

Περιεχόμενα

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	1
<u>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</u>	6
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	7
<u>SUMMARY</u>	9
<u>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u>	11
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο</u>	13
<u>ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ</u>	13
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
1.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ	14
1.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	14
1.2.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΈΝΑΝΤΙ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	14
1.2.2.1 Επίπεδη αστοχία	15
1.2.2.2 Αστοχία σφήνας.....	15
1.2.2.3 Κυκλική αστοχία.....	15
1.2.3 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ ΈΝΑΝΤΙ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	16
1.3 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	17
1.3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	17
1.3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	19
1.3.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	23
1.3.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	24
1.3.5 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΠΙΡΡΕΠΕΙΣ ΣΕ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ.....	25

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο</u>	27
<u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ</u>	27
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	27
2.2 ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ	28
2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ	28
2.4 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ	29
2.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	30
2.5.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	30
2.5.2 ΔΙΔΙΑΣΤΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	32
2.5.3 ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΟΤΕΜΑΧΙΟΥ	33
2.6 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	35
2.6.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	35
2.6.2 ΚΛΙΜΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ (ΑΝΑΒΑΘΜΟΙ).....	36
2.6.3 ΤΑΦΡΟΙ.....	36
2.6.4 ΕΜΠΟΔΙΑ	37
2.6.4.1 Καλάθια και ειδικό φραγμοί	37
2.6.4.2 Εμπόδια από χώμα	37
2.6.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΡΑΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΗΣ.....	38
2.6.5.1 Πλέγματα με σχοινί.....	38
2.6.5.2 Ευκίνητοι φράχτες	39
2.6.5.3 Φράχτες σε ομαλά πρηνή μικρής κλίσης	39
2.6.6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΗΣ	40
2.6.7 ΦΡΑΚΤΕΣ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ	40
2.6.8 ΥΠΟΣΤΕΓΑ ΚΑΙ ΣΗΡΑΓΓΕΣ	41
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο</u>	42
<u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ «ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΕΥΚΑΔΑΣ»</u>	42

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΝΟΜΟ ΛΕΥΚΑΔΑΣ	42
3.2 ΕΔΑΦΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ	44
3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	44
3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	47
3.4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	47
3.4.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	47
3.4.3 ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	48
3.4.4 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	48
3.4.5 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ.....	50
3.5 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	50
3.6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	52
3.7 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ- ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	53
3.7.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	53
3.7.2 ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	56
3.7.3 ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	56
3.7.4 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	57
3.7.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	57
3.8 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ	59
3.8.1 Ο ΣΕΙΣΜΟΣ ΤΗΣ 14ΗΣ ΑΥΓΟΥΣΤΟΥ ΣΤΗ ΛΕΥΚΑΔΑ.....	59
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο</u>	<u>62</u>
<u>ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π.</u>	<u>62</u>
4.1 ΤΑ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΗΣ	62
4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	63
4.2.1 ΑΡΧΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	64
4.2.2 ΑΝΑΠΗΔΗΣΗ (ΚΡΟΥΣΗ).....	66
4.2.3 ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΠΤΩΣΗ.....	68
4.2.4 ΟΛΙΣΘΗΣΗ	69

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ROCKFALL ANALYSIS» ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ ARCGIS.....	70
4.3.1 ΠΡΩΤΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ – ΑΡΧΕΙΟ “ROCKFALL_ANALYSIS.MXD”	71
4.3.2 ΔΕΥΤΕΡΟ ΜΕΡΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ-ΑΡΧΕΙΟ“ROCKFALL_ANALYSIS_3D.SXD”	78
4.3.3 ΝΕΕΣ ΠΡΟΣΘΗΚΕΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ	79
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο</u>	<u>81</u>
<u>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ “ROCKFALL ANALYSIS” ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ...</u>	<u>81</u>
5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	81
5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Α (Χ.Θ. 0+000 ΕΩΣ Χ.Θ. 0+800)	83
5.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	83
5.2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	83
5.2.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	85
5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Α (Χ.Θ. 0+000 ΕΩΣ Χ.Θ. 0+800)	87
5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Β (Χ.Θ.0+800 ΕΩΣ Χ.Θ. 1+700)	90
5.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	90
5.4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	91
5.4.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	93
5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Β (Χ.Θ. 0+800 ΕΩΣ Χ.Θ. 1+700)	94
5.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Γ (Χ.Θ.1+700 ΕΩΣ Χ.Θ. 4+125).....	96
5.6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	96
5.6.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ- ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ	97
5.6.3 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ	99
5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Γ (Χ.Θ. 1+700 ΕΩΣ Χ.Θ. 4+125).....	100
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο</u>	<u>102</u>
<u>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ “ROCKFALL ANALYSIS”</u>	<u>102</u>

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

6.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	102
6.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	103
6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	104
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	105
A. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105
B. ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106

Ευχαριστίες

Σε αυτή την ενότητα αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω όλους εκείνους που με βοήθησαν σε επιστημονικό αλλά και σε άλλο επίπεδο, να φέρω εις πέρας τη διπλωματική εργασία μου.

Πρώτα απ' όλα ευχαριστώ τους φίλους, συμφοιτητές και συναδέλφους που με βοήθησαν με το δικό τους τρόπο, ξεχωριστά, στην αποπεράτωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Ακολούθως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Μιχάλη Σακελλαρίου, Καθηγητή της Σ.ΑΤ.Μ. Ε.Μ.Π και Διευθυντή του Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης και του Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής & Στοιχείων Τεχνικών Έργων, για την βοήθεια και καθοδήγηση που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της Διπλωματικής μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρία ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. για την παραχώρηση βασικών και απαραίτητων αρχικών στοιχείων στο τομέα της διπλωματικής μου.

Βεβαίως δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Στέφανο Χαραλάμπους του Εργαστηρίου Δομικής Μηχανικής για την πολύτιμη και συνεχή βοήθεια που μου έδωσε στην κατανόηση της εφαρμογής "Rockfall Analysis".

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και με βοήθησε για την πραγματοποίηση των στόχων μου.

Αθήνα,

Ιούλιος 2009

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία φέρει τον τίτλο «*Ανάστροφη ανάλυση των Βραχοπτώσεων στη Λευκάδα στο σεισμό της 14-8-2003*» και εξετάζει αφενός την δυνατότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) να αποτελέσουν εργαλείο ανάλυσης και λήψης αποφάσεων στη περίπτωση βραχοπτώσεων και αφετέρου την απεικόνιση του φαινομένου στον τριδιάστατο χώρο.

Ειδικότερα, η διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια:

Το 1ο Κεφάλαιο έχει τον τίτλο «*Κατολισθήσεις και ευστάθεια πρανών*», περιέχει δε συνοπτικά όλη τη θεωρία αναφορικά με τις κατολισθήσεις (ορισμός, ταξινόμηση, κλπ.) και την ευστάθεια πρανών έναντι στατικών και σεισμικών φορτίων.

Στο 2ο Κεφάλαιο, «*Ανάλυση του φαινομένου των βραχοπτώσεων*», περιγράφεται και αναλύεται η συγκεκριμένη μορφή κατολίσθησης. Έπειτα γίνεται αναφορά σε διάφορες μορφές μοντέλων προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου, κυρίως στα δισδιάστατα και τριδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης, ειδικότερα στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα αυτών. Επίσης, περιγράφονται διάφορα μέτρα προστασίας για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

Στο 3ο Κεφάλαιο, που φέρει τον τίτλο «*Ανάλυση της περιοχής μελέτης Άγιος Νικήτας Λευκάδας*» παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία της περιοχής και κυρίως τα γεωλογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής. Επίσης, γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στο σεισμό τις 14-08-2003.

Στο 4ο Κεφάλαιο, «*Αντιμετώπιση των βραχοπτώσεων με τη χρήση Γ.Σ.Π.*» περιγράφεται η νέα έκδοση της εφαρμογής «*Rockfall Analysis*». Η εφαρμογή αποτελεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή στο ArcGIS, συγκεκριμένα στο ArcMap και ArcScene, η οποία υλοποιεί ένα τριδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου.

Στο 5ο Κεφάλαιο, που φέρει τον τίτλο «*Εφαρμογή του προγράμματος Rockfall Analysis στη περιοχή μελέτης*», παρουσιάζονται τα προβλήματα αστοχίας και οι γεωτεχνικές συνθήκες που παρατηρήθηκαν στην περιοχή έπειτα από το σεισμό τις 14-08-2003. Ακόμα, με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα γεωλογικά και γεωτεκτονικά στοιχεία και αφού έγιναν ελεύθερα ορισμένες παραδοχές χρήσιμες στη διαδικασία της εφαρμογής, έγινε η ζητούμενη ανάλυση με χρήση του προγράμματος «*Rockfall Analysis*». Η παρούσα εργασία καλείται να κάνει εφαρμογή του τριδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης βραχοπτώσεων όπως επίσης και να το αξιολογήσει.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο 6ο και τελευταίο κεφάλαιο, «*Συμπεράσματα από τη χρήση του Rockfall Analysis*» παρατίθενται κάποια συμπεράσματα σχετικά με τις δυνατότητες της εφαρμογής, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτής, όπως αυτά έχουν προκύψει μέσα από τη χρήση της στις διάφορες δοκιμές. Επίσης, αναφέρονται κάποιες προτάσεις που αφορούν στη βελτίωση της εφαρμογής “Rockfall Analysis v.5_6_1” και επέκταση των εφαρμογών του προγράμματος που αναπτύσσεται στα Γ.Σ.Π, ώστε να επιτευχθεί ακόμα γενικότερη και ακριβέστερη εφαρμογή.

Μαζί με το κείμενο της παρούσας εργασίας, αντί παραρτήματος, επισυνάπτεται ψηφιακός δίσκος (CD-R) εντός του οποίου βρίσκονται όλοι οι χάρτες, τα αρχεία που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα σχηματικά αρχεία “Shapefiles” των καταπτώσεων από τα προγράμματα «Rockfall Analysis».

Summary

This diploma thesis is entitled “*Reverse rock-fall analysis in Lefkada during the earthquake on 14-8-2003*” and examines the possibility of using Geographical Information Systems (G.I.S.) as a tool for analysis and decision making in the case of rock falls as well as visualizes the phenomenon in three dimensions.

Specifically, the diploma thesis is composed by six chapters:

The 1st Chapter, under the title “*Landslides and Slope Stability*”, contains a summary of the theories concerning landslides (definition, classification, etc.) and slope stability against static and seismic loads.

In the 2nd Chapter, “*Analysis of the phenomenon of rock-falls*”, this particular type of landslide is described and analyzed. In addition, there is reference to some of the various forms of rockfall simulation models, primarily in two dimensional and three dimensional simulation models and in particular the advantages and disadvantages of these. Also, measures of protection to confront the phenomenon.

The 3rd Chapter, under the title “*Study Analysis of Agios Nikitas Lefkada*” presents analytically the features of the region and in particular the geotechnical and geomorphological features of the study area. Also, there is a special reference to the earthquake of 14-08-2003.

The 4th Chapter, “*Dealing with rock falls using GIS*” describes the new version of «Rockfall Analysis». «Rockfall Analysis» is a complete application of the ArcGIS, in particular ArcMap and ArcScene, which implements a three dimensional rockfall simulation model.

Chapter 5, entitled “*Application of the Rockfall Analysis in the study area*”, presents the problems of failure and the geotechnical conditions observed in the region following the earthquake of 14-08-2003. The requested analysis was completed using the rock fall analysis application, based on conclusions drawn from the geological and geotektonical features, after certain assumptions useful in the process of implementation were made. The present thesis aims to apply the three dimensional rockfall simulation application-model to the study area as well as to evaluate it.

The 6th and final chapter, “*Conclusions from the use of Rockfall Analysis*” presents conclusions regarding the application’s potential, advantages and disadvantages, as they have arisen through the use of different tests. Moreover, some recommendations are suggested

SUMMARY

regarding the improvement of the "Rockfall Analysis v.5_6_1" program, and expansion of the applications of the program developed in GIS, to achieve an even more accurate and better outcome application.

Along with the text of this thesis, instead of an annex, attached is a compact disc (CD-R) in which all maps and files created and used are included, as well as shapefiles of rockfalls from the "Rockfall Analysis".

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό αφενός να αναδείξει την συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) στα επιστημονικά πεδία της Εδαφομηχανικής και Βραχομηχανικής, ειδικότερα στη μελέτη των κατολισθήσεων και την ευστάθεια των πρानών.

Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων λόγω ελλειπούς ευστάθειας πρानών, αποτελεί ένα από τα πιο καταστροφικά γεωλογικά και γεωμορφολογικά φαινόμενα, με μεγάλο βαθμό επικινδυνότητας κατά μήκος των τεχνητών πρानών, κυρίως σε ορεινές περιοχές και σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο. Οι επιπτώσεις λόγω των φαινομένων αυτών έχουν σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές προεκτάσεις, που πολλές φορές επηρεάζουν καθοριστικά την βιωσιμότητα οικισμών, την κατασκευή συγκοινωνιακών και άλλων τεχνικών έργων.

Συγκεκριμένα, ο ελλαδικός χώρος με το έντονο ανάγλυφο και την συνεχή σεισμική δραστηριότητα, αντιμετωπίζει τους συγκεκριμένους φυσικούς κινδύνους σε κάθε βήμα ανάπτυξης των υποδομών της και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη μέριμνα στην πρόληψη των απειλών και την εξασφάλισή τους. Η παρούσα εργασία αναφέρεται σε έναν συγκεκριμένο τύπο κατολισθήσεων, τον πιο συχνά εμφανιζόμενο στον χώρο την Ελλάδα, που αποτελεί τις βραχοπτώσεις.

Η προσομοίωση των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων είναι πάρα πολύ δύσκολη καθώς αποτελούν παράδειγμα ενός σχετικά απλού μηχανικού συστήματος του οποίου η συμπεριφορά είναι απρόβλεπτη χωρικά και χρονικά, ακόμα και αν οι αρχικές συνθήκες, η κινητήρια δύναμη (π.χ. η βαρύτητα), η γεωμετρία του πρανούς και η απώλεια ενέργειας κατά τη κρούση είναι γνωστά. Έχουν αναπτυχθεί δισδιάστατα και τρισδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων, με τα τελευταία να είναι σαφώς αποτελεσματικότερα και πιο ρεαλιστικά. Στη παρούσα εργασία υλοποιείται μέσα από την εφαρμογή «ROCKFALL ANALYSIS» ένα καινούργιο τρισδιάστατο μοντέλο προσομοίωσης.

Αρχικά, γίνεται μια γενική θεωρητική αναφορά στην υπάρχουσα γνώση για το φαινόμενο των κατολισθήσεων και πιο ειδικά στις καταπτώσεις βραχοτεμαχείων. Επόμενο στάδιο, αποτελεί η παρουσίαση της περιοχής που επιλέχθηκε για την εφαρμογή μας, συγκεκριμένα «Άγιος Νικήτας, Λευκάδας». Η συγκεκριμένη περιοχή έχει έντονες κλίσεις αλλά και κατάλληλη γεωλογική και γεωτεχνική υπόσταση, ώστε να καλύπτει τις απαιτήσεις για την ορθή παρουσίαση του προβλήματος. Θα επιδιωχθεί να παρουσιαστούν συμπεράσματα αλλά και σύγχρονοι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος της συγκεκριμένης περιοχής, αλλά και γενικά τη προστασία των συγκοινωνιακών έργων από το επικίνδυνο αυτό φαινόμενο.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εντός της έκτασης της περιοχής μελέτης υπάρχουν τμήματα όπου ο κίνδυνος για την αποκόλληση και πτώση τεμαχίων βράχου επηρεάζει άμεσα την ασφάλεια οδού, την ασφάλεια των διερχόμενων οχημάτων αλλά και των λουομένων κατά τους θερινούς μήνες. Σε αυτά τα τμήματα, έχει περιοριστεί η εφαρμογή, ώστε να υπάρχει επιπλέον ανάλυση.

Στην επιμέρους ανάλυση, που πήρε μέρος για την συλλογή των απαραίτητων στοιχείων, καταλυτικό ρόλο έπαιξε η ύπαρξη κατάλληλης γεωτεχνικής μελέτης, από την οποία αντλήθηκαν όλες οι απαραίτητες πληροφορίες.

Με βάση τα δεδομένα αυτά, γίνεται η ζητούμενη ανάλυση σε περιβάλλον G.I.S, μια νέα μέθοδο απεικόνισης βραχοπτώσεων σε τρεις διαστάσεις όπου η παρούσα εργασία εκτός από να την εφαρμόσει, καλείται επίσης και να την αξιολογήσει. Η αξιολόγηση αυτής της νέας μεθόδου σε συνδυασμό με την διατύπωση νέων προτάσεων για δυνατότητες βελτίωσης, αποτελούν το τελευταίο στάδιο της εργασίας.

Κεφάλαιο 1^ο

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως πρανή ορίζονται κεκλιμένοι φυσικοί ή τεχνητοί σχηματισμοί εδάφους ή βράχου. Σε κάθε πρανές η διαφορά στάθμης και οι κλίσεις που το χαρακτηρίζουν έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικών δυνάμεων στο εσωτερικό τους που τείνουν να μετακινήσουν τη μάζα τους προκειμένου να εξομαλύνουν το ανάγλυφο. Στις διατμητικές αυτές τάσεις αντιτίθεται η διατμητική αντοχή του εδάφους και στη περίπτωση που αυτές δεν επαρκούν τότε έχουμε μετακίνηση της εδαφικής μάζας, που ονομάζεται κατολίσθηση.

Ένα φυσικό πρανές μπορεί να αστοχήσει υπό την επίδραση γεωλογικών, γεωτεκτονικών ή φυσικών παραγόντων. Φαινόμενα όπως η διάβρωση, η μεταβολή του υδροφόρου ορίζοντα, οι σεισμοί κ.α. μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία του φυσικού πρανές. Αστοχία μπορεί να προκληθεί και από την η ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. εκσκαφές ορυγμάτων).

Τα τεχνητά πρανή κατασκευάζονται σε διάφορα τεχνικά έργα (π.χ. φράγματα, έργα οδοποιίας) και προκύπτουν από την εκσκαφή του φυσικού εδάφους ή από την εναπόθεση εδαφικού υλικού. Έτσι διακρίνουμε δύο κατηγορίες τεχνητών πρανών, τα πρανή ορυγμάτων και τα πρανή επιχωμάτων. Η ευστάθεια ενός τέτοιου τεχνητού πρανούς εξασφαλίζεται με τη χρησιμοποίηση έργων αντιστήριξης, όπως τοίχοι αντιστήριξης, διαφράγματα από πασσάλους/ακυρώσεις καθώς και σπλισμένη γη – γεωυφάσματα.

Γενικά, οι κατολίσθησεις στον ελληνικό χώρο αποτελούν το σοβαρότερο από τα καταστροφικά γεωλογικά φαινόμενα. Τα αποτελέσματά τους έχουν σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη βιωσιμότητα πολλών οικισμών, στη διατήρηση επισφαλών συνθηκών θεμελίωσης των τεχνικών έργων, στη σωστή λειτουργία του οδικού δικτύου και στη καταλληλότητα ή μη πολλών περιοχών για διάφορες χρήσεις.

Για τους παραπάνω ακριβώς λόγους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχος της ευστάθειας πρανών που διαμορφώνονται κατά την κατασκευή τεχνικών έργων, αλλά και φυσικών πρανών που παρουσιάζουν ενδείξεις πιθανής κατολίσθησης.

1.2 ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

1.2.1 Γενικά

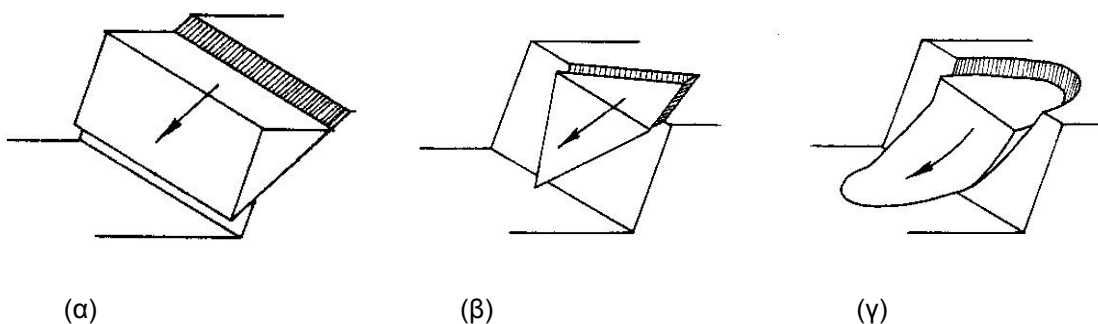
Η ευστάθεια των πρανών εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- Την βαρύτητα, η οποία τείνει να παρασύρει προς τα κάτω και προς τα έξω ορισμένη μάζα εδάφους και επομένως αποτελεί παράγοντα αστάθειας του πρανούς.
- Την συνοχή και την εσωτερική τριβή, οι οποίες συγκρατούν ενωμένα τα υλικά που αποτελούν το πρανές και αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας με αυτό τον τρόπο στην ευστάθειά τους.

Επιπλέον, εξαρτάται από:

- Την στρώση και την κατάτμηση του εδάφους.
- Την αποστράγγιση του πρανούς.
- Τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- Τις χρονικές μεταβολές των τάσεων και των παραμορφώσεων.

Οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών βασίζονται στη παραδοχή κάποιας μορφής αστοχίας. Στη περίπτωση που το υλικό μελέτης είναι βράχος τότε οι μορφές αστοχίας που παρατηρούνται είναι η επίπεδη ολίσθηση, η σφηνοειδής ολίσθηση, η ανατροπή και η κυκλική ή περιστροφική ολίσθηση. Η τελευταία παρατηρείται σε εδαφικά πρανή ή έντονα διαταραγμένους βράχους.



Εικόνα 1.1. : (α) Επίπεδη ολίσθηση, (β) Σφηνοειδής ολίσθηση, (γ) Κυκλική ολίσθηση

1.2.2 Ευστάθεια Πρανών Έναντι Στατικών Φορτίων

Αφού γίνει η παραδοχή της μορφής αστοχίας, ακολουθεί ανάλυση με μεθόδους οριακής ισορροπίας από την οποία και προκύπτει κάποιος συντελεστής, ο οποίος ονομάζεται Στατικός Συντελεστής Ασφαλείας και συμβολίζεται με F ή $F.S.$ Ο στατικός συντελεστής ασφαλείας ισούται με το λόγο των δυνάμεων ή ροπών που ανθίστανται στη ολίσθηση (διατμητική αντοχή εδάφους) προς

τις δυνάμεις ή ροπές που συνεισφέρουν στην αστάθεια του πρανούς και προκαλούν την ολίσθησή του:

$$F.S. = \frac{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Αντιδρώσες}}{\text{Δυνάμεις ή Ροπές Δρώσες}} \quad (1.1.)$$

Αν ο συντελεστής ασφαλείας είναι ίσος με τη μονάδα τότε έχουμε οριακή ισορροπία – ευστάθεια του πρανούς. Ενώ, αν ο συντελεστής είναι μικρότερος από τη μονάδα τότε το πρανές είναι ασταθές και είναι πιθανή η εκδήλωση κάποιας κατολίσθησης. Συνήθως, αποδεκτοί συντελεστές ασφαλείας είναι 1,4 έως 1,5 και 1,0 όταν συνυπολογίζεται η σεισμική δράση.

Ο συντελεστής ασφαλείας μπορεί να υπολογιστεί με διάφορες μεθόδους όπως τη μέθοδο του κύκλου τριβής (Taylor), με τα νομογραφήματα Hoek και Bray κτλ.

1.2.2.1 Επίπεδη αστοχία

Επίπεδη αστοχία προκύπτει όταν μια γεωλογική ασυνέχεια είναι παράλληλη στην επιφάνεια του πρανούς και η κλίση της επιφάνειας ολίσθησης είναι μικρότερη από τη κλίση του πρανούς και μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής.

Περίπτωση επίπεδης ολίσθησης έχουμε όταν η συνοχή είναι ίση με μηδέν ($c=0$) και τότε ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$F.S. = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \quad (1.2.)$$

1.2.2.2 Αστοχία σφήνας

Αστοχία σφήνας προκύπτει όταν δημιουργηθεί μια επιφάνεια αστοχίας μεταξύ δύο ασυνεχειών οι οποίες προκαλούν την μετακίνηση της μάζας που περικλείεται από αυτές προς τα κατάντη κατά μήκος του ίχνους τομής τους, δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο μια σφήνα.

1.2.2.3 Κυκλική αστοχία

Όταν τα υλικά είναι πολύ ασθενή, όπως σε ένα εδαφικό πρανές, ή όταν η βραχομάζα είναι έντονα ρηγματωμένη ή θρυμματισμένη, τότε η αστοχία ορίζεται από μια ασυνέχεια και τείνει να ακολουθήσει μια κυκλική επιφάνεια.

Ο συντελεστής ασφαλείας στη περίπτωση της κυκλικής αστοχίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F.S. = 4,32 \cdot \left(\frac{c}{\gamma \cdot H \cdot \sin(\beta)} \right) + 1,22 \cdot (1 - r_u) \cdot \cot(\beta) \cdot \tan(\phi) + 0,005 \quad (1.3.)$$

όπου:

- c , γ και ϕ η συνοχή, το ειδικό βάρος και η γωνία τριβής του γεωλογικού σχηματισμού αντίστοιχα,

- Η το μέσο ύψος του πρανούς,
- β η γώνια κλίσης του πρανούς και
- r_u η πίεση ύδατος των πόρων του γεωλογικού σχηματισμού

Οι συντελεστές 4,32, 1,22 και 0,005 έχουν προσδιοριστεί με τη Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων (Μ.Ε.Τ.) σε 49 περιπτώσεις κυκλικής αστοχίας πρανών (Ματζιάρης και Σακελλαρίου 2005).

1.2.3 Ευστάθεια Πρανών Έναντι Σεισμικών Φορτίων

Η εκδήλωση ενός σεισμού μπορεί να επιφέρει σημαντικές παραμορφώσεις και μετατοπίσεις σε φυσικά ή τεχνικά πρανή (Ambraseys N., Srbulov M., 1995). Εάν και κατά πόσο ένας σεισμός θα προκαλέσει μόνιμες παραμορφώσεις σε ένα πρανές, είναι συνάρτηση αρκετών παραγόντων, όπως είναι η αντοχή του υλικού, η σύσταση του πρανούς, καθώς και η εδαφική κίνηση.

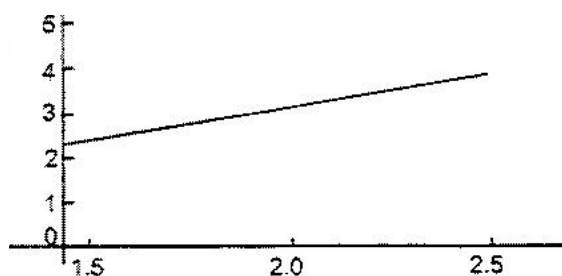
Η εκτίμηση του σεισμικού κινδύνου των πρανών στηριζόμενη μόνο στο συντελεστή ασφαλείας F.S., είναι ανεπαρκής. Επομένως, η επιδεκτικότητα των πρανών σε διάφορες μορφές αστοχιών κατά την εκδήλωση σεισμικού φαινομένου, προσδιορίζεται μέσω μιας άλλης παραμέτρου, της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c , η οποία και αντιστοιχεί στη τιμή επιτάχυνσης που μπορεί να φέρει το πρανές σε κατάσταση οριακής ισορροπίας. Η τιμή τώρα της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c εξαρτάται από τη γεωμετρία καθώς και από τις εδαφικές ιδιότητες του πρανούς (Ambraseys N., Menu J., 1988).

Ο Sarma (1973) εισήγαγε την ομώνυμη μέθοδο υπολογισμού της ευστάθειας των πρανών θεωρώντας ως προσδιοριστέα παράμετρο την k_c . Προέκυψε όμως το πρόβλημα προσδιορισμού του στατικού συντελεστή ασφαλείας, ο οποίος και αποτελεί το μέτρο της ευστάθειας του πρανούς. Κατόπιν, οι Sarma και Bhave (1975) συγκεντρώνοντας στοιχεία από εκατοντάδες περιπτώσεις φραγμάτων και επιχωμάτων, παρατήρησαν πως υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ της κρίσιμης επιτάχυνσης k_c και του στατικού συντελεστή ασφαλείας (F.S.):

$$F.S. = 1,0 + b \cdot k_c \quad (1.4.)$$

όπου b είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τη κλίση του πρανούς. Η τιμή του συντελεστή b δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από τη γεωμετρία του πρανούς και σε μικρότερο βαθμό, από τις εδαφικές ιδιότητες. Γενικά, όσο πιο απότομο είναι το πρανές, τόσο μικρότερη είναι η τιμή του b και επομένως μικρότερη και η τιμή του στατικού συντελεστή ασφαλείας F.S. Παρακάτω ακολουθεί το διάγραμμα 1.1. στο οποίο απεικονίζεται η γραμμική σχέση μεταξύ του συντελεστή b και του πηλίκου $1/\tan\beta$ ($\cot\beta$), όπου β είναι η κλίση του πρανούς.

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ



Διάγραμμα 1.1. : Μεταβολή του συντελεστή b συναρτήσει της κλίσης του πρανούς « β ».

Έτσι αφού η τιμή του συντελεστή b μεταβάλλεται για τις διάφορες κλίσεις των πρανών και έχοντας ως δεδομένα αποτελέσματα μεγάλου αριθμού αναλύσεων, υπολογίστηκε με τη μέθοδο της παλινδρόμησης ο συντελεστής b .

Παρακάτω ακολουθεί η εξίσωση:

$$b = 1.18 + \frac{0.66}{\tan \beta} \quad (1.5)$$

Από την εξίσωση 1.4 προκύπτει ότι:

$$k_{cr} = \frac{F - 1.0}{b} \quad (1.6)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις 1.5 και 1.6 προκύπτει η τελική σχέση που δίνει την κρίσιμη επιτάχυνση ολίσθησης σε συνάρτηση με τον συντελεστή ασφαλείας και την γωνία β του πρανούς:

$$k_{cr} = \frac{F - 1.0}{1.18 + \frac{0.66}{\tan \beta}} \quad (1.7)$$

Η σχέση αυτή χρησιμοποιείται και στην εφαρμογή Land Hazard Analysis (ver. 2.0) για τον υπολογισμό της k_{cr} .

1.3 ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

1.3.1 Γενικά

Κατολισθήσεις ονομάζονται «οι οποιοσδήποτε μετακινήσεις εδαφικών μαζών και πετρωμάτων ασχέτως μορφής, εκτάσεως και γενεσιουργών αιτιών, που λαμβάνουν χώρα σε φυσικές επιφάνειες με απότομες κλίσεις και σε πρανή ορυγμάτων, υπό την επίδραση της βαρύτητας, άλλοτε απότομα με καταστροφικές συνέπειες και άλλοτε με μικρή ταχύτητα» (Κουμαντάκης, 1984). Οι κατολισθήσεις προκαλούνται από τις κινήσεις πρανών, στα οποία αστοχία συμβαίνει κατά μια συγκεκριμένη επιφάνεια ή κατά συνδυασμό επιφανειών. Η εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων αποτελεί απόρροια ελλιπούς ευστάθειας των πρανών έναντι στατικών και σεισμικών φορτίων` στη παρουσία των τελευταίων η κατολίσθηση είναι πιο έντονη.

1.3.2 Ταξινόμηση των Κατολισθήσεων

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις των κατολισθήσεων, οι οποίες στηρίζονται σε ποικίλα κριτήρια, με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση των συστημάτων ταξινόμησης.

Ανάλογα με το στάδιο δράσης, χαρακτηρίζονται σε:

- Ενεργές
- Απενεργοποιημένες
- Αδρανείς
- Ανενεργείς
- Αρχαίες ή απολιθωμένες

Ανάλογα με το υλικό, η μάζα η οποία κατολισθαίνει μπορεί να είναι βράχος ή έδαφος.

Ανάλογα με την ταχύτητα κίνησης, υπάρχει ο παρακάτω διαχωρισμός:

- Εξαιρετικά γρήγορη κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης μεγαλύτερη από 5 m/sec.
- Πολύ γρήγορη κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης 3 m/min.
- Γρήγορη κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης 1,8 m/hr
- Μέτρια κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης 1,8 cm/hr
- Αργή κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης 0,18 mm/hr
- Πολύ αργή κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης $1,8 \cdot 10^{-3}$ mm/ hr
- Εξαιρετικά αργή κίνηση με ταχύτητα μετακίνησης μικρότερη από $1,8 \cdot 10^{-3}$ mm/ hr

Σύμφωνα με πρόσφατη υποδιαίρεση, οι τρόποι με τους οποίους κατολισθαίνουν τα πρηνή είναι οι ακόλουθοι:

- Καταπτώσεις (falls),
- Ανατροπές (topples),
- Ολισθήσεις (slides),
- Εξαπλώσεις (spreads) και
- Ροές (flows)

Οι σύνθετες κατολισθήσεις έχουν αφαιρεθεί από την επίσημη κατηγοριοποίηση, αν και ο όρος σύνθετη έχει διατηρηθεί σαν περιγραφή του τρόπου δράσης μιας κατολίσθησης.

Αυτές οι πέντε κατηγορίες, οι οποίες και αναλύονται στη συνέχεια, είναι εκείνες που επικρατούν στο μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των κατολισθήσεων και αφορούν τις κινήσεις επιφανειακών αποθέσεων και στρωμάτων.

➤ **Καταπτώσεις (falls)**

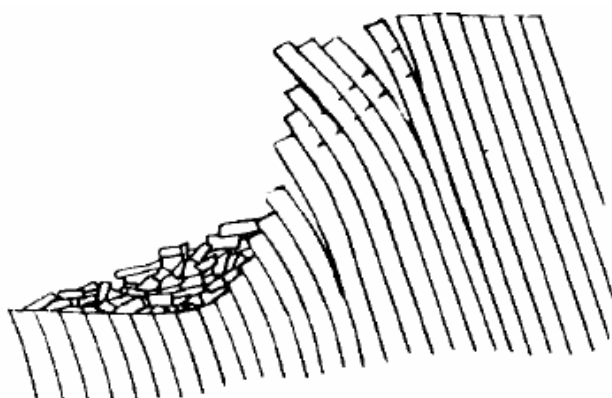
Πρόκειται για μια αποκόλληση εδάφους ή βράχου από μια απότομη πλαγιά, κατά μήκος μιας επιφάνειας στη οποία υπάρχει μικρή ή σχεδόν καθόλου διατμητική αντοχή. Στη συνέχεια το υλικό καθώς κατεβαίνει, με αρκετά μεγάλη ταχύτητα, χτυπά στη πλαγιά και κατρακυλάει.



Εικόνα 1.3. : Πτώση βραχοτεμαχίων

➤ **Ανατροπές (topples)**

Πρόκειται για μια προς τα εμπρός περιστροφή μιας μάζας βράχου, γύρω από ένα σημείο ή άξονα, που εντοπίζεται κάτω από το κέντρο βάρους της μάζας. Μπορεί να προκληθεί από το βάρος του υλικού που βρίσκεται στο πάνω μέρος της πλαγιάς καθώς και από το νερό ή πάγο που υπάρχει στις ρωγμές της μάζας. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει πτώσεις ή ολισθήσεις, ανάλογα με τη γεωμετρία της επιφάνειας αποκόλλησης, τη γεωμετρία της μετακινούμενης μάζας και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών. Οι ανατροπές μπορεί να εξαιρετικά αργές μέχρι και εξαιρετικά γρήγορες, ενώ πολλές φορές επιταχύνουν κατά τη κίνηση.



Εικόνα 1.4. : Ανατροπή λόγω κάμψης

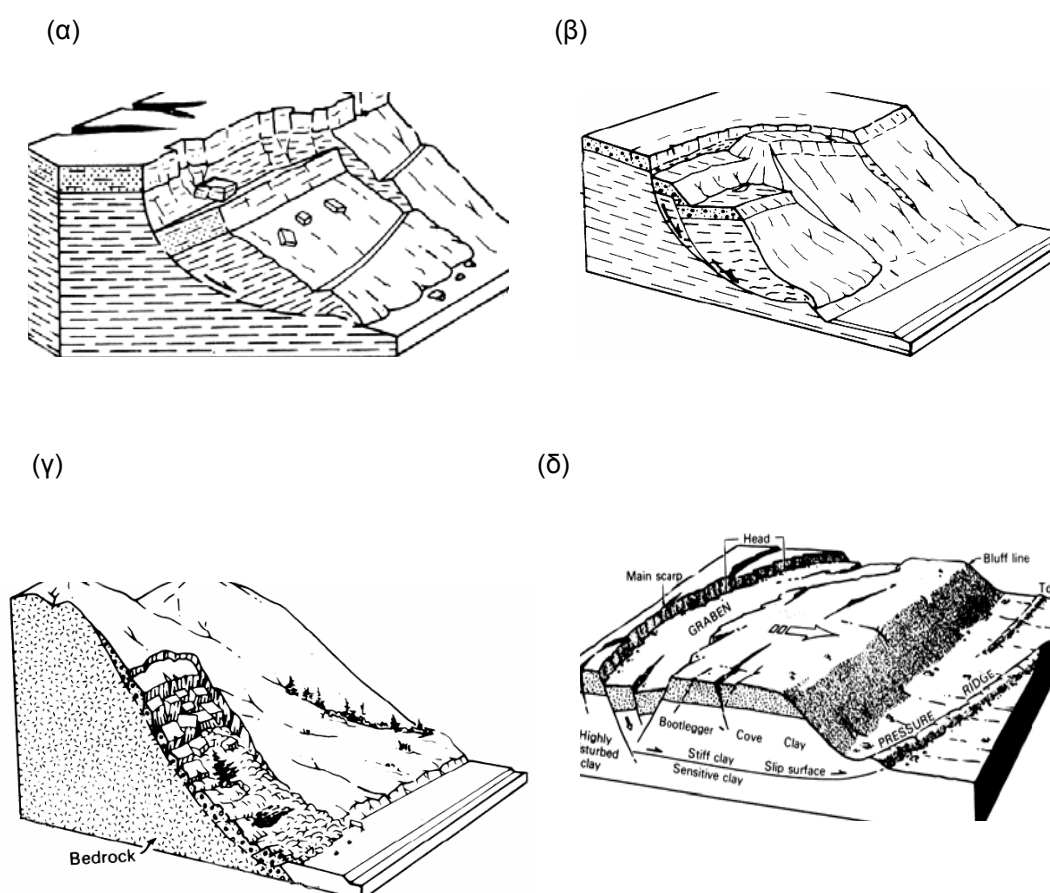
➤ **Ολισθήσεις (slides)**

Πρόκειται για μια προς τα κάτω κίνηση, εδαφικής ή βραχώδους μάζας που λαμβάνει χώρα κατά μήκος επιφανειών αστοχίας ή σχετικά λεπτών ζωνών έντονης διάτμησης. Τα πρώτα σημάδια

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

είναι ρωγμές στην αρχική επιφάνεια του εδάφους, κατά μήκος των οποίων σχηματίζεται η κύρια επιφάνεια ολίσθησης. Η μάζα που μετατίθεται μπορεί να ολισθήσει κάτω από τον πόδα της επιφάνειας αστοχίας καλύπτοντας την αρχική επιφάνεια του εδάφους της πλαγιάς, η οποία στη συνέχεια γίνεται η επιφάνεια αποχωρισμού.

Οι διάφορες μορφές της ολίσθησης διακρίνονται σε περιστροφικές και μεταφορικές. Στις περιστροφικές ολισθήσεις η μάζα κινείται κατά μήκος μιας επιφάνειας αστοχίας, η οποία είναι κοίλη. Ενώ στις μεταφορικές (στρωματοειδείς) ολισθήσεις, που είναι και πιο ρηχές από τις περιστροφικές, η μάζα μετατοπίζεται κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματιστής επιφάνειας αστοχίας, ολισθαίνοντας πάνω από την αρχική επιφάνεια του εδάφους.



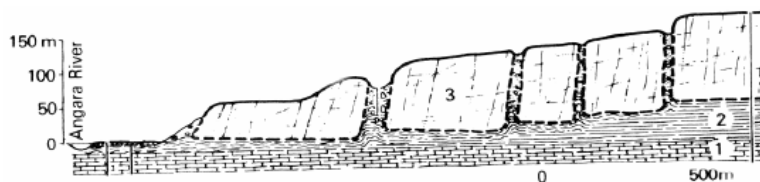
Εικόνα 1.5. : Περιστροφική ολίσθηση (α) βράχου και (β) χώματος, Στρωματοειδής ολίσθηση (γ) βράχου και (δ) χώματος – τεμαχίων (Varnes, 1978)

➤ **Εξαπλώσεις (spreads)**

Πρόκειται για μια επέκταση ενός συνεκτικού εδάφους ή μιας βραχώδους μάζας συνδυσασμένης με μια γενική υποχώρηση της τεμαχισμένης μάζας, του συνεκτικού υλικού, μέσα σε μαλακότερο υλικό. Σε αυτή τη περίπτωση, η επιφάνεια αστοχίας δεν είναι μια επιφάνεια έντονης διάτμησης. Εξαπλώσεις μπορούν να συμβούν από υγροποίηση ή ροή του μαλακότερου υλικού.

Στις μορφές των εξαπλώσεων διακρίνονται οι εξαπλώσεις μεγάλων τεμαχίων (block spreads), όπου ένα παχύ στρώμα βράχου βρίσκεται πάνω από μαλακότερα υλικά, και οι εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads), που σχηματίζονται σε αργίλους και ιλύες οι οποίες έχουν χάσει την αντοχή τους και έχει καταστραφεί η δομή τους.

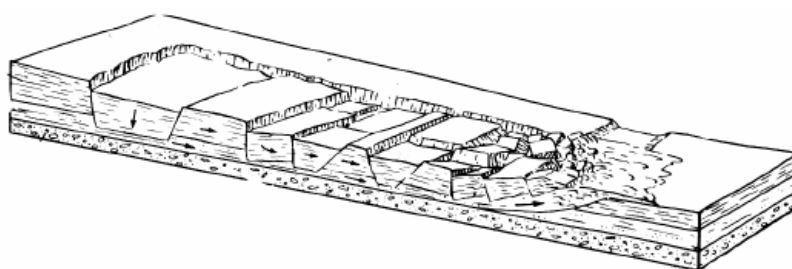
(α)



(β)



(γ)



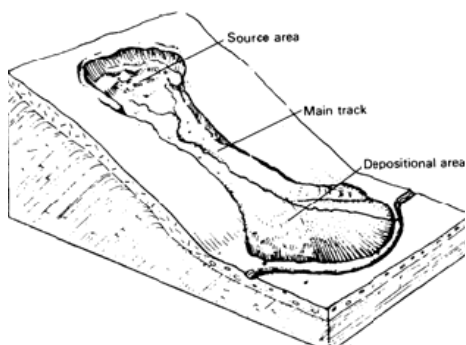
Εικόνα 1.6. : (α), (β) εξαπλώσεις βράχων και (γ) εξαπλώσεις χώματος (Varnes, 1978)

➤ **Ροές (flows)**

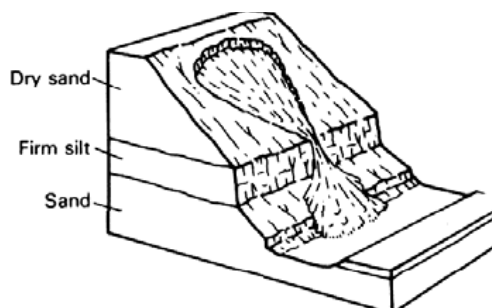
Πρόκειται για μια συνεχή κίνηση στο χώρο, στην οποία οι επιφάνειες διάτμησης είναι κοντά η μια στην άλλη και συνήθως δεν διατηρούνται. Η κατανομή των ταχυτήτων στο μετατιθέμενο υλικό, μοιάζει με εκείνη ενός παχύρρευστου υλικού. Το κάτω όριο της κινούμενης μάζας μπορεί να είναι μια επιφάνεια κατά μήκος της οποίας λαμβάνει χώρα διαφορεική κίνηση ή μια παχιά ζώνη με

κατανεμημένη διάτμηση. Έτσι υπάρχει μια βαθμιαία μετάβαση από ολισθήσεις σε ροές, που εξαρτάται από το περιεχόμενο του νερού, την κινητικότητα και την εξέλιξη της κίνησης.

(α)



(β)



(γ)



Εικόνα 1.7. : (α) αργή ροή χώματος, (β) ροή ξηρής άμμου και (γ) loess flow (Varnes, 1978)

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις των κατολισθήσεων, οι οποίες στηρίζονται σε ποικίλα κριτήρια, με αποτέλεσμα την διαφοροποίηση των συστημάτων ταξινόμησης.

1.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τις κατολισθήσεις

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων προκαλείται από την συνδυασμένη δράση πολλών και διαφορετικών μεταξύ τους παραγόντων. Μερικοί από τους παράγοντες επιδρούν για μεγάλο χρονικό διάστημα, ενώ άλλοι επιδρούν περιοδικά και αποτελούν το έναυσμα για την εκδήλωση του φαινομένου.

Σύμφωνα με το UNESCO WORKING PARTY on World Landslide Inventory (1990) δεν είναι σωστή η χρήση του όρου αίτια κατολισθήσεων αλλά συνθήκες και διεργασίες οι οποίες οδηγούν στην αλλαγή του καθεστώτος ισορροπίας του πρανού. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι συνθήκες εδάφους, οι γεωμορφολογικές διαδικασίες, οι φυσικές διαδικασίες και η επέμβαση του ανθρώπου.

Σχετικά με τους παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν κατολισθήσεις, διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς είναι εκείνοι οι παράγοντες που δημιουργούν την προδιάθεση ολίσθησης, ενώ οι δευτερογενείς προκαλούν άμεσα την κατολίσθηση.

Ειδικότερα, οι βασικότεροι πρωτογενείς παράγοντες είναι:

- *Η δομή του γεωλογικού υποβάθρου και η τεκτονική της περιοχής.* Ένα έδαφος που αποτελείται από εναλλαγές πολλών ετερογενών στρωμάτων, είναι πιθανότερο να παρουσιάσει κατολισθητικά φαινόμενα, λόγω των πολλών πιθανών επιφανειών ολίσθησης, από ένα άλλο έδαφος το οποίο αποτελείται από ένα μόνο στρώμα.
- *Το είδος των πετρωμάτων και εδαφών της περιοχής.* Υπάρχουν πετρώματα τα οποία είναι περισσότερο επιρρεπή σε κατολισθήσεις, όπως ο φλύσχης και τα αργιλικά εδάφη.
- *Οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.* Το ύψος του νερού που πέφτει στην περιοχή, με τη μορφή βροχόπτωσης ή χιονόπτωσης μπορεί να οδηγήσει σε κατολίσθηση.
- *Η σεισμικότητα και η ηφαιστειακή δραστηριότητα, καθώς και η κινητικότητα του υποβάθρου.* Οι σεισμικές δονήσεις μπορούν πολλές φορές να αποτελέσουν την αφορμή για την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, προσθέτοντας στις ήδη ασταθείς μάζες την επιπλέον δυναμική φόρτιση, που τις ωθεί στην ολίσθηση. Ιδιαίτερα επικίνδυνες χαρακτηρίζονται οι περιοχές που επιδεικνύουν νεοτεκτονική δραστηριότητα.

1.3.4 Μηχανισμοί ενεργοποίησης των κατολισθητικών φαινομένων

Η πραγματοποίηση μιας κατολίσθησης επιτυγχάνεται είτε με τη με τη δράση εξωγενών παραγόντων που συντελούν στην αύξηση της διατμητικής τάσης του εδάφους, είτε σε ενδογενής παράγοντες που συντελούν στην μείωση της διατμητικής αντοχής του.

Τέτοιοι μηχανισμοί όσο αφορά τη πρώτη κατηγορία μπορεί να είναι οι ακόλουθοι:

- Αύξηση της κλίσεως των πρανών είτε από φυσικούς παράγοντες, είτε από ανθρώπινη επέμβαση. Παρουσιάζεται, δηλαδή, αστοχία στις περιπτώσεις εκσκαφών στη βάση των πρανών για την διάνοιξη οδών ή λόγω διάβρωσης των επιφανειακών υλικών του πρανούς.
- Ανθρώπινη επέμβαση μέσω της επιβολής φόρτισης στην κορυφή του πρανούς (π.χ. επιχώματα, κτίρια, κατασκευές κτλ.)
- Αύξηση του φαινομένου ειδικού βάρους, ή βάρους του όγκου των υλικών, λόγω της βροχόπτωσης.

Αντίθετα, ενδογενείς παράγοντες που δρουν ως μηχανισμοί ενεργοποίησης του φαινομένου, μειώνοντας την συνοχή του εδάφους, αποτελούν:

- Η αύξηση της ανώσεως που εξασκείται σε μια μάζα από τα υπόγεια νερά.
- Η παρουσία υψηλής στάθμης υπογείου υδροφόρου ορίζοντα. Η μόνιμη στάθμη του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα που βρίσκεται μέσα στο πρανές ασκεί υδροστατικές πιέσεις που μειώνουν την ευστάθεια του πρανούς, ενώ στα βραχώδη πρανή η εναλλαγή των φάσεων του νερού (νερό, πάγος κτλ.) αυξάνει το εύρος των ασυνεχειών και ασκεί πιέσεις,

ενώ παράλληλα διευκολύνει και την κυκλοφορία νερού σε βαθύτερα σημεία. Επιπλέον, όταν νερό κινείται μεταξύ περατού και λιγότερο περατού στρώματος λειτουργεί ως «λιπαντικό» μέσο που βοηθά στην αστοχία.

- Η αύξηση της πίεσεως του νερού των πόρων, γνωστή και ως ουδέτερη τάση.
- Η σεισμική φόρτιση. Ιδιαίτερα σε πρανή που αποτελούνται από χαλαρά ή μικρής συνεκτικότητας υλικά κατά τη διάρκεια του σεισμικού κραδασμού επέρχεται μείωση του αλληλοκλειδώματος μεταξύ των κόκκων, ή μείωση της συνοχής και το πρανές οδηγείται σε αστοχία.

Οι δευτερογενείς παράγοντες με τη σειρά τους διακρίνονται σε:

- Εξωγενή αίτια, όπως είναι η αύξηση του φαινομένου ειδικού βάρους, η αύξηση της κλίσεως των πρανών και η αύξηση του βάρους από επιβολή φορτίου.
- Ενδογενή αίτια, όπως είναι η αύξηση της ανώσεως, η αύξηση της πίεσεως του νερού των πόρων, η μείωση της συνοχής, η μείωση της τριβής και η αύξηση του ύψους και του πλάτους της τομής του εδάφους.

Επομένως, δεδομένου πως οι συνέπειες των κατολισθήσεων μπορεί να είναι καταστροφικές για τα τεχνικά έργα ή να προκαλέσουν ακόμα και απώλεια πολλών ζώων, οι κατολισθήσεις αποτελούν φαινόμενα εξαιρετικού ενδιαφέροντος για τους Μηχανικούς. Άρα, η εξεύρεση αποτελεσματικών μεθόδων και εργαλείων εκτίμησης των κατολισθήσεων, είναι απαραίτητη για την πρόληψη τέτοιων καταστροφικών φαινομένων.

1.3.5 Περιοχές επιρρεπείς σε κατολισθήσεις και μέθοδοι αποκατάστασης

Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά των περιοχών χρησιμεύουν στην ανίχνευση σημείων ή περιοχών οι οποίες επιδεικνύουν επιδεκτικότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Τυπικές περιοχές για την εκδήλωση κατολισθήσεων αποτελούν οι απότομες πλαγιές, γκρεμοί και βράχια απότομα τα οποία βρίσκονται κάτω από το καθεστώς της διάβρωσης και της αποσάθρωσης, περιοχές συγκέντρωσης νερού, καθώς και ρηξιγενείς ζώνες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, κατολισθήσεις δεν συμβαίνουν πάντα σε επιρρεπείς περιοχές, αν δεν επικρατούν συγκεκριμένες συνθήκες.

Μετακινήσεις εδάφους μπορούν εν γένει να πλήξουν ορεινά ή πεδινά χωριά έως και μεγάλες αστικές περιοχές, στοές μεταλλείων, οδοποιία και σήραγγες, φράγματα αν η κατολίσθηση συμβεί στα αντερείσματα ή στον ταμιευτήρα του φράγματος καθώς και δίκτυα κοινής ωφελείας και υποθαλάσσιες κατασκευές.

Οι κατολισθήσεις είναι συνηθισμένες σε συγκεκριμένα είδη εδαφών όπως σε μανδύες αποσάθρωσης των πετρωμάτων, στα κορήματα και στα προϊόντα διάβρωσης από το νερό ή τον άνεμο ενώ είναι πολύ σπάνιες σε άλλα είδη εδαφών.

Τα άμεσα μέτρα που μπορούν να γίνουν προκειμένου να αντιμετωπιστεί μια κατολίσθηση, είναι τα ακόλουθα:

- Τοποθέτηση χωματισμών στη βάση της ολισθαίνουσας μάζας ή αφαίρεση χωματισμών από τη κεφαλή της κατολίσθησης.
- Συλλογή και απομάκρυνση όλων των επιφανειακών υδάτων που ρέουν μέσα στην περιοχή που ολίσθησε με χρήση επιφανειακών στραγγιστηριών που κατασκευάζονται είτε παράλληλα με το φρύδι του πρανούς, είτε πάνω στην ολισθαίνουσα μάζα.
- Διάνοξη μέσα στην ολισθαίνουσα μάζα συστήματος κυρίων και δευτερευουσών αποστραγγιστικών στοών για τη συλλογή των υπογείων υδάτων (με φυσική ροή).
- Διάνοξη φρεάτων για άντληση των υπογείων υδάτων με στόχο την ταπείνωση της στάθμης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα.

Παράλληλα, επιπλέον μέτρα θα μπορούσαν να ληφθούν για την αντιμετώπιση μιας κατολίσθησης, όπως η φυτοκάλυψη του πρανούς με την ταυτόχρονη χρήση γεωπλέγματος, η κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στη βάση του πρανούς με πασσάλους ή πασσαλοτοίχων με χρήση αγκυρίων, ώστε να παραλαμβάνονται και οριζόντια φορτία, η μείωση της κλίσεως των πρανών με τη δημιουργία αναβαθμίδων καθώς και η αποφυγή εξωτερικών φορτίσεων στην κορυφή αλλά και στο σώμα του πρανούς.

Κεφάλαιο 2^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων αποτελούν μια πολύ συνηθισμένη γεωμορφολογική διαδικασία με μεγάλο, όμως, βαθμό επικινδυνότητας κυρίως στις ορεινές περιοχές και κατά μήκος τεχνητών πρηνών, όπου μπορεί ενδεχομένως να απειλήσει ανθρώπινες ζωές, συγκοινωνιακά δίκτυα, οικισμούς, εξοπλισμούς και εγκαταστάσεις.

Αν και δεν χαρακτηρίζεται με βαθμό οικονομικού ρίσκου ίσο με άλλους μηχανισμούς αστοχίας, οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων μπορούν να προκαλέσουν τεράστια διακοπή στις συγκοινωνίες και αριθμό θανάτων ίδιο με άλλες μορφές αστοχίας. Η μεγάλη αυτή καταστροφική τους ιδιότητα οφείλεται στο ότι, παρόλο που αφορούν συνήθως μικρούς όγκους βραχοτεμαχίων, χαρακτηρίζονται από υψηλή ενέργεια και κινητικότητα. Επομένως, η εκτίμηση του κίνδυνου και της διακινδύνευσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίων είναι απαραίτητη τόσο για την εξασφάλιση της ασφάλειας όσο και για θέματα χωροθέτησης σε υπό ανάπτυξη περιοχές.

Το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως σε ορεινές περιοχές, και είναι αρκετά διαδεδομένο στον ελλαδικό χώρο. Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί προκύπτει ότι στον ελλαδικό χώρο η αστοχία υπό την μορφή των καταπτώσεων βράχων αποτελεί τον συχνότερο τύπο κατολισθήσεων σε βραχώδεις σχηματισμούς με συχνότητα 56% .

2.2 ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Οι καταπτώσεις βράχων συμβαίνουν όταν μία μάζα βράχων αποκοπεί από το μητρικό πέτρωμα και είναι δυνατή η προς τα κάτω κίνησή της, εφόσον το επιτρέπει η θέση της. Οι καταπτώσεις, γενικά, εκκινούν λόγω κάποιου γεγονότος το οποίο προκαλεί μια αλλαγή στις δυνάμεις που επιδρούν πάνω στο βραχοτεμάχιο, δυνάμεις που μπορεί να συνδέονται με κλιματικά ή βιολογικά γεγονότα ή με κάποια κατασκευαστική δραστηριότητα

Κατά κανόνα, η χαλάρωση των βράχων συνδέεται με την ύπαρξη ασυνεχειών όπως π.χ. διακλάσεις. Η άμεση αιτία χαλάρωσης είναι μία αλλοίωση, συνδεόμενη συνήθως με αποσάθρωση στο υλικό των επιπέδων της πιθανής κίνησης. Οι τύποι των γεγονότων που μπορεί να προκαλέσουν καταπτώσεις βραχοτεμαχίων είναι η αύξηση της πίεσης του ύδατος στις διακλάσεις λόγω βαριάς βροχόπτωσης, η συστολή – διαστολή του βράχου σε ήπια και ψυχρά κλίματα, η χημική αποσύνθεση του βράχου σε υγρά τροπικά κλίματα, η ανάπτυξη των ριζών ή η μόχλευση από αυτές όταν κινούνται λόγω δυνατών ανέμων και οι δονήσεις λόγω σεισμού ή κατασκευαστικής δραστηριότητας. Οι κατασκευαστικές δραστηριότητες είναι πιθανόν να αυξήσουν την επιδεκτικότητα του βράχου στο φαινόμενο της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων κατά το διπλάσιο σε σχέση με τα κλιματικά και τα βιολογικά γεγονότα.

Συνοπτικά, δηλαδή, και σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία, ως αίτια της χαλάρωσης των βράχων αποτελούν η διάβρωση, ο κορεσμός, ο παγετός, η υποσκαφή από ροή νερού, η διαταραχή από υπερκείμενους βράχους, οι σεισμοί, το ριζικό σύστημα βλάστησης, η θερμική διαστολή-συστολή και οι βροχοπτώσεις. Γενικά παρατηρείται ένταση του φαινομένου σε περιόδους με χαμηλή θερμοκρασία και υψηλές βροχοπτώσεις.

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Βάσει της δυναμικής αλληλεπίδρασης των βραχοτεμαχίων, ο Rochet (1987) ταξινόμησε τις καταπτώσεις σε τέσσερις κατηγορίες:

- Την κατάπτωση ενός μόνο βραχοτεμαχίου (ο όγκος κυμαίνεται από 10-2 έως 102 m³),
- Την κατάπτωση μάζας βράχου (όγκος από 102 – 105 m³).
- Την κατάπτωση πολύ μεγάλης μάζας βράχου (όγκος από 105 – 107 m³),
- και τη μετατόπιση μάζας (όγκος > 107 m³)

Οι δύο πρώτες κατηγορίες (όγκος < 105 m³), οι οποίες ορίζονται επίσης και ως «καταπτώσεις βραχοτεμαχίων», χαρακτηρίζονται από μηδενική ή αμελητέα αλληλεπίδραση μεταξύ των βραχοτεμαχίων που πέφτουν. Ακόμα και όταν περιλαμβάνουν περιορισμένα σε όγκο

βραχοτεμάχια, οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων είναι εξαιρετικά επικίνδυνες λόγω της υψηλής χωρικής και χρονικής τους επανάληψης.

Παράλληλα, ανάλογα με το μέγεθος της έκτασης του φαινομένου, μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

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

Επιπλέον των περιπτώσεων που έχουν χαρακτήρα μαζικό, συμβαίνουν και μεμονωμένες καταπτώσεις βραχοτεμαχίων για τον έλεγχο των οποίων πρέπει να πραγματοποιούνται τακτικές επιθεωρήσεις και συντήρηση των συγκοινωνιακών δικτύων. Πρέπει να τονιστεί ότι η γνώση της γεωλογίας μπορεί να κάνει ασφαλέστερη την πρόβλεψη και να ερμηνεύσει τα αίτια του φαινομένου, χωρίς τη γνώση των οποίων τα μέτρα προστασίας δεν είναι αποτελεσματικά.

2.4 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

Μετά την αποκόλληση, η τροχιά που θα ακολουθήσει το βραχοτεμάχιο είναι συνδυασμός τεσσάρων κύριων διαδικασιών (ή «καταστάσεων»), και συγκεκριμένα:

- ολίσθηση και/ ή ανατροπή
- ελεύθερη πτώση
- αναπήδηση (κρούση)
- και κύλιση.

Η κρούση αποτελεί την πιο πολύπλοκη, αβέβαιη και την λιγότερο κατανοητή διαδικασία μιας κατάπτωσης (Broilli 1973, Habib 1977, Bozzolo & Pamini 1986, Azzoni and de Freitas 1995). Η κρούση ενδέχεται να είναι από πλήρως (ή σχεδόν πλήρως) ελαστική μέχρι και πλήρως (ή σχεδόν πλήρως) πλαστική, αναλόγως των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους και του βραχοτεμαχίου, τη γωνία κρούσης, τη μάζα και τη ταχύτητα του βραχοτεμαχίου (Guzzeti et al, 2002).

Οι σημαντικότεροι παράγοντες ελέγχου της τροχιάς ενός βραχοτεμαχίου είναι η γεωμετρία του πρσανούς και ο τύπος της επιφάνειας του πρσανούς. Τα πρρανή που έχουν συμπεριφορά σαν αυτή των «αλμάτων σκι» (ski jumps) θεωρούνται τα πιο επικίνδυνα αφού το βραχοτεμάχιο αποκτά υψηλή οριζόντια ταχύτητα η οποία το ωθεί να αναπηδήσει πολύ μακριά από το πόδι του πρσανούς. Πρρανή με καθαρή επιφάνεια από σκληρό βράχο είναι επίσης επικίνδυνα γιατί έχουν ψηλό συντελεστή απόσβεσης ενέργειας λόγω κρούσης και συνεπώς δεν επιβραδύνουν σε σημαντικό

βαθμό την κίνηση του βραχοτεμαχίου κατά την κατάπτωση. Αντιθέτως, υλικά αποσαθρωμένων βράχων, υλικά κορημάτων, κλαστικά υλικά και χαλίκια έχουν χαμηλό συντελεστή απόσβεσης ενέργειας και επομένως απορροφούν σημαντικό ποσό της ενέργειας του βραχοτεμαχίου, σε βαθμό τέτοιο που μπορεί ακόμα και να σταματήσει.

Συγκεκριμένα, για ομαλή κλίση οι βράχοι ισορροπούν μέχρι κλίση $1/3$. Σε πιο απότομα πρανή οι βράχοι κυλούν επιταχυνόμενα.

Εάν τα πρανή είναι "λεία" οι βράχοι κυλούν στην επιφάνειά τους. Αν και αυτή η συνθήκη σπάνια ικανοποιείται, μπορεί κατά προσέγγιση να ικανοποιηθεί όσο μικρότερο είναι το μέγεθος των στοιχείων που απαρτίζουν την επιφάνεια του πρανούς. Εάν ένα πρανές είναι "τραχύ", προκαλεί απογείωση των βράχων συχνά μετά από μία ή δύο αναπηδήσεις.

Άλλοι παράγοντες όπως το μέγεθος και το σχήμα του βραχοτεμαχίου, τα χαρακτηριστικά τριβής της επιφάνειας των βραχομαζών και το αν το βραχοτεμάχιο σπάει ή όχι κατά τη κρούση θεωρούνται μικρότερης σημαντικότητας.

2.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΚΑΤΑΠΤΩΣΗΣ ΒΡΑΧΟΤΕΜΑΧΙΟΥ

2.5.1 Γενικά

Η πρώτη μελέτη των πτώσεων βράχου έγινε με εμπειρικά διαγράμματα σχεδίου τάφρων σχετικά με τις διαστάσεις πρανών τη δεκαετία του '80, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς βραχόπτωσης όμως ενισχύθηκε από την ανάπτυξη διάφορων προγραμμάτων υπολογιστών που μιμούνται τη συμπεριφορά των πτώσεων βράχου καθώς κυλούν και αναπηδούν πάνω στο πρανές.

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία ενός ενιαίου βράχου, ο οποίος προσγειώνεται στην εξωτερική κλίση της τάφρου. Μια κοινή μελέτη παρουσιάζει αποτελέσματα για κάποιο αριθμό πτώσεων βράχου με τα αντίστοιχα ύψη αναπήδησης. Μπορούν να ληφθούν επίσης ιστογράμματα για το ύψος αναπήδησης και την ταχύτητα του βράχου σε επιλεγμένα σημεία ανάλυσης για κάποιο αριθμό πτώσεων (π. χ, αυτό το σημείο να βρίσκεται σε μια οριζόντια απόσταση από το φρύδι του πρανούς). Η διαδικασία αυτή είναι γνώστη με τον όρο της στοχαστικής ανάλυσης με χρήση στατιστικών δεδομένων. Η εισαγωγή για τα προγράμματα αυτά περιλαμβάνει τους ορισμούς της γεωμετρίας κλίσεων και τάφρων, την παρατυπία (τραχύτητα) του εδάφους, τα χαρακτηριστικά μείωσης των υλικών κλίσεων, και το μέγεθος και τη μορφή του φραγμού.

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων όπως εκείνα παρουσιάζονται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να υπολογιστούν οι διαστάσεις μιας τάφρου ή της βέλτιστης θέσης της, και του απαραίτητου ύψους και αντοχής ενός φράκτη ή ενός εμποδίου. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί επίσης να είναι απαραίτητο το σχέδιο με την απεικόνιση μιας απλής δοκιμής. Αναλυτικά η χρήση

τέτοιων εργαλείων θα αναπτυχθεί σε επόμενο κεφάλαιο όπου θα γίνει εφαρμογή σε περιβάλλον G.I.S.

Με τη πρώτη ματιά, μπορεί να πει κανείς ότι από πλευράς μοντελοποίησης οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων είναι μια απλή διαδικασία. Η πραγματικότητα είναι πολύ διαφορετική αφού αποτελούν παράδειγμα ενός σχετικά απλού μηχανικού συστήματος του οποίου η συμπεριφορά είναι απρόβλεπτη χωρικά αλλά και χρονικά, ακόμα και αν οι αρχικές συνθήκες, η κινητήρια δύναμη (π.χ. η βαρύτητα, ο σεισμός), η γεωμετρία του πρηνούς και η απώλεια ενέργειας κατά τη κρούση είναι γνωστά.

Η αξιοπιστία των μαθηματικών μοντέλων κατάπτωσης βραχοτεμαχίου εξαρτάται από την ικανότητά τους να συμπεριλάβουν την γεωμετρία του πρηνούς και την απώλεια ενέργειας κατά τη κρούση ή την κύλιση. Αυτό είναι πολύ δύσκολο λόγω της δραματικής αβεβαιότητας και της χωρικής μεταβλητότητας των σχετικών παραμέτρων (μέγεθος, σχήμα και γεωμηχανικές ιδιότητες των βραχοτεμαχίων, τοποθεσία της υπό μελέτης περιοχής, γεωμετρία και μηχανικές ιδιότητες των εδαφικών υλικών, κλπ.). Η απώλεια ενέργειας είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση ενός αριθμού παραμέτρων, όπως η κοκκομετρική καμπύλη, ο λόγος κενών, η περιεκτικότητα σε νερό των εδαφικών υλικών, η γεωμετρία του βραχοτεμαχίου και η δυναμική της κρούσης (Crosta & Agliardi, 2004), οι οποίοι είναι δύσκολο να καθοριστούν επακριβώς. Επιπλέον, μια μέθοδος ανάλυσης είναι πάντοτε σε κάποιο βαθμό ευαίσθητη σε μικρές αλλαγές των παραμέτρων που εμπεριέχει (Stevens, 1998).

Όπως είναι λοιπόν κατανοητό, η πρόβλεψη της τροχιάς ενός βραχοτεμαχίου είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που περιέχει μεγάλη δόση αβεβαιότητας και μια ακριβής πρόβλεψη των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων είναι πρακτικά αδύνατη. Η υλοποίηση στατιστικών αναλύσεων και προσομοιώσεων βασισμένων στη θεωρία των πιθανοτήτων έχει αποδειχτεί ως μια αποτελεσματική και αποδεκτή μέθοδος για την υπερνίκηση τέτοιων δυσκολιών. Έτσι, τα περισσότερα μοντέλα προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου χρησιμοποιούν τη τεχνική προσομοίωσης Monte Carlo για να μεταβάλλουν τις παράμετρους που περιλαμβάνονται στην ανάλυση. Με χρήση της τεχνικής αυτής, είναι δυνατόν η γωνία κλίσης του πρηνούς, ο συντελεστής απόσβεσης ενέργειας λόγω κρούσης κλπ. να μεταβάλλονται με τυχαίο τρόπο μέσα σε προκαθορισμένα όρια.

2.5.2 Διδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου

Μέχρι και σήμερα έχουν αναπτυχθεί πάρα πολλά μοντέλα προσομοίωσης της κατάπτωσης βραχοτεμαχίου. Στη πλειοψηφία τους είναι δισδιάστατα και μελετούν τη τροχιά που θα ακολουθήσει ένα βραχοτεμάχιο κατά μήκος μιας επιλεγμένης τομής του φυσικού εδάφους ή του τεχνητού πρानού (η οποία διαμορφώνει το υπό μελέτη πρानές), ή κατά μήκος της μέγιστης κλίσης ενός πρानού (π.χ. Σακελλαρίου et al 1995, Spang 1995, Kawamura et al 2003).

Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται μερικά προγράμματα προσομοίωσης της κατάπτωσης βραχοτεμαχίου. Τα περισσότερα υιοθετούν την προσέγγιση μιας σημειακής μάζας ή την προσέγγιση ενός στερεού σώματος. Στη δεύτερη περίπτωση, χρησιμοποιείται ένα απλό γεωμετρικό σχήμα για το βραχοτεμάχιο (π.χ. σφαίρα, δίσκος, κύλινδρος). Η υβριδική προσέγγιση αφορά στη χρήση της προσέγγισης μιας σημειακής μάζας για τη προσομοίωση της ελεύθερης πτώσης και στη χρήση της προσέγγισης του στερεού σώματος για τη προσομοίωση της κύλισης, της κρούσης και της αναπήδησης. Τα πιο πολλά από τα προγράμματα του Πίνακα 2.1 δουλεύουν λογικά καλά σε μικρές όμως περιοχές για τις οποίες είναι διαθέσιμη λεπτομερής θεματική πληροφορία (συμπεριλαμβανομένης και της τοπογραφίας). Σε μεγάλες, όμως, περιοχές, όπως μια επαρχία ή μια λεκάνη απορροής, που εκτείνονται από δεκάδες έως και εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα και για τις οποίες μπορεί να μην υπάρχει λεπτομερής θεματική πληροφορία (Guzzetti et al. 2002), αποδεικνύονται ακατάλληλα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας τους έναντι του φαινομένου των καταπτώσεων.

ΕΤΟΣ	ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ (-ΕΙΣ)	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΜΕΘΟΔΟ-ΛΟΓΙΑ	ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ
1976	Piteau & Clayton	Computer Rockfall Model	2-Δ	Σημειακή Μάζα	Μερικώς
1982-86	Bozzolo & Pamini	SASS - MASSI	2-Δ	Υβριδική	Ναι
1985	Bassato et al.	Rotolamento Salto Massi	2-Δ	Σημειακή Μάζα	Όχι
1987	Descouerdes & Zimmermann	Eboul	3-Δ	Στερεού σώματος	Όχι
1988-91	Pfeiffer & Bowen Pfeiffer et al.	CRSP	2-Δ	Υβριδική	Ναι

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ

1990	Kobayashi et al.	-	2-Δ	Στερεού σώματος	Όχι
1991-95	Azzoni et al.	CADMA	2-Δ	Υβριδική	Ναι
1991	Scioldo	Rotomap	3-Δ	Σημειακή Μάζα	Όχι
1998	Stevens	RocFall	2-Δ	Υβριδική	Ναι
1999	Paronuzzi & Artini	Mobyrock	2-Δ	Σημειακή Μάζα	Ναι
1995-2001	Κοζάνης & Σακελλαρίου	Rockfall	2-Δ	Σημειακή Μάζα	Ναι
2000	Jones et al.	CRSP 4.0	2-Δ	Υβριδική	Ναι
2002-04	Guzzetti et al. Agliardi & Crosta	STONE	3-Δ	Υβριδική	Ναι

Πίνακας 2.1: Τα κύρια χαρακτηριστικά διαφόρων λογισμικών τα οποία υπολογίζουν καταπτώσεις βραχοτεμαχίων (Guzzetti et al. 2002).

Το λογισμικό “RocFall” της εταιρείας Rocscience Inc. είναι ένα από τα πιο αναλυτικά προγράμματα για τη διδιάστατη μελέτη της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων από ένα πρηνές. Το “RocFall” είναι ένα εύκολο στη χρήση λογισμικό το οποίο πραγματοποιεί προσομοιώσεις της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων με χρήση της θεωρίας των πιθανοτήτων (στοχαστική ανάλυση) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό μέτρων προστασίας και τον έλεγχο της αποτελεσματικότητά τους.

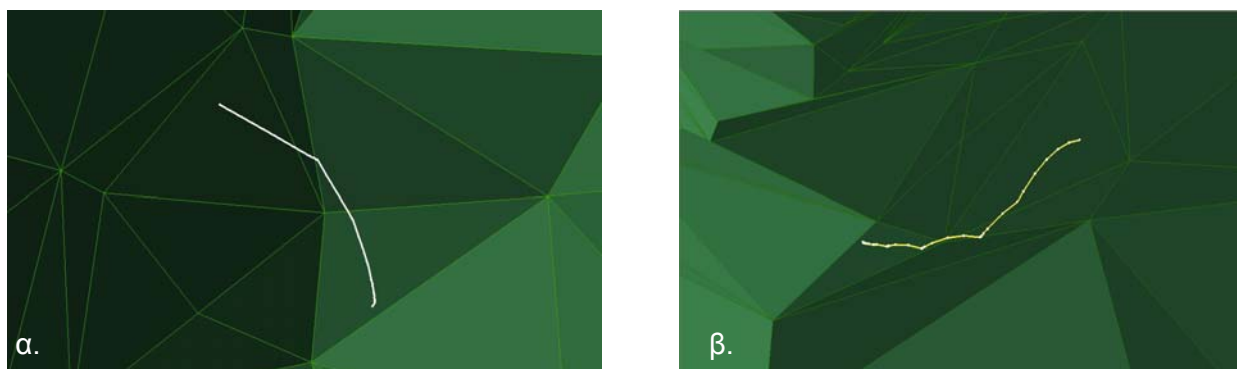
2.5.3 Τριδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου

Παρόλο που μια διδιάστατη προσέγγιση κατάπτωσης βραχοτεμαχίων είναι προτιμητέα από λειτουργικής και υπολογιστικής άποψης, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και οι επεκτάσεις αυτών σε γειτονικές περιοχές είναι υποκειμενική (Crosta & Locatelli, 2004), γεγονός που οφείλεται στο ότι η προσομοίωση σε ένα διδιάστατο μοντέλο γίνεται κατά μήκος μιας καθορισμένης, από το μελετητή, τομής χωρίς να λαμβάνει υπόψιν τη τριδιάστατη φύση της γεωμετρίας των πραγματικών πρηνών. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ένα σοβαρό περιορισμό στη προσπάθεια δημιουργίας μιας αξιόπιστης προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίων.

Η γεωμετρία των πρानών, αν αυτή θεωρηθεί τριδιάστατη, περιπλέκει ακόμη περισσότερο τη προσομοίωση της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων, καθώς μεταβάλλεται κατά την εγκάρσια κατεύθυνση λόγω της παρουσίας ρεμάτων απορροής, κυρτοτήτων και επιμηκών ραχών, τα οποία επηρεάζουν τις τροχιές των βραχοτεμαχίων και τη κατανομή της κινητικής ενέργειας σε μεταφορική και περιστροφική (Agliardi & Crosta, 2003). Το σημαντικότερο τρισδιάστατο χαρακτηριστικό (3D effect) είναι η ύπαρξη της «εγκάρσιας διασποράς» (“lateral dispersion”) (Broilli 1973, Bozzolo et al. 1988, Azzoni et al. 1995), που είναι ο λόγος της εγκάρσιας απόστασης που χωρίζει τις ακραίες τροχιές μιας κατάπτωσης προς το μήκος του πρानού (Azzoni et al., 1995).

Η εκτίμηση της εγκάρσιας διασποράς αποτελεί ένα κρίσιμο πρόβλημα στη προσομοίωση των καταπτώσεων που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το τρόπο με τον οποίο προσομοιώνονται οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων, εκτιμάται η επικινδυνότητα τους και σχεδιάζονται προστατευτικά μέτρα.

Η ύπαρξη, λοιπόν, της «εγκάρσιας διασποράς» καθιστά δύσκολη την a priori επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει ένα βραχοτεμάχιο εάν υιοθετηθεί μια διδιάστατη προσέγγιση (Agliardi & Crosta, 2003). Μια τέτοια επιλογή είναι υποκειμενική και πιθανόν να οδηγήσει σε μη αποδεκτά σφάλματα. Συνεπώς, θεωρούμε ότι, κατά τη κρούση, η οποία για χάριν απλότητας θεωρείται στιγμιαία, εκτός του ότι χάνεται ενέργεια, η διεύθυνση της κίνησης της κατάπτωσης αλλάζει στο χώρο. Όταν, δηλαδή, ένα βραχοτεμάχιο αποκολλάται από ένα πρानές και αρχίζει να πέφτει, δεν ακολουθεί σχεδόν ποτέ μια ευθεία πορεία αλλά, με βάση τη γεωμετρία του πρανού (συνδυασμός κλίσης και προσανατολισμού) και τον τύπο της επιφάνειας (συντελεστής απόσβεσης ενέργειας λόγω κρούσης) στην οποία προσκρούεται μετά από κάθε αναπήδηση, ακολουθεί μια τεθλασμένη πορεία που η γεωμετρία του πρανού του ορίζει.



Εικόνα 2.1: Η τροχιά που ακολουθεί ένα βραχοτεμάχιο βάσει ενός τριδιάστατου μοντέλου προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίων σε (α) κάτοψη και σε (β) τριδιάστατη όψη.



Εικόνα 2.2: Βραχώδης λόφος και κώνος κορημάτων κοντά στο πέρασμα Fordoi (Κεντρικές – Ανατολικές Άλπεις, Ιταλία). Η εικόνα δείχνει τα κύρια τοπογραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά τα οποία ελέγχουν την εγκάρσια διασπορά των διαδρομών που ακολουθούν οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων, όπως ρέματα, κυρτότητες, σκληροί κώνοι κορημάτων, κλπ.

Φυσικά, ένα τριδιάστατο μοντέλο είναι αρκετά πιο πολύπλοκο απ' ό τι ένα διδιάστατο γιατί απαιτεί εξισώσεις κίνησης του βραχοτεμαχίου στο τρισδιάστατο χώρο. Στην αναζήτηση τέτοιων εξισώσεων, οι οποίες να αναπαραριστούν ρεαλιστικά την κίνηση του βραχοτεμαχίου, μεγάλη δυσκολία θα συναντήσει κανείς στην εύρεση της πορείας που θα ακολουθήσει ακριβώς μετά τη πρόσκρουσή του με το έδαφος. Το κομμάτι αυτό πρέπει να στηρίζεται στη θεωρία των κρούσεων στο χώρο και η εφαρμογή μια απλής ανάκλασης θεωρείται λανθασμένη.

Ένα αξιόλογο τρισδιάστατο μοντέλο που έχει αναπτυχθεί είναι το STONE (Guzzetti et al. 2002, Agliardi & Crosta 2003, Crosta et al 2004).

2.6 ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ

2.6.1 Γενικά

Η επιλογή και ο σχεδιασμός αποτελεσματικών μέτρων προστασίας απαιτούν τη δυνατότητα να προβλεφθεί η συμπεριφορά της βραχόπτωσης. Ενδεικτικά αναφέρονται η αγκύρωση μεγάλων βραχοτεμαχίων, η επένδυση των πρανών με χαλύβδινα δίχτυα τα οποία περιορίζουν την ορμή των βράχων, η κατασκευή τάφρων στο δάπεδο των οποίων καλό είναι να υπάρχουν χαλίκια ή άμμος για την απορρόφηση της ενέργειας κατά την κρούση, φράχτες με στύλους ή ακόμη και τοίχοι από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Πάντως, μια γενική και αποτελεσματική τακτική αντιμετώπισης του κίνδυνου των βραχοπτώσεων είναι να αφεθούν οι πτώσεις να εμφανιστούν και να ελεγχθεί η απόσταση και η κατεύθυνση πορείας τους.

Οι μέθοδοι ελέγχου βραχόπτωσης και η προστασία των εγκαταστάσεων στο πόδι του πρानούς περιλαμβάνουν προσθήκες όπως τις τάφρους συλλογής, τα εμπόδια, φράκτες πλέγματος από συρματόσχοινο, κρεμασμένο πλέγμα, και υπόστεγα. Το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων αυτών των πρόσθετων δομών προστασίας είναι η δυνατότητα απορρόφησης της ενέργειας της κρούσης, με αποτέλεσμα την ακινητοποίηση της πτώσης μετά από κάποια απόσταση ή την εκτροπή από την επικίνδυνη για τα τεχνικά έργα τροχιά. Έτσι μπορούν να ελεγχθούν ακόμα και βράχοι με διαμέτρους 2-3m που πέφτουν από τα ύψος αρκετών μέτρων και χτυπούν με ενέργειες έως και 1 MJ. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι άκαμπτες δομές, όπως συγκεκριμένοι τοίχοι ή πακτωμένοι φράκτες με δύσκαμπτες συνδέσεις, είναι σπάνια κατάλληλες για την παύση των πτώσεων.

2.6.2 Κλιμακοποίηση των πρानών (αναβαθμοί)

Η ανασκαφή των ενδιάμεσων σημείων του πρानούς σε μορφή κλίμακας μειώνει συνήθως τον κίνδυνο από τη βραχόπτωση αν και αυξάνει την συχνότητα του φαινομένου. Η κλιμακοποίηση των πρανών μπορεί να είναι αρνητικός παράγοντας όμως όταν αστοχούν τα εδάφη και οι μορφές τους αφήνουν ανώμαλες προεξοχές. Ο βράχος πέφτει πάνω σε αυτές τις προεξοχές και τείνει να αναπηδήσει μακριά από το πόδι και να προσγειωθεί σε ιδιαίτερη απόσταση από αυτό. Όταν οι στρώσεις γεμίζουν συντρίμια, επίσης, δεν είναι αποτελεσματικά στην ακινητοποίηση του βράχου. Είναι σπάνια εφικτό να αφαιρεθούν αυτά τα συντρίμια λόγω των επικίνδυνων σημείων που βρίσκονται και των ασυνεχειών που παρουσιάζουν οι στρώσεις. Η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά κοινή και εμφανίζεται πολύ συχνά στον ελληνικό χώρο.

2.6.3 Τάφροι

Μια τάφρος συγκομιδής στο πόδι του πρανούς είναι συχνά ένας οικονομικά αποδεκτός τρόπος στις πτώσεις βράχου όταν υπάρχει επαρκές διάστημα για αυτήν. Οι απαραίτητες διαστάσεις της τάφρου, όπως καθορίζονται από το πλάτος της βάσης και του βάθους, εξαρτώνται από το ύψος και τη γωνία κλίσης του πρανούς. Η διαδικασία σχεδιασμού τάφρων αναπτύσσεται από δοκιμές σε διατομές, παρουσιάζει την επίδραση της κλίσης του πρανούς στην πορεία που τείνουν να ακολουθήσουν οι βραχοπτώσεις και αντίστοιχα πως επηρεάζουν αυτές τον σχεδιασμό των τάφρων. Ως αποτέλεσμα γενικά προκύπτει ότι για πιο απότομες από περίπου 75 βαθμούς γωνίες κλίσης, οι βράχοι τείνουν να μείνουν κοντά στο πρανές και στο πόδι του. Για γωνίες κλίσεων μεταξύ περίπου 55 και 75 βαθμών, οι βράχοι τείνουν να αναπηδήσουν και να περιστραφούν, με αποτέλεσμα να προσγειωθούν σε μια σημαντική απόσταση από το πόδι και έτσι απαιτείται μια ευρεία τάφρος. Για γωνίες κλίσεων μεταξύ περίπου 40 και 55 βαθμών, οι βράχοι τείνουν να κυλήσουν εντός της τάφρου και απαιτείται ένα απότομο αντίθετης κλίσης ανάχωμα για να τους αποτρέψει από να κατρακυλήσουν εκτός. Όπου η κλίση έχει ανώμαλες προεξοχές επί του

πρανούς, οι διαστάσεις τάφρων πρέπει να αυξηθούν από αυτές που καταδεικνύονται στο διάγραμμα μελέτης για να συμπεριληφθούν και οι δυσμενέστερες προβλέψεις αναπήδησης.

Οι πρόσφατες εφαρμογές στο σχεδιασμό τάφρων, ενσωματώνουν τις γεωμετρικές απαιτήσεις εθνικών οδών καθώς επίσης και τις διαστάσεις που προβλέπουν οι κανονισμοί.

2.6.4 Εμπόδια

Μια ποικιλία από εμπόδια μπορεί να κατασκευαστεί είτε για να ενισχύσει την απόδοση των ανασκαμμένων τάφρων, είτε στις ζώνες συλλογής στα πόδια των πρανών. Ο απαραίτητος κάθε φορά τύπος εμποδίου και οι διαστάσεις του εξαρτώνται από την ενέργεια των βραχοτεμαχίων, την κλίση του εδάφους και τα διαθέσιμα δομικά υλικά. Τα συνήθη παραδείγματα εμποδίων είναι τα δέματα και ειδικά φράγματα από γεωλογικά υλικά και χώμα.

Η λειτουργία ενός εμποδίου είναι να διαμορφωθεί το έδαφος με μια κάθετη κατασκευή έπειτα της τάφρου που θα παγιδεύει τον βράχο. Τα εμπόδια είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στα πόδια τέτοιων πρανών όπου ο βράχος ήδη ολισθαίνει ή δεν αναπηδά σημαντικά. Τέτοιοι βράχοι μπορεί να καταλήξουν σε μια τάφρο στο πόδι του πρανούς αλλά μπορούν να αναπηδήσουν επάνω από αυτήν και να πλήξουν το έργο. Ένα κάθετο εμπόδιο βοηθά να αποτραπούν τέτοιες πτώσεις.

2.6.4.1 Καλάθια και ειδικοί φραγμοί

Τα καλάθια είναι κυβοειδής συρμάτινα δέματα γεμάτα βραχώδη υλικά, με διαστάσεις διατομής περίπου στο 1 τετραγωνικό μέτρο τα οποία τοποθετούνται στη σειρά και είναι συνήθως κατασκευασμένα με θραύσματα από βραχώδεις έδαφος της περιοχής. Τα πλεονεκτήματά τους είναι η ευκολία της οικοδόμησης στις απότομες βουνοπλαγιές και η ικανότητά τους να αντέξουν σε μεγάλο βαθμό τη κατάπτωση. Εντούτοις, αυτά τα δέματα παθαίνουν ζημιές μετά την κατάπτωση σημαντικά μεγάλου τεμάχους και οι δαπάνες συντήρησης, και επισκευής μπορεί να είναι σημαντικές. Οι ειδικοί φραγμοί χρησιμοποιούνται επίσης εκτενώς στα συστήματα μεταφορών για τη συγκράτηση βραχοπτώσεων επειδή είναι συχνά εύκολα διαθέσιμοι και μπορούν να τοποθετηθούν γρήγορα. Εντούτοις, οι συγκεκριμένοι φραγμοί είναι κάπως λιγότερο ελαστικοί από τα δέματα.

Τα δέματα και οι ειδικοί φραγμοί διαμορφώνουν μια αποτελεσματική προστασία από βραχοπτώσεις διαμέτρου βράχου πάνω από περίπου 0,75 μ.

2.6.4.2 Εμπόδια από χώμα

Διάφορα εμπόδια κατασκευάζονται με τη χρησιμοποίηση εδαφικών υλικών και χώματος διαδοχικά, σε πιεσμένες λωρίδες των 0,6 μ ύψους περίπου ώστε να διαμορφωθούν σε μέγεθος που μπορεί να είναι ψηλό έως και 4 μ. Τυλίγοντας τα υλικά κάθε στρώσης σε ειδικό πλέγμα, είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα κατακόρυφο εμπόδιο σαν μεγάλος τοίχος με τις πλευρές όμως ενισχυμένες με υλικά όπως μεταλλικά ερείσματα, δέματα και λαστιχένιες ρόδες ώστε να βελτιωθεί η

στατικότητα τους. Η ικανότητα ενός εμποδίου αυτού του τύπου για να σταματήσει τις πτώσεις βράχου εξαρτάται από τη μάζα του σε σχέση με την ενέργεια της κρούσης και στην ικανότητά του να παραμορφωθεί χωρίς να αστοχήσει. Η παραμόρφωση μπορεί να είναι και ελαστική στα επιμέρους τμήματα των εμποδίων και να εκφραστεί ως μια μετατόπιση χωρίς ζημιές στα στρώματα που καθορίζει το πλέγμα ή στη βάση.

Εκτενής δοκιμή τέτοιων πρωτότυπων εμποδίων έχει δείξει ότι μπορούν να αντισταθούν στις υψηλής ενέργειας επιδράσεις χωρίς σημαντική ζημία.

2.6.5 Συστήματα φρακτών στην απόσβεση της ενέργειας της βραχόπτωσης

Οι διάφοροι τύποι φρακτών και διχτύων που ήταν σε χρήση κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 είχαν εξεταστεί λεπτομερώς και ήταν κατάλληλοι για τα απότομα πρανή με ή χωρίς τάφρους και για τις ζώνες συγκέντρωσης κατακρημνισμάτων των βραχοπτώσεων. Το αν είναι κατάλληλη μια κατασκευή για μια οποιαδήποτε περιοχή εξαρτάται από την τοπογραφία, τα προσδοκώμενα φορτία καταπόνησης, το ύψος αναπήδησης, και την τοπική διαθεσιμότητα των υλικών. Το κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτών των κατασκευών είναι ότι με όλα τους τα συστατικά να παρουσιάζουν ελαστικότητα, δύνανται να απορροφούν την ενέργεια της βραχόπτωσης. Όταν ένας βράχος συγκρούεται με τον φράκτη, υπάρχει παραμόρφωση του πλέγματος, το οποίο δεσμεύει την ενέργειά του κατά τη διάρκεια της επαφής. Αυτή η ιδιότητα αυξάνει σημαντικά την δυνατότητα τους να σταματήσουν τον υπό κίνηση βράχο και επιτρέπει τη χρήση ελαφρύτερων και χαμηλότερου κόστους κατασκευής υλικών.

2.6.5.1 Πλέγματα με σχοινί

Έχουν αναπτυχθεί ειδικά πλέγματα με υψηλή ικανότητα ενεργειακής απορρόφησης κατασκευασμένα κυρίως με σχοινιά, που συγκρατούνται από χοντρά συρματόσχοινα που πιάνουν μέσα στη γη. Τέτοια μπορούν να κατασκευαστούν είτε μέσα στην τάφρο δίπλα από το δρόμο ή το σιδηρόδρομο, είτε σε απότομες κλίσεις επάνω τους. Ο σκελετός αυτών των διχτύων είναι μια σειρά από χαλύβδινα δοκάρια ανά διάστημα 6m περίπου σταθεροποιημένα στη γη με στήριξη από μπουλόνια. Η συγκράτησή τους από τα συρματόσχοινα που πιάνουν στη γη μπορεί να είναι ελαστική χάρη στα ειδικά ελατήρια που ενεργοποιούνται κατά τη διάρκεια των υψηλής ενέργειας καταπτώσεων με αποτέλεσμα να οι βράχοι να ακινητοποιούνται και να μην ανακλώνται πάλι προς τα πάνω.

Το πλέγμα αποτελείται από ένα σύστημα δύο στρώσεων, ένα μεταλλικό πλέγμα από αλυσίδα και δίχτυ από σχοινί 8mm τοποθετημένο διαγώνια σαν να δημιουργεί ιστό ακτίνας 100- 200mm κάθε φορά. Οι διαστάσεις διατομής του σχοινού ποικίλουν ανάλογα με τις αναμενόμενες ενέργειες κρούσης και το ύψος των φραγμών. Το σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτού του τύπου διχτύου είναι η μέθοδος κατασκευής του που προσφέρει υψηλή αντοχή.

Μια εκτενής σειρά δοκιμών έχει δείξει ότι έχουν την ικανότητα να σταματήσουν βράχους με ενέργεια κρούσης έως και 800KJ χωρίς σημαντική ζημία. Αυτό το μέγεθος ενέργειας είναι ισοδύναμος με βράχο που ζυγίζει 3000 κιλά και πέφτει με ταχύτητα 23m/s. Οι δοκιμές επίσης έδειξαν ότι οι βράχοι που έχουν ήδη συσσωρευτεί πίσω από το δίκτυ μπορούν εύκολα να καθαριστούν χάρη στο ειδικό σύστημα που κάνει δυνατή την αποκόλληση από τη βάση και ανύψωση του πλέγματος.

2.6.5.2 Ευκίνητοι φράχτες

Ένας ευκίνητος φράκτης αποτελείται από μια σειρά μεταλλικών στηλών που κατασκευάζονται από ειδικές ελαστικές ίνες και είναι πακτωμένες μέσα σε σωλήνα από χάλυβα στη γη. Αυτό ο ελαστικός σκελετός μπορεί να είναι επικλινείς με μεγάλες αποκλίσεις από την αρχική του θέση και μπορεί να επανέρχεται χωρίς ζημία. Οι στήλες χωρίζονται σε διαστήματα ανά 5 μέτρα και θεμελιώνονται μέσα σε χαλύβδινη βάση σε βάθος 1 μέτρου. Το τοποθετημένο δίκτυ είναι πλεγμένο έτσι ανάμεσα στις στήλες ώστε η ενέργεια της κρούσης να κατανέμεται σε όλο το μήκος του φράκτη. Το δίκτυ είναι τυποποιημένο με τη μορφή σήτας κενών 50 χιλιοστών και συνδέεται και με το χάλυβα. Όταν οι μικροί βράχοι χτυπούν στο φράκτη, η ενέργεια απορροφάται μόνο από το δίκτυ και στην περίπτωση που είναι μεγαλύτεροι βράχοι, το δίκτυ τεντώνει και κάμπτονται οι στήλες. Ο φράκτης επαναφέρεται έπειτα στην αρχική κάθετη θέση του, ενώ ο βράχος μένει εγκλωβισμένος στο ελαστικό δίκτυ.

Ο ευκίνητος φράκτης είναι ένα χαμηλού κόστους εμπόδιο που θα πρέπει όμως να σχεδιαστεί ώστε η βραχύπτωση να μην προκαλέσει από την κρούση της απόκλιση σε αυτόν από την κανονική του θέση μεγαλύτερη των 45 βαθμών. Αυτό το όριο εκτροπής παρέχει την δυνατότητα για προστασία από πτώσεις ενός μεγάλου αριθμού στο ίδιο έτος. Το σημείο τοποθέτησης παίζει σημαντικό ρόλο και πρέπει να επιλέγεται έπειτα από τον απαραίτητο σχεδιασμό, συνήθως αρκετά πιο πάνω από το τεχνικό έργο, ειδάλλως υπάρχει το ενδεχόμενο η ακινητοποίηση να μην πραγματοποιηθεί ή να γίνει εντός της οδού, πράγμα επικίνδυνο.

2.6.5.3 Φράχτες σε ομαλά πρηνή μικρής κλίσης

Ο βράχος που πέφτει από τέτοια πρηνή τείνει να κυλήσει και παραμένει κοντά στην επιφάνεια τους. Σε αυτές τις συνθήκες αν ένας ελαφρύς φράκτης συνδεδεμένος με αλυσίδα τοποθετηθεί σε κάθε σημείο όπου υπάρχει κίνδυνος, μπορεί να επιβραδύνει ή να πιάσει το βράχο. Το σημείο που θα τοποθετηθεί ο φράκτης εξαρτάται από το μέγεθος του βράχου και το ύψος της πτώσης.

2.6.6 Συστήματα απόσβεσης της βραχόπτωσης

Όταν οι βράχοι πέφτουν κάτω σε αναμενόμενη διαδρομή μέσα από τη κύτη του πρανούς, εκτός από σταθερούς τοίχους, είναι δυνατό να τοποθετηθούν διάφοροι σχετικά ελαφριοί φράκτες που επιβραδύνουν και απορροφούν την ενέργεια της βραχόπτωσης. Η γενική μέθοδος είναι να εγκατασταθεί ένα ζευγάρι από αγκύρια για να συγκρατήσει τα συρματόσχοινα από τα οποία ο φράκτης πρόκειται να συγκρατηθεί. Για τις πτώσεις βράχου με διαστάσεις τεμαχίων περίπου 200 χιλ., είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση απλώς μια αλυσίδα ενώ για μεγαλύτερα τεμάχια θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συρμάτινο πλέγμα.

Ένας φράκτης τέτοιας μορφής που χρησιμοποιεί ρόδες αυτοκινήτου για την απορρόφηση της ενέργειας κρούσης, έχει αποδειχθεί κατάλληλος σε διάφορες εγκαταστάσεις για κομμάτια βράχου έως 1 μέτρο. Οι σωροί από λάστιχα μαζί με τις ζάντες τους τοποθετημένα κατά μήκος της κοίτης του πρανούς και δεμένα με συρματόσχοινο, διαμορφώνουν ένα εμπόδιο κατάλληλο για προστασία των οδών. Όταν παρουσιαστεί η βραχόπτωση, η κινητική της ενέργεια θα αποσβεστεί από έναν συνδυασμό της συμπίεσης των λαστιχένιων ροδών, της μετακίνησης όλου του συστήματος δεμένου όπως είναι καθώς και της ταλάντωσής του με τη βοήθεια των συρματόσχοινων. Για να βελτιωθεί η αισθητική του φράκτη, ένας δεύτερος φράκτης που κατασκευάζεται από ξύλο και επενδύει αυτόν, μπορεί να τοποθετηθεί από την πλευρά του παρατηρητή.

Οι απαιτήσεις συντήρησης και η ασφάλεια των εργαζομένων πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φρακτών. Ένα κατάλληλα σχεδιασμένο σύστημα δεν πρέπει να χρειαστεί επισκευές εάν οι καταπτώσεις είναι μέσα στα όρια ανοχής του σχεδιασμού. Εντούτοις, ο καθαρισμός από τη συγκεντρωμένη βραχομάζα είναι απαραίτητος για οποιοδήποτε σύστημα. Τα τυπικά εμπόδια όπως τα δέματα και οι τοίχοι απαιτούν χώρο και πρόσβαση από πίσω τους για τις εκκαθαριστικές επιχειρήσεις. Σε αντίθεση, οι διάφοροι τύποι φρακτών δεν έχουν αυτήν την απαίτηση, λόγω της μορφής του σχεδιασμού τους, που επιτρέπει στα δίκτυα να καθαρίζονται από μπροστά με την ανύψωση ή αφαίρεση κάθε κομματιού.

2.6.7 Φράκτες προειδοποίησης

Οι φράκτες με σήματα προειδοποίησης που ενεργοποιούνται από τη κατάπτωση χρησιμοποιούνται μερικές φορές για να προστατεύσουν τους σιδηροδρόμους και τις εθνικές οδούς στο εξωτερικό. Ο φράκτης προειδοποίησης αποτελείται από μια ξύλινη κατασκευή που υποστηρίζεται από καλώδια χωρισμένα κατά διαστήματα περίπου του 0,5 μ. Τουλάχιστον ένα καλώδιο θα σπάσει επί του πρανούς κατά τη διάρκεια μια τυχαίας βραχόπτωσης. Τα καλώδια αυτά όμως συνδέονται ηλεκτρικά με σύστημα ενδείξεως κόκκινου φωτός όταν σπάσει κάποιο από αυτά. Το κόκκινο σήμα ενεργοποιείται αρκετά μακριά από την κατάπτωση και οι οδηγοί έχουν το χρονικό περιθώριο για στάση και έλεγχο ώστε να προχωρήσουν με προσοχή στην πληγείσα περιοχή.

Τέτοιου είδους φράχτες είναι πιο εφαρμόσιμοι σε περιοχές με λιγότερη κίνηση όπου η δυνατότητα περιστασιακής διακοπής είναι πιο εφικτή. Εντούτοις, η χρήση τους ως μέτρο προστασίας έχει διάφορα μειονεκτήματα. Το σήμα πρέπει να αναφερθεί σε ιδιαίτερα μεγάλη απόσταση από την πτώση, και οι πτώσεις μπορούν να εμφανιστούν επί της οδού όταν ακόμη υπάρχουν αυτοκίνητα λόγω αδυναμίας πρόβλεψης της ακριβούς διάρκειας της πτώσης. Παράλληλα, ψεύτικοι συναγερμοί μπορούν να προκληθούν από ασήμαντες πτώσεις του βράχου ή ακόμη και τεμαχίων πάγου ή χιονιού το χειμώνα και οι δαπάνες αποκατάστασης να είναι σημαντικές.

2.6.8 Υπόστεγα και σήραγγες

Για την αντιμετώπιση του ακραίου κινδύνου από πολύ μεγάλες βραχοπτώσεις όπου η εργασίες σταθεροποίησης θα ήταν πολύ δαπανηρές, η κατασκευή ενός ανθεκτικού υπόστεγου από μπετόν ή ακόμα και η διάνοιξη στην οδό ή τον σιδηρόδρομο σήραγγας πέρα από την διευκόλυνση στη χάραξη, μπορεί να είναι αποβεί και οικονομικότερη. Τα υπόστεγα με στέγες ακόμα και από ξύλο τείνουν με μια ελαφρά γωνία κλίσης στη οροφή να επιτρέψουν στους βράχους να περάσουν από πάνω και να συνεχίσουν την τροχιά τους ή να κατευθυνθούν στην επιθυμητή πορεία. Η τοποθέτησή τους γίνεται σε σημεία που αποτελούν τομή του έργου με την κύτη διέλευσης βράχων του πρανούς. Ειδική είναι η περίπτωση όπου το υπόστεγο θα στηρίξει και το πρανές, με τον εσωτερικό τοίχο να αποτελεί παράλληλα και τοίχο αντιστήριξης, ενώ για τη κατασκευή απαιτείται ειδική θεμελίωση και υλικά (ενισχυμένο μπετόν). Επίσης, κατά το σχεδιασμό πρέπει να ληφθούν υπόψη στα φορτία πέραν του φέροντα οργανισμού της δομής και το κινούμενο φορτίο που παράγεται από τον αντίκτυπο της πτώσης. Το στρώμα από αμμοχάλικο στη στέγη ενεργεί ως ενεργειακό απορροφητικό και για την προστασία του σκυροδέματος, αλλά το πάχος του πρέπει να ισορροπηθεί με βάση τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα στοιχείο ελαφρού βάρους, όπως μια κυπελοειδής επιτροπή μετάλλων. Οι κολώνες που υποστηρίζουν το εξωτερικό μέρος της στέγης θεμελιώνονται επάνω σε βράχο. Αυτός ο τύπος έδρασης παρέχει την απαραίτητη υποστήριξη με το ελάχιστο κόστος.

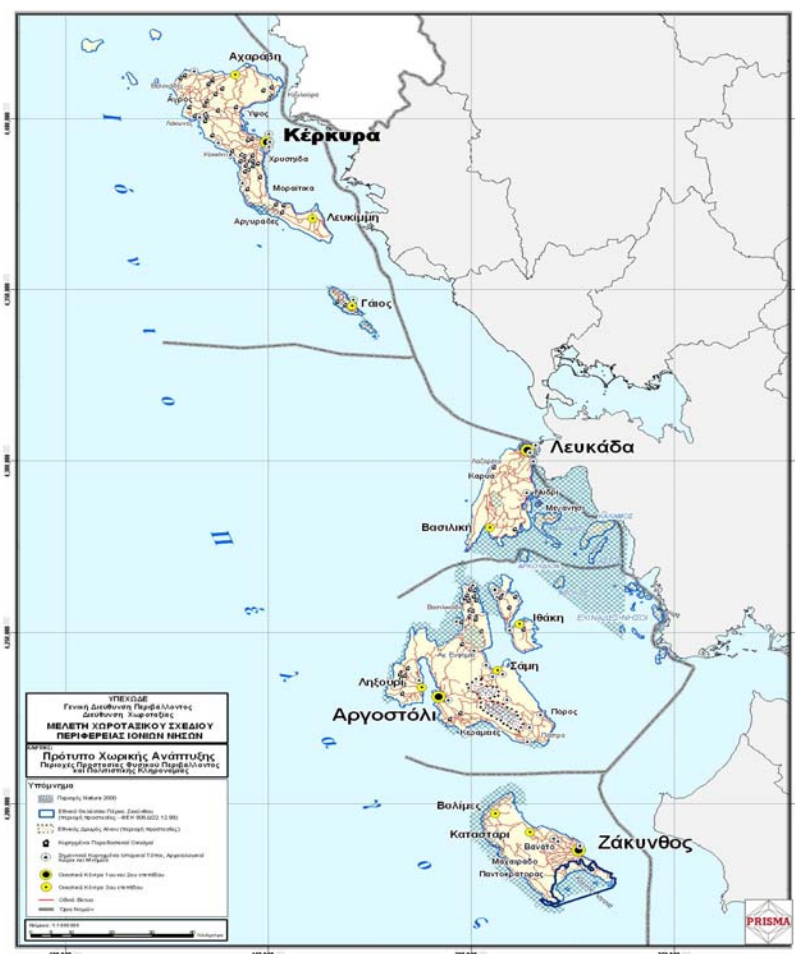
Στις θέσεις στις οποίες είναι μη πρακτικό να κατασκευαστεί ένα υπόστεγο βράχου, μπορεί να μελετηθεί και να κατασκευαστεί μια σήραγγα για να παρακάμψει τη ζώνη κινδύνου αν αυτό οδηγήσει σε πιο οικονομική λύση ή δεν υπάρχει άλλος τρόπος.

Κεφάλαιο 3^ο

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ «ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΕΥΚΑΔΑΣ»

3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ ΚΑΙ ΤΟ ΝΟΜΟ ΛΕΥΚΑΔΑΣ

Το νησιωτικό σύμπλεγμα της Περιφέρειας Ιονίων Νήσων το συνθέτουν συνολικά 32 νησιά, από τα οποία κατοικημένα είναι τα 13. Η συνολική τους έκταση είναι 2.318 τ.χλμ. με συνολικό πληθυσμό 212.984 κατοίκους (2001) και αντιπροσωπεύουν περίπου το 2% του συνολικού πληθυσμού της χώρας.



Χάρτης 3.1: Περιφέρεια Ιονίων Νήσων

Η Περιφέρεια Ιονίων Νήσων αποτελεί μια νησιωτική περιφέρεια, η οποία συγκροτήθηκε με βάση κυρίως το κοινό ιστορικό και πολιτισμικό παρελθόν της. Τα νησιά έχουν κοινά κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά, που απορρέουν από την δομή του νησιωτικού χώρου στον οποίο εντάσσονται.

Τα Ιόνια Νησιά είναι μια νησιωτική ακριτική Περιφέρεια και αποτελούν το "Ιόνιο Αρχιπέλαγος", το οποίο εκτείνεται κατά μήκος των δυτικών παραλίων της Ελλάδας. Η Περιφέρεια των Ιονίων Νήσων βρίσκεται στο θαλάσσιο χώρο της Κεντρικής Μεσογείου και γειτνιάζει προς βορρά με την Βαλκανική και προς δυσμάς με το Mezzogiorno της Ιταλίας.

Συνολικά η Περιφέρεια αριθμεί 32 νησιά (μικρά και μεγάλα) εκ των οποίων κατοικούνται μόνο τα 13. Περιλαμβάνει από τα βόρεια προς τα νότια τα νησιά Οθωνοί, Ερεϊκούσα, Μαθράκι, Κέρκυρα, Παξοί, Αντίπαξοι, Λευκάδα, Μεγανήσι, Κάλαμος, Καστός, Ιθάκη, Κεφαλληνία και Ζάκυνθο.

Στο Νομό Λευκάδος, που ανήκει στην περιφέρεια των Ιονίων Νήσων, περιλαμβάνονται το νησί της Λευκάδας, και τα κοντινά σ' αυτήν νησιά Μεγανήσι, Κάλαμος, Καστός, Σκορπιός, Σπάρτη, Μαδουρή, καθώς και διάφορα άλλα μικρότερα νησάκια και νησίδες.

Η Λευκάδα έχει το ιδιότυπο χαρακτηριστικό να απέχει λίγα μόλις μέτρα από την ηπειρωτική Ελλάδα, γεγονός που την καθιστά το μοναδικό νησί του Ιονίου που συνδέεται οδικά μέσω πλωτής γέφυρας με την Αιτωλοακαρνανία, της οποίας αποτελούσε χερσόνησο. Η Λευκάδα εκτείνεται στα 302,5 τετραγωνικά χιλιόμετρα.



Χάρτης 3.2: Πολιτικός χάρτης της Λευκάδας

3.2 ΕΔΑΦΟΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΝΗΣΙΟΥ

Η Λευκάδα είναι ένα έντονα ορεινό νησί, με σύνθετο ανάγλυφο. Χαρακτηρίζεται από αρκετές κορυφές υψομέτρου άνω των χιλίων μέτρων (Ελάτη, Μέγα Όρος, κ. ά.), από μεγάλα και σε μεγάλο υψόμετρο οροπέδια (Καρυάς, Κοντάραινας), αλλά και αρκετές παραθαλάσσιες πεδιάδες, όπως αυτή γύρω από την πόλη της Λευκάδος, αυτή της Βασιλικής, ή η κοιλάδα του Νυδριού.

Τα δυτικά παράλια του νησιού, είναι στην πλειονότητά τους απόκρημνα και σχηματίζουν επιμήκεις αμμώδεις παραλίες και μερικές μικρές κολπώσεις, αποτέλεσμα της χρόνιας επίδρασης των υδάτων της ανοιχτής Αδριατικής θάλασσας.



Εικόνα 3.1: Άγιος Νικήτας (www.lefkada.gr)

Το νησί της Λευκάδας, ανήκει σε δύο γεωτεκτονικές ενότητες, με την Ιόνια ζώνη να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος, και τη ζώνη των Παξών να επηρεάζει ένα μικρό κομμάτι στα Νοτιοδυτικά του νησιού (χερσόνησος Λευκάτα). Σε όλη την έκταση του νησιού, μπορεί να εντοπίσει κανείς πληθώρα και ποικιλία καρστικών σχηματισμών (σπήλαια, δολίνες, ουβάλες και πόλγες), η εξέλιξη των οποίων εντοπίζεται από το Πλειστόκαινο.

Λόγω της γεωγραφικής της θέσης και της τεκτονικής της διαμόρφωσης, η Λευκάδα είναι μια από τις πιο επικίνδυνες σεισμικά περιοχές στην Ελλάδα, γεγονός που έχει επιβεβαιωθεί αρκετές φορές από τα αρχαία χρόνια μέχρι σήμερα, με καταστροφικούς σεισμούς. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, η πιο πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα, στις 14 Αυγούστου του 2003, οπότε και το νησί έπληξε σεισμός της τάξης των 6,2 της κλίμακας Ρίχτερ, προκαλώντας σοβαρές υλικές ζημιές, αλλά και αλλαγές στη μορφολογία του εδάφους, τόσο στην πόλη της Λευκάδος και το Βόρειο τμήμα του νησιού, όσο και σε παράκτιες περιοχές και κύριους οδικούς άξονες σε όλη του την επιφάνεια.

3.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Με βάση τα διαθέσιμα γεωτεχνικά δεδομένα, το υπέδαφος στην πόλη της Λευκάδας κατατάσσεται σύμφωνα με τον ΕΑΚ 2000 στην κατηγορία Γ, εκτός των περιπτώσεων όπου

εμφανίζονται χαλαρές λεπτόκοκκες, αμμοϊλυώδεις στρώσεις με μεγάλη επικινδυνότητα σε ρευστοποίηση, όταν βρίσκονται κάτω από τον υδάτινο ορίζοντα ή σε συνίζηση στην περίπτωση που είναι ακόρεστες, όπου κατατάσσονται στην κατηγορία Χ.

Όσον αφορά στις μετακινήσεις πρανών τα φαινόμενα είναι πλέον έντονα στο δυτικό τμήμα της νήσου, όπου το μορφολογικό ανάγλυφο είναι ισχυρό με τη δημιουργία υψηλών και απότομων πρανών σε γεωλογικούς σχηματισμούς ασβεστολιθικής σύστασης. Έτσι σοβαρά προβλήματα με τις μετακινήσεις αυτές προέκυψαν κατά κύριο λόγο στο οδικό δίκτυο Αγ. Νικήτας - Πεουκούλια - Τσουκαλάδες και δευτερευόντως σε τμήμα του οδικού άξονα Λευκάδας - Καρυάς, ήτοι από την έξοδο του Δημ. Διαμερίσματος Πηγαδισάνοι μέχρι την είσοδο της Καρυάς. Επίσης αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων σημειώθηκαν και νοτιοδυτικότερα όπου διαμορφώνονται απότομα και υψηλά πρανή δημιουργώντας προβλήματα στην παραλιακή ζώνη (π.χ Πόρτο Κασιόκι).

Οι μετακινήσεις των πρανών παρατηρούνται κυρίως και με ιδιαίτερη ένταση στις ζώνες εκείνες όπου υπήρξε άκομψη παρέμβαση του ανθρώπου στο γεωλογικό περιβάλλον, ήτοι διάνοιξη οδικού άξονα σε πολύ έντονο ανάγλυφο και με ευαίσθητη γεωλογική δομή, δημιουργώντας υψηλά και συνεχή ορύγματα χωρίς τη λήψη μέτρων προστασίας και αποκατάστασης της ισορροπίας των πρανών που διαταράχθηκε με την κατασκευή των έργων.

Η πλειοψηφία των κατολισθητικών φαινομένων ανήκουν στις κατηγορίες καταπτώσεων βράχων, επίπεδων και σφηνοειδών ολισθήσεων βραχωδών τεμαχίων και εδαφικών ολισθήσεων με δημιουργία κώνων κορημάτων ή βραχωδών τεμαχίων διαστάσεων λίγων κυβικών εκατοστών έως αρκετά (5-10) κυβικά μέτρα, συσσωρευμένων στον πόδα πρανών. Οι μεγαλύτερης κλίμακας κατολισθήσεις και καταπτώσεις βράχων εντοπίζονται σε απότομα ορύγματα (ύψος: βάση ~ 2:1 έως 3:1 και ύψος πρανούς 20 έως 50 m, και σε ορισμένες περιπτώσεις ύψος μεγαλύτερο των 60 έως 70m) ασβεστολιθικών σχηματισμών οι οποίοι είναι λεπτοπλακώδεις, εντονότατα κερματισμένοι και κατά περίπτωση διαθέτουν και λεπτές ενστρώσεις σχιστολίθων μαργαϊκής σύστασης, χωρίς κανένα μέτρο προστασίας.

Στον παρακάτω χάρτη απεικονίζεται η νήσος της Λευκάδας με σημειωμένες θέσεις βλαβών γεωτεχνικού χαρακτήρα. Οι μωβ κύκλοι δείχνουν τις αστοχίες φυσικών πρανών, ορυγμάτων και επιχωμάτων οδοποιίας κυρίως βραχώδους αλλά και εδαφικής σύστασης (κατολισθήσεις, καταπτώσεις βράχων, ανατροπές τεμαχίων βράχων, χαλάρωση βραχώμαζας και επικρεμάμενα τεμάχια βράχων, επίπεδες και σφηνοειδείς ολισθήσεις βραχωδών πρανών, κυκλικές και πεταλοειδούς μορφής ολισθήσεις έντονα κερματισμένης βραχώμαζας ή και εδαφικών υλικών).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ «ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΕΥΚΑΔΑΣ»



Χάρτης 3.3: Θέσεις βλαβών γεωτεχνικού χαρακτήρα. Οι μωβ κύκλοι δείχνουν τις αστοχίες φυσικών πρηνών, ορυγμάτων και επιχωμάτων οδοποιίας κυρίως βραχώδους αλλά και εδαφικής σύστασης.

3.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ-ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

3.4.1 Γενικά

Τα νησιά του Ιονίου δομούνται από σχηματισμούς των ζωνών Παξών και Ιόνιας. Βρίσκονται ανατολικά της Ελληνικής τάφρου και κατά μήκος του Ελληνικού τόξου. Αποτέλεσμα της θέσης της ζώνης των Παξών είναι οι συχνοί οριζόντες μικρολατυποπαγών ασβεστολίθων, ενώ η στρωματογραφική διάταξη συμπληρώνεται με επιφανειακούς μειοκαινικούς σχηματισμούς από μάργα και φαμμικό υλικό και εναλλαγές με λατυποπαγείς ασβεστολίθους (Dercourt, 1980; Κατσικάτσος, 1992; Μουντράκης, 1985). Η στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης αποτελείται από μολασσικά ιζήματα μεγάλου πάχους (μάργες και ψαμμίτες με ενστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων και λατυποκροκαλοπαγών) που επικάθονται του φλύσχη (μαργαϊκά και αργιλικά στρώματα).

3.4.2 Γεωτεκτονική τοποθέτηση και γεωλογικές - λιθολογικές συνθήκες

Το μεγαλύτερο και ανατολικό τμήμα της νήσου Λευκάδας γεωτεκτονικά ανήκει στην Ιόνιο ζώνη, ενώ ένα μικρό τμήμα της στα νοτιοδυτικά ανήκει στην ζώνη των Παξών.

Στη γεωλογική δομή της Λευκάδας συμμετέχουν αλπικοί, μολασσικοί, και μεταλπικοί σχηματισμοί. Οι αλπικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν ανθρακικά και κλαστικά ιζήματα που ανήκουν και στις δύο εξωτερικές γεωτεκτονικές ενότητες του τόξου των Ελληνίδων, δηλαδή στην ενότητα Παξών και στην Ιόνιο ενότητα, με ηλικίες Τριαδικό - Τορτόνιο και Τριαδικό - Ακουϊτάνιο αντίστοιχα, σύμφωνα με τις απόψεις των μελετητών που ασχολήθηκαν επισταμένως με την περιοχή. Οι μολασσικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν κλαστικά κυρίως θαλάσσια ιζήματα (μάργες, βιοκλαστικούς υφαλογενείς ασβεστόλιθους, λατυποπαγή - κροκαλοπαγή, ψαμμίτες), τα οποία υπέρκεινται επικλυσιγενώς των πτυχωμένων σχηματισμών της Ιονίου ενότητας, που δομεί τον κύριο μορφολογικό όγκο της νήσου.

Αντίθετα στο δυτικό τμήμα (χερσόνησος Λευκάτων ή Αθανίου), όπου αναπτύσσεται η ενότητα Παξών, τα ισόχρονα των μολασσικών σχηματισμών ιζήματα αποτελούν τα κατώτερα τμήματα της κλαστικής φλυσχοειδούς σειράς της εν λόγω ενότητας. Τέλος, οι μεταλπικοί σχηματισμοί περιλαμβάνουν κλαστικά ιζήματα με λιμνοχερσαίους ή χερσαίους χαρακτήρες καθώς και τεταρτογενείς αποθέσεις παράκτιες, χερσαίες ή λιμνοθαλάσσιες.

Στην Ιόνια ενότητα της νήσου Λευκάδας διακρίνονται από τους κατώτερους προς τους ανώτερους ορίζοντες οι ακόλουθοι σχηματισμοί:

- Σχηματισμός Εβαποριτών (χημικά ιζήματα αποτελούμενα από γύψο μικροκρυσταλλική, με χρώμα γριζωπό - μαύρο λόγω των περιεχομένων βιτουμενίων).
- Σχηματισμός ασβεστόλιθων του Καρνίου.

- Σχηματισμός δολομιτών του Τριαδικού
- Σχηματισμός ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα
- Σχηματισμός ασβεστόλιθων φάσεως Ammonitico Rosso - Σχιστών με Posidonies
- Σχηματισμός ασβεστόλιθων Βίγλας
- Σχηματισμός λατυποπαγών - μικροκροκαλοπαγών ασβεστόλιθων
- Σχηματισμός του φλύσχη

Στη γεωλογική - λιθοδομική δομή της υπόψη περιοχής λαμβάνουν μέρος οι σχηματισμοί, των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορος και της Βίγλας, με τοπικές εμφανίσεις σχιστών και πυριτικών σχιστολίθων.

3.4.3 Τεκτονικές συνθήκες

Ο αλπικός τεκτονισμός της νήσου διακρίνεται σε δύο τεκτονικές παραμορφωτικές φάσεις, οι οποίες ουσιαστικά δημιούργησαν το γεωλογικό αλπικό υπόβαθρο της νήσου, στο οποίο επικάθησαν οι σχετικά νεώτεροι σχηματισμοί. Η πρώτη φάση κατά τους ερευνητές τεκμηριώνεται με βάση την επικλυσιογενή απόθεση των μολασσικών σχηματισμών επί των παραμορφωμένων ιζημάτων της Ιονίου, τα οποία και έχει επηρεάσει. Κατά τη φάση αυτή δημιουργήθηκαν ημιανεστραμμένες και κατακεκλιμένες πτυχές, εφιππεύσεις μέσα στην ενότητα και ανάστροφα ρήγματα.

Η δεύτερη φάση του αλπικού τεκτονισμού τεκμηριώνεται από τη δημιουργία της επιφάνειας επώθησης εξαιτίας της εφαπτομενικής τεκτονικής κίνησης προς τα δυτικά, που τοποθετεί τα ιζήματα της Ιονίου επί της ενότητας των Παξών. Η φάση αυτή, προκάλεσε αμυδρές παραμορφώσεις στα ιζήματα της επικλυσιογενούς μολασσικής σειράς, που χαρακτηρίζονται από πτυχές μεγάλης ακτίνας καμπυλότητας.

3.4.4 Νεοτεκτονικές συνθήκες

Απόρροια του σύγχρονου γεωδαιτικού καθεστώτος είναι το πυκνό δίκτυο ρηγμάτων, τα οποία έχουν κατατεμαχίσει τόσο τις υποκείμενες αλπικές σειρές, όσο και τα υπερκείμενα και ασύμφωνα τοποθετημένα ιζήματα.

Το δίκτυο των ρηγμάτων που διακρίνονται σε πλάγια ή κανονικά μεταπτωτικά και οριζόντιας μετατόπισης, δημιουργεί ένα πολύπλοκο σύστημα ρηξιτεμαχών, των οποίων οι επιμέρους σχετικές κινήσεις μόνο κατά προσέγγιση μπορούν να προσδιορισθούν και να αποτυπωθούν.

Το σύνολο των ρηγμάτων που συγκροτούν τον νεοτεκτονικό ρηξιγενή ιστό της νήσου διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες:

- Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει ρήγματα με διευθύνσεις προσανατολισμού ΒΔ-ΝΑ έως ΒΑ-ΝΔ. Οι ρηξιγενείς διεπιφάνειες των ρηγμάτων αυτών είναι παράλληλες προς τη διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έως Β-Ν (είναι παράλληλες στη διεύθυνση της τάφρου ή κάθετες στο άνωσμα της κίνησης των πλακών).
- Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει ρήγματα με διευθύνσεις προσανατολισμού από ΔΒΔ-ΑΝΑ έως ΔΝΔ-ΑΒΑ, και γενικότερα γύρω από τη διεύθυνση Α-Δ, δηλαδή είναι παράλληλες στην διεύθυνση της ρηξιγενούς ζώνης Σπερχειού - Αμβρακικού, που διέρχεται στα Βόρεια της νήσου.

Από τις γραμμώσεις ολίσθησης, οι οποίες διατηρούνται στις ρηξιγενείς διεπιφάνειες των ρηγμάτων, προκύπτει ως γενικά συμπέρασμα, ότι τα ρήγματα της πρώτης ομάδας είναι γενικά κανονικά - πλαγιοκανονικά, ενώ της δεύτερης είναι οριζόντιας μετατόπισης, γεγονός που οδηγεί στις συνθήκες της γενετικής συσχέτισης των ρηξιγενών μικροδομών με τις μεγαδομές της νήσου (ζώνη υποβύθισης, ρηξιγενής ζώνη Σπερχειού) και του Ελληνικού τόξου στην περιοχή του Ιονίου πελάγους.

Οι σπουδαιότερες ρηξιγενείς ζώνες της Λευκάδας και οι κινήσεις των ρηγμάτων που τα χαρακτηρίζουν είναι επιγραμματικά οι ακόλουθες :

- Ρηξιγενής ζώνη Φρυνίου - Απολπαίων (Τεκτονικό βύθισμα με ρήγματα Β-Ν και βύθιση κατά κλίση κα ρήγματα Α-Δ με πλαγιοκανονική συνιστώσα μετακίνησης).
- Ρηξιγενείς ζώνες Αγίου Νικήτα - Δρυμώνα (Ρήγματα κανονικά με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, ΑΒΑ-ΔΝΔ, καθώς και ρήγματα κατακόρυφα Α-Δ με οριζόντιας συνιστώσα μετακίνησης).
- Ρηξιγενείς ζώνες Αγίου Πέτρου - Βασιλικής (Ρήγματα κανονικά παράλληλα με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και με βύθιση κατά κλίση).
- Ρηξιγενείς ζώνες νοτίου τμήματος Λευκάδας (Διευθύνσεις ρηγμάτων ΒΒΔ-ΝΝΑ ή ΒΒΑ-ΝΝΔ).
- Ρηξιγενείς ζώνες νοτίου τμήματος Λευκάδας (Διευθύνσεις ρηγμάτων ΒΒΔ-ΝΝΑ ή ΒΒΑ-ΝΝΔ).
- Ρηξιγενής ζώνη όρους Σκάροι (Διεύθυνση πλαγιοκανονικών ρηγμάτων Α-Δ).

Το σύνολο των ρηξιγενών ζωνών και των ρηγμάτων αντιστοιχεί σε ενεργές δομές, αφού όλα παρουσιάζουν κατοπτρικές διεπιφάνειες ή οριοθετούν πρόσφατες εδαφικές κορηματικές ή αλλουβιακές αποθέσεις.

Με βάση το σύνολο των ανεξάρτητων ρηξιτεμαχών (ρηξιγενείς ζώνες ή ρήγματα) η ευρύτερη περιοχή επιγραμματικά οριοθετείται στις ακόλουθες νεοτεκτονικές ενότητες :

- Της πόλης της Λευκάδας.

- Τσουκαλάδων - Κατούνας.
- Αγίου Νικήτα.
- Δρυμώνα.
- Λαινακίου - Βλυχού - Πόρου.
- Βασιλικής.
- Χερσονήσου Λευκάτα.

Από τις παραπάνω νεοτεκτονικές ενότητες ιδιαίτερη σημασία για την περιοχή του έργου έχουν οι νεοτεκτονικές ενότητες Τσουκαλάδων - Κατούνας και Αγίου Νικήτα.

3.4.5 Νεοτεκτονικές συνθήκες και σεισμικότητα

Οι νεοτεκτονικές συνθήκες και η υψηλή σεισμικότητα της νήσου είναι άμεσα συνυφασμένες, αφού οι πρώτες ευθύνονται για τη δεύτερη και κατ' επέκταση για τη γένεση των σεισμών σε επίκεντρα που είναι τοποθετημένα κατά μήκος των κύριων ρηξιγενών δομών (νεοτεκτονικά ρήγματα). Τη μεγαλύτερη κινητικότητα παρουσιάζουν γενικά δύο εστίες, από τις οποίες προέρχονται μεγάλοι έως μεσαίου μεγέθους σεισμικές διεγέρσεις. Από αυτές, η μια ευρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα της νήσου και πιθανά στη διασταύρωση του μεγάλου ρήγματος Τσουκαλάδων με άλλο του Ιονίου, η άλλη δε ευρίσκεται νοτιότερα του όρμου Βασιλικής και σε ρήγμα το οποίο διέρχεται μεταξύ των δύο νήσων, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. (Λευκάδας - Ιθάκης).

Η χωρική κατανομή των υπολογισμένων με ακρίβεια εστίων των μετασεισμών καθορίζει με λεπτομέρεια την κύρια διάρρηξη καθώς και την κατανομή της σεισμικής δραστηριότητας σε γειτονικά ρήγματα ή τμήματα ρηγμάτων. Η κύρια διάρρηξη καταλαμβάνει το βορειοδυτικό τμήμα του νησιού, έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και βρίσκεται σε συμφωνία με το μηχανισμό γένεσης του κύριου σεισμού.

Συμπερασματικά, η ευρύτερη περιοχή των Ιόνιων νησιών παρουσιάζει την υψηλότερη σεισμικότητα στον Ελλαδικό χώρο, με περίοδο επανάληψης 20 ετών και η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εκδήλωση ποικίλης μορφής καταστροφικών φαινομένων τόσο στο δομημένο όσο και στο φυσικό περιβάλλον.

3.5 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η έκταση όπου λαμβάνει χώρα η συγκεκριμένη εφαρμογή χωροθετείται 8 χιλιόμετρα από την Πόλη της Λευκάδας σε τμήμα της οδού Τσουκαλάδων – Αγ. Νικήτα. Στην περιοχή υπάρχει σοβαρό πρόβλημα για την ασφαλή κυκλοφορία, λόγω βραχοπτώσεων και κατολισθήσεων, σε αρκετά τμήματα. Επίσης, είναι αναγκαία η σταθεροποίηση - αντιστήριξη των πρανών των απότομων υψηλών ορυγμάτων που εκτείνονται ανάντη της αριστερής οριογραμμής της οδού και τα οποία, σε

πολλά σημεία αστόχησαν κατά τον μεγάλο καταστρεπτικό σεισμό που έπληξε την περιοχή στις 14/08/2003.

Συγκεκριμένα, το υπόψη τμήμα της οδού διανοίχτηκε πριν από λίγες δεκαετίες με διατομή πλάτους καταστρώματος 8,5÷9,5m σε όρυγμα. Η χάραξη διασχίζει ένα φυσικό ανάγλυφο έντονης κλίσης εγκάρσια προς τον άξονα της οδού, δημιουργώντας έτσι ορύγματα, το ύψος των οποίων φθάνει συστηματικά της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων, η δε γωνία κλίσης αυτών είναι συνήθως άνω των 50°. Η κατά μήκος κλίση της οδού, είναι επίσης έντονη, της τάξης του 9%. Η κυκλοφορία της είναι μικρή κατά τους χειμερινούς - εαρινούς μήνες και αρκετά μεγαλύτερη την θερινή περίοδο.



Εικόνα 3.2: Άποψη της περιοχής μελέτης.

3.6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Από γεωλογικής - γεωτεχνικής άποψης, στο σύνολο του τμήματος, η περιοχή δομείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, υπόλευκου - τεφρού χρώματος, οι οποίοι συστηματικά εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι, εύθρυπτοι, διαθέτοντας την δομή και τις μηχανικές ιδιότητες αμμοχαλικώδους πυκνού εδαφικού υλικού, έως και κατά θέσεις, μιας βραχομάζας πτωχής αντοχής.

Σε αρκετές περιπτώσεις, η ασβεστολιθική-δολομιτική αυτή βραχομάζα, καλύπτει επιφανειακά από μικρού πάχους συνδεδεμένα κορήματα, ερυθρού συνήθως χρώματος, με ιδιότητες συνεκτικού αμμοχαλικώδους υλικού.

Κατά θέσεις επίσης υφίστανται χαλαρά ελαφρώς συνεκτικά έως ασύνδετα κορηματικά υλικά (ριπίδια), υπόλευκου συνήθως χρώματος, οι συγκεντρώσεις των οποία προέρχονται κυρίως από παλαιότερες κατολισθήσεις - αποσαθρώσεις του βραχώδους υποβάθρου αλλά και από τις κατολισθήσεις του πρόσφατου σεισμού. Στις θέσεις αυτές, η φυσική κλίση της επιφάνειας των ριπιδίων είναι χαρακτηριστική, ίση περίπου προς την γωνία εσωτερικής τριβής του αμμοχαλικώδους υλικού.

Λόγω της σύστασης του συνόλου των υλικών που δομούν την περιοχή και σύμφωνα με τα αποτελέσματα των γεωερευνών που έχουν διεξαχθεί, δεν φαίνεται να υπάρχει υπόγειος ορίζοντας νερού μέχρι μεγάλο βάθος. Συχνές είναι πάντως οι βραχοπτώσεις στην περιοχή, η οποία διαθέτει μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος περί τα 1200 mm.

Τα μέτρα προστασίας που λήφθηκαν παλαιότερα έναντι κατολισθήσεων ή βραχωδών καταπτώσεων κατά την κατασκευή της οδού, ήταν στοιχειώδη και ανεπαρκή για τις δεδομένες γεωμορφολογικές - γεωτεχνικές και σεισμολογικές συνθήκες της περιοχής, καθώς συνίστανται στην κατά θέσεις κατασκευή μικρού ύψους τοιχείων ποδός (όπου συνέβαιναν τοπικές κατολισθήσεις).

Σε αρκετά σημεία της οδού υπήρχαν κατά καιρούς προβλήματα λόγω τοπικών κατολισθήσεων από τα ανάντη πρανή, τα οποία μάλιστα επιτείνοντο, λόγω των εκσκαφών λήψης αμμοχαλικώδους υλικού που κατά καιρούς διεξάγονται από ιδιώτες, παράλληλα με τον τοπικό καθαρισμό των καταπιπτόντων υλικών.

Ο καταστρεπτικός σεισμός της 14/08/2003, μεγέθους 6,2 της κλίμακας Richter με μέγιστη οριζόντια επιτάχυνση $a_h=0,32g$ και αντίστοιχη κατακόρυφη $a_v=0,19g$, ο οποίος έπληξε τη συγκεκριμένη περιοχή με ιδιαίτερη σφοδρότητα (δοθέντος ότι το επίκεντρο του ήταν σε απόσταση λίγων μόνο χιλιομέτρων, εντός της θάλασσας, κάθετα σχεδόν προς τα πρανή και το εστιακό του βάθος μικρό), προκάλεσε έντονα φαινόμενα ασταθειών, κυρίως βραχοπτώσεων καθώς και τοπικών κατολισθήσεων μικρού συνήθως βάθους, συστηματικά, κατά μήκος της οδού, τόσο στο

υπόψη τμήμα, όσο και γενικότερα κατά μήκος όλου του οδικού άξονα από Τσουκαλάδες έως Αγ. Νικήτα.

Οι βραχοπτώσεις προήλθαν είτε από αδρανειακή μετακίνηση μεμονωμένων ογκολίθων, ευρισκομένων κυρίως στην περιοχή του χείλους του ορύγματος ή στη ανάντη φυσική φυτοκαλυμμένη περιοχή έντονης κλίσης, είτε από αποσπάσεις βραχοπρισμάτων από απότομες εξάρσεις κερματισμένης βραχώμαζας στην ανάντη φυσική περιοχή.

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ογκολίθων κατέληξαν επί της οδού, μικρό δε ποσοστό, είτε συγκρατήθηκε επί των πρανών, είτε διέσχισε το κατάστρωμα της οδού και συνέχισε την κύλιση του προς τα κατόντη.

Το μέγιστο μέγεθος των ογκολίθων που κατέληξαν επί της οδού (ή και την διέσχισαν), κυμαίνεται μεταξύ $1,0 \div 3,0 \text{ m}^3$, σε ελάχιστες δε περιπτώσεις υπήρξαν μεγαλύτεροι ογκόλιθοι. Οι κατολισθήσεις προκλήθηκαν σε ορισμένες θέσεις και παρόλο που δεν ήταν γενικευμένης μορφής ή ιδιαίτερως βαθιές, έδωσαν έως και μεγάλους όγκους υλικών κατάπτωσης, λόγω του μεγάλου ύψους των πρανών.

Συνήθως προήλθαν από τα κορηματικά υλικά στα χείλη των ορυγμάτων αλλά και από την ίδια την βραχώμαζα στις περιπτώσεις των περισσότερων υψηλών ορυγμάτων απότομης κλίσης και μάλιστα σε σημεία όπου η βραχομάζα ήταν περισσότερο κερματισμένη ή και ο συνδυασμός των κλίσεων και διευθύνσεων των κυρίων διαρρήξεων της δημιουργούσε ευνοϊκές συνθήκες για αποκόλληση και δομικού τύπου αστοχίες. Αποτέλεσμα είναι στις περιπτώσεις αυτές να έχουν σχηματισθεί χαράδρα, δεις ουλές επί των πρανών των ορυγμάτων, στα σημεία εκείνα όπου η βραχομάζα ήταν πιο ασθενής και κατολίσθησε.

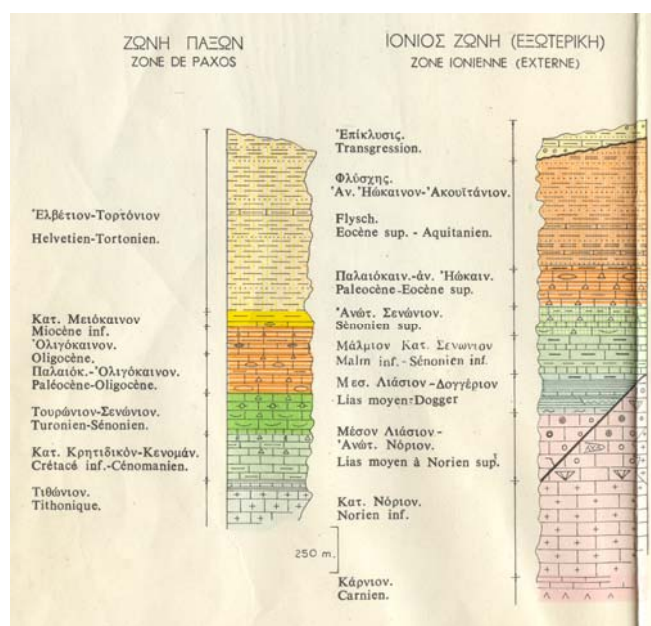
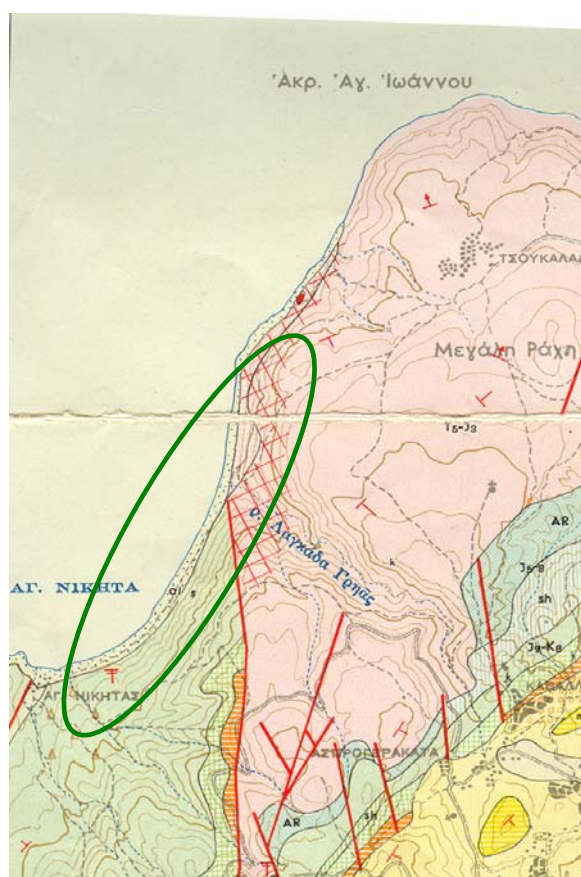
Τα διαταραγμένα υλικά των κατολισθήσεων ήταν κοκκώδη, υπό μορφή αμμοχάλικο - αργιλώδους αμμοχάλικου με αρκετό ποσοστό από πέτρες καθώς και εμπειριεχόμενους ογκολίθους, καθόσον τα δύο φαινόμενα (βραχοπτώσεις και κατολισθήσεις) σε πολλές περιοχές συνέβησαν ταυτοχρόνως κατά τη διάρκεια του σεισμού και αμέσως μετά.

3.7 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ- ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.7.1 Γεωλογικές - λιθολογικές συνθήκες

Η περιοχή της μελέτης ανήκει εξ ολοκλήρου στην Ιόνια ζώνη (Σχ. 3.3) και πέραν των αλλουβιακών αποθέσεων στην παράκτια ζώνη, απαντώνται παχυστρωματώδεις λευκοί νηριτικοί ασβεστόλιθοι της σειράς Παντοκράτορα και δολομίτες (προς το βόρειο τμήμα) και πλακώδεις έως λεπτοπλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι με λεπτές ενδιαστρώσεις πυριτολίθων και πυριτικών σχιστολίθων της σειράς Βιγλών (νότιο τμήμα).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ «ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΕΥΚΑΔΑΣ»



Σχήμα 3.1: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη της Λευκάδας (ΙΓΜΕ, 1963)

Η περιοχή δομείται αποκλειστικά από ανθρακικούς λιθολογικούς σχηματισμούς, οι οποίοι καλύπτονται κατά θέσεις από μικρού ή ικανού πάχους κορηματικές αποθέσεις ή διακόπτονται τοπικά όσον αφορά την εμφάνιση τους στον πόδα των ορυγμάτων από εκτεταμένες αποθέσεις υλικών σάρας και πλευρικών κορημάτων.

Οι όψεις των ορυγμάτων και η βραχώμαζα κρασπεδώνονται από εκτεταμένους ριπιδιακούς κώνους, οι οποίοι προέκυψαν από τις εκδηλωμένες επιδερμικές αστάθειες, τόσο στα εδαφικά όσο και στα "βραχώδη" γεωυλικά.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του έργου, σύμφωνα και με τον γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ (κλίμ, 1:50.000), από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι :

- Οι ασβεστόλιθοι "Παντοκράτορας" (Li.Pa). Στην αρχική τους μορφή χαρακτηρίζονται ως ασβεστόλιθοι συμπαγείς ως παχυστρωματώδεις, άστρωτοι και λευκού χρώματος. Η μορφή αυτή των ασβεστόλιθων έχει πολύ μικρή εμφάνιση στην περιοχή του έργου, στην οποία επικρατούν αφενός οι ισχυρά λατυποποιημένοι και δολομιτωμένοι - δολοκρητιωμένοι (Li.Pa)C.D και κυρίως οι ισχυρότατα κατακερματισμένοι και τοπικά

αποσαθρωμένοι (Li.Pa)Te.z. Και οι δύο αυτές μορφές των ασβεστόλιθων του "Παντοκράτορα", αναπτύσσονται στη ζώνη τεκτονισμού-κατακερματισμού, στην οποία βέβαια οφείλεται και η μεταβολή τόσο των φυσικών τους χαρακτηριστικών όσο και των μηχανικών τους παραμέτρων.

Η ανθρακική ακολουθία εξελίσσεται προς τους κατώτερους ορίζοντες σε δολομίτες - δολομιτικούς ασβεστόλιθους, κάρνιους ασβεστόλιθους και εβαπορίτες. Στην περιοχή και στο επίπεδο της θάλασσας υφίσταται τοπική εμφάνιση εβαποριτών (γύψου) η οποία αποτελεί και τη βάση της σειράς. Ως υποκείμενα αναμένονται οι σχηματισμοί των Παξών επί των οποίων επιππεύουν οι σχηματισμοί της Ιονίου ενότητας. Οι δολομίτες στην περιοχή του έργου δεν είναι ευδιάκριτοι, πιθανότατα όμως αναπτύσσονται στα κατώτερα υψομετρικά σημεία και περί τη θέση του τεχνικού γεφύρωσης, στο ρέμα της Γριάς Λαγκαδάς με ανάπτυξη από αυτό και προς τα Βορειοδυτικά.

- Οι ασβεστόλιθοι "Βίγλας" (Li.Bi). Εμφανίζονται ως πλακώδεις - λεπτοπλακώδεις πελαγικοί ασβεστόλιθοι με ενστρώσεις πυριτόλιθων ή και πυριτιακών σχιστολίθων. Στη βάση τους παρατηρούνται άστρωτοι συμπαγείς νηριτικοί ασβεστόλιθοι. Τα στρωσιγενή επίπεδα (SS-) των ασβεστόλιθων "Βίγλας" είναι ευδιάκριτα, έχουν δε διευθύνσεις μέγιστης κλίσης, οι οποίες έχουν καθορισθεί από τα θλιπτικά πεδία των τάσεων που επικρατούσαν κατά την περίοδο των εφαπτομενικών παραμορφωτικών γεγονότων.

Τους ανθρακικούς γενικά σχηματισμούς κρασπεδώνουν οι σύγχρονοι εδαφικοί σχηματισμοί, οι οποίοι συνίστανται από τα χαλαρά ή ασθενώς συγκολλημένα κοκκώδη υλικά ανοικτού χρώματος των σαρών και τα πλευρικά κορήματα που είναι ασθενώς ή ισχυρώς τοπικά συγκολλημένα. Η διάκριση τους δεν είναι γενικά εύκολη και τόσο ευδιάκριτη.

Συνήθως τα ισχυρά συγκολλημένα εντοπίζονται στις ζώνες διάτμησης, όπου έχουν τη μορφή τεκτονικών λατυποπαγών ή υλικών πλήρωσης και εντοπίζονται στους χαμηλότερους υψομετρικά ορίζοντες και στους πόδες γενικά των ορυγμάτων με εγκάρσια στον άξονα γενικά διεύθυνση και τοποθέτηση.

Τα υλικά σάρας εμφανίζονται τοπικά στρωματοποιημένα, με ορίζοντες οι οποίοι έχουν σαφή διαχωρισμό όσον αφορά στην κοκκομετρική τους διαβάθμιση και στον βαθμό της χαλαρότητας τους.

Τα πλευρικά γενικώς κορήματα έχουν συνήθως έντονο καφέ-κόκκινο χρώμα με τοπικές εξαιρέσεις προς ανοικτό υπόλευκο. Συνήθως στους χαμηλότερους ορίζοντες φιλοξενούν δε στη μάζα τους, της οποίας το πάχος είναι κυμαινόμενο, ογκόλιθους μεμονωμένους ή συνάγματα, κυμαινόμενων διαστάσεων αλλά ικανού αριθμού.

Οι ογκόλιθοι είναι υγιείς έως πολύ υγιείς στρογγυλεμένοι ή γωνιώδεις με αποτέλεσμα να μην θρυμματίζονται, έχουν δε ποικίλη σύσταση και δομή, η οποία μπορεί να είναι τόσο ψηφιδωπαγής (ισχυρά συγκολλημένες ψηφίδες) όσο και υγιείς όγκοι των ασβεστόλιθων του "Παντοκράτορος".

Τέλος, όσον αφορά στην λιθοστρωματογραφική σειρά της Ιονίου ενότητας, από την μελέτη αυτή προκύπτουν διάφορα θέματα και ερωτήματα, που έχουν σχέση με τον ακριβή χαρακτήρα των επιμέρους λιθολογικών ενότητων και την γενικότερη τοποθέτηση των στην λιθοστρωματογραφική στήλη. Γενικά όμως οι επιμέρους βραχώδεις σχηματισμοί ανήκουν στο ανθρακικό σύμπλεγμα της Ιονίου ενότητας, παρουσιάζουν δε σαφείς διαφοροποιήσεις όσον αφορά στα τεχνικογεωλογικά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους, τα οποία καθορίζονται κυρίως από τις τεκτονικές και νεοτεκτονικές παραμορφώσεις και τις επιμέρους κινήσεις. Η θεώρηση αυτή, αντανακλά και στη γενικότερη ομοιόμορφη συμπεριφορά των ορυγμάτων όσον αφορά στις εκδηλωμένες επιδερμικές θραύσεις της ανθρακικής βραχώμαζας, από την οποία δομούνται.

3.7.2 Τεκτονικές συνθήκες

Οι τεκτονικές συνθήκες αφορούν κυρίως στις παλαιοδομές, οι οποίες προκλήθηκαν από τις δύο φάσεις των εφαιπτομενικών παραμορφωτικών τεκτονικών γεγονότων που έπληξαν την περιοχή του έργου, και έχουν σχέση με τις εμφανιζόμενες πτυχές, τις επωθητικές και επιπτευτικές δομές και πιθανώς τα μεγάλα ανάστροφα ρήγματα.

Από αυτά στην περιοχή οι πλέον ευδιάκριτες είναι οι πτυχώσεις, με τις αλλαγές στη διεύθυνση μέγιστης κλίσης των σκελών (στρωσιγενών επιπέδων).

Οι διευθύνσεις προσανατολισμού των αξονικών επιπέδων είναι B-N, ΔΒΔ-ΑΝΑ και Α-Δ με κλίσεις των σκελών αντίστοιχα, Δ, Α-ΒΒΑ, ΝΝΔ και Β, Ν, οι οποίες προήλθαν από τις πτυχογόνες τάσεις, οι οποίες είχαν διεύθυνση προσανατολισμού $A \rightarrow \Delta$, ΑΒΑ-ΔΝΔ και Β-Ν. Το μέτρο της κλίσης είναι συνήθως μικρό με τοπικές διαφοροποιήσεις και της τάξης των 8° έως 73°.

3.7.3 Νεοτεκτονικές συνθήκες

Οι νεοτεκτονικές ρηξιγενείς επιφάνειες των ρηγμάτων ανάλογα με τις γραμμώσεις ολίσθησης που φιλοξενούσαν διαχωρίστηκαν σε κανονικά (Fκ), οριζόντιας μετατόπισης (FH), πλαγιοκανονικά (Fπλ) και σε αδιευκρίνιστα (F) ρήγματα.

Το πλέγμα των τεκτονικών ασυνεχειών που οφείλεται τόσο στις ρηξιγενείς επιφάνειες (F), όσο και στις διαρρήξεις - διακλάσεις (J) είναι ιδιαίτερα σύνθετο, πολύπλοκο και πυκνό. Απόρροια του γεγονότος αυτού είναι ο εντονότατος κατακερματισμός της κάθε είδους ανθρακικής βραχώμαζας στην περιοχή της μελέτης.

3.7.4 Μορφολογικές συνθήκες

Η μορφολογική εικόνα της περιοχής του έργου αντανακλά όπως είναι φυσικό στις γενικότερες γεωλογικές - τεκτονικές - υδρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες. Αυτές επηρεάζονται έντονα από το είδος και την ποιότητα των λιθολογικών σχηματισμών που την δομούν, από τις τεκτονικές και μικροτεκτονικές δομές οι οποίες μορφογενετικά την έχουν διαμορφώσει και από τις γενικότερες υδρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες, η ένταση και η δυναμική των οποίων επιδρά συνεχώς και συμβάλει στην εξέλιξη τους.

Το τμήμα του έργου, που εκτείνεται από την αρχή έως και το ρέμα της Γριάς Λαγκάδας χαρακτηρίζεται από το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο, ορεινού τύπου. Κύριο χαρακτηριστικό του είναι οι έντονες και συνεχείς εγκάρσιες κλίσεις του φυσικού εδάφους, που εκκινούν από το επίπεδο της θάλασσας έως και την υφιστάμενη επιπέδωση, που βρίσκεται στα Ανατολικά έως Νοτιο-Ανατολικά του έργου, και σε μεγάλα υψόμετρα.

Οι εγκάρσιες κλίσεις του ανάντη φυσικού εδάφους είναι της τάξης των $30^{\circ} \div 45^{\circ}$ τοπικά, ενώ ολόκληρη η επιφάνεια των φυσικών πρανών είναι πολύ καλά και ισχυρά φυτοκαλυμμένη από υψηλή κυρίως δενδρώδη βλάστηση, που φθάνει έως και το χείλος των πρανών των ορυγμάτων.

Στο τμήμα, που εκτείνεται από το ρέμα της Γριάς Λαγκάδας έως και τον οικισμό του Αγίου Νικήτα, το μορφολογικό ανάγλυφο γίνεται ομαλό και ηπιότερο, λοφώδους τοπικά τύπου, με ηπιότερες γενικά εγκάρσιες κλίσεις, ενώ τοπικά έχει δομηθεί. Το φυσικό έδαφος όπως και στο προηγούμενο τμήμα είναι πολύ καλά φυτοκαλυμμένο, εκτός από τις περιοχές, οι οποίες καταλαμβάνονται από τις σάρες.

3.7.5 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Το σύνολο σχεδόν της υπόψη περιοχής δομείται από βραχώδεις διαπερατούς λόγω δευτερογενούς πορώδους, ανθρακικούς λιθολογικούς σχηματισμούς. Το δευτερογενές πορώδες οφείλεται τόσο στο πυκνό πλέγμα των κύριων και των δευτερευουσών τεκτονικών δομών όσο και στην μικρή ή μεγάλη αποκάρσωση την οποία αυτοί έχουν υποστεί.

Φαίνεται ότι σ' ολόκληρο το μήκος της περιοχής ενδιαφέροντος, δεν αντιμετωπίζονται έντονα φαινόμενα αποκάρσωσης, τα οποία αναμένονται με κλιμακωτή μείωση από τους ασβεστόλιθους "Παντοκράτορας" προς τους ασβεστόλιθους "Βίγλας".

Ο σχηματισμός των πυριτικών σχιστολίθων έως λεπτοστρωματωδών ασβεστόλιθων με ενστρώσεις πυριτόλιθων αναμένεται ότι παρουσιάζει παρόμοια υδρογεωλογική συμπεριφορά, όπως και οι ανωτέρω.

Από τους συναντώμενους σύγχρονους εδαφικούς σχηματισμούς, τα ασύνδετα έως ελαφρώς συνδεδεμένα κοκκώδη υλικά των σαρών, θεωρούνται εντονότατα διαπερατά, ενώ οι

πάσης φύσης κορηματικοί σχηματισμοί στους οποίους περιέχεται κλάσμα λεπτόκοκκων υλικών (αργιλικές προσμίξεις καφεκόκκινου χρώματος) θεωρούνται γενικά ημιπερατοί έως αδιαπέρατοι σχηματισμοί.

Προκύπτει λοιπόν ότι στην περιοχή αναμένεται υψηλή κατείσδυση, και αποφόρτιση των ικανού όγκου επιφανειακών νερών, λόγω του μεγάλου μέσου ετήσιου ύψους βροχής ($\cong 950\text{mm}$), στους βαθύτερους ορίζοντες.

Οι γεωλογικές - τεκτονικές μονάδες οι οποίες συνιστούν τις υδρογεωλογικές ενότητες Σταυρωτά - Αγ. Ηλία και Αγ. Νικήτα - Δρυμώνα αποφορτίζονται στους βαθύτερους ορίζοντες με πιθανή κίνηση της ροής των υπόγειων υδάτων προς τα Ανατολικά.

Στα δυτικά έως βορειοδυτικά της αρχής του υπό μελέτη τμήματος και νοτίως του άκρου Αγ. Ιωάννης εμφανίζονται παραθαλάσσιες πηγές, στην επαφή των κατακερματισμένων ασβεστόλιθων "Παντοκράτορος" και των Δολομιτών με τις υποκείμενες Μειοκαινικές Μάργες της ζώνης των Παξών επί των οποίων επιπτεύουν.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν αναμένονται πρόσθετα προβλήματα από την ύπαρξη μόνιμων υπόγειων ελεύθερων υδάτινων οριζόντων. Εν αντιθέσει όμως αναμένονται σοβαρής κλίμακας προβλήματα, από την διαβρωτική και αποσπαστική δράση των όμβριων νερών, τόσο στους επιφανειακούς όσο και στους βαθύτερους ορίζοντες της τεκτονικά αποδομημένης ανθρακικής βραχώμαζας.

Η ένταση και το ύψος των μετεωρικών φαινομένων κατά τους χειμερινούς ιδίως μήνες, η διαβροχή και ο κορεσμός της επιφανειακής (μικρού βάθους) ζώνης τόσο της εδαφικής όσο και της κατακερματισμένης ανθρακικής βραχώμαζας σε διαδοχικούς κύκλους δημιουργούν πρόσθετα προβλήματα τοπικών επιδερμικών θραύσεων τοπικών καταρρεύσεων και έντονα φαινόμενα διαβρώσεων που είναι ορατά στις επιφάνειες των πρανών.

Οι υπόγειες διαδρομές του κατεισδύοντος μετεωρικού νερού καθορίζονται:

α) Επιφανειακά από τις διεπιφάνειες επαφής εδαφικών και βραχώδους και έχουν συνήθως κλίσεις ομόρροτες.

β) Από το πλέγμα, τα τεκτονικά γεωμετρικά στοιχεία και την φυσική κατάσταση τόσο των ρηξιγενών δομών όσο και των κατατμήσεων ή τοπικά και της στρώσης.

γ) Από τις μεγάλου μήκους διατμητικές ζώνες, οι οποίες διαθέτουν ικανού εύρους αργιλικό υλικό πλήρωσης και οι οποίες προφανώς τοπικά λειτουργούν ως φυσικό φράγμα στις υπόγειες ροές.

Τέλος στην περιοχή της μελέτης οι κυριότεροι αποστραγγιστικοί φυσικοί αποδέκτες είναι το ρέμα της Γριάς Λαγκάδας και το υφιστάμενο ρέμα που αναπτύσσεται πριν το οικισμό του Αγίου

Νικήτα. Το ρέμα της Γριάς Λαγκάδας που οριοθετεί την υπόψη περιοχή αποστραγγίζει τις νότιες - νοτιοδυτικές υπώρειες του υβώματος Πευκούλια - Μεγάλη ράχη και τις βόρειες υπώρειες των υβωμάτων που εκτείνονται αριστερά της οδού και στην περιοχή του υφιστάμενου τεχνικού.

Το υφιστάμενο ρέμα που ευρίσκεται εγγύς και ΒΑ/κά του οικισμού Αγ. Νικήτας, αποστραγγίζει τις υψηλότερες και στα ενδότερα ευρισκόμενα περιοχές.

Στο υπόλοιπο τμήμα η αποστράγγιση των νερών γίνεται από τα ανάντη τόσο προς την περιοχή του υφιστάμενου δρόμου μέσω των πρανών των ορυγμάτων όσο και μέσω των υφιστάμενων υποτυπωδών ρεμάτων προς την θάλασσα.

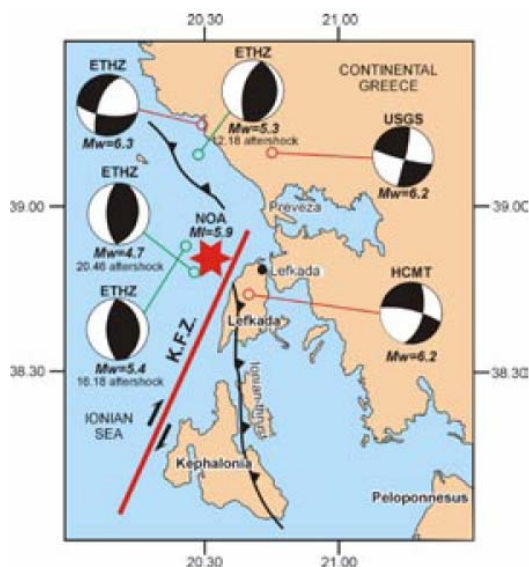
3.8 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό του 1959 (και της τροποποίησης του 1984), ο συντελεστής σεισμικής επιβάρυνσης για τις περιοχές του Νομού Λευκάδας (σεισμικότητα III) ήταν $\varepsilon=0.08$, 0.12 και 0.16 , για εδάφη μικρής, μέτριας και μεγάλης σεισμικής επικινδυνότητας αντίστοιχα (που αντιστοιχούν προσεγγιστικά σε σκληρά, ενδιάμεσα και μαλακά εδάφη).

Σήμερα η νήσος της Λευκάδας γενικότερα αλλά και η περιοχή του έργου, εντάσσεται στην ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας IV, σύμφωνα με τον νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (NEAK 2000), με τιμή της σεισμικής επιτάχυνσης του εδάφους $A=0,36g$.

3.8.1 Ο Σεισμός της 14ης Αυγούστου στη Λευκάδα.

Στις 14 Αυγούστου 2003 και ώρα 05:15 (GMT) ένας ισχυρός σεισμός με μέγεθος $M=6.2$ έπληξε τη Λευκάδα. Το επίκεντρο τοποθετείται στις δυτικές ακτές της νήσου ($\varphi=38.76^\circ N$, $\lambda=20.60^\circ E$). Ο σεισμός αποδίδεται σε σεισμογόνο ρήγμα οριζόντιας μετάπτωσης (Harvard, 2003; USGS, 2003), το οποίο κατά το παρελθόν έχει δώσει ισχυρούς σεισμούς (Σχήμα 3.2., EERI, 2003). Η ισχυρή σεισμική δόνηση καταγράφηκε από το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του ΙΤΣΑΚ (Λευκάδα, Πρέβεζα, Αμφιλοχία, Αγρίνιο κλπ.), και του ΕΑΑ (Πρέβεζα, Πάτρα, Αργοστόλι και Ληξούρι). Η μέγιστη τιμή καταγράφηκε στην πόλη της Λευκάδας και είχε τιμή $0.41g$ κατά την οριζόντια συνιστώσα και $0.19g$ κατά την κατακόρυφη συνιστώσα. Οι αντίστοιχες διορθωμένες τιμές της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας υπολογίστηκαν σε $0.32m/s$ και $0.10m/s$. (ΙΤΣΑΚ, 2004)



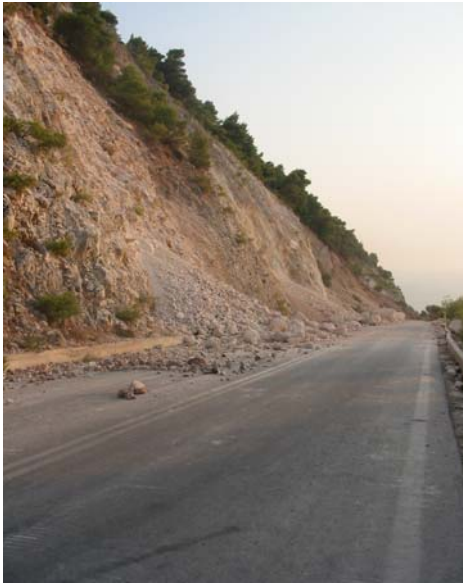
Σχήμα 3.2: Η ευρύτερη περιοχή της Λευκάδας με σημειωμένα τα επίκεντρα και τους αντίστοιχους μηχανισμούς γένεσης, καθώς και το ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης (KFZ).

Ο σεισμός προκάλεσε πέρα από τις υλικές ζημιές έντονα δευτερογενή φαινόμενα που συνίστανται κυρίως σε αποκολλήσεις και καταπτώσεις βράχων, κατολισθήσεις σε πλέον μαλακούς σχηματισμούς καθώς και καθιζήσεις στις παραλιακές ζώνες και ιδιαίτερα στα υλικά επιχωμάτων αυτών για την κατασκευή λιμενικών έργων. Στην πόλη της Λευκάδας, δεν παρατηρήθηκαν περιοχές συγκέντρωσης βλαβών που να μπορούν άμεσα να αποδοθούν στην επιρροή των τοπικών εδαφικών συνθηκών της περιοχής. Ωστόσο, υπήρξαν περιοχές κυρίως παραθαλάσσιες, όπου παρατηρήθηκαν δυναμικές καθιζήσεις, έντονες πλευρικές μετατοπίσεις και φαινόμενα ρευστοποίησης.

Στις παραπάνω παρατηρήσεις ρόλο παίζουν η επιφανειακή γεωλογία, οι δυναμικές ιδιότητες των εδαφικών στρώσεων, η σεισμική διάρρηξη και ο τρόπος ακτινοβολίας των σεισμικών κυμάτων.

Οι πιο χαρακτηριστικές περιπτώσεις κατολισθήσεων και καταπτώσεων βράχων παρατηρήθηκαν κατά μήκος του δυτικού οδικού άξονα Λευκάδας – Τσουκαλάδων – Αγ. Νικήτα – Καλαμισίου – Χορτάτων – Δράγανου – Γιαλού – Εγκρεμνών – Πόρτο Κατσικιού σε λεπτοπλακώδεις και κατακερματισμένους ασβεστολιθικούς σχηματισμούς με κατά περιπτώσεις ενδιαστρώσεις μαργαϊκών σχιστολίθων (ΙΤΣΑΚ, 2004). Οι αστοχίες αυτές των φυσικών πρανών διέκοψαν την κυκλοφορία κατά μήκος του οδικού άξονα (Τσουκαλάδες – Αγ. Νικήτας) ενώ δημιουργήθηκε κίνδυνος σε πολυσύχναστες παραλίες (Πευκούλια, Αγ. Νικήτας).

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ «ΑΓΙΟΣ ΝΙΚΗΤΑΣ, ΛΕΥΚΑΔΑΣ»



Εικόνα 3.3: Φωτογραφίες από τις αστοχίες των πρανών στη θέση Πευκούλια (οδός Τσουκαλάδες – Αγ. Νικήτα).

Κεφάλαιο 4^ο

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π.

4.1 ΤΑ ΤΡΙΔΙΑΣΤΑΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΗΣ

Παρόλο που μια διδιάστατη προσέγγιση κατάπτωσης βραχοτεμαχίων είναι προτιμητέα από λειτουργικής και υπολογιστικής άποψης, η ερμηνεία των αποτελεσμάτων και οι επεκτάσεις αυτών σε γειτονικές περιοχές είναι αυθαίρετη, γεγονός που οφείλεται στο ότι η προσομοίωση σε ένα διδιάστατο μοντέλο γίνεται κατά μήκος μιας καθορισμένης, από το μελετητή, τομής χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη τριδιάστατη φύση της γεωμετρίας των πραγματικών πρηνών. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ένα σοβαρό περιορισμό στη προσπάθεια δημιουργίας μιας αξιόπιστης προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίων.

Η γεωμετρία των πρηνών, αν αυτή θεωρηθεί τριδιάστατη, περιπλέκει ακόμη περισσότερο τη προσομοίωση της κατάπτωσης βραχοτεμαχίων, καθώς μεταβάλλεται κατά την εγκάρσια κατεύθυνση λόγω του ανάγλυφου της φυσικής γήινης επιφάνειας, η οποία επηρεάζει τις τροχιές των βράχων. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των τρισδιάστατων απεικονίσεων, είναι η ύπαρξη της «εγκάρσιας διασποράς» (“lateral dispersion”) (Broilli 1973, Bozzolo et al. 1988, Azzoni et al. 1995), που είναι ο λόγος της εγκάρσιας απόστασης που χωρίζει τις ακραίες τροχιές μιας κατάπτωσης προς το μήκος του πρηνούς. Η εκτίμηση της εγκάρσιας διασποράς αποτελεί ένα κρίσιμο πρόβλημα στη προσομοίωση των καταπτώσεων που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το τρόπο με τον οποίο προσομοιώνονται οι καταπτώσεις βραχοτεμαχίων, εκτιμάται η επικινδυνότητα τους και σχεδιάζονται προστατευτικά μέτρα. Οι Crosta & Agliardi (2004) πραγματοποίησαν μια ποσοτική παραμετρική αξιολόγηση της τριδιάστατης εγκάρσιας διασποράς των τροχιών που διαγράφουν τα βραχοτεμάχια στις καταπτώσεις.

Η ύπαρξη, λοιπόν, της «εγκάρσιας διασποράς» καθιστά δύσκολη την a priori επιλογή της διαδρομής που θα ακολουθήσει ένα βραχοτεμάχιο εάν υιοθετηθεί μια διδιάστατη προσέγγιση. Μια τέτοια επιλογή είναι υποκειμενική και πιθανόν να οδηγήσει σε μη αποδεκτά σφάλματα. Συνεπώς, θεωρούμε ότι, κατά τη κρούση, η οποία για χάριν απλότητας θεωρείται στιγμιαία, εκτός του ότι χάνεται ενέργεια, η διεύθυνση της κίνησης της κατάπτωσης αλλάζει στο χώρο. Όταν, δηλαδή, ένα βραχοτεμάχιο αποκολλάται από ένα πρηνές και αρχίζει να πέφτει, δεν ακολουθεί σχεδόν ποτέ μια ευθεία πορεία αλλά, με βάση τη γεωμετρία του πρηνούς (συνδυασμός κλίσης και

προσανατολισμού) και τον τύπο της επιφάνειας (συντελεστής απόσβεσης ενέργειας λόγω κρούσης) στην οποία προσκρούεται μετά από κάθε αναπήδηση, ακολουθεί μια τεθλασμένη πορεία που η γεωμετρία του πρσανούς του ορίζει.

Φυσικά, ένα τριδιάστατο μοντέλο είναι αρκετά πιο πολύπλοκο απ' ότι ένα διδιάστατο γιατί απαιτεί εξισώσεις κίνησης του βραχοτεμαχίου στο τριδιάστατο χώρο. Στην αναζήτηση τέτοιων εξισώσεων, οι οποίες να αναπαριστούν ρεαλιστικά την κίνηση του βραχοτεμαχίου, μεγάλη δυσκολία θα συναντήσει κανείς στην εύρεση της πορείας που θα ακολουθήσει ακριβώς μετά τη πρόσκρουσή του με το έδαφος. Το κομμάτι αυτό πρέπει να στηρίζεται στη θεωρία των κρούσεων στο χώρο και η εφαρμογή μια απλής ανάκλασης θεωρείται λανθασμένη.

4.2 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Τα τριδιάστατα μοντέλα προσομοίωσης κατάπτωσης βραχοτεμαχίου έχουν αρχίσει να αναπτύσσονται τα τελευταία κυρίως χρόνια, εξακολουθούν όμως να είναι λίγα σε αριθμό. Απαιτούνται, επομένως, καινούργια μοντέλα τα οποία να είναι σε θέση να προσομοιάζουν τη κατάπτωση βραχοτεμαχίων με έναν ακριβή και ρεαλιστικό τρόπο.

Στη παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα νέο τριδιάστατο μοντέλο, αξιοποιώντας πλήρως τις δυνατότητες που μπορούν να προσφέρουν τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographical Information Systems - GIS). Το μοντέλο αυτό είναι ενσωματωμένο σε μια εφαρμογή που φέρει το όνομα "ROCKFALL ANALYSIS", η οποία κάνει χρήση των δυνατοτήτων του λογισμικού πακέτου ArcGIS και κυρίως των προγραμμάτων ArcMap και ArcScene. Η μεθοδολογία είναι γραμμένη στη γλώσσα VBA στο προγραμματιστικό περιβάλλον του ArcGIS.

Το μοντέλο υιοθετεί τόσο μια κινηματική προσέγγιση όσο και τη προσέγγιση μιας σημειακής μάζας (υβριδική προσέγγιση). Επειδή το μοντέλο βρίσκεται στα αρχικά ακόμη στάδια, δεν εκτελεί στοχαστική ανάλυση, δεν κάνει δηλαδή χρήση της μεταβλητότητας των διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται και δεν εκτελεί αυτόματα πολλές καταπτώσεις από το ίδιο σημείο εκκίνησης. Αντιθέτως, πραγματοποιεί ανάλυση για την εύρεση της πλήρους τροχιάς της κατάπτωσης που θα διαγράψει ένα μεμονωμένο βραχοτεμάχιο.

Επιπροσθέτως, το μοντέλο δεν λαμβάνει υπόψιν τις επιδράσεις του μεγέθους, του σχήματος και της ροπής αδρανείας του βραχοτεμαχίου πάνω στη τροχιά που θα ακολουθήσει το βραχοτεμάχιο κατά την κατάπτωση. Συνεπώς, η ταχύτητα του βραχοτεμαχίου είναι μονάχα μεταφορική και όχι μεταφορική και συνάμα περιστροφική.

Η κινηματική προσέγγιση που υιοθετήθηκε εμπεριέχει τρεις από τις κύριες διαδικασίες ή στάδια, σύμφωνα με τη ταξινόμηση του Broili (1973): την ελεύθερη πτώση, την αναπήδηση (κρούση) και την ολίσθηση.

4.2.1 Αρχικές Συνθήκες

Το βραχοτεμάχιο ξεκινά τη κατάπτωση του από μια θέση (X_0, Y_0, Z_0) πάνω στην επιφάνεια του φυσικού αναγλύφου της περιοχής μελέτης. Οι συντεταγμένες αυτές αναφέρονται στο τρισδιάστατο Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων τόσο του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (ΨΜΕ), το οποίο έχει υποχρεωτικά τη μορφή ενός Triangulated Irregular Network (TIN), όσο και των υπόλοιπων θεματικών επιπέδων (σε μορφή shapefile).

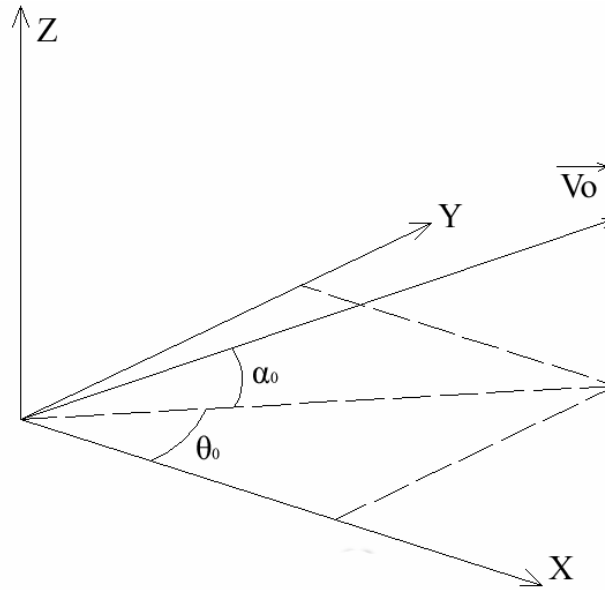
Το μοντέλο εξετάζει επιπλέον και την περίπτωση κατά την οποία το βραχοτεμάχιο αφήνεται από ένα ύψος πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Στη περίπτωση αυτή, η Z_0 αναφέρεται στο άθροισμα του υψομέτρου της προβολής του σημείου αυτού στην επιφάνεια του εδάφους και του ύψους από το οποίο αφήνεται.

Η αρχική ταχύτητα \vec{V}_0 με την οποία αρχίζει τη κατάπτωσή του το βραχοτεμάχιο είναι, όπως ειπώθηκε, μεταφορική και περιγράφεται από τρία μεγέθη (Σχ. 3.2): το μέγεθος της (V_0), την γωνία α_0 , δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του διανύσματος της ταχύτητας και του επιπέδου XY, και την γωνία θ_0 , που είναι η γωνία που σχηματίζει η προβολή του διανύσματος της ταχύτητας στο Σύστημα XY με τον άξονα X. Η γωνία θ_0 αντιπροσωπεύει στην ουσία τον προσανατολισμό του διανύσματος της ταχύτητας όπως αυτός εκφράζεται στο πρόγραμμα ArcMap (aspect).

Παράλληλα, έχουμε την ελάχιστη ταχύτητα V_{\min} , η οποία αποτελεί το κατώφλι της ταχύτητας κάτω από το οποίο η τρέχουσα διαδικασία παύει να είναι αναπήδηση (κρούση) και μετατρέπεται σε ολίσθηση.

Επισημαίνεται πως το πρόβλημα των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων εμπεριέχει από τη φύση του και τον έλεγχο έναντι σεισμού, καθώς θεωρούμε ότι το βραχοτεμάχιο ξεκινά την κατάπτωσή του με μια αρχική ταχύτητα \vec{V}_0 .

ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΩΝ ΒΡΑΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ Γ.Σ.Π



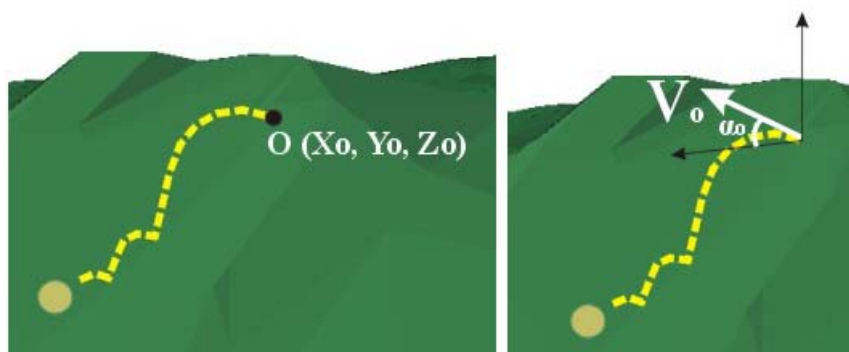
Σχήμα 4.1: Το διάνυσμα της αρχικής ταχύτητας όπως αυτό ορίζεται στο Καθολικό Τρισδιάστατο Καρτεσιανό Σύστημα Συντεταγμένων XYZ.

Έχουμε, επομένως, τα πιο κάτω αρχικά δεδομένα (Σχ. 4.2):

- Αρχική Θέση: $O(X_0, Y_0, Z_0)$
- Αρχική ταχύτητα: $\vec{V}_0 = f(V_0, a_0, \theta_0) = (V_{X0}, V_{Y0}, V_{Z0})$, όπου

$$\begin{aligned} V_{X0} &= (V_0 \cdot \cos(a_0)) \cdot \cos(\theta_0) \\ V_{Y0} &= (V_0 \cdot \cos(a_0)) \cdot \sin(\theta_0) \\ V_{Z0} &= V_0 \cdot \sin(a_0) \end{aligned} \quad (4.1)$$

- Ελάχιστη ταχύτητα: V_{\min}



Σχήμα 4.2: Η αρχική θέση και το διάνυσμα της αρχικής ταχύτητας όπως αυτό ορίζεται μέσα από την εφαρμογή “ROCKFALL ANALYSIS”.

4.2.2 Αναπήδηση (κρούση)

Αναπήδηση ενός βραχοτεμαχίου λαμβάνει χώρα όταν το βραχοτεμάχιο έχει κάποια ταχύτητα \vec{V} , μεγέθους μεγαλύτερου από αυτό της V_{\min} , η οποία το ωθεί να κινηθεί στον αέρα διαγράφοντας μια τροχιά από το προηγούμενο σημείο στο οποίο βρισκόταν (πάνω στην επιφάνεια του εδάφους) σε ένα άλλο.

Η τροχιά που θα ακολουθήσει το βραχοτεμάχιο στον αέρα, λόγω της βαρύτητας, είναι παραβολοειδής και έτσι χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες εξισώσεις:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_0 + V_x \cdot Dt \\ Y_1 &= Y_0 + V_y \cdot Dt \\ Z_1 &= Z_0 + V_z \cdot Dt - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Dt^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

όπου το σημείο 0 αναφέρεται στο σημείο (X_0, Y_0, Z_0) από το οποίο ξεκίνησε η παραβολοειδής κίνηση του βραχοτεμαχίου με ταχύτητα \vec{V}_0 , και το σημείο 1 (X_1, Y_1, Z_1) αναφέρεται στο σημείο (είτε στον αέρα είτε στο έδαφος) στο οποίο θα βρίσκεται το βραχοτεμάχιο μετά από χρόνο Dt .

Σε κάποια φάση της παραβολικής τροχιάς που διαγράφει το βραχοτεμάχιο, αυτό προσκρούεται στο έδαφος. Το σημείο πρόσκρουσης είναι το σημείο τομής της τροχιάς του και του ΨΜΕ της περιοχής μελέτης, συνεπώς ισχύει:

$$DZ = Z_{proj} - Z_{TIN} = 0 \quad (4.3)$$

Το σημείο πρόσκρουσης υπολογίζεται με την εφαρμογή της μεθόδου της παρεμβολής στο χρόνο Dt . Αν $|DZ| \leq 0.005m$ θεωρούμε ότι το $DZ = 0$, και η ταχύτητα την ώρα της κρούσης ισούται με:

$$\vec{V}_{imp} = (V_{Ximp}, V_{Yimp}, V_{Zimp}) \quad (4.4)$$

Το κρίσιμότερο σημείο στη περιγραφή της αναπήδησης με τη χρήση ενός μαθηματικού μοντέλου κατάπτωσης βραχοτεμαχίων, το οποίο καθορίζει και την αξιοπιστία του, είναι η εύρεση του ορθού ποσού ενέργειας που χάνεται τη στιγμή της κρούσης του βραχοτεμαχίου με το έδαφος. Η διαδικασία αυτή είναι πολύ δύσκολη καθώς η απώλεια ενέργειας είναι μια πολύπλοκη συνάρτηση ενός αριθμού παραμέτρων, όπως η κοκκομετρική καμπύλη, ο λόγος κενών, η

περιεκτικότητα των εδαφικών υλικών σε νερό, η γεωμετρία του βραχοτεμαχίου και η δυναμική της κρούσης, των οποίων η συσχέτιση με την απώλεια ενέργειας είναι δύσκολο να καθορισθεί επακριβώς.

Στις περισσότερες των περιπτώσεων, όλες οι επιδράσεις λόγω πλαστικής παραμόρφωσης του υποβάθρου και η γεωμετρική διαμόρφωση της κρούσης συμπεριλαμβάνονται σε «συναρτήσεις κρούσης» (“contact functions”), οι οποίες συσχετίζουν τη κινηματική των βραχοτεμαχίων (συναρτήσει της ταχύτητας) ή τη δυναμική τους (συναρτήσει της ενέργειας) πριν και μετά τη κρούση (Agliardi & Crosta, 2003). Τέτοιες εκφράσεις εκφράζονται σαν συντελεστές τριβής και σαν συντελεστές απόσβεσης της ενέργειας, αναφερόμενες συνήθως σαν σταθερές υλικών. Οι Pfeiffer & Bowen (1989), οι Jones et al. (2002) και οι Chau et al. (2002), έχουν αναπτύξει κλιμακοποιημένες συναρτήσεις (scaling functions) οι οποίες συσχετίζουν τους συντελεστές απόσβεσης ενέργειας με τη ταχύτητα της κρούσης. Δυστυχώς, τέτοιες συναρτήσεις είναι εμπειρικές και βασίζονται σε συγκεκριμένα σετ δεδομένων τα οποία λήφθηκαν σε επιτόπου τεστ πραγματοποιημένα με διαφορετικές συνθήκες (Agliardi & Crosta, 2003). Άρα, η βαθμονόμηση των συντελεστών απόσβεσης δεν είναι απλή υπόθεση, λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων πληροφοριών. Γενικά, οι όποιες τιμές των συντελεστών αυτών χρησιμοποιηθούν σε ένα μοντέλο, θα πρέπει να λαμβάνονται από επιτόπου δοκιμές στη περιοχή μελέτης.

Στο μοντέλο που χρησιμοποιείται, η κρούση θεωρείται ελαστική, όχι όμως πλήρως ελαστική αλλά σε κάποιο βαθμό ανάλογο των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους (συντελεστές απόσβεσης ενέργειας λόγω κρούσης) και χρησιμοποιούνται οι πιο κοινοί ορισμοί των συντελεστών απόσβεσης αναγόμενοι στον τρισδιάστατο χώρο. Οι τιμές των συντελεστών αυτών εξαρτώνται από τον τύπο του εδαφικού υλικού στο οποίο προσκρούεται το βραχοτεμάχιο.

Στον Πίνακα 4.1 δίνονται, κατά τον Hoek, τιμές των συντελεστών απόσβεσης της ενέργειας ανάλογες του είδους της επιφάνειας. Σημειώνουμε ότι, οι τιμές αυτές προήλθαν από επεξεργασία δεδομένων από ένα αριθμό επιτόπου δοκιμές, είναι δηλαδή εμπειρικές.

ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΡΑΝΟΥΣ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΚΡΟΥΣΗΣ	
	ΚΑΘΕΤΟΣ (R_n)	ΕΦΑΠΤΟΜΕΝΙΚΟΣ (R_t)
Καθαρή Επιφάνεια Βράχου	0.53	0.99
Οδόστρωμα ασφάλτου	0.40	0.90
Εμφάνισεις βράχου με σκληρή επιφάνεια, μεγάλοι λίθοι	0.35	0.85
Κάλυμμα κορημάτων	0.32	0.82
Κάλυμμα κορημάτων με βλάστηση	0.32	0.80
Μαλακό έδαφος, Βλάστηση	0.30	0.80

Πίνακας 4.1: Συντελεστές απόσβεσης της ενέργειας λόγω κρούσης, κατά την κάθετη και την εφαπτομενική έννοια, ανάλογα με το είδος της επιφάνειας (κατά Hoek).

4.2.3 Ελεύθερη Πτώση

Όταν ένα βραχοτεμάχιο αρχίζει να πέφτει από ένα απότομο πρανές το οποίο έχει κατακόρυφη επιφάνεια ή επιφάνεια με αρνητική κλίση, τότε εκτελεί ελεύθερη πτώση μέχρι να κτυπήσει το έδαφος. Εάν το σημείο εκκίνησης είναι το $0(X_0, Y_0, Z_0)$ και η αρχική ταχύτητα είναι μηδενική (το βραχοτεμάχιο αφήνεται από ψηλά και πραγματοποιεί ελεύθερη πτώση), τότε μετά από χρόνο Dt το βραχοτεμάχιο θα βρίσκεται στη θέση (X_1, Y_1, Z_1) , όπου:

$$\begin{aligned} X_1 &= X_0 \\ Y_1 &= Y_0 \\ Z_1 &= Z_0 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot Dt^2 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Το σημείο πρόσκρουσης, όπως στη περίπτωση της αναπήδησης, βρίσκεται με παρεμβολή του χρόνου Dt ώσπου να βρεθεί η τιμή αυτού για την οποία.

Για τον υπολογισμό της ανακλώμενης ταχύτητας ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία με αυτή που ακολουθήθηκε στη διαδικασία της αναπήδησης.

Ο αλγόριθμος του μοντέλου εμπεριέχει και τη περίπτωση στην οποία ένα βραχοτεμάχιο αφήνεται με μηδενική ταχύτητα από ένα ύψος DZ πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Η

χρονική στιγμή στην οποία το βραχοτεμάχιο προσκρούεται στο έδαφος βρίσκεται απευθείας από τη σχέση:

$$Dt = \frac{-V + \sqrt{V^2 + 2 \cdot g \cdot DZ}}{g} \quad (4.6)$$

και στη συνέχεια ακολουθείται η γνωστή διαδικασία.

4.2.4 Ολίσθηση

Όταν η ταχύτητα, είτε η αρχική είτε η ανακλώμενη (μετά από μια πρόσκρουση στο έδαφος), είναι μικρότερη της V_{\min} , θεωρούμε ότι το βραχοτεμάχιο κινείται πλέον πάνω στο έδαφος ακολουθώντας τη διαδικασία της ολίσθησης. Στο στάδιο αυτό, ένα βραχοτεμάχιο μπορεί να κατευθύνεται προς τα κάτω ή προς τα πάνω, ανάλογα με την προηγηθείσα πορεία του, υπό την επίδραση της βαρύτητας και η κίνηση του μπορεί να είναι ομαλά επιταχυνόμενη ή ομαλά επιβραδυνόμενη, βάσει της σχέσης που υπάρχει μεταξύ της κλίσης και της γωνίας τριβής του πρανούς.

Το βραχοτεμάχιο κινείται προς τα κάτω στις περιπτώσεις που η γωνία κλίσης του πρανούς είναι μεγαλύτερη από το μηδέν και το διάνυσμα της αρχικής του ταχύτητας έχει είτε κατεύθυνση προς τα κάτω ή μηδενικό μέγεθος. Στη περίπτωση αυτή το βραχοτεμάχιο ακολουθεί τη πορεία της μέγιστης κλίσης του πρανούς στο οποίο βρίσκεται. Η προς τα κάτω κίνηση διακρίνεται σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

- $\theta = \varphi$: Αν η γωνία κλίσης του πρανούς είναι ίση με τη γωνία τριβής του πρανούς, τότε η δρώσα δύναμη, δηλαδή η βαρύτητα, ισούται με την αντιδρώσα δύναμη, που είναι η τριβή, και το βραχοτεμάχιο θα ολισθήσει έξω από το πρανές με μια ταχύτητα ίση με την αρχική ταχύτητα (ομαλή ευθύγραμμη κίνηση):

$$V_{EXIT} = V_{0UV} \quad (4.7)$$

όπου V_{EXIT} είναι η ταχύτητα διαφυγής και V_{0UV} η αρχική ταχύτητα, V_0 εφαπτόμενη στο πρανές.

- $\theta > \varphi$: Αν η γωνία κλίσης του πρανούς είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής του πρανούς, τότε η δρώσα δύναμη είναι μεγαλύτερη από την αντιδρώσα και, επομένως, το βραχοτεμάχιο θα εκτελέσει γραμμική επιταχυνόμενη κίνηση και θα ολισθήσει εκτός

του πρανούς με μια αυξημένη ταχύτητα. Η ταχύτητα με τη οποία θα φύγει από το πρανές υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{EXIT} = \sqrt{V_{0UV}^2 - 2 \cdot s \cdot g \cdot k}, \quad (4.8)$$

όπου: V_{EXIT} είναι η ταχύτητα διαφυγής και V_{0UV} η αρχική ταχύτητα, V_0 εφαπτόμενη στο πρανές, s είναι η απόσταση από την αρχική θέση $O(X_0, Y_0, Z_0)$ μέχρι το τελικό σημείο του πρανούς κατά μήκος της μέγιστης του κλίσης, g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, $k = \pm \sin(\theta) - \cos(\theta) \cdot \tan(\varphi)$, όπου θ είναι η γωνία κλίση του πρανούς, φ η γωνία τριβής του πρανούς. Το \pm είναι + αν η αρχική ταχύτητα είναι ίση με μηδέν ή διεύθυνση της είναι προς τα κάτω και - αν η διεύθυνση της ταχύτητας είναι προς τα πάνω.

- $\theta < \varphi$: Αν η γωνία κλίσης του πρανούς είναι μικρότερη από τη γωνία τριβής του πρανούς, τότε η δρώσα δύναμη είναι μικρότερη από την αντιδρώσα.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ROCKFALL ANALYSIS» ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ Arcgis

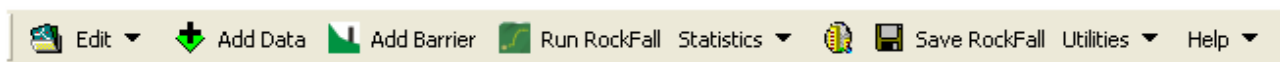
Βάσει του παραπάνω μοντέλου δημιουργήθηκε η εφαρμογή “ROCKFALL ANALYSIS”. Η εφαρμογή τρέχει μέσα από τα προγράμματα ArcMap και ArcScene του λογισμικού πακέτου ArcGIS. Ο ενσωματωμένος αλγόριθμος έχει γραφτεί στην γλώσσα προγραμματισμού VBA (Visual Basic for Applications) και χωρίζεται σε δυο βασικά μέρη:

- Το πρώτο μέρος τρέχει μέσα στο πρόγραμμα ArcMap και αφορά στην εύρεση της τροχιάς που θα ακολουθήσει το βραχοτεμάχιο, βάσει των δεδομένων εισόδου, και στην απεικόνισή της κατάπτωσης αυτής σε 2 διαστάσεις.
- Το δεύτερο μέρος τρέχει μέσα από το πρόγραμμα ArcScene και αφορά στη τρισδιάστατη απεικόνιση της τροχιάς του βραχοτεμαχίου και στη προσομοίωση της.

Το πρώτος μέρος είναι αποθηκευμένο και τρέχει στο αρχείο του ArcMap “ROCKFALL_ANALYSIS.mxd”, ενώ το δεύτερο στο αρχείο του ArcScene “ROCKFALL_ANALYSIS_3D.sxd”. Τα αρχεία αυτά και τα σχηματικά αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή εμπεριέχονται στο CD το οποίο συνοδεύει τη παρούσα εργασία.

4.3.1 Πρώτο Μέρος της εφαρμογής – Αρχείο “ROCKFALL ANALYSIS.mxd”

Με την εκκίνηση του αρχείου εμφανίζεται αμέσως η μπάρα εργαλείων (toolbar) “LHA-ROCKFALL” (Εικ. 4.1), η οποία περιέχει όλες τις απαραίτητες εντολές για την εκτέλεση της προσομοίωσης μιας κατάπτωσης ενός βραχοτεμαχίου.

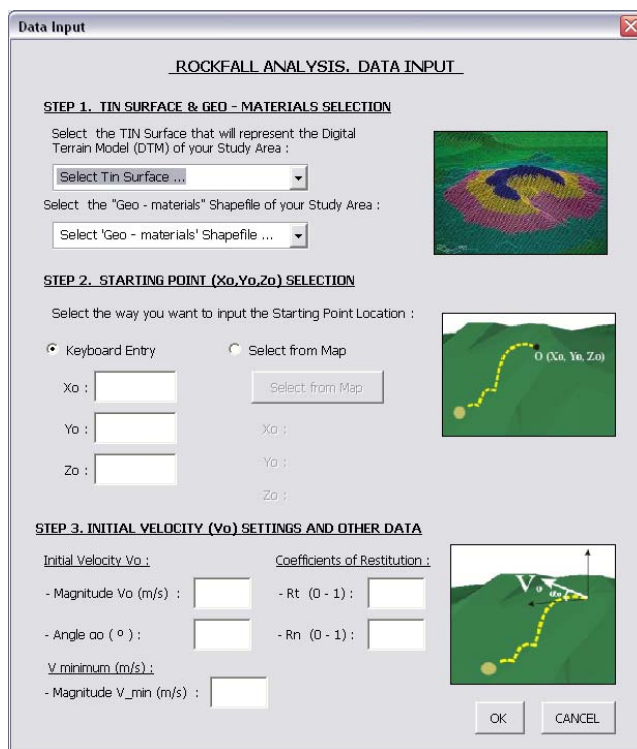


Εικόνα 4.1: Η μπάρα εργαλείων “LHA_ROCKFALL” όπου περιέχονται όλες οι απαραίτητες εντολές για την προσομοίωση της κατάπτωσης μέσα στο ArcMap.

Η μπάρα εργαλείων εμπεριέχει έξι διαφορετικά κουμπιά:

- Το κουμπί  φέρει το όνομα “Add Data for the Analysis” και δίνει στον χρήστη τη δυνατότητα να καταχωρήσει τα δεδομένα για την κατάπτωση που θέλει να εκτελέσει.
- Το κουμπί  έχει το όνομα “Add Barrier” δίνει την δυνατότητα να τοποθετηθεί φράχτης πάνω στο μοντέλο ώστε να επεμβαίνει ο χρήστης στην τροχιά της κατάπτωσης.
- Το κουμπί  έχει το όνομα “Run RockFall” και επιτρέπει στον χρήστη να κάνει έλεγχο των τελικών δεδομένων και να ξεκινήσει τον υπολογισμό της κατάπτωσης.
- Το κουμπί  με το όνομα “RockFall Results”, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της τελευταίας κατάπτωσης που προσομοιώθηκε.
- Το κουμπί  έχει το όνομα “Open ArcScene - ROCKFALL_ANALYSIS_3D.sxd” και οδηγεί τον χρήστη στο αρχείο αυτό του ArcScene, υπεύθυνο για τη τρισδιάστατη απεικόνιση της κατάπτωσης και την προσομοίωσή της.
- Το κουμπί  έχει το όνομα “Save Trajectory” δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να σώσει (save) την τροχιά της τελευταίας κατάπτωσης που προσομοιώθηκε.

Πιέζοντας το πρώτο κουμπί, “Add Data for the Analysis”, ο χρήστης οδηγείται στο μενού “Data Input”, υπεύθυνο για την καταχώρηση των απαραίτητων δεδομένων (Εικ. 4.2). Τα δεδομένα αυτά είναι τα ακόλουθα:




Εικόνα 4.2: Το μενού “Data Input”, υπεύθυνο για την καταχώρηση των δεδομένων για την εκτέλεση της κατάπτωσης.

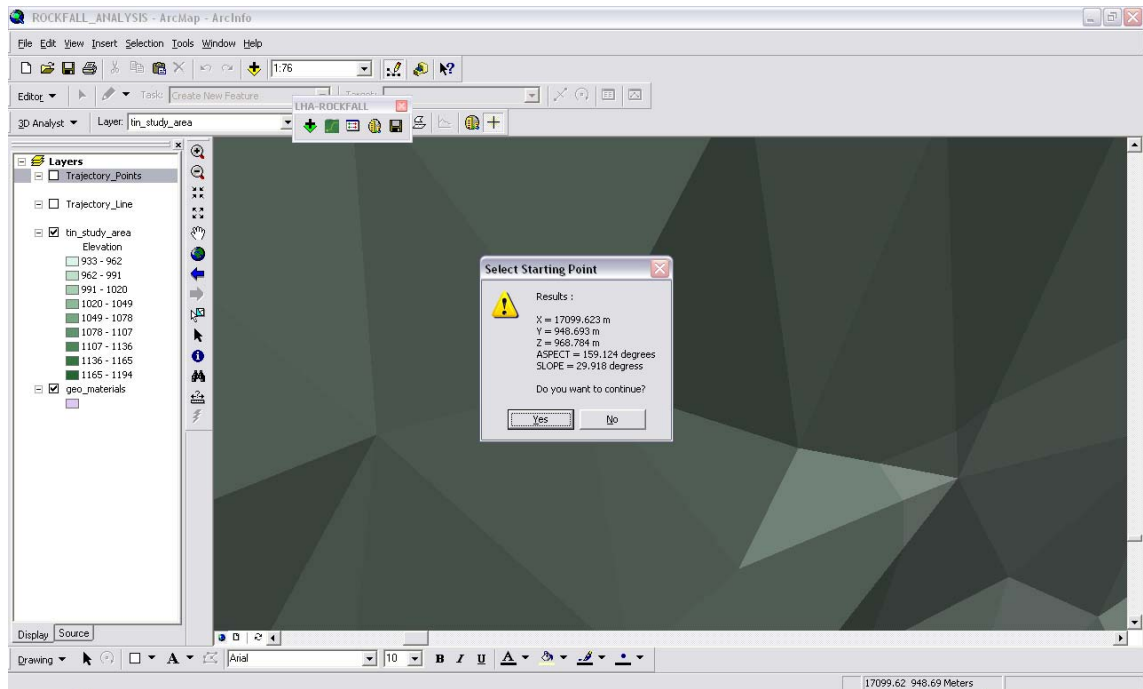
1) Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ), αλλιώς Digital Terrain Model (DTM), της περιοχής μελέτης. Το ΨΜΕ πρέπει να έχει τη μορφή ενός Triangulated Irregular Network (TIN) για το λόγο ότι αυτό περιέχει πληροφορίες για τη κλίση και τον προσανατολισμό κάθε επιμέρους τριγώνου του TIN, παράγοντες που καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τη τροχιά του βραχοτεμαχίου. Κάθε τρίγωνο του TIN αντιπροσωπεύει και ένα πραινές. Αν δεν υπάρχει στο αρχείο του ArcMap το επιθυμητό ΨΜΕ, ο χρήστης μπορεί να το εισάγει με την επιλογή “Add TIN ...” που υπάρχει στη λίστα εισαγωγής του ΨΜΕ. Το επιλεγόμενο ΨΜΕ παίρνει τελικά την ονομασία “tin_study_area”.

2) Οι Γεωλογικοί Σχηματισμοί της περιοχής μελέτης. Η επιλογή του θεματικού επιπέδου, με τη μορφή shapefile, το οποίο θα αφορά στους γεωλογικούς σχηματισμούς γίνεται μέσα από την αντίστοιχη λίστα, η οποία περιέχει όλα τα θεματικά επίπεδα που υπάρχουν στο αρχείο “ROCKFALL ANALYSIS.mxd”. Αν δεν είναι ένα από αυτά, τότε μπορεί να το εισάγει με την εντολή “Add Shapefile ...”. Το επιλεγόμενο θεματικό επίπεδο θα πάρει εν τέλει την ονομασία “geo_materials”. Η χρήση του είναι για την εισαγωγή στους υπολογισμούς με βάση τα πολύγωνα των σχηματισμών της τιμής της γωνίας τριβής ϕ σε κάθε υποπεριοχή.

3) Οι Συντελεστές Απόσβεσης της Ενέργειας λόγω της κρούσης (coefficients of restitution) κατά την εφαπτομένη και κατά την κάθετη έννοια στο επίπεδο του πραινούς. Σε κάθε επαφή του τεμάχου με το έδαφος κατά την κρούση με βάση ενός θεματικού επιπέδου, όπου ανάλογα με τις ιδιότητές του, κάθε πολύγωνο έχει τις αντίστοιχες τιμές (π.χ ασφαλτος, βράχος κτλ). Έτσι, κάθε χωρική ενότητα που θα εκφράζεται με την μορφή πολυγώνου πάνω στον θεματικό χάρτη που θα

δημιουργηθεί, θα έχει τη δική της ξεχωριστή τιμή για τις δυο παραμέτρους. Ανάλογα με τις συντεταγμένες που θα αντιστοιχούν σε κάθε σημείο κρούσης και σε ποιο πολύγωνο ανήκουν αυτές, στον αλγόριθμο επίλυσης θα παίρνονται κάθε φορά οι αντίστοιχες τιμές από τα πολύγωνα. Έτσι, όταν ο βράχος θα έρχεται κατά την πτώση σε επαφή με την ασφαλτο θα έχει στην απεικόνιση σαφώς μικρότερες απώλειες ενέργειας σε σχέση με μια επαφή με το ρείθρο και τα σαθρά υλικά του. Το θεματικό επίπεδο αυτό εισάγεται αντίστοιχα όπως και οι γεωλογικοί σχηματισμοί.


4) Το Σημείο Εκκίνησης (Starting Point) της κατάπτωσης. Ο χρήστης πρέπει να εισάγει το σημείο αυτό με ένα από τους δυο τρόπους εισαγωγής που του προσφέρονται. Ο πρώτος τρόπος είναι μέσω του πληκτρολογίου καταχωρώντας τις συντεταγμένες του αρχικού σημείου (X_o, Y_o, Z_o) . (Με τον τρόπο αυτό δίνεται επίσης η δυνατότητα εισαγωγής σημείου το οποίο να βρίσκεται σε κάποιο ύψος από την επιφάνεια, επιτρέποντας έτσι στο βραχοτεμάχιο να εκτελέσει ελεύθερη πτώση πριν κτυπήσει στο έδαφος). Ο δεύτερος τρόπος αφορά στην επιλογή ενός σημείου από τον χάρτη, συγκεκριμένα από το ΨΜΕ. Επιλέγοντας στο μενού το “Select from Map”, ο χρήστης οδηγείται στο “Data View” του αρχείου. Παράλληλα ενεργοποιείται το κουμπί  με την ονομασία “LHA-ROCKFALL: Select Point Command” (έχει προστεθεί στη μπάρα εργαλείων του “3D Analyst”). Τότε αλλάζει ο κέρσορας (cursor) σε + και ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα σημείο από το TIN. Μόλις το κάνει αυτό, εμφανίζεται ένα μενού με τις πληροφορίες του σημείου αυτού: τις συντεταγμένες του (X, Y, Z) στο Σύστημα Συντεταγμένων του ΨΜΕ, το προσανατολισμό και τη κλίση (σε μοίρες) του τριγώνου στο οποίο βρίσκεται (Εικ. 4.3) Αν επιλέξει ο χρήστης να μην συνεχίσει, το μενού εξαφανίζεται και μπορεί να επιλέξει ένα νέο σημείο, εάν όμως κάνει το αντίθετο, εμφανίζεται το κύριο μενού συμπληρωμένο με τις συντεταγμένες του επιλεγμένου σημείου.

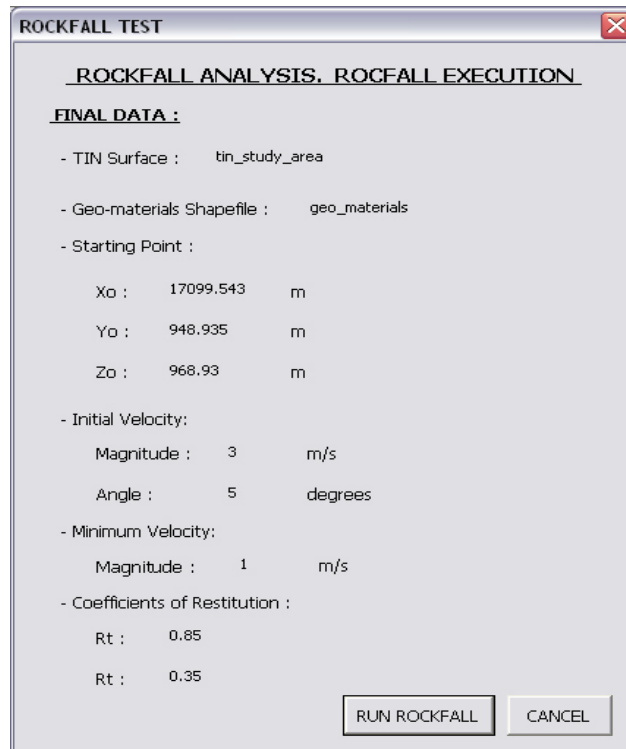


Εικόνα 4.3: Η διαδικασία επιλογής ενός σημείου του ΨΜΕ της περιοχής μελέτης μέσα από το “Data View”.

5) Η Αρχική Ταχύτητα (Initial Velocity) προσδιορίζεται μέσω του μεγέθους της V_0 και τη γωνία α_0 που σχηματίζει το διάνυσμά της με το οριζόντιο επίπεδο XY.

6) Η V_{min} αποτελεί τη τιμή εκείνη της ταχύτητας η οποία καθορίζει το σημείο εναλλαγής της διαδικασίας, στην οποία βρίσκεται το βραχοτεμάχιο, από αναπήδηση σε ολίσθηση.


Μετά την ολοκλήρωση της καταχώρησης των τιμών των παραπάνω παραμέτρων, ο χρήστης προχωρά στο επόμενο βήμα πατώντας το δεύτερο κουμπί . Εμφανίζεται τότε το μενού ‘ROCKFALL TEST’ (Εικ. 4.4) στο οποίο παρουσιάζονται οι τελικές επιλεγμένες τιμές των παραμέτρων και ο χρήστης, αφού τις ελέγξει, μπορεί να πατήσει το κουμπί “RUN ROCKFALL” για να ξεκινήσει ο υπολογισμός κατάπτωσης. Με το πάτημα του κουμπιού εμφανίζεται μια προειδοποίηση, η οποία υποχρεώνει τον χρήστη να κλείσει όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές του ArcGIS που τρέχουν την ώρα εκείνη. Αυτό γίνεται για να δουλέψει σωστά ο αλγόριθμος που αφορά στον υπολογισμό της κατάπτωσης.




Εικόνα 4.4: Το μενού “ROCKFALL TEST” όπου εμφανίζονται οι τελικές τιμές των παραμέτρων. Το κουμπί “RUN ROCKFALL” ξεκινά τον υπολογισμό της κατάπτωσης.

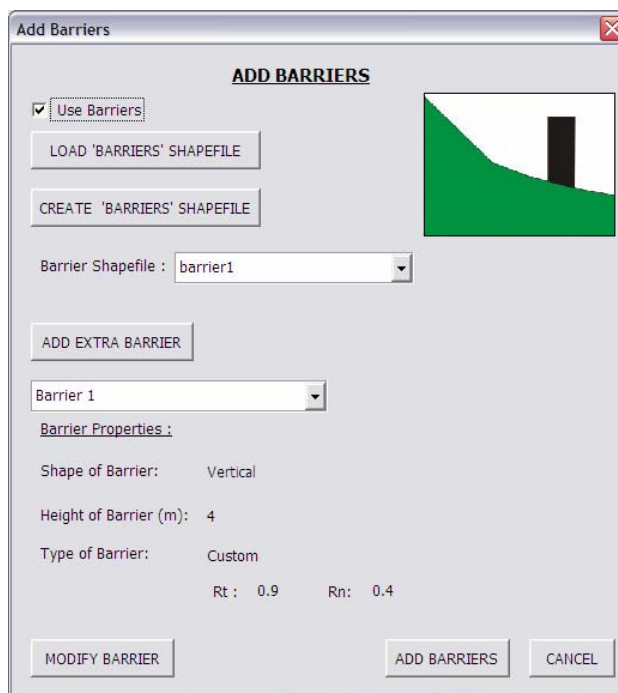
Όταν τελειώσει ο υπολογισμός εμφανίζεται το μενού “Results” (Εικ. 4.5) το οποίο περιέχει διάφορες πληροφορίες για την κατάπτωση:

- Αρχική Ταχύτητα.
- Σημείο Εκκίνησης και Σημείο Τερματισμού του βραχοτεμαχίου.
- Οριζόντια (R) και Κάθετη (DZ) Μετακίνηση του βραχοτεμαχίου από την αρχική του θέση.
- Απόσταση που διανύθηκε από το βραχοτεμάχιο κατά τη κατάπτωση και η χρονική διάρκεια της κατάπτωσης.


Το μενού “Results” εμφανίζεται επίσης και με το πάτημα του κουμπιού “Statistics”  στη μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL”.


- Στη θέση του βραχοτεμαχίου (X, Y, Z) .
- Στην υψομετρική διαφορά του σημείου (X, Y, Z) από την επιφάνεια $(DZ = Z - Z_TIN)$.
- Στο χρονικό διάστημα από το ένα σημείο στο άλλο (*Time*).
- Συναθροιστικός Χρόνος της κατάπτωσης ως εκείνο το σημείο (A_Time).
- Οι συνιστώσες του διανύσματος της ταχύτητας (V_x, V_y, V_z) και το μέγεθός της V .
- Στα σημεία όπου το βραχοτεμάχιο βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους, δίνονται οι πληροφορίες του προσανατολισμού (*ASPECT*) και της κλίσης (*SLOPE*) του πρανούς στο οποίο βρίσκεται το συγκεκριμένο σημείο.
- Όταν η κίνηση που πρόκειται να λάβει χώρα είναι η ολίσθηση, τότε δίνεται και η πληροφορία της γωνίας τριβής ($FRICION_A$) του γεωλογικού σχηματισμού στον οποίο βρίσκεται το συγκεκριμένο σημείο.

Με το πάτημα του κουμπιού  ,στη μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL”, παρουσιάζεται στην οθόνη ένα παράθυρο επιλογών που επιτρέπει τη τοποθέτηση οποιασδήποτε διάστασης φράχτη πάνω στο ΨΜΕ. Ουσιαστικά, πλέον με αυτήν την προσθήκη είναι δυνατόν να γίνουν επεμβάσεις στην υπάρχουσα κατάσταση και αξιολόγηση των επιμέρους λύσεων, με βάση την ικανότητα προστασίας. Συγκεκριμένα, το παράθυρο της επιλογής, δίνει την δυνατότητα της εμφάνισης ή όχι φράχτη στην επόμενη κατάπτωση, την επαναφορά κάποιου ήδη κατασκευασμένου και αποθηκευμένου φράχτη, καθώς και την κατασκευή νέου εάν αυτό είναι επιθυμητό. Κατά την κατασκευή νέου φράχτη παρέχεται η δυνατότητα διαστασιολόγησης, επιλογής κατάλληλων συντελεστών απορρόφησης κρούσης (ουσιαστικά το υλικό κατασκευής) καθώς και η επιλογή της ακριβούς θέσης του απευθείας από το ΨΜΕ. Δεν προβλέπεται πάντως μέχρι στιγμής η δυνατότητα ο φράχτης να παρουσιάζει κάποια συγκεκριμένη μέγιστη δυνατότητα συγκράτησης.




Εικόνα 4.7: Το μενού εισαγωγής δεδομένων στην κατασκευή φράχτη


Εάν ο χρήστης επιθυμεί να δει και την τρισδιάστατη απεικόνιση της κατάπτωσης, τότε μπορεί να πατήσει το κουμπί  στη μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL”. Με το τρόπο αυτό οδηγείται απευθείας στο αρχείο “ROCKFALL_ANALYSIS_3D.sxd” όπου και του δίνονται και κάποιες άλλες ιδιαίτερες δυνατότητες, στις οποίες θα αναφερθούμε σε επόμενη ενότητα.



Τέλος, με το πάτημα του κουμπιού  στη μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL”, εμφανίζεται το μενού “Save Trajectory ...” μέσα από το οποίο ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τα δυο shapefiles (“Trajectory_Points” και “Trajectory_Line”) τα οποία περιγράφουν την κατάπτωση που απεικονίζεται τη τρέχουσα στιγμή στο περιβάλλον του ArcMap. Τα shapefile μπορούν να αποθηκευτούν είτε σαν καινούργια shapefiles είτε υπό τη μορφή “layer”.

4.3.2 Δεύτερο Μέρος της εφαρμογής-Αρχείο“ROCKFALL ANALYSIS 3D.sxd”

Το αρχείο “ROCKFALL_ANALYSIS_3D.sxd” περιέχει την τρισδιάστατη απεικόνιση της τελευταίας προσομοιωμένης κατάπτωσης, και μπορεί να ανοιχθεί είτε με το πάτημα του κουμπιού  (μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL” στο αρχείο “ROCKFALL_ANALYSIS.mxd) είτε από τον χώρο εργασίας στον οποίο είναι αποθηκευμένο.

Με το άνοιγμα του αρχείου φορτώνεται αυτόματα η μπάρα εργαλείων “LHA-ROCKFALL 3D” (Εικ. 4.8), αντίστοιχη της “LHA-ROCKFALL”. Στη μπάρα περιέχονται τέσσερα διαφορετικά κουμπιά:


- Το κουμπί , με το όνομα “Play the animation of RockFall”, πραγματοποιεί την προσομοίωση της κατάπτωσης.

- Το κουμπί , με το όνομα “Statistics”, παρουσιάζει τα αποτελέσματα της τελευταίας κατάπτωσης που προσομοιώθηκε, με τον ίδιο τρόπο όπως και στο αρχείο “ROCKFALL_ANALYSIS.mxd (Εικ. 4.5).
- Το κουμπί , με το όνομα “Return to ArcMap - ROCKFALL_ANALYSIS.mxd”, μεταφέρει τον έλεγχο πίσω στο αρχείο “ROCKFALL_ANALYSIS.mxd”.
- Τέλος, από το κουμπί “Utilities”, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το σημείο έναρξης της κατάπτωσης από το τριδιάστατο ΨΜΕ. Έτσι, δυνατή η επιλογή με μεγάλη ακρίβεια αλλά και κατάλληλη οπτική αξιολόγηση του σωστού σημείου αστοχίας μέσα από την τρισδιάστατη μορφή του ΨΜΕ στην εφαρμογή του ArcScene.



Εικόνα 4.8: Η μπάρα εργαλείων “LHA_ROCKFALL 3D” όπου περιέχονται όλες οι απαραίτητες εντολές για την προσομοίωση της κατάπτωσης μέσα στο ArcScene.

Είναι προφανές ότι η τριδιάστατη απεικόνιση βελτιώνει σε πολύ μεγάλο βαθμό την εποπτεία της κατάπτωσης και εξυπηρετεί στην καλύτερη κατανόησή της από το χρήστη.

Ακόμη καλύτερη εποπτεία και αντίληψη της κίνησης που πραγματοποιεί το βραχοτεμάχιο κατά την κατάπτωσή του, προσφέρει η προσομοίωση της κατάπτωσης. Η προσομοίωση (πάτημα κουμπιού ) παρουσιάζει, με ένα αρκετά ρεαλιστικό τρόπο, ένα σφαιρικό βραχοτεμάχιο να ξεκινά τη πτώση του από το σημείο εκκίνησης (βάσει των αρχικών δεδομένων), να κινείται έπειτα κατά μήκος της τρισδιάστατης πολυγραμμής της κατάπτωσης (shapefile “Trajectory_Line”) εκτελώντας τα διάφορα είδη κίνησης που ενδεχομένως θα λάβουν χώρα (ελεύθερη πτώση, αναπήδηση - πρόσκρουση με το έδαφος, ολίσθηση) και τελικά να σταματάει στο τελικό σημείο της κατάπτωσης.

4.3.3 Νέες προσθήκες στο πρόγραμμα

Κατά την εφαρμογή αυτή έγιναν και κάποιες βελτιώσεις ή εισαγωγές. Σκοπός των βελτιώσεων είναι η καλύτερη, όσο δυνατόν πιο κοντινή στα πραγματικά δεδομένα απεικόνιση καθώς και η αύξηση των δυνατοτήτων και η διεύρυνση των επιλογών. Οι νέες προσθήκες έχουν να κάνουν με την επεξεργασία των βραχοπτώσεων. Στο κουμπί «**Statistics**», προστέθηκαν πέντε ακόμα submodules.

1. Το "Rockfall Results", παρέχει τα στατιστικά για όλες τις Βραχοπτώσεις.
2. Το "Rockfall Properties" παρέχει τα στατιστικά για την επιλεγμένη βραχόπτωση.

3. Το "Statistics", όπου παράγει ένα πολυγωνικό shapfile της περιοχής που πλήγηκε από τις βραχοπτώσεις με πληροφορίες σχετικές με την μέγιστη ταχύτητα, μέγιστο ύψος από το έδαφος και αριθμό βραχοπτώσεων που πέρασαν από το κάθε σημείο της περιοχής.
4. Ακόμα, το "Area's Susceptibility to Rockfalls -> Areal και Linear Test", όπου με αυτά τα δυο αυτά εργαλεία υπολογίζουν το πόσο μια περιοχή (polygon shapfile) ή ένα γραμμικό χαρακτηριστικό (line shapfile) έχουν πληγεί από τις βραχοπτώσεις παρέχοντας και τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο παραπάνω submodule.
5. Τέλος, το "Test Barrier's Efficiency", όπου εξετάζει την αποδοτικότητα του φράχτη που χρησιμοποιήσαμε.

Επίσης, στο κουμπί «**Utilities**» προστέθηκε το "Symbolize velocity" όπου παράγεται ένα point shapfile με σημεία των βραχοπτώσεων συμβολισμένα ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο "Statistics" (μέγιστη ταχύτητα, μέγιστο ύψος από το έδαφος και αριθμό βραχοπτώσεων που πέρασαν από το κάθε σημείο της περιοχής).

Κεφάλαιο 5^ο

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ “ROCKFALL ANALYSIS” ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εκτίμηση του κινδύνου από καταπτώσεις στην περιοχή μελέτης πραγματοποιείται με την νέα μέθοδο που αναφέρθηκε προηγουμένως, το πρόγραμμα “ROCKFALL ANALYSIS”. Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν κάθε φορά την τροχιά της κατάπτωσης σε αυτή την εφαρμογή είναι η αρχική ταχύτητα (V_0), οι συντεταγμένες του σημείου έναρξης της κατάπτωσης (X, Y, H) και η γωνία του διανύσματος της ταχύτητας με το οριζόντιο επίπεδο (α_0).

Για να δημιουργηθεί το τριδιάστατο Ψ.Μ.Ε. του αναγλύφου χρησιμοποιήθηκαν οι ισοϋψείς (ανά 4m) από την μελέτη που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι στα σημεία όπου υπήρξαν κατολισθήσεις υπήρξε πύκνωση των ισοϋψών ανά 2m. Χρησιμοποιήθηκαν, επίσης, οι τιμές παραμέτρων:

- συντελεστές απόσβεσης της ενέργειας λόγω κρούσης κατά Hoek
- συντελεστής τριβής του εδάφους, όπου η ενεργός γωνία τριβής είναι: $\varphi=38^\circ$ για τους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα και $\varphi=40^\circ$ για τους ασβεστόλιθους Βίγλας.
- Για την επιλογή τιμών ταχύτητας οι οποίες να αντιστοιχούν όσο το δυνατόν καλύτερα στην εδαφική ταχύτητα για το συγκεκριμένο σεισμό χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (Skarlatoudis et al, 2003).

$$\log PGV = -1.47 + 0.52 * M - 0.93 * \log(R^2 + h^2)^{1/2} + 0.077 * F + 0.11 * S \pm 0.303 \quad (5.1)$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί την εμπειρική σχέση πρόβλεψης της μέγιστης εδαφικής ταχύτητας PGV σε cm/s σε σχέση με το μέγεθος του σεισμού M , την εστιακή απόσταση R (km), το εστιακό βάθος h (km), τη σταθερά F η οποία αφορά στην επίδραση του μηχανισμού του ρήγματος του σεισμού, και τη σταθερά S η οποία αφορά στις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Αν λοιπόν χρησιμοποιηθεί η εξίσωση (5.1) για την περίπτωση του σεισμού του 2003 και μεταβληθεί η τιμή της εστιακής απόστασης ανάλογα με τη θέση του φυσικού πρηνούς, τότε μπορεί να εκτιμηθεί η μέγιστη

εδαφική ταχύτητα στην θέση εκείνη. Για παράδειγμα για πρανές το οποίο απέχει 5.63 km (διατομές 96 έως 98) από το επίκεντρο του σεισμού, εστιακό βάθος 15 km, $M=6.2$, $F=1$ (για μηχανισμό ρήγματος οριζόντιας μετατόπισης) και $S=2$ (θεωρείται ότι το έδαφος είναι σαθρό), η εκτιμώμενη ταχύτητα είναι $0.57 \text{ m/s} \pm 0.303$. Έτσι η αρχική ταχύτητα λαμβάνεται ως $V_0=0.57 \text{ m/s}$ για όλες τις περιοχές όπου θα γίνουν δοκιμές αφού το πρανές που υπολογίσαμε είναι περίπου στο μέσο της περιοχής.

Αρχικά, η αρχική ταχύτητα είχε που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτή που υπολογίστηκε σύμφωνα με τα αποτελέσματα των επιταχυνσιογράφων, $V_x=V_y=0.3 \text{ m/s}$ και $V_z=0.1 \text{ m/s}$ άρα $V_0=0.44 \text{ m/s}$. Τελικά αυτή η αρχική ταχύτητα δεν χρησιμοποιήθηκε λόγω του ότι οι δοκιμές των βραχοπτώσεων δεν είχαν το αναμενόμενο αποτέλεσμα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρούσα εκτέλεση είναι ουσιαστικά από τις πρώτες εφαρμογές του συγκεκριμένου προγράμματος ενώ από τα συμπεράσματα που θα προκύψουν, θα γίνει και αξιολόγησή του. Το πρόγραμμα αυτό έχει ως βασικό πλεονέκτημα την εξαιρετική οπτική θεώρηση την οποία προσφέρει κατά την απεικόνιση των καταπτώσεων κατά την μέγιστη κλίση των πρανών και όχι κατά την φαινόμενη κλίση μιας τυχαίας πορείας.

Η περιοχή διαχωρίστηκε για ευκολία στη μελέτη και την εφαρμογή σε τρία τμήματα. Συγκεκριμένα :

- Τμήμα Α : Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800
- Τμήμα Β: Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 1+700
- Τμήμα Γ: Χ.Θ. 1+700 έως είσοδο Αγ. Νικήτα περί την Χ.Θ. 4+125

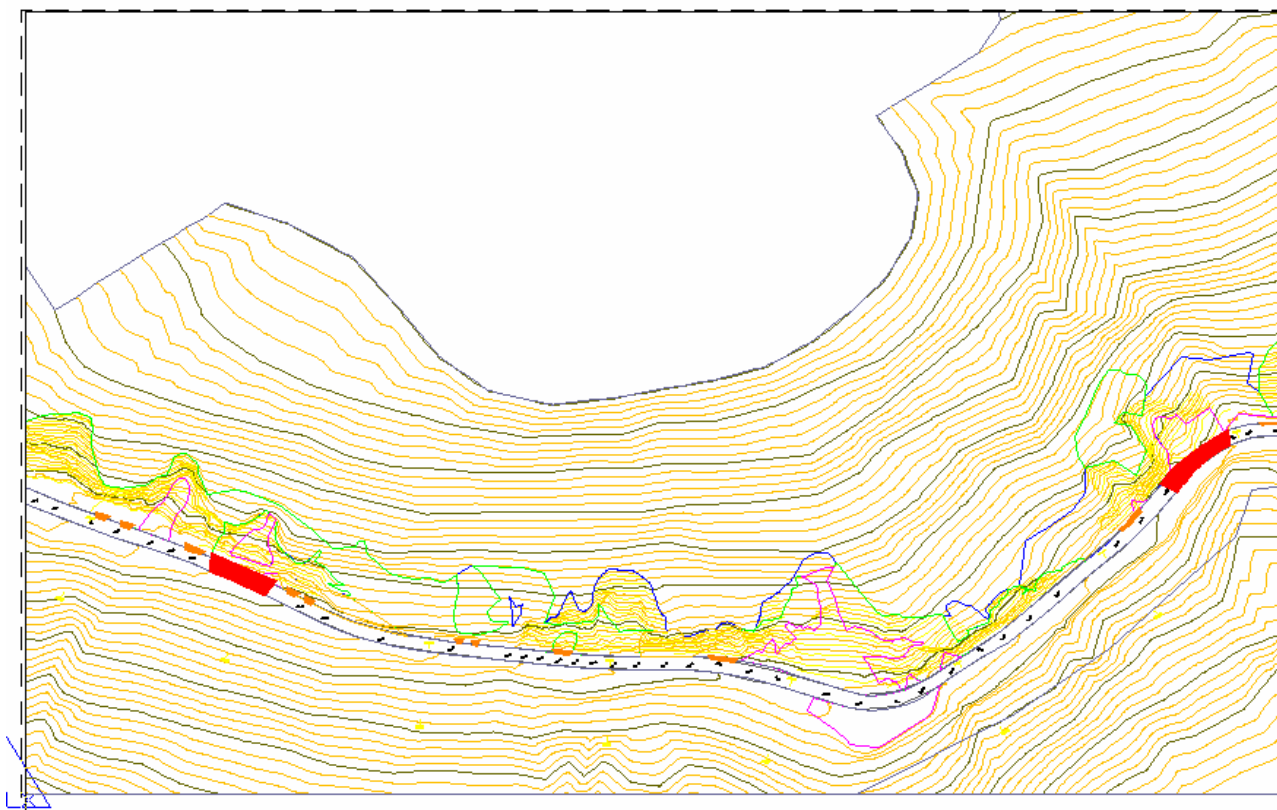
Στην κάθε περιοχή επιλέχθηκαν τα πιο επικίνδυνα πρανή, σύμφωνα με την μελέτη που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο. Έτσι, οι διατομές οι οποίες επιλέχθηκαν για την εφαρμογή είναι αυτές όπου υπήρξαν οι μεγαλύτερες αποθέσεις κατολισθημένων υλικών και βραχοτεμαχείων μετά το σεισμό στις 14-8-2003, εκεί όπου υπήρξε κατάληψη του οδοστρώματος 60% έως 100%.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση στην περιοχή μελέτης με την πραγματοποίηση βραχοπτώσεων κατά μήκος του επικίνδυνου πρανούς. Η εφαρμογή περιορίστηκε στις εκτάσεις που έχουν χαρακτηριστεί ως επικίνδυνες να προκαλέσουν πρόβλημα στο συγκοινωνιακό δίκτυο. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μπορούν να αξιολογηθούν οπτικά. Εντός του τεύχους περιλαμβάνονται ορισμένα παραδείγματα καταπτώσεων, ενώ το σύνολο των καταπτώσεων που πραγματοποιήθηκαν περιλαμβάνονται στο παραδοθέν ψηφιακό δίσκο.

5.2 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800)

5.2.1 Γενικά στοιχεία

Το τμήμα Α έχει φυσικό ανάγλυφο έντονης κλίσης εγκάρσια προς τον άξονα της οδού, δημιουργώντας έτσι ορύγματα, το ύψος των οποίων φθάνει συστηματικά της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων. Ενώ η διατομή της οδού έχει πλάτους 8,5-9,5m σε όρυγμα. Στο τμήμα Α εντάσσονται οι διατομές 1 έως 48 όπως φαίνεται και στον τοπογραφικό χάρτη. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτού του τμήματος είναι πολύ καλά φυτοκαλυμμένο, εκτός από τις περιοχές, οι οποίες καταλαμβάνονται από τις σάρες.



Εικόνα 5.1: Τμήμα Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800)

5.2.2 Γεωμορφολογικές- γεωτεχνικές συνθήκες

Από γεωλογικής-γεωτεχνικής άποψη στο σύνολο του τμήματος, η περιοχή δομείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι συστηματικά εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι. Σε αρκετές περιπτώσεις, η ασβεστολιθική – δολομιτική βραχώμαζα, καλύπτεται από μικρού πάχους συνδεδεμένα κορήματα, με ιδιότητες συνεκτικού αμμοχαλικώδους υλικού.

Η περιοχή αυτή έχει ισχυρά καταπονηθεί από το σύνολο των τεκτονικών δυνάμεων που έπληξαν την περιοχή με αποτέλεσμα να εμπεριέχεται στην ευρύτερη ζώνη τεκτονισμού, τα

βραχώδη αρχικά υλικά της οποίας έχουν μετατραπεί κατά το μέλλον ή ήταν σε φυσικό θραυστό υλικό, τοπικά υγιέστερο και έντονα εύθρυπτο.



Εικόνα 5.2: Εντονότατα κατακερματισμένοι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα με λείες ομορρόπες διεπιφάνειες τοπικά.

Σε αρκετές θέσεις του τμήματος Α συναντάμε ελαφρώς συνεκτικά έως ασύνδετα κορηματικά υλικά (ριπίδια). Οι συγκεντρώσεις τους προέρχονται κυρίως από παλαιότερες κατολισθήσεις – αποσαθρώσεις του βραχώδους υπόβαθρου αλλά και από τις κατολισθήσεις του πρόσφατου σεισμού. Στις θέσεις αυτές, η φυσική κλίση της επιφάνειας είναι χαρακτηριστική, ίση περίπου προς την γωνία εσωτερικής τριβής του αμμοχαλικώδους υλικού.

Οι κορηματικοί σχηματισμοί έχουν κυμαινόμενο πάχος και ομόρροπη γενικά διεπιφάνεια επαφής. Ενώ η έκτασή τους είναι σημαντική και καλύπτει το σύνολο της υποκείμενης βραχώδους των τεκτονισμένων ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα.

Οι κορηματικές αποθέσεις στην στέψη του ορύγματος, έχουν αποτεθεί σε τεκτονικές αναβαθμίδες μικρής ή μεγάλης έκτασης, τις οποίες δημιούργησαν οι ανοκαθοδικές ή πλάγιες κινήσεις των νεοτεκτονικών ρηγμάτων. Η ευστάθειά τους εξαρτάται τοπικά εκτός από την δομή τους και από το χωρικό γεωμετρικό σχήμα, το οποίο δημιούργησαν οι επιμέρους κινήσεις των ρηγμάτων.



Εικόνα 5.3: Χαρακτηριστικές μορφές κορηματικών αποθέσεων.

Τέλος, σε όλη την έκταση του τμήματος Α δεν παρατηρήθηκαν μόνιμες ή περιοδικές πηγαίες τοπικά αποφορτίσεις ή ενιαία στάθμη μόνιμου υπόγειου ορίζοντα στην επιφάνεια του πρανούς. Δεν αναμένονται πρόσθετα προβλήματα ευστάθειας των πρανών κατά τους θερινούς και άνοδρους μήνες, είναι δε πιθανά κατά τους χειμερινούς.

5.2.3 Προβλήματα αστοχίας

Τα πρανή απότομης κλίσης σε συνδυασμό με την βραχώμαζα, που σε ορισμένα σημεία ήταν περισσότερο κερματισμένη ή και ο συνδυασμός των κλίσεων και διευθύνσεων των κυρίων διαρρήξεων δημιούργησαν ευνοϊκές συνθήκες για κατολισθήσεις και βραχοπτώσεις.

Οι πιο συχνές μορφές αστοχίας που εκδηλώθηκαν ήταν οι επιδερμικές θραύσεις – καταρρεύσεις κυκλικής μορφής, τοπικές δομικές αστοχίες και ικανής έκτασης βραχοπτώσεις από την στέψη του πρανούς.

Στα περισσότερα ορύγματα εκδηλώθηκαν επιδερμικές κυκλικές θραύσεις – καταρρεύσεις, τόσο στους λατυποποιημένους και δολομιτωμένους ασβεστόλιθους [(LiPa) C.D], όσο και στους κατακερματισμένους [(LiPa)Te.z]. Αυτή η μορφή αστοχίας οφείλεται στην φυσική κατάσταση και στην ποιότητα του υλικού αλλά και στις προδιατεταγμένες διεπιφάνειες των ρηξιγενών ασυνεχειών, που είναι λείες και ομόροπες.

Στα χαμηλά ορύγματα εκδηλώθηκαν κυρίως δομικές σφηνοειδείς αστοχίες ικανής έκτασης και όγκου, από ικανού μήκους ρηξιγενείς κυρίως ασυνέχειες, οι οποίες εκπληρούσαν στον χώρο τις δυναμικές συνθήκες εκδήλωσης. Στην ίδια περιοχή εκδηλώθηκαν και δομικές επίπεδες αστοχίες ικανής έκτασης, οι οποίες οφείλονταν σε ομόροπες ρηξιγενείς ασυνέχειες, οι οποίες ήταν τοπικά διακοπτόμενες.

Επίσης σ' αυτά ορύγματα είχαμε εκτεταμένες βραχοπτώσεις, με βραχοτεμάχια ικανού όγκου, τα οποία στον ικανού πάχους κορηματικό μανδύα στο χείλος ή ανάντη του χείλους του ορύγματος. Ικανός αριθμός βραχοτεμαχίων ποικίλου μεγέθους επαναπαύεται σήμερα στην επιφάνεια του υφιστάμενου πρανούς του ορύγματος ή έφθασε έως και τον τοίχο στον πόδα.



Εικόνα 5.4: Εκδηλωμένες βροχοπτώσεις και υφιστάμενοι ογκόλιθοι στη στέψη και στην ανάντη της στέψης περιοχής των ορυγμάτων (Τα βραχοτεμάχια είναι ιδιαίτερα ικανού όγκου, γωνιώδη και υγιή όσον αφορά στην ποιότητα της βραχόμαζας).



Εικόνα 5.5: Ετοιμόρροποι όγκοι βραχόμαζας λόγω του εντονότατου κατακερματισμού και της εδαφοποίησης του γεωυλικού στη θέση από Χ.Θ. 0+740 έως Χ.Θ. 0+770

Στα ορύγματα που επικρατούν οι κορηματικοί σχηματισμοί οι αστοχίες διαφέρουν. Εκδηλώθηκαν επιδερμικές αστάθειες τόσο σε κορηματικές αποθέσεις μικρού πάχους και είχαν αποτέλεσμα την τοπική θραύση της βαθμίδας. Επίσης παρατηρήθηκαν και στις υποκείμενες κατακερματισμένες ανθρακικές βραχόμαζες, σε προδιατεταγμένες ομόρροπες ασυνέχειες και σε οριακά ευσταθείς κατακερματισμένες μάζες. Οι εκδηλωμένες επιδερμικές θραύσεις οδήγησαν τα πρανή να έχουν μια μορφή βραχόμαζας άναρχη και τα ίχνη των αστοχιών να είναι ιδιαίτερα ορατά.



Εικόνα 5.6: Επιδερμικές αστάθειες σε κορηματικές αποθέσεις

Σ' αυτά τα ορύγματα οι εκδηλωμένες βραχοπτώσεις ήταν ιδιαίτερα έντονες, προήλθαν δε τόσο από τις θέσεις των κορημάτων , όσο και από αποσπάσεις από υφιστάμενες ανάντη βραχώδεις εξάρσεις. Σε ορισμένες θέσεις είναι τόσο αρατά τα σημεία στα οποία αποσπάστηκε η βραχώμαζα , όσο και η διαδρομή που ακολούθησε το βραχοπρίσμα, αφού φαίνονται οι σπασμένοι κορμοί δένδρων.



Εικόνα 5.7: Ετοιμόρροποι όγκοι βραχώμαζας λόγω του εντονότατου κατακερματισμού και της εδαφοποίησης του γεωυλικού στη θέση από Χ.Θ. 0+370 έως Χ.Θ. 0+390

5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800)

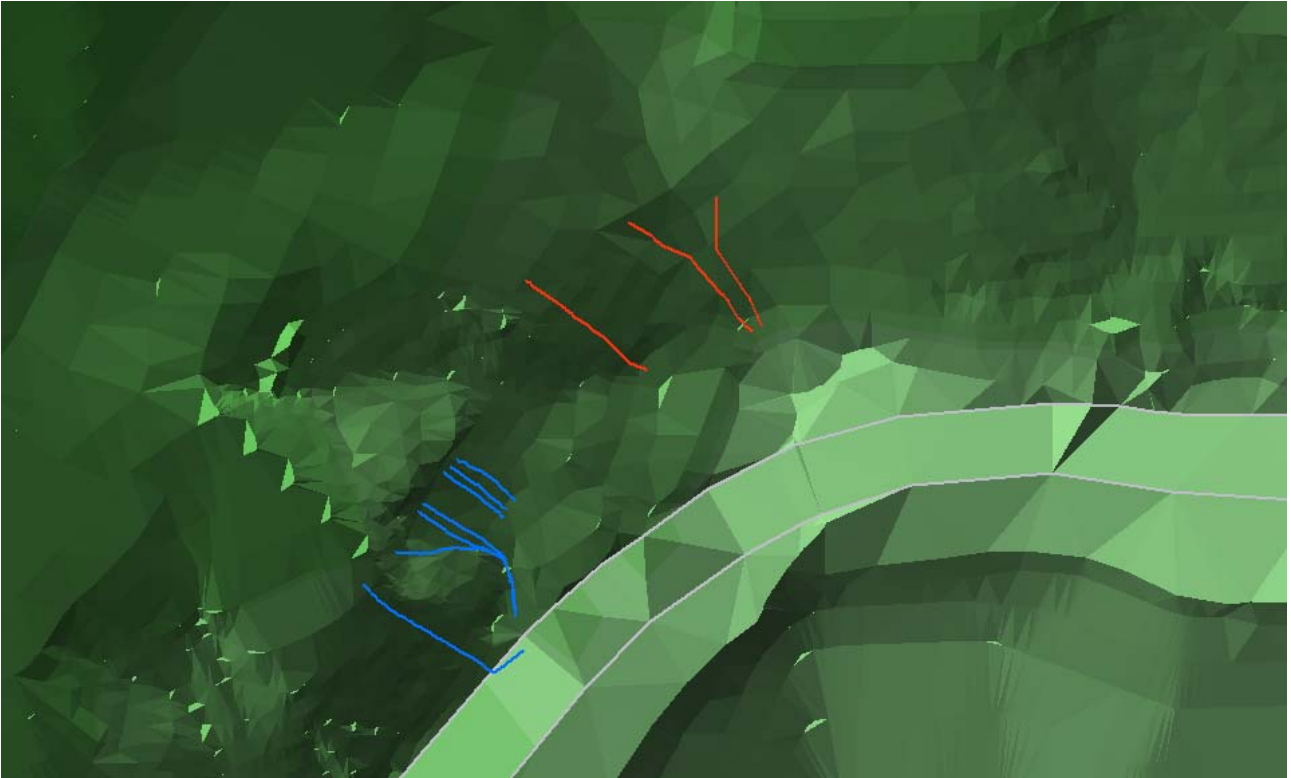
Εντός της συγκεκριμένης περιοχής χωροθετούνται οι διατομές 13 έως 14 και 44 έως 46 όπου έχουν κριθεί επικίνδυνες σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίσαμε παραπάνω. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην εφαρμογή οδηγούν σε δυσμενή αποτελέσματα και ο κίνδυνος είναι φανερός που προκύπτει για το τεχνικό έργο αφού οι τροχιές και εδώ δείχνουν να επηρεάζουν τον χώρο κίνησης των οχημάτων επί της ασφάλτου. Σχεδόν όλες οι καταπτώσεις που πραγματοποιήθηκαν έπληξαν

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ROCKFALL ANALYSIS» ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

το έργο, ενώ οι τροχιές που καταγράφηκαν λόγω του ακανόνιστου του ανάγλυφου ήταν εντόνως διαφοροποιημένες στην τρίτη διάσταση, ακόμα και από το ίδιο σημείο εφαρμογής. Στην εικόνα που ακολουθεί μπορεί να παρατηρηθεί αυτή η διαφοροποίηση. Γενικά, οι χρόνοι και οι αποστάσεις που διανύθηκαν στις καταπτώσεις δεν ακολουθούν κάποιο μοντέλο αλλά εξαρτώνται αποκλειστικά από την επιφάνεια του ανάγλυφου και τον προσανατολισμό της κάθε φορά στο σημείο της κρούσης. Εντός αυτής της περιοχής μάλιστα, θα δοκιμαστεί πειραματικά και η χρήση κάποιας μορφής φράχτη στη συνέχεια και θα αξιολογηθεί η επίδρασή του στις καταπτώσεις.



Εικόνα 5.8: Καταπτώσεις στο τμήμα Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800). Διατομές 13 έως και 14.



Εικόνα 5.9: Καταπτώσεις στο τμήμα Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800). Διατομές 44 έως και 46.

Σε αυτήν την έκταση επίσης ο κίνδυνος είναι φανερός. Το γεγονός ότι οι καταπτώσεις δεν διασχίζουν όμως κάθετα την οδό αλλά υπό γωνία διανύοντας σε αυτήν μεγαλύτερες αποστάσεις, δίνει τη δυνατότητα για μεγαλύτερο βαθμό απόσβεσης της ενέργειας των καταπτώσεων με αποτέλεσμα αυτές να σταματούν χωρίς να πλήξουν έκταση κατόντη αυτής. Ο πραγματικός χρόνος των καταπτώσεων για αυτόν το λόγο είναι σαφώς μικρότερος (έως και 10 με 12 δευτερόλεπτα). Πάντως σε κάθε περίπτωση, ο κίνδυνος, όπως προκύπτει και στην εικόνα που ακολουθεί, είναι φανερός και η χρήση μέτρων για την αντιμετώπισή του απαραίτητος.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζονται ορισμένες καταπτώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον τριών διαστάσεων.

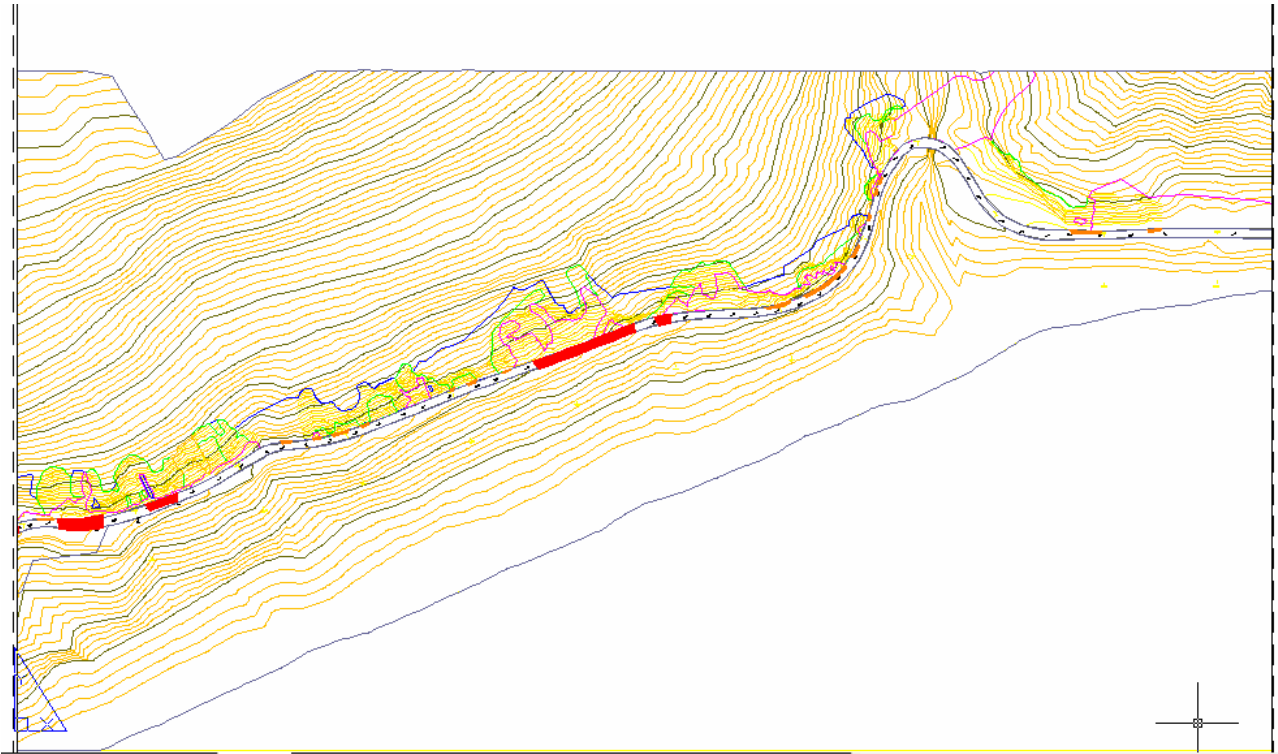


Εικόνα 5.10: Καταπτώσεις στο τμήμα Α (Χ.Θ. 0+000 έως Χ.Θ. 0+800) σε περιβάλλον τριών διαστάσεων. (ArcScene).

5.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Β (Χ.Θ.0+800 έως Χ.Θ. 1+700)

5.4.1 Γενικά στοιχεία

Το τμήμα Β, όπως και το τμήμα Α έχει φυσικό ανάγλυφο έντονης κλίσης εγκάρσια προς τον άξονα της οδού, δημιουργώντας έτσι ορύγματα, το ύψος των οποίων φθάνει συστηματικά της τάξης των μερικών δεκάδων μέτρων. Στο τμήμα Β εντάσσονται οι διατομές 48 έως 88 όπως φαίνεται και στον τοπογραφικό χάρτη. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτού του τμήματος είναι πολύ καλά φυτοκαλυμμένο.

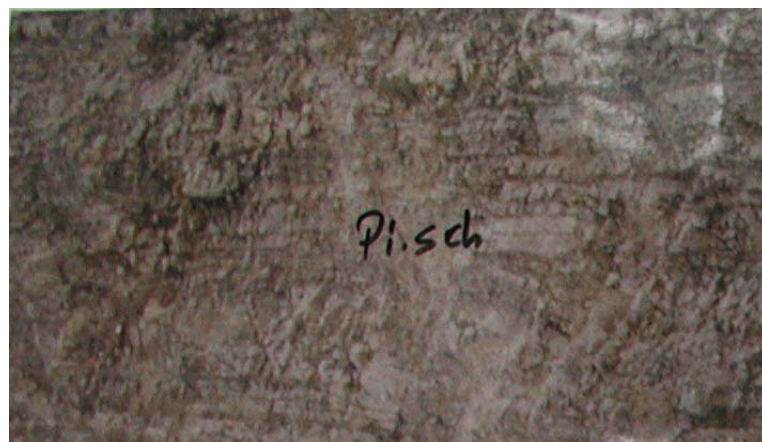


Εικόνα 5.11: Τμήμα Β (Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 1+700)

5.4.2 Γεωμορφολογικές- γεωτεχνικές συνθήκες

Στα πρώτα ορύγματα του τμήματος Β συναντούμε πυριτικούς σχιστόλιθους έως λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους με στρώσεις μαύρων πυριτολίθων.

Οι πυριτικοί σχιστόλιθοι θεωρούνται ευπαθής σχηματισμός στις τεκτονικές δράσεις και ιδιαίτερα "πλαστικός" στις πτυχογόνες τάσεις. Έτσι στους υψηλότερους ορίζονται εντοπίζονται τοπικές πτυχώσεις με μεταβολές της βύθισης και της κλίσης των σκελών των στρωμάτων.



Εικόνα 5.12: Έντονα λεπτοστρωματώδεις πυριτικοί σχιστόλιθοι

Στο υπόλοιπο τμήμα, η περιοχή δομείται από δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι συστηματικά εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι. Σε αρκετές περιπτώσεις, η ασβεστολιθική –

δολομιτική βραχώμαζα, καλύπτεται από εδαφικά και κορηματικά υλικά τα οποία κρασπεδώνουν την υποκείμενη βραχώμαζα τόσο στους υψηλότερους όσο και στους τοπικά χαμηλότερους ορίζοντες.

Οι κορηματικοί σχηματισμοί έχουν κυμαινόμενο πάχος και ομόρροπη γενικά διεπιφάνεια επαφής. Σε ορισμένα ορύγματα στη μάζα των κορημάτων φιλοξενούνται τόσο επιφανειακά όσο και στα ενδότερα ικανός αριθμός υγιών βραχοτεμαχίων ικανού όγκου. Η ευστάθεια τους εξαρτάται τοπικά εκτός από την δομή τους και από το χωρικό γεωμετρικό σχήμα, το οποίο δημιούργησαν οι επιμέρους κινήσεις των ρηγμάτων.

Η περιοχή αυτή έχει ισχυρά καταπονηθεί από το σύνολο των τεκτονικών δυνάμεων που έπληξαν την περιοχή με αποτέλεσμα να εμπεριέχεται στην ευρύτερη ζώνη τεκτονισμού, τα βραχώδη αρχικά υλικά της οποίας έχουν μετατραπεί κατά το μέλλον ή ήταν σε φυσικό θραυστό υλικό, τοπικά υγιέστερο και έντονα εύθρυπτο.

Γενικότερα σε αρκετά κομμάτια του τμήματος Β παρατηρούνται πλήθος ρηξιγενών περιοχών ή λείοι καθρέπτες αδιευκρίνιστης μορφής με διάφορες διευθύνσεις προσανατολισμού και βυθίσεις των επιπέδων. Επίσης, το πυκνό πλέγμα των ασυνεχειών έχει προκαλέσει την έντονη δομική ασυνεχότητα και την μέτρια συναρμογή της βραχώμαζας.



Εικόνα 5.13: Τυπικές μορφές κατοπτρικών ρηξιγενών επιφανειών

Τέλος, σε όλη την έκταση του τμήματος Β δεν παρατηρήθηκαν μόνιμες ή περιοδικές πηγαίες τοπικά αποφορτίσεις ή ενιαία στάθμη μόνιμου υπόγειου ορίζοντα στην επιφάνεια του πρανούς. Δεν αναμένονται πρόσθετα προβλήματα ευστάθειας των πρανών κατά τους θερινούς και άνωδρους μήνες, είναι δε πιθανά κατά τους χειμερινούς.

5.4.3 Προβλήματα αστοχίας

Οι πιο συχνές μορφές αστοχίας που εκδηλώθηκαν ήταν οι επιδερμικές θραύσεις – καταρρεύσεις κυκλικής μορφής, τοπικές δομικές αστοχίες, ικανής έκτασης βραχοπτώσεις από την στέψη του πρανού και σε ορισμένα τμήματα σφηνοειδής μορφή αστοχία.

Επιδερμικές κυκλικές θραύσεις- καταρρεύσεις εκδηλώθηκαν στους λεπτοστρωματώδεις και κατακερματισμένους πυριτικούς σχιστόλιθους. Αιτία της αστοχίας ήταν η φυσική, δομική κατάσταση και η ποιότητα του υλικού της βραχώμαζα αλλά και οι προδιατεταγμένες διεπιφάνειες ρηξιγενών ασυνεχειών, λείων και τοπικά ομόρροπων μικρής γωνίας κλίσης. Επίσης αστοχίες αυτής της μορφής παρατηρήθηκαν και στα ορύγματα που δομούνται από κατακερματισμένους και αποδομημένους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα.

Στα ορύγματα που επικρατούν οι κορηματικοί σχηματισμοί οι αστοχίες διαφέρουν. Εκδηλώθηκαν επιδερμικές αστάθειες τόσο σε κορηματικές αποθέσεις μικρού πάχους όσο και στις υποκείμενες κατακερματισμένες ανθρακικές βραχώμαζες, σε προδιατεταγμένες ομόρροπες ασυνέχειες και σε οριακά ευσταθείς κατακερματισμένες μάζες. Οι εκδηλωμένες επιδερμικές θραύσεις οδήγησαν τα πρανή να έχουν μια μορφή βραχώμαζας άναρχη και τα ίχνη των αστοχιών να είναι ιδιαίτερα ορατά.



Εικόνα 5.14: Άποψη των ισχυρών επιδερμικών θραύσεων στην περιοχή (Χ.Θ 1+100 έως Χ.Θ. 1+200). Διακρίνονται το ανάντη βραχώδες και φυτοκαλυμμένο φυσικό έδαφος.

Σε μεμονωμένα ορύγματα εκδηλώθηκαν επίπεδες και σφηνοειδείς δομικές αστοχίες, που οφείλονται σε ομόρροπες, ρηξιγενείς επιφάνειες και σε ομόρροπα κατατμηματικά ή στρωσιγενή επίπεδα.



Εικόνα 5.15: Τυπική μορφή εκδηλωμένων δομικών επιπέδων και σφηνοειδών αστοχιών.

Στο μεγαλύτερο κομμάτι του τμήματος Β είχαμε εκτεταμένες βραχοπτώσεις, με βραχοτεμάχη ικανού όγκου, μερικά εκ των οποίων διέσχισαν την οδό προς την θάλασσα, τα οποία φιλοξενούνταν στον ικανού πάχους κορηματικό μανδύα στο χείλος ή ανάντη του χείλους του ορύγματος. Σήμερα επαναπαύεται ικανός αριθμός βραχοτεμαχίων ποικίλου μεγέθους στην επιφάνεια του υφιστάμενου πρανούς του ορύγματος.



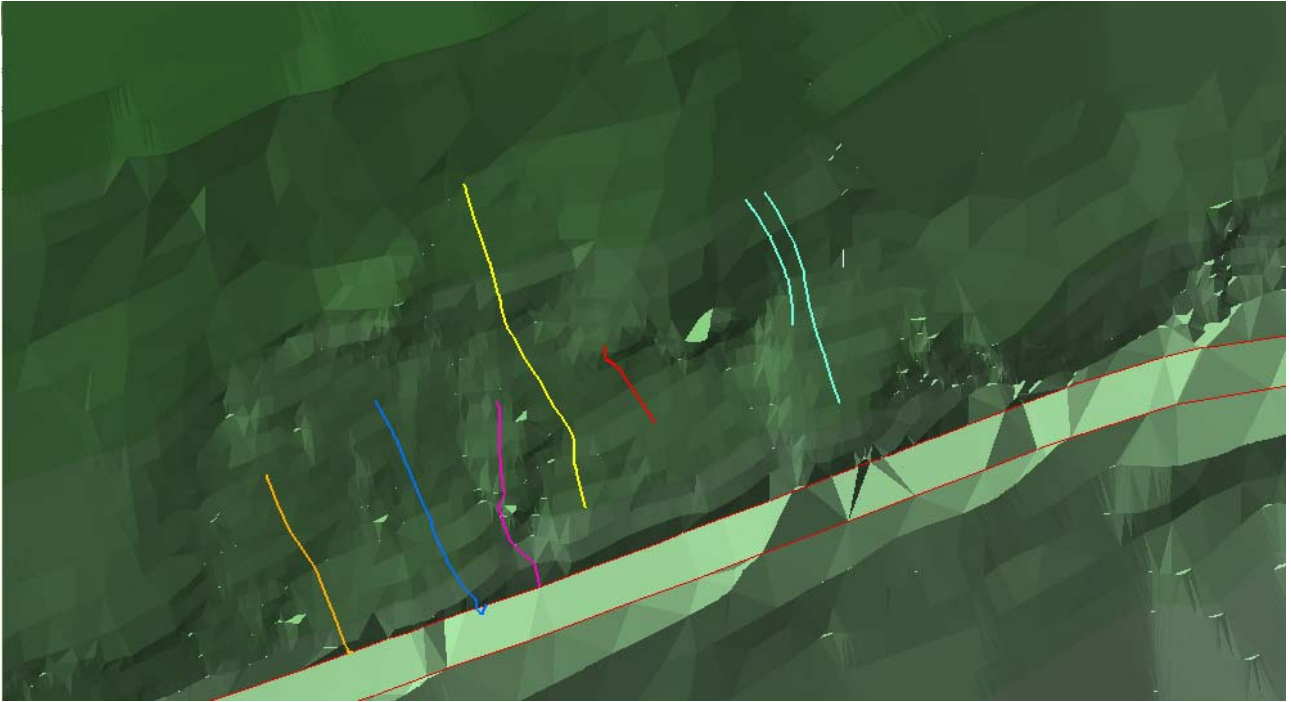
Εικόνα 5.16 : Εκτεταμένες βραχοπτώσεις με βραχοτεμάχη μικρού και ικανού όγκου

5.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Β (Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 1+700)

Εντός της συγκεκριμένης περιοχής χωροθετούνται οι διατομές 50 έως 51 και 70 έως 74 όπου έχουν κριθεί επικίνδυνες σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίσαμε παραπάνω. Μπορεί τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην εφαρμογή να μην οδηγούν στα τόσο δυσμενή αποτελέσματα που κατέληξαν οι προηγούμενες διατομές. Το γεγονός ότι οι καταπτώσεις δεν διασχίζουν την οδό

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ «ROCKFALL ANALYSIS» ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

και σταματούν χωρίς να πλήξουν έκταση κατάντη αυτής, σε καμία περίπτωση όμως δεν αναιρείται ο κίνδυνος που προκύπτει για το τεχνικό έργο αφού οι τροχιές και εδώ δείχνουν να επηρεάζουν τον χώρο κίνησης των οχημάτων επί της ασφάλτου. Ο πραγματικός χρόνος των καταπτώσεων για αυτόν το λόγο είναι σαφώς μικρότερος (έως και 10 με 12 δευτερόλεπτα). Πάντως σε κάθε περίπτωση, ο κίνδυνος, όπως προκύπτει και στην εικόνα που ακολουθεί, είναι φανερός και η χρήση μέτρων για την αντιμετώπισή του απαραίτητος.



Εικόνα 5.17: Καταπτώσεις στο τμήμα Β (Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 1+700). Διατομές 70 έως και 74.



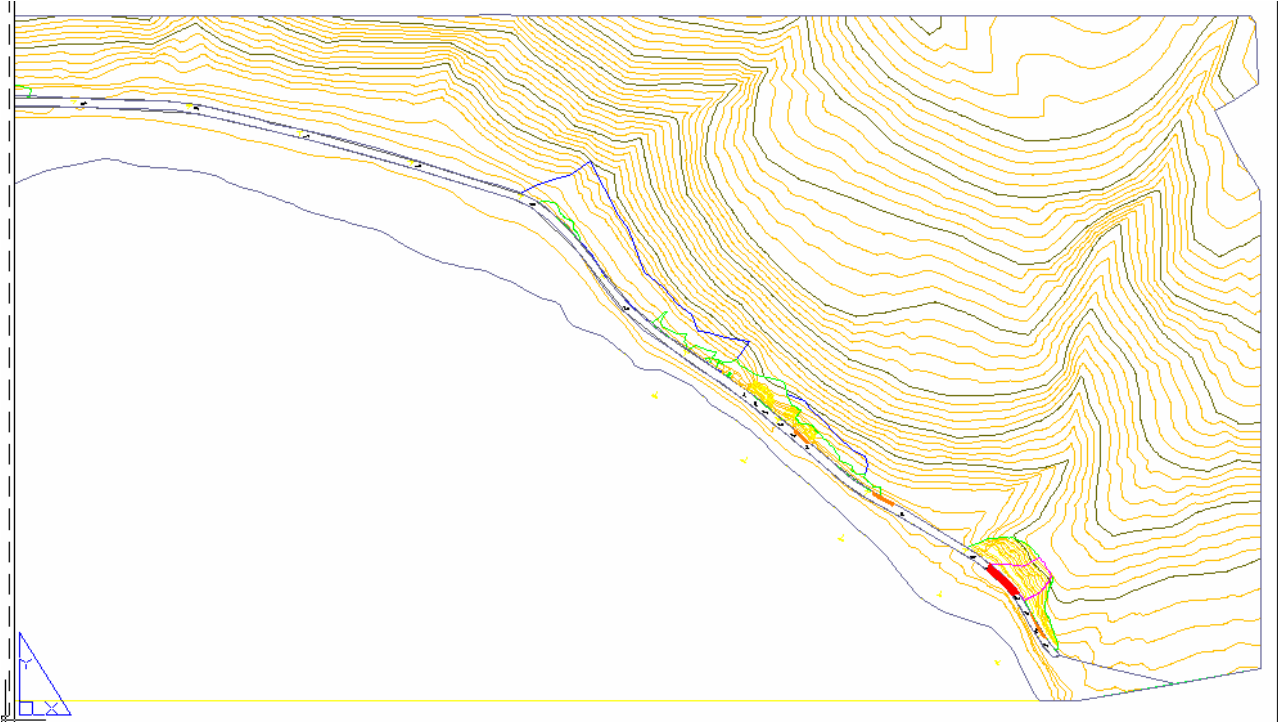
Εικόνα 5.18: Καταπτώσεις στο τμήμα Β (Χ.Θ. 0+800 έως Χ.Θ. 1+700). Διατομές 50 έως και 51.

Οι καταπτώσεις στο τμήμα αυτό δεν επηρεάζουν καθόλου του οδικό άξονα. Η έκταση αυτή είναι χαρακτηριστική λόγω της ομαλής κλίσης που την χαρακτηρίζει. Οι βράχοι σε αυτό το πρηνές κυλούν χωρίς αναπήδηση προς τα κάτω. Οι δε χρόνοι των καταπτώσεων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, μεταξύ δηλαδή 10 και 15 δευτερολέπτων. Η κίνηση που θεωρείται ότι πραγματοποιείται είναι η μεταφορική ολίσθηση, με αποτέλεσμα οι καταπτώσεις να διανύουν ελάχιστη απόσταση επί του πρηνούς και τελικά να ακινητοποιούνται. Όλες η καταπτώσεις που πραγματοποιήθηκαν διένυσαν μια μικρή απόσταση ώσπου τελικά σταμάτησαν χωρίς να ξεφύγουν από το πρηνές.

5.6 ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ Γ (Χ.Θ.1+700 έως Χ.Θ. 4+125)

5.6.1 Γενικά στοιχεία

Το τμήμα Γ, όπως και το υπόλοιπα τμήματα έχει φυσικό ανάγλυφο έντονης κλίσης εγκάρσια προς τον άξονα της οδού. Στο τμήμα Γ εντάσσονται οι διατομές 89 έως 149 όπως φαίνεται και στον τοπογραφικό χάρτη. Το μεγαλύτερο κομμάτι αυτού του τμήματος είναι πολύ καλά φυτοκαλυμμένο.



Εικόνα 5.19: Τμήμα Γ (Χ.Θ. 1+700 έως Χ.Θ. 4+125)

5.6.2 Γεωμορφολογικές- γεωτεχνικές συνθήκες

Το τμήμα Γ δεν δομείται στο σύνολο του από κοινούς σχηματισμούς, αλλά μπορούμε να το χωρίσουμε σε δύο επιμέρους τμήματα. Έτσι στα πρώτα ορύγματα του τμήματος Γ συναντούμε δολομιτικούς ασβεστόλιθους, οι οποίοι συστηματικά εμφανίζονται έντονα κατακερματισμένοι. Η ασβεστολιθική – δολομιτική βραχώμαζα, καλύπτεται από εδαφικά και κορηματικά υλικά τα οποία κρασπεδώνουν την υποκείμενη βραχώμαζα τόσο στους υψηλότερους όσο και στους τοπικά χαμηλότερους ορίζοντες. Οι κορηματικοί σχηματισμοί έχουν κυμαινόμενο πάχος και ομόρροπη γενικά διεπιφάνεια επαφής.

Στο υπόλοιπο κομμάτι του τμήματος Γ συναντούμε κυρίως στον πόδα των ορυγμάτων υγιείς έως κερματισμένους, λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι της "Βίγλας". Η ανθρακική βραχώμαζα τους έχει στρωσιγενή επίπεδα με διάφορες διευθύνσεις προσανατολισμού και μέγιστες κλίσεις των σκελών, οι οποίες προέκυψαν από τις ασκηθείσες εφαπτομενικές παραμορφωτικές θλιπτικές τάσεις.



Εικόνα 5.20 : Στρωματοποιημένος και λεπτοστρωματώδης ασβεστόλιθος της "Βίγλας".

Σε ορισμένα ορύγματα είναι έντονη η παρουσία παλιών ριπιδιακών αποθέσεων, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως υλικά σάρας. Τα υλικά σάρας είναι ασθενώς συγκολλημένα ή ασύνδετα κοκκώδη υλικά με διασταυρούμενες τοπικά στρώσεις και έντονες μεταβολές κατά την εγκάρσια έννοια της κοκκομετρικής τους διαβάθμισης. Αυτά τα υλικά έχουν αποθεθεί στο υπό κλίση υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο ή σε τεκτονικές αναβαθμίδες μικρής ή μεγάλης έκτασης.



Εικόνα 5.21: Υλικά σάρας. Στην ανάντη περιοχή διακρίνεται η ανθρακική βραχώμαζα από την οποία τροφοδοτείται με υλικά κατάπτωσης.

Η εμφάνιση των πυριτικών σχιστόλιθων είναι περιορισμένη και συνιστάται από άμορφα ανθρακικά, τα οποία έχουν ποικίλες δομές, από έντονες, οξειδωμένες ζώνες διάτμησης. Προσομοιάζεται προς μια χαοτική δομή ιδιαίτερα συμπαγής σαφέστατα όμως διαφοροποιημένη από τους λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθους της "Βίγλας".

Γενικότερα σε αρκετά κομμάτια του τμήματος Γ παρατηρούνται πλήθος ρηξιγενών περιοχών ή λείοι καθρέπτες αδιευκρίνιστης μορφής με διάφορες διευθύνσεις προσανατολισμού και βυθίσεις των επιπέδων.

Τέλος, σε όλη την έκταση του τμήματος Γ δεν παρατηρήθηκαν μόνιμες ή περιοδικές πηγαίες τοπικά αποφορτίσεις ή ενιαία στάθμη μόνιμου υπόγειου ορίζοντα στην επιφάνεια του πρανούς. Δεν

αναμένονται πρόσθετα προβλήματα ευστάθειας των πρηνών κατά τους θερινούς και άνοιξιους μήνες, είναι δε πιθανά κατά τους χειμερινούς.

5.6.3 Προβλήματα αστοχίας

Στο τμήμα Γ οι πιο συχνές μορφές αστοχίας που εκδηλώθηκαν ήταν οι επιδερμικές θραύσεις - καταρρεύσεις κυκλικής μορφής, τοπικές δομικές αστοχίες, βραχοπτώσεις και σε ορισμένα τμήματα σφηνοειδής μορφή αστοχία. Οι εκδηλωμένες βραχοπτώσεις ήταν μικρής κλίμακας με εξαίρεση ορισμένα ορύγματα.

Επιδερμικές κυκλικές θραύσεις - καταρρεύσεις εκδηλώθηκαν κυρίως σε κορηματικές αποθέσεις μικρού πάχους, όπου σε μεμονωμένα πρηνή είχαν σαν αποτέλεσμα την τοπική θραύση του χείλους τους. Επίσης αστοχίες αυτής της μορφής παρατηρήθηκαν και στα ορύγματα που δομούνται από κατακερματισμένους ασβεστόλιθους της "Βίγλας". Μετά τις εκδηλωμένες επιδερμικές θραύσεις η παραμένουσα στα πρηνή μορφή βραχόμαζας είναι άναρχη και τα ίχνη των θραύσεων είναι ιδιαίτερα ορατά. Οι θραύσεις υποβοηθήκαν και από τις προδιατεταγμένες λείες και ελαφρά ομόρροπες ρηξιγενείς διεπιφάνειες.

Σε μεμονωμένα ορύγματα εκδηλώθηκαν τοπικές δομικές σφηνοειδείς αστοχίες, ικανού όγκου δομικής μορφής κατάρρευση-θραύση σε προδιατεταγμένες ομόρροπες διεπιφάνειες μεγάλης κλίσης. Η κατάρρευση παρατηρήθηκε σε ορύγματα με ισχυρή κλίση του πρηνούς.



Εικόνα 5.22: Τυπική μορφή εκδηλωμένης σφηνοειδής αστοχίας.

Στο μεγαλύτερο κομμάτι του τμήματος Γ δεν είχαμε εκτεταμένες βραχοπτώσεις, με εξαίρεση ορισμένα ορύγματα. Στα ορύγματα αυτά οι βραχοπτώσεις προήλθαν από τις θέσεις των κορημάτων στα οποία διάσπαρτα φιλοξενούνταν, και από τις υφιστάμενες βαθμίδες. Πρέπει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα έντονες βραχοπτώσεις παρατηρήθηκαν στα τελευταία ορύγματα του τμήματος Γ και προήλθαν από την λατυποποιημένη βραχόμαζα των ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα στη ζώνη διάτμησης. Οι ογκόλιθοι, που περιέχονται στον ανθρακικό αυτό

σχηματισμό είναι ασύνδετοι ή τοπικά συνδεδεμένοι με εδαφικό υλικό και έχουν ικανό συνήθως μέγεθος.

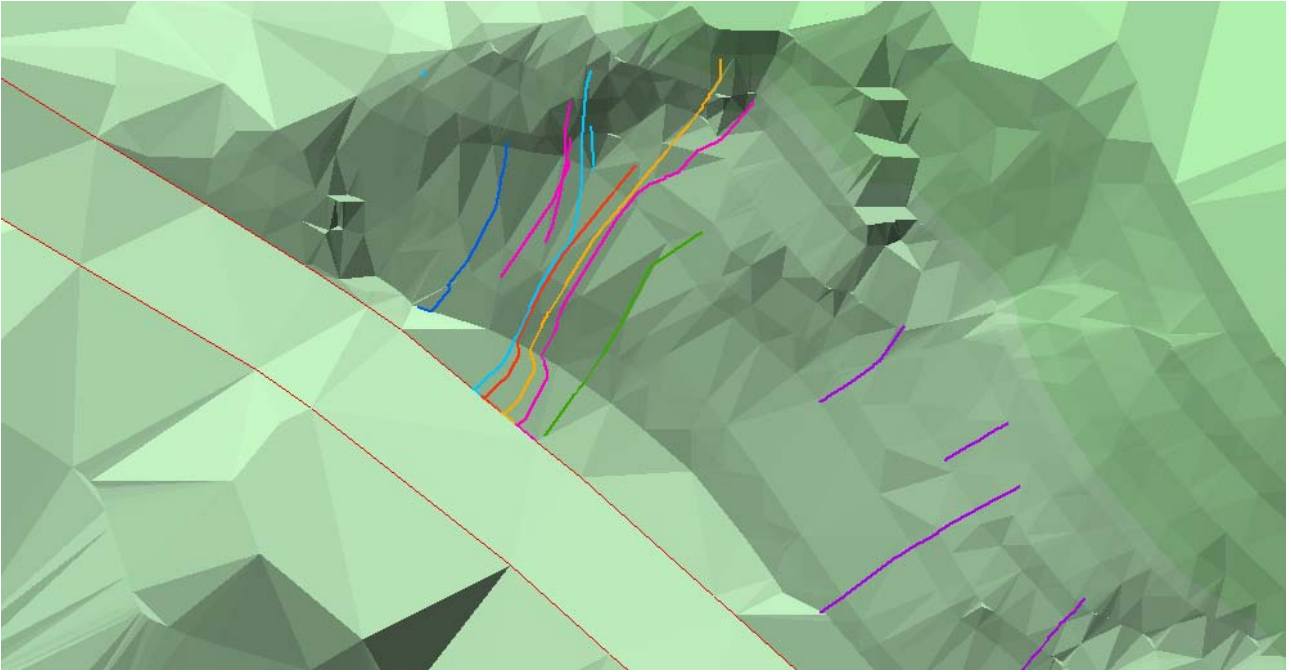


Εικόνα 5.23: Εκτεταμένες πτώσεις βραχοτεμαχίων, ασύνδετων ή τοπικά συνδεδεμένων με εδαφικό υλικό και ικανό συνήθως μέγεθος.

Σε μεμονωμένα ορύγματα παρατηρήθηκαν εντονότατες διαβρώσεις έως και χαραδροδιαβρώσεις, από τα επιφανειακά νερά. Έτσι κρίνεται αναγκαία η διευθέτησης των νερών, για την αποφυγή τόσο νέων ασταθειών όσο και για τη διακοπή της περαιτέρω διάβρωσης και υποσκαφής του πρανούς.

5.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ Γ (Χ.Θ. 1+700 έως Χ.Θ. 4+125)

Εντός της συγκεκριμένης περιοχής χωροθετούνται οι διατομές 144 έως 146 όπου έχουν κριθεί επικίνδυνες σύμφωνα με τα κριτήρια που έχουμε ορίσει. Μπορεί τα αποτελέσματα που προέκυψαν στην εφαρμογή να μην οδηγούν στα τόσο δυσμενή αποτελέσματα που κατέληξε η προηγούμενη διατομή, σε καμία περίπτωση όμως δεν αναιρείται ο κίνδυνος που προκύπτει για το τεχνικό έργο αφού οι τροχιές και εδώ δείχνουν να επηρεάζουν τον χώρο κίνησης των οχημάτων επί της ασφάλτου. Το γεγονός ότι οι καταπτώσεις δεν διασχίζουν όμως κάθετα την οδό αλλά υπό γωνία διανύοντας σε αυτήν μεγαλύτερες αποστάσεις, δίνει τη δυνατότητα για μεγαλύτερο βαθμό απόσβεσης της ενέργειας των καταπτώσεων με αποτέλεσμα αυτές να σταματούν χωρίς να πλήξουν έκταση κατάντη αυτής. Πάντως ο κίνδυνος και εδώ είναι φανερός. Οι χρόνοι των καταπτώσεων κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα, μεταξύ δηλαδή 10 και 15 δευτερολέπτων. Πάντως σε κάθε περίπτωση, ο κίνδυνος, όπως προκύπτει και στην εικόνα που ακολουθεί, είναι φανερός και η χρήση μέτρων για την αντιμετώπισή του απαραίτητος



Εικόνα 5.24: Καταπτώσεις στο τμήμα Α (Χ.Θ. 1+700 έως Χ.Θ. 4+125). Διατομές 144 έως και 146.

Κεφάλαιο 6^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ “ROCKFALL ANALYSIS”

6.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων στις τρεις διαστάσεις καταδεικνύει ικανοποιητική, σε βαθμό εξαρτώμενο από το μοντέλο που θα υιοθετηθεί, την προσομοίωση του φαινομένου των καταπτώσεων, όπως αυτό λαμβάνει χώρα σε πραγματικές συνθήκες. Αυτό οφείλεται στο ότι τα τριδιάστατα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη την τριδιάστατη πληροφορία της τοπογραφίας του γεωγραφικού χώρου, που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη τροχιά που θα διαγράψει ένα βραχοτεμάχιο.

Η ακρίβεια μιας μελέτης επικινδυνότητας έναντι βροχοπτώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των δεδομένων εισόδου. Όσον αφορά στο ανάγλυφο, η ακρίβεια των βροχοπτώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (Ψ.Μ.Ε). Όσο πιο λεπτομερές είναι αυτό, τόσο πιστότερες είναι οι βροχοπτώσεις. Αυτό συνέβη και στην περιοχή μελέτης όπου υπήρξε πύκνωση των ισοϋψών, δηλ. στα σημεία που παρατηρήθηκαν κατολισθήσεις μετά το σεισμό, οι βροχοπτώσεις που προσομοιώθηκαν αποτύπωναν σχεδόν το ίδιο αποτέλεσμα με αυτό που παρατηρήθηκε μετά το σεισμό. Σε ένα φυσικό περιβάλλον όπου οι συχνές κατολισθήσεις και βροχοπτώσεις λόγω βροχοπτώσεων ή σεισμών μεταβάλλουν σε σύντομο σχετικά χρονικό διάστημα το φυσικό ανάγλυφο, οι χάρτες ισοϋψών καμπύλων υστερούν σε ακρίβεια και ενημερότητα. Γι' αυτό το λόγο, είναι επιβεβλημένη η αποτύπωση των περιοχών αυτών συχνότερα και ακριβέστερα.

Βασικό πλεονέκτημα του μοντέλου είναι το ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μικρές περιοχές, όπως ένα τεχνητό πρανές, όσο και σε μεγάλες περιοχές, όπως μια επαρχία ή μια λεκάνη απορροής, που εκτείνονται από δεκάδες έως και εκατοντάδες τετραγωνικά μέτρα. Το μέγεθος της περιοχής καθορίζεται από το Ψ.Μ.Ε. της περιοχής και η ακρίβεια της πληροφορίας που αυτό περιέχει, εξαρτάται από το TIN που το αντιπροσωπεύει.

Ένα σεισμικό φαινόμενο μπορεί να αποτελέσει την αιτία έναρξης βροχοπτώσεων. Στην περίπτωση αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν πραγματικά δεδομένα μέγιστης εδαφικής ταχύτητας που παράγονται από την επεξεργασία των καταγραφών των επιταχυνσιογράφων της

περιοχής. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μελετηθεί το φαινόμενο των βραχοπτώσεων όταν αυτό έχει προκληθεί από ένα συγκεκριμένο σεισμό (μεθοδολογία ανάστροφης ανάλυσης), ή ακόμα να παραχθούν σενάρια αρχικών συνθηκών με βάση τους σεισμούς που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς στην περιοχή και έτσι να παραχθούν χάρτες επικινδυνότητας.

Συνεπώς, η χρήση αξιόπιστων δεδομένων, που να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο την πραγματικότητα θεωρείται απαραίτητη, είτε αυτά αφορούν το ανάγλυφο της περιοχής, είτε την γεωλογία, είτε τους σεισμούς. Στην επίτευξη του στόχου αυτού μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά οι επιτόπου έρευνες και δοκιμές.

6.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Όπως έχει αναφερθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια, η εφαρμογή “ROCKFALL ANALYSIS” βρίσκεται στα στάδια της κατασκευής της, είναι φυσιολογικό συνεπώς να παρουσιάζει ορισμένες ατέλειες, κυρίως όσο αφορά πρακτικά ζητήματα. Συγκεκριμένα, κατά την εφαρμογή του ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει μόνο μια εφαρμογή κάθε φορά με συγκεκριμένες αρχικές τιμές, χωρίς να υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης συνεχών καταπτώσεων με μεταβολή των αρχικών παραμέτρων. Παράλληλα, σε πολλές καταπτώσεις όπου το ανάγλυφο παρουσιάζει μεγάλη πληροφορία, ο χρόνος εκτέλεσης της κατάπτωσης μπορεί να είναι μεγάλος, αυτό βέβαια έχει βελτιωθεί κατά την τελευταία έκδοση «Rockfall Analysis v.5_6_1».

Το γεγονός ότι ο κώδικας αδυνατεί να συμπεριλάβει κατά την επεξεργασία την δυνατότητα ή όχι της κύλισης και της θραύσης του βραχοτεμαχίου, δεν επιτρέπει την ακόμα καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής τροχιάς της κατάπτωσης. Συνήθως, στη περίπτωση όπου υπάρχει κύλιση και όχι ολίσθηση οι καταπτώσεις δεν παρουσιάζονται όσο πραγματικά επικίνδυνες είναι. Αυτό συμβαίνει διότι η κύλιση σε σχέση με την ολίσθηση επιβαρύνει περισσότερο τις καταπτώσεις και αυτές συνεχίζουν για μεγαλύτερο διάστημα.

Ακόμα, ο χρήστης θα πρέπει να έχει υπόψη ότι εφόσον το μοντέλο υλοποιείται σε περιβάλλον ArcGIS, συνοδεύεται με τα ίδια επίσης χαρακτηριστικά (πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα) του συγκεκριμένου λογισμικού πακέτου. Η απαίτηση σε δεδομένα είναι σαφώς μεγαλύτερη, δεν αρκεί η πληροφορία μιας διατομής για να επιτευχθούν αποτελέσματα, ενώ η καλή γνώση και χρήση του ArcGIS κρίνεται απαραίτητη. Σε κάθε περίπτωση όμως η όλη εφαρμογή αποτελεί μια εντυπωσιακή καινοτομία. Οι πληροφορίες, παράδειγμα, οι οποίες περιέχονται στον Πίνακα Περιγραφικών Χαρακτηριστικών του shapefile “Trajectory_Points” εκφράζουν ποσοτικοποιημένα την κατάπτωση. Ο μελετητής γνωρίζει σε κάθε χρονική στιγμή τη ταχύτητα που έχει το βραχοτεμάχιο, το ύψος αυτού από το έδαφος κλπ. Έτσι, διευκολύνεται ακόμη περισσότερο στη διαδικασία σχεδιασμού των απαιτούμενων μέτρων προστασίας. Για παράδειγμα, η εύρεση της

μέγιστης αναπήδησης του βραχοτεμαχίου και της θέσης στην οποία αυτή συμβαίνει, βοηθά στη καλύτερη χωροθέτηση ενός φράχτη.

Το περιβάλλον της εφαρμογής είναι εξαιρετικά δημοφιλές και οικείο σε πολλούς χρήστες - γνώστες του αντικειμένου. Το γεγονός ότι οι καταπτώσεις πραγματοποιούνται σε πραγματικό χώρο τριών διαστάσεων, χωρίς περιορισμούς ελευθερίας κίνησης πάνω σε κάποια διεύθυνση φορέα φαινόμενης κλίσης από μόνο του θα πρέπει να θεωρείται αρκετό ώστε να προσελκύσει το ενδιαφέρον μελλοντικών χρηστών και να το καταστήσει ανταγωνιστικό. Η εξαιρετική οπτική θεώρηση του αποτελέσματος, που προσφέρεται από οποιαδήποτε οπτική γωνία επιθυμεί ο χρήστης, μέσω του ArcScene, δίνει την δυνατότητα για καλύτερη αξιολόγηση του μεγέθους του προβλήματος και των ιδιοτήτων της προβληματικής περιοχής. Παράλληλα, με κατάλληλες προσθήκες που αναλύονται παρακάτω, το πρόγραμμα θα είναι σε θέση όχι μόνο να βοηθήσει το μελετητή να βρει λύσεις, αλλά και να τις αξιολογήσει, εντάσσοντας και αυτές στην ανάλυση.

6.3 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Είναι γεγονός ότι υπάρχουν περιθώρια βελτίωσης της εφαρμογής. Απαιτείται η ενσωμάτωση μιας πιο εκτενούς στοχαστικής ανάλυσης του φαινομένου καθώς θεωρείται ως ένας αποτελεσματικός τρόπος αντιμετώπισης της αβεβαιότητας η οποία χαρακτηρίζει τις σχετικές με το φαινόμενο παραμέτρους. Επιπροσθέτως, πρέπει να διερευνηθούν σε βάθος οι διαδικασίες της αναπήδησης, κρούσης και θραύσης του βραχοτεμαχίου κατά την βραχόπτωση του ούτως ώστε το προτεινόμενο μοντέλο να αποδίδει πιο πιστά και ρεαλιστικά το φαινόμενο των βραχοπτώσεων.

Είναι σημαντικό, στην εφαρμογή να λαμβάνονται υπόψιν οι επιδράσεις του μεγέθους, του σχήματος και της ροπής αδρανείας του βραχοτεμαχίου πάνω στη τροχιά που θα ακολουθήσει κατά την κατάπτωση. Έτσι, η ταχύτητα του βραχοτεμαχίου δεν θα είναι μονάχα μεταφορική αλλά ταυτόχρονα μεταφορική και περιστροφική.

Ακόμα, η σύγκριση της πραγματικής τροχιάς της κατάπτωσης με την τροχιά που παράγεται από την εφαρμογή θα εξήγαγε ενδιαφέροντα και χρήσιμα συμπεράσματα στην περαιτέρω εξέλιξη του προγράμματος. Αυτό θα μπορούσε να γίνει δημιουργώντας βραχοπτώσεις σε ελεγχόμενο περιβάλλον, κάνοντας μετρήσεις με γεωδαιτικές μεθόδους της θέσης και της κίνησης του βραχοτεμαχίου και συγκρίνοντας αυτές τις μετρήσεις με τις τροχιές από τις δοκιμές που θα προσομοιωθούν από την εφαρμογή.

Τέλος, αναφέρουμε ότι, η εφαρμογή «Rockfall Analysis» έχοντας όλες τις δυνατότητες οι οποίες αναφέρθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο χωρικής ανάλυσης και σχεδιασμού, στο στάδιο λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού για σκοπούς χωροθέτησης, ελέγχου και προστασίας, ιδιαίτερα στις ορεινές περιοχές ή περιοχές με έντονο ανάγλυφο, όπως η περιοχή μελέτης.

Βιβλιογραφία

Α. Ελληνική Βιβλιογραφία

ΙΤΣΑΚ (2004), «Ο σεισμός της Λευκάδας ($M=6.2$), 14 Αυγούστου 2003 - Ισχυρή εδαφική δόνηση - Συνέπειες του σεισμού στο δομημένο και φυσικό περιβάλλον», *ΤΕΕ*, σελ 78.

Καλογεράς Ι., (2006), «Μελέτη του Φαινομένου της Πτώσης Βραχοτεμαχίων Λόγω Σεισμού. Η Περίπτωση Του Σεισμού της Λευκάδας (14/8/2003, $M=6.2$)», Εργασία στα πλαίσια του μαθήματος «Θεωρία παραμορφώσεων στις κλίμακες φλοιού και τεχνικών έργων», Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα «Γεωπληροφορική», ΣΑΤΜ,ΕΜΠ,

Κουτσόπουλος, Κ., (2002), «Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Ανάλυση Χώρου», Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Νάσκος Ν.,(2004), «Αποκατάσταση του Οδικού Δικτύου και Μέτρα Προστασίας και Αντιστήριξης Πρανών στις Περιοχές Αγ. Νικήτας – Πευκούλια – Τσουκαλάδες της Νήσου Λευκάδας μετά τις Κατολισθήσεις από το Σεισμό της 14-08-2003», Οριστική Γεωτεχνική Μελέτη, ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε.

Σακελλαρίου Μ., (2003), «Σημειώσεις Εδαφομηχανικής – Θεμελιώσεων», Αθήνα

Σακελλαρίου Μ., (2005), «Γεωτεχνική Μηχανική», Αθήνα

Σακελλαρίου Μ., Κοζάνης Σ., & Γουλάκος Σ., (1995), «Το πρόβλημα των καταπτώσεων βραχοτεμαχίων και η αντιμετώπισή τους σε συγκοινωνιακά έργα», Πρακτικά 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Οδοποιίας, Λάρισα, 263–272.

Χαραλάμπους Στέφανος, (2003), «Ανάπτυξη μεθοδολογίας για την εκτίμηση ευστάθειας φυσικών και τεχνητών πρανών έναντι στατικών και σεισμικών φορτίων σε περιβάλλον GIS», Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χαραλάμπους Στέφανος, (2006), «Προγραμματισμός ελέγχου αστοχίας έναντι σφήνας και κατάπτωσης βραχοτεμαχίου σε περιβάλλον ΓΣΠ», Μεταπτυχιακή Εργασία, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Χαραλάμπους Σ., Καλογεράς Ι., Στρατάκος Ι., Σακελλαρίου Μ., (2008), «Μεθοδολογία τριδιάστατης ανάλυσης βροχοπτώσεων λόγω σεισμού. Εφαρμογή στον σεισμό της Λευκάδας 14/08/2003, $M=6.2$ », 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας.

B. Διεθνής Βιβλιογραφία

Agliardi F., and Crosta, G. B. (2003), «*High resolution three-dimensional numerical modelling of rock falls*», Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Science, 40(4), 455-471.

Azzoni A., & De Freitas M. H., (1995) «*Experimentally gained parameters, decisive for rockfall analysis*», Rock Mechanics and Rock Engineering, 28 (2), 111–124.

Azzoni A., La Barbera G., & Zaninetti, A., (1995) «*Analysis and prediction of rock falls using a mathematical model*», Int J Rock Mech Min Sci, Geomech Abstr, 32(7), 709–24.

Bozzolo D., Pamini R., & Hutter K., (1988) «*Rockfall analysis—a mathematical model and its test with field data*», Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, vol. 1, 555–563.

Charalambous S., and Sakellariou M. (2007), «*GIS-Based Rockfall Hazard Assessment in Support of Decision Making*», 11th ISRM Congress, Special Session on Rockfalls, Lisbon, Portugal.

Crosta G. B. & Agliardi F., (2004) «*Parametric evaluation of 3D dispersion of rockfall trajectories*», Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol 4, 583–598.

Erismann T. H., and Abele G. (2001), «*Dynamics of Rockslides and Rockfalls*», Springer,Verlag, Berlin.

Hoek E., (1987), «*RockFall - A Program for the Analysis of Rockfalls from Slopes*», Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.