

ΚΑΤΑΠΤΩΣΕΙΣ ΒΡΑΧΩΝ ΚΑΤΑ ΤΟ ΣΕΙΣΜΟ ΤΗΣ 14/8/03 ΚΑΙ ΠΙΘΑΝΑ ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΟ ΑΝΑΝΤΗ ΠΡΑΝΕΣ ΤΟΥ ΧΩΡΙΟΥ ΔΡΥΜΩΝΑΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΣΦΑΚΙΩΤΩΝ, Ν. ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Βογιατζής Δ.¹, Δημητρίου Α.¹, Παπαθανασίου Γ.¹, Β. Χρηστάρας.¹, Καντηράνης Ν.², Φιλιππίδης Α.² και Μωραΐτη Ε.³

¹ Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, dvogias@geo.auth.gr, andim@geo.auth.gr, grapatha@geo.auth.gr, christar@geo.auth.gr

² Τομέας Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ. 541 24 Θεσσαλονίκη, Anestis@geo.auth.gr

³ ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70, 115 27 Αθήνα, moraiti@igme.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο ανώτερο τμήμα του ανάντη πρानού του χωριού Δρυμώνα, του Δήμου Σφακιωτών Ν. Λευκάδας (Ιόνιοι Νήσοι) αποκολλήθηκαν κατά τη διάρκεια του σεισμού ($M_s=6.4$) της 14/8/03 και κύλησαν βράχοι ενδεικτικού όγκου μεγαλύτερου των $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ m απειλώντας τη βιωσιμότητα του οικισμού. Ο Δρυμώνας δομείται γεωλογικά από παχυστρωματώδεις λευκούς νηριτικούς ασβεστόλιθους του Αν. Τριαδικού, της σειράς Παντοκράτορα. Η κλίση του πρानού στην περιοχή δημιουργίας των καταπτώσεων είναι περίπου 50° προς τα ΒΔ. Ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται τεμαχισμένος σε όγκους ακμής περίπου 2 m, που οριοθετούνται από τεκτονικές ασυνέχειες και τη στρώση του ασβεστόλιθου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, 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 τραυματισμούς σε περαστικούς ανθρώπους και φθορές σε διερχόμενα αυτοκίνητα. Παρόλα τα επί τόπου μέτρα συγκράτησης, για την προστασία της οικιστικής περιοχής του Δρυμώνα από πιθανές μελλοντικές καταπτώσεις ασταθών ασβεστολιθικών όγκων, πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της τροχιάς κατάπτωσης των βράχων, λαμβάνοντας υπ' όψη τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του πετρώματος, τα γεωμετρικά στοιχεία του πρानού και εκτιμήθηκαν δυο θέσεις τοποθέτησης αστάλινων φρακτών αναχαίτισης σε οριζόντια απόσταση 38,220m και 94,080m από την κορυφή του πρानού υπολογίζοντας συγχρόνως την απαιτούμενη ικανότητα τους σε απορρόφηση κινητικής ενέργειας η οποία είναι 3000Kj

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

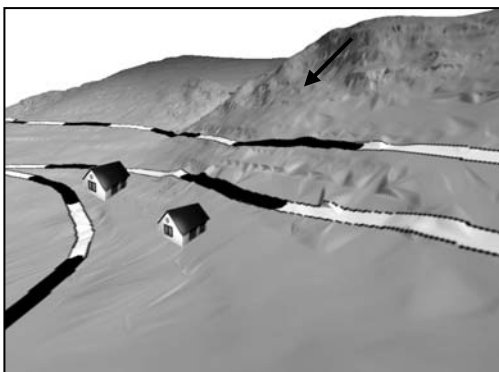
Οι καταπτώσεις βράχων (Rockfalls) αποτελούν μεγάλο κίνδυνο κατά την επιλογή αξιοποίησης περιοχών στη βάση βραχωδών πρανών με μεγάλη κλίση. Αν και οι καταπτώσεις βράχων δεν αποτελούν τους κύριους λόγους αστοχίας ενός πρανού, εντούτοις καθιστούν το πρανές σε αχρησία για πολυήμερο χρονικό διάστημα. Είναι αρκετές οι αναφορές, σε παγκόσμιο επίπεδο, ανθρώπων οι οποίοι τραυματίστηκαν ή σκοτώθηκαν από καταπτώσεις βράχων. Οι Badger και Lowell (1983) από το Washington State Department of Highways, αναφέρουν ότι στις Η.Π.Α 6 θάνατοι οφείλονται σε καταπτώσεις βράχων τα τελευταία 30 χρόνια και ότι το 45% των ασταθών πρανών σχετίζονται με φαινόμενα καταπτώσεων βράχων.

1.1 Αίτια δημιουργίας και εκδήλωσης των καταπτώσεων βράχων

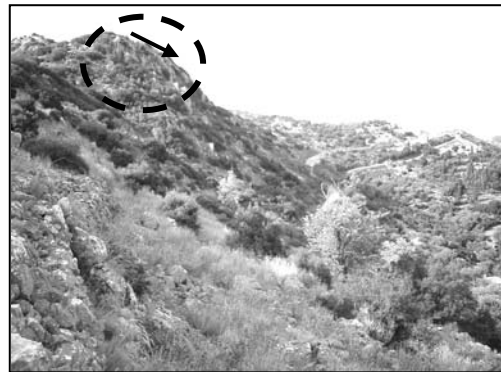
Όταν ένας βραχώδης όγκος οποιοδήποτε μεγέθους αποκολλάται απότομα από πρανή με μεγάλη κλίση, κατά μήκος μιας επιφάνειας στην οποία δεν εκδηλώνεται σημαντική κίνηση και στη συνέχεια μετακινείται αυτός λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, κύλισης ή αναπήδησης του τεμάχους, η κίνηση αυτή καλείται κατάπτωση (Varnes, 1978). Η κίνηση είναι γρήγορη και συνήθως αυξάνει προς τα κάτω λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας. Πρόκειται για συνήθη φαινόμενα σε απότομα βραχώδη πρανή και ακτές λόγω της δράσεως των κυμάτων ή λόγω σεισμικών κινήσεων. Οι καταπτώσεις βράχων κατά τον Hoek (2000) σχετίζονται με ορισμένα κλιματικά ή βιολογικά γεγονότα τα οποία μπορούν να επιφέρουν αλλαγή στις δυνάμεις που ενεργούν στον βράχο. Αναλυτικότερα, οι καταπτώσεις βράχων σχετίζονται με αύξηση της πίεσης νερού των πόρων λόγω διείσδυσης του βρόχινου νερού, τη διάβρωση, την αποσάθρωση, τον παγετό την υποσκαφή λόγω εναλλαγής συνεκτικών και χαλαρών σχηματισμών, τη διαταραχή από υπερκείμενους βράχους, τη δράση του ριζικού συστήματος, τη θερμική διαστολή-συστολή και τους σεισμούς. Ο παράγοντας που συντέλεσε στην εκδήλωση των καταπτώσεων στο ανάντη πρανές του χωριού Δρυμώνας ήταν ο σεισμός της 14/8/2003 που διατάραξε την κρίσιμη ισορροπία του βραχώδους πρανού με την προσωρινή μεταβολή των τάσεων.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η περιοχή μελέτης είναι το ανάντη πρανές (Σχ.1 και Σχ.2) του χωριού Δρυμώνας, του Δήμου Σφακιωτών Ν. Λευκάδας (Ιόνιοι Νήσοι) όπου κατά τη διάρκεια του σεισμού ($M_s=6.4$) της 14/8/03 προκλήθηκαν σημαντικές καταπτώσεις βράχων.



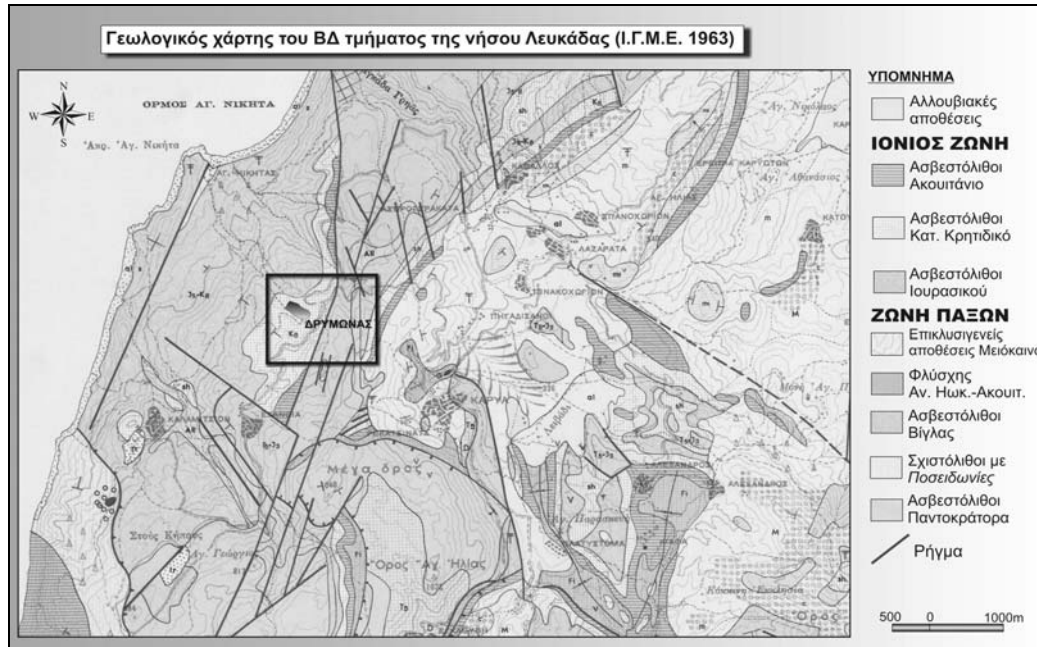
Σχήμα 1. Τρισδιάστατη απεικόνιση του πρανού



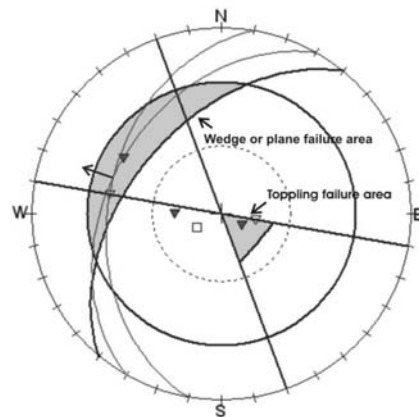
Σχήμα 2. Η περιοχή αποκόλλησης των βράχων

Το ανώτερο τμήμα του πρανού, από όπου αποκολλήθηκαν και κύλησαν βράχοι ενδεικτικού μεγέθους 2.5x2.5x2.5 m, προς τον οικισμό Δρυμώνας, δομείται, γεωλογικά, από παχυστρωματώδεις λευκούς νηριτικούς ασβεστόλιθους του Αν. Τριαδικού, της σειράς Παντοκράτορα (Σχ. 3, ΙΓΜΕ, 1963). Η κλίση του πρανού είναι περίπου 50° προς τα ΒΔ. Το πρανές ακολουθεί ένα ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης με διεύθυνση ΒΒΑ/ΝΝΔ. Οι ασβεστόλιθοι εμφανίζονται τεμαχισμένοι σε όγκους ακμής 1-2 m, που οριοθετούνται από τεκτονικές ασυνέχειες και τη στρώση του ασβεστόλιθου. Στα χαμηλότερα τμήματα του πρανού εμφανίζεται παχυστρωματώδης μικρολατυποπαγής ασβεστόλιθος του Αν. Σενώνιου (ΙΓΜΕ, 1963) ευρισκόμενος σε τεκτονική επαφή, λόγω του ρήγματος, με τον ανωτριάδικό ασβεστόλιθο που περιγράφηκε παραπάνω. Όπως φαίνεται και από την εφαρμογή του τεστ Markland στο αντιπροσωπευτικό στερεογραφικό διάγραμμα (Σχ.4), 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 βραχώδεις 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 $CaCO_3$, 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 3 Φύλλο Λευκάδα, Ι.Γ.Μ.Ε 1963



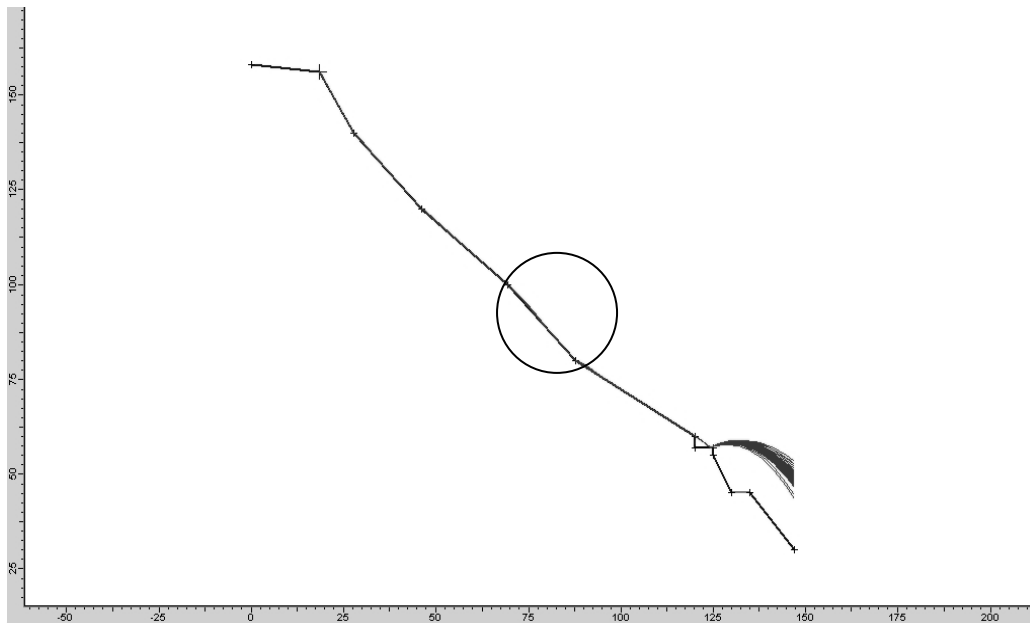
Σχήμα 4. Εφαρμογή του test Markland (1972)

3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ

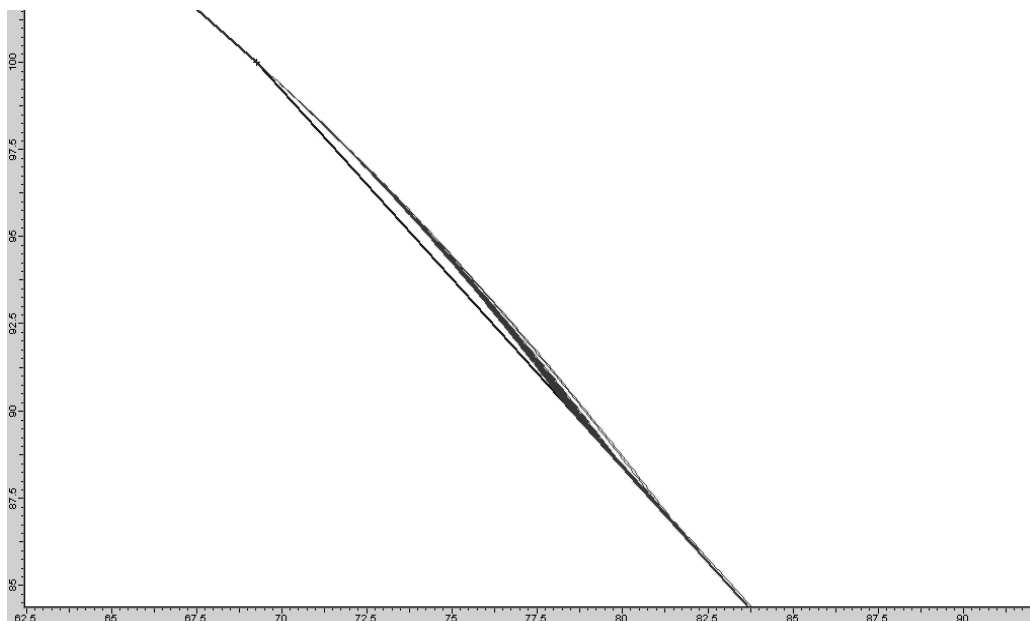
Η ανάλυση της τροχιάς των καταπτώσεων, αναλύθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού "RocFall" της "Rocscience" όπου και ελήφθησαν υπόψη τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του βράχου, η γεωμετρία του πρανού, οι θέσεις των αποτυπωμάτων αναπήδησης των βράχων, καθώς και η τροχιά που οι βράχοι ακολούθησαν όπως φαίνεται και στο σχήμα 5. Στο σχήμα 6 ξεχωρίζουν οι τροχιές των βράχων οι οποίες στην συγκεκριμένη περιοχή δεν κυλούνε αλλά αναπηδούν. Για την επαλήθευση της διαδρομής της τροχιάς κατάπτωσης των βράχων εφαρμόστηκε αντίστροφη ανάλυση (back analysis). Έτσι, κατά τη μελέτη με το λογισμικό δόθηκαν αρχικές συνθήκες που πλησιάζουν την πραγματικότητα με εύρος τιμών ώστε να εμπεριέχονται οι ακραίες συνθήκες. Οι τιμές των

αρχικών συνθηκών είναι: η αρχική ταχύτητα των βράχων: 0.5m/s, και το βάρος των βράχων 40,000Kg ±5,000.

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. Η παραμένουσα ενέργεια υπολογίστηκε με βάση το "συντελεστή απόδοσης" της επιφάνειας πρανούς.

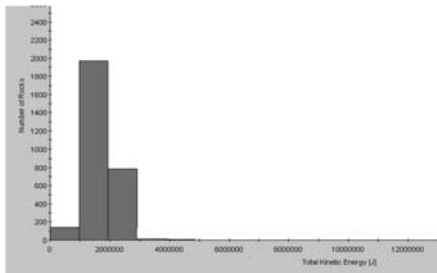


Σχήμα 5. Η τροχιά των καταπιπτόντων ασβεστολιθικών blocks.

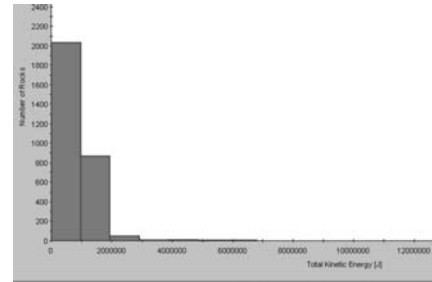


Σχήμα 6. Μεγέθυνση της επιλεγμένης περιοχής

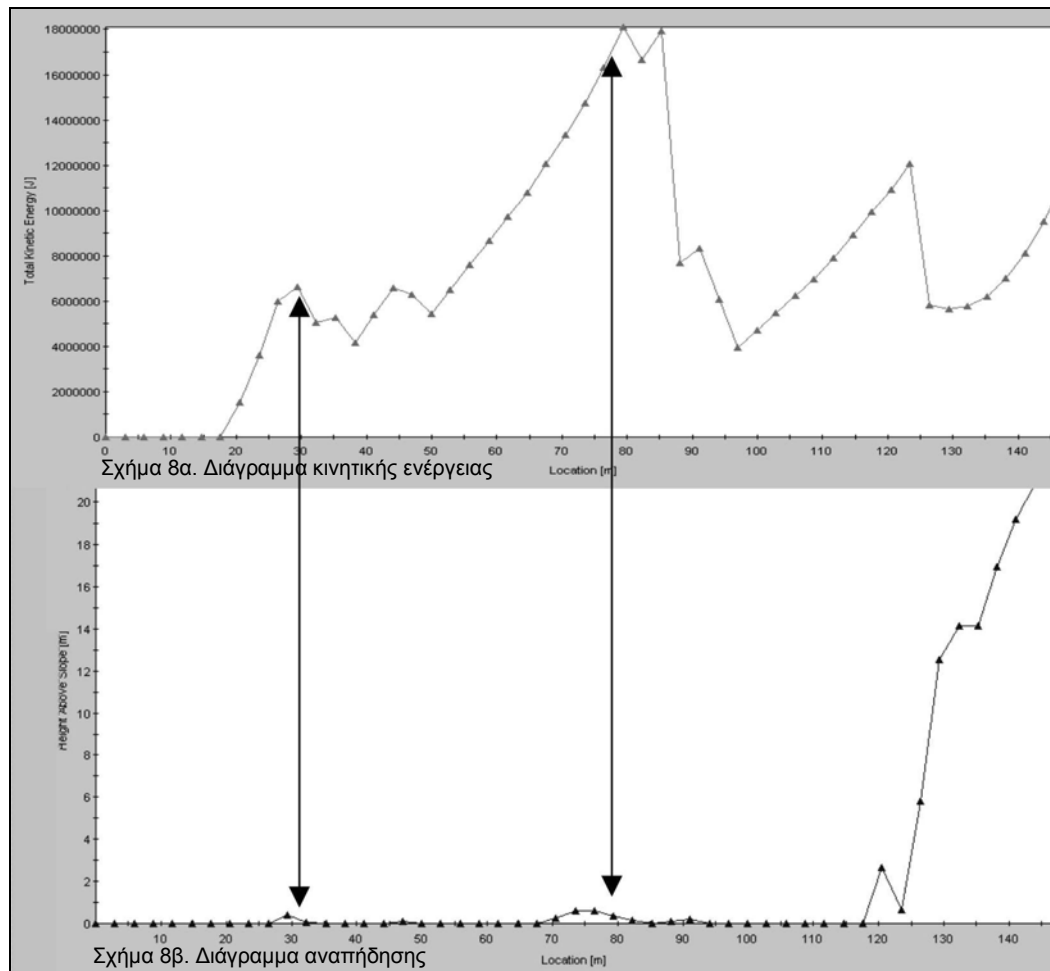
Ο συντελεστής απόδοσης για ασβεστολιθικό πρανές με κατά θέσεις εδαφικό μανδύα και χαμηλή βλάστηση εκτιμάται σε $RN= 0.303$ για την κατακόρυφη συνιστώσα και σε $RT= 0.615$ για την οριζόντια συνιστώσα (Robotham et al., 1995). Επίσης, ο συντελεστής απόδοσης για την ασφαλτο τωών δρόμων εκτιμάται σε $RN= 0.4$ για την κατακόρυφη συνιστώσα και σε $RT= 0.9$ για την οριζόντια συνιστώσα (Hoek, 1986, Σακελαρίου κ.α. 1995, RocFall Users Guide, 2001).



Σχήμα 7α. Κιν. ενέργεια στα 38.220m



Σχήμα 7β. Κιν. ενέργεια στα 94.080m



Σχήμα 8. Συσχέτιση κινητικής ενέργειας και αναπήδησης

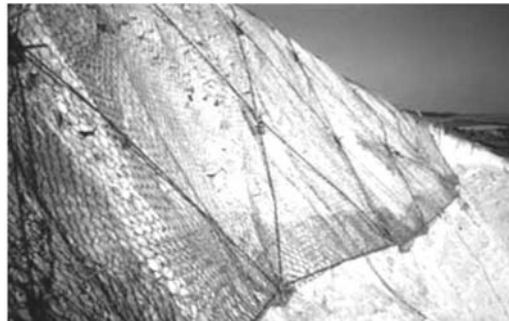
Από την ανάλυση της τροχιάς στην τομή του πρानούς, εντοπίστηκαν δύο θέσεις με οριζόντια απόσταση 38.220m και 94.080m(Σχ.7α,7β) από το σημείο εκκίνησης των βράχων, στις οποίες η κινητική ενέργεια εμφανίζεται περισσότερο μειωμένη (Σχ.8α,8β). Ακόμη παρατηρήθηκε ότι υπάρχει συσχέτιση στην κινητική ενέργεια (Σχ.8α) και στις αναπηδήσεις (Σχ.8β). Παρατηρήθηκε ότι προς το τέλος της κάθε αναπήδησης, σημειώνεται και μέγιστο (peak) της κινητικής ενέργειας κάτι αναμενόμενο αφού όσο ο βράχος κινείται στο αέρα δεν χάνει κινητική ενέργεια, αφού δεν συναντά εμπόδια να τον επιβραδύνουν. Αντίθετα, όλη η δυναμική ενέργεια, που έχει λόγο θέσης, μετατρέπεται σε κινητική και μόλις συγκρουστεί με το πρानές η κινητική ενέργεια αρχίζει να μειώνεται έως ότου ξανά αναπηδήσει ή τερματίσει την πορεία του.

4 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

Τα μέτρα προστασίας που προτείνονται είναι ευρέως διαδεδομένα και εφαρμόζονται σε τεχνικά έργα με έντονη μορφολογία και περιορισμένο χώρο για εφαρμογή κάποιων άλλων αναχαιπιστικών μέσων όπως αυτό της τάφρου παγίδευσης. Ακόμη η απομάκρυνση επικίνδυνων για κατάπτωση όγκων που περιλαμβάνει την απομάκρυνση ασταθών, χαλαρών και επικρεμαμένων 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 του πρανές αποτελείται από ασβεστόλιθο και είναι αδύνατη η ανάπτυξη μεγάλων δέντρων που έτσι και αλλιώς 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(Σχ.9), αγκύρωση των όπου είναι αυτό δυνατό με δύναμη προεντασης αγκυρίων 0.3 MN/m και τοποθέτηση μεταλλικού πλέγματος για τη συγκράτηση μικρών τεμαχίων(Σχ.10). Σε περίπτωση όμως που υπάρξει αστοχία προτείνεται η τοποθέτηση δυο σειρών ελαστικών μεταλλικών φραχτών (Σχ.11) απορροφητικής ικανότητας 3000Kj στις προαναφερόμενες που παρατηρήθηκαν χαμηλές κινητικές ενέργειες.



Σχήμα 9. Ενδεικτική θέση με συρματόσχοινα αυξημένης αντοχής (www.alpideco.it)

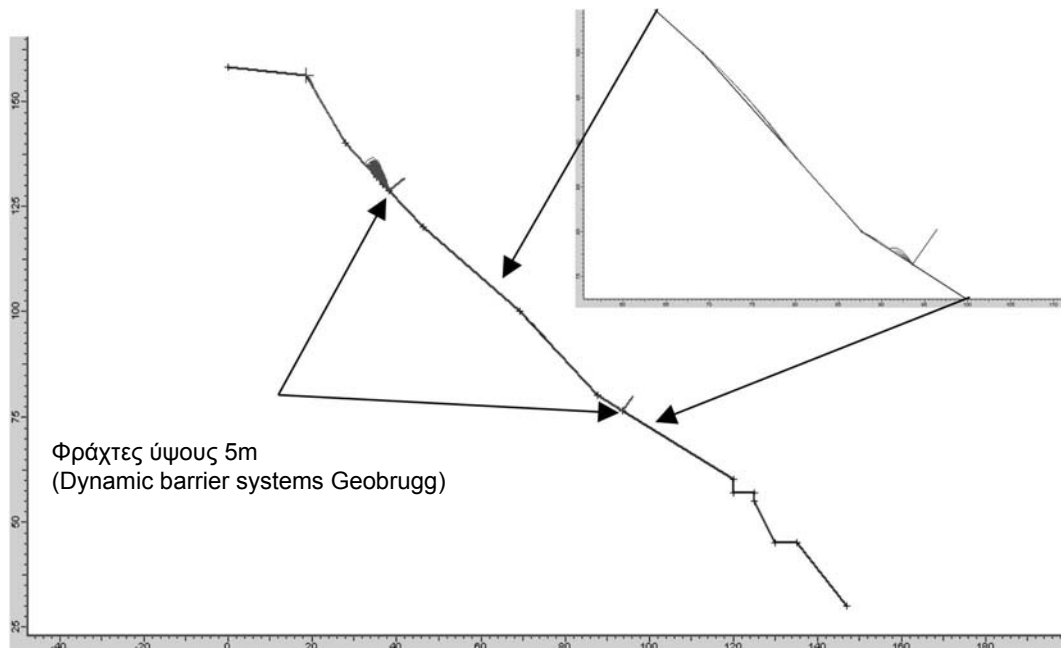


Σχήμα 10. Μεταλλικό πλέγμα για τη συγκράτηση μικρών τεμαχίων (www.alpideco.it)



Σχήμα 11. Ελαστικός μεταλλικός φράχτης τοποθετημένος σε θέση της Εθνικής οδού Μηλιάς-Μετσόβου

Για την αποτελεσματικότητα των φραχτών πραγματοποιήθηκε μια ακόμη εξομοίωση κατά την οποία τοποθετήθηκαν οι ελαστικοί φράχτες και το μοντέλο δοκιμάστηκε με τις ίδιες αρχικές συνθήκες για 3000 πιθανές τροχιές. Το αποτέλεσμα (Σχ.12) 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. Για την αναχαίτιση αυτών των πιθανών τροχιών βράχων, προτείνεται η τοποθέτηση ενός δεύτερου φράκτη σε χαμηλότερη θέση του πρηνούς ώστε να εξασφαλιστούν οι κάτοικοι και οι περιουσίες τους από τα φαινόμενα καταπτώσεων βράχων.



Σχήμα 12. Εξομοίωση 3000 πιθανών τροχιών. Δεξιά πάνω μεγενθυμένη η περιοχή του δεύτερου φράχτη όπου φαίνεται ότι αναχαιτίζονται όλες οι τροχιές που πέρασαν από τον πρώτο.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

Οι βράχοι είναι αναγκαίο να συγκρατηθούν επί τόπου με συνδυασμό συρματοσκοιων και αγκυριών. 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 τραυματισμούς σε περαστικούς ανθρώπους και φθορές σε διερχόμενα αυτοκίνητα.

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

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ι.Γ.Μ.Ε (1963) Φύλλο Λευκάδα 1:50000

Σακελλαρίου Μ, Στ. Κοζάνης και Στ. Γουλάκος (1995): «Το πρόβλημα των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων και η αντιμετώπισή του σε συγκοινωνιακά έργα», 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Λάρισα, Τόμος 1^{ος},2-3

- 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.
- Hoek, E. (1986). Rockfall: a computer program for predicting rockfall trajectories. Unpublished internal notes, Golder Associates, Vancouver.
- Hoek E., 2000 rock engineering pp115-121.
- 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, p 1-10
- Norikazu M. & Hiroaki S. (1999), Rockfall activity from alpine cliff during thawing periods. Geomorphology 28 p.310-312.
- 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". Rocscience Inc. Toronto, 59 p
- Varnes D.J (1978) Slope movement types and processes. In: Landslides, Analysis and control (Schuster, R.L & Krizek, R.J. eds), Trans Res. Board , Nat. Acad of Sc., Special Report , 176, Ch.2, p 11-33.

ABSTRACT

ROCKFALLS DURING THE EARTHQUAKE OF 14/8/03 AND PROBABLE SOLUTIONS AT THE UPPER LEVEL OF DRIMONAS VILLAGE SLOPE, MUNICIPALITY OF SFAKIOTON LEUKADA ISLAND

Vogiatzis D.¹, Dimitriou A.¹, Papathanasiou G.¹, Christaras B.¹, Kantiranis N.², Filippidis A.² and Moraiti E.³

¹ *Laboratory of Engineering Geology and Hydrogeology School of Geology , Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, dvogias@geo.auth.gr, andim@geo.auth.gr, gpatha@geo.auth.gr, christar@geo.auth.gr*

² *Department of Mineralogy-Petrology-Economic Geology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, anestis@geo.auth.gr*

³ *I.G.M.E., Mesogion Str. 70, 115 27, Athens, moraiti@igme.gr*

Big rocky blocks of indicative dimensions of 2.5×2.5×2.5 m, were activated and fell down-slope during the earthquake (Ms=6.4) of 14/8/03 from the upper part of the hill slope behind Drimon village (Municipality of Sfakiotes in Leukada island). The area is geologically composed of thick bedded white neritic limestones, of Pantokratoras unit (Upper Triassic age). The slope angle is roughly 50° to the NW, at the place of rockfall activation. The limestone is cut in blocks of edge 2-3 m long, due to the geometry of the tectonic discontinuities and the orientation of bedding.

In this paper, the mechanism of rockfalls was studied regarding to their horizontal and vertical jumps as well as their kinetic energy. Furthermore, the type, the geometry, the place of installation and the necessary absorbing capacity of barriers were studied for restraining future rockfalls in the area.

According to our study, the blocks are necessary to be tied, in place, at the upper part of the slope, using bolting, wire cable and wire netting techniques. Nevertheless, two elastic metallic barriers, approximately 100 m long and 5 m high, able to absorb kinetic energy of 3000 kJ, were decided to be installed on the slope, for the case that blocks, of mean dimensions 2.5x2.5x2.5 m, fall down. These barriers will be placed at horizontal distances of 38.22 m and 94.08 m, from the rock-falls starting point.