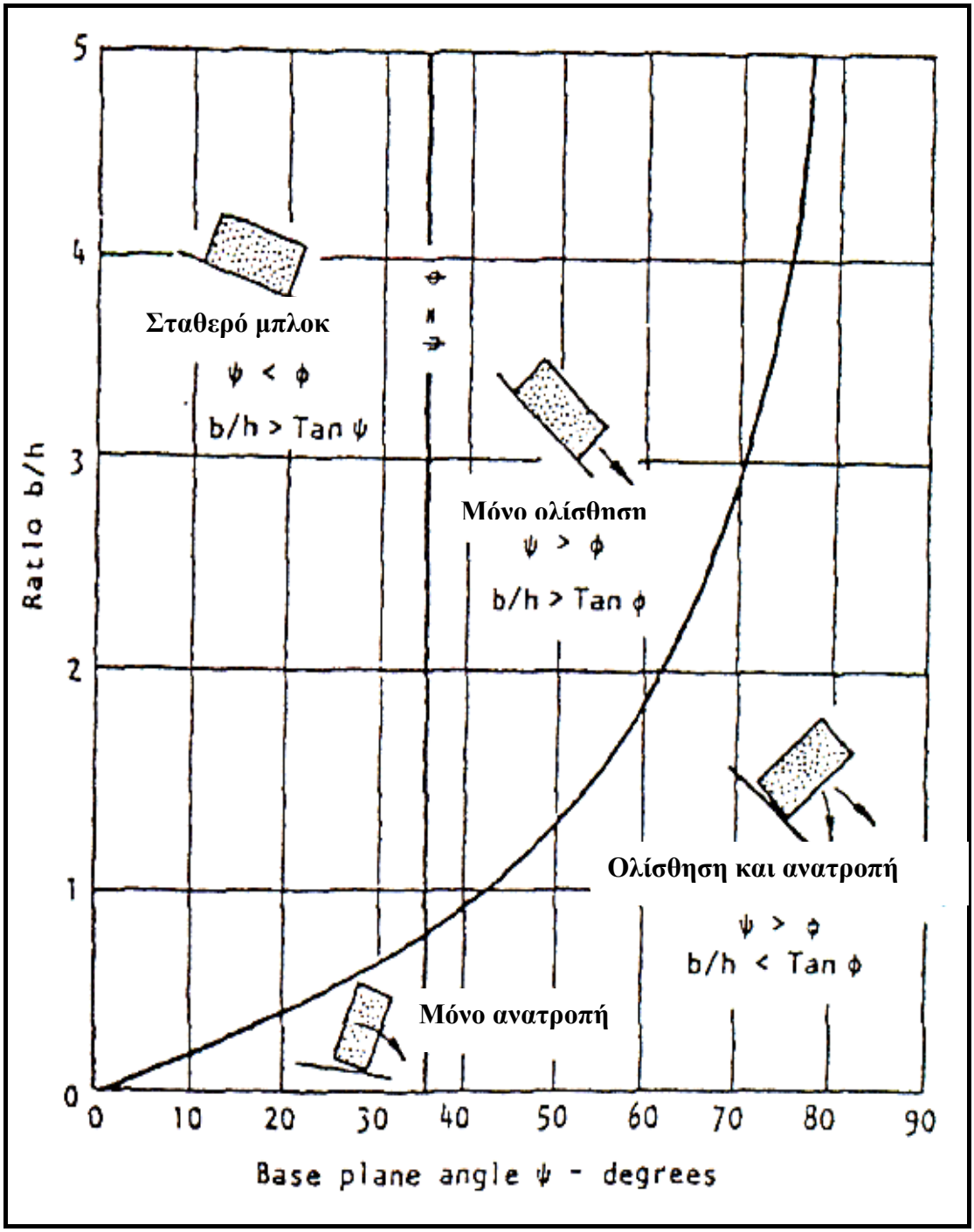



**Σχήμα 1.4** Ανάλυση των δυνάμεων που επενεργούν στο τέμαχος (Hoek, E. & Bray, J.W 1981).

Οι συνθήκες για ολίσθηση ή ανατροπή είναι οι παρακάτω (***Σχ. 1.5***):

Περιοχή 1: ψ < φ και b/h > tanψ, το τέμαχος είναι ευσταθές.
Περιοχή 2: ψ> φ και b/h > tanψ, το τέμαχος θα ολισθήσει αλλά δεν θα ανατραπεί.
Περιοχή 3: ψ < φ και b/h < tanψ, το τέμαχος θα ανατραπεί αλλά δεν θα ολισθήσει.
Περιοχή 4: ψ > φ και b/h < tanψ, το τέμαχος μπορεί να ολισθήσει και να ανατραπεί ταυτόχρονα.

Οι ανατροπές σε σκληρά βραχώδη πρανή έχουν περιγραφεί μόνο τα τελευταία χρόνια. Η ανάλυση του μηχανισμού εξέλιξης του φαινομένου δίνεται από τους Műller (1968), Hofmann (1972), Ashby (1971), Soto (1974), Whyte (1973), Cundall (1971), Burman (1971), Byrne (1974), Hammett (1974), De Freitas & Watters (1973), Heslop (1974) και Goodman & Bray (1976).

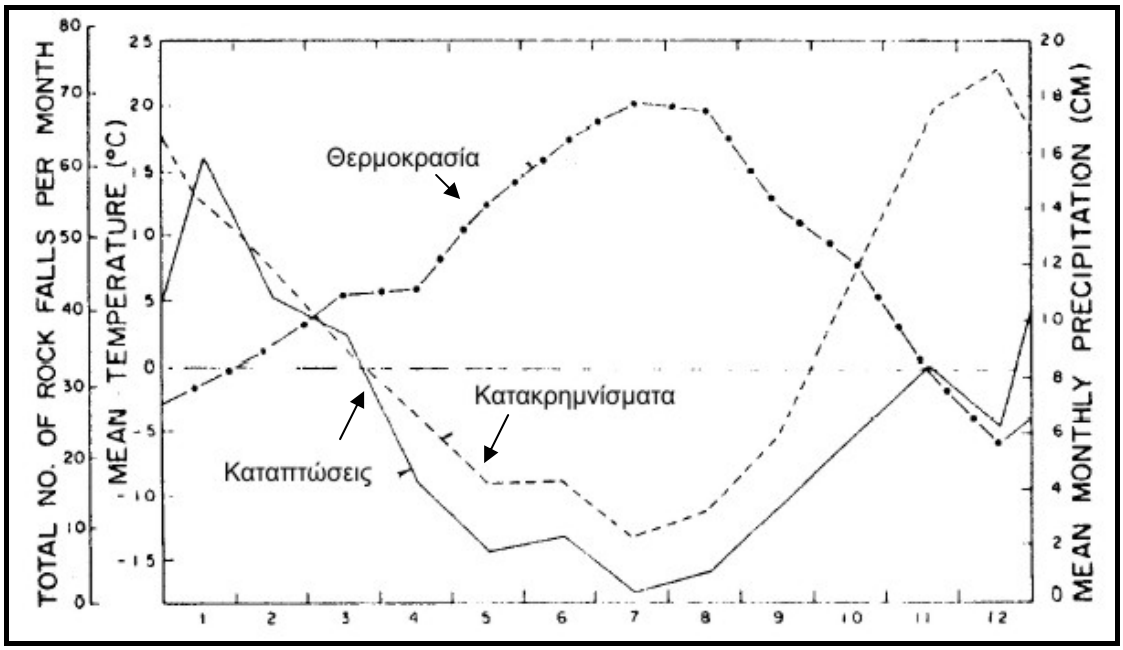



**Σχήμα 1.5** Συνθήκες για ολίσθηση ή ανατροπή ενός τεμάχους πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο. (Hoek, E. & Bray, J.W 1981).

Σύμφωνα τους Legget και Karrow (1982), παρατηρείται ένταση του φαινομένου σε περιόδους με χαμηλή θερμοκρασία και υψηλές βροχοπτώσεις. Στο σχήμα 1.6 συσχετίζεται η συχνότητα καταπτώσεων βράχων με το κλίμα.

Οι Koukis, Tsiampaos & Sabatakakis (1994), αναφέρουν ότι στον Ελληνικό χώρο η αστοχία πρανών, με τη μορφή καταπτώσεων βράχων,

αποτελεί το συχνότερο τύπο κατολισθήσεων σε βραχώδεις σχηματισμούς με συχνότητα 56%.




**Σχήμα 1.6** Επιρροή των κλιματικών συνθηκών στις καταπτώσεις βράχων Legget & Karrow(1982)

## 1.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την τροχιά του βράχου

Όταν αρχίσει η πτώση του βράχου, ο σημαντικότερος παράγοντας που ελέγχει την τροχιά του είναι η γεωμετρία του πρανούς. Ειδικότερα σε απότομα βραχώδη πρανή, π.χ. από γρανίτη, η γεωμετρία κατέχει σημαντικό ρόλο, διότι μεταδίδει μια οριζόντια δύναμη κατά την αναπήδηση ή την κύλιση του βράχου με αποτέλεσμα ο βράχος να συνεχίζει αυτήν την κίνησή του και φυσικά να σταματά αρκετά μακριά από τον πόδα του πρανούς.

Τα μέτωπα των πρανών που είναι από σκληρά μη αποσαθρωμένα πετρώματα είναι τα πιο επικίνδυνα για πρόκληση καταπτώσεων βράχων, είτε δεν επιβραδύνουν (σε σημαντικό βαθμό) την κίνηση του βράχου, είτε αυτός αναπηδά, είτε κυλάει. Από την άλλη μεριά τα πρανή, που είναι καλυμμένα πολλές φορές από φερτά υλικά (χάλικες άμμους), απορροφούν ένα σημαντικό ποσό της ενέργειας του κινούμενου βράχου, τόσο σημαντικό που σε πολλές περιπτώσεις ο βράχος σταματάει.

Αυτή η επιβραδυντική, αναχαιτιστική ικανότητα του οποιουδήποτε υλικού εκφράζεται ποσοτικά με το **συντελεστή απόδοσης** (coefficient of restitution). Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό ‘μη απορρόφησης ενέργειας’ κατά την πρόσκρουση του πίπτοντος βράχου επί της επιφάνειας του πρανούς. Η τιμή του συντελεστή αυτού εξαρτάται από τη φύση του

υλικού από το οποίο δομείται ή είναι καλυμμένο το πρανές. Έτσι επιφάνειες από μη αποσαθρωμένο σκληρό πέτρωμα έχουν υψηλό συντελεστή απόδοσης ενώ τα εντελώς αποσαθρωμένα πετρώματα ή το έδαφος έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης (Πίνακας 1.1).

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν την τροχιά του βράχου, όπως το μέγεθος και το σχήμα του βράχου, ο συντελεστής τριβής και το αν ο βράχος σπάει κατά τις αναπηδήσεις ή όχι, έχουν μικρότερη σημασία σε σχέση με τη γεωμετρία του πρανούς και το συντελεστή απόδοσης που περιγράφηκαν παραπάνω. Επομένως, αν θα υπολογίζονται αυτές οι παράμετροι είναι δυνατό να προσομοιωθεί η κατάπτωση βράχου σε ένα πρόγραμμα ηλεκτρονικού υπολογιστή (Hoek 1986). Τα περισσότερα μοντέλα έχουν την τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo. Η ονομασία της τεχνικής αυτής προήλθε από τις παραμέτρους που ποικίλουν σε μια ανάλυση, με τυχαίο τρόπο, όπως ακριβώς και τα αποτελέσματα της ρουλέτας ενός καζίνο.

### 1.2.1 Συντελεστής απόδοσης (coefficient of restitution)

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται πολλοί μαθηματικοί τύποι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό του συντελεστή απόδοσης. Μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει ομοφωνία για το ποιος είναι καταλληλότερος για την πρόβλεψη των καταπτώσεων βράχων (Chau et al. 2002).

Σύμφωνα με τον Wu (1985), ο συντελεστής απόδοσης αποτελείται από δυο συνιστώσες, τον **ορθό** ή **κανονικό** (Rn normal coefficient of restitution) και τον **εφαπτομενικό** (Rt tangetial coefficient of restitution).

$$R_n = \frac{V_{rn}}{V_{in}} \qquad (1.1)$$

$$R_t = \frac{V_{rt}}{V_{it}} \qquad (1.2)$$

όπου: $V_{rn}$ και $V_{in}$ είναι οι ορθές συνιστώσες της ταχύτητας ανάκλασης και της ταχύτητας άφιξης αντίστοιχα.
$V_{rt}$ και $V_{it}$ είναι οι εφαπτομενικές συνιστώσες της ταχύτητας ανάκλασης και της ταχύτητας άφιξης αντίστοιχα.

Ένας άλλος τύπος υπολογισμού του συντελεστή απόδοσης, είναι ο λόγος της ταχύτητας ανάκλασης προς την ταχύτητα άφιξης (Spang et al. 1995, Paronuzzi 1989):

$$R_V = \frac{V_r}{V_i} \qquad (1.3)$$

όπου: $V_r$ και $V_i$ είναι η ταχύτητα ανάκλασης και η ταχύτητα άφιξης αντίστοιχα.

Άλλη γνωστή σχέση υπολογισμού του συντελεστή απόδοσης, είναι ο λόγος των κινητικών ενεργειών πριν και μετά την κρούση, ενός βράχου με το πρανές (Bozzolo & Pamini 1986):

$$R_E = \frac{\frac{1}{2} m V_r^2}{\frac{1}{2} m V_i^2} = \frac{V_r^2}{V_i^2} \qquad (1.4)$$

όπου: m είναι η μάζα του βράχου,
$V_r$ και $V_i$ είναι η ταχύτητα ανάκλασης και η ταχύτητα άφιξης αντίστοιχα.

Τα χαρακτηριστικά του πρανούς, σύμφωνα με τους Dorren et al. (2003), που καθορίζουν την ελαστικότητα της επιφάνειας του και συνεπώς τον ορθό συντελεστή απόδοσης είναι τόσο τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του βράχου και του πρανούς, όσο και τα υλικά που καλύπτουν την επιφάνειά του και το ποσοστό φυτοκάλυψής του. Τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν τον εφαπτομενικό συντελεστή απόδοσης είναι η τραχύτητα της επιφάνειας του πρανούς, η φυτοκάλυψη κυρίως όμως από δέντρα και μεγάλους θάμνους και τα πεσμένα δέντρα τα οποία είναι κάθετα στην τροχιά της κατάπτωσης και δρουν αναχαιτιστικά.

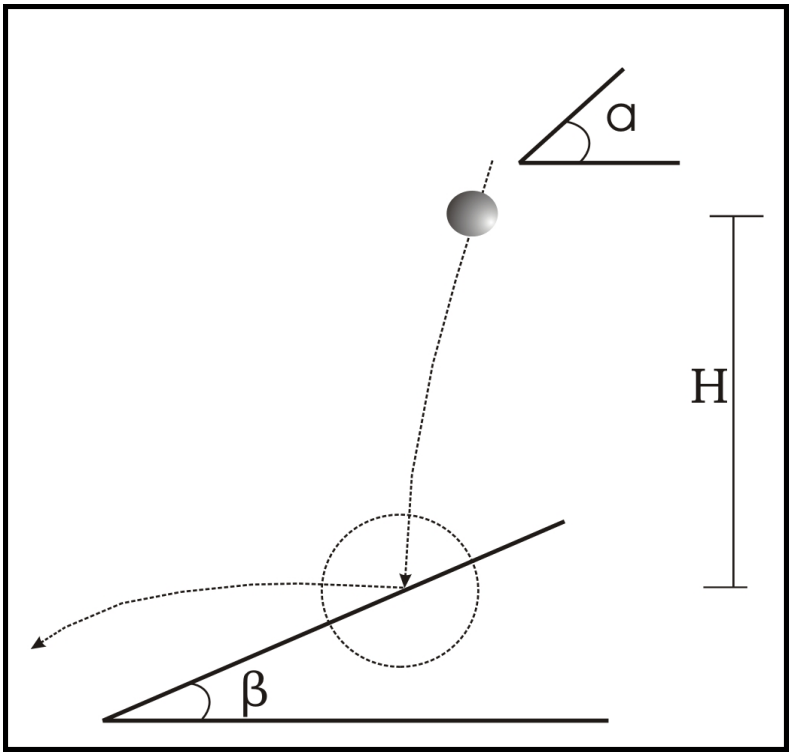
Ένας ακόμη παράγοντας που καθορίζει τον εφαπτομενικό συντελεστή απόδοσης, είναι το μέγεθος του βράχου που καταπίπτει, αφού οι μεγαλύτεροι βράχοι επηρεάζονται λιγότερο από την τραχύτητα της επιφάνειας σε σχέση με τους μικρότερους.

Σε διάφορα πειράματά τους οι Chau et al (1999) και (2002), ρίχνοντας αντικείμενα διαφόρων μαζών και στερεών γεωμετρικών σχημάτων (σφαιρικά, κυλινδρικά, κυβικά και εξαγωνικά) από επίσης διάφορα ύψη (***Σχ 1.7***), κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα.

- Ο ορθός συντελεστής απόδοσης $R_n$ αυξάνει ελαφρά με τη γωνία β του πρανούς, ενώ ο εφαπτομενικός συντελεστής $R_t$ δεν εξαρτάται από τη

γωνία β. Όταν όμως χρησιμοποιούνται οι σχέσεις (1.3) και (1.4) για τον προσδιορισμό του συντελεστή απόδοσης, τότε παρατηρείται μια τάση αύξησης του συντελεστή με τη γωνία β.

- Για περίπου ίδιες ενέργειες σύγκρουσης (impact energies) και για το ίδιο υλικό ο εφαπτομενικός συντελεστής απόδοσης $R_t$ είναι σχεδόν ανεπηρέαστος όταν μεταβάλλεται το σχήμα του δοκιμίου και η γωνία α.
- Ο ορθός συντελεστής απόδοσης $R_n$ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γωνία πτώσης α και από το σχήμα του δοκιμίου. Γενικά για γωνία **α** μεταξύ $30^0$ και $50^0$, ο $R_n$ είναι περίπου 0,3 και ανεξάρτητος από την γωνία α και το σχήμα του δοκιμίου. Ενώ για γωνία **α** μεταξύ $60^0$ και $75^0$, ο ορθός συντελεστής απόδοσης είναι περίπου 0,3 για σφαιρικά και κυλινδρικά δοκίμια και 0,6 και 0,7 για κυβικά και εξαγωνικά δοκίμια αντίστοιχα.
- Ο συντελεστής απόδοσης $R_E$ είναι σχετικά ανεξάρτητος από το σχήμα του δοκιμίου και αυξάνει γραμμικά όσο μεγαλώνει η γωνία α, από 0,2 για γωνία α =$35^0$ σε 0,6 για α = $75^0$. Επίσης, σε αυτή την περίπτωση στα κυβικά δοκίμια παρατηρήθηκαν οι μικρότερες τιμές ενώ στα σφαιρικά οι μεγαλύτερες.




**Σχήμα 1.7** Πειραματική πτώση ενός σφαιρικού δοκιμίου. (Τροποποιημένο από Chau et al. 1999)

**Πίνακας 1.1** Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή απόδοσης από τη διεθνή βιβλιογραφία.

| Rn | | | | Rt | | | | Τύπος | Πηγή |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Min | Max | Μέσος όρος | Standard Deviation | Min | Max | Μέσος όρος | Standard Deviation | | |
| 0.370 | 0.420 | | | 0.870 | 0.920 | | | Σκληρή επιφάνεια | Pfeiffer, T.J.et al. 1989 |
| 0.330 | 0.370 | | | 0.830 | 0.870 | | | Κροκαλοπαγές με μικρή φυτο κάλυψη ή έδαφος | |
| 0.300 | 0.330 | | | 0.830 | 0.870 | | | Κορήματα με λίγη φυτοκάλυψη | |
| 0.300 | 0.330 | | | 0.800 | 0.830 | | | Κορήματα με μερική φυτοκάλυψη | |
| 0.280 | 0.320 | | | 0.800 | 0.830 | | | Εδαφικό πρανές με μερική φυτοκάλυψη | |
| 0.280 | 0.320 | | | 0.780 | 0.820 | | | Φυτοκαλυμένο εδαφικό πρανές | |
| | | 0.315 | 0.064 | | | 0.712 | 0.116 | Ασβεστόλιθος | Robotham, M.E.et al. 1995 |
| | | 0.303 | 0.080 | | | 0.615 | 0.170 | Ασβεστόλιθος με μερική φυτοκάλυψη | |
| | | 0.315 | 0.064 | | | 0.712 | 0.116 | Γυμνός ασβεστόλιθος διαβρωμένος | |
| | | 0.251 | 0.029 | | | 0.489 | 0.141 | Φυτοκαλυμένο ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές | |
| | | 0.276 | 0.079 | | | 0.835 | 0.087 | Γύψος | |
| | | 0.271 | 0.018 | | | 0.596 | 0.085 | Φυτοκαλυμένο απότομο πρανές από γύψο | |
| | | 0.393 | | | | 0.567 | | Έδαφος | Chau, K.T.et al. 1996 |
| | | 0.453 | | | | 0.737 | | Τσιμέντο | |
| | | 0.487 | | | | 0.910 | | Βραχώδες πρανές | |
| | | 0.530 | | | | 0.990 | | Καθαρή επιφάνεια βράχου | Hoek E. |
| | | 0.400 | | | | 0.900 | | Ασφαλτοτάπητας | |
| | | 0.350 | | | | 0.850 | | Εμφανίσεις βράχου με σκληρή επιφάνεια, μεγάλοι λίθοι | |
| | | 0.320 | | | | 0.820 | | Κάλυμμα κορημάτων | |
| | | 0.320 | | | | 0.800 | | Κάλυμμα κορημάτων με φυτοκάλυψη | |
| | | 0.300 | | | | 0.800 | | Έδαφος με μερική φυτοκάλυψη | |
| 0.370 | 0.420 | | | | | | | Λείες σκληρές επιφάνειες | Pfeiffer, T.J. et al. 1990 |
| 0.330 | 0.370 | | | | | | | Βραχώδη υποστρώματα και κροκαλοπαγή | |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.300 | 0.330 | | | | | | | Κορήματα και σκληρά εδαφικά πρανή | Pfeiffer, T.J. et al. 1990 |
| 0.280 | 0.300 | | | | | | | Πρανή από μαλακό έδαφος | |
| | | | | 0.870 | 0.920 | | | Βραχώδη υποστρώματα και κροκαλοπαγή | |
| | | | | 0.830 | 0.870 | | | Βραχώδη υποστρώματα και κορήματα χωρίς φυτοκάλυψη | |
| | | | | 0.820 | 0.850 | | | Πρανή από κορήματα με λίγη φυτοκάλυψη | |
| | | | | 0.800 | 0.830 | | | Φυτοκαλυμένα πρανή από κορήματα και εδαφικά πρανή με λιγοστή φυτοκάλυψη | |
| | | | | 0.780 | 0.820 | | | Εδαφικό πρανές καλυμμένο από θάμνους | |
| | | 0.500 | | | | 0.800 | | Ελαφρά δασώδες πρανές καλυμμένο από λεπτές στρώσεις κορημάτων προερχόμενα από σχιστολίθους | Hungr, O. and Evans, S.G. 1988 |
| | | 0.500 | | | | 0.800 | | Ασβεστολιθικό κροκαλοπαγές Πάνω σε βασαλτικά τεμάχη μέσου μεγέθους 5 cm | |
| | | 0.700 | | | | 0.900 | | Ογκόλιθοι από μεταμορφωμένα πετρώματα πάνω σε γυμνά πετρώματα με τη δράση του χιονιού. | |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
# ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ

## 2.1 Γενικά στοιχεία

Οι καταπτώσεις βράχων είναι αρκετές φορές φαινόμενα μεγάλης κλίμακας, η αντιμετώπιση των οποίων δεν είναι πάντοτε οικονομικά συμφέρουσα ή τεχνικά δυνατή. Σε μερικές περιπτώσεις ωστόσο, το πρόβλημα είναι δυνατόν και πρέπει βέβαια, να αντιμετωπιστεί με την κατασκευή κατάλληλων έργων (Δημητρίου, 1998).

Για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων έχει προταθεί και εφαρμοστεί ένας μεγάλος αριθμός από μέτρα ή συνδυασμός μέτρων με μεγάλη ή μικρή αποτελεσματικότητα. Η σωστή επιλογή ενός μέτρου ή μιας σειράς μέτρων απαιτεί, πριν από όλα την πλήρη διερεύνηση των παραγόντων που προκάλεσαν ή που συνέβαλαν στην πρόκληση της κατολίσθησης.

Τα μέτρα αντιμετώπισης των καταπτώσεων βράχων έχουν συνήθως δυο στόχους. Πρώτον την σταθεροποίηση του προς κατάπτωση βράχου και δεύτερον την αναχαίτιση του βράχου σε περίπτωση που αυτός κατολισθήσει.

Σε παρά πολλές περιπτώσεις είναι εύκολο να προβλεφθεί η πιθανότητα κατάπτωσης ενός βράχου, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις παρουσίας μεμονωμένων ασταθών βράχων στις κορυφές λόφων. Ο πιο επικίνδυνος τύπος κατάπτωσης βράχου είναι αυτός, όπου το μπλοκ ¨ελευθερώνεται ¨ από μια μάζα, η οποία έδειχνε να έχει μικρές ασυνέχειες. Οι ασυνέχειες όμως αυτές απομόνωσαν το μπλοκ από την κύρια μάζα λόγω πιθανής πλήρωσής τους με νερό ή έγιναν μεγαλύτερες λόγω αποσάθρωσης. Οι καταπτώσεις τέτοιων μπλοκ συνιστούν μερικές φορές φαινόμενα ακραίων καταστάσεων.

## 2.2 Ξεσκάρωμα – Απομάκρυνση

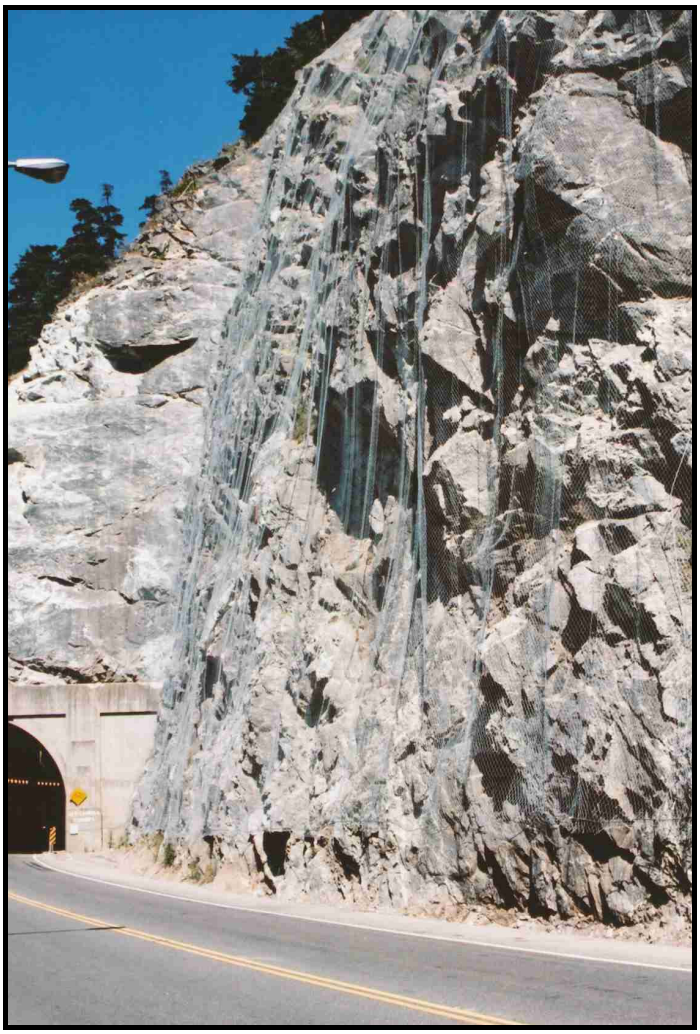
Πρόκειται για μια συνήθη προληπτική διαδικασία συντήρησης βραχωδών πρανών, κατά μήκος οδικών αξόνων, που περιλαμβάνει την απομάκρυνση ασταθών, χαλαρών και επικρεμάμενων βραχωδών μικροτεμαχών. Οι εργασίες αυτές γίνονται συνήθως ανά τακτά χρονικά διαστήματα, κυρίως μετά από μεγάλες περιόδους βροχοπτώσεων ή χιονοπτώσεων.

Ακόμη το μέτρο αυτό λαμβάνεται σε βραχώδη, απότομα τεχνητά ή φυσικά πρανή, τα οποία βρίσκονται κοντά σε μεγάλα τεχνικά έργα ή κατά μήκος οδικών αξόνων. Η απομάκρυνση των επικίνδυνων όγκων γίνεται, είτε

με μηχανικά μέσα, είτε με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών. Τα τελευταία είναι πολύ διαδεδομένα, όχι μόνο όταν πρόκειται για μεμονωμένους επικίνδυνους για κατάπτωση όγκους, αλλά και για τη θραύση και κατάρρευση ολόκληρων τμημάτων βραχωδών πρανών, τα οποία θεωρούνται πιθανά να κατολισθήσουν.

## 2.3 Προστατευτικά συρμάτινα πλέγματα

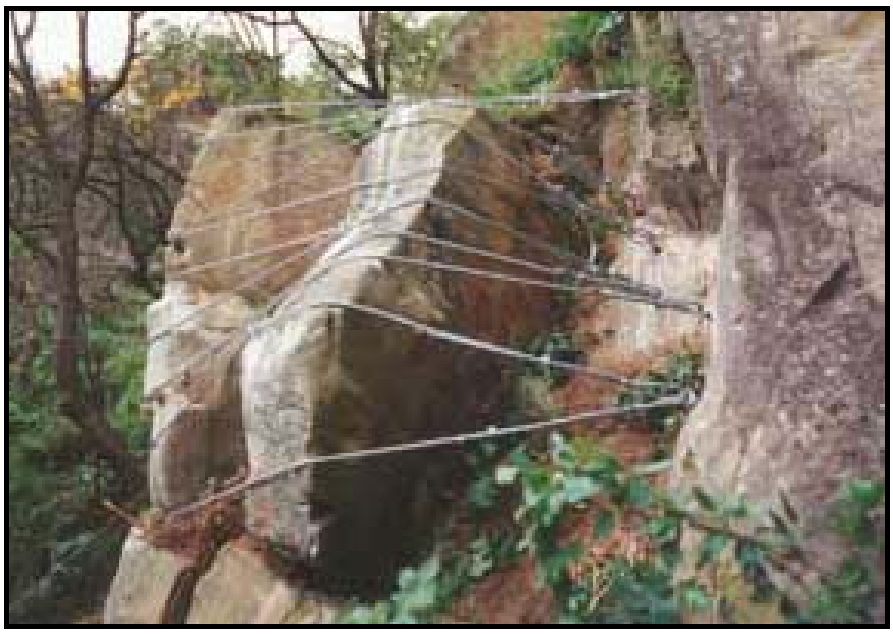
Τα προστατευτικά συρμάτινα πλέγματα (***Φωτ.2.1***) τοποθετούνται κυρίως σε απότομα βραχώδη πρανή και κατά μήκος οδικών αρτηριών. Κατασκευάζονται από μεγάλης αντοχής σύρματα, έχουν ρομβοειδή πλέξη και στερεώνονται με χαλύβδινα καρφιά και οριζόντιους σωλήνες. Η τοποθέτηση συρμάτινων πλεγμάτων έχει ως στόχο, κυρίως, τη συγκράτηση μικροτεμαχών τα οποία είναι δυνατό να καταπέσουν στο οδόστρωμα και να προκαλέσουν ατυχήματα.



**Φωτ. 2.1** Προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα (www.geobrugg.com).

## 2.4 Επιτόπου συγκράτηση

Όταν η απομάκρυνση ασταθών, χαλαρών και επικρεμάμενων βραχωδών τεμάχων είτε με μηχανικά μέσα είτε με τη χρήση εκρηκτικών κρίνεται αδύνατη, πολύ καλή λύση αποτελεί η επιτόπου συγκράτηση (***Φωτ. 2.2***) των βραχωδών τεμάχων (Rock mass harnessing), με ειδικά συρματόσχοινα αυξημένης αντοχής και αγκύρια.



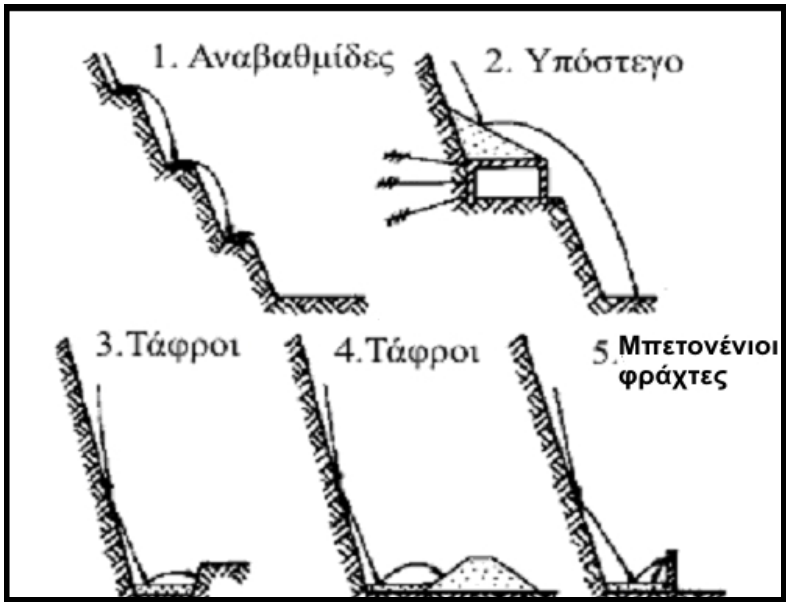
**Φωτ.2.2** Επιτόπου συγκράτηση των βραχωδών τεμάχων (www.alpideco.it)

## 2.5 Μείωση της ενέργειας με εκσκαφή

Οι παραδοσιακοί τρόποι εκσκαφής με τη χρήση εκρηκτικών κρύβουν κινδύνους όσο προσεκτικά και αν πραγματοποιηθούν. Η εκσκαφή με μηχανικό τρόπο ή με πιο σύγχρονο, όπως χημικό, ο οποίος επιταχύνει την διάβρωση, είναι περισσότερο αποδεκτή.

## 2.6 Φυσικός περιορισμός των καταπτώσεων βράχων

Αν αποδεχθούμε ότι δεν είναι εφικτό να αποτρέψουμε όλες τις καταπτώσεις βράχων, τότε σίγουρα θα πρέπει να ληφθούν μέτρα για περιορισμό, αναχαίτιση και συγκράτηση των κατολισθέντων βράχων. Αυτά τα μέτρα απεικονίζονται στο σχήμα 2.1.




**Σχήμα 2.1** Μέτρα περιορισμού, αναχαίτισης και συγκράτησης των κατολισθέντων βράχων (Spang 1987)

1. Οι αναβαθμίδες (berms) είναι ένας πολύ αποτελεσματικός τρόπος περιορισμού των καταπτώσεων βράχων με προοδευτική μείωση της κινητικής ενέργειας του πίπτοντος βράχου, που χρησιμοποιείται πολύ συχνά σε μόνιμα πρανή. Οι αναβαθμίδες μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από πάνω προς τα κάτω και κατά τη διάρκεια της κατασκευή τους έχουν περιορισμένες δυνατότητες στον περιορισμό των καταπτώσεων βράχων.

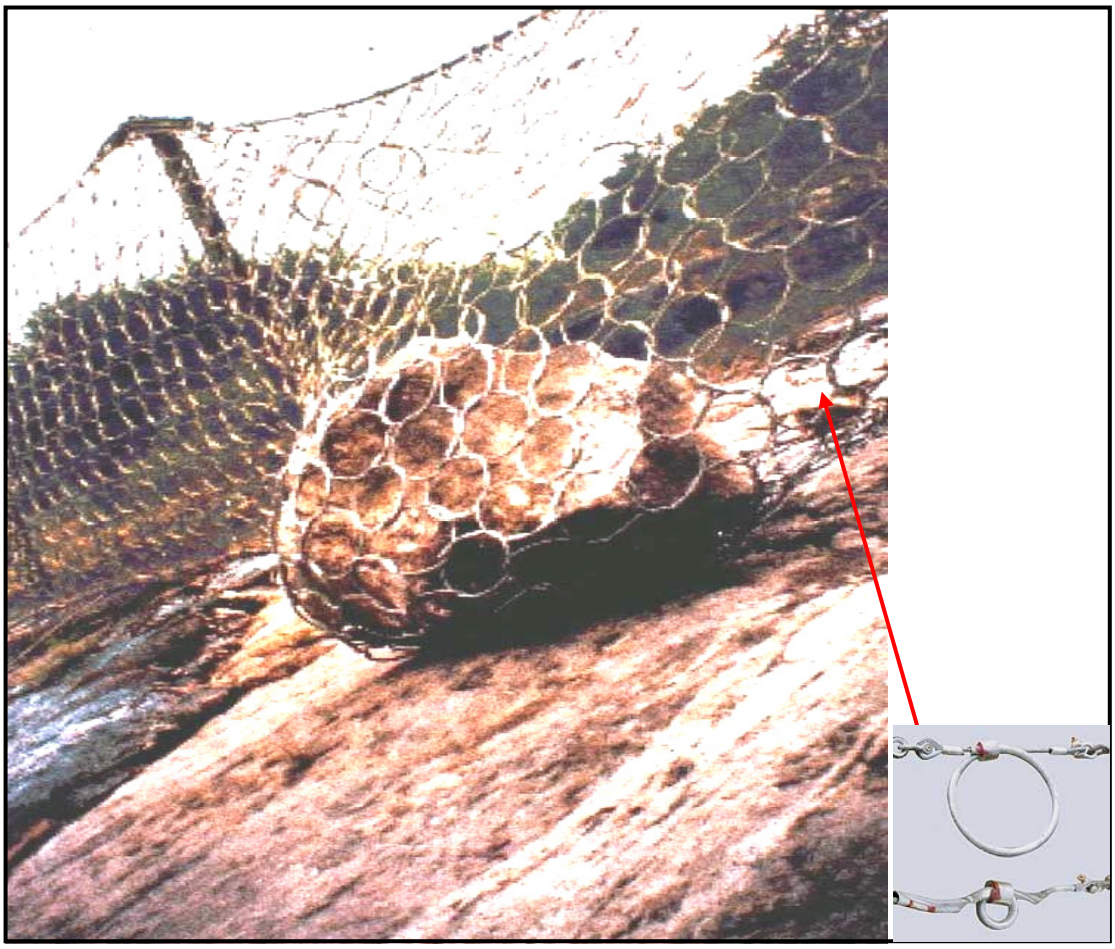
2. Το λίθινο υπόστεγο (rockshed) χρησιμοποιείται αρκετά συχνά σε απότομα πρανή πάνω από στενούς δρόμους και σιδηρόδρομους. Για να είναι αποτελεσματικό ένα υπόστεγο χρειάζεται ¨κάλυμμα¨ μεγάλης κλίσης. Το μέτρο αυτό δεν είναι αποτελεσματικό σε λεωφόρους και γενικά μεγάλους δρόμους, καθώς επίσης το υπόστεγο δεν έχει τις προδιαγραφές να αντέχει βράχους μεγάλου βάρους.

3.,4.Οι ¨τάφροι παγίδευσης¨ (ditch – fill) είναι έργα, τα οποία κατασκευάζονται παράλληλα με οδικές αρτηρίες και σιδηροδρομικές γραμμές, κατά μήκος του κάτω τμήματος βραχωδών πρανών. Ο βασικός λόγος κατασκευής τους είναι η παγίδευση μικρών βραχωδών τεμαχών μεγέθους έως 2 μέτρα περίπου, που αποσπώνται και καταπίπτουν από το πρανές, με αποτέλεσμα την προστασία του οδοστρώματος ή των σιδηροτροχιών.

Το βάθος, το πλάτος και γενικότερα το σχήμα της τάφρου, εξαρτάται άμεσα από το ύψος του πρανούς, την κλίση του, τα υλικά που πρόκειται να δεχτεί και το διαθέσιμο χώρο. Οι διαστάσεις της τάφρου μπορεί να μειωθούν, αν τοποθετηθεί παχύ στρώμα χαλικιών στον πυθμένα του ορύγματος, που βοηθάει στην απορρόφηση των ταλαντώσεων που δημιουργούνται κατά την κίνηση βαρέων οχημάτων.

Οι τοίχοι παγίδευσης είναι τοιχία από έδαφος, σκυρόδεμα ή συρματοκιβώτια (σαρζανέτι), οι οποίοι συνήθως κατασκευάζονται παράλληλα με τις τάφρους παγίδευσης και των οποίων αυξάνουν την ικανότητα για αποθήκευση. Πρόκειται για συμπαγή εμπόδια, τα οποία σταματούν τους κυλιόμενους ή αναπηδώντες βράχους όγκου έως 2 $m^3$ περίπου (Δημητρίου 1998).

5. Οι ¨φράχτες¨ (fence), υπολογίστηκε ότι έχουν απορροφητική ικανότητα 100 $kNm^2$ .Το ποσό της κινητικής ενέργειας αυτής ισοδυναμεί σε ένα βράχο 250 Kg, ο οποίος κινείται με ταχύτητα 20 m/sec. Πιο σύγχρονοι ¨φράχτες¨ μπορούν να αντέξουν μέχρι 3000 $kNm^2$ (***Φωτ.2.3***). Αυτά τα συστήματα μπορούν να σταματήσουν βράχο, ο οποίος κινείται με ταχύτητα 90 km/h και ζυγίζει 9640 kg.

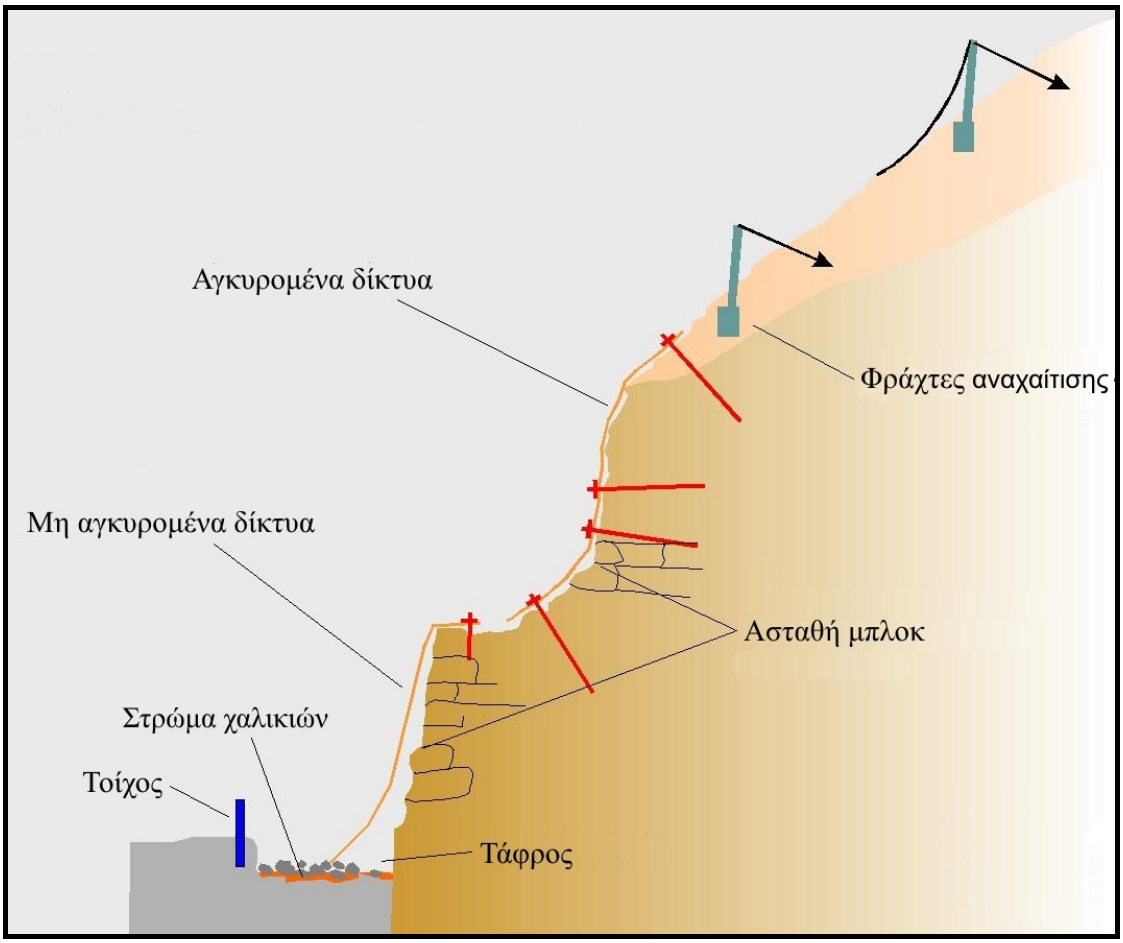


**Φωτ. 2.3** Σύγχρονος φράχτης ο οποίος μπορεί να απορροφήσει ενέργεια έως 3000$kNm^2$. Ο κρίκος κάτω δεξιά όταν απορροφά ενέργεια παραμορφώνεται πλαστικά. (www. geobrugg.com).

Ένα ακόμα περιοριστικό σύστημα το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως σε μόνιμα πρανή, είναι αυτό όπου το δίχτυ προσαρμόζεται κατά μήκος του πρανούς όχι για να σταματήσει την κατάπτωση ενός βράχου ή μικρότερου

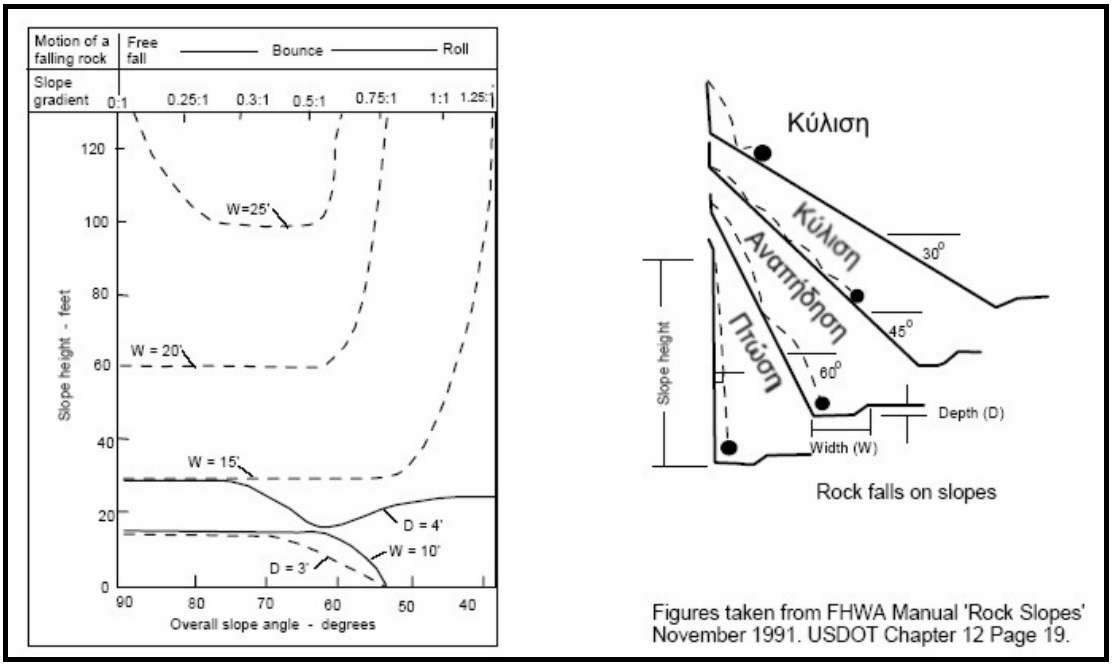
τεμάχους, αλλά να παγιδεύσει τα κατολισθέντα ¨υλικά¨ ανάμεσα στο δίχτυ και στο μέτωπο του πρανούς και έτσι να μειώσει την οριζόντια ταχύτητα των τεμαχών που κατολισθαίνουν (***Σχ 2.2***).

Ο Hoek (2000) τονίζει ότι τελικά το πιο αποτελεσματικό μέτρο, για μόνιμη προστασία ενός αυτοκινητοδρόμου, από καταπτώσεις βράχων είναι η κατασκευή μιας τάφρου στον πόδα του πρανούς. Η βάση αυτής της τάφρου, , θα πρέπει να είναι καλυμμένη από ένα στρώμα χαλικιών το οποίο να απορροφά την ενέργεια του κατολισθέντος βράχου, και ανάμεσα στην τάφρο και στον αυτοκινητόδρομο ένα τοιχίο, η θέση του οποίου θα προτείνεται μέσω μιας ανάλυσης όπως αυτή που αναφέρθηκε πιο πάνω.




**Σχήμα 2.2** Συνδυαστικό σύστημα προστασίας με τάφρο, δίκτυα και αγκύρια (Fookes and Sweeney, 1976)

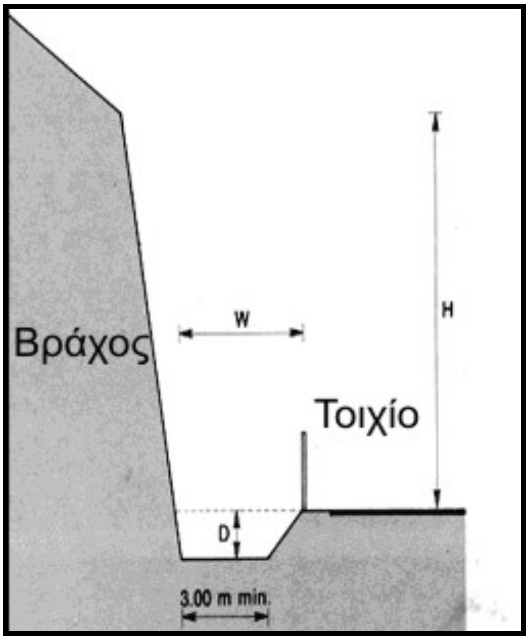
Ο Ritchie (1963) πρότεινε ένα εμπειρικό διάγραμμα σχεδιασμού τάφρων το οποίο βασίζεται στην κλίση και το ύψος του πρανούς (***Σχ 2.3 και 2.4***).




**Σχήμα 2.3** Διάγραμμα σχεδιασμού τάφρων. (W: πλάτος τάφρου, D: βάθος τάφρου, H: ύψος πρανούς) (FHWA 1991). Όπως φαίνεται στο σχήμα, για κλίση πρανών 30-45$^0$ ο βράχος 'κυλάει', από 45-60$^0$ αναπηδά και για μεγαλύτερη γωνία πέφτει.

**Πίνακας 2.1** Διαστάσεις σχεδιασμού τάφρων (www.maccaferri.com)

| Κλίση πρανούς | H(m) | W(m) | D(m) |
|---|---|---|---|
| **Σχεδόν κατακόρυφη** | 4.5-9.0<br>9.0-18.0<br>>18.0 | 3.6<br>4.5<br>6.0 | 0.9<br>1.2<br>1.2 |
| **1:0.25**<br>**1:0.30** | 4.5-9.0<br>9.0-18.0<br>18.0-30.0<br>>30.0 | 3.6<br>4.5<br>6.0<br>7.5 | 0.9<br>1.2<br>1.8<br>1.8 |
| **1:0.50** | 4.5-9.0<br>9.0-18.0<br>18.0-30.0<br>>30.0 | 3.6<br>4.5<br>6.0<br>7.5 | 1.2<br>1.8<br>1.8<br>2.4 |
| **1:0.75** | 0-9.0<br>9.0-18.0<br>>18.0 | 3.6<br>4.5<br>4.5 | 0.9<br>1.2<br>1.8 |
| **1:1** | 0-9.0<br>9.0-18.0<br>>18.0 | 3.6<br>3.6<br>4.5 | 0.9<br>1.5<br>1.8 |




**Σχήμα 2.4** Σχεδιασμός τάφρων(W: πλάτος τάφρου, D: βάθος τάφρου, H: ύψος πρανούς) (Ritchie, 1963)

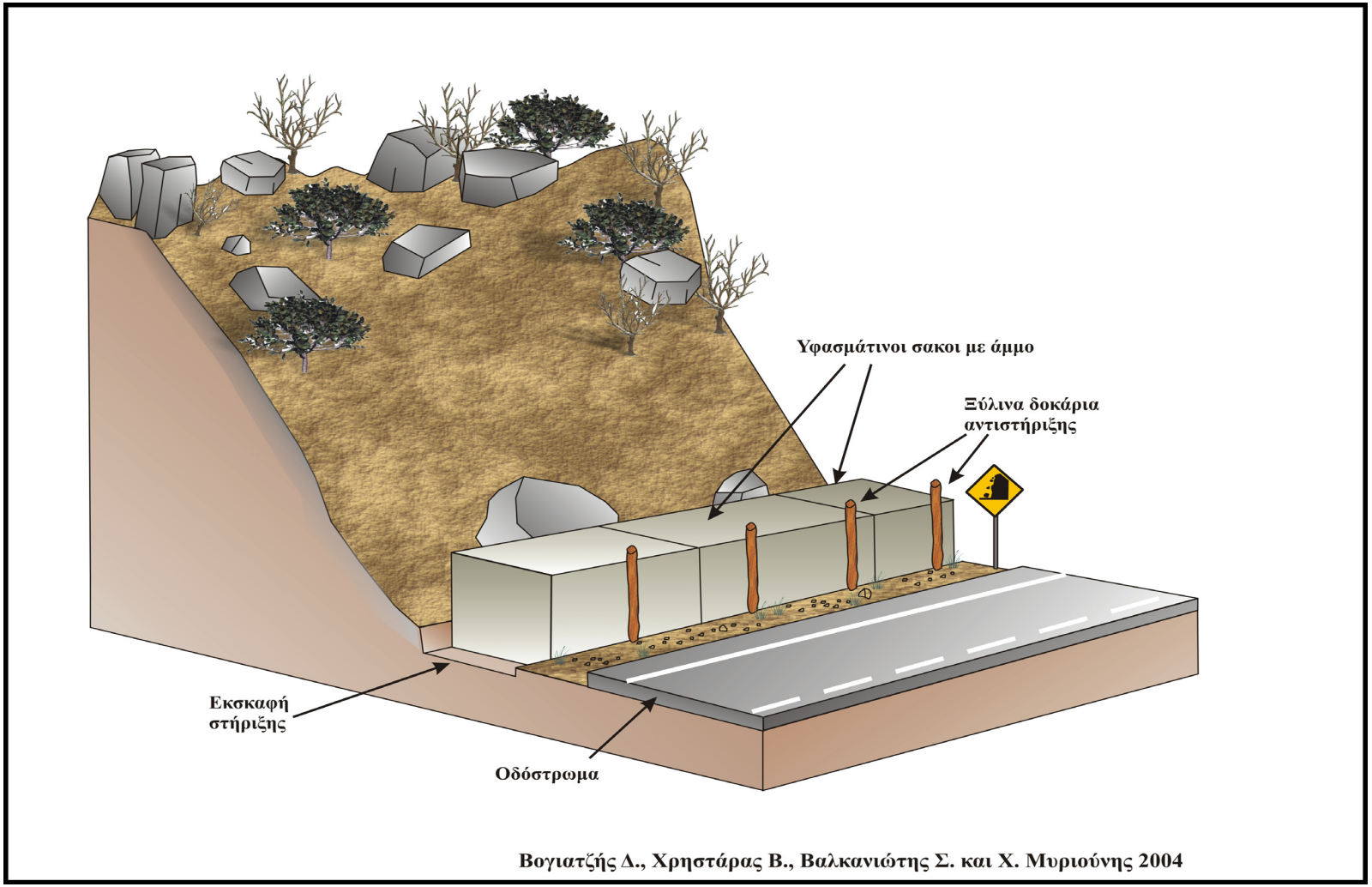
## 2.6.1 Υφασμάτινο τοιχίο

Σε περιπτώσεις όπου η κλίση του πρανούς είναι μικρή, δεν υπάρχει αρκετός χώρος για δημιουργία τάφρου, και τα προς αποκόλληση βραχοτεμάχια είναι μικρά (<0,5 m) προτείνεται ένα πολύ οικονομικό μέτρο (***Σχ 2.5***).

Στον πόδα του πρανούς διαμορφώνεται εκσκαφή βάθους περίπου 0,3 m και πλάτος όσο το μήκους του προβληματικού πρανούς. Μέσα σε αυτήν την εκσκαφή τοποθετούνται υφασμάτινοι σάκοι, μεταφοράς αδρανών υλικών (***Φωτ. 2.4 και 2.5***) οι οποίοι είναι πληρωμένοι με άμμο, υλικό το οποίο έχει μικρό συντελεστή απόδοσης και είναι πολύ οικονομικό για την αγορά του. Για ακόμα καλύτερη στήριξη και αντοχή κατά τη σύγκρουση των βράχων με τους σάκους προτείνεται η στήριξή τους με κάθετα τοποθετούμενους ξύλινους δοκούς.

**Φωτ. 2.4** Υφασμάτινος σάκος.

**Φωτ. 2.5** Σάκοι σε παράθεση. Οι σάκοι προσαρμόζονται ανάλογα με το ποσοστό πλήρωσης τους



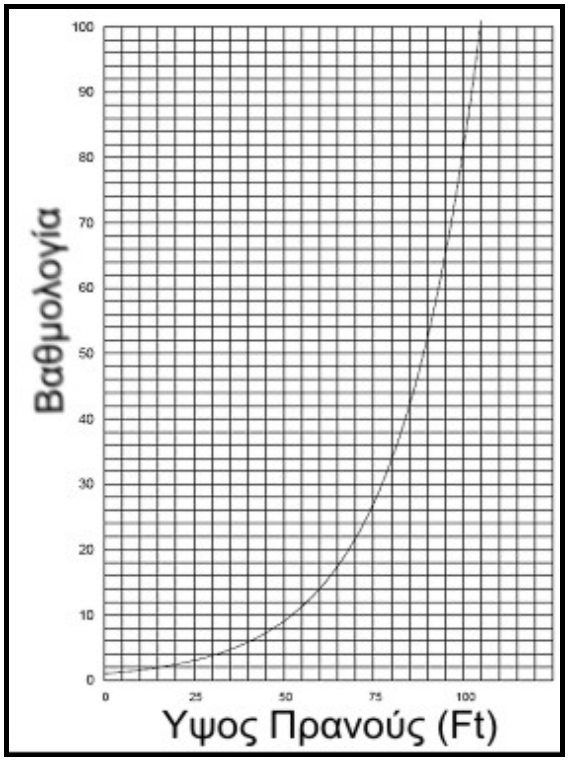

**Σχήμα 2.5** Μέτρο προστασίας από καταπτώσεις βράχων με υφασμάτινο τοιχίο (από Βογιατζή, Δ., Χρηστάρα, Β., Βαλκανιώτη, Σ., Μυριούνη, Χ., αδημοσίευτα στοιχεία, 2004)

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
# ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ. ROCKFALL HAZARD RATING SYSTEM

Η κατασκευή δρόμων σε βραχώδεις περιοχές αποτελεί ειδική πρόκληση για τους γεωλόγους και τους γεωτεχνικούς μηχανικούς. Αυτό γίνεται διότι είναι δύσκολο να αποκτηθούν επαρκείς πληροφορίες για την ευστάθεια των πρανών κατά μήκος της διάνοιξης ενός δρόμου. Αυτό σημαίνει, ότι εκτός από μερικά τμήματα τα περισσότερα τεχνητά πρανή σχεδιάζονται με βάση υποτυπώδεις γεωτεχνικές αναλύσεις. Συνήθως στις αναλύσεις αυτές δεν υπάρχει πρόβλεψη για καταπτώσεις βράχων. Εξαίρεση αποτελούν αναπτυγμένες χώρες όπως η Ελβετία, όπου υπάρχει μέριμνα και γι' αυτό το πρόβλημα, μια και το φαινόμενο είναι αρκετά συχνό.

Η ανάγκη αναγνώρισης των προβληματικών πρανών, μόνο με μακροσκοπική περιγραφή πεδίου, οδήγησε στη διατύπωση της μεθόδου ταξινόμησης που δίνεται στο σχήμα 3.1 (Hoek 2000), και του πίνακα 3.1 (Piersons et al. 1990).

Παρακάτω αναλύονται λεπτομερέστερα οι παράμετροι επικινδυνότητας των πρανών εξαιτίας της κατάπτωσης βράχων που αξιολογούνται στο σύστημα ταξινόμησης RHRS



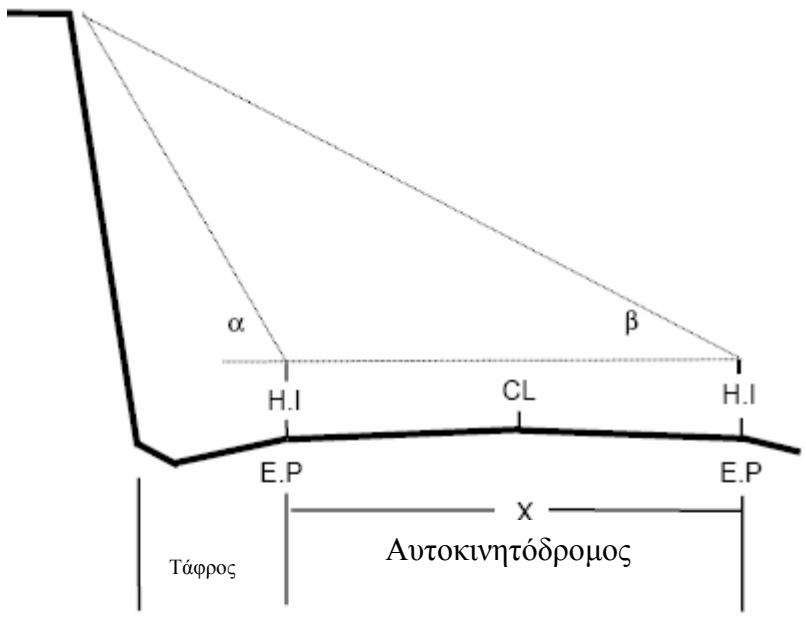

**Σχήμα 3.1** Γράφημα βαθμολογίας ανάλογα με το ύψος του πρανούς. (Hoek, 2000)

**Πίνακας 3.1** Σύστημα ταξινόμησης επικινδυνότητας καταπτώσεων βράχων. Rockfall Hazard Rating System. (Pierson et al., 1990)

| ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ | | | ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΙ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 3 ΒΑΘΜΟΙ | 9 ΒΑΘΜΟΙ | 27 ΒΑΘΜΟΙ | 81 ΒΑΘΜΟΙ |
| ΥΨΟΣ ΠΡΑΝΟΥΣ | | | 7,6m | 15,3m | 23m | 30,5m |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΤΑΦΡΟΥ | | | καλή | μέτρια | περιορισμένη | καθόλου |
| ΜΕΣΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΟΧΗΜΑΤΩΝ | | | 25% του χρόνου | 50% του χρόνου | 75% του χρόνου | 100% του χρόνου |
| ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΟΔΗΓΟΥ | | | καλό | μέτριο | περιορισμένο | πολύ περιορισμένο |
| ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ | | | 13,5 m | 11 m | 8,5m | 6 m |
| ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΡΩΤΗ | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ | ασυνεχείς διακλάσεις, ευνοϊκού προσανατολισμού | ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίου προσανατολισμού | ασυνεχείς διακλάσεις, αντίθετου προσανατολισμού | Συνεχείς διακλάσεις, αντίθετου προσανατολισμού |
| | | ΤΡΙΒΗ ΤΟΥ ΒΡΑΧΟΥ | τραχεία ανώμαλη | κυματιστή | επίπεδη | πληρωμένες με άργιλο ή γλιστερές ουσίες |
| | ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΕΥΤΕΡΗ | ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ | λίγα χαρακτηριστικά διάβρωσης | περιστασιακά χαρακτηριστικά διάβρωσης | αρκετά χαρακτηριστικά διάβρωσης | ευρύτερα χαρακτηριστικά διάβρωσης |
| | | ΔΙΑΦΟΡΑ ΣΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ | μικρή | μέση | μεγάλη | τεράστια |
| ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥ ΜΠΛΟΚ | | | 0,3m | 0,6m | 1m | 1,2m |
| Η ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΩΝ ΠΟΥ ΚΑΤΕΠΕΣΑΝ ΑΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ | | | 2,3 κυβικά μέτρα | 4,6 κυβικά μέτρα | 7 κυβικά μέτρα | 9,2κυβικά μέτρα |
| ΤΟ ΚΛΙΜΑ ΚΑΙ Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟ ΠΡΑΝΈΣ | | | Λίγα έως μέτρια κατακρημνίσματα Όχι παγετός όχι νερό στο πρανές | Μέτρια κατά-κρημνίσματα μικρές περίοδοι παγετού ή περιο-δικά νερό στο πρανές | Υψηλά κατά-κρημνίσματα ή μεγάλες περίοδοι παγετού ή συνε-χές νερό στο πρανές | Υψηλά κατά-κρημνίσματα και μεγάλες περίοδοι παγετού ή συνε-χές νερό στο πρανές και μεγάλες περίοδοι παγετού |
| ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΩΝ ΒΡΑΧΩΝ | | | λίγες καταπτώσεις | περιστασιακές καταπτώσεις | πολλές καταπτώσεις | συνεχείς καταπτώσεις |

## 3.1 Ύψος Πρανούς (Slope Height)

Αυτό το μέρος του συστήματος αξιολόγησης αντιπροσωπεύει το ύψος του πρανούς. Βράχοι που πίπτουν από υψηλότερα σημεία των πρανών έχουν περισσότερη δυναμική ενέργεια από βράχους σε χαμηλότερο ύψος, άρα τα ψηλά πρανή παρουσιάζουν μεγαλύτερο κίνδυνο και γι' αυτό βαθμολογούνται υψηλότερα. Σε περίπτωση που υπάρχει ¨τάφρος παγίδευσης¨ (ditch), ο υπολογισμός του ύψους γίνεται ως εξής:




Ολικό ύψος πρανούς $= \frac{(X)\sin\alpha\sin\beta}{\sin(\alpha-\beta)} + H.I$

H.I.= το ύψος του οργάνου μέτρησης

## 3.2 Αποτελεσματικότητα της τάφρου (Ditch Effectiveness)

Η αποτελεσματικότητα της τάφρου υπολογίζεται από την ικανότητα της να παγιδεύσει τους βράχους αποτρέποντάς τους να φθάνουν στον αυτοκινητόδρομο. Η αποτελεσματικότητα της τάφρου επηρεάζεται από:

1) το ύψος και την κλίση του πρανούς,
2) το σχήμα, το βάθος και το μήκος της τάφρου,
3) την ικανότητα για πρόσληψη μεγάλων τεμαχίων και ποσότητας κατολισθέντων βράχων,
4) την ομαλότητα του πρανούς στα σημεία πρόσκρουσης με βράχο που κατολισθαίνει.

Έτσι, μπορεί να γίνει η παρακάτω αξιολόγηση της τάφρου:

3 βαθμοί *καλή αποτελεσματικότητα* . Όλοι ή σχεδόν όλοι οι βράχοι παγιδεύονται στην τάφρο.

9 βαθμοί *μέτρια αποτελεσματικότητα* . Περιστασιακά οι βράχοι φθάνουν στον αυτοκινητόδρομο.

27 βαθμοί *περιορισμένη αποτελεσματικότητα* . Πολύ συχνά οι βράχοι φθάνουν στον αυτοκινητόδρομο.

81 βαθμοί *καθόλου αποτελεσματικότητα*. Δεν υπάρχει τάφρος ή αν υπάρχει είναι αναποτελεσματική. Όλοι οι βράχοι φθάνουν στον αυτοκινητόδρομο.

## 3.3 Μέσος κίνδυνος οχημάτων - Average Vehicle Risk (AVR)

Αυτή η κατηγορία υπολογίζει το ποσοστό του χρόνου, κατά τον οποίο ένα όχημα θα βρίσκεται στην επικίνδυνη ζώνη της κατάπτωσης βράχων. Το ποσοστό υπολογίζεται βάσει του μήκους του πρανούς, τη μέση καθημερινή κυκλοφορία οχημάτων (average daily traffic (ADT)) και την ταχύτητα τους. Η ταξινόμηση 100% σημαίνει, ότι ένα όχημα αναμένεται να είναι ¨παρών¨ δηλαδή να είναι μπροστά στο πρανές κατά την κατάπτωση κάποιου βράχου. Σημαντικό είναι να μετρηθεί το προβληματικό μήκος του πρανούς. Σε περιπτώσεις όπου το αποτέλεσμα του παρακάτω τύπου είναι πάνω από το 100% σημαίνει ότι κατά την κατάπτωση κάποιου βράχου θα είναι περισσότερα από ένα οχήματα παρόντα. Υπολογιστικός τύπος:

$$\frac{\text{Μεση. καθ/νή κυκλοφορία οχη/των (ADT) (αυτοκ./ώρα)} \times \text{Μήκος πρανούς (miles)} \times 100\%}{\text{επιτρεπτό ανώτατο όριο ταχύτητας (mph)}} = \text{AVR}$$

## 3.4 Ποσοστό απόστασης - αντίδρασης του οδηγού (Percent of Decision Sight Distance)

Το ποσοστό απόστασης-αντίδρασης του οδηγού (Decision Sight Distance (DSD)) χρησιμοποιείται για να καθοριστεί το μήκος του αυτοκινητόδρομου που ο οδηγός θα έχει στη διάθεση του για να αντιδράσει. Το (DSD) είναι πολύ σημαντικό, όταν ο δρόμος έχει εμπόδια που δύσκολα τα αντιλαμβάνεται ο οδηγός ή όταν μη αναμενόμενες ή ασυνήθιστες μανούβρες είναι αναγκαίες. Σε αυτή την κατηγόρια θεωρούμε ως απόσταση

το μικρότερο διάστημα όπου ένα αντικείμενο καθορισμένων διαστάσεων γίνεται αντιληπτό από τον οδηγό. Στο τμήμα της κατάπτωσης και ειδικά κατά μήκος του πρανούς η απόσταση μπορεί να αλλάξει απροσδόκητα. Αν το πρανές είναι μετά από στροφή, αλλά εσωτερικά αυτής υπάρχουν εμπόδια που δεν επιτρέπουν τον οδηγό να έχει ορατότητα, όπως φυτά ή βράχοι, ο οδηγός θα αντιληφθεί κάποιον κατολισθέντα βράχο πάνω στο δρόμο με αρκετή καθυστέρηση. Ο αξιολογητής θα πρέπει να οδηγήσει δοκιμαστικά και προς τις δυο κατευθύνσεις κατά μήκος του πρανούς και στην άκρη της στροφής να τοποθετήσει ένα αντικείμενο 15cm στο τέλος του ασφαλτοτάπητα. Ο αξιολογητής έπειτα θα περπατήσει κατά μήκος της άκρης του ασφαλτοτάπητα στο απέναντι ρεύμα της κυκλοφορίας υπολογίζοντας το διάστημα που χρειάζεται για να εξαφανιστεί, από το οπτικό του πεδίο, το αντικείμενο από την επιφάνεια του δρόμου. Στον παρακάτω Πίνακα 3.2 δίνονται ενδεικτικά κάποιες τιμές.

**Πίνακας 3.2** Ενδεικτικές τιμές βαθμολόγησης της αντίδρασης οδηγού

| **Επιτρεπτό ανώτατο όριο ταχύτητας (mph)** | **Απόσταση της αντίδρασης του οδηγού (ft)** |
|---|---|
| 30 | 450 |
| 40 | 600 |
| 50 | 750 |
| 60 | 1.000 |
| 70 | 1.100 |

Αυτός είναι ο τύπος με τον οποίο υπολογίζεται το ποσοστό διαστήματος - αντίδρασης του οδηγού (Percent of Decision Sight Distance).

$$\frac{\text{Η πραγματική απόσταση από το τμήμα κατάπτωσης } (\quad) \text{ X } 100\%}{\text{Απόσταση της αντίδρασης του οδηγού } (\quad)} = \qquad \%$$

## 3.5 Το πλάτος του αυτοκινητόδρομου

Οι διαστάσεις του αυτοκινητόδρομου μετριούνται από τη μια άκρη του πεζοδρομίου ή του ασφαλτοτάπητα μέχρι την άλλη. Αυτή η μέτρηση

αντιπροσωπεύει το μικρότερο χώρο για μανούβρα ώστε να αποφευχθεί ένας κατολισθέντας βράχος. Σε περίπτωση που ο αυτοκινητόδρομος δεν έχει πάντα το ίδιο πλάτος πρέπει να μετρηθεί το μικρότερο πλάτος αυτού.

## 3.6 Γεωλογικός χαρακτήρας

Σε αυτήν την κατηγορία αποτιμούνται οι γεωλογικές συνθήκες του πρανούς. **Πρώτη κατηγορία,** όπου στη δομή του βραχώδους πρανούς κυριαρχούν ασυνέχειες. **Δεύτερη κατηγορία** κατά την οποία η διάβρωση ή οι μεγάλες κλίσεις των πρανών κυριαρχούν κατά την κατάπτωση βράχων. Ο αξιολογητής πρέπει να χρησιμοποιεί την κατηγορία που αρμόζει σε κάθε περίπτωση. Αν οι συνθήκες του πρανούς κατατάσσονται και στις δύο κατηγορίες, τότε η χειρότερη είναι αυτή που χρησιμοποιείται στη βαθμολόγηση.

Κατηγορία πρώτη

*Κατάσταση της τεκτονικής δομής (Structural Condition).* Διακλάσεις με κλίση αντίρροπη προς το πρανές, γωνία τριβής του βράχου, υλικό πλήρωσης των διακλάσεων και υδροστατική πίεση, αν υπάρχει νερό, αποτελούν την κατάσταση της δομής. Οι διακλάσεις με κλίση αντίρροπη προς το πρανές είναι η αιτία να δημιουργούνται μπλοκ, σφήνες και ανατροπές βράχων. Το μήκος των συνεχών διακλάσεων είναι άνω των τριών μέτρων.

Έτσι: 3 βαθμοί *Ασυνεχείς διακλάσεις, ευνοϊκού προσανατολισμού.* Βράχος με διακλάσεις χωρίς αντίθετο προσανατολισμό προς το πρανές ή επιφάνειες στρώσης.

9 βαθμοί *Ασυνεχείς διακλάσεις, τυχαίου προσανατολισμού.* Βραχώδη πρανή με τυχαίου προσανατολισμού διακλάσεις, όπου πιθανόν να σχηματίζονται μπλοκ.

27 βαθμοί *Ασυνεχείς διακλάσεις, αντίθετου προσανατολισμού.* Βραχώδη πρανή που εμφανίζουν έντονες διακλάσεις και επίπεδα.

81 βαθμοί *Συνεχείς διακλάσεις, αντίθετου προσανατολισμού.* Βραχώδη πρανή που εμφανίζουν έντονες διακλάσεις(πάνω από 3 μέτρα μήκος) και στρώση.

*Επιφανειακή τριβή του βράχου (Rock Friction)* Αυτή η παράμετρος επηρεάζει άμεσα την πιθανή κίνηση ενός μπλοκ σχετικά με ένα άλλο. Η

τριβή των τοιχωμάτων μιας διάκλασης ή ασυνέχειας επηρεάζεται από την τραχύτητα τους. Έτσι, όταν θερμά νερά κυκλοφορούν μέσα στις διακλάσεις ή υπάρχουν προϊόντα αποσάθρωσης, οι καταπτώσεις βράχων είναι αρκετά πιθανές, μια και τα υλικά αυτά μειώνουν τη γωνία τριβής της διάκλασης.

Έτσι: 3 βαθμοί *Τραχεία, ανώμαλη*. Οι επιφάνειες των διακλάσεων είναι τραχείες ο βραχος υγειης και έτσι δημιουργούν μεγάλη τριβή λόγω συμπλοκής σε ενδεχόμενη κίνηση.

9 βαθμοί *Κυματιστή*. Αρκετά τραχεία αλλά δε δημιουργεί εμπλοκή κατά την κίνηση.

27 βαθμοί *Επίπεδη*. Πολύ επίπεδες επιφάνειες χωρίς κυματισμό και η τριβή εξαρτάται αποκλειστικά από τις επιφάνειες των διακλάσεων.

81 βαθμοί *Πληρωμένες με άργιλο ή υλικα πολύ μικρής γωνίας τριβής*. Μικρής τριβής υλικά όπως άργιλος πλήρωσαν τα διάκενα των διακλάσεων και έτσι διευκολύνουν την κίνηση.

Κατηγορία δεύτερη

*Κατάσταση της τεκτονικής δομής (Structural Condition).* Αυτή η κατηγορία χρησιμοποιείται όταν η διάβρωση ή η μεγάλη κλίση του πρανούς είναι οι κύριοι υπεύθυνοι για μια κατάπτωση βράχου. Η διάβρωση μπορεί να προκαλέσει μεγάλη κλίση στο πρανές και να δημιουργήσει ασταθείς βράχους, οι οποίοι τελικά να κατολισθήσουν. Τα συνήθη πρανή που είναι ευαίσθητα σε τέτοιες καταστάσεις έχουν ένα στρώμα, το οποίο έχει πετρώματα που αποσαθρώνονται εύκολα με αποτέλεσμα να διαβρώνεται το υποκείμενο στρώμα που είναι από πιο μαλακό πέτρωμα.

Αυτή η αποσάθρωση δημιουργεί υποσκαφή στη βάση των υπερκείμενων βράχων επιτρέποντας έτσι ανθεκτικούς βράχους να πέφτουν.

Έτσι: 3 βαθμοί *Λίγα χαρακτηριστικά διάβρωσης*. Πολύ λίγες εμφανίσεις διάβρωσης .

9 βαθμοί *Περιστασιακά χαρακτηριστικά διάβρωσης*. Λίγες εμφανίσεις διάβρωσης οι οποίες είναι διασκορπισμένες στο πρανές.

27 βαθμοί *Αρκετά χαρακτηριστικά διάβρωσης.* Αρκετές και μεγάλες εμφανίσεις διάβρωσης στο πρανές.

81 βαθμοί *Ευρύτερα χαρακτηριστικά διάβρωσης.* Σοβαρές περιπτώσεις επικίνδυνης διάβρωσης.

*Διαφορές στο ρυθμό διάβρωσης (Difference in Erosion Rates).* Ο ρυθμός διάβρωσης στα πρανή της δεύτερης κατηγορίας συνδέεται άμεσα με τη δημιουργία του φαινομένου κατάπτωσης βράχων. Όσο αναπτύσσεται η διάβρωση τόσο επικίνδυνο γίνεται το πρανές. Ο βαθμός επικινδυνότητας που προκαλείται από τη διάβρωση και δίνεται σε αυτήν την κατηγορία αντανακλά την ταχύτητα της διάβρωσης, το μέγεθος των βράχων και τη συχνότητα των καταπτώσεων.

Έτσι: 3 βαθμοί *Μικρή διαφορά.* Ο ρυθμός της διάβρωσης είναι πολύ μικρός και η διάβρωση δρα για πολλά χρόνια στο πρανές.

9 βαθμοί *Μέση διαφορά.* Ο ρυθμός της διάβρωσης είναι πολύ μικρός και η διάβρωση δρα για λίγα χρόνια στο πρανές.

27 βαθμοί *Μεγάλη διαφορά.* Ο ρυθμός της διάβρωσης είναι τέτοιος ώστε η διάβρωση γίνεται αντιληπτή κάθε χρόνο.

81 βαθμοί *Τεράστια διαφορά.* Ο ρυθμός της διάβρωσης είναι τέτοιος ώστε η διάβρωση γίνεται ραγδαία.

## 3.7 Το μέγεθος του πίπτοντος βραχώδους όγκου ή η ποσότητα, των βράχων που κατέπεσαν ανά κατολίσθηση (Block Size or Quantity of Rockfall Per Event)

Αυτή η μέτρηση πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική του τύπου της κατάπτωσης βράχων που είναι πιο πιθανή να συμβεί. Αν η κατάπτωση βράχων αποτελείται από μεγάλα μεμονωμένα τεμάχια, τότε αυτά θα μετρηθούν και θα χρησιμοποιηθούν στην βαθμολόγηση. Αν η κατολίσθηση αποτελείται από μια μάζα βράχων τότε θα πρέπει να μετρηθεί η ποσότητα των υλικών ανά κατάπτωση. Το πώς θα καταλάβει ο αξιολογητής πια από

τις δυο περιπτώσεις θα βαθμολογήσει, θα το κρίνει από το ιστορικό του πρανούς, ακόμη και στην περίπτωση που δεν υπάρχει ιστορικό, από παρατηρήσεις που έκανε ο ίδιος. Αυτή η μέτρηση αποτελεί θεμέλιο λίθο στην εξεύρεση μέτρου αντιμετώπισης του φαινομένου της καταπτώσεων βράχων.

## 3.8 Το κλίμα και η παρουσία του νερού στο πρανές

Η επανάληψη του κύκλου πήξης / τήξης του νερού συμβάλει στην αποσάθρωση, στη χαλάρωση και επομένως στην ευκολότερη κίνηση ενός βράχου προς την κατάντη περιοχή. Περιοχές που δέχονται κάτω από 500mm κατακρημνίσματα το χρόνο λέγονται περιοχές χαμηλών κατακρημνισμάτων. Ενώ οι περιοχές που δέχονται πάνω από 1270mm ονομάζονται περιοχές υψηλών κατακρημνισμάτων. Αν στην περιοχή επικρατεί μακρά περίοδος παγετού ή υψηλά κατακρημνίσματα ή συνεχές τρεχούμενο νερό, η κατάσταση θα πρέπει να βαθμολογηθεί με 27 βαθμούς. Με 81 βαθμούς θα αξιολογήσει την περιοχή, όπου έχει ταυτόχρονα μακρά περίοδο παγετού και υψηλά κατακρημνίσματα ή συνεχές τρεχούμενο νερό.

## 3.9 Ιστορικό καταπτώσεων βράχων

Η πληροφορία αυτή είναι σημαντική για την αξιολόγηση της κατάστασης, την επαναληψιμότητα του φαινομένου και την εκτίμηση μέτρων προστασίας. Μερικές φορές το κόστος της συντήρησης δίνει πληροφορίες για το ιστορικό του πρανούς. Αν η βαθμολόγηση που θα γίνει δε συμβαδίζει με το ιστορικό τότε θα πρέπει να επαναβαθμολογηθεί η θέση και όλα τα στοιχεία να ξαναμελετηθούν. Όσο πληρέστερη βάση δεδομένων αποκτήσουμε για μια θέση κατάπτωσης βράχων τόσο αποτελεσματικότερη θα είναι η μελλοντική αντιμετώπιση.

| | |
|---|---|
| Έτσι: 3 βαθμοί | *Λίγες καταπτώσεις* έχουν συμβεί σύμφωνα με μαρτυρίες αλλά το πρόβλημα δεν είναι συνεχές. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν μεμονωμένα γεγονότα, όπως η περίπτωση ακραίας καταιγίδας και σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει ιστορικό καταπτώσεων βράχων. |
| 9βαθμοί | *Περιστασιακές καταπτώσεις* βράχων αναμένονται αρκετές φορές τον χρόνο. |

27 βαθμοί *Πολλές τυπικές καταπτώσεις* που συμβαίνουν αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εποχών, όπως χειμώνα ή άνοιξη υγρές περιόδους, ή περιόδους παγετού κ.τ.λ. Αυτή η κατηγορία είναι για περιοχές όπου κατάπτώσεις συμβαίνουν αρκετά συχνά κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων εποχών και τον υπόλοιπο χρόνο δεν είναι σημαντικό πρόβλημα.

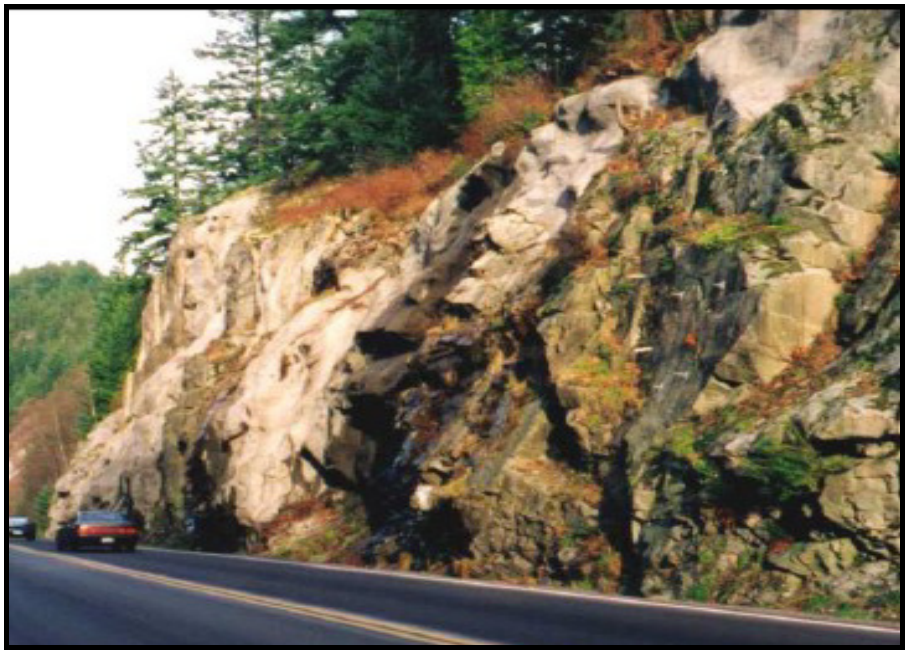
81 βαθμοί *Συνεχείς καταπτώσεις,* που συμβαίνουν πολύ συχνά κάθε χρόνο .

Ακόμη, ο αξιολογητής θα πρέπει να συλλέξει αρκετές πληροφορίες, ώστε να είναι ικανός να προτείνει κάποιο μέτρο προστασίας, το οποίο θα είναι το καλύτερο δυνατό για τη συγκεκριμένη περίπτωση. Ένα αρχικό κόστος θα πρέπει να εκτιμηθεί.

## 3.10 Παράδειγμα εφαρμογής ταξινόμησης επικινδυνότητας κατάπτωσης βράχων σε όρυγμα αργιλίτη με το σύστημα RHRS

Η ανάλυση επικινδυνότητας των οχημάτων ή των θανάτων ανθρώπων μέσα στα οχήματα τους εξαιτίας καταπτώσεων βράχων δεν έχει καλυφθεί επαρκώς στην γεωτεχνική βιβλιογραφία. Δημοσιεύσεις των Hunt (1984), Fell (1994), Morgan (1991) και Varnes (1984) σχετίζονται με την αστοχία πρανών, των οποίων αποτέλεσμα ήταν ο θάνατος ή ο τραυματισμός ανθρώπων. Οι περισσότερες από αυτές τις δημοσιεύσεις σχετίζονται με κατολισθήσεις και όχι με καταπτώσεις βράχων.

Ο Bunce (1994) μελέτησε ένα όρυγμα αργιλίτη (argillite) για την κατασκευή του Αυτοκινητόδρομου 99 στον Καναδά, (***Φωτ. 3.1***) και το ταξινόμησε με βάση το RHRS. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 4.1. Κατά την αξιολόγηση που έγινε, η περιοχή όπου κατέπεσαν οι βράχοι βαθμολογήθηκε με 394 βαθμούς και το συνολικό όρυγμα με 493 βαθμούς. Σύμφωνα με τον Pierson (προσωπ. επικοινων., σε Hoek 2000) αναφέρεται ότι για την πολιτεία του Όρεγκον, σε ταξινομήσεις κάτω από 300 δόθηκε πολύ μικρή προτεραιότητα ενώ σε ταξινομήσεις που έφταναν το 500 τέθηκαν σε ισχύ έκτατα μέτρα.



**Φωτ. 3.1** Όρυγμα σε αργιλίτη, Αυτοκινητόδρομος 99, Καναδάς.(Hoek 2000)

**Πίνακας 3.3** Τιμές του RHRS από τον Bunce (1994) για τον αργιλίτη στον Αυτοκινητόδρομο 99 στη Βρετανική Κολούμπια, Καναδάς.

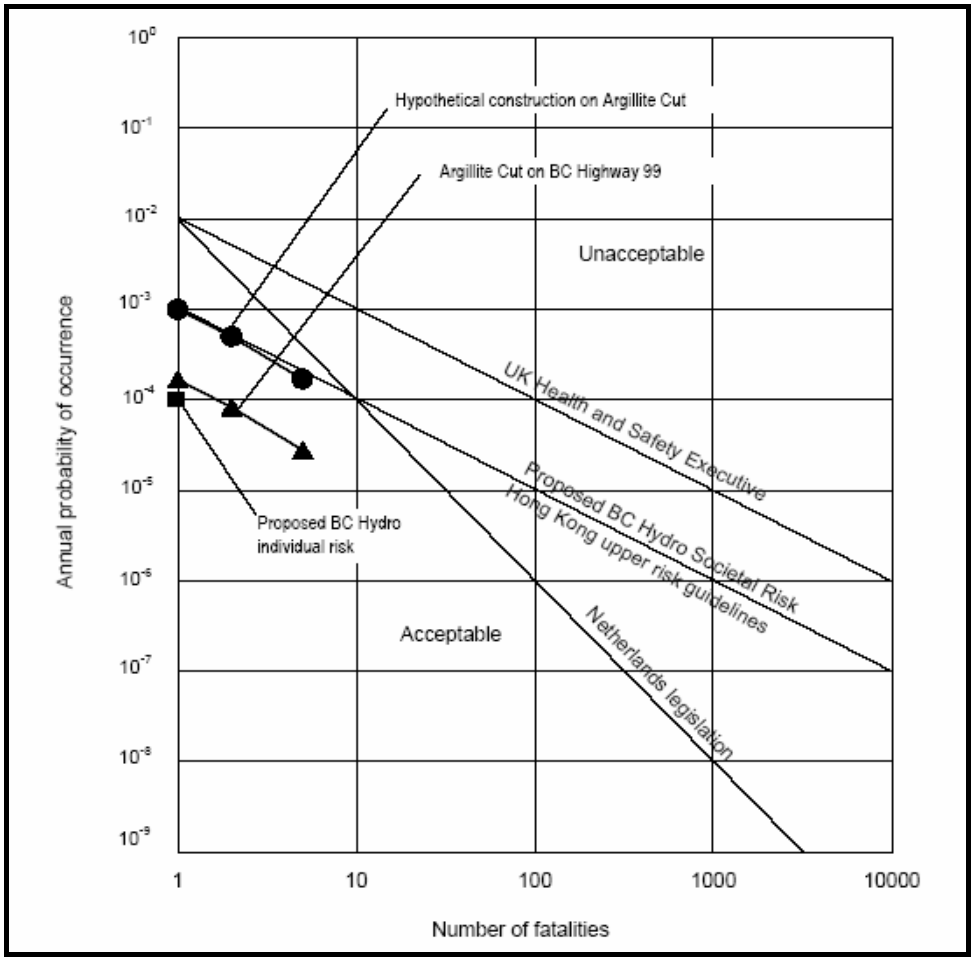
| | **Τμήμα όπου σημειώθηκαν καταπτώσεις** | | **Βαθμολογία για όλο το όρυγμα** | |
|---|---|---|---|---|
| **Παράμετρος** | τιμή | βαθμολόγηση | τιμή | βαθμολόγηση |
| **Ύψος Πρανούς** | 36 | 100 | 35 | 100 |
| **Αποτελεσματικότητα της τάφρου** | Περιοσμ. | 27 | Περιοσμ. | 27 |
| **Μέσος κίνδυνος οχημάτων** | 7 | 1 | 225 | 100 |
| **Ποσοστό απόστασης -αντίδρασης του οδηγού** | 42 | 73 | 42 | 73 |
| **Το πλάτος του αυτοκινητόδρομου** | 9,5 | 17 | 9,5 | 17 |
| **Γεωλογικός χαρακτήρας** | Πολύ κακός | 81 | κακός | 60 |
| **Τριβή του βράχου** | επίπεδη | 27 | επίπεδη | 27 |
| **Το μέγεθος του μπλοκ** | 0,3m | 3 | 1m | 35 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Το κλίμα και η παρουσία του νερού** | Υψηλά κατά-κρημνίσματα | 27 | Υψηλά κατά-κρημνίσματα | 27 |
| **Ιστορικό καταπτώσεων βράχων** | πολλές καταπτώσεις | 40 | πολλές καταπτώσεις | 27 |
| **Σύνολο** | 394 | | 493 | |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥ ΕΚΤΙΜΟΥΜΕΝΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΠΟΔΕΚΤΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ

Οι υπολογιζόμενες ανθρώπινες απώλειες από καταπτώσεις βράχων έχουν λίγη σημασία αν δε συγκριθούν με αποδεκτά ποσοστά που υπάρχουν σε άλλα τεχνικά έργα. Η πρώτη προσπάθεια για εξεύρεση ικανοποιητικών κριτηρίων έγινε από τον Whitman (1984). Στα επόμενα 10 χρόνια αφότου εκδόθηκε εκείνη η εργασία έγιναν πολλές μελέτες για την εξεύρεση αποδεκτών κριτηρίων επικινδυνότητας.

Στο σχήμα 4.1 δίνεται νομόγραμμα των Nielsen et al. (1994) όπου παρουσιάζονται οι ετήσιες πιθανότητες να συμβεί ένα γεγονός σε σχέση με τις απώλειες ζωών. Η γραμμή που ονομάζεται «Proposed BC Hydro Societal Risk» είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα διότι προσδιορίζει την ετήσια απώλεια ζωών από αστοχία φράγματος, η οποία είναι 0.001 ανθρώπινες ζωές ανά έτος δηλ. 1 θάνατος ανά 1000 έτη.




**Σχήμα 4.1** Ετήσιες πιθανότητες να συμβεί ένα γεγονός σε σχέση με τις απώλειες ζωών Nielsen, Hartford και MacDonald (1994)

Ένα ακόμη σημείο που πρέπει να τονισθεί στο παραπάνω σχήμα, είναι η παράμετρος «Proposed BC Hydro Individual risk». Πρόκειται για την ετήσια πιθανότητα απωλειών τάξης $10^{-4}$, σε περίπτωση αστοχίας φράγματος και βασίζεται στο γεγονός ότι αυτός ο αριθμός δεν πρέπει να ξεπερνά την ανεξάρτητη ετήσια πιθανότητα φυσικού θανάτου του ασφαλέστερου γκρουπ ανθρώπων (ηλικίας 10 με 14 χρονών) που είναι της τάξης $10^{-4}$.

Αυτή η πιθανότητα χαρακτηρίζει και την ασφαλή πρόσβαση στον χώρο ενός έργου, προκειμένου να αποφανθεί αν επιτρέπεται η είσοδος στον οποιοδήποτε ή μόνο στους εργαζόμενους. Στο παραπάνω σχήμα 4.1 ο Hoek (2000) απεικόνισε την πιθανότητα ενός δικού του τυχαίου παραδείγματος αλλά και την ετήσια πιθανότητα που προσδιορίζει την απώλεια ζωών σε περίπτωση κατάπτωσης βράχων του Bunce (1994). Το συμπέρασμα ήταν ότι κατά τη διάρκεια έργων, όσο σημαντικός κι αν ήταν ο δρόμος, ο μελετητής δεν έπρεπε να πάρει το ρίσκο και να τον δώσει στην κυκλοφορία.

Όσο απάνθρωπος και να είναι αυτός ο τρόπος ταξινόμησης, που ας σημειωθεί ότι είναι ημι-ποσοτικός, παράλληλα με τις γνώσεις και την εμπειρία των βαθμολογητών, δίνει μια αξιόλογη εκτίμηση των κινδύνων από καταπτώσεις βράχων, από ορύγματα σε αυτοκινητόδρομους και σιδηρόδρομους.

# ΜΕΡΟΣ Β: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΛΕΥΚΑΔΑ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5
# ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ ΣΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ 14/08/2003 ΣΤΟ ΑΝΑΝΤΗ ΠΡΑΝΕΣ ΤΟΥ ΧΩΡΙΟΥ ΔΡΥΜΩΝΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΣΦΑΚΙΩΤΩΝ, Ν. ΛΕΥΚΑΔΑΣ

## 5.1 Γεωλογία και σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής

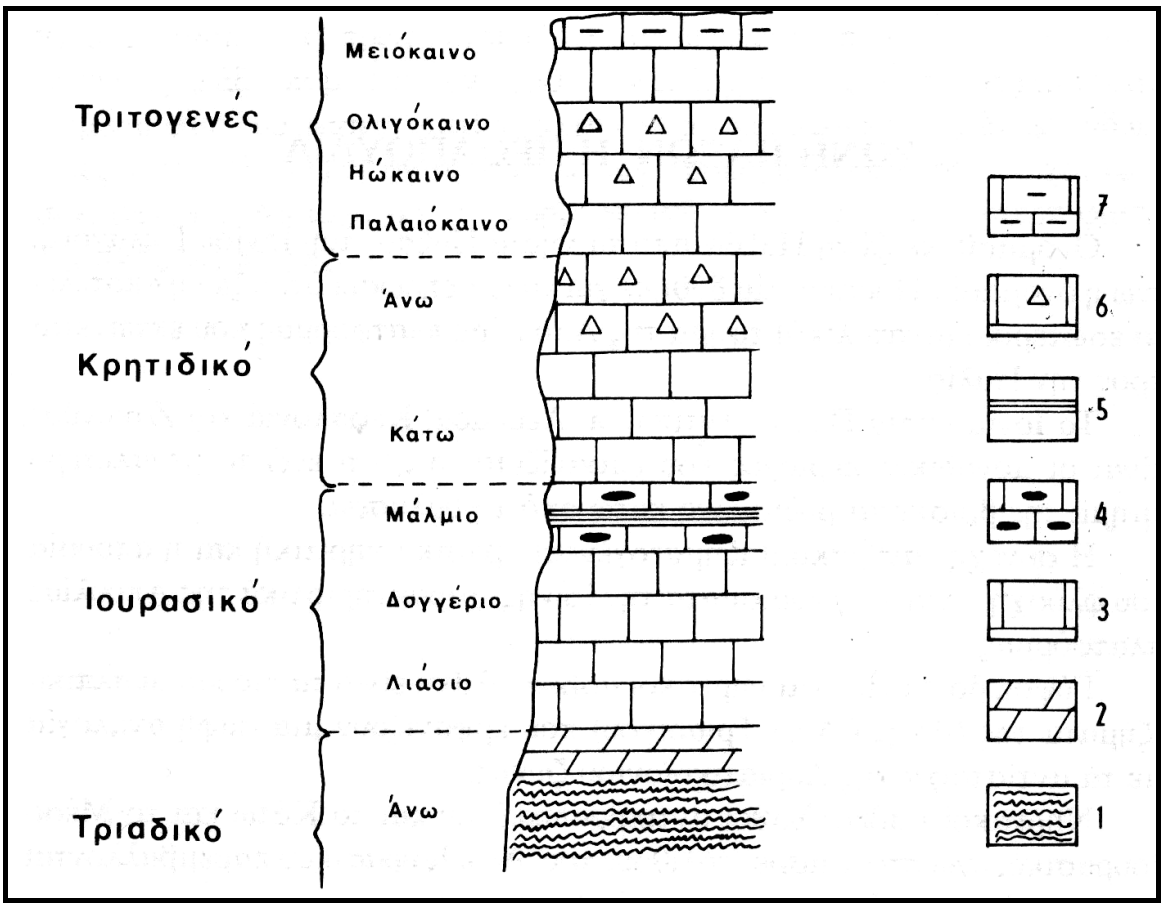
Η Λευκάδα γεωλογικά ανήκει στη ζώνη Παξών.(Μουντράκης, 1985) Η ζώνη αυτή πήρε το όνομά της από τα νησιά Παξοί του Ιονίου Πελάγους ενώ η ονομασία Προαπουλία δόθηκε για να υποδηλώσει ότι η ζώνη αποτελεί το εσωτερικό (ανατολικό) τμήμα της Απουλίας πλατφόρμας που εκτείνεται προς την Ιταλία.

Τα Ιόνια νησιά Παξοί, Αντίπαξοι, Λευκάδα, Κεφαλονιά και Ζάκυνθος είναι οι μοναδικές περιοχές που εμφανίζεται η ζώνη ενώ το μεγαλύτερο τμήμα της βρίσκεται βυθισμένο κάτω από τη θάλασσα. Η συνεχής ανθρακική ιζηματογένεση, κυρίως νηριτική και η απουσία φλύσχη είναι τα γνωρίσματα της ζώνης, που είναι χαρακτηριστικά της Απουλίας.

Γύψοι, δολομίτες και νηριτικοί ασβεστόλιθοι είναι τα πιο παλιά αλπικά ιζήματα της ζώνης (Άνω Τριαδικού) που εμφανίζουν σαφή αναλογία με τα αντίστοιχα της Αδριατικοϊονίου ζώνης. Νηριτικοί ασβεστόλιθοι αντιπροσωπεύουν το Κάτω και το Μέσο Ιουρασικό, ενώ στους ασβεστόλιθους του Άνω Ιουρασικού παρεμβάλλονται μερικές ενστρώσεις από κερατόλιθους και μάργες. Η ανθρακική ιζηματογένεση συνεχίσθηκε αδιάκοπα όλο το Κρητιδικό και το Παλαιογενές (Παλαιόκαινο – Ηώκαινο - Ολιγόκαινο) με την απόθεση νηριτικών ασβεστολίθων λευκών ή τεφρών που συχνά εμφανίζονται μικρο – λατυποπαγείς.

Η θαλάσσια ιζηματογένεση συνεχίστηκε στη ζώνη Παξών κατά το Νεογενές με νηριτικούς και μαργαϊκούς, ημιπελαγικούς ασβεστόλιθους του Κάτω Μειοκαίνου. Αυτή η θαλάσσια ιζηματογένεση, που φαίνεται ότι διακόπηκε μεταξύ Μειοκαίνου - Πλειοκαίνου με το σχηματισμό του Αιγαιακού τόξου, συνεχίζεται φυσικά και σήμερα στις περιοχές της ζώνης που παραμένουν κάτω από τη θάλασσα.

Δεν είναι όμως εξακριβωμένο αν η ανάδυση ήταν αρχικά ενιαία για όλη τη ζώνη Παξών και έγινε με μια παροξυσμική ορογενετική φάση (όπως πιστεύεται από ορισμένους) και στη συνέχεια έγινε βύθιση με ρηξιγενή τεκτονική του χώρου ανάμεσα στα νησιά Παξοί, Λευκάδα, Κεφαλονιά Ζάκυνθος που σήμερα αποτελούν τις μοναδικές εμφανίσεις της ζώνης, ή η ανάδυση των νησιών έγινε μεμονωμένα από την τεκτονική συμπίεσης που έδωσε κατά το σχηματισμό του Αιγαιακού (Ελληνικού) τόξου κι επομένως η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπα στον υπόλοιπο χώρο της ζώνης (***Σχ 5.1***).




**Σχήμα 5.1** Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της ζώνης Παξών (Μουντράκης 1985)
1: Γύψοι, 2: Δολομίτες, 3: Νηριτικοί ασβεστόλιθοι, 4: Ασβεστόλιθοι με κερατολιθικές ενστρώσεις, 5: Μαργαϊκές ενστρώσεις, 6: Ασβεστόλιθοι μικρολατυποπαγείς, 7: Μαργαϊκοι ασβεστόλιθοι.

Η Λευκάδα έχει πληγεί αρκετές φορές από ισχυρούς σεισμούς, οι οποίοι προκάλεσαν κατάρρευση σπιτιών, τραυματισμούς ακόμη και θανάτους ανθρώπων (Παπαζάχος & Παπαζάχου 2002). Αρκετές ιστορικές πηγές αποκαλύπτουν ότι συχνά είναι τα φαινόμενα ισχυρών σεισμών (M≥6.0), προκαλώντας πολύ σοβαρές καταστροφές κατά μήκος της δυτικής πλευράς του νησιού, επιβεβαιώνοντας τις σχέσεις τους με το παράλληλο ρήγμα της δυτικής ακτής.

Εκτός από τους μεσαίου μεγέθους σεισμούς που έλαβαν χώρα στην περιοχή, τα τελευταία σεισμικά γεγονότα της τάξης μεγέθους M≥6.0 στις 22/4/1948 M=6.5 στο νότιο τμήμα και δυο μήνες αργότερα στης 30/6/1948 M=6.4 στο βόρειο τμήμα. Αξίζει να σημειωθεί ότι η περίοδος του ενεργού ρήγματος είναι της τάξης των μερικών δεκαετιών. Ένας ακόμη κίνδυνος για το νησί της Λευκάδας είναι οι πολλοί συχνοί σεισμοί που γίνονται στο γειτονικό νησί της Κεφαλονιάς και ειδικότερα στο βόρειο τμήμα της. Το 1915, όταν στην Κεφαλονιά έγιναν δυο μεγάλοι σεισμοί στις 27/01 (M=6.6) και στης 07/08 (M=6.7) αναφέρθηκαν σοβαρές ζημίες στην νότια Λευκάδα. Το 1953 τρία σεισμικά γεγονότα (M=6.4, 7.2, και 6.3) που έγιναν

στην Κεφαλονιά και στην Ιθάκη προκάλεσαν επίσης καταστροφές στο νησί της Λευκάδας.

## 5.2 Τα αίτια δημιουργίας των καταπτώσεων βράχων στο Δρυμώνα-Στοιχεία του σεισμού

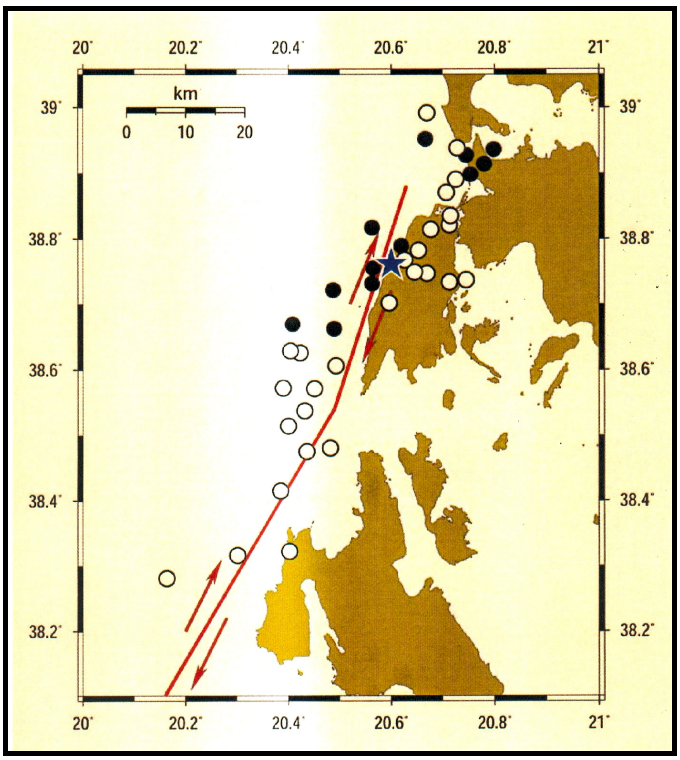
Ο σεισμός της 14/08/2003 προκάλεσε την εκδήλωση των καταπτώσεων στο ανάντη πρανές του χωριού Δρυμώνας, καθώς διατάραξε την κρίσιμη ισορροπία του βραχώδους πρανούς με την προσωρινή μεταβολή των τάσεων. Σύμφωνα με τους Karakostas et al. (2004) ο σεισμός οφείλεται στην ενεργοποίηση του ρήγματος ΒΔ του νησιού (***Σχ.5.2***) ο οποίος προκάλεσε κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων κυρίως κατά μήκος της βορειοδυτικής ακτής.

Η ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους M = 6.4, που είχε επίκεντρο δυτικά της Λευκάδας, έγινε ιδιαίτερα αισθητή εκτός από το νησί της Λευκάδας και στους Νομούς Πρεβέζης, Αιτωλοακαρνανίας, Κεφαλληνίας Ιθάκης, και Άρτας. Η ισχυρή εδαφική κίνηση του σεισμού καταγράφηκε από το μόνιμο δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ.

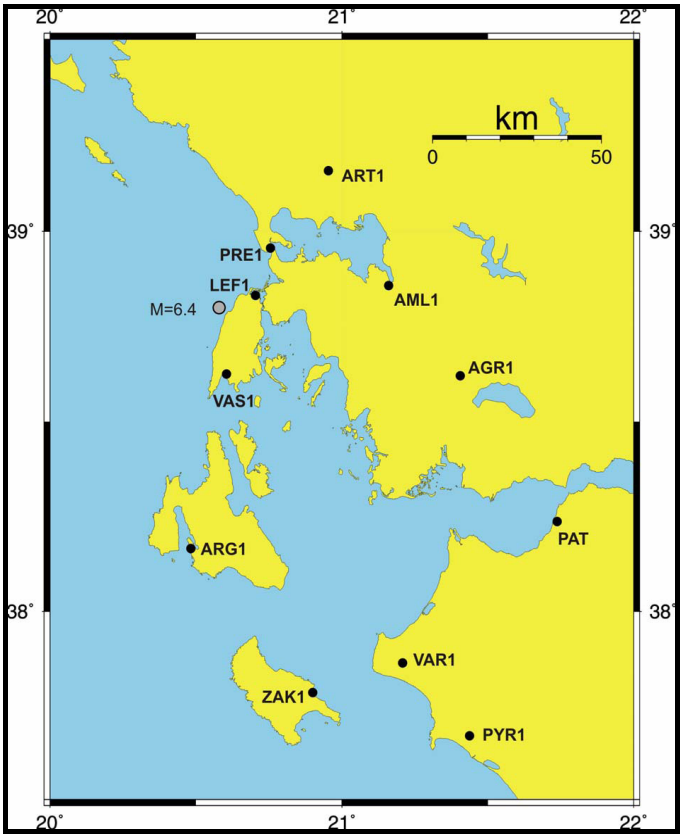
Τα όργανα καταγραφής ισχυρής κίνησης που διεγέρθηκαν από το σεισμό βρίσκονται εγκατεστημένα στις πόλεις, Λευκάδα (LEF1), Πρέβεζα (PRE1), Αμφιλοχία (AML1), Αγρίνιο (AGR1), Αργοστόλι (ARG1) Ζάκυνθο (ZAK1) και Βαρθολομιό (VAR1). Στο σχήμα 5.3 παρουσιάζονται οι σταθμοί του μόνιμου δικτύου του ΙΤΣΑΚ. Στο ίδιο σχήμα δίνεται και το επίκεντρο του κύριου σεισμού. Τα παραπάνω όργανα τα οποία κατέγραψαν την ισχυρή κίνηση είναι ψηφιακού τύπου QDR της εταιρείας KINEMETRICS εκτός από το όργανο στο Βαρθολομιό που είναι τύπου ETNA της ίδιας εταιρείας.

Την ίδια μέρα με το χρόνο γένεσης του σεισμού, κλιμάκιο του ΙΤΣΑΚ μετέβη στην Λευκάδα και εγκατέστησε προσωρινό δίκτυο επιταχυνσιογράφων. Η εγκατάσταση των οργάνων είχε ως στόχο την παρακολούθηση της σεισμικής κίνησης, κυρίως, σε θέσεις όπου παρατηρήθηκαν βλάβες και σε διάφορες εδαφικές συνθήκες.

Συνολικά εγκαταστάθηκαν 6 (έξι) επιταχυνσιογράφοι εκ των οποίων οι 4 (τέσσερις) ανήκουν στο ΙΤΣΑΚ και οι 2 (δύο) στο Εργαστήριο Εδαφομηχανικής και Θεμελιώσεων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Α.Π.Θ.). Όλα τα όργανα είναι τύπου CMG5 της εταιρείας Guralp.



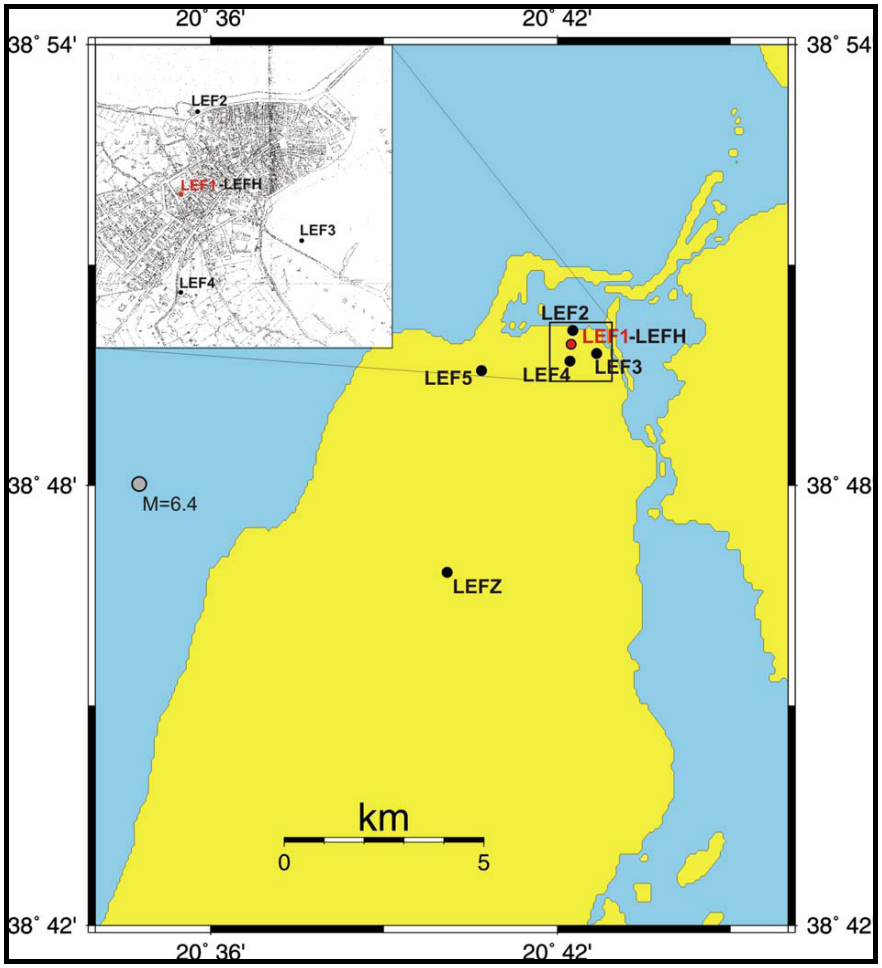

**Σχήμα 5.2** Με αστέρι συμβολίζεται ο κυρίως σεισμός, με μαύρο κύκλο δείχνονται οι μετασεισμοί μέχρι της 20:30 στις 14/8/2003 ενώ με άσπρο οι μετασεισμοί μετά από αυτήν την ώρα και μέχρι τις 21/8/2003 (Karakostas et al. 2004)




**Σχήμα 5.3** Σταθμοί μόνιμου δικτύου ΙΤΣΑΚ. Με γκρι κύκλο απεικονίζεται το επίκεντρο του σεισμού στις 14 Αυγούστου 2003, μεγέθους M=6.4. (Ι.Τ.Σ.Α.Κ 2003)

Τα ονόματα των σταθμών του μόνιμου και του προσωρινού δικτύου που εγκαταστάθηκαν στη Λευκάδα καθώς επίσης και οι θέσεις τους δίνονται στο σχήμα 5.3. Οι Karakostas et al. (2004) θεωρούν το επίκεντρο του σεισμού στις ακτές του νησιού (***Σχ 5.2***).

Στο σχήμα 5.4 παρουσιάζονται οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων του προσωρινού δικτύου που εγκαταστάθηκε στο Νησί της Λευκάδας. Στη μεγέθυνση στο άνω αριστερά τμήμα του σχήματος δίνονται τα όργανα που είναι εγκατεστημένα στην πόλη της Λευκάδας. Στην θέση του νοσοκομείου της Λευκάδας (κόκκινος κύκλος) υπάρχει εκτός από το όργανο του προσωρινού δικτύου (LEFH) και όργανο του μόνιμου δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (LEF1).




**Σχήμα 5.4** Θέσεις επιταχυνσιογράφων του προσωρινού δικτύου που εγκαταστάθηκε στη Λευκάδα. Στη μεγέθυνση στο άνω αριστερά τμήμα δίνονται τα όργανα που είναι εγκατεστημένα στην πόλη της Λευκάδας. Στη θέση του Νοσοκομείου της Λευκάδας (κόκκινος κύκλος) υπάρχει εκτός από το όργανο του προσωρινού δικτύου (LEFH) και όργανο του μόνιμου δικτύου επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (LEF1). Με γκρι κύκλο δίνεται το επίκεντρο του σεισμού στης 14 Αυγούστου 2003 μεγέθους M=6.4 (Ι.Τ.Σ.Α.Κ 2003)

Τα επιταχυνσιογράμματα του κύριου σεισμού είναι δυνατόν να μας δώσουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά της

ισχυρής σεισμικής κίνησης όπως οι μέγιστες εδαφικές τιμές της επιτάχυνσης, pga, ταχύτητας, pgv, μετάθεσης, pgd, καθώς και οι φασματικές τιμές αυτών. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπολογίζονται με βάση τις διορθωμένες καταγραφές ισχυρής κίνησης.

Όλες οι καταγραφές του κύριου σεισμού επεξεργάσθηκαν και διορθώθηκαν με βάση την πάγια διαδικασία που εφαρμόζεται στο ΙΤΣΑΚ. Ο καθορισμός των ψηφιακών φίλτρων της διόρθωσης εκτιμήθηκε με βάση τη διαδικασία σήματος προς θόρυβο, προκειμένου οι καταγραφές, κυρίως των απομακρυσμένων σταθμών, των οποίων το συχνοτικό περιεχόμενό τους βρίσκεται στο όριο του θορύβου, να απομονώσουν το συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος σε σχέση με αυτό του θορύβου. Οι μέγιστες εδαφικές τιμές των παραμέτρων ισχυρής κίνησης δίνονται στον Πίνακα 5.1.

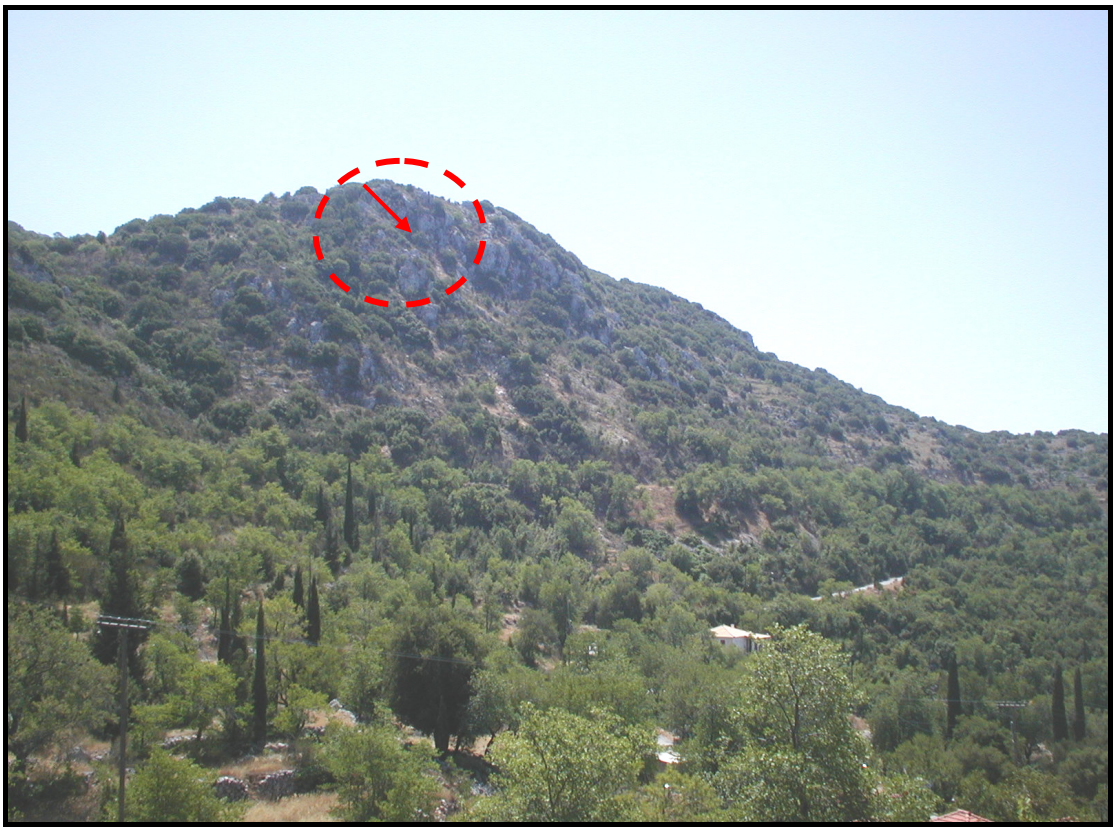
**Πίνακας 5.1** Μέγιστες εδαφικές τιμές επιταχύνσεων, ταχυτήτων και μεταθέσεων του σεισμού της 14ης Αυγούστου 2003 L*: Επιμήκης Συνιστώσα V*: Κατακόρυφη Συνιστώσα T*: Εγκάρσια Συνιστώσα (Ι.Τ.Σ.Α.Κ 2003)

| **Θέση** | **Επιτάχυνση (cm/sec$^2$)** | | | **Ταχύτητα (cm/sec)** | | | **Μετάθεση(cm)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **L*** | **V*** | **T*** | **L*** | **V*** | **T*** | **L*** | **V*** | **T*** |
| **Λευκάδα LEF103002** | 333.4 | 185.6 | 408.6 | 29.7 | 9.9 | 31.7 | 4.3 | 2.3 | 4.6 |
| **Πρέβεζα PRE10301** | 153.3 | 57.9 | 141.9 | 15.1 | 3.3 | 13.8 | 1.5 | 0.6 | 1.8 |
| **Αμφιλοχία AMF10301** | 28.6 | 7.5 | 28.7 | 1.4 | 0.5 | 0.9 | 0.08 | 0.03 | 0.07 |
| **Αργοστόλι ARG10301** | 81.6 | 30.0 | 50.7 | 3.4 | 1.3 | 3.1 | 0.24 | 0.15 | 0.25 |
| **Αγρίνιο AGR10301** | 28.6 | 12.7 | 30.4 | 2.3 | 0.8 | 2.1 | 0.24 | 0.09 | 0.21 |
| **Ζάκυνθος ZAK10201** | 23.2 | 11.7 | 28.2 | 2.6 | 0.9 | 2.3 | 0.37 | 0.14 | 0.36 |
| **Βαρθο/μιο VAR10317** | 18.7 | 7.4 | 19.5 | 2.0 | 0.7 | 2.3 | 0.38 | 0.14 | 0.35 |

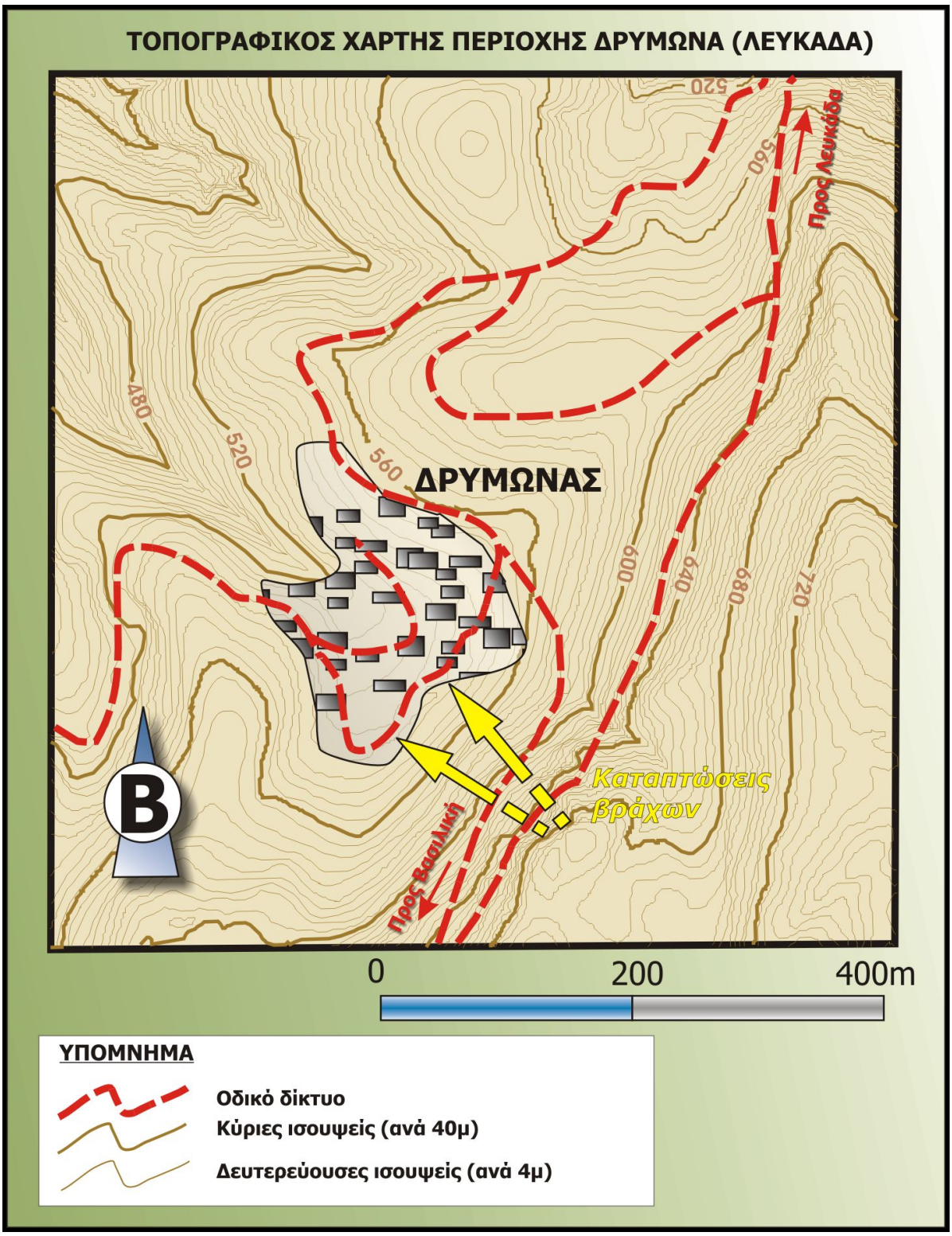
## 5.3 Γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες της περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης είναι το ανάντη πρανές (***Φωτ. 5.1 και 5.2***) του χωριού Δρυμώνα, του Δήμου Σφακιωτών Ν. Λευκάδας όπου κατά τη διάρκεια του σεισμού (Ms = 6.4) στης 14/8/03 προκλήθηκαν σημαντικές καταπτώσεις βράχων. Για την καλύτερη εποπτεία της περιοχής ψηφιοποιήθηκε τοπογραφικός χάρτης της περιοχής με κλίμακα 1:5000 (***Σχ. 5.5)*** ώστε να δημιουργηθούν τρισδιάστατα μοντέλα της περιοχής ***(Σχ. 5.6* και 5.7).**

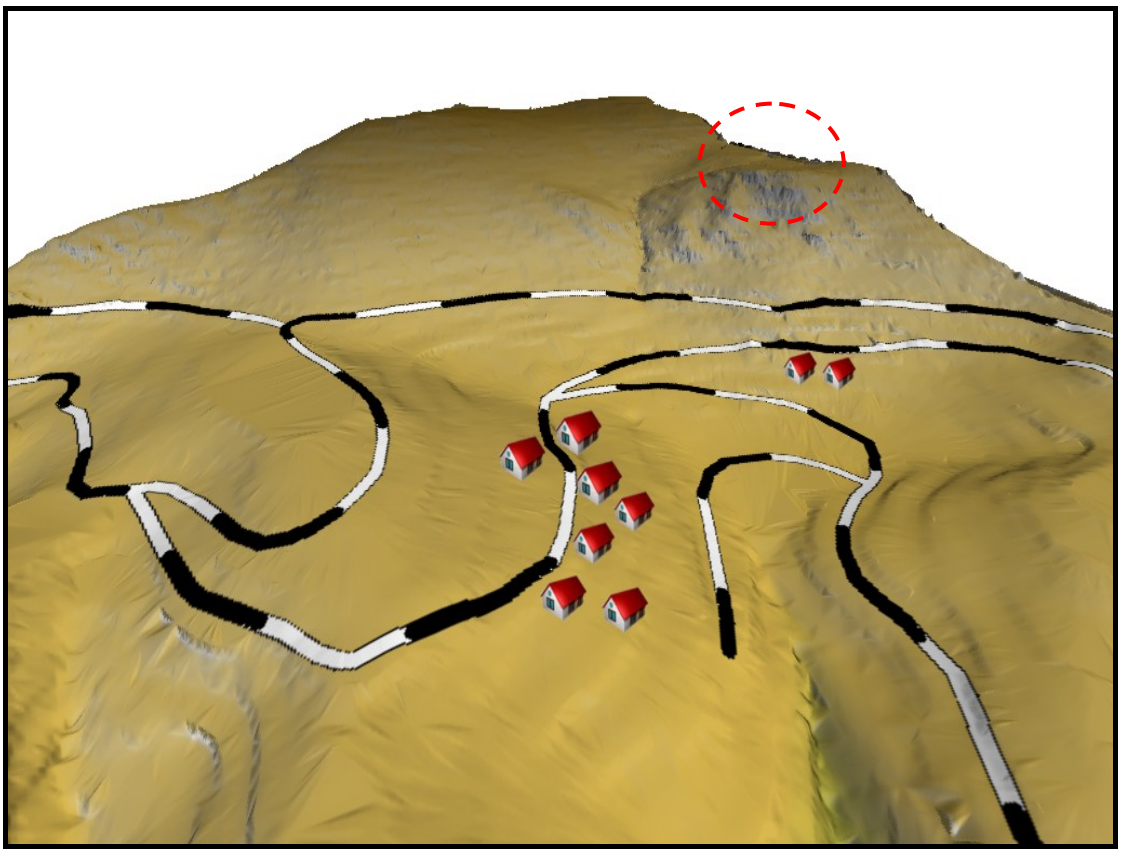
**Φωτ. 5.1** Η περιοχή αποκόλλησης των βράχων



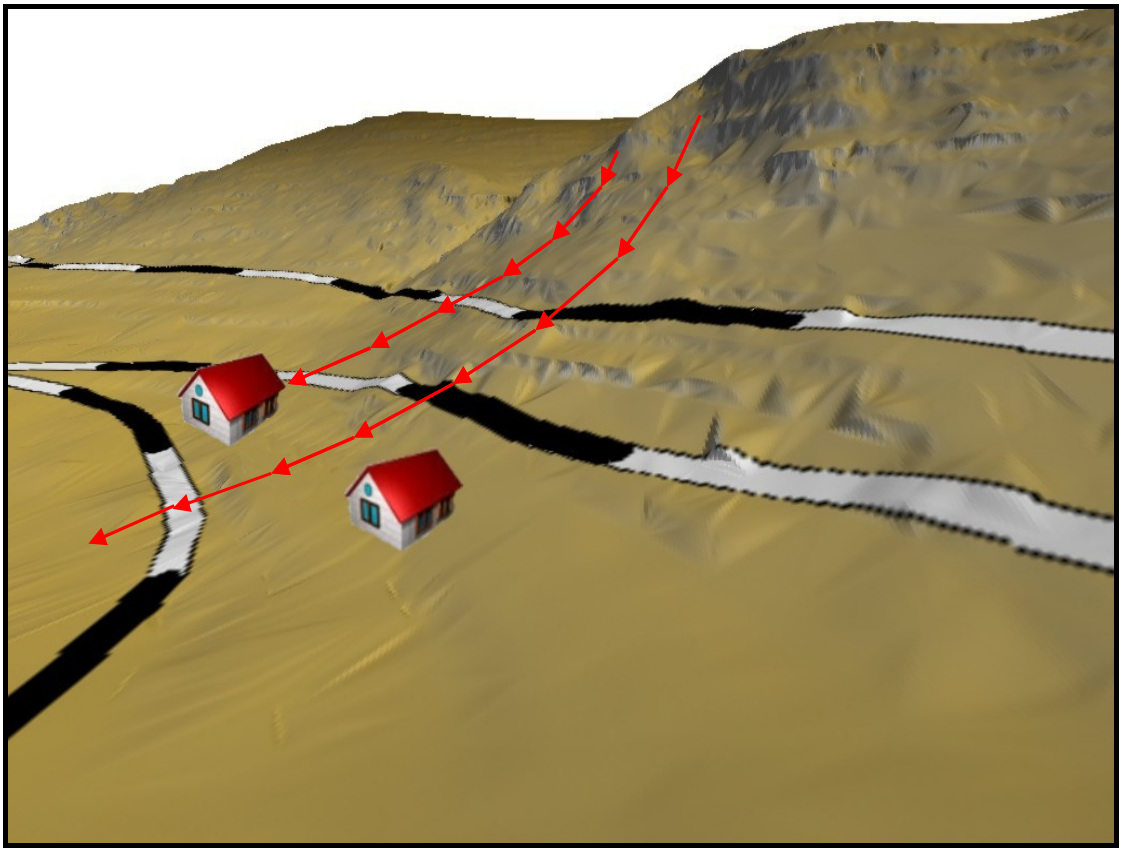
**Φωτ. 5.2** Η περιοχή αποκόλλησης των βράχων από άλλη όψη




**Σχήμα 5.5** Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής



**Σχήμα 5.6** Τρισδιάστατη απεικόνιση της ευρύτερης περιοχής

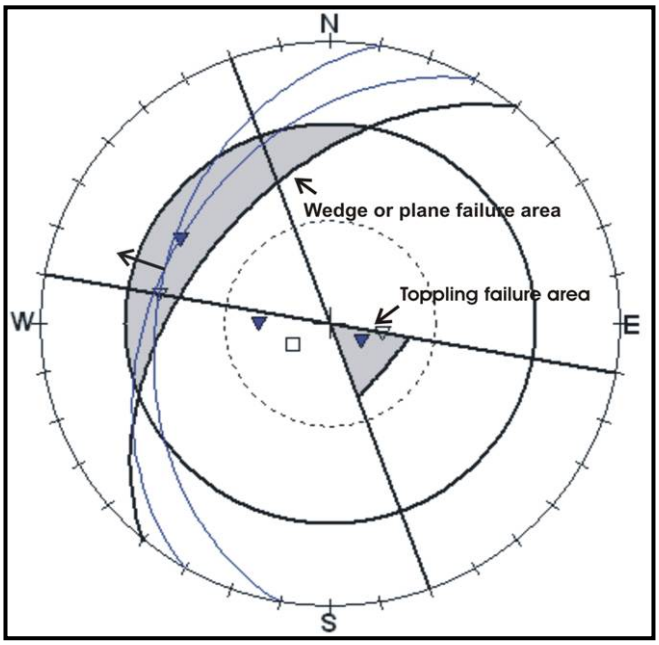


**Σχήμα 5.7** Τρισδιάστατη απεικόνιση του πρανούς με τις τροχιές των βράχων

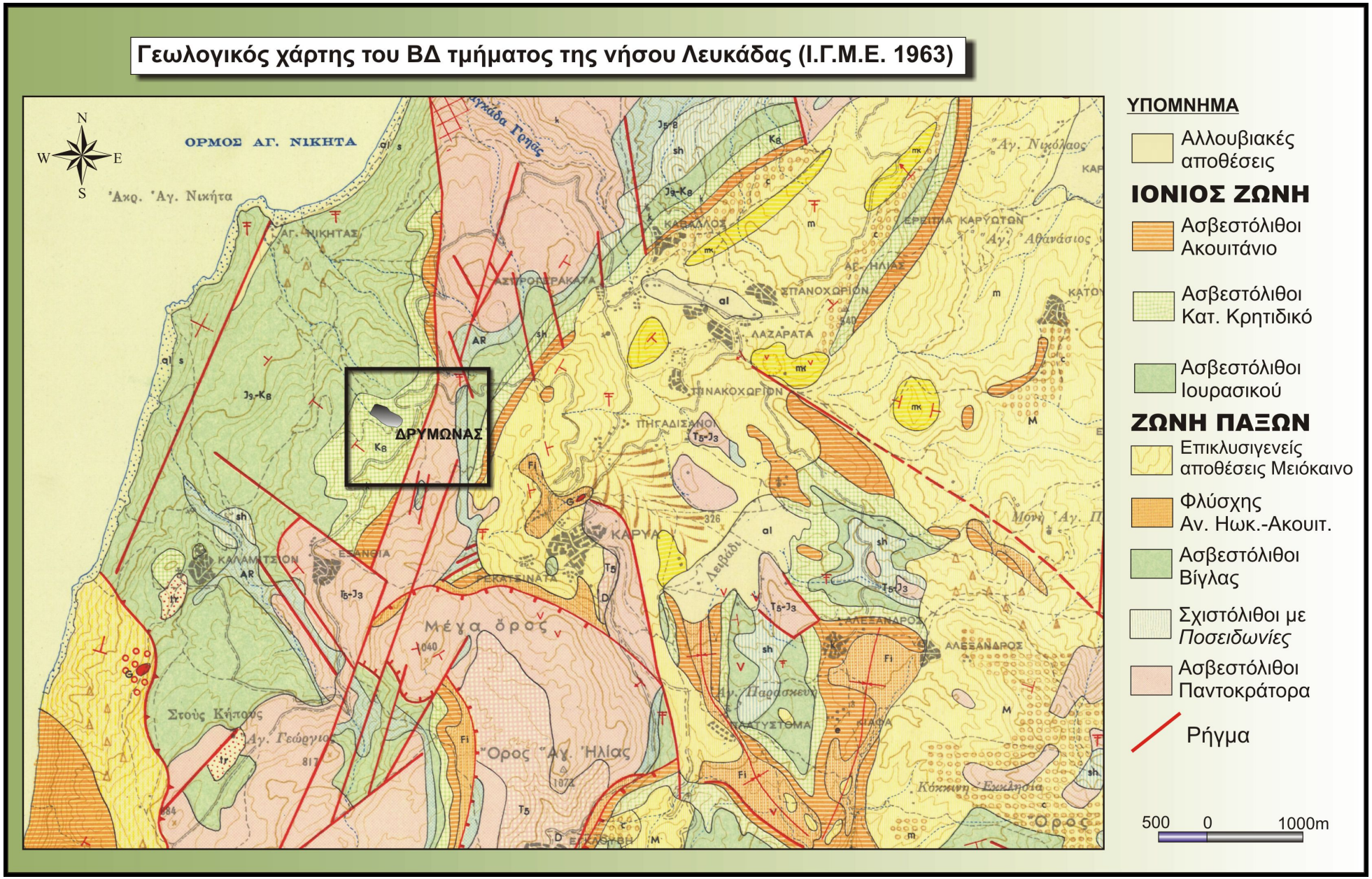
Το ανώτερο τμήμα του πρανούς, από όπου αποκολλήθηκαν και κύλησαν βράχοι ενδεικτικού μεγέθους 2,5 x 2,5 x 2,5 m, προς τον οικισμό Δρυμώνα, δομείται, γεωλογικά, από παχυστρωματώδεις λευκούς νηριτικούς ασβεστόλιθους του Αν. Τριαδικού, της σειράς Παντοκράτορα (***Σχ. 5.8***, ΙΓΜΕ, 1963). Η κλίση του πρανούς είναι περίπου $50^0$ προς τα ΒΔ. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται τεμαχισμένοι σε όγκους ακμής 1-2 m, που οριοθετούνται από τεκτονικές ασυνέχειες και τη στρώση του ασβεστόλιθου. Στα χαμηλότερα τμήματα του πρανούς εμφανίζεται, παχυστρωματώδης μικρολατυποπαγής ασβεστόλιθος του Αν. Σενώνιου (ΙΓΜΕ, 1963) ευρισκόμενος σε τεκτονική επαφή με τον Ανωτριαδικό ασβεστόλιθο που περιγράφηκε παραπάνω.

Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή του τεστ Markland στο αντιπροσωπευτικό στερεογραφικό διάγραμμα (***Σχ. 5.9***), οι διευθύνσεις των ασυνεχειών παρέχουν τη δυνατότητα ολίσθησης κυρίως κατά επίπεδο καθώς και ανατροπής βράχων διαμέτρου 2-3m προς την κατάντη περιοχή, όπου βρίσκεται η οικιστική περιοχή του χωριού.

Οι όγκοι βράχων που δημιουργούνται είναι δυνατό να ολισθήσουν ή και άλλοι να ανατραπούν υπό προϋποθέσεις (όπως ήταν οι εντατικές συνθήκες της ημέρας του σεισμού ή σε συνθήκες έντονης και παρατεταμένης βροχόπτωσης). Πρέπει να σημειωθεί ότι η καρστικοποίηση των ασβεστόλιθων, με διαλυτοποίηση του CaCO3, επιταχύνεται με τη διείσδυση του επιφανειακού νερού στο εσωτερικό του ασβεστόλιθου, μέσω των τεκτονικών ασυνεχειών, οι οποίες διευρύνονται μειώνοντας ακόμη περισσότερο την ευστάθεια των ασβεστολιθικών όγκων.




**Σχήμα 5.9** Εφαρμογή του test Markland (1972)




**Σχήμα 5.8** Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης

**Πίνακας 5.2** Τιμές του RHRS για το ανάντη πρανές του χωριού Δρυμώνα

| | **Τμήμα όπου σημειώθηκαν καταπτώσεις** | |
|---|---|---|
| **Παράμετρος** | τιμή | βαθμολόγηση |
| **Ύψος Πρανούς** | 100 | 81 + |
| **Αποτελεσματικότητα της τάφρου** | Αδύνατη | 81 + |
| **Μέσος κίνδυνος οχημάτων** | 3 | 1 + |
| **Ποσοστό απόστασης - αντίδρασης του οδηγού** | 3 | 3 + |
| **Το πλάτος του αυτοκινητόδρομου** | 7 | 81 + |
| **Γεωλογικός χαρακτήρας** | Πολύ κακός | 81 + |
| **Τριβή του βράχου** | κυματιστή | 9 + |
| **Το μέγεθος του μπλοκ** | 2,5 m | 81 + |
| **Το κλίμα και η παρουσία του νερού** | Υψηλά κατά-κρημνίσματα | 27 |
| **Ιστορικό καταπτώσεων βράχων** | Περιστασιακές καταπτώσεις | 3 |
| **Σύνολο** | 448 | |
| **Τελικό σύνολο** | 498 | |

Στον παραπάνω Πίνακα 5.2 παρουσιάζεται η εφαρμογή του συστήματος της ταξινόμησης RHRS στο ανάντη πρανές του χωριού Δρυμώνα. Προκύπτει λοιπόν πως η τιμή που παίρνει ο δείκτης RHRS είναι 448. Σε αυτήν την τιμή πρέπει να συνυπολογισθεί το γεγονός ότι ορισμένες τιμές ήταν εκτός κλίμακας, όποτε εκτιμήθηκε μια τιμή περίπου + 50 η οποία και πρέπει να προστεθεί στην τελική βαθμολόγηση για την αρτιότερη εκτίμηση του δείκτη. Η τελική τιμή του RHRS εκτιμάται σε 498.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως (βλ. Κεφ. 4) για ταξινομήσεις που άγγιζαν το 500 κρίνεται επιτακτική η εφαρμογή εκτάκτων μέτρων προστασίας.

## 5.4 Ανάλυση της τροχιάς

Η τροχιά των καταπτώσεων, αναλύθηκε και προσομοιώθηκε με τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo (Κεφ. 1.2) με τη βοήθεια του λογισμικού "RocFall" της εταιρίας "Rocscience". Ελήφθησαν υπόψη τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του βράχου, η γεωμετρία του πρανούς, τα υλικά της επιφάνειας του, οι θέσεις των αποτυπωμάτων αναπήδησης των βράχων, καθώς και η τροχιά που οι βράχοι ακολούθησαν. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνονται στο σχήμα 5.10.

Στο σχήμα 5.11 ξεχωρίζουν οι τροχιές των βράχων οι οποίες στη συγκεκριμένη περιοχή δεν κυλούνε αλλά αναπηδούν. Για τη δημιουργία και επαλήθευση της διαδρομής της τροχιάς κατάπτωσης των βράχων, εφαρμόσθηκε αντίστροφή ανάλυση (back analysis).

Επίσης μελετήθηκαν επαρκώς οι διαστάσεις των κατολισθέντων βράχων (***Φωτ. 5.3 και 5.4)*** και αναλύθηκαν τα αποτυπώματα των αναπηδήσεων και των τροχιών τόσο στο πρανές (***Φωτ. 5.5***) όσο και στον ασφαλτοτάπητα (***Φωτ. 5.6***), όπου σε μια θέση σύγκρουσης δημιουργήθηκε κρατήρας ακτίνας 1 m.

Έτσι, κατά τη μελέτη με το λογισμικό δόθηκαν αρχικές συνθήκες που πλησιάζουν την πραγματικότητα με εύρος τιμών ώστε να εμπεριέχονται οι άκρες συνθήκες. Οι τιμές των αρχικών συνθηκών είναι: η αρχική ταχύτητα των βράχων: 0,5 m/s, μεγαλύτερη δηλαδή από την ταχύτητα που μετρήθηκε στην πόλη της Λευκάδας (Πίνακας 5.1), αφού στον Δρυμώνα δεν υπάρχει εγκατεστημένος επιταχυνσιογράφος και το βάρος των ασβεστολιθικών βράχων 40000 Kg ±5000.

Σε αρκετές θέσεις του πρανούς, ο ασβεστόλιθος καλύπτεται από εδαφικό μανδύα μικρού πάχους με περιστασιακή χαμηλή βλάστηση (πουρνάρια). Οι δρόμοι της περιοχής μελέτης είναι ασφαλτοστρωμένοι. Τα χαρακτηριστικά αυτά, συμβάλουν στην απώλεια ενέργειας των βράχων κατά την κρούση και αναπήδηση τους στην επιφάνεια του πρανούς.

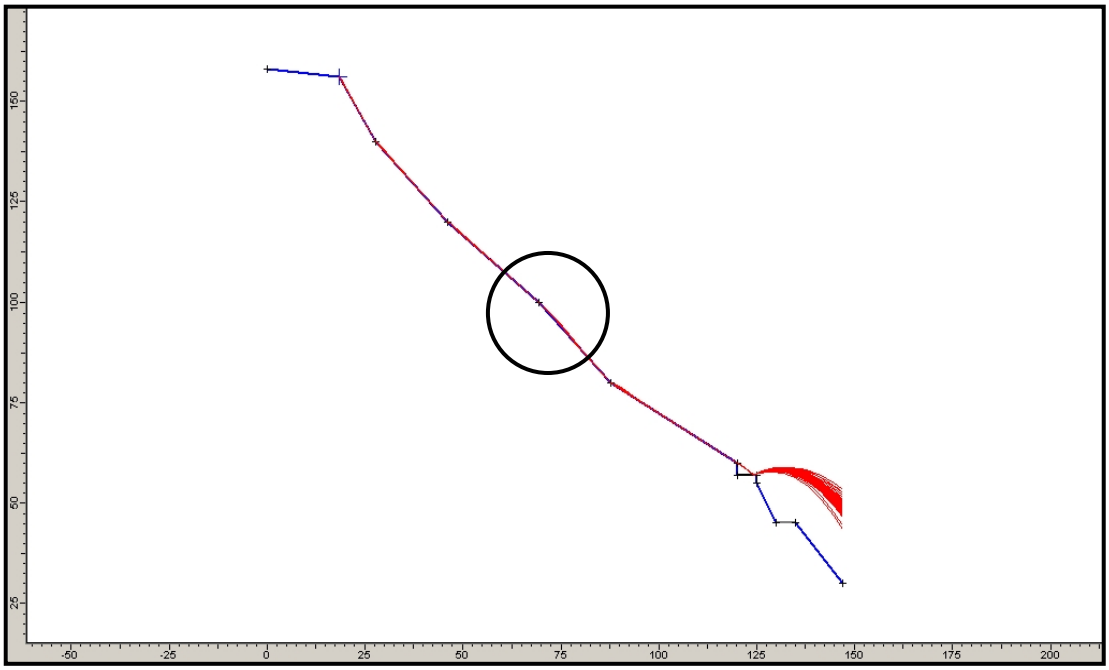
**Φωτ. 5.3** Βράχος που σταμάτησε την κίνηση του στην είσοδο ενός σπιτιού

**Φωτ. 5.4** Βράχος που σταμάτησε την κίνηση του σε χωράφι μέσα στην οικιστική περιοχή του Δρυμώνα.

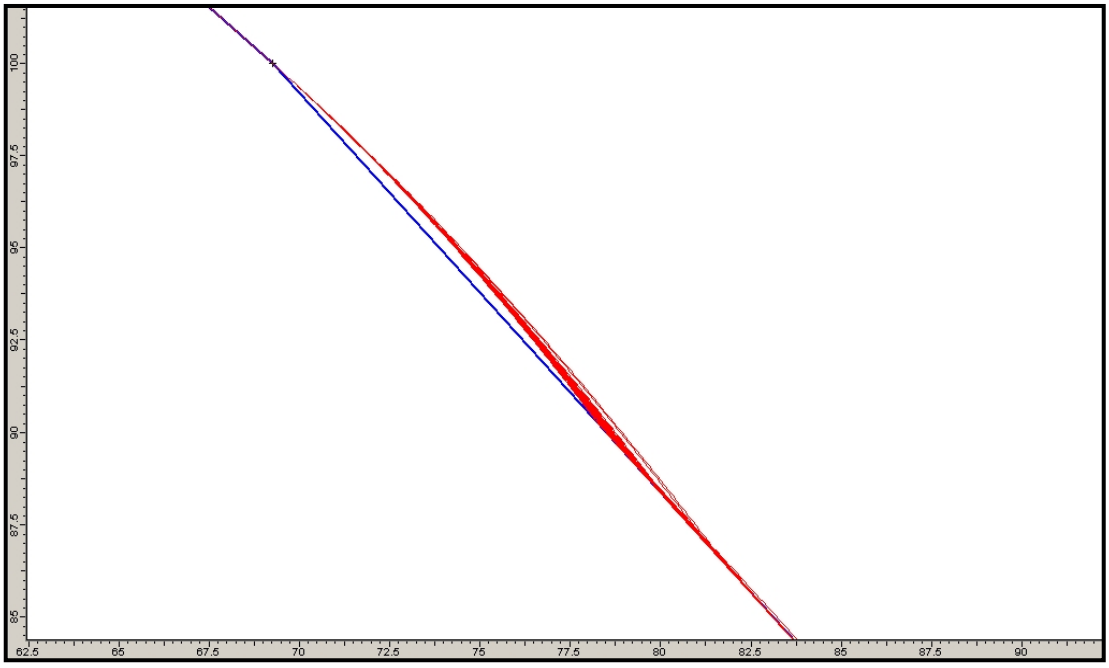
**Φωτ. 5.5** Αποτύπωμα τροχιάς στο πρανές

**Φωτ. 5.6** Κρατήρας ακτίνας 1m στην άκρη του ασφαλτοτάπητα

Η παραμένουσα ενέργεια υπολογίστηκε με βάση το ¨συντελεστή απόδοσης¨ της επιφάνειας πρανούς και του ασφαλτοτάπητα.




**Σχήμα 5.10** Η τροχιά των καταπιπτόντων ασβεστολιθικών blocks. Με μπλε χρώμα η επιφάνεια του πρανούς και με κόκκινο οι πιθανές τροχιές των βράχων.

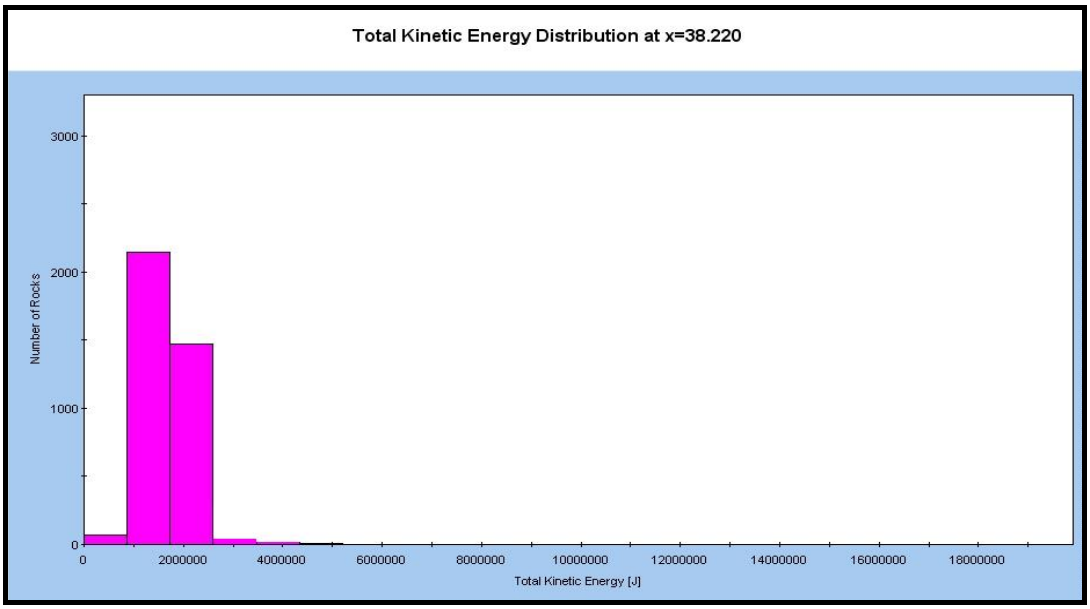



**Σχήμα 5.11** Μεγέθυνση της επιλεγμένης περιοχής.

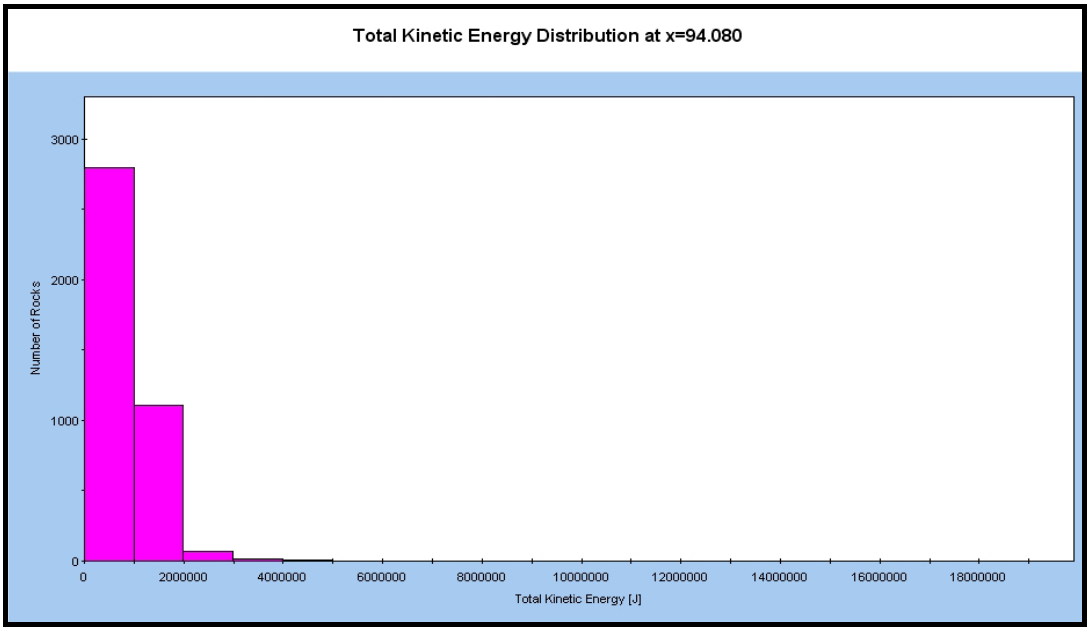
Ο συντελεστής απόδοσης για ασβεστολιθικό πρανές με κατά θέσεις εδαφικό μανδύα και χαμηλή βλάστηση εκτιμάται σε $R_n$= 0,303 και σε $R_t$ = 0,615 (Πίνακας 1.1, Robotham et al., 1995). Επίσης, ο συντελεστής

απόδοσης για την άσφαλτο των δρόμων εκτιμάται σε $R_n$ = 0,4 και σε $R_t$ = 0,9 (Πίνακας 1.1, Hoek, 1986, Σακελαρίου κ.α. 1995, RocFall Users Guide, 2001).

Από την ανάλυση της τροχιάς στην τομή του πρανούς, εντοπίστηκαν δυο θέσεις με οριζόντια απόσταση 38,220m και 94,080m από το σημείο εκκίνησης των βράχων, στις οποίες η κινητική ενέργεια εμφανίζεται περισσότερο μειωμένη ***(Σχ. 5.12α και 5.12β***).




**Σχήμα 5.12α** Κινητική ενέργεια στα 38,220 m




**Σχήμα 5.12β** Κινητική ενέργεια στα 94,080 m

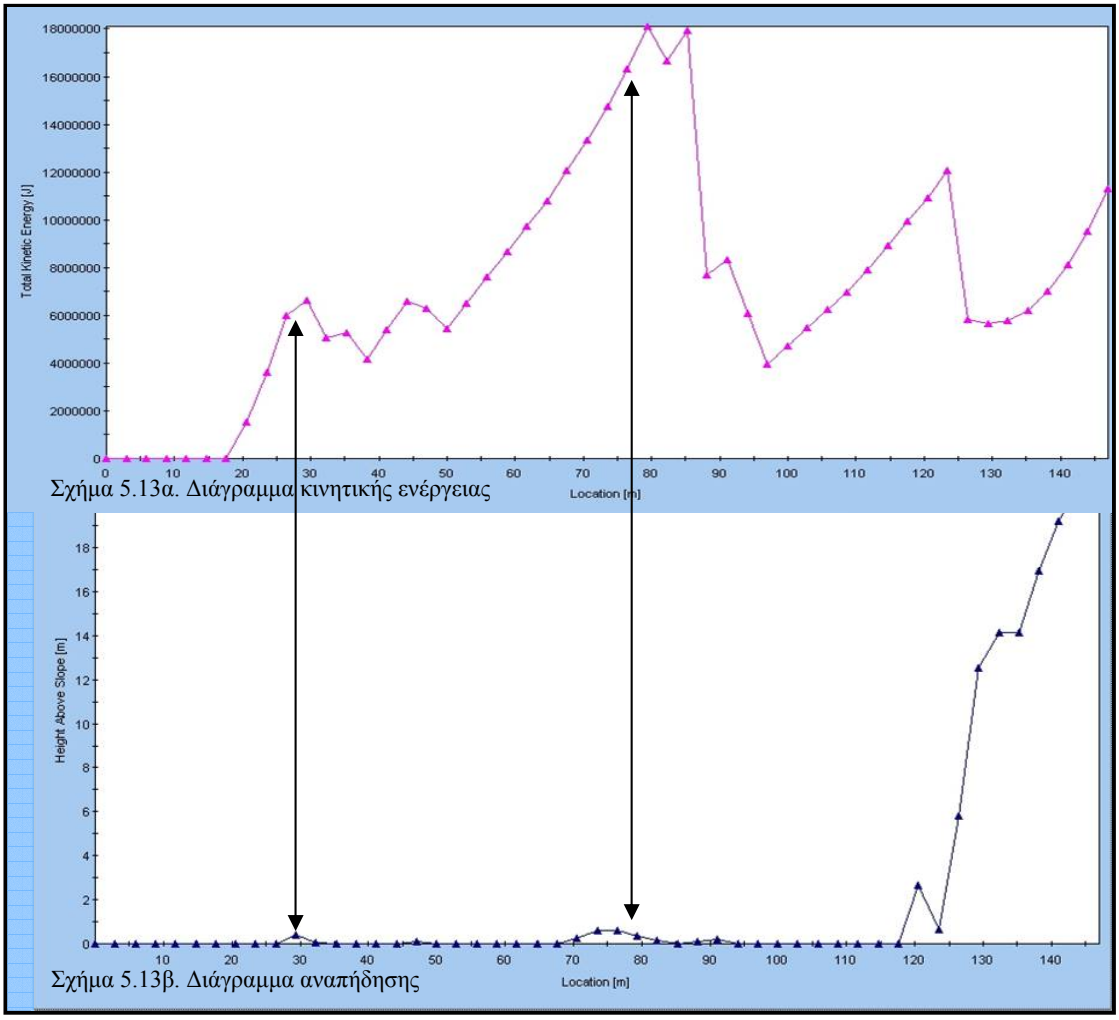
Ακόμη παρατηρήθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση στην κινητική ενέργεια και στις αναπηδήσεις (***Σχ. 5.13α***) και (***Σχ. 5.13β***). Η κινητική ενέργεια έχει

εύρος τιμών από το μηδέν (0) στην αρχή, έως 18.000.000 Joules κατά το τέλος της δεύτερης αναπήδησης. Όσο οι βράχοι βρίσκονται πάνω στο πρανές σημειώνονται μόνο δυο αναπηδήσεις με μέγιστο το 1m πάνω από την επιφάνεια του πρανούς.

Πριν την σύγκρουση με το δρόμο σημειώνεται αναπήδηση 3m, λόγο φυσικά της μορφολογίας και μετά τη σύγκρουση με το δρόμο παρατηρείται αναπήδηση άνω των 19 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους φυσικά και πάλι λόγω της μορφολογίας.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι προς το τέλος της κάθε αναπήδησης, σημειώνεται και μέγιστο (peak) της κινητικής ενέργειας κάτι αναμενόμενο αφού όσο ο βράχος κινείται στο αέρα δε χάνει κινητική ενέργεια, αφού δε συναντά εμπόδια για να τον επιβραδύνουν.

Αντίθετα, όλη η δυναμική ενέργεια, που έχει λόγω θέσης, μετατρέπεται σε κινητική και μόλις συγκρουστεί με το πρανές η κινητική ενέργεια αρχίζει να μειώνεται έως ότου ξαναναπηδήσει ή τερματιστεί η πορεία του.




**Σχήμα 5.13** Χαρακτηριστική αντιστοιχία αναπήδησης και peak κινητικής ενέργειας

## 5.4.1 Μαθηματικοί υπολογισμοί για την ανάλυση της τροχιάς

Η κινητική ενέργεια υπολογίζεται από τον τύπο:

$$K.E=0,5\ mV^2 \qquad (5.1)$$

όπου: m = η μάζα του βράχου,
V = ταχύτητα του βράχου.

Αναλυτικότερα η κινητική ενέργεια πριν από την σύγκρουση του βράχου με το πρανές είναι

$$KE_B = 0,5mV_B^2 \qquad (5.2)$$

όπου η ταχύτητα $V_B$ πριν από την κρούση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_B = \sqrt{V_{XB}^2 + V_{YB}^2} \qquad (5.3)$$

όπου $V_X$ και $V_Y$ οι οριζόντια και η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας.

Η κινητική ενέργεια μετά τη σύγκρουση του βράχου με το πρανές είναι :

$$KE_A = 0,5mV_A^2 \qquad (5.4)$$

όπου η ταχύτητα $V_A$ μετά την κρούση υπολογίζεται από τον τύπο:

$$V_A = \sqrt{V_{XA}^2 + V_{YA}^2} \qquad (5.5)$$

όπου $V_{XA}$ και $V_{YA}$ οι οριζόντια και η κάθετη συνιστώσα της ταχύτητας.

Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για όλα τα σημεία και για όλες της κρούσεις καταλήγουμε στο διάγραμμα του σχήματος 6.13α.

Οι αναπηδήσεις υπολογίζονται από τον τύπο:

$$\Delta h=Y-H_S \qquad (5.6)$$

Όπου Δh το ύψος της αναπήδησης Y η θέση του βράχου ως προς τον κάθετο άξονα και Hs το εκάστοτε ύψος του πρανούς .

$$Y=Y_0+V_Y t+0,5gt^2 \quad (5.7)$$

Όπου: $Y_0$ = αρχικό ύψος του βράχου
$V_Y$ = κάθετη ταχύτητα
t= χρόνος.

Ο χρόνος υπολογίζεται από τον τύπο:

$$t = \left( \frac{X_2 - X_1}{V_X} \right) \quad (5.8)$$

$X_{1,2}$ είναι οι οριζόντιες θέσεις στις οποίες βρέθηκε ο βράχος με ταχύτητα V σε χρόνο t. Επαναλαμβάνοντας αυτή τη διαδικασία για όλα τα σημεία και για όλες της κρούσεις καταλήγουμε στο διάγραμμα του σχήματος 6.13β. Όλες οι πράξεις πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος Rocfall V.4.0.

## 5.5 Μέτρα προστασίας

Τα μέτρα προστασίας που προτείνονται είναι ευρέως διαδεδομένα και εφαρμόζονται σε τεχνικά έργα με έντονη μορφολογία και περιορισμένο χώρο για εφαρμογή κάποιων άλλων αναχαιτιστικών μέσων, όπως αυτό της τάφρου παγίδευσης.

Ακόμη η απομάκρυνση επικίνδυνων για κατάπτωση όγκων που περιλαμβάνει την απομάκρυνση ασταθών, χαλαρών και επικρεμάμενων βραχωδών τεμαχίων, είτε με μηχανικά μέσα, είτε με τη χρήση εκρηκτικών κρίνεται αδύνατη, αφού η χρησιμοποίηση μεγάλων μηχανημάτων είναι δυσχερής και επικίνδυνη λόγω μειωμένης δυνατότητας προσπέλασης και λόγω πιθανής πρόκλησης αστοχίας σε βράχους που ισορροπούν οριακά.

Επίσης, η δενδροφύτευση κρίνεται και αυτή αδύνατη αφού το πρανές αποτελείται από ασβεστόλιθο και είναι αδύνατη η ανάπτυξη μεγάλων δέντρων, όπου το ριζικό τους σύστημα θα αποτελούσε λόγο για κατάπτωση βράχων.

Έτσι προτείνεται η επί τόπου συγκράτηση των βράχων στο πάνω μέρος του πρανούς με ειδικά συρματόσχοινα αυξημένης αντοχής (***Φωτ. 5.7***), αγκύρωση αυτών όπου είναι αυτό δυνατό με δύναμη προέντασης

αγκυρίων περίπου 0,3 MN/m και τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος για τη συγκράτηση μικρών τεμαχίων (***Φωτ. 5.8***).

Η δύναμη προέντασης του αγκυρίου υπολογίσθηκε από τον τύπο:

$$P = \frac{F.S.Q\sin\beta - Q\cos\beta\,\mathrm{ta}\,g\varphi_r}{F.S.\cos\gamma + \sin\gamma\,\mathrm{ta}\,g\varphi_r} \qquad (5.9) \text{ και } tg\gamma = \frac{tg\phi_r}{F.S.} \qquad (5.10)$$

όπου P η δύναμη προεντασης, F.S = 1,4 ο συντελεστής ασφάλειας, $\varphi_r = 25^o$ η γωνία τριβής του βράχου, $\gamma = 17^o$ η βέλτιστη γωνία εφαρμογής των αγκυρίων, Q = 0,9 MN/m το βάρος του μπλοκ ανά τρέχον μέτρο και $\beta = 40^o$ η γωνία κλίσης της ασυνέχειας (Μαραγκός, 2001).

**Φωτ. 5.7** Ενδεικτική θέση με συρματόσχοινα αυξημένη αντοχής (www.alpideco.it)

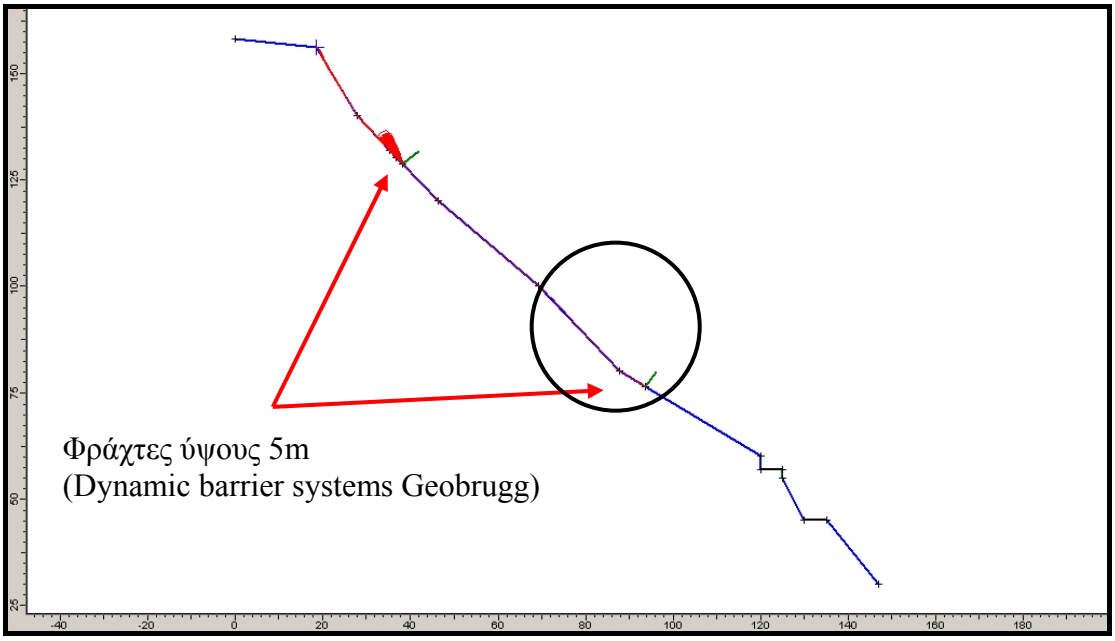
**Φωτ. 5.8** Μεταλλικό πλέγμα για τη συγκράτηση μικρών τεμαχίων με αγκύρια (www.alpideco.it)

Σε περίπτωση όμως που υπάρξει αστοχία προτείνεται η τοποθέτηση δυο σειρών ελαστικών μεταλλικών φραχτών (***Φωτ. 5.9***) απορροφητικής ικανότητας 3000 Kj στις προαναφερόμενες θέσεις (38,220 m και 94,080 m) που παρατηρήθηκαν χαμηλές κινητικές ενέργειες.

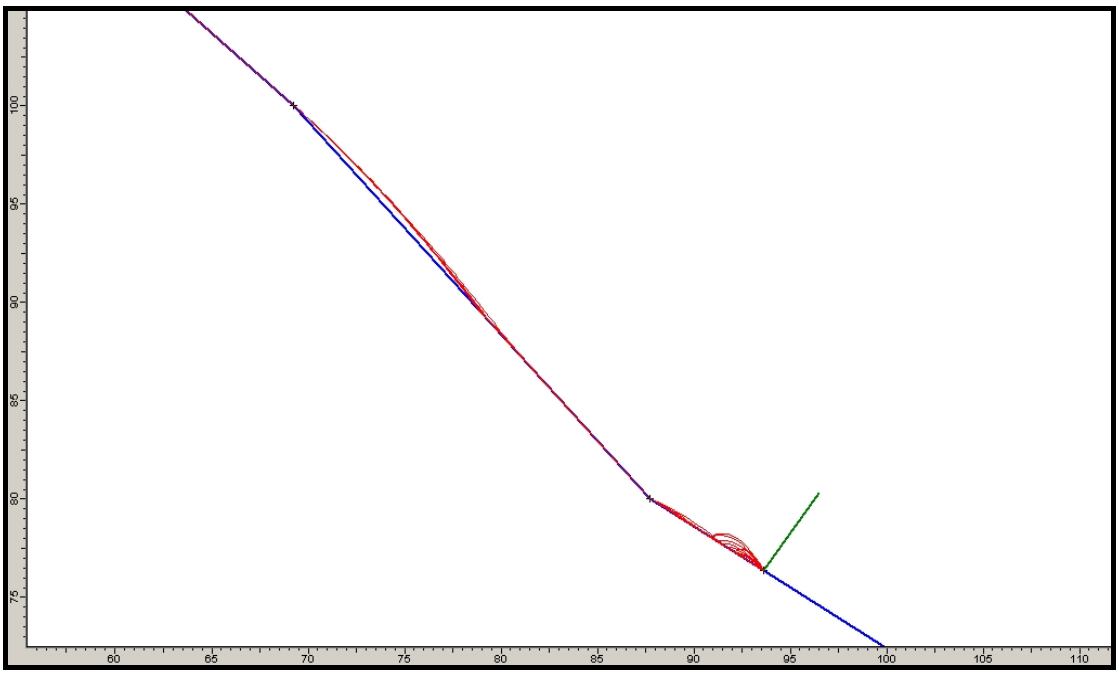
**Φωτ. 5.9** Ελαστικός μεταλλικός φράχτης τοποθετημένος σε θέση της Εθνικής οδού Μηλιάς-Μετσόβου

## 5.5.1 Εξομοίωση τροχιάς με την παρεμβολή των μέτρων προστασίας

Για την αποτελεσματικότητα των φραχτών πραγματοποιήθηκε μια ακόμη εξομοίωση, κατά την οποία τοποθετήθηκαν οι ελαστικοί φράχτες και το μοντέλο δοκιμάσθηκε με τις ίδιες αρχικές συνθήκες για 3000 πιθανές τροχιές (***Σχ. 5.14 και 5.15***).




**Σχήμα. 5.14** Εξομοίωση 3000 πιθανών τροχιών




**Σχήμα. 5.15** Μεγέθυνση της επιλεγμένης περιοχής του δεύτερου φράχτη όπου φαίνεται ότι αναχαιτίζονται όλες οι τροχιές που πέρασαν από τον πρώτο.

Το αποτέλεσμα ήταν ότι ένα μικρό ποσοστό τροχιών βράχων, περίπου 20/3000, δηλαδή ποσοστό μικρότερο του 0.7 %, δεν αναχαιτίζονται από τον πρώτο φράχτη λόγω αυξημένης κινητικής ενέργειας που απέκτησαν στα πρώτα 38 m περίπου από την κορυφή του πρανούς. Για την αναχαίτιση αυτών των πιθανών τροχιών βράχων, προτείνεται η τοποθέτηση ενός δεύτερου φράκτη σε χαμηλότερη θέση (περίπου 94 m από την κορυφή του πρανούς) του πρανούς, ώστε να εξασφαλιστούν οι κάτοικοι, οι περιουσίες τους και διερχόμενα οχήματα από τα φαινόμενα καταπτώσεων βράχων.

## *ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ*


- Δημήτριου, Α.(1998), «Μηχανισμοί γένεσης και ταξινόμηση των κατολισθητικών φαινομένων. Παραδείγματα από τη Β. Ελλάδα», Διατριβή ειδίκευσης Α.Π.Θ., Θεσ/νίκη.
- Μάργαρης Β., Παπαϊωάννου Χ., Σαββαΐδης Α., Αναστασιάδης Α., Κλήμης Ν., Μάκρα Κ. Δημοσθένους Μ. Καρακώστας Χ. Λεκίδης Β. Μακάριος Τρ. Σους Ισ., (2003), «Ο σεισμός της Λευκάδος (Μ=6.4), 14 Αυγούστου 2003 Προκαταρκτική Έκθεση των συνεπειών του σεισμού στο δομημένο και μη περιβάλλον», ΙΤΣΑΚ.
- Μαραγκός Χ., (2001), «Κατασκευές στην επιφάνεια βράχου υπόγειες κατασκευές φράγματα». Εκδ. Μαραγκός Χ., σ. 495.
- Μουντράκης Δ., (1985) «Γεωλογία Ελλάδας University Studio Press», σελ. 207
- Μπορνόβας, Ι., (1963), «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος σε κλίμακα 1:50000, Φύλλο Λευκάδα», Ι.Γ.Μ.Ε., Αθήνα.
- Παπαζάχος Β και Παπαζάχου Κ (2002), «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.
- Σακελλαρίου Μ, Στ. Κοζάνης και Στ. Γουλάκος, (1995), «Το πρόβλημα των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων και η αντιμετώπισή του σε συγκοινωνιακά έργα», 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Λάρισα, Τόμος 1ος,2-3.
- Ashby J., (1971), «Sliding and toppling modes of failure in models and jointed rock slopes», Msc. Thesis . London University, Imperial College
- Azzoni A, Barbera G, Zaninetti A., (1995), «Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model», Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr 32(7):709–24.
- Badger, T.C. and Lowell, S., (1992), Rockfall Control Washington State. In Rockfall Prediction and Control and Landslide Case Histories, Transportation Research Record, National Research Council, Washington, No 1342, pp 14-19.
- Bozzolo D, Pamini R. (1986), «Simulation of rock falls down a valley side», Acta Mech;63:113–30.
- Bunce, C.M., (1994), «Risk Analysis for Rock Fall on Highways», MSc thesis submitted to the Department of Civil Engineering, University of Alberta, Canada, pp129.
- Burman B.C., (1971), «Some aspects of the mechanics of slope and discontinuous media», Ph.D. Thesis, James Cook University of north Queensland , Australia.
- Byrne R.J., (1974), «Physical and numerical models in rock and soil slope stability», Ph.D. Thesis. James Cook, University of north Queensland, Australia.

- Chau K.T., R.H.C. Wong, J.J. Wu, (2002), «Coefficient of restitution and rotational motions of rockfall impacts», International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 39, pp. 69–77.
- Chau KT, Wong RHC, Liu J, Wu JJ, Lee CF., (1999), «Shape effects on the coefficient of restitution during rockfall impacts», Ninth International Congress on Rock Mechanics, ISRM Congress, Paris. pp. 541–44.
- Chau, K.T., and Wong, R.H.C., and Lee, C.F., (1996), «Rockfall Problems in Hong Kong and some new experimental results for coefficients of Restitution», International Journal of rock mechanics and mining sciences and geomechanics. Vol. 35, Section 4-5, pp. 662-663.
- Cundall P., (1971), «A computer model for simulating progressive, large scale movements in blocky rock systems», Proc. Intnl. Symposium on Rock Fracture Nancy, France, paper 11-8.
- De Freitas & Watters, (1973), «Some field examples of toppling failure», Geotechnique. Vol. 23, No 4, pp. 495 – 514.
- Dorren Luuk K.A., Bernhard Maier, Uif S. Putters, Arie C. Seijmonsbergen, (2003), «Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps», Geomorphology 1367, pp. 1–17.
- Fell, R., (1994), «Landslide risk assessment and acceptable risk», Canadian Geotechnical Journal. Vol. 31. pp. 261-272.
- Fornaro M, Peila D, Nebbia M., (1990), «Block falls on rock slopesapplication of a numerical simulation program to some real cases», In: Price DG, editor. Proceedings of the Sixth International Congress IAEG, Amsterdam, Balkema, Rotterdam,. pp. 2173–80.
- Fookes, P.G. and Sweeney, M., (1976), «Stabilisation and control of local rockfalls and degrading of slopes», Quarterly J. Engineering Geology. Vol. 9, pp 37-55.
- Giani GP., (1992), «Rockfalls, topples and buckles», In: Rock slope stability analysis, Rotterdam: Balkema A.A, p. 191–207 [Chapter 7].
- Goodman R.E & Bray J.W., (1976), «Toppling of the slopes», Proc. Speciality Conference on rock engineering for foundations and Slopes, Boulder, Colorado, ASCE Vol 2, pp201-234.
- Hammett R.D. (1974) A study of the behavior of the discontinuous rock masses Ph.D. Thesis. James Cook University of north Queensland , Australia
- Heslop F.G. (1974) Failure by overtuning in ground adjacent to cave mining, Havelock Mine,Swaziland Proc. 3rd Congress intnl. Soc. Rock Mechanics .Denver Vol. 2B. pp.1085-1089.
- Hoek, E., (1986), «Rockfall: a computer program for predicting rockfall trajectories», Unpublished internal notes, Golder Associates, Vancouver.
- Hoek E., (1990), «Rockfall: a program in BASIC for the analysis of rockfalls

from slopes», Golder Associates/University of Toronto, Unpublished notes.
- Hoek E., (2000), «Rock engineering», pp115-121.
- Hoek, E. and Bray, J.W., (1981), «Rock Slope Engineering», 3rd edn. London: Institution of Mining and Metallurgy, pp. 402.
- Hofmann H., (1972), «KInematische modellstudien zum boschungsproblem in regelmassig gekkluften medien. Veroffentlichungen des institutes fur bodenmechanik und felsmechanik», Kalsruhe, Hetf 54.
- Hungr, O. and Evans, S.G., (1988), «Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards», Proc. 5th International Symposium on Landslides, Lusanne. July 1988, Vol. 1, pp. 685-690.
- Koukis G.,G. Tsiambaos and N.Sabatakakis, (1994), «Slope movements in the Greek territory: A statistical approach», Proceedings , 7th International IAEG Congress, Balkema Rotterdam, pp 4621-4628.
- Karakostas, V.G., Papadimitriou, E.E. and Papazachos, C.B., (2004), «Properties of the Lefkada, Ioanian Islands, Greece earthquake seismic sequence and seismicity triggering», Bull.Seism.Soc.Am. 94:5 in press.
- Legget R. and P Karrow, (1982), «Handbook of geology in civil engineering», McGraw-Hill, N.York.
- Markland, J.T., (1972), «A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected», Imp. Coll. Rock Mechanics Res. Rep., 19, pp. 1-10.
- Morgan, G.C., (1991), «Qualification of risks from slope hazards», In Landslide Hazards in the Canadian Cordillera, Geological Association of Canada, Special Publication.
- Müller L., (1968), «New considerations of the Vajont slide», Felsmechanik und engenieurgeologie. Vol.6, No.1, pp.1-91.
- Nielsen, N.M., Hartford, D.N.D. and MacDonald., (1994), «Selection of tolerable risk criteria for dam safety decision making», Proc. 1994 Canadian Dam Safety Conference, Winnipeg, Manitoba. Vancouver: BiTech Publishers, pp 355-369.
- Norikazu M.& Hiroaki S., (1999), «Rockfall activity from alpine cliff during thawing periods», Geomorphology 28 p.310-312.
- Paronuzzi P., (1989), «Probabilistic approach for design optimization of rockfall protective barriers», Quart J Eng Geol., 22:175–83.
- Pierson, L.A., Davis, S.A. and Van Vickle, R., (1990), «Rockfall Hazard Rating System Implementation Manual», Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWAOR— EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Pfeiffer TJ, Bowen T.D., (1989), «Computer simulation of rockfalls», Bull Assoc Eng Geol 26(1):135–46.
- Ritchie, A.M., (1963), «The evaluation of rockfall and its control», Highway

Record. Vol 17.

- Robotham, M.E., and Wang, H., and Walton, G., (1995), «Assessment of risk from rockfall from active and abandoned quarry slopes», Institution of mining and Metallurgy, Section A.104 (Jan-April), pp. A25-A33.
- RocFall User's Guide, (2001), «Rocfall – Risk analysis of falling rocks on steep slopes», Rocsience Inc. Torondo, pp. 59.
- Spang RM, Rautenstrauch RW., (1988), «Empirical and mathematical approaches to rockfall protection and their practical applications», In: Bonnard C, editor, Landslides: Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides. Vol. 2, Rotterdam: Balkema, pp. 1237–43.
- Spang RM & Soner H., (1995), «Optimized Rockfall protection by ROCFALL», In proc. 8th int. Congr.Rock Mech. Tokyo Vol. 3, pp. 1233-1242.
- Soto C., (1974), «A comparative study of slope modelling technique for fractured ground», M.sc. Thesis London University, Imperial College.
- Varnes, D.J., (1984), «Landslide hazard zonation: a review of principles and practice», Natural Hazards 3. UNESCO, Paris, pp. 63.
- Varnes D.J., (1978), «Slope movement types and processes. In: Landslides, Analusis and control», Schuster, R.L & Krizek, R.J. eds, Trans Res. Board , Nat. Acad of Sc., Special Report , 176, Ch.2, pp. 11-33.
- Whitman. R.V., (1984), «Evaluating calculated risk in geotechnical engineering», J. Geotech. Enng, ASCE 110(2), pp. 145-186.
- Whyte R.J., (1973), «A study of progressive hanging wall caving at Chambishi copper mine in Zampia using the base friction model concept», M.sc Thesis London University, Imperial College.
- Wu S-S., (1985), «Rockfall Evaluation by computer simulation», Transp Res Rec;1031:1–5.

## Πήγες διαδικτύου

- www.alpideco.it
- www.maccaferri.com
- www.geobrugg.com

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6
# ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

- Ο σεισμός της 14/8/2003 προκάλεσε καταπτώσεις βράχων χωρίς να αποκλείονται μελλοντικές καταπτώσεις οριακά ευσταθών μπλοκ από ίδια ή άλλη αιτία, όπως είναι η έντονη βροχόπτωση.

- Οι βράχοι είναι αναγκαίο να συγκρατηθούν επί τόπου με συνδυασμό συρματόσκοινων και αγκυρίων. Η τοποθέτηση ειδικών δικτύων μπορεί να συμβάλει στη συγκράτηση μικρών βραχωδών τεμαχίων διαμέτρου χαλικιού έως κροκάλας, τα οποία θα μπορούσαν κατά την πτώση τους να προκαλέσουν κάποιο ατύχημα.

- Πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της τροχιάς κατάπτωσης των βράχων, λαμβάνοντας υπ' όψη τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς και εκτιμήθηκαν δύο θέσεις τοποθέτησης ατσάλινων φρακτών αναχαίτισης σε οριζόντια απόσταση 38,220 m και 94,080 m αντίστοιχα από την κορυφή του πρανούς υπολογίζοντας συγχρόνως την απαιτούμενη ικανότητα τους σε απορρόφηση κινητικής ενέργειας η οποία ανέρχεται στα 3000 Kj.