

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΥΜΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΑ Κ. ΗΛΙΑ Πτυχιούχος Γεωλόγος Πανεπιστημίου Πατρών Μ.Sc. Γεωλόγος Πανεπιστημίου Αθηνών

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΜΑΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΕΥΡΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΚΥΜΗΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΟΥΣ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΙΩΑΝΝΑ Κ. ΗΛΙΑ

Πτυχιούχος Γεωλόγος Πανεπιστημίου Πατρών M.Sc. Γεωλόγος Πανεπιστημίου Αθηνών

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

1. Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων).

2. Γ. ΚΟΥΚΗΣ, Ομ. Καθηγητής Παν/μίου Πατρών.

3. Δ. ΡΟΖΟΣ, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

- Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π. (Επιβλέπων).
- Γ. ΚΟΥΚΗΣ, Ομ. Καθηγητής Παν/μίου Πατρών.
- Δ. ΡΟΖΟΣ, Αναπλ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- 4. Θ. ΠΕΡΡΑΚΗ, Ομ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
- 5. Δ. ΚΑΛΙΑΜΠΑΚΟΣ, Καθηγητής Ε.Μ.Π.
- Ν. ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Αναπλ. Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών.
- Θ. ΡΟΝΤΟΓΙΑΝΝΗ, Αναπλ. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2013

(Υπογραφή)

ΙΩΑΝΝΑ Κ. ΗΛΙΑ Διδάκτωρ Ε.Μ.Π. © 2012 – All rights reserved

.....

Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από την Ανώτατη Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Ε. Μ. Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνωμών του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202)

ΠΡΟΛΟΓΟΣ - ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο: «Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των μαργών στην ευρεία περιοχή Κύμης και η επίδρασή τους στις κατασκευές τεχνικών έργων. Προβλήματα και αντιμετώπισή τους.», εκπονήθηκε στον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Στη διατριβή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των τεχνικογεωλογικών ερευνών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή της Κύμης, Εύβοιας. Αντικείμενο των ερευνητικών εργασιών αποτέλεσε η διερεύνηση της λιθολογικής διάρθρωσης και των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που επικρατούν στους μαργαϊκούς σχηματισμούς που δομούν την περιοχή έρευνας, σε σχέση με τα υφιστάμενα τεχνικά έργα. Στόχος της διατριβής ήταν η προσπάθεια συνεκτίμησης της ιδιάζουσας τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των μαργών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων», της γεωτεκτονικής εξέλιζης, των μορφολογικών συνθηκών και των ανθρωπογενών παρεμβάσεων, σε σχέση με τις κατολισθαίνουσες περιοχές που καταγράφονται στην περιοχή έρευνας. Με υπαίθριες και εργαστηριακές έρευνες και τις αξιολογήσεις τους, καθορίζονται τα αίτια και ο μηχανισμός εκδήλωσης των αστοχιών, μοντελοποιούνται σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) οι μορφολογικές, τεχνικογεωλογικές, υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής έρευνας και με την εφαρμογή στατιστικών μεθόδων (Weight of Evidence), εκτιμάται η επιδεκτικότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα. Προσδιορίζοντας, τέλος, τον βαθμό διακινδύνευσης, προτείνονται μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης των επισφαλών περιοχών.

Η επιλογή του θέματος έγινε από τον Ομότιμο Καθηγητή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και Επιβλέποντα αυτής της διδακτορικής διατριβής κ. Ιωάννη Κουμαντάκη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά για την ευκαιρία που μου έδωσε να εντρυφήσω στο συγκεκριμένο επιστημονικό αντικείμενο. Η ευρεία γνώση του σε σχετικά θέματα και ο λογικός τρόπος σκέψης του, αποτέλεσαν οδηγό στην αποπεράτωση ενός τόσο μεγάλου εγχειρήματος, όπως είναι η εκπόνηση μιας διδακτορικής διατριβής. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα γιατί είναι ο άνθρωπος που με δίδαζε να λειτουργώ με επιστημονική σκέψη αλλά και για την εμπιστοσύνη που έδειζε στο πρόσωπό μου, μέσω της συμμετοχής μου σε Ερευνητικά Προγράμματα του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας στην περιοχή έρευνας, στη διάρκεια εκπόνησης των οποίων δόθηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης πολλών εργασιών υπαίθρου. Η συμπυκνωμένη προσφορά του θα χαρακτηρίζει τη μετέπειτα πορεία μου.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον Ομότιμο Καθηγητή του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής κ. Γεώργιο Κούκη, γιατί είναι ο άνθρωπος που με εισήγαγε στον εξαιρετικά ενδιαφέροντα κόσμο της Τεχνικής Γεωλογίας. Τον ευχαριστώ ιδιαίτερα γιατί, μέσα από τα μαθήματα Τεχνικής Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών, στο οποίο φοίτησα ως Γεωλόγος, είχα την τύχη να συνεργαστώ μαζί του και υπήρξε ο πρώτος μου δάσκαλος και η ουσιαστική αφορμή της ενασχόλησής μου με το συγκεκριμένο επιστημονικό αντικείμενο. Σε ότι αφορά το επιστημονικό κομμάτι, οι εποικοδομητικές συζητήσεις βοήθησαν να αποκρυσταλλωθεί και να τονιστεί η κεντρική ιδέα και επιδίωξη της διατριβής. Τέλος, τον ευχαριστώ για τις πολύ εύστοχες παρατηρήσεις που συνέβαλαν στη διαμόρφωση της διδακτορικής διατριβής με στοιχεία που προσέδιδαν μια λογική και ζεκάθαρη δομή.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στον Αναπλ. Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής κ. Δημήτριο Ρόζο, τόσο για την επιστημονική καθοδήγηση και την αμέριστη υποστήριζη που μου παρείχε, όσο και για την απόκτηση ουσιαστικών γνώσεων στο πεδίο της Τεχνικής Γεωλογίας και ιδιαίτερα στο αντικείμενο των Τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων. Η συμβολή του ως Επιστημονικού Υπευθύνου στο Πρόγραμμα Ενίσχυσης Βασικής Έρευνας «ΛΕΥΚΙΠΠΟΣ», υπήρξε καθοριστική στην κατανόηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων. Επίσης, τον ευχαριστώ ιδιαίτερα που σεβάστηκε την παράλληλη ενασχόλησή μου, τα τελευταία χρόνια εκπόνησης της διατριβής μου, με το επάγγελμα του Γεωλόγου, γεγονός που μου επέτρεψε να εξελιχθώ και επαγγελματικά.

Θερμά ευχαριστώ τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Την Ομ. Καθηγήτρια της Σχολής Μηχ. Μεταλ. Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., κ. Θεοδώρα Περράκη, για την πολύτιμη επιστημονική βοήθεια που μου παρείχε τόσο στο θεωρητικό, όσο και στο πειραματικό μέρος αυτής της εργασίας, για τις χρήσιμες υποδείζεις της, κυρίως όμως για την ηθική υποστήριζη που μου παρείχε και το αμέριστο ενδιαφέρον που έδειζε όλα τα χρόνια της συνεργασίας μας.

Τον Καθηγητή της Σχολής Μηχ. Μεταλ. Μεταλλουργών του Ε.Μ.Π., κ. Δημήτριο Καλιαμπάκο, για την τιμή που μου έκανε να συμμετάσχει στην κρίση της διδακτορικής μου διατριβής.

Τον Αν. Καθηγητή της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Πατρών, κ. Νικόλαο Σαμπατακάκη, για τη συμμετοχή του στην επταμελή εξεταστική επιτροπή αλλά και για την ουσιαστική και κριτική θεώρηση της διατριβής, τις οδηγίες και συμβουλές του. Τα επιστημονικά του κείμενα αποτέλεσαν πολύτιμο οδηγό για τη συγγραφή και ολοκλήρωση της διδακτορικής μου διατριβής.

Την Αν. Καθηγήτρια κ. Θεοδώρα Ροντογιάννη που με προθυμία δέχθηκε να είναι μέλος της εζεταστικής επιτροπής και που συνέβαλε, με τις ουσιαστικές της παρατηρήσεις, στην τελική διαμόρφωση του κειμένου της διατριβής.

Επίσης, ιδιαίτερη μνεία και ολόθερμες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω:

Στον Ειδικό Λογαριασμό Έρευνας (ΕΛΕ) του Ε.Μ.Π., για την οικονομική στήριζη που μου παρείχε τα 4 πρώτα χρόνια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής. Ευχαριστώ το Ίδρυμα και όλους όσους συμμετείχαν στις σχετικές διαδικασίες εγκρίσεων.

Στη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας και σε όλους τους υπάλληλους που με προθυμία με βοήθησαν, παρέχοντάς μου πρωτογενές αρχειακό υλικό επιστημονικών μελετών και εκθέσεων αλλά και για τη διάθεση του απαιτούμενου εργαστηριακού εζοπλισμού υπό την εποπτεία του κ. Χρήστο Καλαμπάκα, οι συμβουλές και επισημάνσεις του οποίου συνέβαλαν καθοριστικά στην κατανόηση των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των εξεταζόμενων ιζημάτων.

Σε όλα τα μέλη της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, τους εκάστοτε Διευθυντές, τα μέλη ΔΕΠ, ΕΤΕΠ και ΙΔΑΧ, καθώς επίσης και όλους όσους πέρασαν από τον Τομέα Γεωλογικών Επιστημών ως υποψήφιοι διδάκτορες και επιστημονικοί συνεργάτες, οι σχέσεις συνεργασίας με τους οποίους, υπήρζαν καθοριστικές στην προώθηση και ολοκλήρωση της διατριβής μου. Θερμά ευχαριστώ τους ΙΔΑΧ και μέλη του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας κκ. Κώστα Μαρκαντώνη, Ελένη Γρηγοράκου, Ελένη Βασιλείου και Βαγγέλη Ρόκκο, για την επιστημονική και ηθική υποστήριζη που μου παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια.

Στον Δρ. Μηχανικό Μεταλλείων Μεταλλουργό και Τομεάρχη του ΤΥΜ/ΔΜΑΟΡ της ΔΕΗ, κ. Δημήτρη Δημητρακόπουλο, για τις πολύ εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές του, αλλά και για τις διευκολύνσεις που μου παρείχε κατά το χρονικό διάστημα που εργάστηκα στον Τομέα του.

Στον φίλο και συνάδελφο Δρ. Υδρογεωλόγο του ΕΚΠΑ, κ. Ιωάννη Ματιάτο, για την στήριζη που μου παρείχε τόσο σε επιστημονικό, όσο και σε προσωπικό επίπεδο, σε όλα τα στάδια εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής.

Σε όλους τους κατοίκους των οικισμών της Κύμης που επισκέφθηκα, οι οποίοι προσφέρθηκαν να με βοηθήσουν στην κατανόηση του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, οι μαρτυρίες των οποίων συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση της διατριβής.

Το μεγαλύτερο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένειά μου, για την συμπαράσταση, την υπομονή και την ψυχολογική στήριζη που μου παρείχαν. Την αδερφή μου Δώρα Ηλία και τον Αντώνη Παστήρα τους ευχαριστώ θερμά εκτός των άλλων και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν στις, πολλές φορές δύσκολες και επίπονες, εργασίες υπαίθρου. Την αδερφή μου Σταυρούλα Ηλία για τις συμβουλές της στην φιλολογική επιμέλεια του κειμένου. Ιδιαίτερη αναφορά θα ήθελα να κάνω στους γονείς μου στους οποίους αφιερώνω αυτή τη διατριβή, γιατί είναι οι άνθρωποι που με την αγάπη τους και τη διακριτικότητά τους με παρότρυναν να συνεχίσω να αγωνίζομαι ακόμα και όταν οι δυσκολίες και τα εμπόδια έμοιαζαν να οδηγούν σε αδιέζοδο. Την μητέρα μου την ευχαριστώ ιδιαίτερα γιατί, με την παρουσία της, τον λόγο και την φροντίδα της, με έκανε να ζεχνάω τις όποιες δυσκολίες, δίνοντάς μου κουράγιο να συνεχίζω να προσπαθώ χωρίς άγχος. Τον πατέρα μου τον ευχαριστώ για όλα τα παραπάνω, αλλά και για την υπομονή που επέδειζε όλα τα χρόνια των προπτυχιακών και μεταπτυχιακών μου σπουδών, με διακριτική υποστήριζη σε κάθε μου επιλογή. Είναι ο άνθρωπος που με έμαθε να θέτω σωστά ερωτήματα και να σκέφτομαι λογικά.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συζυγό μου Πάρη Τσαγγαράτο, για την αδιάλειπτη συμπαράστασή του και για την υπομονή και κατανόηση που έδειζε σε κάθε εμπόδιο που μου παρουσιαζόταν, βοηθώντας με να τα ζεπεράσω, ιδιαίτερα την περίοδο που η προσπάθειά μου βρισκόταν σε μια κρίσιμη καμπή. Τον ευχαριστώ, όχι μόνο για τις αναρίθμητες συζητήσεις μας και τις μοναδικές γνώσεις που μου μετέδωσε αναφορικά στα αντικείμενα των Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, αλλά και γιατί με βοήθησε να μην εγκαταλείψω αυτό που με μεράκι ζεκίνησα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ПЕРІЛНҰН	1
ABSTRACT	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ	8
1.1 Εισαγωγικά στοιχεία	
1.2 Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής	9
1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση	10
1.4 Επιστημονική πρωτοτυπία της διατριβής	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΙ ΒΡΑΧΟΙ ΚΑΙ Η ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥΣ	21
2.1 Εισαγωγικά στοιχεία	
2.2 Συστήματα ταξινόμησης σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων	
2.3 Οι μαργαϊκοι σχηματισμοί και η συμπεριφορά τους στα τεχνικά έργα	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ	IKA 34
3.1 Φυσικές καταστροφές	34
3.1.1 Οι πρακτικές διαχείρισης των φυσικών καταστροφών3.2 Γενικά στοιχεία για τα κατολισθητικά φαινόμενα	37 38
3.3 Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο	43
3.4 Τεχνικές και μέθοδοι εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και του κατολισθητικού κινδύνου	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	53
4.1 Γεωγραφικά στοιχεία	53
4.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά - χωρική ανάλυση σε περιβάλλον GIS	55
4.3 Κλιματολογικά στοιχεία	

4.3.1 Γενικά	76
4.3.2 Θερμοκρασία του αέρα	76
4.3.3 Σχετική υγρασία - Άνεμος	78
4.3.4 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	79
4.4 Χρήσεις γης	84
4.5 Λιγνιτική δραστηριότητα	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ	
ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	93
5. 1 Γεωλογικά στοιχεία	93
5.1.1 Γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη της Εύβοιας	93
5.1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης	98
5.2 Τεκτονική εξέλιξη νεογενούς λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου	102
5.3 Σεισμικά στοιχεία	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ – ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	KAI
ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ	115
6.1 Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση – Γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολο	γικών
ενοτήτων	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ	131
7.1 Δειγματοληψία	131
7.2 Ορυκτολογική ανάλυση	136
7.2.1 Εξέταση με πολωτικό μικροσκόπιο	136
7.2.2 Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ	136
7.2.3 Θερμική Ανάλυση (TG/DTG/DTA)	137
7.2.4 Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης	137
7.3 Εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού φυσικών και μηχανικών παραμέτρων	161
7.3.1 Δοκιμή ανθεκτικότητας στη διάβρωση	161
7.3.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση	163
7 3 3 Προσδιορισμός ορίων συνεκτικότητας	
	167
7.3.4 Περιεχόμενη υγρασία	167 169

7.3.6 Δοκιμή άμεσης διάτμησης	. 172
7.3.7 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης	. 174
7.3.8 Δοκιμή σε ανεμπόδιστη θλίψη	. 175
7.3.9 Δοκιμή σημειακής φόρτισης	. 178
7.3.10 Δοκιμή φόρτισης κατά Γενέτειρα Brazilian Test	. 179
7.4 Αξιολόγηση – συσχέτιση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων	. 180
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	. 193
8.1 Ιστορική αναδρομή στα προβλήματα επί των τεχνικών έργων της Κύμης από την	
εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων	. 193
8.2 Πρόσφατα κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης	. 197
8.2.1 Τύποι των κατολισθητικών φαινομένων	. 198
8.2.2 Καταγραφή κατολισθητικών φαινόμενων στην περιοχή Κύμης	. 200
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ	
ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ <i>WEIGHT OF EVIDENCE</i>	. 231
9.1 Η μέθοδος Weight of Evidence, WofE στις έρευνες κατολισθητικών φαινομένων	. 231
9.1.1 Η Μαθηματική έκφραση του μοντέλου Weight of Evidence (WofE)	. 233
9.1.2 Εκτίμηση της ανεξαρτησίας των προγνωστικών μεταβλητών	. 236
9.1.3 Ο δείκτης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας	. 238
9.2 Επιλογή των προγνωστικών μεταβλητών και η διαμόρφωση των κλάσεων κάθε	
μεταβλητής	. 240
9.3 Χωρική Στατιστική Ανάλυση	. 253
9.4 Εφαρμογή του μοντέλου <i>Weight of Evidence</i> στην περιοχή Κύμης	. 256
9.4.1 Διαμόρφωση συνόλων εκπαίδευσης και ελέγχου	. 256
9.4.2 Έλεγχος της υπό όρους ανεξαρτησίας	. 260
9.4.3 Έλεγχος της απόδοσης του μοντέλου πρόβλεψης	. 261
9.4.4 Διαμόρφωση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης	. 262
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΘΜΟΥ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ – ΜΕΤΡΑ	
ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	. 267
10.1 Η έννοια του βαθμού διακινδύνευσης στα κατολισθητικά φαινόμενα	. 267
10.2 Εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης στην περιοχή έρευνας	. 270

10.2.1 Κοινότητες	271
10.2.2 Οδικό δίκτυο	274
10.2.3 Χρήσεις Γης	275
10.3 Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	291
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	301

Σχήματα

Σχήμα 3-1: Καταγραφή θυμάτων και καταστροφών από το 1990 έως το 2011 (ΕΜ-Ι	DAT,
2012)	
Σχήμα 3-2: Κατηγορίες καταστροφών από το 1990 έως το 2011 (ΕΜ-DAT, 2012)	
Σχήμα 3-3: Χάρτης Συχνότητας Εμφάνισης Κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο σε	
ορθογώνιο πλέγμα 10 x 10 km με υπέρθεση των καταγεγραμμένων θέσεων των	
κατολισθήσεων (n=1.238) (Βασιλειάδης, 2010)	
Σχήμα 3-4: Ταζινόμηση μεθόδων και τεχνικών εκτίμησης κατολισθητικής επιδεκτικ	ότητας
(Τσαγγαράτος, 2012)	
Σχήμα 4-1: Διακύμανση ετήσιας θερμοκρασίας στον σταθμό Κύμης, για την περίοδο	1956 –
1989.	
Σχήμα 4-2: Ιστόγραμμα διακύμανσης μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας στο στα	θμό της
Ε.Μ.Υ. στην Κύμη, για την περίοδο 1956 – 1989	
Σχήμα 4-3: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης στο σταθμό της ΕΜΥ	στην
Κύμη, για την περίοδο 1961 – 1990	
Σχήμα 4-4: Διάγραμμα διακύμανσης μέσων μηνιαίων τιμών βροχής, θερμοκρασίας	και
σχετικής υγρασίας στο σταθμό Κύμης	
Σχήμα 7-1: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ1"	139
Σχήμα 7-2: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ1":	139
Σχήμα 7-4: Διάγραμμα DTA του δείγματος "ΔΙ"	140
Σχήμα 7-5: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ1", μετά την απομάκρυνση των ανθρο	ακικών
με HCl	141
Σχήμα 7-6:Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ3"	142
Σχήμα 7-7: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ3":	142
Σχήμα 7-8: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ3", μετά την απομάκρυνση των ανθρο	ακικών
με HCl	143
Σχήμα 7-9: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ4"	144
Σχήμα 7-10: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ4":	144
Σχήμα 7-11: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ4"	145
Σχήμα 7-12: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ4", μετά την απομάκρυνση των ανθρ	οακικών
με ΗCl	145
Σχήμα 7-13: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ7"	146

Σχήμα 7-14: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ7":	. 146
Σχήμα 7-15: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ7"	. 147
Σχήμα 7-16: Διάγραμμα DTA του δείγματος "Δ7", μετά την απομάκρυνση των ανθρακικ	κών
με ΗCl	. 147
Σχήμα 7-17: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος ''Δ2''	. 148
Σχήμα 7-18: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ5"	. 149
Σχήμα 7-19: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος ''Δ6''	. 150
Σχήμα 7-20: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ8"	. 151
Σχήμα 7-21: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "Δ9"	. 152
Σχήμα 7-22: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος. "Δ10"	. 153
Σχήμα 7-23: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "ΓΣ2-2"	. 155
Σχήμα 7-24: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος. "ΓΣΙ-Ι"	. 156
Σχήμα 7-25: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος. "ΓΣ1-21"	. 157
Σχήμα 7-26: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος. "ΓΣ1-3"	. 158
Σχήμα 7-27: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "ΓΣΙ-4"	. 159
Σχήμα 7-28: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "ΓΣΙ-5"	. 160
Σχήμα 7-29: Συγκεντρωτικό διάγραμμα σχέσης δεικτών ανθεκτικότητας στη διάβρωση γ	ια
τους τρεις κύκλους διάβρωσης της δοκιμής	. 162
Σχήμα 7-30: Συγκεντρωτικό διάγραμμα καμπύλων κοκκομετρικής διαβάθμισης	. 165
Σχήμα 7-31: Συγκεντρωτικό διάγραμμα καμπύλων κοκκομετρικής διαβάθμισης με τη	
διάκριση των δύο ενοτήτων	. 165
Σχήμα 7-32: Συγκεντρωτικό διάγραμμα καμπύλων κοκκομετρικής διαβάθμισης που	
προέκυψαν από την αποδελτίωση υφιστάμενων γεωτρήσεων προγενέστερων ερευνών	. 166
Σχήμα 7-33: Διάγραμμα πλαστικότητας CASAGRANDE για τις μάργες Κύμης	. 169
Σχήμα 7-34: Διάγραμμα πλαστικότητας CASAGRANDE για τις μάργες Κύμης που προέκ	ευψε
από την αποδελτίωση υφιστάμενων γεωτρήσεων προγενέστερων ερευνών	. 169
Σχήμα 7-35: Διάγραμμα κατακόρυφης τάσης – λόγου κενών για τις μάργες Κύμης	. 172
Σχήμα 7-36: Διάγραμμα συσχέτισης λόγου κενών – δείκτη συμπιεστότητας για τις μάργες	2
Κύμης	. 172
Σχήμα 7-37: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ορθής τάσης – διατμητικής αντοχής για τις μάργ	$\mathcal{E}\mathcal{G}$
Κύμης	. 173
Σχήμα 7-38: Κατανομή τιμών αντοχής σε μοναζονική θλίψη για τις μάργες Κύμης	. 177
Σχήμα 7-39: Κατανομή τιμών αντοχής σημειακή φόρτιση για τις μάργες Κύμης	. 179
Σχήμα 7-40: Κατανομή τιμών εφελκυστικής αντοχής για τις μάργες Κύμης	. 180

Σχήμα 7-41: Διακύμανση ορίων υδαρότητας για τις μάργες Κύμης	180
Σχήμα 7-42: Διάγραμμα ενεργότητας ιζημάτων για τις μάργες της Ανώτερης ενότητας.	181
Σχήμα 7-43: Διάγραμμα ενεργότητας ιζημάτων για τις μάργες της Κατώτερης ενότητα	ς181
Σχήμα 7-44: Διάγραμμα συσχέτισης του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότη	τας
στο οποίο παρουσιάζονται και οι ενεργότητες διαφόρων αργιλικών ορυκτών για τις μα	άργες
της Ανώτερης ενότητας	182
Σχήμα 7-45: Διάγραμμα συσχέτισης του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότη	τας
στο οποίο παρουσιάζονται και οι ενεργότητες διαφόρων αργιλικών ορυκτών για τις μα	άργες
της Κατώτερης ενότητας	182
Σχήμα 7-46: Διάγραμμα διογκωσιμότητας ιζημάτων για τις μάργες της Ανώτερης ενό	τητας.
Σγήμα 7-47: Διάγραμμα διογκωσιμότητας ιζημάτων για τις μάργες της Κατώτερης εν	183 ότητας.
	184
Σχήμα 7-48: Διάγραμμα συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας και της συνοχής	186
Σχήμα 7-49: Διάγραμμα συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας και της γωνίας εσωτερι	κής
τριβής	187
Σχήμα 7-50: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη και της φυσικι	íς
υγρασίας	187
Σχήμα 7-51: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε μοναζονική θλίψη και της φυσική	5
υγρασίας	188
Σχήμα 7-52: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε μοναζονική θλίψη και του δείκτη	
σημειακής φόρτισης	188
Σχήμα 7-53: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε μοναζονική θλίψη και του βάθους	188
Σχήμα 7-54: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε σημειακή φόεριση και του βάθους	189
Σχήμα 7-55: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και	του
δείκτη ανθεκτικότητας στη διάβρωση (Id_2) για τις κιτρινότεφρες μάργες	190
Σχήμα 7-56: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και	του
δείκτη σημειακής φόρτισης Is50 (MPa) για τις κιτρινότεφρες μάργες	190
Σχήμα 7-57: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και	του
δείκτη ανθεκτικότητας στη διάβρωση (Id_2) για τις μελανότεφρες μάργες	190
Σχήμα 7-58: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και	του
δείκτη σημειακής φόρτισης Is50 (MPa) για τις μελανότεφρες μάργες	191

Εικόνες

Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης	11
Εικόνα 4-1: Χάρτης περιοχής Κύμης	54
Εικόνα 4-2: Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχή Κύμης	57
Εικόνα 4-3: Στοιχειώδες πλέγμα, διαστάσεων 3x3	58
Εικόνα 4-4: Χάρτης μορφολογικών ζωνών περιοχής Κύμης	61
Εικόνα 4-5: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων περιοχής Κύμης	62
Εικόνα 4-6: Χάρτης διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων περιοχής Κύμης	63
Εικόνα 4-7: Χάρτης καμπυλότητας περιοχής Κύμης	64
Εικόνα 4-8: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά των γεωμορφών (Weiss, 2001) ESRI	66
Εικόνα 4-9: Τύποι ζωνών επιρροής, κύκλος, δακτύλιος, σφήνα, παραλληλόγραμμο (Ε	CSRI,
2001)	66
Εικόνα 4-10: Χάρτες με τις τιμές του ΤΡΙ, χρησιμοποιώντας 4 διαφορετικές ζώνες επ	ιρροής.
	68
Εικόνα 4-11: Χάρτης γεωμορφών περιοχής Κύμης	69
Εικόνα 4-12: Το σύστημα κωδικοποίησης των διευθύνσεων ροής της ESRI	70
Εικόνα 4-13: Χάρτης αποτύπωσης υδρολογικών λεκανών και υδρογραφικού δικτύου	
περιοχής Κύμης	75
Εικόνα 4-14: Χάρτης κλιματικής ταζινόμησης και βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδα	ς όπου
διακρίνεται και περιοχή της Κύμης (ΙΓΜΕ, 1993)	82
Εικόνα 4-15: Αριθμός καλοκαιρινών ισχυρών επεισοδίων που καταγράφηκαν σε κάθ	Е
σταθμό (Πλάκα, 2006)	83
Εικόνα 4-16: Αριθμός συνολικών ισχυρών επεισοδίων που καταγράφηκαν σε κάθε στ	ταθμό
(Πλάκα, 2006)	
Εικόνα 4-17: Τροποποιημένο κλιματικό διάγραμμα Emberger (Μαχαίρας & Μπαλαφ	ούτης,
1987)	84
Εικόνα 4-18: Χάρτης χρήσεων γης περιοχή Κύμης	87
Εικόνα 4-19: Τομές δειγματοληπτικών γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή των Βιτάλ	lwv
Κύμης, στις οποίες απεικονίζεται η πλήρης στρωματογραφική στήλη των νεογενών ιζι	ημάτων
(Γεωλογική και κοιτασματολογική μελέτη της λιγνιτοφόρου περιοχής Κύμης. Αναστότ	τουλος
І., 1966 ІГЕҮ)	90
Εικόνα 4-20: Άποψη της εισόδου εγκαταλελειμμένης υπόγειας εκμετάλλευσης στους	
Μαλετιάνους (ανατολικά των Βιτάλων).	91

Εικόνα 5-1: Απόσμασμα Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας κλ. 1:500.000 (Μπορνόβα	15 &
Ροντογιάννη - Τσιαμπάου, 1983).	
Εικόνα 5-2: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 1985)	
Εικόνα 5-3: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής Ζώνης μη μεταμορφωμένων	,
σχηματισμών της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Γ. Κατσικάτσος κ.α., 1970)	
Εικόνα 5-4: Γεωλογικές τομές σε διάφορες θέσεις της νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμη	ς -
Αλιβερίου, (Kokkalas, 2001)	103
Εικόνα 5-5: Γεωδυναμικό μοντέλο ορογένεσης της περιοχής μελέτης (Xypolias, 200	9 <i>3)</i> 104
Εικόνα 5-6: Τεκτονικός χάρτης Κεντρικής Ανατολικής Εύβοιας (Xypolias et al, 200	<i>)3)</i> 107
Εικόνα 5-7: Κατανομή των επικέντρων των σεισμών εστιακού βάθους μικρότερο το	wv 60
Km, οι οποίοι έχουν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο από 4 βαθμούς Richter, και οι οποίο)1
εκδηλώθηκαν από το 300 μ.χ έως το 2011 (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστερ	οσκοπείο
Αθηνών)	
Εικόνα 5-8: Οι τρεις κατηγορίες (ΙΙΙ, ΙΙ, Ι) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις α	ποίες
χωρίσθηκε ο Ελληνικός χώρος, σύμφωνα με τις πρόσφατες τροποποιήσεις του ΕΑΚ	2000 το
2003	
Εικόνα 6-1: Τεχνικογεωλογικός χάρτης στην περιοχή μελέτης	117
Εικόνα 6-2: Αποθέσεις κοίτης στον Μαυροπόταμο	119
Εικόνα 6-3: Εκτεταμένοι κώνοι κορημάτων στο δρόμο για Μετόχι	119
Εικόνα 6-4: Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων	120
Εικόνα 6-5: Διλουβιακοί σχηματισμοί.	120
Εικόνα 6-6: Οι μικτές (ανώτερες) φάσεις των νεογενών στο νοτιοανατολικό τμήμα	του
νομού	121
Εικόνα 6-7: Ασβεστολιθικές μάργες των ανώτερων μαργαϊκών οριζόντων, που στο	υς
ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε μαργαϊκούς ασβεστολίθους	121
Εικόνα 6-8: Σχιστοποιημένες κιτρινότεφρες μάργες των ανώτερων μαργαϊκών οριζ	όντων.
	122
Εικόνα 6-9: Τεφρές αργιλομάργες αντιπροσωπευτικές των ανώτερων μαργαϊκών ομ	οιζόντων.
	122
Εικόνα 6-10: Επιφανειακή εμφάνιση των κυανότεφρων μαργών σε πρανές του δρόμ	UOV
Πλατάνας – Παραλίας Κύμης	123
Εικόνα 6-11: Αποσαθρωμένες μάζες των κυανότεφρων μαργών	123

Εικόνα 6-12: Άποψη του κροκαλοπαγούς βάσης στα βορειοανατολικά περιθώρια της
λεκάνης των Βιτάλων
Εικόνα 6-13: Δακιτικά σώματα ευρύτερης περιοχής Οζύλιθου
Εικόνα 6-14: Χαρακτηριστική εικόνα των ηφαιστειακών τόφφων
Εικόνα 6-15: Ιζήματα του φλύσχη περιοχής Καλημεριάνων
Εικόνα 6-16: Οφιολιθικά πετρώματα στην περιοχή παλαιού νταμαριού στην πόλη της Κύμης.
Εικόνα 6-17: Λατεριτικοί σχηματισμοί στα δυτικά του νομού126
Εικόνα 6-18: Ασβεστόλιθοι του υποβάθρου
Εικόνα 6-19: Αποκαρστωμένοι ασβεστόλιθοι του υποβάθρου
Εικόνα 6-20: Σχιστολιθικά πετρώματα στη περιοχή Μετόχι
Εικόνα 6-21: Επαφή σχιστολίθων – ασβεστολίθων στην περιοχή Μετόχι προς Χιλιαδού129
Εικόνα 6-22: Γρανιτικά σώματα μέσα στις σχιστολιθικές μάζες (περιοχή μετά το Μετόχι).
Εικόνα 7-1: Περιοχές δειγματοληψίας στο νομό Εύβοιας (Κύμη)
Εικόνα 7-2: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος GD1(Nicols+)
Εικόνα 7-3: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος Δ3 (Nicols+)141
Εικόνα 7-4: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ4" (Nicols+)
Εικόνα 7-5: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ7" (Nicols+)
Εικόνα 7-6: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ2" (Nicols+) 148
Εικόνα 7-7: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ5" (Nicols+) 149
Εικόνα 7-8: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ6" (Nicols+) 150
Εικόνα 7-9: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ8" (Nicols+) 151
Εικόνα 7-10: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ9" (Nicols+) 152
Εικόνα 7-11: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ10" (Nicols+) 153
Εικόνα 7-12: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ2-2" (Nicols+)155
Εικόνα 7-13: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣΙ-Ι" (Nicols+)156
Εικόνα 7-14: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣΙ-2" (Nicols+)157
Εικόνα 7-15: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣΙ-3" (Nicols+)158
Εικόνα 7-16: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣΙ-4" (Nicols+)159
Εικόνα 7-17: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-5" (Nicols+)160
Εικόνα 8-1: Ερπυστική κίνηση σε πρανές νότια του χωρίου Πύργος, που αποτυπώνεται στα
δένδρα της περιοχής
Εικόνα 8-2: Σχίσιμο ελιάς στην περιοχή Βιτάλων από ερπυστικές κινήσεις

Εικόνα 8-3: Περιστροφική ολίσθηση στην περιοχή του Φάρου (πρανές Στομίου –	
Πλατάνας)	199
Εικόνα 8-4: Πλευρική (υποοριζόντια) εξάπλωση στην περιοχή Φάρου (πρανή Στομ	ιίου –
Πλατάνας)	
Εικόνα 8-5: Χάρτης κατολισθήσεων περιοχής Κύμης	
Εικόνα 8-6: Τα ανάντη πρανή του δρόμου Στομίου – Πλατάνας. Διακρίνεται η όχι	ομαλή
διαμόρφωση του πρανούς που αποκαλύπτει την παρουσία παλαιών εδαφικών αστο	χιών 202
Εικόνα 8-7: Τα απότομα πρανή στο τμήμα μέχρι το εστιατόριο Φάρος. Διακρίνεται	η
διαταραχή του πρανούς από τις διαδοχικές επαναδραστηριοποιήσεις των αστοχιών	
Εικόνα 8-8: Ο χώρος ανάντη του εστιατορίου Φάρος. Οι συνεχείς ενεργοποιήσεις	των
αστοχιών στο πρανές έχουν προκαλέσει τη διαμόρφωση μη ομαλού αναγλύφου και	την
αναμόχλευση των επιφανειακών οριζόντων των νεογενών ιζημάτων	
Εικόνα 8-9: Το τμήμα του πρανούς από το οποίο αποκολλήθηκε το τέμαχος. Διακρ	ίνεται η
διαφορά στο χρώμα των αποσαθρωμένων τεφρών μαργών και αυτού που προέκυψ	ε μετά την
αποκόλληση	
Εικόνα 8-10: Φωτογραφία από τον τόπο του ατυχήματος στο οποίο προκλήθηκε ο	σοβαρός
τραυματισμός νεαρής γυναίκας. Διακρίνεται το τέμαχος που αναπήδησε στο φυσικά	ό πρανές
και κατέληζε στο δρόμο	
Εικόνα 8-11: Το αυτοκίνητο στο οποίο επέβαινε η άτυχη συνοδηγός	
Εικόνα 8-12: Διακρίνεται το τέμαχος που βρίσκεται σε οριακή ισορροπία	
Εικόνα 8-13: Τοποθέτηση αμμόσακκων στη διαχωριστική γραμμή του δρόμου	
Εικόνα 8-14: Τοποθέτηση αμμόσακκων στη διαχωριστική γραμμή του δρόμου	
Εικόνα 8-15: Εναλλαγές των λιθολογικών τύπων στο πρανές της αποκόλλησης του)
τεμάχους. Διακρίνονται οι εναλλαγές τεφρών μαργών με ενστρώσεις αργίλων, ψαμ	μιτών και
ψηφιδοκρακαλοπαγών και η διαφορά στην αποσαθρωσιμότητα των αργιλικών στρ	ώσεων σε
σχέση με τους άλλους λιθολογικούς τύπους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποσκαφ	ής στη
βάση των περισσότερο ανθεκτικών στη διάβρωση λιθολογικών τύπων	
Εικόνα 8-16: Πανοραμική άποψη από την περιοχή που αποκολλήθηκε ο βράχος σ	τις
13/08/2008 (φωτ. από προσωπικό αρχείο γεωλόγου κ. Βελισσαρίου)	
Εικόνα 8-17: Τα πρανή ανάντη των κτισμάτων του εστιατορίου. Οι αστοχίες είναι	εμφανείς
από τα τεμάχια ασφαλτοτάπητα που έχουν ολισθήσει από ανάντη αλλά και τη διατο	φαχή των
στρωμάτων των μαργών	
Εικόνα 8-18: Πρόσφατη πεταλοειδής ολίσθηση ανάντη του εστιατορίου	

Εικόνα 8-19: Βοηθητικά κτίσματα της οικίας ανάντη του εστιατορίου Φάρος. Η
καταστροφή από την οριακή θραύση ολίσθησης είναι εμφανής
Εικόνα 8-20: Ορατά ίχνη ερπυστικών κινήσεων (αποκλίσεις των ελαιόδεντρων από την
κατακόρυφο) αμέσως κατάντη του παλαιού λατομείου
Εικόνα 8-21: Φωτογραφία από το μέσον σχεδόν του πρανούς. Ορατή και εδώ η απόκλιση
των κυπαρισσιών από την κατακόρυφο λόγω των ερπυστικών κινήσεων
Εικόνα 8-22: Εσωτερικό οριακό ίχνος ερπυσμών. Διακρίνεται το άλμα
Εικόνα 8-23: Η συνέχεια του ίχνους των ερπυσμών σε πέτρινο τοίχο διαμόρφωσης
αναβαθμού που ενσωματώνει και κτίσμα
Εικόνα 8-24: Κατεστραμμένος αγωγός ομβρίων, με αποτέλεσμα την ανεζέλεγκτη ροή στα
εδαφικά υλικά (εμποτισμός-κορεσμός)
Εικόνα 8-25: Δεζαμενή νερού ανάντη του Ξενοδοχείου Βαλέντι. Η δεζαμενή έχει
αχρηστευτεί από τις εδαφικές κινήσεις (έχει υποστεί σοβαρή κλίση)
Εικόνα 8-26: Η καταστροφή της αντιστήριζης του δρόμου στην περιοχή Στομίου
Εικόνα 8-27: Τμήμα του τοιχίου προστασίας του δρόμου που βρίσκεται στα όρια αστοχίας.
Εικόνα 8-28: Η καταστροφή του οδοστρώματος και του υποκείμενου επιχώματος του
δρόμου λόγω των υποσκαφών του κυματισμού
Εικόνα 8-29: Ο κατεστραμμένος τοίχος προστασίας του δρόμου από μπετόν, λόγω της
δράσης του κυματισμού
Εικόνα 8-30: Πανοραμική άποψη των αστοχιών κατάντη του δρόμου Πλατάνας - Στομίου.
Εικόνα 8-31: Ο νέος τοίχος προστασίας του δρόμου από φρεατοπάσσαλους
Εικόνα 8-32: Δασοτεχνικό φράγμα για την ανάσχεση της διαβρωτικής δράσης του νερού στο
Μαυροπόταμο
Εικόνα 8-33: Λευκότεφρες μάργες. Διακρίνεται η φυλλόμορφη ανάπτυζή τους
Εικόνα 8-34: Εγκαταλελειμμένη είσοδος υπόγειας εκμετάλλευσης λιγνιτών στους
Μαλετιάνους (Ανατολικά των Βιτάλων)
Εικόνα 8-35: Εγκαταλελειμμένη οικία. Έχει κριθεί μη κατοικήσιμη
Εικόνα 8-36: Μικρός οικίσκος μεταζύ χώρου θεμελίωσης των οικιών και του δρόμου
Δένδρων – Κρινιάνων
Εικόνα 8-37: Ρωγμές στον τοίχο αντιστήριζης στο εσωτερικό του δρόμου Δένδρων –
Κρινιάνων

Εικόνα 8-38: Θραύση του οδοστρώματος και απόκλιση από την κατακόρυφο των δένδ	ρων.
	215
Εικόνα 8-39: Διακρίνεται η αποκόλληση του βοηθητικού κτίσματος (1980) από την κύ	ρια
οικοδομή (1933) η οποία έχει υποστεί και αυτή ζημιές	216
Εικόνα 8-40: Διακρίνονται οι ρωγμές στην τοιχοποιία του πρώτου ορόφου	216
Εικόνα 8-41: Ρωγμή στην τοιχοποιία	216
Εικόνα 8-42: Ρωγμή που διακόπτει τη συνέχεια της αυλής με κατεύθυνση το χώρο	
θεμελίωσης του σπιτιού	216
Εικόνα 8-43: Η σημερινή ελεγχόμενη ροή του νερού πηγής	217
Εικόνα 8-44: Κατεστραμμένος μανδρότοιχος από μπετόν στο χώρο της τοποθεσίας	
Βουλιασούρας	217
Εικόνα 8-45: Η σχεδόν ολοκληρωτική καταστροφή του οδοστρώματος από την κατολ	ίσθηση
στο δρόμο προς Αγ. Μαρίνα. Διακρίνεται η είσοδος στο χώρο της ανάντη του δρόμου ο	οικίας.
	218
Εικόνα 8-46: Εμφανείς είναι οι θραύσεις στους τοίχους των αναβαθμών διαμόρφωσης	ς του
προαυλίου χώρου της εξοχικής οικίας	218
Εικόνα 8-47: Οι μελανότεφρες μάργες στο αριστερό σκέλος της κατολίσθησης	219
Εικόνα 8-48: Η έντονη χαλάρωση των ασβεστιτικών μαργών στο τεχνητό πρανές του	
δρόμου	219
Εικόνα 8-49: Πανοραμική από κατάντη άποψη της κατολίσθησης στο Σουτσίνι. Διακρ	ίνεται
η εξάπλωσή της από την παράλια ζώνη μέχρι το ύψος του δρόμου (60-70m ανάντη)	220
Εικόνα 8-50: Καταστροφή των παράκτιων τοίχων αντιστήριζης από τη νέα μετακίνησι	1
ολισθημένων μαζών.	220
Εικόνα 8-51: Γενική άποψη από ανατολικά του λοφίσκου του εζωκλησιού της Αγ. Μαμ	ρίνας.
Οι αστοχίες σε αυτόν είναι εμφανείς	221
Εικόνα 8-52: Η ρεματιά στο βόρειο όριο του λοφίσκου της Αγ. Μαρίνας με την πηγή	222
Εικόνα 8-53: Το ημιτελές λιμενικό έργο που καλύπτει τη μισή βάση του εζωκλησιού	222
Εικόνα 8-54: Το ατελές λιμενικό έργο, εσωτερικά του κρηπιδώματος	222
Εικόνα 8-55: Τμήμα του λοφίσκου στο οποίο έχει χτιστεί το εζωκλήσι	222
Εικόνα 8-56: Διακρίνονται οι σημαντικές ρωγμές τόσο στο προαύλιο χώρο όσο και στ	ην
ανωδομή του εζωκλησιού της Αγ. Μαρίνας	223
Εικόνα 8-57: Ερπυστικές κινήσεις στον ελαιώνα κατάντη του Πύργου. Διακρίνεται η	
απόκλιση από την κατακόρυφο του κορμού των δένδρων	223

Εικόνα 8-58: Το εξωκλήσι στο χώρο των ερπυσμών. Διακρίνεται η υποθεμελίωσή του κ	ται η
συσσώρευση των υλικών που έρπουν στην ανάντη πλευρά του	223
Εικόνα 8-59: Η κατολίσθηση που έχει πλήζει το δρόμο από Πύργο προς Καλλιανούς.	
Διακρίνεται το μεγάλο κατακόρυφο άλμα της οριακής θραύσης	224
Εικόνα 8-60: Ο καταστραμμένος σωληνωτός οχετός των νερών του δρόμού	224
Εικόνα 8-61: Το εσωτερικό του δρόμου στην περιοχή της κατολίσθησης του Πύργου	224
Εικόνα 8-62: Άποψη των ολισθημένων υλικών μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη	226
Εικόνα 8-63: Άποψη της οριακής θραύσης της ολίσθησης	226
Εικόνα 8-64: Άποψη των ολισθημένων υλικών μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη που	
καλύπτουν μέρος του οδοστρώματος	226
Εικόνα 8-65: Γενική άποψη του οδοστρώματος που έχει υποστεί καθίζηση	227
Εικόνα 8-66: Άποψη του ανάντη πρανούς του δρόμου. Διακρίνονται τα υπολείμματα	
κροκαλοπαγούς στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη	227
Εικόνα 8-67: Άποψη της διάβρωσης του εζωτερικού τμήματος του οδοστρώματος	228
Εικόνα 8-68: Άποψη του δρόμου που ακολουθούν τα επιφανειακά νερά της ανάντη της	
στροφής του δρόμου έκτασης	228
Εικόνα 8-69: Άποψη του απόκρημνου ασβεστολιθικού πρανούς	228
Εικόνα 8-70: Άποψη των χαλαρών ασβεστολιθικών κορημάτων που καλύπτουν το πραν	νές
και ρέουν προς το οδόστρωμα	228
Εικόνα 8-71: Καθίζηση του οδοστρώματος σε μήκος 40m, με άλμα περί τα 10cm	229
Εικόνα 8-72: Δεύτερη και σημαντικότερη θέση καθίζησης του οδοστρώματος σε μήκος .	20m,
με εμφανές άλμα 40cm στο εσωτερικό τσιμεντένιο ρείθρο του δρόμου	229
Εικόνα 8-73: Διάβρωση του εζωτερικού τμήματος του οδοστρώματος	229
Εικόνα 9-1: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης	239
Εικόνα 9-2: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Υψομέτρου	246
Εικόνα 9-3: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Μορφολογικών Κλίσεων	247
Εικόνα 9-4: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων	248
Εικόνα 9-5: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Καμπυλότητας Μορφολογικού Αναγλύφου	o. 249
Εικόνα 9-6: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Απόστασης από Υδρογραφικό Δίκτυο	250
Εικόνα 9-7: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Τοπογραφικού Δείκτη Υγρασίας	251
Εικόνα 9-8: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Απόστασης από τεκτονικά χαρακτηριστικά	ά,
όπου διακρίνονται με κόκκινο χρώμα τα τεκτονικά χαρακτηριστικά	252
Εικόνα 9-9: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας	265

Εικόνα 10-1: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας, τρεις ζώνες βαθμού επικινδυνό	τητας.
	271
Εικόνα 10-2: Χάρτης πληθυσμού κοινοτήτων (σε παρένθεση δίνονται ο αριθμός των	
κατοίκων, με βάση την απογραφή του 2001)	273
Εικόνα 10-3: Χάρτης διακινδύνευσης ως προς το στοιχείο Κοινοτήτων	273
Εικόνα 10-4: Χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης ως προς το στοιχείο Οδικό δίκτυ	o. 275
Εικόνα 10-5: Χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης προς το στοιχείο Χρήσεων γης	276
Εικόνα 10-6: Τελικός χάρτης διακινδύνευσης για την περιοχή Κύμης	277
Εικόνα 10-7: Τεκτονικό διάγραμμα δυνητικών ολισθήσεων για φυσικό πρανές σε	
ασβεστιτικές μάργες του δρόμου Στόμιο - Πλατάνας	280
Εικόνα 10-8: Τεκτονικό διάγραμμα δυνητικών ολισθήσεων για φυσικό πρανές σε	
ασβεστιτικές μάργες του δρόμου Στόμιο - Πλατάνας	280
Εικόνα 10-9: Χάρτης οικιστικής καταλληλότητας περιοχής Βιτάλων – Κύμης (Ρόζος et	al.
2009 μετά από τροποποιήσεις)	284

Πίνακες

Πίνακας 3-1: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ζηρές μετακινήσεις		
μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό θυμάτων σε		
επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)		
Πίνακας 3-2: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ζηρές μετακινήσεις		
μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό του συνόλου των		
πληγέντων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)		
Πίνακας 3-3: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις		
μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό θυμάτων σε		
επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)		
Πίνακας 3-4: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις		
μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό του συνόλου των		
πληγέντων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)		
Πίνακας 3-5: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις		
μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο κατά οικονομικό κόστος των ζημιών		
σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)		
Πίνακας 3-6: Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων (UNESCO,		
Πίνακας 3-7: Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες		
(Ζιούρκας 1989, από την αρχειοθέτηση 802 κατολισθήσεων από τον Ελλαδικό χώρο)45		
Πίνακας 4-1: Κατηγοριοποίηση γεωμορφών σε 10 κλάσεις - Landform Classification		
(Weiss, 2001)		
Πίνακας 4-2: Μέσες τιμές θερμοκρασίας μήνα (0 ^C), στο σταθμό της Κύμης		
Πίνακας 4-3: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης (mm) στο σταθμό Κύμης, περιόδου 1961 – 1990		
Πίνακας 4-4: Μέσος αριθμός εμφάνισης μετεωρολογικών φαινομένων στο σταθμό Κύμης 81		
Πίνακας 4-5: Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή της Κύμης (Corine, 2006)		
Πίνακας 5-1: Κατάλογος σεισμών μεγέθους \geq 4.5 της κλίμακας Richter για την περιογή με		
συντετανμένες 23 °30' έως 24 °30' νεωνοαφικό μήκος και 38 °15' έως 39 00° νεωνοαφικό		
$\pi\lambda\alpha\tau\alpha c = 108$		
Πίνακας 5-2: Κατάλουος σεισμών μενέθους >5.5 της κλίμακας Pichter για την πορογή με		
22 20 20 (4.5.5.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.2.		
συντεταγμενες 23 '30' εως 24 '30' γεωγραφικο μηκος και 38 '15' εως 39.00' γεωγραφικο		
πλατος (Ι εωδυναμικό Ινστιτουτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών)		

Πίνακας 7-1: Ταζινόμηση της ανθεκτικότητας με βάση το δείκτη διαβρωσιμότητας (Fi	ranklin
& Chandra, 1972)	162
Πίνακας 7-2: Τιμές δεικτών διαβρωσιμότητας για τις μάργες Κύμης	163
Πίνακας 7-3: Φυσικές ιδιότητες εδαφικών σχηματισμών	164
Πίνακας 7-4: Αποτελέσματα δοκιμής στερεοποίησης για τα δείγματα της Κύμης	171
Πίνακας 7-5: Αποτελέσματα δοκιμών απευθείας διάτμησης για τα δείγματα της Κύμης	173
Πίνακας 7-6: Αποτελέσματα δοκιμών τριαζονικής φόρτισης για τα δείγματα της Κύμη	; 175
Πίνακας 7-7: Αποτελέσματα δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης για τα δείγματα της Κύμη	ς 176
Πίνακας 7-8: ISRM (1981)	177
Πίνακας 7-9: Ταζινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση το δείκτη σημειακής φόρτισι	ης Is50
(Bieniawski, 1975)	178
Πίνακας 9-1: Πίνακας συνάφειας	236
Πίνακας 9-2: Θεωρητικές στατιστικές τιμές του δείκτη χ ² , όπου ν οι βαθμοί ελευθερία	ς του
συστήματος	237
Πίνακας 9-3: Χωρική και στατιστική ανάλυση Λιθολογικών Ενοτήτων	253
Πίνακας 9-4: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας υψομετρικών κλάσεων	254
Πίνακας 9-5: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας μορφολογικών κλίσεων	254
Πίνακας 9-6: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας διεύθυνσης μορφολογικών	
κλίσεων	254
Πίνακας 9-7: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας καμπυλότητας μορφολογικό	ού
ανάγλυφου	255
Πίνακας 9-8: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας ζωνών επιρροής υδρογραφ	ικού
δικτύου	255
Πίνακας 9-9: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας ζωνών επιρροής τεκτονικώ	v
χαρακτηριστικών	255
Πίνακας 9-10: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας Τοπογραφικού δείκτη υγρ	ασίας
	256
Πίνακας 9-11: Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - Α	257
Πίνακας 9-12: Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - Β	258
Πίνακας 9-13: Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - Γ	259
Πίνακας 9-14: Εκτίμηση της υπό όρους ανεξαρτησίας – έλεγχος χ ²	260
Πίνακας 9-15: Εκτίμηση ποσοστού επιτυχούς απόδοσης για τα τρία σύνολα ελέγχου	261
Πίνακας 9-16: Σύνολο κατολισθητικών δεδομένων	263

Πίνακας 9-17: Εκτίμηση της υπό όρους ανεξαρτησίας – έλεγχος χ ²	
Πίνακας 9-18: Εκτίμηση ποσοστού επιτυχούς απόδοσης για τον τελικό χάρτη	
επιδεκτικότητας	
Πίνακας 10-1: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων στο οδικό δίκτυο	
Πίνακας 10-2: Πίνακας απόδοσης του βαθμού διακινδύνευσης	
Πίνακας 10-3: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων επί του στοιχείου Κοινά	ότητας272
Πίνακας 10-4: Πίνακας απόδοσης του βαθμού διακινδύνευσης επί του στοιχείου Κα	οινότητας
Πίνακας 10-5: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων στο οδικό δίκτυο	

<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, διερευνήθηκε διεξοδικά η λιθολογική διάρθρωση και οι ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή της Κύμης, Εύβοιας, καθώς και η επίδραση των σχηματισμών που δομούν την περιοχή στα υφιστάμενα τεχνικά έργα. Ειδικότερα, η όλη προσπάθεια είχε σαν στόχο τη διαμόρφωση του γεωλογικού μοντέλου της περιοχής έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατανόηση του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων που καταγράφονται στην περιοχή έρευνας και που επηρεάζουν τη λειτουργία των τεχνικών έργων.

Η ερευνητική εργασία που διενεργήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής επικεντρώθηκε στους μαργαϊκούς σχηματισμούς, σχηματισμούς που ανήκουν στην κατηγορία «σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι», όπου εντοπίζονται τα περισσότερα προβλήματα. Περιελάμβανε μια σειρά από εργασίες οι οποίες αφορούν σε δραστηριότητες γραφείου, υπαίθρου και εργαστηρίου, από την αξιολόγηση των οποίων κατέστη δυνατή η διαμόρφωση τεχνικογεωλογικής κρίσης.

Με βάση τη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε, αρχικά συλλέχθηκε κάθε γεωλογική πληροφορία από βιβλιογραφικές αναφορές (η δομή του υποβάθρου και των υπερκείμενων σε αυτό σχηματισμών, η στρωματογραφική διάρθρωση, η τεκτονική εξέλιξη, το υδρογεωλογικό καθεστώς, τα κλιματολογικά και γεωμορφολογικά στοιχεία κ.α.), η οποία αποτέλεσε το υπόβαθρο για τη διαμόρφωση μιας πληρέστερης θεώρησης σχετικά με το τεχνικογεωλογικό προφίλ των μαργαϊκών σχηματισμών και της ιδιάζουσας συμπεριφοράς τους.

Σε δεύτερο επίπεδο ανάλυσης συνεκτιμήθηκαν τα αποτελέσματα από τις ερευνητικές εργασίες υπαίθρου και των εργαστηριακών αναλύσεων και δοκιμών. Οι εργασίες υπαίθρου συνέβαλαν στην διερεύνηση και καταγραφή των τεχνικογεωλογικών και γεωμορφολογικών συνθηκών, που επικρατούν στην περιοχή έρευνας. Αποτέλεσμα των διεργασιών αυτών αποτέλεσε η σύνταξη του τεχνικογεωλογικού χάρτη.

Αναφορικά στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών, έγινε μια προσπάθεια συσχέτισης των ορυκτολογικών με τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά, για την πληρέστερη προσέγγιση της ιδιομορφίας στην συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών.

Κατόπιν συλλέχθηκε και επεξεργάστηκε κάθε σχετική παράμετρος που θεωρήθηκε ότι επιδρά στην εκδήλωση κατολισθητικού φαινομένου με τη δημιουργία χωρικής βάσης δεδομένων. Συγκεκριμένα, αποτυπώθηκαν σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) δεδομένα που αφορούν στην τεχνικογεωλογική διάρθρωση, τις τοπογραφικές παραμέτρους (υψόμετρο, μορφολογικές κλίσεις, διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, καμπυλότητα αναγλύφου), τα υδρογραφικά και τεκτονικά χαρακτηριστικά (απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, συντελεστής τοπογραφικό δείκτη ύγρανσης, απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά), την χρήση γης κλπ. Σκοπός της διεργασίας αυτής ήταν η δημιουργία χωρικού μοντέλου πρόβλεψης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με την εφαρμογή της μεθόδου Weight of Evidence. Στη συνέχεια, η δημιουργία του χάρτη διακινδύνευσης για την περιοχή έρευνας, στηρίχθηκε στην υιοθέτηση παραδοχών σχετικά με την επικινδυνότητα και την αποτύπωση των επιπτώσεων που θα έχει μια εκδήλωση γεωλογικής αστοχίας επί των στοιχείων σε διακινδύνευση.

Με την συναξιολόγηση όλων των ανωτέρων διεργασιών εντοπίζονται επισφαλείς θέσεις και προτείνονται μέτρα θεραπείας και πρόληψης για τη μείωση των ενδεχόμενων καταστροφών επί των τεχνικών έργων και την εξασφάλιση της ευρυθμής λειτουργίας τους.

Η διάρθρωση της παρούσας διδακτορικής διατριβής έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξετάζονται διεξοδικά μια σειρά από παράμετροι που συμβάλουν στην πληρέστερη κατανόηση της συμπεριφοράς των μαργών στην περιοχή μελέτης, αλλά και στην εξαγωγή τεχνικογεωλογικών κρίσεων για την υφιστάμενη κατάσταση ως προς την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Στα κεφάλαια που ακολουθούν, συνοπτικά περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

Στο 1ο κεφάλαιο δίνονται τα εισαγωγικά στοιχεία για το αντικείμενο μελέτης της διδακτορικής διατριβής, η μεθοδολογική προσέγγιση πάνω στην οποία στηρίχτηκε και προσδιορίζεται η επιστημονική πρωτοτυπία της.

Στο κεφάλαιο 2, εξαιτίας της πολύπλοκης συμπεριφοράς των μαργαϊκών σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων», αναλύονται τα αίτια και οι μηχανισμοί που επιδρούν στη διαμόρφωση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς τους.

Στο 3° κεφάλαιο αποτυπώνονται γενικά στοιχεία για τις φυσικές καταστροφές και ειδικότερα για τα κατολισθητικά φαινόμενα, με αναφορές τόσο από το διεθνή χώρο όσο και από την Ελληνική επικράτεια. Παρατίθενται και σχολιάζονται οι τεχνικές και μέθοδοι εκτίμησης του κατολισθητικού κινδύνου και της κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

Το κεφάλαιο 4 αναφέρεται στα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής Κύμης, με στοιχεία που αφορούν γεωγραφική εξάπλωση, κλιματολογικά στοιχεία και πληροφορίες για τις χρήσεις γης, ενώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μορφολογικής και υδρολογικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή σχετικών λειτουργιών των ΓΣΠ. Στο 5° κεφάλαιο, παρατίθενται η γεωλογική και τεκτονική εξέλιξη της νεογενούς λεκάνης Κύμης – Αλιβερίου, καθώς και τα στοιχεία που αφορούν τη σεισμική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής.

Στο 6° κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες, η φυσική κατάσταση και η γεωμηχανική συμπεριφορά των σχηματισμών της Κύμης. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθεται ο τεχνικογεωλογικός χάρτης που συντάχθηκε στα πλαίσια της παρούσης διδακτορικής διατριβής και γίνεται αναφορά στη γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολογικών ενοτήτων.

Στο κεφάλαιο 7 ακολουθούν οι αναλυτικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν στην εργαστηριακή μελέτη των διαφόρων οριζόντων των μαργαϊκών σχηματισμών. Για τους σκοπούς της έρευνας, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης (OM, XRD, DTA, FT-IR), καθώς και εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων των μαργαϊκών σχηματισμών της περιοχής έρευνας (κοκκομετρική διαβάθμιση, όρια συνεκτικότητας, φυσική υγρασία, δοκιμή στερεοποίησης, δοκιμή άμεσης διάτμησης, τριαξονική φόρτιση, αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη για εδαφικά και ακέραια πετρώματα, δοκιμή σημειακής φόρτισης και δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα, Brazilian test). Στο ίδιο κεφάλαιο επιτυγχάνεται η συσχέτιση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών και της ορυκτολογικής σύστασης των μαργών που αναλύθηκαν

Το κεφάλαιο 8 παρουσιάζει την εκτενή έρευνα υπαίθρου που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή έρευνας. Ξεκινάει με μια ιστορική αναδρομή των προβλημάτων που σημειώνονται στα τεχνικά έργα της περιοχής Κύμης και στη συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή της υφιστάμενης κατάστασης, με πλήρη καταγραφή των κατολισθητικών φαινομένων.

Στο 9° κεφάλαιο παρουσιάζεται το μοντέλο εκτίμησης της επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διατριβής χρησιμοποιώντας την μέθοδο Weight of Evidence για την περιοχή Κύμης.

Στο 10° κεφάλαιο αξιοποιήθηκε ο χάρτης επιδεκτικότητας σε κατολισθητικά φαινόμενα με τη δημιουργία του χάρτη διακινδύνευσης, χρησιμοποιώντας ως στοιχεία διακινδύνευσης τα πληθυσμιακά στοιχεία, το οδικό δίκτυο και τις χρήσεις γης. Σε εντοπισμένες θέσεις που διαπιστώνονται προβλήματα, προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης αυτών.

Στο τελευταίο κεφάλαιο 11, δίνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από όλα τα στάδια έρευνας και σχολιάζονται συνοπτικά ζητήματα που αφορούν μελλοντική έρευνα.

ABSTRACT

In the present thesis, the specific engineering geological conditions prevailing in the area of Kimi, Evia, as well as the impact of the behavior of the formations that compose the region, were investigated. The main purpose of the thesis was to develop a geological model of the study area, in order to understand the mechanism of the manifestation of landslide and their impact on the constructions.

The research work carried out in the present doctoral thesis focused on marl formations, that are categorized as "hard soils - soft rocks", where most of the instability problems were identified. The research included a series of tasks which were related to office activities, field investigations and laboratory tests, the evaluation of which made possible the development of the general engineering geological judgment.

Based on the methodological approach developed, geological data and information from bibliographic references (the structure of the bedrock and overburden, the stratigraphic structure, the tectonic evolution, the hydrogeological, climatic and geomorphological features, etc.) were collected to form the background to the development of a complete approach of the engineering geological profile of marl formations and their behavior. At a second level of analysis, the results of the research field work and the laboratory analysis and testing were taken into account. The field work contributed to the investigation and recording of engineering geological and geomorphological conditions prevailing in the region. The result of these processes was the compilation of the engineering geological map at a scale of 1:25.000.

Regarding the results obtained from the implementation of laboratory tests, an attempt was made in order to correlate the mineralogical with the physical and mechanical characteristics, for the comprehensive approach to the special behavior of marl formations.

Subsequently, each relevant parameter considered to affect the occurrence of landslide events were collected and processed by creating spatial database. Specifically, data related to the engineering geological conditions, the topographic parameters (elevation, slope, aspect, and curvature), the hydrographic and tectonic features (distance from hydrographic network, wetness index, distance from tectonic features), land use, etc were depicted in an environment of Geographic Information Systems (GIS). The purpose of this process was the creation of a spatial predictive model of landslide susceptibility by applying the method Weight of Evidence. The compilation of the landslide risk map was based on certain assumptions about hazard characterization and the impact of a landslide incidence on the elements at risk.

Regarding the co-evaluation of all the above processes, precarious areas were identified, while mitigation and preventive measures were proposed to reduce the potential impact on structures and ensure proper functioning.

The structure of this thesis has been designed to allow screening a set of parameters that contribute to a better understanding of the behavior of marl formations in the study area, but also to inference regarding the engineering geological conditions. Below, a description of the chapters' content follows:

The first chapter provides a brief description of the objective and the methodological approach on which the present thesis was based and also outlines the scientific originality of the thesis.

The second chapter includes the analysis of the mechanism that influences the geotechnical behavior, due to the complex behavior of the marl formations that belong to the category "hard soils - soft rocks".

The third chapter encapsulates the information concerning natural disasters and especially landslide phenomena, with references from both the international and the Greek territory. It provides a general overview of the techniques and methods for assessing landslide risk and landslide susceptibility.

Chapter 4 deals with the general characteristics of the region of Kimi, concerning geographic data, climatic data and information on land use, while presents the results of the detailed morphological and hydrological analysis that was performed by applying the relevant functions of a Geographical Information System (GIS).

The fifth chapter refers to the geological and tectonic evolution of the Neogene basin Kimi - Aliveriou and presents also the relative data and information about the seismic activity in the wider region of Kimi.

The sixth chapter includes the presentation of the engineering geological conditions, the physical settings and the geomechanical behavior of the geological formations that cover the area of Kimi. The chapter includes the engineering geological map that was compiled in the context of this thesis and also refers to geotechnical consideration of the individual lithological units.

Chapter 7 includes the analytical techniques used in the laboratory to study the various horizons of the marl formations. Numerous tests were conducted to determine the mineralogical composition (OM, XRD, DTA, FT-IR), and tests to determine the physical and mechanical properties of the marl formations (grain size distribution, consistency limits, natural moisture, consolidation test, direct shear test, tri-axial loading, unconfined compression strength of soil and intact rock, Point Load testing and Brazilian test). In the

final section of the chapter the correlation between the geotechnical characteristics and the mineralogical composition of marl formations is presented.

Chapter 8 concerns the extensive field research carried out in the wider area of Kimi. It presents an overview of the instability problems occurring in the area of Kimi and also presents the current conditions found in the area with a full inventory of the landslide incidents.

Chapter 9 presents the landslide susceptibility model developed in this thesis that utilizes the Weight of Evidence method.

In the 10th chapter the developed landslide susceptibility map was used in the compilation of the landslide risk map, using as evidence in risk the population data, the infrastructure network and the land uses. In localized sites in which, one can identify instability problems, specific mitigation and relief measures were proposed.

In the last chapter, 11th, the final conclusions are given and briefly discuss issues concerning future research.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: εισαγογή

Εισαγωγικά στοιχεία

Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής

Μεθοδολογική προσέγγιση

Επιστημονική πρωτοτυπία της διδακτορικής διατριβής



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ</u> <u>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ</u>

1.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Η εκτίμηση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων» όπως είναι οι μαργαϊκοί σχηματισμοί που εξετάζονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αποτελεί αντικείμενο έρευνας και μελέτης σε παγκόσμια κλίμακα (*Dick & Shakoor, 1992*). Στην κατηγορία αυτή κατατάσσεται ένα ευρύ φάσμα γεωλογικών σχηματισμών, που κάθε ένας από αυτούς χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερες συνθήκες γένεσης και γεωτεκτονικής εξέλιξης. Στην πλειονότητά τους και για την περίπτωση του Ελληνικού χώρου, αφορούν κυρίως ιζηματογενή πετρώματα, με σχετικά πρόσφατες ηλικίες και χαρακτηριστικές εμφανίσεις στις Νεογενείς λεκάνες ιζηματογένεσης.

Το χαρακτηριστικό γνώρισμα των σχηματισμών αυτών είναι η ανισότροπη γεωμηχανική τους συμπεριφορά, η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στις συχνές εναλλαγές που εμφανίζουν τα διάφορα μέρη από τα οποία συντίθενται (λιμναία ιζήματα - μάργες, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή), τόσο κατά την κατακόρυφο όσο και κατά την οριζόντια ανάπτυξη. Το κύριο πρόβλημα, όταν ζητείται η διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών αυτών είναι ότι συχνά στηρίζεται σε παραδοχές και ομαδοποιήσεις που δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική απόκριση των σχηματισμών.

Η παρούσα διδακτορική διατριβή αποτελεί μια προσπάθεια ανάδειξης της ιδιόμορφης τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των νεογενών ιζημάτων της περιοχής Κύμης – Εύβοιας και συγκεκριμένα των μαργαϊκών σχηματισμών. Τα πετρώματα αυτά παρουσιάζουν ανισότροπη γεωμηχανική συμπεριφορά, η οποία σε συνδυασμό με τις γεωμορφολογικές, κλιματολογικές συνθήκες και ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διανοίξεις δρόμων, πυρκαγιές κλπ), παρουσιάζουν εκτεταμένες αστοχίες πρανών.

Φαινόμενα γεωλογικών αστοχιών στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης – Εύβοιας, καταγράφονται από τις αρχές της δεκαετίας του 1950. Τα φαινόμενα αυτά εντοπίζονται κυρίως σε φυσικά πρανή που δομούνται από μαργαϊκούς σχηματισμούς, ενώ η παρουσία του φαινομένου εξακολουθεί να υφίσταται είτε με την εκδήλωσή του σε νέες θέσεις είτε με την επαναδραστηριοποίησή του σε παλαιότερες θέσεις. Το αποτέλεσμα των διεργασιών που συμβαίνουν κατά την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή

έρευνας είναι η πρόκληση μεγάλων καταστροφών σε έργα υποδομής, οικισμούς, επαρχιακά και οδικά δίκτυα, οι οποίες πολλές φορές είναι τέτοιας δυναμικής που θέτουν σε κίνδυνο ακόμα και ανθρώπινες ζωές.

Από την αποδελτίωση προγενέστερων μελετών που πραγματοποιήθηκε στα πρώτα στάδια της παρούσας διδακτορικής διατριβής διαπιστώθηκε ότι, τα φαινόμενα γεωλογικών αστοχιών στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης, συνδέονται στενά με την ιδιόμορφη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών (Αναστόπουλος, Ι., 1965; Ελευθερίου, Α., 1983; Ελευθερίου, Α., 1989; Ελευθερίου & Ρόζος, 1994; Ελευθερίου Α., 1995; Αγγελίδης Χ., 1998; Λέκκας, Ε., 1998). Ωστόσο, η συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών δεν είχε διερευνηθεί και αποτυπωθεί με λεπτομέρεια μέχρι σήμερα.

Επιπρόσθετα, καμιά προγενέστερη μελέτη δεν προσδιόριζε τη συσχέτιση των παραγόντων που θεωρούνται ότι διαμορφώνουν και προετοιμάζουν την περιοχή έρευνας για την εκδήλωση φαινομένων αστοχίας, στο βαθμό της ανάλυσης που απαιτούσε μια προσπάθεια ερμηνείας και αντιμετώπισης του προβλήματος. Το γεγονός αυτό, αποτέλεσε την αφορμή για τη διεξοδική μελέτη των συγκεκριμένων σχηματισμών και τη διαμόρφωση τελικών κρίσεων σχετικά με την τεχνικογεωλογική τους συμπεριφορά και την απόκριση αυτών σε ενδεχόμενη εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Συνεπικουρούσες την ανισότροπη γεωμηχανική συμπεριφορά, οι δυσμενείς γεωμορφολογικές, περιβαλλοντικές συνθήκες καθώς και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, θεωρούνται ότι συμβάλλουν στη διαμόρφωση των συνθηκών και την ενεργοποίηση των διεργασιών που ευθύνονται για την εκδήλωση των γεωλογικών αστοχιών.

1.2 Αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής

Ένα από τα βασικά αντικείμενα της έρευνας που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσης διατριβής αποτέλεσε η διερεύνηση των ορυκτολογικών και φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των νεογενών ιζημάτων (αργιλομαργών, μαργών, ψαμμιτομαργών και ψαμμιτών) της ευρύτερης περιοχής της Κύμης - Ευβοίας που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων». Από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών αυτών αλλά και από την εκτίμηση της σχέσης που αναπτύσεται μεταξύ τους, κατανοήθηκε η ιδιάζουσα τεχνικογεωλογική τους συμπεριφορά. Ειδικότερα, μέσα από τη μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε, πραγματοποιήθηκε η απαραίτητη τεχνικογεωλογική των λεπτομερών ιζημάτων σε δύο διακριτές ενότητες, την "Ανώτερη" και την "Κατώτερη" που χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς ορυκτολογικούς και φυσικο-μηχανικούς χαρακτήρες.

Ένα δεύτερο βασικό ζητούμενο ήταν η εκτίμηση του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων που καταγράφονται στην περιοχή έρευνας έχοντας ως πρωτογενή δεδομένα, τα δεδομένα που προέρχονται από την κλασική τεχνικογεωλογική

έρευνα πεδίου, την εργαστηριακή ανάλυση και μελέτη καθώς και την ανάλυση λοιπών χωρικών δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και η καταγραφή και αποτύπωση των κατολισθητικών φαινομένων, αποτέλεσαν ένα από τα ουσιώδη στάδια, ενώ τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη διεργασία αυτή, σε συνδυασμό με τις εργαστηριακές αναλύσεις, οδήγησαν στην απόκτηση της τεχνικογεωλογική γνώσης. Η πολυπλοκότητα της αξιολόγησης των παραγόντων που ευθύνονται για την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων οδήγησε στη χρησιμοποίηση πιθανολογικών μεθόδων μέσω των οποίων επιτυγχάνεται σχετική μείωση του ποσοστού αβεβαιότητας που ενέχει η τελική εκτίμηση. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος *Weight of Evidence* και τα αποτελέσματα αποδόθηκαν σε περιβάλλον GIS. Αναλυτικά στοιχεία της μεθόδου δίνονται στο 9° κεφάλαιο της διατριβής.

Ένα τρίτο ουσιώδες αντικείμενο της διδακτορικής διατριβής αποτέλεσε η εκτίμηση της διακινδύνευσης για την περιοχή της Κύμης - Ευβοίας, αντικείμενο το οποίο αποτελεί «εν δυνάμει εργαλείο» για οποιοδήποτε σχέδιο δράσης και για οποιοδήποτε σύστημα λήψης απόφασης σε ότι αφορά υφιστάμενους ή μελλοντικούς σχεδιασμούς για την περιοχή έρευνας σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό περιγράφονται προληπτικά μέτρα και μέτρα μετρίασης του κινδύνου σε συγκεκριμένες ζώνες που παρουσιάζουν πολύ υψηλό βαθμό διακινδύνευσης.

1.3 Μεθοδολογική προσέγγιση

Η μεθοδολογική προσέγγιση που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσης διδακτορικής διατριβής διαμορφώθηκε με βάση τρεις παραμέτρους ανάλυσης:

- τις ιδιαίτερες τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης,
- την πολυπλοκότητα του μηχανισμού εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων,
- την προσπάθεια αποτελεσματικής διαχείρισης της διακινδύνευσης που σχετίζεται με την κατολισθητική επικινδυνότητα.

Στην Εικόνα 1-1 δίνεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογικής προσέγγισης που εφαρμόστηκε στα πλαίσια της διατριβής. Διακρίνονται τέσσερα επίπεδα ανάλυσης:

- <u>Α' επίπεδο ανάλυσης</u>: Αποτελεί το επίπεδο στο οποίο πραγματοποιείται η συγκέντρωση της προϋπάρχουσας γνώσης της σχετικής με τη διερεύνηση της φύσης του προβλήματος του οποίου επιζητούμε λύση. Αποτέλεσμα των διεργασιών του επιπέδου αυτού αποτελεί η διαμόρφωση του πλάνου εργασιών.
- Β' επίπεδο ανάλυσης: Αποτελεί το επίπεδο στο οποίο πραγματοποιείται η συμπλήρωση της γνώσης με την πραγματοποίηση των εργασιών υπαίθρου και των εργαστηριακών αναλύσεων. Αποτέλεσμα των διεργασιών του επιπέδου αυτού αποτελεί η οριστική τεχνικογεωλογική θεώρηση των συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας.
- Γ' επίπεδο ανάλυσης: Αποτελεί το επίπεδο ανάλυσης όπου πραγματοποιούνται οι σχετικές διεργασίες χωρικής ανάλυσης και η εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης, με βασική συνιστώσα την τεχνικογεωλογική γνώση που αποκτήθηκε στο προηγούμενο επίπεδο ανάλυσης. Αποτέλεσμα των διεργασιών του επιπέδου αυτού αποτελεί η εκτίμηση των δεικτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας για την περιοχή έρευνας.
- Δ' επίπεδο ανάλυσης: Αποτελεί το επίπεδο ανάλυσης όπου διαμορφώνονται τα σενάρια διαχείρισης του κινδύνου συναξιολογώντας τις επιπτώσεις που αφορούν τις κοινότητες, το οδικό δίκτυο και τις χρήσεις γης. Αποτέλεσμα του επιπέδου αυτού η παραγωγή του χάρτη διακινδύνευσης καθώς και η διαμόρφωση πλάνου προληπτικών μέτρων μετρίασης του κινδύνου για την περιοχή έρευνας.

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφονται αναλυτικά τα στάδια της ακολουθητέας μεθοδολογίας.



Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης.

1.3.1 Α' επίπεδο ανάλυσης: Συλλογή της υπάρχουσας Ελληνικής και Διεθνούς βιβλιογραφίας

<u>Α1 Φάση: Συλλογή και ανασκόπηση μελετών και βιβλιογραφίας σχετική με την περιοχή</u> μελέτης

Σε πρώτη φάση, η έρευνα ξεκίνησε με τη συλλογή επιστημονικών μελετών, άρθρων, ανακοινώσεων από συνέδρια και περιοδικά, από βιβλιοθήκες πανεπιστημιακών και δημόσιων ιδρυμάτων (Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ε.Μ.Π., Ι.Γ.Μ.Ε., Κ.Ε.Δ.Ε., Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Εύβοιας κ.α.), τα οποία αφορούν στην περιοχή έρευνας. Το υλικό που συγκεντρώθηκε, αποδελτιώθηκε, μελετήθηκε και αρχειοθετήθηκε και διαπιστώθηκαν τα πρώτα συμπεράσματα σχετικά με τη γεωλογική διάρθρωση της περιοχής μελέτης, τη γεωτεκτονική εξέλιξη και τα γεωμορφολογικά στοιχεία.

<u>Α2 Φάση: Συλλογή βιβλιογραφίας σχετική με το γνωστικό αντικείμενο της Τεχνικής</u> Γεωλογίας

Σε δεύτερη φάση, συγκεντρώθηκε η γενική βιβλιογραφία που αφορά στο γνωστικό αντικείμενο της Τεχνικής Γεωλογίας, για την πλήρη εξοικείωση με το αντικείμενο της διατριβής.

Στη φάση αυτή, μελετήθηκαν επιστημονικές εργασίες, άρθρα και ανακοινώσεις καθώς και μελέτες που αφορούν στις φυσικές ιδιότητες των προς μελέτη γεωλογικών σχηματισμών, σε εργαστηριακές δοκιμές και πειράματα πάνω σε θέματα διάβρωσης και αλληλεπίδρασής της με την ορυκτολογική σύσταση και δομή των πετρωμάτων και ότι άλλο αφορά άμεσα ή έμμεσα στο υπό μελέτη θέμα. Στη συνέχεια, τα στοιχεία αποδελτιώθηκαν και ιεραρχήθηκαν ανάλογα με το βαθμό αξιοπιστίας τους, ώστε να δοθεί μια πληρέστερη εικόνα της διεθνούς σχετικής εμπειρίας που αφορά στη φύση του προβλήματος που εξετάζεται.

<u>Α3 Φάση: Συλλογή βιβλιογραφίας σχετική με το γνωστικό αντικείμενο της Χωρικής</u> Ανάλυσης και των μοντέλων πρόβλεψης καθώς και συστημάτων διαχείρισης κινδύνου

Παράλληλα με τη δεύτερη φάση, συγκεντρώθηκε η γενική βιβλιογραφία σε ότι αφορά στο γνωστικό αντικείμενο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.) και των τεχνικών και μεθόδων που επιτρέπουν την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, επικινδυνότητας και διακινδύνευσης. Μελετήθηκαν εκτενώς επιστημονικές εργασίες, άρθρα και ανακοινώσεις καθώς και μελέτες, ενώ εκτιμήθηκαν σε πρώτη φάση οι προγνωστικές μεταβλητές που θα απαιτηθούν καθώς και η πηγή απόκτησης των χαρτογραφικών προϊόντων.

Α4 Φάση: Συγκέντρωση στοιχείων από δημόσιες υπηρεσίες

Σε αυτή τη φάση, έγινε συλλογή όλων των κλιματολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων (ύψος βροχής, θερμοκρασία, ανεμολογικά στοιχεία) από τις αρμόδιες υπηρεσίες της Ε.Μ.Υ, της ΕΛ.ΣΤΑΤ. (πρώην ΕΣΥΕ) και του ΥΠ.Ε.ΧΩ.Δ.Ε. που αφορούν στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Ακολούθησε η συλλογή και μελέτη των χαρτών (τοπογραφικών και γεωλογικών) σε κλίμακα 1/50.000 και 1/500.000 καθώς και αεροφωτογραφιών που εντάσσεται η περιοχή μελέτης, από την Γ.Υ.Σ, το Ι.Γ.Μ.Ε και τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Εύβοιας (ΝΑΕ – Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών) καθώς και η απόκτηση του ψηφιακού υποβάθρου για την περιοχή έρευνας από την Κτηματολόγιο Α.Ε. Στοιχεία σχετικά με την παλαιά μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή έρευνας ζητήθηκαν από το ΥΠ.Ε.Κ.Α/Επιθεώρηση Μεταλλείων Νοτ. Ελλάδος, αλλά δέν κατέστη δυνατή η συγκέντρωσή τους.

1.3.2 Β' επίπεδο ανάλυσης: Α. Εργασίες υπαίθρου

<u> ΒΑΙ Φάση: Γεωλογική – Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση – Καταγραφή κατολισθήσεων</u>

Η έρευνα των εργασιών υπαίθρου ξεκίνησε με την πραγματοποίηση τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης υπαίθρου, καθώς και με την αναγνώριση και καταγραφή συμπληρωματικών πληροφοριών (φωτογραφίες, σκαριφήματα, μετρήσεις γεωμετρικών στοιχείων κ.α.). Παράλληλα, έγινε η καταγραφή των θέσεων γεωλογικών αστοχιών καθώς και θέσεων που επρόκειτο να αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας, με σκοπό την συλλογή πρωτογενών στοιχείων.

Για την πληρέστερη μελέτη της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών της περιοχής έρευνας, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον επισκέψεις υπαίθρου και χαρτογραφήθηκαν οι περιοχές στις οποίες εκδηλώθηκαν κατολισθητικά φαινόμενα. Γενικά, η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση στην περιοχή του δήμου Κύμης έγινε σε τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1:25.000. Καταβλήθηκε προσπάθεια έτσι ώστε η τεχνικογεωλογική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών, να ανταποκρίνεται στη διεθνή πρακτική θεώρηση, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί μέχρι σήμερα. Πρόκειται για τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση, που έγινε με σκοπό να παράσχει πληροφορίες που καλύπτουν πολλά αντικείμενα τεχνικογεωλογικό χαρακτήρα, όπως αυτός που προκύπτει από τη γεωδυναμική – γεωμορφολογική εξέλιξη του χώρου και τους φυσικομηχανικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή.

Έχοντας ολοκληρώσει την χαρτογράφηση υπαίθρου, οι χάρτες που προέκυψαν αποτέλεσαν και τη βάση για την αναπαράσταση της τεχνικογεωλογικής πληροφορίας και των άλλων χωρικών δεδομένων, με τη χρήση των Γ.Σ.Π. με σκοπό τη δημιουργία ψηφιακού χάρτη σε επόμενο στάδιο της έρευνας.

<u>ΒΑ2 Φάση: Συλλογή, διατήρηση και επεξεργασία δειγμάτων</u>

Η διαδικασία ξεκίνησε με τη σύνταξη λεπτομερούς προγράμματος δειγματοληψίας των μαλακών βραχωδών σχηματισμών (Νεογενή ιζήματα) από συγκεκριμένες περιοχές ενδιαφέροντος που εντοπίστηκαν στην προηγούμενη φάση ως οι πιο πιθανές θέσεις για να αποτελέσουν αντικείμενο έρευνας, δίνοντας έμφαση στη φυσική κατάσταση, την πιθανή μεταβολή αυτής σε αλλαγές των κλιματολογικών συνθηκών, αλλά και την εν γένει μακροσκοπική διαφοροποίηση των λιθοφάσεων στη δράση των διαβρωτικών παραγόντων. Η μόρφωση, κοπή και προστασία των δοκιμίων αφορούσε στη διατήρηση των δειγμάτων σε αδιατάρακτη κατά το δυνατόν κατάσταση μέχρι το χρόνο εκτέλεσης των αναγκαίων δοκιμών στο εργαστήριο.

1.3.3 Β' επίπεδο ανάλυσης: Β. Εργαστηριακές δοκιμές

<u>BB1 Φάση: Ορυκτολογικές αναλύσεις</u>

Η φάση αυτή του Β' επιπέδου ανάλυσης περιελάμβανε την εκτέλεση των αναγκαίων για την έρευνα εργαστηριακών δοκιμών με σκοπό τον προσδιορισμό της ορυκτολογικής σύστασης των δειγμάτων.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε αρχικά ανάλυση των πετρογενετικών ορυκτών με τη χρήση περιθλασιμετρίας των ακτίνων X RÖNTGEN (XRD), αλλά και της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (DTA) ή/και της θερμοβαρυτομετρικής μεθόδου (TGA) και της διαφορικής θερμοβαρυτομετρικής μεθόδου (DTG), εφόσον κάτι τέτοιο ήταν απαραίτητο, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ΄΄ταυτοποίηση΄΄ (εξακρίβωση) των ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων, καθώς επίσης και η περιεκτικότητα σε διάφορα στοιχεία.

- Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε, για την ορυκτολογική εξέταση των δειγμάτων με ακτίνες Χ, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Bragg-Brentano, με περιθλασίμετρο τύπου Siemens D-5000, με τις ακόλουθες συνθήκες λειτουργίας: ακτινοβολία CuKa (λ=1.5405 Å), φίλτρο Ni, ένταση 30 mA και τάση 40 kV.
- Από τις Θερμικές μεθόδους, χρησιμοποιήθηκαν η Θερμοβαρυμετρία (*Thermogravimetric Analyis-TGA*), η Διαφορική θερμοβαρυμετρική ανάλυση (*Derivative Thermogravimetry-DTG*) και η Διαφορική θερμική ανάλυση (*Differential Thermal Analysis-DTA*).
- Για τον ορυκτολογικό προσδιορισμό των μη αργιλικών ορυκτών και την περιγραφή του ιστού των εδαφικών σχηματισμών προετοιμάστηκαν λεπτές τομές, των οποίων η εξέταση έγινε στο πολωτικό μικροσκόπιο. Η εικόνα της μικροδομής ενός εδαφικού υλικού βοηθάει πολλές φορές στην κατανόηση ιδιοτήτων του που μόνο έμμεσα συμπεραίνονται από τις κλασικές εργαστηριακές δοκιμές μπορεί δε κάποιες φορές να ερμηνεύει συμπεριφορές που σε διαφορετική περίπτωση παρουσιάζονται δυσεξήγητες.

<u>BB2 Φάση: Φυσικομηχανικές ιδιότητες</u>

- Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης των υλικών που μελετήθηκαν έγινε σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης εδαφών της ASTM, με μια σειρά κόσκινων διαφορετικών διαμέτρων, χαρακτηριστικών για τη διάκριση των διαφόρων κλασμάτων που περιέχονται στο υλικό που εξετάστηκε. Η διάκριση των κλασμάτων με τη μηχανική μέθοδο των κόσκινων, φτάνει μέχρι τη λεπτόκοκκη άμμο, ενώ το υλικό που διήλθε από το οριακό κόσκινο No 200 (0.075mm), δηλαδή η αργιλοϊλύς, διαχωρίστηκε στις περιπτώσεις που αυτό υπερέβαινε το 12% του συνολικού δείγματος, οπότε και έγινε η διάκριση αργίλου – ιλύος. Σε αυτήν την περίπτωση εφαρμόστηκε η υδραυλική δοκιμή (μέθοδος καθίζησης ή Stokes), η οποία βασίζεται στην ανάλυση με τη χρήση πυκνόμετρού ή και αραιόμετρου.
- Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιήθηκαν σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα και τις προδιαγραφές ASTM, για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης. Προτάθηκαν από τον Atterberg και περιγράφουν την μετάπτωση του εδάφους από την υγρή στην πλαστική και στην συνέχεια στην ημιστερεή και στην στερεή κατάσταση, σύμφωνα με τα ποσοστά της περιεχόμενης υγρασίας. Δείχνουν τη συμπεριφορά ενός εδάφους ανάλογα με την μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας και καταδεικνύουν αν κάποιο έδαφος είναι ευαίσθητο στις μεταβολές της υγρασίας.
- Τα όρια υδαρότητας και πλαστικότητας χρησιμοποιούνται διεθνώς για την αναγνώριση και κατάταξη των εδαφών με βάση το διάγραμμα Casagrande και σε συνδυασμό με την μέθοδο της κοκκομετρικής ανάλυσης σύμφωνα πάντα με τις προδιαγραφές ASTM.
- Επίσης, στα συλλεχθέντα δείγματα, έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία, πραγματοποιήθηκαν δοκιμές διαβρωσιμότητας SDT (*Slake Durability Test*) σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα.
- Η συμπιεστότητα του εδαφικού υλικού προσδιορίστηκε με τη δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης. Με τη μέθοδο αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπιεστότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, ενώ φορτίζεται και στραγγίζεται αξονικά (ASTM D-2435/80). Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων.
- Η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους προσδιορίστηκε με τη δοκιμή άμεσης διάτμησης. Στη δοκιμή αυτή το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια, την επιφάνεια διάτμησης και μετριέται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με τη μεταβολή της ορθής τάσης, που εφαρμόζεται

κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

- Κατά την εκπόνηση των εργαστηριακών δοκιμών, η διαδικασία της τριαξονικής δοκιμής εκτελέστηκε σε τέσσερα παρόμοια δοκίμια από το ίδιο έδαφος με διαφορετικές πλευρικές πιέσεις κελιού (100KPa, 200 KPa και 400 KPa). Οι δοκιμές εκτελέσθηκαν χωρίς στράγγιση, με στερεοποίηση όμως των δοκιμίων και ταυτόχρονη μέτρηση της πίεσης των πόρων (δοκιμές CUPP), ενώ σε ένα δείγμα έγινε χωρίς στερεοποίηση και στράγγιση των δοκιμίων (δοκιμές UU). Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσεως τάσης παραμόρφωσης των εδαφών. Είναι η πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της συμπεριφοράς του εδάφους που υπόκειται σε εντατικές καταστάσεις.
- Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών, προκειμένου να επιτευχθεί ταχύς προσδιορισμός της ανεμπόδιστης αντοχής σε θλίψη συνεκτικού εδάφους, αδιατάρακτου ή αναζυμωμένου δείγματος, πραγματοποιήθηκε η δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης. Η μέθοδος αφορά στον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου δείγματος συνεκτικού εδάφους κατά την εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πιέσεως. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή στα μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων. Η αντοχή βραχώδους πετρώματος προσδιορίστηκε με την αντοχή σε μοναζονική θλίψη ακέραιου πετρώματος, χωρίς δηλαδή την άσκηση πλευρικής πίεσης και αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση που επιβάλλεται στο βραγώδες υλικό μέγρι τη θραύση του.
- Η αντοχή των πετρωμάτων υπολογίστηκε και με τη μέθοδο σημειακής φόρτισης (Point Load Test), υπολογίζοντας τον δείκτη σημειακής φόρτισης (I_{s50}), ο οποίος οδηγεί σε έμμεσο υπολογισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (ISRM, 1985). Η δοκιμή σημειακής φόρτισης έχει σαν σκοπό την ταξινόμηση του ακέραιου πετρώματος από πλευράς αντοχής, καθώς και τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.
- Ο έμμεσος προσδιορισμός της εφελκυστικής αντοχής του πετρώματος προσδιορίστηκε με τη δοκιμή φόρτισης κατά Γενέτειρα (*Brazilian Test*). Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τον έμμεσο προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής σt του πετρώματος.

<u>BB3 Φάση: Συσχέτιση εργαστηριακών αποτελεσμάτων</u>

Λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που συμμετέχουν στον καθορισμό της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και τα αποτελέσματα από τον ορυκτολογικό προσδιορισμό, συσχετίστηκαν τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν για τα δείγματα που μελετήθηκαν.

1.3.4 Γ' επίπεδο ανάλυσης. Δημιουργία μοντέλου κατολισθητικής επιδεκτικότητας

<u>ΓΙ Φάση: Ψηφιοποίηση χαρτών</u>

Έχοντας ολοκληρώσει τη χαρτογράφηση υπαίθρου, οι χάρτες που προέκυψαν από τις εργασίες που πραγματοποιήθηκαν στην ύπαιθρο, όπως προαναφέρθηκε στο δεύτερο στάδιο έρευνας, ψηφιοποιήθηκαν με τη χρήση λογισμικού των Γ.Σ.Π.

Πραγματοποιήθηκε αρχικά προεργασία, η οποία αφορούσε στη σάρωση των αδιάσταλτων διαφανειών που περιείχαν γεωλογικά στοιχεία καθώς και των έγχρωμων γεωλογικών χαρτών. Ακολούθησε η γεωαναφορά των σαρωμένων εικόνων, στο Ελληνικό Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87, με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS 9.3 και ο έλεγχος προσαρμογής της κάθε σαρωμένης εικόνας ως προς το ψηφιακό τοπογραφικό υπόβαθρο της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ.).

Στη συνέχεια ψηφιοποιήθηκαν τα γεωλογικά στοιχεία που αποτυπώνονται στο χάρτη και που αφορούσαν σε σημειακές, γραμμικές και επιφανειακές οντότητες, ενώ χρειάστηκε να γίνει και ένωση γειτονικών φύλλων (*edge matching*).

Η εισαγωγή περιγραφικών πληροφοριών για κάθε θεματικό επίπεδο έγινε με τη σχεδίαση μιας ενιαίας γεωλογικής βάσης δεδομένων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 9.3, όπου όλες οι γεωπληροφορίες αποθηκεύονταν σε ομάδες οντοτήτων με κοινή γεωμετρία (*feature classes*) και ομαδοποιούνταν θεματικά σε σύνολα ομάδων οντοτήτων (*feature datasets*). Στη φάση αυτή αποκτήθηκαν και ψηφιοποιήθηκαν δεδομένα που αφορούσαν τις χρήσεις γης και το οδικό δίκτυο της περιοχής έρευνας.

Γ2 Φάση: Μορφολογική και υδρολογική Ανάλυση

Στη φάση αυτή διαμορφώθηκε το σχετικό Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρου από δεδομένα της *ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.* και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μορφολογική και υδρογραφική ανάλυση από όπου παρήχθησαν:

- χάρτης υψομέτρου, χάρτης μορφολογικών κλίσεων, χάρτης διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων, καμπυλότητας πρανών και τοπογραφικού δείκτη υγρασίας.
- διαμόρφωση χάρτου όπου αποτυπώνονται οι γεωμορφές για την περιοχή έρευνας

Γ3 Φάση: Χωρική Στατιστική Ανάλυση

Στη συνέχεια τα Γ.Σ.Π., χρησιμοποιήθηκαν για την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των διανυσματικών και πλεγματικών αρχείων που διαμορφώθηκαν. Πιο συγκεκριμένα στη φάση αυτή πραγματοποιήθηκαν:

- χωρική ανάλυση,
- στατιστική επεξεργασία των Θεματικών Επιπέδων Πληροφορίας που αφορούν στα διαθέσιμα δεδομένα.

<u>Γ4 Φάση: Χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας με εφαρμογή της μεθόδου Weight of</u> <u>Evidence</u>

Στη φάση αυτή επιλέγονται οι προγνωστικές μεταβλητές που θα αποτελέσουν τα βασικά δεδομένα για τη δημιουργία του μοντέλου πρόβλεψης και τη διαμόρφωση του χάρτη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με εφαρμογή της μεθόδου *Weight of Evidence*. Η διαδικασία περιλαμβάνει την εισαγωγή των απαραίτητων Θεματικών Επιπέδων Πληροφορίας στο σύστημα των Γ.Σ.Π., και την εκτέλεση σχετικής χωρικής ανάλυσης.

1.3.5 Δ' επίπεδο ανάλυσης. Εναλλακτικά σενάρια και διαμόρφωση προληπτικών μέτρων μετρίασης κινδύνου

<u>Δ1 Φάση: Εκτίμηση στοιχείων σε διακινδύνευση και ποιοτικός χαρακτηρισμός των</u> <u>επιπτώσεων</u>

Στη φάση αυτή αναγνωρίστηκαν τα στοιχεία σε διακινδύνευση και πραγματοποιήθηκε ποιοτικός χαρακτηρισμός ως προς τις επιπτώσεις που θα έχει η εκδήλωση μιας αστοχίας σε αυτά τα στοιχεία. Ως στοιχεία σε διακινδύνευση θεωρούνται οι κοινότητες, το οδικό δίκτυο και οι χρήσεις γης.

<u>Δ2 Φάση: Δημιουργία τελικού χάρτη διακινδύνευσης – Μέτρα αντιμετώπισης</u>

Στη φάση αυτή δημιουργείται ο τελικός χάρτης διακινδύνευσης, συνεκτιμώντας τους χάρτες επιδεκτικότητας και τους χάρτες επιπτώσεων ως προς τα στοιχεία σε διακινδύνευση. Επί του χάρτου διακινδύνευσης εντοπίζονται οι περιοχές προτεραιότητας και προτείνονται μέτρα πρόληψης και μετρίασης του κινδύνου για αυτές τις περιοχές.

1.4 Επιστημονική πρωτοτυπία της διατριβής

Η επιστημονική πρωτοτυπία της παρούσης διατριβής αξιολογείται με βάση δυο βασικούς άξονες: (α) τη διενεργηθείσα ερευνητική εργασία και (β) τη διαμόρφωση πρωτότυπης σκέψης που αφορούσε στην αποτίμηση του κατολισθητικού κινδύνου στην περιοχή έρευνας.

Συγκεκριμένα, ως προς τη διενεργηθείσα ερευνητική εργασία, αυτή περιέλάμβανε δυο κύριες διεργασίες:

- Αποτυπώση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής Κύμης - Ευβοίας και ιδιαίτερα των μαργαϊκών σχηματισμών όπου διαχωρίστηκαν και χαρτογραφήθηκαν λεπτομερώς σε δύο διακριτές λιθολογικές ενότητες, την "Ανώτερη" και την "Κατώτερη".
- 2. Διερεύνηση και αποτύπωση της ποιοτικής και ποσοτικής συσχέτισης των ορυκτολογικών και πετρογραφικών χαρακτηριστικών με τις φυσικομηχανικές ιδιότητες των μαργών.

Ως προς τη διαμόρφωση πρωτότυπης εργασίας, πραγματοποιήθηκαν δυο διεργασίες:

- Αρχικά αναπτύχθηκε το εννοιολογικό γεωλογικό μοντέλο της περιοχής έρευνας, όπου περιγράφεται η συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών, λαμβάνοντας υπόψη μικροσκοπικής και μακροσκοπικής κλίμακας παραμέτρους.
- 2. Η δεύτερη διεργασία περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης και η ενσωμάτωση του εννοιολογικού γεωλογικού μοντέλου της περιοχής έρευνας εντός αυτού. Μέσα από την εφαρμογή του μοντέλου επιχειρείται η προσομοίωση των μεταβλητών που επιδρούν στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των μαργών της περιοχής Κύμης και που στόχο έχει την αποτίμηση των γεωλογικών κινδύνων. Ο στόχος της διεργασίας αυτής είναι η αξιοποίηση αυτής της πληροφορίας και η θεώρησή της ως εργαλείο για λήψη αποφάσεων σε αστικό και περιφερειακό επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2:

ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΙ ΒΡΑΧΟΙ ΚΑΙ Η ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΤΟΥΣ

Εισαγωγικά στοιχεία

Συστήματα ταξινόμησης σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων

Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί και η συμπεριφορά τους στα τεχνικά έργα



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΣΚΛΗΡΑ ΕΔΑΦΗ – ΜΑΛΑΚΟΙ ΒΡΑΧΟΙ ΚΑΙ Η</u> <u>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥΣ</u>

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται γενικά στοιχεία σχετικά με τη συμπεριφορά των σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων» όπως είναι οι μάργες που εξετάζονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, τα συστήματα ταξινόμησης αυτών καθώς και τα προβλήματα και η συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών στα τεχνικά έργα. Η κατηγορία αυτή, εξαιτίας κάποιων ιδιαίτερων χαρακτηριστικών που θα αναλυθούν παρακάτω, δημιουργεί σημαντικά προβλήματα κατά την κατασκευή τεχνικών έργων και τη λειτουργία αυτών και οι σχηματισμοί που την απαρτίζουν χρήζουν ιδιαίτερης προσέγγισης.

2.1 Εισαγωγικά στοιχεία

Κατά τη φάση σχεδιασμού ενός οποιουδήποτε τεχνικού έργου, η επιλογή της προσέγγισης με την οποία θα εκτιμηθούν οι βασικές παράμετροι σχεδιασμού είναι ουσιώδης. Η επιλογή αφορά στην εξέταση του υλικού με βάση τις αρχές και τους κανόνες της Εδαφομηχανικής ή της Βραχομηχανικής. Συνήθης πρακτική είναι η αντιμετώπιση των σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των «σκληρών εδαφών - μαλακών βράχων», ως περιπτώσεις που βρίσκονται ανάμεσα στις κατηγορίες εδαφών και βράχων, προσδίδοντας σε αυτούς χαρακτηριστικά και των δυο κατηγοριών (Morgenstern & Eigenbrod, 1974).

Από τους πρώτους που εντόπισαν την προβληματική αυτή προσέγγιση ήταν οι *Terzaghi & Peck* (1967), οι οποίοι αντιλήφθηκαν ότι, ο ακριβής προσδιορισμός και η κατάταξη ενός σχηματισμού στη κατηγορία των εδαφών ή των βράχων και η επιλογή της προσέγγισης που θα μελετηθεί, δεν είναι πάντοτε εύκολη υπόθεση. Οι δυο βασικές προσεγγίσεις/πρακτικές διερεύνησης των σχηματισμών, η εδαφομηχανική και η βραχομηχανική, χρησιμοποιούν διαφορετικές και πολλές φορές αντίθετες τεχνικές και μεθόδους διερεύνησης, ταξινόμησης, ελέγχου, ερμηνείας και προσομοίωσης. Η διαφορετικότητα αυτή στις προσεγγίσεις διαμορφώνει ανάλογα με την επιλογή και την όλη διαδικασία έρευνας και το τελικό αποτέλεσμα.

Υπάρχουν γεωλογικοί σχηματισμοί οι οποίοι θα μπορούσαν να καταταχθούν και στις δυο κατηγορίες και η συμπεριφορά τους να προσδιοριστεί ακολουθώντας χαρακτηριστικά και των δυο κατηγοριών. Οι *Terzaghi & Peck* ισχυρίστηκαν ότι η υποκειμενικότητα που χαρακτηρίζει τα επίθετα *ισχυρές* και μόνιμες, τα οποία περιγράφουν τις δυνάμεις που επιδρούν σε σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται ως βράχοι, κάνει ασαφή τα όρια μεταξύ εδαφών και βράχων. Οι ίδιοι ερευνητές, θέλοντας να ποσοτικοποιήσουν την προσέγγιση αυτή, προσδιόρισαν τα σκληρά εδάφη ως αυτά που χαρακτηρίζονται από αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μεγαλύτερη των 400 KPa.

Η αδυναμία προσδιορισμού και κατάταξης των σχηματισμών αυτών φάνηκε να αγνοείται στο παρελθόν από την επιστημονική κοινότητα, εξαιτίας του γεγονότος ότι, συγκριτικά με σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται ως μαλακά εδάφη, παρουσιάζουν καλύτερη γεωτεχνική συμπεριφορά. Καλύτερη συμπεριφορά αποδίδεται στη στιφρή φύση των υλικών και στις σχετικές τιμές αντοχής, παράμετροι που ικανοποιούν τις σχεδιαστικές απαιτήσεις των περισσότερων συμβατικών τεχνικών έργων (Kavvadas, 2000).

Ωστόσο, τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον από την επιστημονική κοινότητα για τη μελέτη των σχηματισμών αυτών, εξαιτίας της αυξανόμενης ανάγκης κατασκευής τεχνικών έργων με υψηλές απαιτήσεις σχεδιασμού που εδράζονται σε τέτοιους σχηματισμούς.

Αναζητώντας βιβλιογραφικά στοιχεία σε ότι αφορά την κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, αντιλαμβάνεται κανείς ότι, η ακριβής εκτίμηση των χαρακτηριστικών που προσδιορίζουν την κατηγορία αυτή, εμπεριέχει μεγάλη υποκειμενικότητα και συνεπώς υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και ασάφειας.

Αρχικά διαπιστώνεται ότι, ανάμεσα στα μέλη της επιστημονικής κοινότητας υπήρχαν διαφορετικές προσεγγίσεις επί του θέματος. Χαρακτηριστική περίπτωση ερευνητού είναι ο *Vaughan* (1993), ο οποίος επισημαίνει την αστοχία κάθε προσπάθειας κατάταξης των σχηματισμών σε οποιαδήποτε κατηγορία, θεωρώντας ότι κάθε υποδιαίρεση είναι αυθαίρετη και δεν βοηθά στην επίλυση των ενδεχόμενων προβλημάτων. Εκείνο που παραθέτει είναι ότι, θα πρέπει να εκτιμηθούν οι κοινοί χαρακτήρες και τα χαρακτηριστικά που επιδρούν στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και να ποσοστικοποιηθούν με βάση ένα κοινό πλαίσιο ταξινόμησης, ώστε να προκύψει αναλογική μελέτη του κάθε σχηματισμού.

Στην ίδια κατεύθυνση ήταν και οι προσπάθειες των Johnston & Novello (1993), οι οποίοι θεωρούν ότι οι σχηματισμοί που χαρακτηρίζονται ως σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι αποτελούν στην ουσία μια ενδιάμεση κατηγορία σχηματισμών του ίδιου γεωυλικού, που χαρακτηρίζεται από μια συνεχή διαβάθμιση (από τις μαλακές αργίλους έως τους σκληρούς βράχους).

Σε περαιτέρω μελέτη του προβλήματος διαπιστώθηκε μια άλλη διάσταση που αφορά στη διαφοροποίηση των ερευνητών ως προς τη χρήση των όρων μαλακός και ασθενής για τα εδάφη και τους βράχους. Πολλοί συγγραφείς και ερευνητές υποστηρίζουν ότι ο όρος μαλακός βράχος δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως συνώνυμος του όρου ασθενής, καθώς ο όρος μαλακός βράχος περιγράφει πολύ μικρής συνεκτικότητας βράχο και δεν αντιπροσωπεύει άλλες ομάδες, όπως είναι τα πολύ αποσαθρωμένα εκρηξιγενή πετρώματα (Κούκη, 2006).

Χαρακτηριστικά αναφέρεται η διαφοροποίηση που πραγματοποιεί στις δυο έννοιες μαλακός και ασθενής στους βράχους ο *Marinos* (1993). Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα, ο όρος μαλακός χαρακτηρίζει βράχους με μικρή αντοχή που οφείλεται στη ίδια τη φύση του σχηματισμού, ενώ ο όρος ασθενής θα πρέπει να θεωρείται ευρύτερος και να περιλαμβάνει τους σχηματισμούς που παρουσιάζουν ατέλειες δευτερογενούς χαρακτήρα, λόγω π.χ. δευτερογενών τεκτονικών επιδράσεων ή ύπαρξης ζωνών διάτμησης.

2.2 Συστήματα ταξινόμησης σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων

Οι μεγάλες διαφοροποιήσεις στις φυσικές και μηχανικές παραμέτρους που παρουσιάζουν οι σχηματισμοί της κατηγορίας των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, έκαναν επιτακτική την ανάγκη για τη διαμόρφωση συστημάτων ταξινόμησης. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Γενικά Συστήματα που βασίζονται κυρίως σε ποιοτικά δεδομένα και πληροφορίες
 και αναπτύχθηκαν από γεωλόγους και εμπειρικούς επιστήμονες.
- Γενικά Συστήματα που βασίζονται σε ποσοτικά δεδομένα και πληροφορίες και αναπτύχθηκαν για χρήση από μηχανικούς.
- Ειδικά Συστήματα που αναπτύσσονται για χρήση σε συγκεκριμένη περιοχή έρευνας
 και μπορεί να εμπεριέχουν στοιχεία και από τις δυο προηγούμενες κατηγορίες.

Χαρακτηριστικές περιπτώσεις της πρώτης κατηγορίας αποτελούν οι ταξινομήσεις των Deere et al. (1986), Hatheway (1990) και Akai (1993). Οι Deere et al. (1986), στηριζόμενοι στο είδος και τη σύστασή των σχηματισμών, υποστηρίζουν ότι τα ιζηματογενή πετρώματα που ανήκουν στην κατηγορία σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, περιλαμβάνουν τους ιλυόλιθους, τους αργιλικούς σχιστόλιθους, τους εύθρυπτους ψαμμίτες, τις κιμωλίες, τις μάργες, το ορυκτό αλάτι, τις γύψους και τους ορυκτούς άνθρακες. Σε ότι αφορά τα εκρηξιγενή πετρώματα, κατατάσσουν στην κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, τους τόφφους, τα κροκαλοπαγή ηφαιστειογενούς προέλευσης καθώς και τις ροές λατυποπαγών που χαρακτηρίζονται από μη συνεκτική κατάσταση και από τα μεταμορφωμένα πετρώματα, τους σχιστόλιθους και τους φυλλίτες που περιέχουν αυξημένο ποσοστό χλωρίτη, σερικίτη και τάλκη και παράλληλα μειωμένο ποσοστό αστρίων, χαλαζία και αμφιβόλων.

Στην ίδια κατηγορία συστημάτων ανήκει και η κατάταξη που προτείνει ο *Hatheway* (1990), ο οποίος τοποθετεί στην κατηγορία σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων τους εξής σχηματισμούς:

- Βράχους της Κρητιδικής ή νεότερης περιόδου που εξαιτίας ιδιαίτερων συνθηκών περιβάλλοντος δεν ολοκληρώθηκαν οι διαδικασίες της πετρογένεσης ή της διαγένεσης (αφορά σε περιβάλλοντα εκτός του Ελλαδικού χώρου).
- Μάργες του Περμίου ή και νεότερης περιόδου, κιμωλία και άλλοι ανθρακικοί βράχοι με υψηλά ποσοστά αργίλου.
- Ιλυόλιθους (mudstones) και αργιλόλιθους (claystones) με μικρή ή καθόλου συνεκτικότητα, στους οποίους διαπιστώνεται πετρογένεση εξαιτίας διαδικασιών στερεοποίησης.
- Ενστρώσεις αργιλικού σχιστολίθου (shale) και ιλυολίθου θαλάσσιας τουρβιδικής προέλευσης που εντοπίζονται στους σχηματισμούς του φλύσχη.
- Βράχους με προέλευση οργανικής απόθεσης, πλούσιους σε θειικά ορυκτά, ασβεστίου, σιδήρου ή μαγνησίου, οι οποίοι εμφανίζουν την τάση για διόγκωση καθώς και αποσύνθεση των δεσμών που υπάρχουν μεταξύ των ορυκτών.
- Ιζηματογενείς βράχους που παρουσιάζουν υψηλά ποσοστά αργίλου και έχουν υποστεί θερμική εξαλλοίωση.
- Ιζηματογενή πετρώματα που δεν παρουσιάζουν ορυκτά συγκόλλησης, εξαιτίας φαινομένων διάλυσης ή διαδικασιών ανταλλαγής.
- Σχηματισμούς με υψηλό ποσοστό χλωρίτη που παρουσιάζουν υψηλή τάση για διόγκωση.
- Βράχους με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο ή ιλύ καθώς και παρουσία εκτεταμένων ασυνέχειων.
- Ηφαιστειογενή κλαστικά πετρώματα με δυσμενείς συνδυασμούς από άργιλο, πυροκλαστικά στρώματα υάλου (ή τα προϊόντα εξαλλοίωσης αυτών) και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά, που έχουν την τάση να αποσυντίθενται ή να οξειδώνονται.

Ένας ακόμα ερευνητής που προσέγγισε την ταξινόμηση των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων ήταν και ο Akai (1993), ο οποίος εντάσσει στην κατηγορία αυτή τα ιζηματογενή εξαλλοιωμένα ή αποσαθρωμένα πετρώματα. Αναφέρει χαρακτηριστικά παραδείγματα σχηματισμών, όπως είναι οι ιλυόλιθοι, οι αργιλόλιθοι, οι ψαμμίτες και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι. Επισημαίνει ότι, οι σχηματισμοί αυτοί χαρακτηρίζονται από μη επαρκή στερεοποίηση, διαδικασίες διαγένεσης ή ασθενή μεταμόρφωση, ενώ η διεργασία της συγκόλλησης (cementation) ενεργοποιείται κατά τη διαδικασία της πετρογένεσης (lithification), χωρίς ωστόσο να ολοκληρώνεται. Οι συγκολλητικοί παράγοντες και τα περιεχόμενα αργιλικά ορυκτά συχνά επηρεάζονται από χημικές αντιδράσεις και επιδρούν στη δομή του πετρώματος προκαλώντας την κατάρρευση του. Από την άλλη, ή διεργασία της αποσάθρωσης εξασθενίζει τα σκληρά πετρώματα σε ποικίλη έκταση και τα φυσικά – μηχανικά χαρακτηριστικά αποσαθρωμένου μαλακού βράχου διαφοροποιούνται πολύ

σημαντικά με τον τύπο του συγκολλητικού υλικού (θεμελιώδους μάζας) και το βαθμό αποσάθρωσης.

Στην δεύτερη κατηγορία των συστημάτων ταξινόμησης, διακρίνονται συστήματα που βασίζονται σε δείκτες αντοχής. Σημαντικότερες εξ' αυτών είναι η κατάταξη της ISRM, η κατάταξή που ακολουθεί τα *British Standards*, καθώς και οι ταξινομήσεις ανεξάρτητων ερευνητών.

Η πρώτη προσέγγιση αποτελεί αυτή της *ISRM* (1981), σύμφωνα με την οποία, τα εξαιρετικά χαμηλής αντοχής πετρώματα χαρακτηρίζονται από αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη που κυμαίνεται από 0.25 Mpa έως 1 Mpa, τα πολύ χαμηλής αντοχής και χαμηλής αντοχής πετρώματα από 1 Mpa έως 25 Mpa, και τα πετρώματα μέσης αντοχής έως εξαιρετικά υψηλής αντοχής από 25 έως >250 Mpa.

Σε ότι αφορά τα συνεκτικά εδάφη, ως πολύ μαλακές άργιλοι χαρακτηρίζονται τα εδάφη με αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μικρότερη των 0.025 MPa, ως μαλακές άργιλοι και μέτριες άργιλοι αυτά με αντοχή από 0.025 Mpa έως 0.1 MPa, ως στιφρές άργιλοι και πολύ στιφρές άργιλοι αυτά με αντοχή από 0.1 Mpa έως 0.5 Mpa, ενώ εδάφη με αντοχή μεγαλύτερη από 0.5 MPa χαρακτηρίζονται ως σκληρές άργιλοι, με αντοχή 0.5 MPa έως 25 MPa.

Συνεπώς, με βάση την κατάταξη της ISRM, η κατηγορία των «σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων» περιλαμβάνει βράχους που ανήκουν στην κατηγορία πολύ χαμηλής αντοχής και χαμηλής αντοχής πέτρωματα και εδάφη που ανήκουν στην κατηγορία σκληρές άργιλοι.

Σύμφωνα με τα British Standards (BS 5930:1981), η κατάταξη των σχηματισμών πραγματοποιείται και εδώ με δείκτες αντοχής, ωστόσο διαφοροποιούνται ανάλογα με το υλικό που εξετάζουν και συγκεκριμένα βασίζονται στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη για τον χαρακτηρισμό των βραχωδών σχηματισμών καθώς και στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή για τον χαρακτηρισμό των εδαφών.

Στην περίπτωση αυτή προκύπτουν χαρακτηρισμοί, όπως σκληρά ή πολύ στιφρά εδάφη με τα οποία περιγράφονται εδάφη που παρουσιάζουν αστράγγιστη διατμητική αντοχή μεγαλύτερη από 150 Kpa και πολύ μαλακούς βράχους που περιγράφουν βράχους με αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μικρότερη από 1.25 MPa.

Ο *Rocha* (1977) θεωρεί ότι ο χαρακτηρισμός ενός σχηματισμού ως εδάφους ή ως βράχου θα πρέπει να βασίζεται στη συνοχή και την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη. Ως χαρακτηριστικές τιμές για την κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών εδαφών θεωρεί για τη συνοχή την τιμή 0.3 KPa και για την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη την τιμή 2 MPa.

Στην τρίτη κατηγορία υπάρχουν ταξινομήσεις όπως αυτή που πραγματοποιήθηκε από τον King (1981) και αφορούσε αργιλικούς σχηματισμούς (London clay) στην πόλη του Λονδίνου. Η κατηγοριοποίηση αυτή έγινε βασιζόμενη στους κύκλους ιζηματογένεσης, οι οποίοι σχετίζονται με διαφοροποιήσεις στη λιθολογία και την πανίδα των απολιθωμάτων.

2.3 Οι μαργαϊκοι σχηματισμοί και η συμπεριφορά τους στα τεχνικά έργα

Η εκτίμηση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που ανήκουν στην κατηγορία των σκληρών εδαφών – χαλαρών βράχων όπως είναι οι μάργες της Κύμης που εξετάζονται στην παρούσα διδακτορική διατριβή, αποτελεί θέμα ενδιαφέροντος πολλών επιστημόνων, γεωτεχνικών μηχανικών, γεωλόγων και συναφών ειδικοτήτων που ασχολούνται με την επιστήμη της γης, δεδομένου ότι τα πετρώματα αυτά συχνά αποτελούν ένα μεγάλο τμήμα θεμελίωσης πολλών τεχνικών κατασκευών (*Franklin & Chandra, 1972; Blatt, 1982; Dick & Shakoor, 1992*).

Οι μάργες αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία ιζημάτων, η ιδιαιτερότητα των οποίων οφείλεται στο μικτό τους χαρακτήρα, τόσο από ιζηματολογικής όσο και από γεωτεχνικής άποψης. Παρουσιάζουν ανισότροπη συμπεριφορά και συνήθως συντίθενται από μίγμα κλαστικού αργιλικού υλικού και βιοχημικής – χημικής προέλευσης ασβεστιτικού υλικού (Anagnostopoulos et al., 1991; Johnston & Novello, 1993).

Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί είναι γενικά ψαθυροί σε ξηρή κατάσταση, αλλά όταν έρθουν σε επαφή με το νερό γίνονται αρκετά πλαστικοί. Βέβαια, είναι υλικά λιγότερο πλαστικά από τις αργίλους. Έχουν αρκετά προχωρημένο βαθμό διαγένεσης παρουσιάζοντας χαρακτηριστικά καλά συγκολλημένου πετρώματος. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό-κυανότεφρο ως κίτρινο ή καστανό, ανάλογα με το περιβάλλον απόθεσης. Ένα επιπλέον μακροσκοπικό γνώρισμα τους είναι ο αναβρασμός όταν έρθουν σε επαφή με διάλυμα HC1 (λόγω της συμμετοχής του ανθρακικού ασβεστίου), ενώ επίσης κολλούν στα χέρια όταν διαβραχούν.

Ως μάργα οι Barth et al. (1939) περιέγραψαν τα μίγματα ασβεστολιθικού και κλαστικού αργιλικού υλικού. Κατά τον Pettijohn (1975), ο όρος μάργα χρησιμοποιήθηκε αρχικά για να περιγράψει πρασινωπές άμμους, ωστόσο στη συνέχεια ο ορισμός τροποποιήθηκε ώστε να περιλαμβάνει όλα τα εύθρυπτα ανθρακικά γαιώδη υλικά που αποτίθενται ως ιζήματα. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι η παρουσία ανθρακικών ορυκτών.

Ως προς την παρουσία λεπτόκοκκου υλικού στη σύνθεση των μαργαϊκών σχηματισμών, αυτή οφείλεται στο αποτέλεσμα των διεργασιών τριβής και κρούσης από προϋπάρχοντα πετρώματα και αποτελείται κυρίως από κόκκους χαλαζία, αστρίων, μαρμαρυγιών, αμφιβόλων και άλλων πετρογενετικών ορυκτών. Η συχνότητα παρουσίας τους καθώς και το ποσοστό με το οποίο συμμετέχουν εξαρτάται από την ανθεκτικότητα των ορυκτών αυτών στις ενδεχόμενες αποσαθρωτικές διεργασίες (*Τσιαμπάος, 1988*).

Οι Ρόζος & Ηλία (2008) και Ilia et al. (2009) εξετάζοντας λεπτομερείς μαργαϊκες αποθέσεις από την Κεντρική Ελλάδα (Εύβοια και Κορινθιακός κόλπος) μέσω ορυκτολογικών αναλύσεων, δοκιμών ταξινόμησης, σημειακής φόρτισης και αντοχής σε αποσαθρωσιμότητα, διαπίστωσαν ότι οι φυσικές ιδιότητες, η δομή και η ορυκτολογική σύνθεση σχετίζονται ισχυρώς με τις παραμέτρους αντοχής σε αποσαθρωσιμότητα και την αντοχή. Επισημαίνουν την σημασία των ανθρακικών ορυκτών, καθώς η παρουσία τους σε υψηλά ποσοστά δείχνει να επηρεάζει θετικά την αντοχή σε αποσαθρωσιμότητα και τη μηχανική αντοχή τους.

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα που προκύπτει στην προσπάθεια ταξινόμησης των μαργαϊκών σχηματισμών είναι η δυσκολία ένταξης της συμπεριφοράς τους σε γενικευμένους κανόνες, καθώς αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωλογική ιστορία τους και την παρούσα κατάστασή τους. Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα που προκύπτουν από τις εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές συνήθως παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά, δυσκολεύοντας την ορθή και ρεαλιστική εκτίμηση των παραμέτρων σχεδιασμού τους (Dounias et al., 1993).

Οι Sabatakakis et al. (1993) αναλύοντας τους μαλακούς βράχους του Λεκανοπεδίου των Αθηνών καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο προσδιορισμός των φυσικών και των βασικών μηχανικών ιδιοτήτων καθώς και οι συσχετισμοί μεταξύ τους θα πρέπει να θεωρούνται ως χρήσιμα εργαλεία που επιτρέπουν τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των σχηματισμών αυτών. Ωστόσο, επισημαίνουν τη διαφοροποίηση των μηχανικών και φυσικών χαρακτηριστικών από θέση σε θέση, σχολιάζοντας έτσι την ανάγκη επιμέρους εκτιμήσεων πριν την γενίκευση των ενδεχόμενων συσχετίσεων μεταξύ των χαρακτηριστικών.

Σύμφωνα με τον Καβουνίδη (1985), οι μάργες ανήκουν στην κατηγορία των αργιλικών ημιβράχων. Παρουσιάζονται συνήθως ρωγματωμένες, με χαμηλή παραμένουσα αντοχή σε σχέση με τη μέγιστη, μεγάλη ψαθυρότητα με υψηλό βαθμό επικινδυνότητας για προοδευτική αστοχία. Επιπλέον παράγοντες που επηρεάζουν την συμπεριφορά της μάργας και έχουν καταγραφεί μετά από αστοχίες είναι (Καβουνίδης, 1985):

- Το είδος του αργιλικού ορυκτού όπως ο μοντμοριλλονίτης, ο οποίος προκαλεί μεγάλου βαθμού διογκώσεις.
- Ο βαθμός αποσάθρωσης, ο οποίος μειώνει τη συνοχή του πετρώματος με αποτέλεσμα τη διαφοροποίηση της δομής και την επακόλουθη ελάττωση της διατμητικής αντοχής.
- Η απώλεια της υγρασίας, ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες, προκαλεί αύξηση των ενεργών τάσεων. Αποτέλεσμα είναι η δημιουργία των εξαγωνικών δομών ξηρασίας.
- Η προστερεοποίηση λόγω των γεωλογικών διεργασιών και η ιδιότητα των αργιλικών ορυκτών να «καταγράφουν» στις εσωτερικές δομές τους το πεδίο τάσεων που

αποτέθηκαν, έχει ως αποτέλεσμα την πλευρική διόγκωση με την αφαίρεση πλευρικών τάσεων, αφού οι πλευρικές επιτόπου τάσεις είναι μεγαλύτερες από τις κατακόρυφες. Το φαινόμενο αυτό μειώνεται με το βάθος.

Κατά τους *Bell et al.* (1993), ο τύπος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, καθώς επηρεάζει σημαντικά τη γεωτεχνική συμπεριφορά τους.

Για τους αργιλικούς σχιστόλιθους, οι *Hsu & Nelson* (1993) αναφέρουν ότι η συμπεριφορά τους σχετίζεται άμεσα με την παρουσία ασθενέστερων ενστρώσεων στη στρωματογραφική τους διάρθρωση, τις εγγενείς αδυναμίες, όπως ρωγμές και ασυνέχειες, καθώς και με τα ρήγματα.

Αντίστοιχα, οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή επηρεάζονται από τους δεσμούς συγκόλλησης, τη φύση του συγκολλητικού υλικού, το πορώδες, την αποσάθρωση και την παρουσία ενστρώσεων ασθενέστερου υλικού, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χαρακτηρίζονται, λόγω των ισχυρών δεσμών τους, ως βράχοι και όχι ως "μαλακοί βράχοι".

Σε ότι αφορά τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους, διατυπώνονται αρκετές απόψεις, οι οποίες ωστόσο έχουν κάποιες κοινές παρατηρήσεις. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι, οι σχηματισμοί που ανήκουν στην κατηγορία σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων χαρακτηρίζονται από τη χαμηλή αντοχή και από υψηλούς ρυθμούς φθοράς, μεγάλο πορώδες, μικρή συνοχή και ασταθή συστατικά. Επιπλέον, παρουσιάζουν σχετική ευαισθησία σε μηχανικές διεργασίες και στην έκθεση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, λόγω φθοράς των αρχικών χαρακτηριστικών τους (*Akai, 1993, Rodrigues, 1993*).

Η μεγάλη επίδραση της ορυκτολογικής σύστασης στη γεωτεχνική συμπεριφορά των σχηματισμών που ανήκουν στην κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, αναδείχθηκε από τους *Ward et al.* (2005), οι οποίοι εξέτασαν ορυκτολογικά τα ιζηματογενή πετρώματα λιγνιτικού ορυχείου στην Αυστραλία.

Οι *Božinović et al.* (1993) αναφέρουν ότι εξαιτίας της πολυπλοκότητας της δομής των ρωγματωμένων στιφρών αργίλων και μαργών παρουσιάζονται συχνά κατολισθήσεις, σε όλες σχεδόν τις λιθοστρωματογραφικές ενότητες, ανεξάρτητα από τη θέση αυτών ή την κλίση των πρανών.

Οι Bräutigam et al. (1999), εξετάζοντας τη γεωμηχανική συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών, στη ΒΔ Γερμανία, (keuper marls), κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν δυο βασικές κύριες αιτίες για την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων:

Η μείωση της διατμητικής αντοχής εξαιτίας των διεργασιών αποσάθρωσης.

 Η μείωση της διατμητικής αντοχής εξαιτίας της αύξησης της πίεσης των πόρων στους μερικώς αποσαθρωμένους μαργαϊκούς σχηματισμούς.

Οι Frydmana et al. (2007), εξετάζοντας μαργαϊκούς σχηματισμούς στην πόλη Rechasim, κοντά στην Χάιφα, Ισραήλ, διαπίστωσαν ότι η παραμένουσα αντοχή των μαργαϊκών σχηματισμών και η υπολειμματική γωνία τριβής επηρεάζεται από το ποσοστό και το είδος των αργιλικών ορυκτών (<2 μm), που συμμετέχουν στη δομή των σχηματισμών. Συγκεριμένα διαπίστωσαν ότι, όταν το υλικό περιλαμβάνει ποσοστό λιγότερο από 11% σε ανθρακικά ορυκτά, τότε τα αργιλικά ορυκτά κυριαρχούν και ελέγχουν τον μηχανισμό της διάτμησης και το υλικό αποκτά παραμένουσα γωνία τριβής της τάξης των 12°. Ωστόσο, όταν περισσότερο από 30% των ορυκτών είναι ανθρακικά, τότε η υπολειμματική γωνία τριβής μπορεί να είναι υψηλή έως και 30°.

Οι Ganić et al. (2012), εξετάζοντας τη συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών σε ένα λατομείο αδρανών Filijala, Beocin στη βόρεια Σερβία ως προς την επιδεκτικότητά τους σε κατολισθητικά φαινόμενα και λαμβάνοντας υπόψη τη γεωλογική εξέλιξη και τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους, διαπίστωσαν ότι, οι παρακάτω παράγοντες επηρεάζουν την παρουσία κατολισθήσεων σε αυτούς:

- Ιδιαίτερη σημαντική είναι η επίδραση της κλίσης των στρωμάτων σε σχέση με το διαμορφωμένο πρανές, καθώς και των συστημάτων ασυνεχειών που αναπτύσσονται.
 Η ύπαρξη των συστημάτων αυτών ευνοούν τη διήθηση του επιφανειακού νερού και την περαιτέρω αλλοίωση της δομής του σχηματισμού.
- Εξίσου σημαντική είναι η ύπαρξη υπερκείμενων τεταρτογενών αποθέσεων με συχνές και ταχείες μεταβολές στη λιθολογική σύσταση καθώς και από ισχυρή διακύμανση της συνεκτικότητάς τους.
- Οι διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης, οι οποίες ενισχύονται από φαινόμενα διαβροχής και ξήρανσης, μειώνουν σημαντικά τα μηχανικά χαρακτηριστικών του σχηματισμού, ευνοώντας την εκδήλωση φαινομένων αστάθειας.

Η ευστάθεια των φυσικών ή τεχνητών πρανών, εκτός από την ιδιόμορφη γεωμηχανική συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών που συνδέεται με τις φυσικομηχανικές και ορυκτολογικές ιδιότητες αυτών (Christoulas et al., 1989; Koukis et al., 1994; Sabatakakis et al. 2005; Lainas et al., 2006; Koukis et al., 2007), επηρεάζεται και από άλλους παράγοντες όπως θεωρούνται ότι είναι οι γεωλογικές συνθήκες της ευρύτερης περιοχής έρευνας (Terzaghi, 1950; Patton & Deere, 1971), η διαμορφωμένη γεωμετρία του πρανούς που καθορίζει την έκταση της ολίσθησης (Skempton & Hutchinson 1969; Jones et al., 1961) οι αποσαθρωτικές και άλλες φυσικοχημικές διεργασίες (Terzaghi, 1931; Hutchinson, 1968; Skempton, 1964) καθώς και οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (Jones et al., 1961).

Στην ελληνική και διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται χαρακτηριστικές περιπτώσεις αστάθειας και αστοχιών σε κατασκευές οι οποίες οφείλονται στο φαινόμενο της βαθμιαίας διάβρωσης που υπόκεινται οι μαργαϊκοί σχηματισμοί και η οποία διεργασία έχει σαν επακόλουθο τη σταδιακή υποβάθμιση των μηχανικών τους ιδιοτήτων καθώς και την αλλοίωση των φυσικών τους χαρακτηριστικών (*Anagnostopoulos et al., 1991; Rozos & Koukis, 1993; Gockeoglu et al., 2000; Bofill et al., 2004; Bhattarai et al., 2006; Kouki, 2006; Abderahamn, 2007*). Στις περιπτώσεις προβλημάτων που σχετίζονται με την ευστάθεια των πρανών και την αστάθεια των αναχωμάτων και των ορυγμάτων, η διεξοδική εξέταση των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των μαργών, όπως είναι η ανθεκτικότητα των μαλακών βραχωδών σχηματισμών, είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς αποτελεί τη βάση για την επίλυση των σχετικών προβλημάτων.

Έχει διαπιστωθεί ότι τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των μαργών, εξαρτώνται από την ορυκτολογική σύσταση, την υφή, το περιεχόμενο και το είδος των αργιλικών ορυκτών, το μέγεθος των κόκκων, καθώς και το βαθμό συμπύκνωσης (Datta et al., 1982; Hawkins et al. 1988; Tsiambaos, 1990). Επιπρόσθετα τονίζεται ότι η συμπεριφορά των μαλακών κλαστικών πετρωμάτων είναι στενά συνδεδεμένη με την πετρογραφία (Beavis, 1985; Dick & Shakoor, 1992; Kuhnel et al., 1994) και η μακροχρόνια ή μη επίδραση της χημικής αποσάθρωσης σε αυτά (Johnson & DeGraff, 1988; Cetin et al., 2000), αναδεικνύουν τη σπουδαιότητα της εκτίμησης του βαθμού και της προόδου αποσάθρωσης. Δεδομένου δε ότι η συμπεριφορά τέτοιων εδαφικών σχηματισμών επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα του νερού στους πόρους καθώς και από τα αργιλικά ορυκτά λόγω της φυλλόμορφης κρυσταλλικής δομής τους, είναι καθοριστική και η εξέταση της ορυκτολογικής σύστασης και της υφής αυτών των πετρωμάτων.

Στον Ελληνικό χώρο, οι μάργες είναι κυρίως Μειοκαινικής και Πλειοκαινικής ηλικίας, θαλάσσιας ή λιμναίας προέλευσης και περιέχουν πολλές φορές μακρο- και μικροαπολιθώματα καθώς και φυτικά υπολείμματα και λιγνιτικές ενστρώσεις. Ο βαθμός διαγένεσης τους διαφέρει από θέση σε θέση και συχνά καλύπτει από πλευράς συνεκτικότητας όλη την κλίμακα από τους μαλακούς εδαφικούς σχηματισμούς μέχρι τους βραχώδεις σχηματισμούς χαμηλής αντοχής (*Τσιαμπάος, 1988*).

Από τις πρώτες ερευνητικές εργασίες σχετικά με μαργαϊκους σχηματισμούς είναι αυτή των Κούμουλου & Κοργιαλού (1985), όπου γίνεται διαχωρισμός της μάργας του Πειραιά σε δυο κατηγορίες, την αργιλική μάργα και την ασβεστολιθική μάργα. Η αργιλική μάργα χαρακτηρίστηκε από τους συγγραφείς ως σκληρό έδαφος, ενώ η ασβεστολιθική μάργα ως μαλακός βράχος. Οι ίδιοι συγγραφείς αναφέρουν ότι η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της αργλικής μάργας εξαρτάται από τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, ενώ για την ασβεστολιθική μάργα θεώρησαν ότι η τεχνικογεωλογική της συμπεριφορά καθορίζεται από χαρακτηριστικά που αποδίδονται στους ασβεστολίθους, όπως είναι η παρουσία καρστικών εγκοίλων και ζωνών τεκτονικής καταπόνησης, ασυνέχειες, κτλ.

Ο Κωστόπουλος (1985) αναφερόμενος στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό, τη μάργα του Πειραιά, θεωρεί ότι η διαφοροποίηση στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά σχηματισμών της ομάδας των μαργαϊκών ψαμμιτών και των μαργών, επηρεάζεται κυρίως από τις συνθήκες του περιβάλλοντος ιζηματογένεσης και την επικράτηση του περισσότερου ή λιγότερου λεπτόκοκκκου υλικού. Για τις μάργες και τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους, η διαφοροποίηση στην τεχνικογεωλογική συμπεριφορά προκύπτει από την δράση αποσαθρωτικών παραγόντων και οφείλεται στο ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου που παραμένει μετά από τις διεργασίες διάλυσης και το βαθμό τσιμέντωσης.

Ο Τσιαμπάος (1988) εξετάζοντας τους μαργαϊκούς σχηματισμούς του Ηρακλείου Κρήτης, ταξινόμησε τους σχηματισμούς αυτούς με βάση το περιεχόμενο ποσοστό τους σε ανθρακικό ασβέστιο σε δυο κατηγορίες: (α) στην κατηγορία η οποία αποτελείται από τα ανώτερα μέλη λευκοκίτρινων - καστανοκίτρινων μαργών (ασβεστιτικές μάργες, ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 35-85%) και (β) στην κατηγορία η οποία αποτελείται από τα κατώτερα τεφρά με τεφροκύανα μέλη (αργιλικές μάργες, ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 26-35%).

Ο Ρόζος (1989) εξέτασε τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα του Νομού Αχαΐας, όπου για την ομάδα των αργιλομαργαϊκών οριζόντων κατέληξε στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για σχηματισμούς που, με εξαίρεση τις στιφρές αργιλομάργες, παρουσιάζουν χαμηλή ανθεκτικότητα και επομένως γρήγορη υποβάθμιση όταν εκτεθούν στις κλιματικές μεταβολές. Για την περίπτωση των στριφρών μαργών παρατήρησε σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ξεχωριστών λιθολογικών φάσεων.

Ο Σαμπατακάκης (1991) εξέτασε μεταξύ άλλων σχηματισμών στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Αθηνών, τα χαρακτηριστικά του συμπλέγματος των μαργαϊκών σχηματισμών (αργιλικών μαργών - μαργών, κατά Barth et al., (1939)) της ευρύτερης περιοχής του Πειραιά και κατέληξε στα εξής:

- Η μεγάλη διαφοροποίηση των τιμών αντοχής, είναι ανάλογη της φυσικής υγρασίας,
 της σύστασης, της δομής και του βαθμού διαγένεσης.
- Εξαιτίας φαινομένων συρρίκνωσης και διόγκωσης, παρατηρείται χαλάρωση και απώλεια της αντοχής.
- Παρατηρούνται υψηλές τάσεις διόγκωσης για εμφανίσεις με όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 40 και δείκτη πλαστικότητας μεγαλύτερο του 25.

Για τους μαργαϊκούς ασβεστολίθους της ίδιας ενότητας, με βάση τις τιμές των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων τους, ο ερευνητής ταξινομεί τους σχηματισμούς αυτούς στους μαλακούς βράχους, χαμηλής αντοχής, μέτριας ανθεκτικότητας στην αποσάθρωση

και υψηλού πορώδους. Στους σχηματισμούς αυτούς διαπιστώσε την ισχυρή αρνητική συσχέτιση του δείκτη αντοχής σε αποσαθρωσιμότητα με το πορώδες και την ισχυρή θετική συσχέτιση της ταχύτητας των διαμήκων κυμάτων με το δείκτη σημειακής φόρτισης και με την αντοχή σε αποσαθρωσιμότητα.

Η Χριστοδουλοπούλου (2000) εξετάζοντας τη μικροδομή των λεπτομερών Νεογενών - Πλειστοκαινικών ιζημάτων της Β. Πελοποννήσου σε σχέση με τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστκά τους, διερεύνησε σε βάθος την επίδραση της ορυκτολογίας - πετρογραφίας. Διαπίστωσε τη χωρική διαφοροποίηση στο ποσοστό του περιεχόμενου ανθρακικού ασβεστίου και τον τύπο του επικρατούντος αργιλικού ορυκτού, που σε συνδυασμό με την διαφορετική μικροδομή επηρεάζουν της φυσικές και μηχανικές ιδιότητες.

Η Κούκη (2006) μελέτησε τις τεχνικογεωλογικές και γεωτεχνικές παραμέτρους των μαργαϊκων σχηματισμών στην πόλη της Πάτρας, στα πλαίσια της κατασκευής της ευρείας Παράκαμψης Πατρών, όπου διέκρινε δυο ενότητες Ανώτερη και Κατώτερη. Διαπίστωσε ότι και στις δυο ενότητες υπάρχει συσχέτιση του περιεχόμενου ποσοστού ανθρακικού ασβεστίου με την περιεκτικότητα σε άργιλο και σε άμμο. Συγκεκριμένα, παρατήρησε ότι το ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου μειώνεται όσο πραγματοποιείται η μετάβαση από τη μάργα και την αργιλική μάργα σε αμμοϊλυώδεις και αμμώδεις ορίζοντες, ενώ διαπίστωσε ότι τα πιο συνεκτικά δείγματα παρουσίαζαν και υψηλότερο ποσοστό περιεχόμενου ανθρακικού ασβεστίου με επακόλουθο υψηλότερους δείκτες αντοχής.

Στη παρούσα διδακτορική διατριβή, αντικείμενο μελέτης αποτελούν οι λεπτομερείς νεογενείς αποθέσεις που εμπίπτουν στην κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων. Ειδικότερα οι αποθέσεις αυτές αποτελούνται από αργιλομάργες και ασβεστιτικές μάργες, μαργαϊκούς ασβεστολίθους σε ενδιαστρώσεις μικρού πάχους με συχνές παρεμβολές λεπτών οριζόντων ψηφιδοπαγών και κροκαλοπαγών. Πρόκειται για γεωλογικούς σχηματισμούς που χαρακτηρίζονται από μέτρια έως υψηλή συνεκτικότητα, η προέλευση των οποίων εκτιμάται ότι είναι λιμναίας, λιμνοθαλάσσιας απόθεσης. Σε σχέση με τα γεωτεχνικά προβλήματα που καταγράφονται στους σχηματισμούς αυτούς, αναφέρονται οι γενικότερες αστοχίες στη θεμελίωση των τεχνικών έργων, η έντονη διάρρηξη των στρωμάτων, ενώ συχνή είναι η καταγραφή περιστροφικών ή μεταθετικών ολισθήσεων, εκτενής περιγραφή των οποίων αναπτύσσεται στο 8° Κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:

ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Φυσικές καταστροφές

Γενικά στοιχεία για τα κατολισθητικά φαινόμενα

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο

Τεχνικές και μέθοδοι εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και του κατολισθητικού κινδύνου



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΦΥΣΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ</u> ΣΤΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Είναι ιστορικά τεκμηριωμένο ότι σε κάθε περίοδο της μακρόχρονης ιστορίας των οργανωμένων κοινωνιών, σχεδόν το σύνολο αυτών, έχει βιώσει καταστροφές προερχόμενες από την εκδήλωση ακραίων φυσικών φαινόμενων, δηλαδή από φυσικούς κινδύνους που ενέχουν μεγάλη πιθανότητα να αποτελέσουν απειλή για το περιβάλλον και την ανθρώπινη ύπαρξη. Η θεώρηση και οι σχετικές αντιλήψεις για το τι νοείται διαχείριση των καταστροφών ποικίλουν, ανάλογα με την ιστορική περίοδο και την κοινωνία η οποία βιώνει την καταστροφή.

Στις φυσικές καταστροφές συγκαταλέγονται τα κατολισθητικά φαινόμενα, αντικείμενο το οποίο πραγματεύεται η παρούσα διδακτορική διατριβή. Στις παραγράφους που ακολουθούν δίνονται στατιστικά στοιχεία για τις φυσικές καταστροφές που εκδηλώθηκαν σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς και για τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις τους, με έμφαση στα κατολισθητικά φαινόμενα. Παρατίθενται στοιχεία σχετικά με την ονοματολογία, την ταξινόμηση και τους παράγοντες ενεργοποίησης των κατολισθητικών φαινομένων, ενώ δίνεται μια συνοπτική περιγραφή της σύνθετης φύσης και της συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών σε σχέση με τα κατολισθητικά φαινόμενα.

3.1 Φυσικές καταστροφές

Σε μια προσπάθεια συστηματικής προσέγγισης των φυσικών καταστροφών, ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ), όρισε το 1992 τις φυσικές καταστροφές ως «σοβαρές διαταραχές στη λειτουργία της κοινωνίας, οι οποίες προκαλούν εκτεταμένες ανθρώπινες, υλικές ή περιβαλλοντικές απώλειες που υπερβαίνουν την ικανότητα της κοινωνίας να τις αντιμετωπίσει με ίδιους πόρους» (IDNDR, 1992). Με βάση τη θεώρηση του ΟΗΕ, μία φυσική καταστροφή αποτελεί τη συνέπεια ενός φυσικού κινδύνου, η οποία περνάει από το στάδιο της πιθανότητας σε μία ενεργή φάση και κατά συνέπεια έχει επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Οι φυσικές καταστροφές διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες: <u>Βιολογικές</u>, <u>Γεωφυσικές</u>, <u>Υδρολογικές</u>, <u>Μετεωρολογικές</u> και <u>Κλιματολογικές</u> (EM-DAT, 2012). Στις Γεωφυσικές και Υδρολογικές φυσικές καταστροφές συγκαταλέγονται οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι κατολισθήσεις, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι διαβρώσεις των ακτών, οι καθιζήσεις ή οι διογκώσεις των εδαφών, οι κυκλώνες, κ.α. Στις Μετεωρολογικές καταστροφές συγκαταλέγονται οι μεγάλης έντασης καταιγίδες, οι κυκλώνες, οι χιονοστιβάδες και οι δυνατοί άνεμοι, ενώ στις Κλιματολογικές καταστροφές οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες και η ξηρασία. Οι Βιολογικές καταστροφές αναφέρονται κυρίως στις καταστροφές που προκαλούνται από επιδημίες.

Κάθε μια από τις παραπάνω κατηγορίες περιλαμβάνει πλήθος διεργασιών και διαδικασιών. Ωστόσο, μοιράζονται κάποια κοινά χαρακτηριστικά: α. η πηγή του καταστροφικού συμβάντος είναι καλά καθορισμένη και δημιουργεί χαρακτηριστικά αποτελέσματα, β. ο χρόνος προειδοποίησης είναι μικρός και τα φυσικά συμβάντα θεωρούνται ραγδαία και βίαια, η εκδήλωση των οποίων είναι ιδιαίτερα απρόβλεπτη, γ. ο μεγαλύτερος αριθμός των απωλειών καταγράφεται αμέσως μετά την εκδήλωση του φαινομένου, δ. ο κίνδυνος σε έκθεση είναι, σε μεγάλο ποσοστό, ακούσιος, εξαιτίας της εγκατάστασης των ανθρώπων σε επικίνδυνες περιοχές.

Σύμφωνα με στοιχεία της Παγκόσμιας Βάσης Δεδομένων Φυσικών Καταστροφών, το έτος 2011 καταγράφθηκαν 332 *φυσικές καταστροφές* (μή συμπεριλαμβανομένων των βιολογικών καταστροφών), με 30.773 χαμένες ανθρώπινες ζωές, επηρεάζοντας παγκοσμίως 244.7 εκατομμύρια ανθρώπους και προκαλώντας οικονομικές ζημίες αξίας 366.1 δισεκατομμυρίων δολαρίων (*EM-DAT, 2012,* Σχήμα 3-1). Για το έτος 2011, οι οικονομικές ζημίες χαρακτηρίζονται ως οι υψηλότερες που έχουν ποτέ καταγραφεί.

Αναφορικά στον αριθμό των ανθρώπων που επλήγησαν από φυσικές καταστροφές ανθρώπων που σκοτώθηκαν, τραυματίστηκαν, έχασαν (άθροισμα περιουσία), συγκρίνοντας τους δείκτες που σχετίζονται με τις φυσικές καταστροφές για το 2011 με τους αντίστοιχους δείκτες της προηγούμενης δεκαετίας εκτιμάται ότι, ο αριθμός των ανθρώπων που επλήγησαν από φυσικές καταστροφές αυξήθηκε (244.7 εκατομμύρια πληγέντες), συγκρινόμενος με τον μέσο ετήσιο αριθμό των πληγέντων της δεκαετίας 2001 - 2010 (232 εκατομμύρια πληγέντες). Η αύξηση αυτή αποδίδεται στον μεγαλύτερο αντίκτυπο που προκαλούν οι υδρολογικές καταστροφές. Οι υδρολογικές καταστροφές επηρέασαν 139.8 εκατομμύρια ανθρώπους το 2011 - 57.1% του συνόλου των πληγέντων από φυσικές καταστροφές το 2011 - σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο των 106.7 εκατομμυρίων θυμάτων για το διάστημα 2001 - 2010. Το 2011 το 66.8% των θυμάτων από υδρολογικές καταστροφές καταγράφηκαν στις πλημμύρες και τα κατολισθητικά φαινόμενα που εκδηλώθηκαν στην Κίνα.

Σχετικά με τον αριθμό των ανθρώπων που σκοτώθηκαν (επιβεβαιωμένος αριθμός ανθρώπων που έχασαν τη ζωή τους ή δηλώθηκαν εξαφανισμένοι), λιγότεροι άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους από <u>φυσικές καταστροφές</u> το 2011 σε σύγκριση με το 2010. Το 2010, μόνο ο σεισμός στην Αϊτή, προκάλεσε τον θάνατο περισσότερων από 222.500 ανθρώπων ενώ ο μέσος ετήσιος όρος για το διάστημα 2001-2010 ήταν μόλις 106.891 θάνατοι. Η μείωση του ποσοστού θνησιμότητας από φυσικές καταστροφές για το 2011, οφείλεται στον μειωμένο αριθμό των θανάτων από <u>γεωφυσικές καταστροφές</u>. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ανθρώπων από γεωφυσικές καταστροφές για το διάστημα 2001

- 2010 ανέργεται σε 69.098 ανθρώπους, ενώ το 2011 καταγράφηκαν 20.949 θάνατοι. Ωστόσο, ο αριθμός αυτός (20.949 θάνατοι), συγκρινόμενος με τις υπόλοιπες φυσικές καταστροφές (Βιολογικές, Υδρολογικές, Μετεωρολογικές και Κλιματολογικές), αντιστοιχεί στο 68.1% της παγκόσμιας θνησιμότητας εξαιτίας φυσικών καταστροφών για το 2011 (*EM-DAT*, 2012).

Οι εκτιμώμενες οικονομικές απώλειες από τις φυσικές καταστροφές για το 2011 ξεπέρασαν το τελευταίο έτος ρεκόρ του 2005 (US \$ 246.8 δισεκατομμύρια δολάρια), με αύξηση κατά 235% σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο για το διάστημα 2001 - 2010 (US \$ 109.3 δισεκατομμύρια δολάρια). Οι οικονομικές απώλειες από <u>γεωφυσικές</u> καταστροφές σημείωσαν τη μεγαλύτερη αύξηση συγκριτικά με τον ετήσιο μέσο όρο των US \$ 24.1 δις κατά το διάστημα 2001-2010, φτάνοντας τα 230.3 δισεκατομμύρια δολάρια το 2011. Οι οικονομικές απώλειες από γεωφυσικές καταστροφές αντιπροσωπεύουν το 62.9% του συνόλου των ζημιών που προκλήθηκαν από φυσικές καταστροφές το 2011.

Η μείωση του αριθμού των φυσικών καταστροφών που καταγράφηκαν το 2011 σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο για το διάστημα 2001 – 2010 (Σχήμα 3-1), οφείλεται στον μικρότερο αριθμό των εκδηλωμένων υδρολογικών και μετεωρολογικών καταστροφών. Οι υδρολογικές καταστροφές εξακολουθούν να κατέχουν το μεγαλύτερο ποσοστό φυσικών καταστροφών για το 2011 (52.1%), ακολουθούμενη από τις μετεωρολογικές καταστροφές (25.3%), τις κλιματολογικές καταστροφές (11.7%) και των γεωφυσικών καταστροφών (10.8%), (Σχήμα 3-2).



Σχήμα 3-1: Καταγραφή θυμάτων και καταστροφών από το 1990 έως το 2011 (EM-DAT, 2012).



Σχήμα 3-2: Κατηγορίες καταστροφών από το 1990 έως το 2011 (ΕΜ-DAT, 2012).

3.1.1 Οι πρακτικές διαχείρισης των φυσικών καταστροφών

Στη σημερινή εποχή, οι ανθρώπινες κοινωνίες έχουν αποκτήσει μια πληρέστερη γνώση για τις φυσικές καταστροφές, ενώ διαθέτουν πλέον την απαραίτητη τεχνογνωσία για να μπορούν να προστατευθούν από τα φαινόμενα αυτά και να αποκριθούν, όταν και αν αυτά εκδηλωθούν.

Η διαχείριση κάθε φυσικής καταστροφής έχει ως βασικό συστατικό τον σχεδιασμό και την εφαρμογή προληπτικών μέτρων που, ως στόχο έχουν την εκτόνωση του φαινομένου, ώστε η συμπεριφορά του να μην ξεπεράσει τα όρια του μηχανισμού καταστολής.

Ιδιαίτερα σημαντική ενέργεια υπήρξε η ανακήρυξη της δεκαετίας του 1990 – 2000, ως δεκαετία μείωσης των φυσικών καταστροφών. Τη δεκαετία αυτή έγινε αντιληπτή η έννοια και η σημαντικότητα της πρόβλεψης και της εφαρμογής μέτρων πρόληψης. Οι ενέργειες όλων των εμπλεκόμενων φορέων συντονίζονται με βάση τους στόχους που τέθηκαν από την ομάδα εργασίας της UNESCO τη δεκαετία του '90 και αφορούσε:

- Στην πρόβλεψη και εκτίμηση της επικινδυνότητας έναντι φυσικών κινδύνων.
- Στην εκτίμηση της πιθανότητας εκδήλωσης ενός φυσικού κινδύνου.
- Στην εκτίμηση της έκθεσης σε κίνδυνο των κοινωνιών και του περιβάλλοντος.
- Στη διάχυση της πληροφορίας της σχετικής με τις επιπτώσεις της φυσικής καταστροφής.

- Στη διαμόρφωση ενός αναπτυξιακού σχεδιασμού για το ευρύτερο περιβάλλον που ενδεχομένως κινδυνεύει.
- Στην ανάπτυξη υποδομών έγκαιρης προειδοποίησης και στρατηγικών αντιμετώπισης των φυσικών καταστροφών.

Η σημερινή πρακτική διαχείρισης των φυσικών καταστροφών απαιτεί την ένταξη κάθε προσπάθειας υπό το πλαίσιο της αειφόρου ανάπτυξης. Σύμφωνα με τον κλασικό ορισμό, αειφόρος ανάπτυξη είναι η «ανάπτυξη που καλύπτει τις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες». Βασικές συνιστώσες της αειφόρου ανάπτυξης αποτελούν η οικονομική, κοινωνική και περιβαλλοντική. Για την επιτυχή εφαρμογή της διαχείρισης κινδύνων με βάση τις αρχές της αειφόρου ανάπτυξης, προϋπόθεση είναι η πολιτική συνεκτίμηση και των τριών συνιστωσών.

Γίνεται πλέον αντιληπτό ότι, η θωράκιση των ανθρώπινων κοινωνιών από μια ενδεχόμενη φυσική καταστροφή μέσω προληπτικών μέτρων και δράσεων είναι, στις περισσότερες περιπτώσεις, ανέφικτη, εξαιτίας της δεινότητας του φαινομένου και του κόστους που απαιτεί η εφαρμογή των μέτρων πρόληψης. Η επικινδυνότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό των ανθρώπινων κοινωνιών με δεδομένο ότι δεν υπάρχει περιβάλλον παντελώς απαλλαγμένο από τον κίνδυνο (*Μισθός, 2009*). Η έννοια της διακινδύνευσης ορίζεται ως η πιο σημαντική παράμετρος στη διαχείριση των φυσικών καταστροφών.

3.2 Γενικά στοιχεία για τα κατολισθητικά φαινόμενα

Από τις κατηγορίες των φυσικών καταστροφών που περιγράφηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, τα κατολισθητικά φαινόμενα, αντικείμενο έρευνας της παρούσης διδακτορικής διατριβής, κατατάσσονται στις γεωφυσικές και υδρολογικές καταστροφές.

Οι κατολισθήσεις θεωρούνται ως, μη αναμενόμενες και συνήθως απρόβλεπτες μετακινήσεις ασταθών επιφανειακών στρωμάτων. Συνιστούν το αποτέλεσμα της εξέλιξης προοδευτικών ή ραγδαίων φαινομένων που εκδηλώνονται στο γήινο περιβάλλον και που οφείλονται στη δράση γεωλογικών, γεωμορφολογικών, κλιματολογικών διεργασιών αλλά και στην αρνητική επίπτωση των ανθρώπινων ενεργειών και δραστηριοτήτων (*Hutchinson, 1995*). Αποτελούν ένα γεωλογικό φαινόμενο που περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα κινήσεων μιας μάζας εδάφους ή ενός όγκου βράχου, οι οποίες κινήσεις μπορεί να εκδηλωθούν σε υπεράκτιες, παράκτιες και χερσαίες περιοχές.

Ο *Terzaghi* (1950) θεωρεί την κατολίσθηση ως μία ραγδαία κίνηση μάζας πετρώματος εναπομένοντος εδάφους ή ιζήματος ενός πρανούς, της οποίας το κέντρο βάρους μετακινείται προς τα κάτω και προς τα έξω.

Οι Zaruba & Mencl (1969) ορίζουν την κατολίσθηση σαν μία γρήγορη κίνηση που οφείλεται στην ολίσθηση πετρωμάτων ενός τμήματος πρανούς, η οποία διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σταθερό τμήμα από μία καλά καθορισμένη επιφάνεια.

Κατά τους Skempton & Hutchinson (1969), οι κατολισθήσεις με την ευρεία έννοια του όρου είναι μετακινήσεις προς τα κάτω γεωδών μαζών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης ως αποτέλεσμα διατμητικής αστοχίας.

Οι κατολισθήσεις είναι, ως επί το πλείστον, ένα βραδέως εξελισσόμενο φαινόμενο και η διαχείριση του κινδύνου που οφείλεται στην εκδήλωσή τους είναι υπόθεση θωράκισης μιας περιοχής με μείωση - μετρίαση του βαθμού τρωτότητας των κοινωνιών και του περιβάλλοντος απέναντι στο φαινόμενο.

Στους πίνακες που ακολουθούν καταγράφονται οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ξηρές και υγρές μετακινήσεις μαζών για την περίοδο 1900-2012 σε παγκόσμια κλίμακα (*EM-DAT*, 2012). Είναι φανερό ότι, οι πλέον θανατηφόρες καταστροφές καταγράφονται στις αναπτυσσόμενες περιοχές του πλανήτη, ενώ οι πιο ζημιογόνες στις περισσότερο αναπτυγμένες.

Πίνακας 3-1: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ζηρές μετακινήσεις μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό θυμάτων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)

Χώρα	Ημερομηνία	Αριθμός θυμάτων
Peru, Landslide	10-Jan-1962	2
Philippines, Landslide	21-Oct-1985	300
China P Rep, Landslide	7-Mar-1983	277
Turkey, Avalanche	1-Jan-1992	261
Colombia, Rockfall	28-Jul-1983	160
Nepal, Landslide	10-Aug-1963	150
Indonesia, Landslide	4-May-1987	131
Afghanistan, Avalanche	Mar-1993	100
Egypt, Rockfall	6-Sep-2008	98
Canada, Rockfall	29-Apr-1903	76

Πίνακας 3-2: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από ζηρές μετακινήσεις μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό του συνόλου των πληγέντων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)

,-,		
Χώρα	Ημερομηνία	Αριθμός πληγέντων
Soviet Union, Landslide	Mar-1989	8
China P Rep, Landslide	6-Oct-1990	5.105
Guatemala, Landslide	4-Jan-2009	3.028
Colombia, Landslide	18-Dec-1993	2.411
Canada, Landslide	12-Nov-1955	2.006
Russia, Avalanche	26-Nov-1992	1.75
Canada, Landslide	4-May-1971	1.5
Turkey, Avalanche	1-Jan-1992	1.069
Papua New Guinea, Landslide	6-Sep-1988	1
Indonesia, Landslide	4-May-1987	701

Χώρα	Ημερομηνία	Αριθμός θυμάτων
Soviet Union, Landslide	1949	12
Peru, Landslide	Dec-1941	5
Honduras, Landslide	20-Sep-1973	2,8
Italy, Landslide	9-Oct-1963	1.917
China P Rep, Landslide	7-Aug-2010	1.765
Philippines, Landslide	17-Feb-2006	1.126
India, Landslide	1-Oct-1968	1
Colombia, Landslide	27-Sep-1987	640
Peru, Landslide	18-Mar-1971	600
China P Rep, Landslide	23-Mar-1934	500

Πίνακας 3-3: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό θυμάτων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)

Πίνακας 3-4: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταζινομημένο με βάση τον αριθμό του συνόλου των πληγέντων σε επίπεδο χώρας (EM-DAT, 2012)

Χώρα	Ημερομηνία	Αριθμός πληγέντων
Brazil, Landslide	11-Jan-1966	4.000.000
India, Landslide	Jul-1986	2.500.000
China P Rep, Landslide	30-May-2010	2.100.000
India, Landslide	12-Sep-1995	1.100.000
Peru, Landslide	Jan-1983	700
Afghanistan, Landslide	13-Jan-2006	300
Nepal, Landslide	15-Jul-2002	265.865
Indonesia, Landslide	31-Mar-2003	229.548
Philippines, Landslide	19-Dec-2003	217.988
India, Landslide	17-Aug-1998	200

Πίνακας 3-5: Οι 10 πιο σημαντικές καταστροφές που προκλήθηκαν από υγρές μετακινήσεις μαζών, για την περίοδο 1900 έως 2012, ταξινομημένο κατά οικονομικό κόστος των ζημιών σε επίπεδο χώρας (ΕΜ-DAT, 2012)

Χώρα	Ημερομηνία	Κόστος ζημιών (000 US\$)
Peru, Landslide	Jan-1983	988.8
China P Rep, Landslide	1-May-1998	890
China P Rep, Landslide	7-Aug-2010	759
Italy, Landslide	14-Dec-1982	700
Switzerland, Avalanche	21-Feb-1999	685
Italy, Landslide	28-Jul-1987	625
Ecuador, Landslide	28-Mar-1993	500
Guatemala, Landslide	4-Sep-2010	500
Soviet Union, Landslide	10-Mar-1989	423
Bolivia, Landslide	8-Dec-1992	400

Ο Erskine (1973), λαμβάνοντας υπόψη τις περιβαλλοντικές παραμέτρους, κατέταξε τα κατολισθητικά φαινόμενα με βάση την ενεργότητά τους και τις επιπτώσεις αυτών στα διάφορα τεχνικά έργα στις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

- Σταθεροποιημένες κατολισθήσεις, όπου δεν υπάρχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης.
- Πρόσφατα ενεργές κατολισθήσεις, όπου υπάρχουν ενδείξεις πρόσφατης ενεργοποίησης.

- Κατολισθήσεις που έδρασαν πρόσφατα, μετά από μια σχετική περίοδο σταθεροποίησης.
- Ενεργές κατολισθήσεις, όπου υπάρχουν ενδείξεις μη σταθεροποιήσης.

Σύμφωνα με τον *Coates* (1977), οι κατολισθήσεις αποτελούν μία κατηγορία φαινομένων που υπάγονται στο γενικότερο φαινόμενο της κίνησης μαζών. Σε αυτές τις κινήσεις, η βαρύτητα είναι η δύναμη που παίζει πρωτεύοντα ρόλο. Η κίνηση της μάζας περιγράφεται ως μια κίνηση προς τα κάτω και προς τα έξω με σχηματισμό ελεύθερης επιφάνειας, η ταχύτητα της οποίας είναι σχετικά μεγάλη, ενώ εκδηλώνεται συνηθέστερα με την μορφή πτώσης βραχωδών τεμάχων, ολίσθησης ή ροής εδαφικών μαζών.

Ο Varnes (1978) όρισε την κατολίσθηση ως μια, προς τα κάτω και προς τα έξω, κίνηση πρανών, κίνηση η οποία οφείλεται στην επίδραση της βαρύτητας και που ως επακόλουθο έχει την ολίσθηση, κατάπτωση, ανατροπή, ροή ή ερπυσμό. Ο Brunsden (1984), εξέφρασε την άποψη ότι η έννοια της μετακίνησης μάζας θα πρέπει να διαχωρίζεται σαφώς από την έννοια της μεταφοράς, για να περιγράψει τη διεργασία που λαμβάνει χώρα κατά την εκδήλωση μιας κατολίσθησης που δεν απαιτεί κάποιο μεταφορικό μέσο, όπως είναι το νερό, ο αέρας ή ο πάγος (Dikau et al, 1996).

Κατά τον Κουμαντάκη (1985, 1987), οι οποιεσδήποτε 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, αναφέρονται με τον γενικό όρο «κατολισθήσεις».

Ο όρος «κατολίσθηση» ως ορισμός έχει υιοθετηθεί από την Ομάδα Εργασίας για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων (*Working Party on the World Landslide Inventory – WP/WLI 1991*) και υπονοεί την προς τα κάτω και προς τα έξω κίνηση μιας μάζας βράχου, κορημάτων ή γαιών σε ένα πρανές *Cruden* (1991).

Στη διεθνή επιστημονική κοινότητα, ο όρος "κατολισθητικά φαινόμενα" είναι ο όρος που έχει επικρατήσει και συμπεριλαμβάνει όλο το εύρος των αστοχιών που εκδηλώνονται σε πρανή, δηλαδή ερπυσμούς, ολισθήσεις, ροές, ανατροπές, καταπτώσεις, που ενδεχομένως εκδηλωθούν στην ξηρά αλλά και υποθαλάσσια, κάτι που ο όρος "κατολίσθηση (*landslide*)" δεν περιλαμβάνει, αφού αναφέρεται μόνο στις ταχέως εκδηλωμένες κινήσεις εδαφικών μαζών (*Ρόζος, 2007α*).

Οι δυο συνιστώσες της κίνησης της κατολισθαίνουσας μάζας, η οριζόντια και η κατακόρυφη, συνδέονται δυναμικά με την ανάπτυξη ορθής και διατμητικής τάσης. Όταν οι τάσεις αυτές αυξηθούν ύστερα από διεργασίες και κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες και υπερβούν τη διατμητική αντοχή της μάζας, είτε πάλι εάν προκληθεί μείωση της αντοχής

της, τότε το αποτέλεσμα είναι η διατάραξη της ισορροπίας και η εκδήλωση αστοχίας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2007).

Οι μηχανισμοί ενεργοποίησης διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Στην πρώτη υπάγονται οι μηχανισμοί που οφείλονται σε εξωγενείς παράγοντες και συντελούν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής ενώ στην δεύτερη υπάγονται οι μηχανισμοί ενεργοποίησης που οφείλονται σε ενδογενείς παράγοντες και συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής (*Terzaghi*, 1950).

Συγκεκριμένα, σε ότι αφορά τον πρώτο μηχανισμό, η διατμητική αντοχή μπορεί να αυξηθεί εξαιτίας της αύξησης του φαινόμενου βάρους ή του βάρος του όγκου των υλικών, διεργασία που επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες όπως είναι η βροχόπτωση, από την αύξηση του βάρους, από την επιβολή πρόσθετου φορτίου κυρίως μετά από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, από παροδικές γήινες διεργασίες που αποτελούν το αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων, καθώς και από την αλλαγή στη γεωμετρία των πρανών είτε ως επακόλουθο διεργασιών εξέλιξης του αναγλύφου της γης είτε ως επακόλουθο ανθρώπινης επέμβασης.

Σε ότι αφορά το δεύτερο μηχανισμό ενεργοποίησης, η διατμητική αντοχή μπορεί να μειωθεί εξαιτίας της αύξησης της ανώσεως που ασκείται σε μια μάζα από την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα, από την αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων, την ελάττωση της συνοχής και την ελάττωση της γωνίας τριβής.

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στη διαμόρφωση συνθηκών που ενεργοποιούν τα κατολισθητικά φαινόμενα ταξινομούνται σε κατηγορίες χαρακτηριστικών που μπορούν να χαρτογραφηθούν, ή αποτελούν μετρήσιμα μεγέθη, ή μπορούν να ποσοτικοποιηθούν. Συγκεκριμένα, κατά την επιτροπή σχετικής ομάδας εργασίας της UNESCO (1994), οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων διακρίνονται σε προκαταρκτικούς και σε εναυσματικούς παράγοντες (Πίνακας 3-6).

		ΕΔΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
ļ Ē		1 Πλαστικό, χαμηλής αντοχής, υλικό
		2 Ευαίσθητο υλικό
		3 Υλικό επιρρεπές σε θραύση
		4 Αποσαθρωμένο υλικό
		5 Διατμημένο υλικό
		6 Ρωγματωμένο ή διακλασμένο υλικό
		7 Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα,
		διακλάσεις)
		8 Βραχόμαζα με δυσμενή προσανατολισμό ασυνεχειών (ρήγματα, επιφάνειες
		επαφής, ασυμφωνίες)
		9 Διαφοροποιήσεις στην υδροπερατότητα
		10 Διαφοροποιήσεις στη δυσκαμψία
		ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
		11 Τεκτονική ανύψωση
\mathbf{k}		12 Ανύψωση λόγω ηφαιστείων
E		13 Επίδραση παγετώνων
E E		14 Ποτάμια διάβρωση της βάσης του πρανούς
Ō		15 Θαλάσσια διάβρωση της βάσης του πρανούς
		16 Διάβρωση της βάσης του πρανούς από παγετώνα
P		17 Διάβρωση των πλευρών του πρανούς
		18 Εσωτερική διάβρωση
	N	19 Φόρτιση από φυσική απόθεση υλικών στη στέψη του πρανούς
Б		20 Απομάκρυνση φυτοκάλυψης (από πυρκαγιά, διάβρωση, κ.τ.λ.)
X	Ž	ΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
	2	21 Έντονη, μικρής διάρκειας βροχόπτωση
À	I	22 Γρήγορο λιώσιμο χιονιού
LA		23 Παρατεταμένη υψηλή βροχόπτωση
		24 Γρήγορη πτώση στάθμης νερού μετά από πλημμύρες, παλίρροιες ή διάρρηξη
X		φυσικών φραγμάτων
LC C		25 Σεισμοί
	Ó	26 Εκρήξεις ηφαιστείων
	H	27 Διάρρηξη λιμνών σε κρατήρες ηφαιστείων
	E	28 Λιώσιμο παγωμένου εδάφους
	1	29 Αποσάθρωση λόγω παγετού
		30 Αποσάθρωση από διόγκωση και συρρίκνωση εδαφών
		ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ
	N	31 Εκσκαφές στη βάση (πόδι) του πρανούς
		32 Φόρτιση στο μέτωπο ή πάνω από τη στέψη του πρανούς
		33 Υποβιβασμός της στάθμης σε ταμιευτήρες
		34 Άρδευση
		35 Κακή συντήρηση αποστραγγιστικών έργων
		36 Διαρροή νερών από τεγνικά έργα (δίκτυα, δεξαμενές, κ.τ.λ.)
		37 Αποψίλωση
		38 Λατομεία και μεταλλεία
		39 Απιμουοχία χωματερών
		40 Τεγνητές δονήσεις (κηκλοφορία οχημάτων λειτορογία μηγανών κ.τ. ¹)
	1	

Πίνακας 3-6: Οι πλέον σημαντικοί παράγοντες εκδήλωσης κατολισθήσεων (UNESCO, 1994)

3.3 Το φαινόμενο των κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο

Σύμφωνα με στοιχεία που καταγράφηκαν από τις τεχνικές εκθέσεις του Ινστιτούτου Γεωλογικών & Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ) αλλά και του Κεντρικού Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων (ΚΕΔΕ), το μεγαλύτερο ποσοστό των κατολισθητικών κινήσεων που εκδηλώνονται στον Ελληνικό χώρο, αναφέρεται σε οικιστικές περιοχές και οδικούς άξονες (Ζιούκρας 1989; Κούκης & Ζιούρκας, 1989; Koukis & Ziourkas, 1991; Koukis et al., 1997; Βασιλειάδης, 2010).

Το πρόβλημα παρουσιάζεται εντονότερο στην Κεντρική και Δυτική Ελλάδα, καθώς επίσης και στις περιοχές της Πιερίας, της Ηλείας, της Μαγνησίας, της Εύβοιας, περιοχές οι οποίες, κατά τον Σκιά (1998), χαρακτηρίζονται ως κλιματικά ευαίσθητες και μηχανικά ασταθείς. Αναφορικά με την χωρική κατανομή και τη συχνότητα των κατολισθητικών

τάσεων στον Ελλαδικό χώρο, οι Κούκης & Ρόζος (1982) διέκριναν τρεις σαφείς ενότητες: Δυτική, Κεντρική και Ανατολική, με τους σχηματισμούς να εντάσσονται σε γεωτεκτονικές ζώνες με χαρακτηριστική γεωμηχανική συμπεριφορά, απόκτημα της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των αποσαθρωτικών και διαβρωτικών διεργασιών.

Ειδικότερα σε ότι αφορά την **Δυτική ενότητα**, οι επισφαλείς συνθήκες που αναπτύσσονται οφείλονται στη λιθολογική σύσταση που δομούν τους γεωλογικούς σχηματισμούς που αναπτύσσονται στο χώρο αλλά και στη δομή που τους χαρακτηρίζει. Οι πλέον επιρρεπείς, στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, θεωρούνται οι χαλαροί τεταρτογενείς σχηματισμοί, οι νεογενείς αποθέσεις και τα ιζήματα του φλύσχη. Διακρίνονται ακόμα, ως προς την επιδεκτικότητα σε κατολισθητικά φαινόμενα, τα μικρού πάχους καλύμματα, ασβεστολιθικά ή κερατολιθικά υλικά, τα οποία επικάθονται επί «μαλακών» γεωλογικών σχηματισμών.

Η συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων παρουσιάζεται ελαφρώς υψηλότερη στην **Κεντρική ενότητα**, εξαιτίας του έντονου μορφολογικού αναγλύφου και της γεωτεκτονικής εξέλιξης των γεωλογικών σχηματισμών που τη δομούν. Οι πλέον επιρρεπείς στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων θεωρούνται οι σχηματισμοί του φλύσχη και η μεταβατική προς αυτόν σειρά του Άνω Κρητιδικού, τα νεογενή ιζήματα και οι χαλαρές τεταρτογενείς αποθέσεις. Στην ενότητα αυτή εντοπίζονται και οι μεγαλύτερες σε έκταση και όγκο κατολισθήσεις στην Ελλάδα, οι οποίες συνδέονται με τις επωθημένες και κατακερματισμένες ασβεστολιθικές μάζες. Ωστόσο, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων καταγράφονται στους σχηματισμούς του φλύσχη και των πλευρικών κορημάτων.

Στην Ανατολική ενότητα καταγράφεται η μικρότερη συχνότητα κατολισθητικών φαινομένων εξαιτίας του ότι, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που τη δομούν, χαρακτηρίζονται από καλύτερες γεωτεχνικές ιδιότητες. Παρουσιάζονται περισσότερο συμπαγείς και συνεκτικοί με μεγάλο πάχος και ομοιόμορφη κατανομή γεωτεχνικών χαρακτηριστικών. Οι πλέον επιρρεπείς, στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, θεωρούνται οι ζώνες που καταλαμβάνονται από τα νεογενή λεπτομερούς κυρίως φάσεως, από σχιστοκερατόλιθους καθώς και από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, κερατολίθων, μαργών και ασβεστολιθικών ενστρώσεων. Επίσης, πολύ συχνές είναι εδώ και οι αστοχίες πρανών στον μανδύα αποσάθρωσης γνευσίων, σχιστογνεύσιων και γρανιτογνεύσιων (*Ρόζος*, 2007α).

Οι γενικότερες γεωλογικές και τεκτονικές δομές που αφορούν και τις τρεις ενότητες, οι οποίες θεωρούνται ότι ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, χαρακτηρίζονται από (Κούκης & Ρόζος, 1982, Ζιούρκας, 1989):

 Γεωλογικούς σχηματισμούς υψηλότερης μηχανικής αντοχής που καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη μηχανική αντοχή. Στους σχηματισμούς αυτούς κατατάσσονται οι συμπαγείς σχηματισμοί, οι οποίοι χαρακτηρίζονται από υψηλή διατμητική αντοχή, παρουσιάζουν αντίσταση στη διάβρωση και επιτρέπουν τη δημιουργία πρανών με μεγάλη μορφολογική κλίση.

- Εναλλαγές στρωμάτων που έχουν διαφορετικές τιμές παραμέτρων μηχανικής αντοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων σχηματισμών αποτελεί ο φλύσχης, όπου οι κατολισθήσεις ευνοούνται περαιτέρω εξαιτίας της επιλεκτικής δράσης των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών συνθηκών.
- Δομές που επηρεάζονται από την τεκτονική δραστηριότητα. Αφορά τους σχηματισμούς οι οποίοι παρουσιάζονται να έχουν χαλαρωμένη δομή από αυτή που παρουσιάζουν οι υποκείμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί.

Μια από τις πρώτες συστηματικές ερευνητικές εργασίες επί του φαινομένου των κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο ήταν αυτή του Ζιούρκα (1989), ο οποίος αποτύπωσε την κατολισθητική επιδεκτικότητα του συνόλου των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην Ελλάδα. Ο Ζιούρκας εκτίμησε ότι, η συχνότητα των εκδηλωμένων κατολισθήσεων φτάνει το 36% στην λιθολογική ενότητα του φλύσχη, το 30% στην ενότητα που περιλαμβάνει τα νεογενή και τις μολλασικές εμφανίσεις, το 16% στις τεταρτογενείς αποθέσεις, όπου συμμετέχουν κυρίως τα πλευρικά κορήματα των κλιτυών, ενώ σε μικρό ποσοστό εντοπίζονται κατολισθητικά φαινόμενα στις ενότητες των μεταμορφωμένων σχιστώδων πετρώματων, των ανθρακικών και των ηφαιστειακών πετρωμάτων (Πίνακας 3-7).

Λιθολογικές Ενότητες	Συχνότητα Κατολισθήσεων (%)	Ποσοστό έκτασης (%)	Σχετική συχνότητα κατολισθήσεων
Ηφαιστειακά πετρώματα	2.75	12.58	2.20
Μεταμορφωμένα σχιστώδη πετρώματα	8.61	18.35	4.80
Ανθρακικά πετρώματα	3.62	19.50	1.90
Στρώματα μετάβασης προς το φλύσχη	3.00	1.22	25.00
Φλύσχης	35.58	8.48	42.80
Νεογενή – Μολάσσες	30.21	24.00	12.80
Τεταρτογενείς αποθέσεις	16.23	15.87	10.40

Πίνακας 3-7: Κατανομή συχνότητας κατολισθήσεων σε διαφορετικές λιθολογικές ενότητες (Ζιούρκας 1989, από την αρχειοθέτηση 802 κατολισθήσεων από τον Ελλαδικό χώρο).

Αποτυπώνοντας τη στατιστική προσέγγιση και δίνοντας τη χωρική διάσταση του φαινομένου των κατολισθήσεων στον Ελλαδικό χώρο, οι *Βασιλειάδης* (2010) και *Sabatakakis et al.* (2013) παρουσίασαν τη γεωγραφική κατανομή των κατολισθήσεων, όπου διακρίνονται σαφώς περιοχές με αυξημένη πυκνότητα κατολισθητικών συμβάντων κυρίως στη κεντρική και δυτική Ελλάδα (Σχήμα 3-3). Στον ίδιο χάρτη διακρίνεται η αυξημένη συχνότητα των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή της Κύμης – Εύβοιας, που αποτελεί και την περιοχή έρευνας της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Από στοιχεία που αντλήθηκαν από μελέτες και έρευνες που χρονολογούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, φαινόμενα γεωλογικών αστοχιών είναι εκτενή στην ευρύτερη



περιοχή και εντοπίζονται κυρίως σε φυσικά πρανή που δομούνται από μαργαϊκούς σχηματισμούς.

Σχήμα 3-3: Χάρτης Συχνότητας Εμφάνισης Κατολισθήσεων στον Ελληνικό χώρο σε ορθογώνιο πλέγμα 10 x 10 km με υπέρθεση των καταγεγραμμένων θέσεων των κατολισθήσεων (n=1.238) (Βασιλειάδης, 2010).

Σε γενικές γραμμές, ειδικά για τον Ελλαδικό χώρο, η γεωλογική και γεωμορφολογική πολυμορφία με τις μεγάλες μορφολογικές κλίσεις, την έντονη τεκτονική παραμόρφωση και την υψηλή σεισμικότητα, εξηγούν τον μεγάλο αριθμό κατολισθήσεων. Ιδιαίτερα οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, οι οποίες συχνά γίνονται αλόγιστα και χωρίς μελέτη και προγραμματισμό, οδηγούν σε αποψίλωση των δασών και σε αφαίρεση της υποστήριξης των πρανών, με αποτέλεσμα, μόνο κατά μήκος του οδικού δικτύου, να έχουν καταγραφεί πάνω από 500 περιπτώσεις αστοχίας τα τελευταία 50 χρόνια.

3.4 Τεχνικές και μέθοδοι εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας και του κατολισθητικού κινδύνου

Η καταστροφικότητα των φυσικών φαινομένων, στην προκειμένη περίπτωση των κατολισθητικών φαινομένων, συνδέεται και εξαρτάται από τα τεχνικά έργα και τη σχέση τους με το στενό και ευρύτερο γεωλογικό περιβάλλον. Η έννοια της έντασης ενός καταστροφικού φαινομένου συσχετίζεται με το μέγεθος και την έκταση των καταστροφών που προκαλεί, η δε έκταση των καταστροφών δεν εξαρτάται μόνο από την ενέργεια του
καταστροφικού φαινομένου αλλά και από την ποιότητα των τεχνικών έργων καθώς επίσης του εδάφους και του υπεδάφους επί των οποίων εδράζονται (Κουμαντάκης, 1988; Coumantakis, 1989).

Σε επίπεδο περιφέρειας ή σε μεσαίας ανάλυσης κλίμακα, η εκτίμηση της ενδεχόμενης καταστροφικότητας είναι απαραίτητη καθώς οδηγεί σε σωστό και κατάλληλο σχεδιασμό πριν τη φάση διαστασιολόγησης και κατασκευής των τεχνικών έργων και κατ' επέκταση συμβάλλει στη μείωση του κόστους κατασκευής και συντήρησης των μελλοντικών τεχνικών έργων.

Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι, η ζωνοποίηση των περιοχών που ενδεχόμενα κινδυνεύουν, αποτελεί άμεση και κρίσιμη προτεραιότητα (*Carrara et al., 1991; Guzzetti et al., 1999; Sabatakakis et al., 2013*).

Κατά τον *Varnes* (1984), η ζωνοποίηση της «επικινδυνότητας» ορίζεται ως η διαδικασία της οριοθέτησης ενός τμήματος της γήινης επιφάνειας και η ταξινόμησή του σύμφωνα με το βαθμό του υπαρκτού ή δυνητικού «κινδύνου».

Ο όρος «επικινδυνότητα» (*hazard*) αναφέρεται στην πιθανότητα εκδήλωσης κατολίσθησης συγκεκριμένου μεγέθους σε δεδομένη χρονική στιγμή και σε συγκεκριμένη περιοχή. Η μαθηματική έκφραση του ορισμού δίνεται από την εξίσωση (1.1):

$$\mathbf{H}_{\mathrm{it}} = f(\mathbf{S}_{\mathrm{is}}, \mathbf{t}_{\mathrm{i}}) \tag{1.1}$$

όπου, S_{is} είναι η «επιδεκτικότητα» (susceptibility) της περιοχής έρευνας στο συγκεκριμένο φυσικό κίνδυνο i και t_i , είναι ο ενεργοποιητικός παράγοντας που περιλαμβάνει την πιθανολογική διάσταση της χρονικής πρόβλεψης (Ηλίας, 2000). Ο ορισμός της «επικινδυνότητας» εμπεριέχει δυο συνιστώσες, τον χώρο και το χρόνο. Η χωρική συνιστώσα προσδιορίζει τις περιοχές οι οποίες είναι επιδεκτικές στη διαμόρφωση συνθηκών αστοχίας σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, ενώ η χρονική συνιστώσα προσδιορίζει τη χρονική στιγμή εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων σε μια δεδομένη περιοχή (Φερεντίνου, 2004).

Σύμφωνα με τους Dai et al. (2002), οι παράμετροι που καθορίζουν τον κίνδυνο εκδήλωσης μιας κατολίσθησης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες: στις παραμέτρους που προετοιμάζουν και διαμορφώνουν συνθήκες αστάθειας (preperatory), όπως είναι η γεωλογία, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους, οι γεωτεχνικές παράμετροι των γεωλογικών σχηματισμών, η επίδραση της φυτοκάλυψης και το υδρογραφικό δίκτυο, και στις εναυσματικές παραμέτρους (triggering) οι οποίες τείνουν να ενεργοποιήσουν τα κατολισθητικά φαινόμενα, όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις και η σεισμική δραστηριότητα (Wu & Sidle, 1995; Atkinson & Massari, 1998). Αν οι εναυσματικές παράμετροι δεν ληφθούν υπόψη, ο όρος «επιδεκτικότητα» θα αναφέρεται στην πιθανότητα παρουσίας κατολισθητικού συμβάντος εξετάζοντας μόνο τη χωρική διάσταση του προβλήματος (Ilia et al., 2010).

Κατά τους Jaiswal et al., (2011) η εκτίμηση της «επικινδυνότητας» προϋποθέτει, εκτός της χωρικής πιθανότητας που προσδιορίζεται από τις ενδογενείς παραμέτρους, την εκτίμηση της πιθανότητας της έκτασης και του μεγέθους αλλά και τη χρονική πιθανότητα για διαφορετικούς χρόνους επανάληψης του φαινομένου.

Ο όρος «διακινδύνευση» (risk), ενέχει την έννοια να συμβεί στην πραγματικότητα ένας συγκεκριμένος κίνδυνος. Ενώ ο «κίνδυνος» λαμβάνεται ως μια διαδικασία που εμπεριέχει το δυναμικό της απώλειας αποτελώντας μια γενική μορφή απειλής, η «επικινδυνότητα» συνιστά την πραγματική έκθεση οποιουδήποτε στοιχείου που έχει αξία για τον άνθρωπο σε κάποιον κίνδυνο, θεωρούμενη ως ένας συνδυασμός πιθανότητας και απώλειας (Smith, 1996).

Κατά τον Varnes (1984), για τον προσδιορισμό της «διακινδύνευσης», απαιτείται να υπολογιστούν η «επικινδυνότητα» και η «τρωτότητα» (vulnerability) των «στοιχείων σε διακινδύνευση» (elements at risk).

Ως «τρωτότητα» ορίζεται ο βαθμός απωλειών σε ένα δεδομένο στοιχείο ή σύνολο στοιχείων σε κίνδυνο που προέρχεται από την εμφάνιση ενός φυσικού φαινομένου δεδομένου μεγέθους (*Benardos & Kaliampakos, 2004; Li et al., 2010*), ενώ ως «στοιχεία σε διακινδύνευση» αναφέρονται ο ανθρώπινος πληθυσμός, τα έργα υποδομής, οι χρήσεις γης, οι περιουσίες και οικονομικές δραστηριότητες, που είναι σε διακινδύνευση σε μια δεδομένη περιοχή.

Συνεπώς, η «διακινδύνευση» ορίζεται ως ο αναμενόμενος αριθμός απωλειών ζωής, τραυματισμών, ζημιών σε περιουσία ή αποδιοργάνωση της οικονομικής δραστηριότητας εξαιτίας του συγκεκριμένου φυσικού φαινομένου, η μαθηματική έκφραση του οποίου αποτυπώνεται στην εξίσωση (1.2):

$$\mathbf{R}_{\mathrm{it}} = f(\mathbf{H}_{\mathrm{it}}, \mathbf{C}_{\mathrm{ej}}) \tag{1.2}$$

όπου, H_{it} , είναι η «επικινδυνότητα» (hazard) και C, είναι οι «επιπτώσεις» (consequnces) που έχει η εκδήλωση του κινδύνου στα «στοιχεία σε διακινδύνευσης» e_j (Marin, 1992).

Το παραγόμενο αποτέλεσμα παρουσιάζει το αναμενόμενο "κόστος" των ζημιών που προκλήθηκαν από την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου σε μια καθορισμένη περιοχή έρευνας, συνυπολογίζοντας τις πιθανότητες από ένα χάρτη «επικινδυνότητας» με μια ανάλυση όλων των πιθανών συνεπειών και επιπτώσεων. Αναλυτικά στοιχεία για τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης δίνονται στο 10° κεφάλαιο.

Σύμφωνα με τον *Tangestani* (2003), οι τεχνικοί γεωλόγοι, οι γεω-επιστήμονες και οι σχετικοί επιστήμονες για τον σχεδιασμό τεχνικών έργων, ενδιαφέρονται για τον προσδιορισμό του κινδύνου και της επιδεκτικότητας έναντι κατολισθητικών φαινομένων κυρίως για δύο λόγους:

- οι χάρτες «κινδύνου» προσδιορίζουν και σκιαγραφούν τις «ασταθείς περιοχές», στις οποίες θα πρέπει να εφαρμοστούν σχέδια που θα συμπεριλαμβάνουν κατάλληλα μέτρα μετριασμού του κινδύνου,
- οι συγκεκριμένοι χάρτες βοηθούν τους αρμόδιους φορείς στο σχεδιασμό, έτσι ώστε να επιλέξουν τις καταλληλότερες τοποθεσίες για την οικοδόμηση κτιρίων και την κατασκευή οδικών αρτηριών.

Σε γενικές γραμμές, οι τεχνικές και οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για πρόβλεψη «κινδύνου» χωρίζονται σε τεχνικές που ακολουθούν την ποιοτική ανάλυση, την ημι - ποιοτική ανάλυση, την ποσοτική ανάλυση αλλά και υβριδικές τεχνικές μοντελοποίησης (Soeters & van Westen, 1996; Aleotti & Chowdhury, 1999; Dai & Lee, 2002; Fell et al., 2008; Tsangaratos et al., 2011; Τσαγγαράτος, 2012) (Σχήμα 3-4):



Οι ποιοτικές και ημι-ποιοτικές μέθοδοι βασίζονται στην ανάλυση που στηρίζεται πλήρως ή μερικώς στην εμπειρία και τη γνώση που προέρχεται από Εμπειρογνώμονες και Ειδικούς Επιστήμονες. Στηρίζονται στην αναζήτηση της γνώσης μέσω των εμπειρικών δεδομένων, αντί να στηρίζεται σε επακριβώς καθορισμένη θεωρία και σε αξιωματικού τύπου θεωρήσεις. Το γεγονός αυτό δημιουργεί αμφιβολίες ως προς την υποκειμενικότητα σχετικά με την εξέταση των παραμέτρων που επιδρούν στην εκδήλωση του φαινομένου.

Η ανάλυση βασισμένη στη γνώση που εξάγεται από βάσεις δεδομένων, αποτελεί τη μεθοδολογία που κάνει χρήση των τεχνικών και των μεθόδων που εφαρμόζονται στη Μηχανική Μάθηση και τη Στατιστική ανάλυση / Εξόρυξη Δεδομένων. Προσπαθεί να προσδιορίζει μέσα από μια βάση δεδομένων τα πρότυπα και τα μοτίβα που αντιστοιχούν σε ζώνες που επιδεικνύουν γεωλογικές αστοχίες (Τσαγγαράτος, 2012).

Η στατιστική ή πιθανολογική προσέγγιση στηρίζεται στις συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών που προσδιορίζουν το φαινόμενο των κατολισθήσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη χωρική διασπορά παλαιότερων καταγεγραμμένων αστοχιών. Περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των υφιστάμενων κατολισθήσεων, τη χαρτογράφηση του συνόλου των μεταβλητών που άμεσα ή έμμεσα συνδέονται με τη γεωλογική αστοχία και την εξαγωγή των στατιστικών συσχετίσεων μεταξύ αυτών των παραγόντων και της γεωλογικής αστοχίας. Σημαντικές μέθοδοι στατιστικής ανάλυσης αποτελούν: (α) η δύο-μεταβλητών ή διμεταβλητή ανάλυση (*bivariate analysis*) και (β) η πολλών-μεταβλητών ή πολυμεταβλητή ανάλυση (*multivariate analysis*) (*Santacana et al., 2003*).

Η διμεταβλητή (bivariate analysis) ανάλυση βασίζεται στην έμμεση χαρτογράφηση και έρευνα του κατολισθητικού φαινομένου. Σε αυτού του τύπου τη στατιστική ανάλυση, οι παράγοντες που συμβάλουν στην εκδήλωση μιας κατολίσθησης, εισάγονται σ' ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών και, αφού ταξινομηθούν σε κατηγορίες, συσχετίζονται με έναν χάρτη καταγραφής προγενέστερων κατολισθητικών συμβάντων. Με αυτό τον τρόπο καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός της πιθανότητας εκδήλωσης κατολίσθησης για όλες τις κατηγορίες κάθε παράγοντα, χρησιμοποιώντας την πυκνότητα των κατολισθήσεων (Jimenez-Peralvarez et al., 2009). Σημαντικά και σχετικά πρόσφατα παραδείγματα μελετών που χρησιμοποίησαν τη διμεταβλητή στατιστική ανάλυση αποτελούν η μελέτη των Chang & Kim (2004) όπως επίσης και αυτή των Jurko et al. (2006).

Γενικά, η πολλών-μεταβλητών ή πολυμεταβλητή ανάλυση, αν και εφαρμοζόταν με επιτυχία σε διάφορους κλάδους (όπως η μοντελοποίηση του εδάφους), μόνο πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιείται στις περιβαλλοντικές επιστήμες και ειδικότερα σε προβλήματα που σχετίζονται με τις κατολισθήσεις. Σημαντικά πλεονεκτήματα των μεθόδων της πολυμεταβλητής ανάλυσης θεωρούνται τα εξής (Gorsevski et al., 2000):

- Παραγωγή λιγότερων νέων μεταβλητών σε σχέση με τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών.
- Ευκολότερος εντοπισμός ή προσδιορισμός των ακρώτατων τιμών.
- Ευκολότερος έλεγχος των υποθέσεων έτσι ώστε να εξακριβωθεί η εγκυρότητα της.

Σε αυτού του τύπου την στατιστική προσέγγιση, οι παράμετροι των επιρρεπών στις κατολισθήσεις περιοχών αναλύονται με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (logistic regression), με τη μέθοδο της διαχωριστικής ανάλυσης (discriminant analysis), ή με τη μέθοδο Weight of Evidence.

Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου λογιστικής παλινδρόμησης αλλά και της διαχωριστικής ανάλυσης είναι ότι, εάν υπάρχουν πολλές παράμετροι, θα παραχθεί μια εξίσωση με πολλές παραμέτρους καθιστώντας έτσι δύσκολη την κατανόηση των στατιστικών αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση του ρόλου κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής στο τελικό μοντέλο. Επίσης, παρατηρούνται διαφορές στη διεθνή βιβλιογραφία, στον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται και ορίζονται οι συντελεστές μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών μιας ορισμένης παραμέτρου (π.χ. λιθολογίας) καθώς και στο μέγεθος των δειγμάτων που λαμβάνονται για να δημιουργήσουν την εξαρτώμενη μεταβλητή, είτε αυτή είναι κατηγορική στην περίπτωση της διαχωριστικής ανάλυσης, είτε είναι συνεχής στην περίπτωση της λογιστικής παλινδρόμησης. Η πολυπλοκότητα και η σχετική αβεβαιότητα που ενέχει η εκτίμηση των δεικτών επιδεκτικότητας, επικινδυνότητας και διακινδύνευσης ως προς την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων με τις μεθόδους λογιστικής παλινδρόμησης και διαχωριστικής ανάλυσης οδήγησε στη χρησιμοποίηση της πιθανολογικής μεθόδου Weight of Evidence μέσω της οποίας πετυχαίνεται σχετική μείωση του ποσοστού αβεβαιότητας που ενέχει η τελική εκτίμηση.

Η ντετερμενιστική μέθοδος, τέλος, περιλαμβάνει τις ντετερμινιστικές – συμβατικές μεθόδους, οι οποίες εφαρμόζουν τη θεωρία και τις αρχές της κλασσικής θεωρίας ευστάθειας πρανών. Αποτελεί μια μέθοδο για τον προσδιορισμό του συντελεστή ασφαλείας περιοχών μεγάλης κλίμακας, όπου τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιούνται ως συστήματα χωρικής ανάλυσης και διεξαγωγής σεναρίων (van Westen et al., 1997, Sakelariou & Ferentinou, 2001, Corominas & Santacana, 2003, Xie et al., 2004). Η μέθοδος αυτή απαιτεί τη διερεύνηση και τη μέτρηση με ακρίβεια των γεωτεχνικών, γεωμετρικών και υδραυλικών συνθηκών της περιοχής μελέτης.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλώνμεταβλητών (multivariate analysis) και συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Weight of Evidence (WofE). Η μέθοδος αυτή επιλέχτηκε γιατί αποτελεί μέθοδο της θεωρίας των πιθανοτήτων που επιτρέπει τη μοντελοποίηση της αβεβαιότητας, συνδυάζοντας τη γνώση που προέρχεται από τη μαθηματική επίλυση του προβλήματος με τη γνώση που πηγάζει από τον παρατηρητή (Bonham – Carter, 1994; Ilia et al., 2010). Σκοπός ήταν η δημιουργία ενός μοντέλου που θα βοηθάει στη ταξινόμηση και αναγνώριση πιθανών θέσεων επιδεκτικών σε κατολίσθηση αλλά και στην κατανόηση του μηχανισμού λειτουργίας αυτών. Αναλυτικά στοιχεία της μεθόδου θα δοθούν στο 9° κεφάλαιο της διατριβής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής ερεγνάς

Γεωγραφικά στοιχεία Γεωμορφολογικά στοιχεία Κλιματολογικά στοιχεία Χρήσεις γης Λιγνιτική δραστηριότητα



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ</u> <u>ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ</u>

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά της περιοχής Κύμης, ξεκινώντας με τα γεωγραφικά στοιχεία, ενώ ακολουθεί η γεωμορφολογική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, τα κλιματολογικά στοιχεία που συγκεντρώθηκαν και επεξεργάστηκαν, καθώς και οι χρήσεις γης που επεξεργάστηκαν στοιχεία του *Corine 2006*.

4.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Ο Δήμος Κύμης - Αλιβερίου είναι δήμος της περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας που συστάθηκε με το Πρόγραμμα Καλλικράτης (Ν.3852/2010, ΦΕΚ Α' 87/07-06-2010). Προέκυψε από τη συνένωση των προϋπαρχόντων δήμων Δυστίων, Ταμιναίων, Κονιστρών, Αυλώνας και Κύμης. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 801.21 km² και ο πληθυσμός του 33527 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2001. Έδρα του δήμου ορίστηκε το Αλιβέρι και ιστορική έδρα η Κύμη (Εικόνα 4-1).

Η υπό μελέτη περιοχή βρίσκεται στο BA άκρο της κεντρικής Εύβοιας, στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Κύμης και της λιγνιτοφόρου περιοχής που την περιβάλλει. Συνδέεται μέσω Αλιβερίου με τη Χαλκίδα (απόσταση 93Km) και με το ομώνυμο λιμάνι και τα γύρω χωριά που βρίσκονται τα ανενεργά λιγνιτορυχεία του Εντς (7Km νοτιοδυτικά της Κύμης) καθώς και των Μελετιανών (10Km δυτικά). Η περιοχή έρευνας αφορά στον πρώην Δήμο Κύμης ο οποίος περιελάμβανε τα δημοτικά διαμερίσματα Ανδρωνιάνων, Μετοχίου, Βίταλου, Ποταμίας, Καλημεριάνων, Ενορίας, Πλατάνας, Πύργου, Ταξιαρχών και Μαλετιάνων, έχει έκταση 167.6km² και πληθυσμό 8772 κατοίκους σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2001. Στα δυτικά όρια του πρώην Δήμου, Κύμης σε σημαντική απόσταση από τους προαναφερθέντες οικισμούς και με σχετικά δυσχερή οδική πρόσβαση εντοπίζεται το Δημοτικό Διαμέρισμα του Μετοχίου και ο οικισμός Κούτουρλα.



Εικόνα 4-1: Χάρτης περιοχής Κύμης.

4.2 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά - χωρική ανάλυση σε περιβάλλον GIS

Γενικότερα, η μορφολογική διάρθρωση μιας περιοχής επηρεάζεται από τη συνδυασμένη δράση ορισμένων παραμέτρων, όπως είναι η γεωλογική δομή, η πρόσφατη τεκτονική δραστηριότητα και εξέλιξη, καθώς και η ενέργεια των μηχανισμών διάβρωσης και αποσάθρωσης. Η κατανόηση των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών και των συνθηκών που επικρατούν σε μια περιοχή και που επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα τις κατασκευές τεχνικών έργων, απαιτεί την πλήρη γνώση και διερεύνηση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος. Για τον λόγο αυτό, η κατασκευή ενός γεωμορφολογικού χάρτη αποτελεί σημαντικό εργαλείο στην προσπάθεια απεικόνισης των δεδομένων του γεωλογικού περιβάλλοντος, η γνώση των οποίων είναι απαραίτητη στον ασφαλή σχεδιασμό και στην κατασκευή των τεχνικών έργων.

Στα πλαίσια της μελέτης των διεργασιών που διαμόρφωσαν το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής μελέτης, κατασκευάστηκε ο γεωμορφολογικός χάρτης της Εικόνας 4-2, χρησιμοποιώντας γεωχωρικά δεδομένα από την Κτηματολόγιο Α.Ε. Η μορφή των αρχείων που αποκτήθηκαν ήταν τύπου ESRI lattice (*floating*) με διάσταση καννάβου στο έδαφος 5 m. Το γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς ήταν το *European Terrestrial Reference System* 1989 (ETRS89) και το προβολικό σύστημα αναφοράς, η Εγκάρσια Μερκατορική προβολή (TM) με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κεντρικός μεσημβρινός: λ⁰=24⁰A
- Συντελεστής κλίμακας σε $λ^0=24^0$ A: $κ^0=0.9996$
- Πλάτος αναφοράς: φ⁰=00000'00''.00
- Προσθετική σταθερά στο Χ: Χ0=500000.00 μέτρα
- Προσθετική σταθερά στο Υ: Υ0=500000.00 μέτρα

Η τιμή του συντελεστή κλίμακας κ (μέτρου γραμμικής παραμόρφωσης) σε κάθε σημείο υπολογίστηκε με βάση τον προσεγγιστικό τύπο:

 $K=0.012311(X^{0.5})^2 + 0,9996$, όπου X αναφέρεται ως η τετμημένη του σημείου σε εκατομμύρια μέτρα (δηλ. $X=x10^{-6}$).

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε μετατροπή των αρχείων στο Ελληνικό Σύστημα Προβολής EGSA87 με τη χρήση του λογισμικού πακέτου *ArcCatalog* της ESRI. Το προβολικό σύστημα είχε τα εξής χαρακτηριστικά:

- Κεντρικός μεσημβρινός: λ⁰=24⁰A
- Συντελεστής κλίμακας σε λ⁰=24⁰A: κ0=0,9996
- Πλάτος αναφοράς: φ⁰=00000'00''.00
- Προσθετική σταθερά στο Χ: Χ0=000000.00 μέτρα

Προσθετική σταθερά στο Υ: Υ0=000000.00 μέτρα

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους το οποίο δημιουργήθηκε είχε μέγεθος φατνίου 5m με τετράγωνες επιφάνειες πλευράς 5m, ενώ διαμορφώθηκαν οι ισοϋψομετρικές ζώνες οι οποίες αναφέρονται και αυτές σε μέτρα.

Σύμφωνα με τον γεωμορφολογικό χάρτη που παράχθηκε, η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται πεδινή έως ημιορεινή με τις σημαντικότερες τοπογραφικές εξάρσεις να αφορούν στο όρος Παλιόπυργος (1094 m), Ίταμος (1040 m), Γέρω Έλατος (960m) και Σκόλος (960m). Επίσης απαντούν χαμηλότερου υψομέτρου τοπογραφικές δομές όπως είναι οι κορυφές, Σκάλα (878m), Τούρλα (874m), Τσαρούχι (870m), Αρκουδότρυπα (864m), Στρογκάκι (860m), Μεσιανή Ράχη (640m) κ.α. Το ΝΑ/κο τμήμα της περιοχής έρευνας, χαρακτηρίζεται από ήπιο σχετικά ανάγλυφο. Την ομαλή λοφώδη μορφολογία του τμήματος αυτού διαταράσσει επιμήκης λοφοσειρά, ΒΑ/κής – ΝΔ/κής διεύθυνσης, μήκους 4 περίπου km η οποία συνίσταται από ηφαιστειογενή πετρώματα σχηματίζοντας εντυπωσιακές κωνικές κορυφές (Οξύλιθος).

Το ανάγλυφο στα BA/κα της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιες μορφολογικές κλίσεις, με εξαίρεση τη ζώνη των απολήξεών της στη θάλασσα, όπου διαμορφώνονται, με τη συνδρομή της τεκτονικής δράσης, σχεδόν κατακόρυφα βραχώδη ασβεστολιθικά πρανή. Στο κεντρικό και NA/κο τμήμα, η επιδεκτικότητα των λεπτομερών νεογενών σχηματισμών που εντοπίζονται εντός αυτής της ζώνης και οι διεργασίες της αποσάθρωσης και της διάβρωσης, σε συνδυασμό με την έντονη τεκτονική καταπόνηση, έχουν διαμορφώσει βαθιές χαράδρες. Το κεντρικό τμήμα χαρακτηρίζεται από ορεινό ανάγλυφο, με έντονες μορφολογικές κλίσεις.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν περιγράφονται οι διεργασίες χωρικής ανάλυσης που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής και συγκεκριμένα πραγματοποιείται μορφολογική και υδρολογική ανάλυση από τις οποίες διαμορφώνονται οι πληροφορίες υψομέτρου, μορφολογικών κλίσεων, διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων, υδρογραφικού δικτύου. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται η διάκριση των γεωμορφών που εμφανίζονται στην περιοχή έρευνας.



Εικόνα 4-2: Γεωμορφολογικός χάρτης περιοχή Κύμης.

4.2.1 Μορφολογική ανάλυση στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής

Οι Wilson & Gallant (2000) διαχωρίζουν τις μορφομετρικές παραμέτρους σε πρωτεύουσες και δευτερεύουσες ανάλογα με το εάν προέρχονται απευθείας από ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model, DEM) ή απαιτούνται επιπρόσθετες διεργασίες ανάλυσης. Οι πρωτεύουσες μορφομετρικές παράμετροι περιλαμβάνουν πρώτης και δεύτερης τάξης παραγώγους επιφανείας, όπως είναι η μορφολογική κλίση, η διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, η καμπυλότητα κατά τη διεύθυνση κλίσης και η καμπυλότητα κάθετα στη κλίση.

Μορφομετρική παράμετρος υψομέτρου



Οι Zevenbergen & Thorn (1987) υπολόγισαν με βάση τις αρχές της διαφορικής γεωμετρίας και τη χρήση μερικών παραγώγων, το υψόμετρο του κεντρικού φατνίου ενός στοιχειώδους πλέγματος αποτελούμενο από 3x3 φατνία επιφάνειας (Εικόνα 4-3). Η τιμή του υψομέτρου προκύπτει από την επίλυση μιας δευτεροβάθμιας πολυωνομικής εξίσωσης (Hengl & Reuter, 2008; Jordan, 2007), όπου z είναι το υψόμετρο και x και y οι συντεταγμένες του γεωγραφικού σημείου. Οι εννέα συντελεστές της εξίσωσης

δίνονται από τις αντίστοιχες εξισώσεις και με βάση αυτούς τους συντελεστές υπολογίζεται το σύνολο των πρωτευουσών μορφομετρικών χαρακτηριστικών:

$$Z = Ax^{2}y^{2} + Bx^{2}y + Cxy^{2} + Dx^{2} + Ey^{2} + Fxy + Gx + Hy + I$$

$$A = [(ZI + Z3 + Z7 + Z9)/4 - (Z2 + Z4 + Z6 + Z8)/2 + Z5]/L^{4}$$

$$B = [(ZI + Z3 - Z7 - Z9)/4 - (Z2 - Z8)/2]/L^{3}$$

$$C = [(-ZI + Z3 - Z7 + Z9)/4 + (Z4 - Z6)]/2]/L^{3}$$

$$D = [(Z4 + Z6)/2 - Z5]/L^{2}$$

$$E = [(Z2 + Z8)/2 - Z5]/L^{2}$$

$$F = (-ZI + Z3 + Z7 - Z9)/4L^{2}$$

$$G = (-Z4 + Z6)/2L$$

$$H = (Z2 - Z8)/2L$$

$$I = Z5$$

$$(9.1)$$

Σε ότι

αφορά την κατάταξη της περιοχής έρευνας σε μορφολογικές ζώνες προκύπτουν τα εξής: Διακρίνονται τρεις μορφολογικές ζώνες: πεδινή (0-200m), ημιορεινή (200-600m) και ορεινή (>600m), (Εικόνα 4-4). Όπως διαπιστώθηκε, οι ορεινές περιοχές καταλαμβάνουν συνολικά το 26.3% του συνολικού εμβαδού της περιοχής μελέτης. Η ημιορεινή ζώνη αντιπροσωπεύει το 42.3% της περιοχής έρευνας, ενώ το πεδινό τμήμα το 31.5% του συνολικού εμβαδού και αφορά κυρίως στις παράκτιες περιοχές. Συμπερασματικά, το ανάγλυφο στην περιοχή μπορεί να θεωρηθεί πεδινό έως ημιορεινό σε ποσοστό 73.8%.

Μορφομετρική παράμετρος μορφολογικών κλίσεων

Για τη δημιουργία του Θεματικού Επιπέδου Πληροφορίας (ΘΕΠ) που αφορά στις μορφολογικές κλίσεις εφαρμόζεται ο σχετικός αλγόριθμος στην πολυγωνική επιφάνεια *DEM*, που είχε προηγουμένως παραχθεί. Ο αλγόριθμος υπολογίζει την τιμή της κλίσης σε απόλυτους ακέραιους ή δεκαδικούς αριθμούς για κάθε στοιχειώδες φατνίο (*cell*), χρησιμοποιώντας τις τιμές υψομέτρου των οκτώ (8) άμεσα γειτονικών φατνίων, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\beta = \arctan\left[(G^2 + H^2)^{1/2} \right]$$
(9.2)

Αναφορικά με τις μορφολογικές κλίσεις στην περιοχή (Εικόνα 4-5), οι επικρατούσες κλίσεις είναι της τάξης του 7^0 - 30^0 σε ποσοστό 67.4% του συνολικού εμβαδού και ακολουθούν εκείνες με τιμές 30^0 - 37^0 και 0^0 - 7^0 (ποσοστό 11.2% και 10.9%, αντίστοιχα). Οι μεγαλύτερες κλίσεις, αυτές που αντιπροσωπεύονται από μορφολογικές κλίσεις μεγαλύτερες από 37° , συμμετέχουν σε ποσοστό μόλις 10.6%.

Μορφομετρική παράμετρος διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων

Ομοίως με τη διαδικασία εκτίμησης των μορφολογικών κλίσεων, για τη δημιουργία του ΘΕΠ που αφορά στη διεύθυνση των κλίσεων εφαρμόζεται ο σχετικός αλγόριθμος στην πολυγωνική επιφάνεια της περιοχής έρευνας. Η διαδικασία της δημιουργίας των θεματικών επιπέδων πληροφορίας που αφορούν στις μορφολογικές κλίσεις γίνεται σε αρχεία ΤΙΝ ή grid, ενώ το αποτέλεσμα της διαδικασίας μπορεί να παρουσιαστεί και σε διανυσματική μορφή, διευκολύνοντας την περαιτέρω χωρική ανάλυση. Ο αλγόριθμος υπολογίζει την τιμή διεύθυνσης της κλίσης, σε απόλυτους ακέραιους ή δεκαδικούς αριθμούς, για κάθε στοιχειώδες κελί (*cell*), χρησιμοποιώντας τις τιμές των οκτώ άμεσα γειτονικών κελιών, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\phi = 180 - \arctan\left(\frac{H}{G}\right) + 90\left(\frac{G}{|G|}\right)$$
(9.3)

Σχετικά με τον προσανατολισμό του ανάγλυφου, τη διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων, όπως διαπιστώνεται στον αντίστοιχο χάρτη της Εικόνας 4-6, η επικρατέστερη διεύθυνση είναι αυτή με τιμές από 0^0 έως 112.5⁰ (36.50%) και ακολουθούν το εύρος τιμών 112.5⁰ – 202.5⁰ (33.0%). Συμπερασματικά, ο βασικός προσανατολισμός του ανάγλυφου είναι προς B - BA και A με μικρότερη συμμετοχή του προσανατολισμού προς τα Δ-ΝΔ.

<u>Μορφομετρική παράμετρος καμπυλότητας κατά τη διεύθυνση κλίσης και καμπυλότητας</u> κάθετα στη κλίση

Κατά τη διαδικασία της δημιουργίας των ΘΕΠ που αφορούν στην καμπυλότητα κατά τη διεύθυνση κλίσης και κάθετα στη κλίση, ενεργοποιείται ο σχετικός αλγόριθμος που υπολογίζει την τιμή της καμπυλότητας σε απόλυτους ακέραιους ή δεκαδικούς αριθμούς, για κάθε στοιχειώδες κελί (*cell*), χρησιμοποιώντας τις τιμές των οκτώ άμεσα γειτονικών κελιών, σύμφωνα με τις εξισώσεις 9.4 και 9.5:

Για την καμπυλότητα κατά τη διεύθυνση της κλίσης

Pr
$$c = 2 \frac{\left(DG^2 + EH^2 + FGH\right)}{(G^2 + H^2)}$$
 (9.4)

Για την καμπυλότητα κάθετα στη διεύθυνση της κλίσης

$$Plc = -2\frac{(DH^{2} + EG^{2} - FGH)}{(G^{2} + H^{2})}$$
(9.5)



Από τη συνδυαστική αξιοποίηση των δύο καμπυλοτήτων (κάθετα και παράλληλα), προκύπτει ο χάρτης που αποτυπώνει την καμπυλότητα του φυσικού αναγλύφου (Εικόνα 4-7).









4.2.2 Δημιουργία χάρτη γεωμορφών στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής

Ως γεωμορφές ορίζονται οι φυσικές ενότητες που αναπτύσσονται κάτω από όμοιες συνθήκες κλίματος, αποσάθρωσης και διάβρωσης. Οι ενότητες αυτές, παρουσιάζουν διακριτές και προβλέψιμες φυσικές ιδιότητες και οπτικά χαρακτηριστικά, ο εντοπισμός των οποίων είναι εφικτός είτε από υπαίθρια εργασία είτε από την εξέταση αεροφωτογραφίων ή από την συνδυαστική τους χρήση (*Way*, 1978). Η γνώση της έκτασης των γεωμορφών μιας περιοχής, είτε αυτή είναι πολύπλοκη αποτελούμενη από φαράγγια, λόφους και βουνά, είτε απλή με κοιλάδες και πεδιάδες, θεωρείται ότι αποτελεί μια αρκετά σημαντική παράμετρο κατά την εκτίμηση ειδικών περιβαλλοντικών και μορφολογικών δεικτών (*Lindenmayer & Fischer*, 2006). Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές μελέτες που στοχεύουν στο προσδιορισμό και την ταξινόμηση των γεωμορφών χρησιμοποιώντας εξελιγμένους αλγόριθμους με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (*Dehn et al.*, 2001; Shary et al., 2002; Burrough et al., 2000; Schmidt & Hewitt, 2004; Bolongaro- Crevenna et al, 2005; Jordan et al., 2008; Tagil & Jennesse, 2008; Gercek, 2010).

Από γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής άποψης, οι γεωμορφές αποτελούν ειδικού ενδιαφέροντος περιοχές, καθώς δημιουργήθηκαν κατά τις γεωλογικές διεργασίες (Karsten et al., 2009). Είναι ιδιαίτερα σημαντικός ο προσδιορισμός των κατηγοριών των γεωμορφών και ο συσχετισμός τους με τις γεωλογικές παραμέτρους και τις χρήσεις γης μιας περιοχής, η οποία έχει επηρεαστεί από ανθρωπογενή δραστηριότητα, καθώς διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση περιοχών επιδεκτικών σε προβλήματα ευστάθειας πρανών.

Με τη χρήση των σύγχρονων τεχνικών τηλεπισκόπισης και χωρικής ανάλυσης, πραγματοποιείται ακριβής γεωμορφολογική χαρτογράφηση και αξιοποιείται η δυνατότητα καταγραφής με ακρίβεια των γεωγραφικών δεδομένων, ενώ παράλληλα αξιοποιείται και η δυνατότητα καταχώρησης της περιγραφικής πληροφορίας. Έτσι, δύναται να αναλυθούν χωρικά και ποσοτικά οι διάφορες οντότητες, γεωμορφές (Harvey & Eash, 1996; Dikau & Saurer, 1999; Wilson & Gallant, 2000; Guth, 2001).

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής και για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των γεωμορφών στην περιοχή έρευνας, αξιοποιήθηκε το λογισμικό πακέτο ArcView 3.1, ArcMap 9.3 και η επέκταση *Topographic Position Index*, (*Jenness, 2006*).

Ο Weiss παρουσίασε μια πολύ ενδιαφέρουσα εργασία στο Διεθνές Συνέδριο της ESRI το 2001, όπου περιγράφει την έννοια του Τοπογραφικού Δείκτη θέσης, Topographic Position Index, TPI, (Weiss, 2001). Χρησιμοποιώντας τον δείκτη TPI σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες, καθώς και την πληροφορία του χάρτη των μορφολογικών κλίσεων,

είναι δυνατή η ταξινόμηση του τοπίου τόσο ως προς τη θέση, με αξιοποίηση των μορφολογικών κλίσεων αλλά και ως προς την κατηγορία των γεωμορφών.

Ο ΤΡΙ αποτελεί τη βάση του συστήματος ταξινόμησης και ως δείκτης παρουσιάζει τη διαφορά μεταξύ μιας τιμής υψομέτρου ενός φατνίου και της μέσης τιμής υψομέτρου της γειτονιάς γύρω από αυτό το φατνίο. Οι θετικές τιμές σημαίνουν ότι το φατνίο είναι υψηλότερο από το περιβάλλον του, ενώ αρνητικές τιμές σημαίνουν ότι το φατνίο είναι χαμηλότερο. Αν είναι σημαντικά υψηλότερη από την περιβάλλουσα περιοχή, τότε είναι πιθανό να είναι κοντά στην κορυφή ενός λόφου ή στη κορυφογραμμή. Ιδιαίτερα χαμηλές τιμές υποθέτουν ότι το φατνίο είναι στο χαμηλότερο σημείο μιας κοιλάδας. Τιμές ΤΡΙ κοντά στο μηδέν υποθέτουν μια επίπεδη επιφάνεια (Εικόνα 4-8).



Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος είναι η επιλογή του τύπου γειτονιάς, π.χ. κύκλος, δακτυλίος, σφήνα, παραλληλόγραμμο καθώς και του μεγέθους της ακτίνας επιρροής για το κάθε τύπο (Εικόνα 4-9).



Ακολουθώντας τη μεθοδολογική προσέγγιση κατά Weiss (2001) για την ταξινόμηση της περιοχής σε διακριτές γεωμορφές, αρχικώς δημιουργήθηκαν τέσσερα αρχεία TPI διαφορετικής κλίμακας, του ίδιου τύπου γειτονιάς, με ακτίνα κύκλου επιρροής 25, 50, 75 και 100m (Εικόνα 4-10), ώστε να αποτυπωθούν σε διαφορετικές κλίμακες οι υψομετρικές διαφορές της περιοχής. Ως δεδομένο εισόδου αποτελεί το ψηφιακό μοντέλο επιφάνειας, ενώ ζητούμενο αποτελεί η διαμόρφωση των παραμέτρων τύπου γειτονίας και η ακτίνα επιρροής.

Η μεθοδολογία προϋποθέτει την επιλογή δυο χαρακτηριστικών αρχείων TPI, που αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα, ένα αρχείο με μικρή ακτίνα επιρροής και ένα αρχείο με μεγάλη ακτίνα επιρροής. Στην περίπτωσή μας επιλέχθηκαν τα αρχεία με 25 και 100m ακτίνα επιρροής. Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή των κριτηρίων κατάταξης, που στην προκειμένη περίπτωση αποτελούν τα κριτήρια κατάταξης του *Weiss* (2001), όπως αποτυπώνονται στον Πίνακα 4-1.

Πίνακας 4-1: Κατηγοριοποίηση γεω	uoρφών σε 10 κλάσεις -	Landform	Classification	(Weiss, 200)1)
----------------------------------	------------------------	----------	----------------	-------------	-----

1.	1. Canyons, Deeply Incised Streams (Φαράγγια	α, Βαθιές χαράδρες):						
		Small Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
		Large Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
2.	2. Midslope Drainages, Shallow Valleys (Αβαθείς πεδιάδες):							
		Small Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
		Large Neighborhood TPI: -1 < TPI < 1std						
3.	3. Upland Drainages, Headwaters (Λεκάνες αλ	τορροής σε υψίπεδα):						
		Small Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
		Large Neighborhood TPI: TPI ≥ 1 std						
4.	4. U-shaped Valley s (Κοιλάδες σχήματος U):							
		Small Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Large Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
5.	5. Plains (Πεδιάδες):							
		Small Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Large Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Slope $\leq 5^{\circ}$						
6.	6. Open Slopes (Πλαγιές):							
		Small Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Large Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Slope $> 5^{\circ}$						
7.	7. Upper Slopes, Mesas (Άνω πλαγιές, Mesas):							
		Small Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
		Large Neighborhood TPI: $TPI \ge 1$ std						
8.	8. Local Ridges/Hills in Valleys (Τοπικές κορι	φές, λόφοι σε κοιλάδες):						
		Small Neighborhood TPI: TPI ≥ 1 std						
		Large Neighborhood TPI: TPI \leq -1std						
9.	9. Midslope Ridges, Small Hills in Plains (Aóq	οι σε οροπέδιο):						
		Small Neighborhood TPI: TPI ≥ 1 std						
		Large Neighborhood TPI: -1std < TPI < 1std						
10	10. Mountain Tops, High Ridges (Κορυφές, Κο	ουφογραμμή):						
		Small Neighborhood TPI: TPI ≥ 1 std						
		Large Neighborhood TPI: $TPI \ge 1$ std						

Όπως διαπιστώνεται, τα κριτήρια προϋποθέτουν τον υπολογισμό της τυπικής απόκλισης και των μέσων τιμών των αρχείων TPI, ώστε η ταξινόμηση να είναι περισσότερο διακριτή (*Tagil & Jenness, 2008*). Όλες οι απαιτούμενες παράμετροι υπολογίζονται από την επέκταση *Topographic Position Index*, (*Jenness, 2006*). Το τελικό αποτέλεσμα αποτυπώνεται στην Εικόνα 4-11 από την οποία προκύπτει ότι σε ποσοστό 54% η περιοχή έρευνας καταλαμβάνεται από πλαγιές (*open slopes*), ακολουθούν με 7.3% οι άνω πλαγιές, με 7.2% οι υψηλές κορυφογραμμές, 6.9% τα φαράγγια και οι βαθιές χαράδρες και οι υπόλοιπες γεωμορφές σε μικρότερα ποσοστά.



Εικόνα 4-10: Χάρτες με τις τιμές του ΤΡΙ, χρησιμοποιώντας 4 διαφορετικές ζώνες επιρροής.



4.2.3 Υδρολογική Ανάλυση

Για την εκτίμηση των υδρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής έρευνας (διεύθυνση ροής, συσσώρευσης ροής, υδρογραφικό δίκτυο, υδρολογικές λεκάνες), αξιοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM). Εφαρμόστηκαν οι σχετικοί αλγόριθμοι (Jenson 1991; Moore, 1996) του εργαλείου, Hydrology που υπάρχει ως υπορουτίνα στο ToolBox Spatial Analyst Tool του λογισμικού ArcGIS 9.3 της ESRI.

Η αποτύπωση των υδρολογικών λεκανών, του υδρογραφικού δικτύου αλλά και η μετέπειτα υδρολογική ανάλυση έγινε μέσω αυτοματοποιημένων μεθόδων και με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, αντικαθιστώντας τις επίπονες χειρωνακτικές μεθόδους (Dingman, 2002).

Αρχικά επιχειρήθηκε η πλήρωση του ψηφιακού μοντέλου επιφάνειας (Digital Elevation Model – DEM), το οποίο ενδεχομένως να παρουσιάζει κάποιες τοπικές ταπεινώσεις (*depressions*). Η παρουσία τέτοιων ταπεινώσεων οφείλεται σε σφάλματα και ατέλειες του DEM. Η διαδικασία που ακολουθείται παράγει ένα νέο αρχείο επιφάνειας στο οποίο έχουν αντικατασταθεί οι πολύ χαμηλές τιμές με υψηλότερες, με βάση τις γειτονικές τιμές υψομέτρου, μέσω της υπορουτίνας *Fill* του εργαλείου Hydrology (*Jenson & Dominque, 1988*). Κάτι αντίστοιχο συμβαίνει και με τις εξαιρετικά μεγάλες τιμές υψομέτρου, *peaks*.



Στη συνέχεια, επιχειρείται η δημιουργία ενός νέου διανυσματικού αρχείου επιφανείας, στο οποίο εμπεριέχεται η πληροφορία της διεύθυνσης ροής του νερού (flow direction). Η διαδικασία εκτελείται μέσα από την εφαρμογή της υπορουτίνας Flow Direction του εργαλείου Hydrology. Η διεύθυνση ροής καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορά υψομέτρου και την κλίση που υπάρχει μεταξύ των μονάδων επιφάνειας που μελετώνται (DeMers, 2002, Chang, 2003). Οι κύριες κατευθύνσεις και η κωδικοποίηση τους στο λογισμικό

ArcMap της ESRI αποτυπώνεται στην Εικόνα 4-12.

Στο επόμενο στάδιο δημιουργείται ένα νέο αρχείο επιφάνειας, το οποίο αποτυπώνει την πληροφορία συγκέντρωσης ροής νερού. Αποτελεί ένα ψηφιδωτό αρχείο επιφάνειας, το οποίο διαμορφώνεται μέσα από την υπορουτίνα *Flow Accumulation* του εργαλείου *Hydrology*. Το αρχείο αυτό αποτυπώνει από πόσα φατνία (που αναπαριστούν στην ουσία την τοπογραφική επιφάνεια) ανάντη της κοίτης θα μεταβεί το νερό, ώστε να καταλήξει σε κάθε φατνίο. Εφαρμόζοντας τη διαδικασία *Flow Accumulation*, οι περιοχές κοντά στις κορυφογραμμές αναμένεται να είναι κοντά στο 0, ενώ στις κεντρικές κοίτες των ποταμών,

αναμένονται πολύ υψηλές τιμές. Για την επιτυχή εφαρμογή της διαδικασίας, θα πρέπει να οριστεί ένα κατώφλι στην τιμή συσσώρευσης (*Chang, 2003*). Στην περίπτωση της ανάλυσης που επιχειρήθηκε στην παρούσα διατριβή, το κατώφλι συσσώρευσης ροής, εκτιμήθηκε ίσο με 1000. Η παραδοχή αυτή εξασφαλίζει την απεικόνιση ενός αποστραγγιστικού δικτύου πλήρως συνδεδεμένου, αφού για τιμές μικρότερες του 1000 δεν υφίσταται συγκεντρωμένη ροή.

Το επόμενο στάδιο είναι η αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου και η ταξινόμησή του σε τάξεις μεγέθους και αρίθμησης. Για την αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Strahler (1957) και εφαρμόστηκε η υπορουτίνα Stream Order του εργαλείου Hydrology. Με την αρίθμηση του υδρογραφικού δικτύου εκτιμάται η σχέση που έχουν οι κλάδοι μεταξύ τους και αυτό εξαρτάται από το πως αυτοί συνδέονται μεταξύ τους. Αναλυτικά, η μέθοδος Strahler, θεωρεί ότι οι κλάδοι $1^{η_5}$ τάξης εντοπίζονται στα μεγαλύτερα υψόμετρα και δεν δέχονται ποσότητες ύδατος από άλλα μικρότερα ρέματα. Οι κλάδοι $2^{η_5}$ τάξης δημιουργούνται από την συνένωση δύο (2) κλάδων $1^{η_5}$ τάξης, οι κλάδοι $3^{η_5}$ τάξης από την συνένωση δυο (2) κλάδων $2^{η_5}$ τάξης και ούτω καθ' εξής. Στην περιοχή έρευνας εντοπίστηκαν 3167 κλάδοι, από τους οποίους βρέθηκαν 1688 $1^{η_6}$ τάξης, 768 $2^{η_5}$ τάξης, 400 $3^{η_5}$ τάξης, 217 $4^{η_5}$ τάξης και 94 $5^{η_5}$ τάξης. Στη συνέχεια, το σχετικό αρχείο που παράγεται μετατρέπεται σε αρχείο γραμμικής οντότητας με εφαρμογή της υπορουτίνας Stream to feature του εργαλείου Hydrology.

Το επόμενο στάδιο αφορά στην οριοθέτηση των λεκανών απορροής. Η αυτοματοποιημένη μέθοδος, μέσω του λογισμικού ArcMap, προϋποθέτει ως δεδομένα το αρχείο flow direction και σημεία εξόδου της κύριας λεκάνης και των επιμέρους λεκανών απορροής. Η τοποθέτησή όμως των σημείων εξόδου, η οποία δεν αποτελεί αυτοματοποιημένη διαδικασία δεν ήταν εφικτή εξαιτίας του ότι πολλά σημεία βρίσκονταν εκτός της περιοχής έρευνας όπου τα δεδομένα υψομέτρου δεν ήταν διαθέσιμα. Εξαιτίας της έλλειψης δεδομένων υψομέτρου, η διαδικασία αποτύπωσης έγινε χειρωνακτικά με την βοήθεια των τοπογραφικών φύλλων, ΚΥΜΗΣ, ΣΤΕΝΗ-ΔΙΡΦΥΣ, Γ.Υ.Σ κλίμακας 1.50:000. Σύμφωνα με την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε αλλά και στοιχεία και πληροφορίες που συλλέχθηκαν, εντοπίζονται έξι κύριες λεκάνες απορροής και επτά μεσολεκανώδεις περιοχές (Εικόνα 4-13). Ο τύπος του υδρογραφικού δίκτυο που επικρατεί στην περιοχή είναι ο δενδριτικός, ενώ διακρίνονται ακόμα ο παράλληλος τύπος και ο κλιμακωτός. Αναλυτικότερα, διαπιστώθηκαν:

Τμήμα λεκάνης απορροής Μανικιάτη Ρέμα (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν. 13)

Η λεκάνη απορροής του Μανικιάτη ολοκληρώνεται πολύ πέραν των ορίων του Δήμου Κύμης και της περιοχής έρευνας. Το τμήμα της περιοχής που μελετάται εντάσσεται στο ανατολικότερο τμήμα της λεκάνης, εκεί όπου εντοπίζεται ο οικισμός του Οξύλιθου. Ως

προς τη μορφολογία, το τμήμα της περιοχής χαρακτηρίζεται από ήπιο σχετικά ανάγλυφο με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο.

Στο τμήμα της περιοχής που εντοπίζεται στην παραλιακή ζώνη και εκατέρωθεν της υδροκριτικής γραμμής του Μανικιάτη ρέματος, διαμορφώνονται δύο μεσολεκανώδεις περιοχές (κωδικός υδρολογικού χάρτου, ν.10, ν.12). Και οι δυο περιοχές χαρακτηρίζονται από πρανή με μεγάλες μορφολογικές κλίσεις. Οι κλίσεις στις ακτές των περιοχών αυτών εμφανίζονται σχεδόν κατακόρυφα.

Λεκάνη απορροής Μέλανος Ρέματος (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν. 11)

Η λεκάνη αυτή έχει συνολική έκταση 46.65km², μέγιστο μήκος 9km και μέγιστο πλάτος 7km. Τα νότια περιθώρια της λεκάνης βρίσκονται εκτός των ορίων της περιοχής έρευνας. Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης δομείται αποκλειστικά από νεογενείς λιγνιτοφόρους σχηματισμούς και το μορφολογικό ανάγλυφο στο τμήμα αυτό χαρακτηρίζεται από λοφώδες έως ημιορεινό, με πυκνό υδρογραφικό δίκτυο.

Υδρολογικά η λεκάνη αποστραγγίζεται από τον Μαυροπόταμο ή Μέλας Ρέμα, ο οποίος εκβάλει στον όρμο της Κύμης στην περιοχή της Πλατάνας. Τη χειμερινή περίοδο έχει σημαντική επιφανειακή απορροή η οποία διατηρείται με φθίνουσα πορεία μέχρι τις αρχές της θερινής περιόδου, τροφοδοτούμενη από πολλές παρόχθιες μικροπηγές.

Μεσολεκανώδης περιοχή ανατολικά της Κύμης (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν. 7)

Πρόκειται για ζώνη έκτασης 8.23km² ανατολικά της Κύμης που οριοθετείται κατά τη νοητή γραμμή Πλατάνα – Ενορία – Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης και αποστραγγίζεται επιφανειακά από πλήθος μικρορεμάτων τα οποία εκβάλουν στον όρμο της Κύμης. Η μορφολογία της περιοχής, η οποία δομείται από γεωλογικούς σχηματισμούς του Νεογενούς, χαρακτηρίζεται ως έντονη, με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 15⁰ έως 25⁰, ενώ οι απολήξεις της στη θάλασσα διαμορφώνουν σχεδόν κατακόρυφα πρανή.

Μεσολεκανώδης περιοχή βόρεια της Κύμης (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.4)

Πρόκειται για ζώνη έκτασης 5.87km² βόρεια της Κύμης που οριοθετείται στα δυτικά από τη λοφοσειρά Μεσοβούνια και στα νότια κατά τη νοητή γραμμή Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης. Η ύπαρξη εμφανούς τοπογραφικής κλίσης με βόρειο προσανατολισμό έχει ως αποτέλεσμα η περιοχή να αποστραγγίζεται επιφανειακά από πλήθος μικρορεμάτων τα οποία εκβάλουν αυτόνομα στη θάλασσα, εκατέρωθεν του οικισμού της Χιλής. Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής χαρακτηρίζεται ως παράλληλος.

Λεκάνη απορροής Απουλίστης ρέμα (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.5)

Έχει έκταση 14.68km² και οριοθετείται από τα υψώματα Κούτσικο (515m), Μεσιανή Ράχη (640m) στα νοτιοδυτικά και από τα υψώματα Μεσοβούνια στα ανατολικά. Το ανάγλυφο σε όλη την έκταση της λεκάνης είναι έντονο, με μορφολογικές κλίσεις που

κυμαίνονται από 40° έως 50°. Μικρότερες μορφολογικές κλίσεις, της τάξης των 20°, διαμορφώνονται στον κεντρικό τομέα της λεκάνης, μεταξύ της πόλης της Κύμης και της θέσης Πατερό.

Το υδρογραφικό δίκτυο έχει διαμορφωθεί από την τεκτονική δράση που έχει υποστεί η ευρύτερη περιοχή. Δύο δευτερεύοντες κλάδοι με διεύθυνση Α–Δ, συμβάλλουν στον κεντρικό κλάδο με προσανατολισμό Β–Ν που αρχίζει να διαμορφώνονται νότια της Κύμης. Συνολικά το Ρέμα Απουλίστης έχει σημαντική απορροή την περίοδο των βροχοπτώσεων, η οποία διατηρείται χρονικά και πέραν αυτών, καθώς τροφοδοτείται από πλήθος μικροπηγών, οι οποίες εκφορτίζουν τοπικές υδροφορίες που αναπτύσσονται σε έντονα κερματισμένες ζώνες των σχηματισμών του φλύσχη.

Λεκάνη απορροής ρεμάτων Βατιά και Πελεκαριάς (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.6)

Η λεκάνη απορροής των ρεμάτων Βατιά και Πελεκαριάς, έχει έκταση 17.35km² και οριοθετείται στα ανατολικά από τις κορυφές Τσαρούχι (870m), Στρογκάκι (860m) και Πεζά (510m), ενώ στα δυτικά από τις κορυφές Παλιόπυργος (1094m), Ιταμος (1040m) και Αρκουδότρυπα (864m).

Το κεντρικό τμήμα της λεκάνης (περιοχή Κάμπος) αποτελεί το δυτικό περιθώριο της νεογενούς λιγνιτοφόρου λεκάνης της Κύμης και χαρακτηρίζεται από σχετικά ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο. Εκατέρωθεν του τμήματος αυτού το ανάγλυφο είναι ορεινό με έντονες μορφολογικές κλίσεις, που τοπικά ξεπερνούν τις 50°. Η έξοδος της λεκάνης στη θάλασσα παρά τον όρμο Τσίλαρο γίνεται μετά την συμβολή των δύο ρεμάτων, μέσω μιας στενής χαράδρας, μέσου πλάτους περί τα 500m και μήκους 1000m περίπου.

Λεκάνη απορροής Πλατανούρα ή Καρυάς Ρέμα (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.8)

Πρόκειται για μακρόστενη λεκάνη έκτασης 17.25km², μέγιστου μήκους 8.5km και μέσου πλάτους περί τα 2km. Το ανάγλυφο της λεκάνης αυτής είναι ορεινό με πολύ έντονες μορφολογικές κλίσεις. Η επιφανειακή απορροή στη λεκάνη αυτή υφίσταται μόνο σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, καθώς αυτή δομείται στο μεγαλύτερο τμήμα της από ανθρακικά πετρώματα, τα οποία έχουν πολύ μεγάλο συντελεστή κατείσδυσης.

Λεκάνη απορροής Ρέματος Μετοχίου (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.9)

Αποτελεί το δυτικότερο τμήμα της έκτασης του Δήμου Κύμης. Έχει συνολική έκταση 27.02km² με το νοτιότερο τμήμα της και πλέον ορεινό να βρίσκεται εκτός των ορίων του Δήμου Κύμης. Στο κέντρο της λεκάνης και σε υψόμετρα από 200 έως 300 μέτρα εντοπίζεται ο οικισμός του Μετοχίου. Οι πλαγιές ανατολικά και δυτικά του ρέματος, το οποίο έχει διεύθυνση νότος – βορράς, καθώς και αυτές που διαμορφώνονται νότια του Μετοχίου, εμφανίζουν ισχυρές μορφολογικές κλίσεις, που ξεπερνούν το 50°.

Το Ρέμα Μετοχίου εμφανίζει σημαντική επιφανειακή απορροή τη χειμερινή περίοδο, η οποία διατηρείται με φθίνουσα πορεία μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού. Λόγω της έντονης μορφολογίας και της επιδεκτικότητας σε αποσάθρωση και διάβρωση των σχιστολιθικών σχηματισμών που επικρατούν στη λεκάνη εμφανίζει υψηλή στερεοπαροχή.

Μεσολεκανώδεις περιοχές βόρειου τμήματος του Δήμου Κύμης (κωδικός υδρολογικού χάρτου ν.1, ν.2, ν.3)

Μεταξύ των ρεμάτων Μετοχίου, Καρυάς, Πελεκαριάς, και Απουλίστης δημιουργούνται τρεις μεσολεκανώδεις περιοχές, οι οποίες αποστραγγίζονται υδρολογικά μέσω πολλών μικρού μήκους ρεμάτων. Αναπτύσσονται κλάδοι μέχρι 3^{ης} τάξης (κατά *Strahler*). Το μορφολογικό ανάγλυφο στις περιοχές αυτές είναι ιδιαίτερα έντονο, καθώς δομούνται γεωλογικά από ασβεστολιθικά πετρώματα, ενώ οι απολήξεις τους στη θάλασσα διαμορφώνουν σχεδόν κατακόρυφα πρανή.



Εικόνα 4-13: Χάρτης αποτύπωσης υδρολογικών λεκανών και υδρογραφικού δικτύου περιοχής Κύμης.

4.3 Κλιματολογικά στοιχεία

4.3.1 Γενικά

Οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες σε κάθε περιοχή, σε συνδυασμό με τη φύση των πετρωμάτων και την κλίση των πρανών, αποτελούν καθοριστικό παράγοντα, όσον αφορά την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων αλλά και πάσης φύσεως αστοχιών στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η δράση του νερού σε συνδυασμό με τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, σε εποχιακή αλλά και ημερήσια κλίμακα, επιφέρουν αύξηση της πίεσης των πόρων και χαλάρωση της συνοχής των πετρωμάτων λόγω διόγκωσης και συρρίκνωσης των ορυκτολογικών συστατικών με επαναλαμβανόμενο ρυθμό.

Για την εκτίμηση των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας αξιοποιήθηκαν τα διαθέσιμα στοιχεία (μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης και θερμοκρασίας), από το Μετεωρολογικό Σταθμό της ΕΜΥ στην πόλη της Κύμης (υψόμετρο 221m). Ο σταθμός αυτός λειτούργησε από το έτος 1932 μέχρι το έτος 1990. Η λειτουργία του σταθμού διεκόπη την περίοδο 1941 - 47, ενώ από το 1948 μέχρι και το έτος 1960 παρατηρούνται πολλές ελλείπουσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης. Για το λόγο αυτό στην επεξεργασία που ακολουθεί, όσον αφορά την βροχόπτωση ελήφθησαν υπόψη τα δεδομένα της περιόδου 1961 – 1990 και όσον αφορά την θερμοκρασία τα δεδομένα της περιόδου 1956 – 1990.

Τα δεδομένα του σταθμού αυτού θεωρούνται σε μεγάλο βαθμό αντιπροσωπευτικά για την λοφώδη έκταση της περιοχής έρευνας. Στην ορεινή ζώνη αναμένεται, σημαντική διαφοροποίηση των κλιματολογικών συνθηκών, η οποία εκφράζεται με σημαντική αύξηση του ύψους των κατακρημνισμάτων και μείωση της θερμοκρασίας, σε σχέση με τις παρατηρήσεις του σταθμού στην Κύμη.

4.3.2 Θερμοκρασία του αέρα

Από την επεξεργασία των μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας του σταθμού της ΕΜΥ στην Κύμη, για την περίοδο 1956 – 1990, οι οποίες δίδονται στον Πίνακα 4-2, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

Η μέση ετήσια θερμοκρασία της περιόδου 1956–1989, ανέρχεται σε 16.0°C. Όσον αφορά στη διακύμανση των ετήσιων μέσων τιμών στη διαθέσιμη χρονοσειρά, προκύπτει σημαντική διαφοροποίηση αυτών, πριν και μετά το έτος 1971 (Σχήμα 4-1). Την περίοδο 1956–1970 η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 16.86°C, ενώ την περίοδο 1971–1989 η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται σε 15.3°C. Η διαφοροποίηση αυτή οφείλεται πιθανόν σε εσφαλμένες μετρήσεις, ή σε αλλαγή της θέσης εγκατάστασης του σταθμού.

Όσον αφορά στην κατανομή των μέσων μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας, (Σχήμα 4-2), παρατηρούμε ότι ψυχρότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία θερμοκρασία

8.6⁰C, ακολουθεί ο Φεβρουάριος με 8.5^{0} C, ο Δεκέμβριος και ο Μάρτιος με 10.0^{0} C. Θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση μηνιαία θερμοκρασία 24.9⁰C, ακολουθεί ο Αύγουστος με 24.8⁰C και ο Ιούνιος με 22.8⁰C.

ΕΤΟΣ	IAN.	ФEB.	MAP.	АПР.	MAI.	IOYN.	ΙΟΥΛ.	АYГ.	ΣΕΠ.	OKT.	NOE.	∆EK.	Μέση
													ετήσια
1956	8.9	7.3	6.6	15	18.7	23.1	26.1	26.7	21.4	17.1	13.3	8.5	16.1
1957	7.2	10.6	9.6	13.9	17.6	23.9	25.7	26.6	21.9	17.8	13	8.9	16.4
1958	8.3	11.7	10.1	13.5	21.2	23.7	26	26.4	19.7	16.3	13.2	11.2	16.8
1959	7.9	6.4	10.7	14	18.9	22.4	25.7	25.8	20.6	15.3	13.2	12.9	16.2
1960	10.3	10.9	10.8	14.2	19.2	23.1	25.6	26.5	21.2	20.7	16.6	14.2	17.8
1961	9.5	8.9	12.8	17.2	20.1	23.7	25.5	25.8	21.4	17.5	16.8	11.5	17.6
1962	10.4	8.2	13.2	15.3	21	23.3	25.6	27.3	22.9	17.9	16.6	10.7	17.7
1963	8.9	11.2	10.8	14.1	18.5	24	26.6	27	23.8	17.8	15.7	12	17.5
1964	6.8	8.3	11	14.7	17.9	23.6	25	24.7	20.3	18.5	14.6	11.8	16.4
1965	9.7	7.2	11	14	18.2	24.1	25.7	23.8	22.3	16.5	15.1	12.5	16.7
1966	9.2	12.8	11.5	16	18.7	22.6	26.5	26.7	21.3	20.4	15.6	11.1	17.7
1967	8.3	7.6	11	14.1	19.5	22.9	25.6	26.4	22.1	18	13.6	11.3	16.7
1968	7.9	10.4	10.7	15.7	21.9	23	25.9	24.6	22.3	16.6	14	9.2	16.9
1969	6.4	10.6	9.1	12.4	20.9	24.2	23.4	24.9	22.2	15.8	13.9	10.6	16.2
1970	9.7	10.4	10.7	16.2	17.6	23.1	25.7	25.2	20.5	15.7	12.7	9.4	16.4
1971	9.7	7.7	9.9	13.1	19.8	23.4	23.4	26.9	19.9	14.3	11.8	8.4	15.7
1972	6.9	7.4	9.1	14.5	18.4	23.6	24.2	25.7	19.7	13.8	11.8	8.6	15.3
1973	7.1	8.7	7.7	13.2	19.3	21.9	25.3	22.6	20.9	16.6	10.7	9.6	15.3
1974	6.2	8.7	9.4	11.9	17.6	22.1	24.5	24	20.5	18.2	12.1	8.8	15.3
1975	7.6	6.3	11.4	13.9	18.3	21.7	24.8	22.6	22.2	16.2	11.3	8.1	15.4
1976	7.8	6.4	8.3	12.1	17.7	21	23.3	20.6	19.2	16.2	12.2	9.3	14.5
1977	7.9	11.2	10.6	13.5	18.7	22.4	24.9	24.8	19.4	14.1	13.7	7.5	15.7
1978	7.4	9.3	10.6	13	17.3	23	24.5	22.4	18.8	15	10.6	10.3	15.2
1979	7.7	8.8	11.6	12.6	17.8	23.4	23	24.3	20.6	15.2	12.3	9.6	15.6
1980	5.9	6.3	8.8	11.6	16.2	21.4	24.4	23.4	18.8	16.9	14	9.6	14.8
1981	5.6	7.1	11.1	13.6	16.7	23.9	23.7	23.3	21	18.7	10.4	11.4	15.5
1982	7.9	6.1	8.4	12	17.1	22.9	23.5	23.9	22.1	16.8	11.8	9.5	15.2
1983	7.6	6.1	9.9	15.2	19.6	20.1							
1984			8.7	11.4	18.7	21.6	23.4	23.1	21.2	18	12.5	8.6	
1985	8.6	5.8	8.8	15.3	19.5	22.2	23.4	24.3	20.7	14.4	13.3	10.6	15.6
1986	8.8	8.6	9.5	15.1	18	22.6	24.1	25	20.9	15.9	10.6	7.5	15.6
1987	8.5	8.5	5.4	12.4	16.6	22.4	25.4	23.2	23	14.8	11.9	9	15.1
1988	8.8	7.3	9.3	12.2	17.7	22.9	26.7	24.7	20.6	15.3	9.2	8.8	15.3
1989	6.4	8.2	10.3	15.8	16.8	21.5	24.1	24.9	20.9	15.1	11.5	8.1	15.3
1990	6.7	8.7	12	14.1	17.3	22	25.1	23.4	20.1				
Μέση	8	8.5	10	13.9	18.5	22.8	24.9	24.8	21	16.6	13	10	16
τιμή Μίο	10.4	10.0	12.0	17.0	31.0	24.2	267	27.2	12.0	20.7	1(0	14.0	17.0
Μεγιστη	10.4	12.8	13.2	17.2	21.9	24.2	26.7	27.5	23.8	20.7	16.8	14.2	17.8
Ελαχιστη	6.4	5.8	5.4	12.2	16.6	21.5	23.4	23.2	20.1	14.4	9.2	7.5	15.1

Πίνακας 4-2: Μέσες τιμές θερμοκρασίας μήνα (0^{C}), στο σταθμό της Κύμης



Η υψηλότερη απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία, 40.1°C, σημειώθηκε την 24–8–1958, ενώ η χαμηλότερη απόλυτη ελάχιστη, -5.6°C, σημειώθηκε την 15–1–1968.

4.3.3 Σχετική υγρασία - Άνεμος

Ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει πάντα κάποια ποσότητα υδρατμών οι οποίοι αποτελούν την ατμοσφαιρική υγρασία. Αυτή ασκεί αποφασιστική επίδραση στην πορεία του υδρολογικού κύκλου, γιατί αποτελεί την πηγή τροφοδοσίας όλων των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων. Επιπλέον επιδρά στην εξάτμιση και τη διαπνοή των φυτών.

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία στο σταθμό της Κύμης ανέρχεται σε 61.7%. Οι μέσες μηνιαίες τιμές της θερινής περιόδου είναι κοντά στο 50%, ενώ την περίοδο από Οκτώβριο έως Φεβρουάριο κυμαίνονται από 66% έως 70%. Τους υπόλοιπους μήνες η σχετική υγρασία έχει τιμές κοντά στη μέση ετήσια.

Η επικρατούσα διεύθυνση των ανέμων, με βάση τα δεδομένα του σταθμού της Κύμης, είναι βόρεια όλο το χρόνο.

4.3.4 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

Για την προσέγγιση του καθεστώτος διακύμανσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή έρευνας έγινε επεξεργασία των μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης από το σταθμό της Κύμης για την περίοδο 1961 – 1990 (Πίνακας 4-3). Στη διαθέσιμη χρονοσειρά υπάρχουν ελλείπουσες τιμές για τις περιόδους από Ιούλιο 1983 έως Φεβρουάριο 1984 και Νοέμβριο – Δεκέμβριο του 1990.

Από την επεξεργασία των στοιχείων του Πίνακα 4-3 προκύπτουν τα παρακάτω:

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιόδου 1961–1990 ανέρχεται σε 1071mm. Επισημαίνεται και πάλι στις υψομετρικά υψηλότερες ζώνες της περιοχής έρευνας το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης είναι μεγαλύτερο.

Από το ιστόγραμμα των μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (Σχήμα 4-3), προκύπτει ότι βροχερότερος μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέση μηνιαία τιμή 180.2mm, ακολουθεί ο Δεκέμβριος με 173.9mm και ο Φεβρουάριος με 164.7mm.

Γενικά, στο πεντάμηνο από τον Οκτώβριο μέχρι και τον Μάρτιο, το μέσο μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης ξεπερνά τα 100mm. Την περίοδο αυτή, από τις μέσες μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης προκύπτει ότι σημειώνονται συνολικά 879mm, ποσό που αντιστοιχεί στο 82% του μέσου ετήσιου ύψους βροχόπτωσης.

Το μέγιστο ύψος βροχής 24ώρου, 134mm, σημειώθηκε την 24–11–1976, ενώ το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής, 604mm, σημειώθηκε τον Ιανουάριο του 1981.

Όσον αφορά την εποχική κατανομή των βροχοπτώσεων ποσοστό 48.5% του συνολικού μέσου ετήσιου ύψους σημειώνεται τον χειμώνα, ακολουθεί το φθινόπωρο με 27.4%, η άνοιξη με 20.3% και τέλος το καλοκαίρι με 6.8%.

Στο Σχήμα 4-4, δίνονται τα διαγράμματα διακύμανσης μέσων μηνιαίων τιμών βροχής, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας στο σταθμό Κύμης.

Από τα στοιχεία του Πίνακα 4-4, όπου δίδεται ο μέσος αριθμός ημερών εμφάνισης μετεωρολογικών φαινομένων, παρατηρούμε ότι 86.3 ημέρες το χρόνο σημειώνεται κάποιου είδους υετός. Από αυτές οι 64.8 ημέρες (ποσοστό 75%) αντιστοιχούν στην περίοδο από τον Οκτώβριο μέχρι τον Μάρτιο.

ΕΤΟΣ	Ιαν	Φεβρ	Μάρτ	Απρ	Μάι	Ιούν	Ιούλ	Αύγ	Σεπτ	Οκτ	Νοέμ	Δεκ	ετήσιο ύωος
1961	163.9	84.9	111.6	6.2	1.4	32	9	0	105	63	79.2	200.1	856.3
1962	48.3	346.5	38	19,6	7,1	3,6	44,4	0	133,6	118,9	90	432.3	1282.3
1963	184.1	102.6	71.8	19.2	57.3	1.6	2.1	2.9	1.1	333.3	82.5	108.1	966.6
1964	180.3	184	67.4	25	7.3	46.9	0	2.4	318.7	11	65,2	77.3	985.5
1965	133.2	230.3	110.1	39.9	27.4	16.2	4.3	85	0	10.9	21	64.8	743.1
1966	286.4	11.2	216,3	29,2	16,5	21.5	19.3	34.3	66.9	48.3	55.5	148	953.4
1967	110.8	139.4	73.1	145.9	44.2	8.6	15.2	9.9	44.5	101.7	183.5	100.7	977.5
1968	61.9	200.5	123.6	16	7.7	15.9	10.5	2.6	54.4	173.7	147	267.3	1081.1
1969	253.6	79.5	187	45.6	0	22.9	9.3	0	1.6	6	102.4	387.4	1095.3
1970	194.5	106.9	314,7	27.3	106.9	19	0.1	20	31.9	73,5	40.6	191.4	1126.8
1971	366.6	383.1	116.9	64	0	11.4	0	0	22.6	147	174.6	73.6	1359.8
1972	257	139.8	56.4	108.2	39	14.2	98.6	0	0	203.6	9.6	0	926.4
1973	152.6	80.6	85	32.6	8.6	19	78	0	32	63	80	131	762.4
1974	217	243	163	82	40	19	15	20	16	50	102	106	1073
1975	236	165	31	31	22	78	0	53	6	176	120	273	1191
1976	86	171	174	0	24	4	53	129	24	219	296	60	1240
1977	108	61	102	32	16	116	11	6	122	85	54	382	1095
1978	255	292	130	113	51	0	9	0	229	172	6	192	1449
1979	162	182	47	40	48	29	58		48	225	239	152	1230
1980	177	231	198	46	64	16	10	17.6	18	135	60	323	1295.6
1981	604	146	14	20	21	0	14	2	40	29	181	23	1094
1982	181	209.6	188	176	125	12	0	8	0	8	8	156	1071.6
1983	35	47	80	16	12	0	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.
1984	Μ.Δ.	Μ.Δ.	262	216	4	83	38	16		37	140	63	Μ.Δ.
1985	314.2	205	128	90	36	10	28	0.2	2	247	82	126	1268.4
1986	76	190	24	10	23	62	8		12	199	138	223	965
1987	187	150	275	102	2	5.5	10	31	0	82	226	145	1215.5
1988	158	210	210	23	25.8	3	0	0	0	33	227	0	889.8
1989	14	20	148	3	16	11	2	7	0	205	207	115	748
1990	21	0	0	56	38	5.7	4	8	29.3	0	Μ.Δ.	Μ.Δ.	Μ.Δ.
Μέση τιμή	180.2	164.7	129.2	56.4	31.8	25.4	23.0	23.9	61.8	116.3	114.9	173.9	1071.9
Μέγιστη	604.0	383.1	314.7	216.0	125.0	116.0	98.6	129.0	318.7	333.3	296.0	432.3	1449.0
Ελάχιστη	14.0	20.0	24.0	3.0	2.0	3.0	2.0	0.2	2.0	33.0	82.0	115.0	748.0

Πίνακας 4-3: Μηνιαίες τιμές βροχόπτωσης (mm) στο σταθμό Κύμης, περιόδου 1961 – 1990



Σχήμα 4-3: Ιστόγραμμα μέσων μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης στο σταθμό της ΕΜΥ στην Κύμη, για την περίοδο 1961 – 1990.



Πίνακας 4-4: Μέσος αριθμός εμφάνισης μετεωρολογικών φαινομένων στο σταθμό Κύμης

ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ												
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΚΥΜΗ 683												
ΜΗΝΕΣ	Μέσος αριθμός ημερών στις οποίες σημειώθηκε											
	Υετός	Βροχή	Χιόνι	Καταιγί δα	Χαλάζι	Χιονοσ κεπές έδαφος	Ομίχλη					
Ιανουάριος	13.4	12	2.1	0.5	0.3	1	0.1					
Φεβρουάριος	11.6	10,2	1.7	0.8	0.3	0.8	0					
Μάρτιος	10.5	9.8	0.9	0,5	0.2	0	0.2					
Απρίλιος	6.3	6.1	0	0.5	0.1	0	0.1					
Μάιος	4.5	4.4	0	0.4	0,1	0	0					
Ιούνιος	3.3	3.2	0	0.7	0	0	0					
Ιούλιος	2.1	2.1	0	0.3	0	0	0					
Αύγουστος	1.5	1.5	0	0.3	0	0	0					
Σεπτέμβριος	3.8	3.8	0	0.7	0	0	0					
Οκτώβριος	7.4	7.4	0	0.7	0.1	0	0.1					
Νοέμβριος	9.6	9.5	0	0.8	0.1	0	0.1					
Δεκέμβριος	12.3	11.8	0.5	0.7	0.1	0.4	0.2					
Έτος	86.3	81.8	5.2	6.9	1.3	2.2	0.8					

Η Εικόνα 4-14 παρουσιάζει επιπρόσθετα το βροχομετρικό χάρτη της Ελλάδας, ο οποίος συντάχθηκε με δεδομένα της ΔΕΗ για την περίοδο 1950-1974 από το ΙΓΜΕ (1993) με κλίμακα 1:1.000.000. Διαπιστώνεται ότι η περιοχή έρευνας κατά το μεγαλύτερο μέρος της δέχεται περίπου 1000mm ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων (Εικόνα 4-14).



Εικόνα 4-14: Χάρτης κλιματικής ταξινόμησης και βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας όπου διακρίνεται και περιοχή της Κύμης (IFME, 1993).

Η Πλάκα (2006) διερεύνησε την χωρική κατανομή της βροχόπτωσης και την επίδραση του τύπου καιρού σε 40 βροχομετρικούς σταθμούς στον Ελληνικό χώρο, με τη χρήση της κατάταξης *Maheras* (1979). Συγκεκριμένα, μελέτησε τις ισχυρές βροχοπτώσεις που εμφανίστηκαν στους σταθμούς αυτούς από το 1970 έως το 1990, μεταξύ των οποίων ήταν και ο σταθμός της Κύμης. Ως ισχυρά λήφθηκαν για τη μελέτη της τα γεγονότα που το ύψος βροχής ξεπέρασε τα 100 mm, ενώ έγινε μια ξεχωριστή ανάλυση για τους
καλοκαιρινούς μήνες με ισχυρές βροχοπτώσεις εκείνες που το ύψος βροχής ξεπέρασε τα 45 mm. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, διαπιστώθηκε ότι ο σταθμός της Κύμης παρουσίασε τα περισσότερα συνολικά και καλοκαιρινά ισχυρά επεισόδια (Εικόνες 4-15, 4-16).



Εικόνα 4-16: Αριθμός συνολικών ισχυρών επεισοδίων που καταγράφηκαν σε κάθε σταθμό (Πλάκα, 2006).

Αναφορικά στο κλίμα της περιοχής έρευνας, σε εργασία τους οι Μαχαίρας & Μπαλαφούτης (1987), εφαρμόζοντας τη μέθοδο Emberger η οποία αποτελεί μια συνθετική έκφραση του Μεσογειακού κλίματος χωρίζοντάς το σε βιοκλιματικές ζώνες, κατατάσσουν την Κύμη στην περιοχή μέτρια θερμού – υγρού κλίματος (Εικόνα 4-17).



Εικόνα 4-17: Τροποποιημένο κλιματικό διάγραμμα Emberger (Μαχαίρας & Μπαλαφούτης, 1987).

4.4 Χρήσεις γης

Για την κάλυψη των χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκε η βάση δεδομένων Corine land cover του έτους 2006, η οποία δίνει μια μακροσκοπική εικόνα της κατανομής των χρήσεων γης όπως καταγράφονται στην βασική κλίμακα του corine LC, δηλαδή την κλίμακα 1:100.000 (European Environmental Agency, 2006).

Το σχετικά ήπιο κλίμα, και οι σημαντικές βροχοπτώσεις καθώς και η εύφορη σύσταση του εδάφους δημιούργησαν όλες τις προϋποθέσεις για πλούσια βλάστηση με μεγάλη βιοποικιλότητα. Επιπρόσθετα, η διαφοροποίηση της περιοχής σε τμήματα ορεινά, ημιορεινά και πεδινά, παραποτάμια και παραθαλάσσια, έδωσε τη δυνατότητα μιας τέτοιας ανάπτυξης. Η περιοχή έχει μεγάλη ποικιλία τύπων βλάστησης, πυκνά δάση, λόχμες, θαμνώδεις εκτάσεις, βραχότοπους και εύφορες γαιώδεις εκτάσεις, με καλλιέργειες με σιτηρά, ελιές, συκιές, αμπέλια και κερασιές.

Σε ότι αφορά την φυτοκάλυψη της περιοχής, θεωρείται γενικά εκτεταμένη, με μεγάλες εκτάσεις από φυλλοβόλα κυρίως δένδρα. Καλύπτεται σε ποσοστό 23% από πλατύφυλλα και κωνοφόρα δάση ενώ σημαντική έκταση, ποσοστό 23.53 % καταλαμβάνει η καλλιεργημένη γη, στην οποία υπάρχουν και μεγάλα τμήματα από φυσική βλάστηση. Ο Πίνακας 4-5 παρουσιάζει τα ποσοστά των κατηγοριών που εντοπίζονται στην περιοχή και που προέκυψαν από τον χάρτη χρήσεων γης του *Corine* (2006) που δημιουργήθηκε με τη χρήση των ΓΣΠ (Εικόνα 4-18).

	<u> </u>
Ποσοστό εμφάνισης στην περιοχή %	Κατηγορίες χρήσεων γης
1.34	Ασυνεχής αστική δόμηση
0.01	Λιμένας
0.77	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη
1.59	Οπωροφόρα δένδρα
5.99	Σύνθετα συστήματα καλλιεργειών
23.53	Καλλιεργημένη και μη γη
9.94	Δάση πλατύφυλλων
12.42	Δάση κωνοφόρων
7.43	Μικτά δάση
2.35	Λιβάδια
12.49	Σκληρόφυλλη βλάστηση
18.73	Μεταβατικά δάση/ θαμνότοποι
3.40	Εκτάσεις αραιής βλάστησης

Πίνακας 4-5: Κατηγορίες χρήσεων γης στην περιοχή της Κύμης (Corine, 2006)

Η ποικιλία και η εναλλαγή των οικοσυστημάτων της περιοχής είναι τόσο χαρακτηριστική, ώστε η μετάβαση από το ένα οικοσύστημα σε άλλο εντελώς διαφορετικό, να συμβαίνει καθ' όλη την έκταση της περιοχής έρευνας. Έχει παρατηρηθεί ότι οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση «τραυματίζει» τη βλάστηση της περιοχής, όπως πυρκαγιές, δημιουργία τεχνικών έργων, διανοίξεις δρόμων, επουλώνεται ταχύτατα. Οι λευκές και υποκίτρινες μάργες της περιοχής έχουν την τάση να συγκρατούν υγρασία με συνέπεια την ευνοϊκή ανάπτυξη της βλάστησης και κατά συνέπεια και της πανίδας.

Η γενικότερη κατάσταση του τοπίου της περιοχής έρευνας χαρακτηρίζεται ως καλή, χωρίς σημαντική υποβάθμιση, ενώ η μελλοντική τάση αλλαγής του τοπίου, χαρακτηρίζεται ως αργή υποβάθμιση (Φιλιότης, 2011). Σε ότι αφορά τις απειλές και τις διαταραχές που ενδεχομένως εκδηλωθούν, η υλοτόμηση και η επέκταση του οδικού δικτύου, θεωρούνται αυτές με την μεγαλύτερη ένταση. Σημειώνεται ακόμα, ότι η αυξανόμενη τουριστική ανάπτυξη, το παράνομο κυνήγι και η υπερβόσκηση, αποτελούν δευτερεύουσες, μικρότερης έντασης απειλές.

Στα ανατολικά της Κύμης στη περιοχή που οριοθετείται κατά τη νοητή γραμμή Πλατάνα – Ενορία – Κύμη – Μισόκαμπος – Ακρωτήριο Κύμης υπάρχει έντονη οικιστική δραστηριότητα, κυρίως στα πλατώ των δυτικών περιθωρίων της. Σημειώνεται ότι οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις στα πρανή (διάνοιξη δρόμων, δόμηση κ.α.) στη περιοχή συμβάλλουν στην εκδήλωση σοβαρών γεωλογικών αστοχιών. Σημειώνεται ότι μετά από σχετικές αποφάσεις των τοπικών συμβουλίων οι περιοχές που ορίστηκαν για πολεοδόμηση και μάλιστα πρώτης κατοικίας είναι η Κύμη, η Παραλία της Κύμης, η Πλατάνα, ο Οξύλιθος, και το Στόμιο.

Για την Κύμη προβλέπεται, εκτός από τις περιοχές που αναφέρθηκαν πιο πάνω, μικρή επέκταση προς τους Αγίους Αποστόλους. Επίσης, το ιστορικό κέντρο της Κύμης κηρύσσεται παραδοσιακός οικισμός. Για δεύτερη κατοικία ορίστηκαν οι περιοχές: της Χιλής, η οποία εντάσσεται στο πολεοδομικό σχέδιο, της Παραλίας του Μετοχίου και της Μουρτερής. Στα ίδια πλαίσια ανάπτυξης, προτείνεται το λιμάνι της Κύμης να επανασχεδιαστεί, γιατί έχει οριστεί ως εθνικής σημασίας και ως πύλη της χώρας προς το Αιγαίο και προς την Τουρκία.

Για την εξυπηρέτηση του λιμανιού έχει εγκριθεί και έχει δρομολογηθεί η κατασκευή του οδικού άξονα Λιμάνι Κύμης - Χαλκίδα. Το σχέδιο προβλέπει ακόμη τους εξής δρόμους, που θα διευκολύνουν την πρόσβαση προς το Δήμο: Στον άξονα Λέπουρα-Κύμη, προτείνεται μια νέα χάραξη, σε μικρό τμήμα του ήδη υπάρχοντος δρόμου, για να παρακαμφθεί ο οικισμός των Καλημεριάνων. Την νέα οδική σύνδεση του βόρειου οδικού άξονα με τον δρόμο Λέπουρα-Κύμη μέσω Μαλετιάνων και Πύργου και τέλος στον υπάρχοντα άξονα Παραλία - Κύμης- Πλατάνα - Παραλία Οξυλίθου θα γίνει ανάπλαση που θα προβλέπει δρόμο για πεζούς και για ποδήλατα.

Με το νέο πολεοδομικό σχέδιο ορίζονται, εκτός από τη ζώνη των κτηνοτροφικών μονάδων, ζώνη βιομηχανικών και άλλων παραγωγικών μονάδων, οι δασικές εκτάσεις, οι ζώνες προστασίας ρεμάτων, ο καθορισμός της γεωργικής γης, οι αρχαιολογικοί χώροι και οι ζώνες προστασίας φυσικών και θαλάσσιων τοπίων.

Στο κεντρικό τμήμα όπου βρίσκονται οι περισσότεροι οικισμοί του Δήμου Κύμης, αναπτύχθηκαν τα μεγαλύτερα λιγνιτωρυχεία (Καζάρμας, Έντς, Ανδρωνιάνων, Μαλετιάνων κ.α.), προσφέροντας κατά τον προηγούμενο αιώνα απασχόληση στην πλειονότητα των κατοίκων της περιοχής. Στην περιοχή αυτή διακρίνεται έντονη ανθρώπινη δραστηριότητα με αναπτυγμένο οδικό δίκτυο. Συνοπτικά στοιχεία για την μεταλλευτική δραστηριότητα της περιοχής δίνονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.



Εικόνα 4-18: Χάρτης χρήσεων γης περιοχή Κύμης.

4.5 Λιγνιτική δραστηριότητα

Η εξόρυξη του λιγνίτη στην περιοχή της Κύμης αποτελεί ένα από τα μεγάλα κεφάλαια του πλούσιου ιστορικού μας παρελθόντος, ξεκινάει το 1834 στην περιοχή Καζάρμα και φτάνει, ως δραστηριότητα, μέχρι και τη δεκαετία του 1990. Βιβλιογραφικές αναφορές σχετικά με την μεταλλευτική δραστηριότητα στην περιοχή που να παρουσιάζει συνοπτικά την ιστορία των εξορύξεων σε μια περιοχή που η εξόρυξη του λιγνίτη ήταν από τις πλέον βασικές δραστηριότητες στην οικονομία της για 150 και πλέον χρόνια, δεν υπάρχει (Ποντίκης, 2010).

Όπως πιστεύεται, οι αρχαίοι έμαθαν για την ύπαρξη του λιγνίτη από τις τυχαίες εμφανίσεις λιγνιτοφόρων στρωμάτων στην επιφάνεια του εδάφους. Σύμφωνα όμως με μια άλλη άποψη, η πρώτη επαφή με το λιγνίτη έγινε όταν ανοίχθηκαν κατά τύχη πηγάδια για νερό μέσα σε κοιτάσματα. Ο *Βλαχαντώνης* (2010) αναφέρει, σχετικά με τη λιγνιτική δραστηριότητα της περιοχής ότι, στα μέσα του 19ου αιώνα, μελετητές και περιηγητές που επισκέφτηκαν την περιοχή, βρήκαν στοιχεία (κοιλώματα, μικρές στοές) από τα οποία διαφαίνεται ότι γινόταν εξόρυξη λιγνίτη σε μικρή κλίμακα για την κάλυψη τοπικών αναγκών, γεγονός που πιστοποιεί την ύπαρξη πλούσιων ανθρακωρυχείων στην περιοχή. Από τους μελετητές που επισκέφτηκαν την περιοχή αναφέρονται ο Γάλλος Ζιλ Ζιράρντ (*Jules Girard*) που ήταν μέλος της Γαλλικής Αρχαιολογικής Σχολής και επισκέφθηκε την Εύβοια το 1850, καθώς και ο Γερμανός Ξαβιέρ Λάντερερ (*Landerer*), που ήταν φαρμακοποιός του βασιλιά Όθωνα και έγινε καθηγητής Χημείας στο Πανεπιστήμιο και Πολυτεχνείο Αθηνών.

Από τη γνώση των αρχαίων και για διάστημα μεγαλύτερο από δύο χιλιετίες, δεν εκδηλώθηκε κανένα ενδιαφέρον και δεν έγινε καμιά έρευνα για τους ελληνικούς λιγνίτες. Οργανωμένη εκμετάλλευση έγινε μετά το 1833 με τη διάνοιξη του ανθρακωρυχείου Κύμης, ενώ το 1861 με την υπογραφή του νόμου περί μεταλλείων ρυθμίσθηκε και θεσμικά η εξορυκτική διαδικασία.

Η πρώτη στοά για την εξόρυξη λιγνίτη στην Κύμη, ανοίχθηκε στη θέση Καζάρμα, ανάμεσα στην Κύμη και τα Βίταλα. Η θέση εντοπίσθηκε μετά από έρευνες και υποδείξεις Βαυαρών μηχανικών και γεωλόγων. Το λιγνιτωρυχείο της Καζάρμας παρέμεινε υπό κρατική διαχείριση μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1860. Οι πρώτοι λιγνιτωρύχοι ήταν Βαυαροί στρατιώτες που σύντομα εκπαίδευσαν στις σχετικές εργασίες και ντόπιους από τα γύρω χωριά, κυρίως από το Βίταλο, τους Μαλετιάνους, τους Ανδρονιάνους, τον Πύργο και τους Καλημεριάνους.

Το 1869 το ελληνικό δημόσιο εκχώρησε την άδεια εκμετάλλευσης λιγνίτη στην «Ελληνική Μεταλλευτική Εταιρεία». Η εταιρεία αυτή με βάση έρευνες γεωλόγων της, μετέφερε το κέντρο των εξορυκτικών εργασιών από την Καζάρμα στο Έντζι, ανάμεσα στους Καλημεριάνους και τον Πύργο. Ονομάσθηκε Έντζι από το όνομα του Έντς, ενός Γερμανού μηχανικού, διευθυντή της εταιρείας που ξεκίνησε το έργο. Η εταιρεία κατασκεύασε γραμμή ιπποσιδηροδρόμου, δηλαδή βαγονιών που τα τραβούσαν ημίονοι, η οποία είχε αφετηρία το Έντζι και κατέληγε στην Πλατάνα από όπου το κάρβουνο φορτωνόταν στα πλοία. Τότε κατασκευάσθηκε και ο μόλος από τον οποίο γινόταν η φόρτωση, που οι ντόπιοι τον λένε «μουράγιο».

Την περίοδο από το 1870 άρχισαν μαζικές προσλήψεις προσωπικού από τα γύρω χωριά του Καστροβαλά. Η εργασία στα λιγνιτωρυχεία έγινε πλέον, προς το τέλος του 19ου αιώνα, η κύρια ασχολία για το εργατικό δυναμικό των χωριών του τότε Δήμου Κοτυλαίων και όχι μόνο. Και ήταν επόμενο, με την πρακτική εκπαίδευση διαρκώς νέων λιγνιτωρύχων, να δημιουργηθεί με την έννοια της γνώσης και της εμπειρίας στις εξορυκτικές εργασίες, μια «σχολή της Κύμης», με πανελλήνια εμβέλεια. Την περίοδο εκείνη η εταιρεία που εκμεταλλεύεται τον λιγνίτη της περιοχής Κύμης, αλλάζει διοικητικά σχήματα και ονομασίες. Την πρώτη δεκαετία του 20^{ου} αιώνα λέγεται πλέον «Εταιρεία Δημοσίων και Δημοτικών έργων». Η παραγωγή λιγνίτη στα λιγνιτωρυχεία Κύμης αντιστοιχούσε στο 60% της συνολικής παραγωγής όλης της χώρας.

Κατά την περίοδο των Βαλκανικών πολέμων (1912-1913) η διάδοχη στην εκμετάλλευση των λιγνιτών της Κύμης «Ανώνυμη Εταιρεία Επιχειρήσεων εν Ελλάδι» κάνει νέες επενδύσεις κατασκευάζοντας σιδηροδρομική γραμμή μεταφοράς από το Έντζι στον Άγιο Νικόλαο Ενορίας περίπου 8 km και εναέριες γραμμές μεταφοράς από το διάμεσο (κοντά στους Μαλετιάνους) μέχρι το Έντζι και από τον Άγιο Νικόλαο μέχρι το νέο λιμάνι της Παραλίας. Εκεί από μια ειδικά σχεδιασμένη μηχανική εγκατάσταση (γνωστή σαν Ρίχτης που κατασκευάστηκε το 1913), ο λιγνίτης φορτώνεται στα πλοία.

Ανατρέχοντας στα κείμενα του Ποντίκη, αναφέρεται ότι το Ανθρακωρυχείο Ανδρονιάνων ξεκίνησε τη λειτουργία του το 1916, από την αυξημένη ζήτηση του λιγνίτη ειδικά για τα ατμόπλοια λόγω του πολέμου. Η «Εταιρεία Ανθρακωρυχείων Κύμης – Ανθρακωρυχείο Ανδρονιάνων», που ήταν γνωστή και ως εταιρεία Βογιατζή, εκμεταλλευόταν δύο συνεχόμενες τοπογραφικές άδειες εκμετάλλευσης με κέντρο των εργασιών της το Ανθρακωρυχείο Ανδρονιάνων, στη θέση Τρίκλινος, που ήταν ο γνωστός μύλος του Σαντά. Από το σημείο αυτό που ήταν ανάμεσα στους Ανδρονιάνους, τους Καρασαλιάνους και τον Πύργο κατασκευάζεται σιδηροδρομική γραμμή μεταφοράς λιγνίτη μήκους 10 km μέχρι το λιμάνι της Παραλίας. Η εταιρία αυτή συνέχισε να δουλεύει εντατικά μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1920, οπότε και διέκοψε την τακτική λειτουργία της. Περιστασιακά όμως συνέχισε να εργάζεται μέχρι και τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο (Ποντίκης, 2010). Από τις πλέον πρόσφατες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των λιγνιτικών κοιτασμάτων της Κύμης, είναι αυτή του ΙΓΜΕ από τον Αναστόπουλο (Αναστόπουλος, 1966). Στην Εικόνα 4-19 δίδονται οι τομές τεσσάρων



δειγματοληπτικών γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της έρευνας του IΓΜΕ.



Εικόνα 4-20: Άποψη της εισόδου εγκαταλελειμμένης υπόγειας εκμετάλλευσης στους Μαλετιάνους (ανατολικά των Βιτάλων).

Η υπόγεια εκμετάλλευση των λιγνιτικών κοιτασμάτων είναι εμφανής σήμερα στην ευρύτερη περιοχή της νεογενούς λεκάνης Κύμης, όπου αναπτύχθηκαν τα της μεγαλύτερα λιγνιτωρυχεία (Καζάρμας, Έντς, Ανδρωνιάνων, Μαλετιάνων κ.α.). Η εκμετάλλευση αυτή εγκυμονεί κινδύνους εδαφικών υποχωρήσεων καθώς, με την στοών, εγκατάλειψη των πιθανή επακόλουθη κατάρρευση τμήματος αυτών μεταναστεύει σταδιακά στην επιφάνεια και προκαλεί εδαφικές υπογωρήσεις. Οı

υποχωρήσεις αυτές ακολουθούν συνήθως την κατεύθυνση της υπόγειας εκσκαφής με σαφώς διευρυμένη ζώνη πλευρικά (*Ρόζος et al., 2008*). Στην περιοχή νοτιοανατολικά και ανατολικά των Βιτάλων, (στον οικισμό Μαλετιάνοι) εντοπίζονται είσοδοι τέτοιων στοών (Εικόνα 4-20), με διεύθυνση ανάπτυξης αυτών προς τα βορειοανατολικά. Υπάρχουν αναφορές ότι οι υπόγειες στοές έφθαναν μέχρι το ύψος του εγκαταλελειμμένου οικισμού «Χαροκόπος» στην απόληξη της λοφοσειράς των Κρινιάνων. Επίσης, σύμφωνα με αναφορές κατοίκων του οικισμού, κατά μήκος της κοίτης του Μαυροπόταμου, στη βάση του νοτιοδυτικού πρανούς του οικισμού των Κρινιάνων, γινόταν περιστασιακά επιφανειακή εξόρυξη μικρών ποσοτήτων λιγνίτη, από μεμονωμένους κατοίκους της περιοχής, χωρίς όμως να προσδιορίζονται επακριβώς τα σημεία των εκσκαφών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5:

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Γεωλογικά στοιχεία

Τεκτονική εξέλιξη νεογενούς λεκάνης Κύμης – Αλιβερίου

Σεισμικά στοιχεία



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ</u> ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

5. 1 Γεωλογικά στοιχεία

5.1.1 Γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη της Εύβοιας

Οι πρώτες πληροφορίες για τη γεωλογία της Εύβοιας δίνονται από τους Russegger (1841), Fiedler (1841), και Sauvage (1846). Αργότερα ασχολήθηκε ο Gorceix (1874) καθώς και οι Teller (1880), Deprat (1904), Ktenas, (1907) και Negris (1915-1919). Από τους νεότερους ερευνητές στους οποίους βρίσκουμε απόψεις για τη γεωλογική κατασκευή της Εύβοιας ξεχωρίζουμε τις εργασίες των Philipson (1951), των Mapívoς & Petrascheck (1956) και του Ανδρονόπουλου (1962). Οι σύγχρονοι ερευνητές που έχουν εκφράσει απόψεις για την περιοχή είναι ο Katsikatsos (1969, 1970, 1971, 1977, 1979, 1991), Guernet (1971), Παπανικολάου (1978), Katsikatsos et al. (1981), Katsikatsos & Kollmann (1986), Bavay & Bavay (1980), Vergely (1984), Λεοντάρης & Γκουρνέλλος (1990) και Λατσούδας & Τριανταφύλλης (1991).

Ο Κατσικάτσος (1971) θεωρεί ότι ο ορίζοντας των σχιστολίθων της Καρύστου υπέρκειται σύμφωνα του ορίζοντα των μαρμάρων – σιπολινών και των σχιστολίθων Στύρων. Σε μεταγενέστερες εργασίες θεωρεί ότι οι σχηματισμοί της Ν.Εύβοιας συνιστούν το "Νεοελληνικό κάλυμμα" το οποίο περιλαμβάνει: α) την ενότητα Στύρων, με τις εναλλαγές σχιστόλιθων – μαρμάρων και σιπολινών και β) την επωθημένη πάνω σ' αυτήν, ενότητα της Όχης. Την επώθηση της ενότητας της Όχης πάνω σε αυτή των Στύρων αποδέχεται και η Αλεξούλη - Λειβαδίτη (1978), η οποία διακρίνει την ενότητα της Όχης σε δύο σχηματισμούς Κερασιάς – Όχης και Αετού σε ασυμφωνία μεταξύ τους.

Ο Παπανικολάου (1978) εισάγει τον όρο της ενότητας Μακροτάνταλου – Όχης. Η ενότητα αυτή είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα των Βορείων Κυκλάδων και αυτή με τη σειρά της πάνω στην ενότητα Αλμυροπόταμου. Βέβαια δέχεται ότι οι ενότητες Μακροτάνταλου – Όχης και Βορείων Κυκλάδων (που περιέχουν τα σιπολινομάρμαρα Στύρων) έχουν ίδια τεκτονική δομή και κυανοσχιστολιθική μεταμόρφωση αλλά διαφορετική λιθοστρωματογραφία. Επίσης, η ενότητα Μακροτάνταλου – Όχης είναι επωθημένη πάνω στην ενότητα των Βορείων Κυκλάδων με μια πολύπλοκη τεκτονική επαφή (και στην Άνδρο και στην Εύβοια). Ιδιαίτερα στην Άνδρο φαίνεται ότι δεν είναι μια απλή επώθηση αλλά μια πολύ βαθιά τεκτονική επαφή (τουλάχιστον 10Km βάθος) σε

συνθήκες μεταμόρφωσης και ισοκλινούς παραμόρφωσης με παρουσία σχιστοποιημένων οφιολιθικών πετρωμάτων.

Οι Katsikatsos et al. (1986) χαρακτηρίζουν πολύπλοκη τη γεωλογική δομή της Εύβοιας και τη χωρίζουν σε τρεις ενότητες:

Την αυτόχθονη ενότητα.

Το Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα.

Τους μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Πελαγονικής ή την Υποπελαγονική ενότητα.

Η αυτόχθονη ενότητα ονομάζεται ενότητα Αλμυροποτάμου από την περιοχή στην οποία εμφανίζεται και αποτελείται από μάρμαρα πάχους έως και 2000m, τα οποία στα ανώτερα στρώματα μεταβαίνουν σε μεταφλύσχη (σχιστόλιθοι με ενστρώσεις μαρμάρων, σημαντικού μερικές φορές πάχους). Σε ολόκληρο το στρωματογραφικό πάχος των μαρμάρων εκτός από τις σχιστολιθικές ενστρώσεις απαντούν και παρεμβολές δολομιτικών μαρμάρων. Το χρονικό διάστημα που καλύπτουν οι ορίζοντες των μαρμάρων είναι από το Άνω Τριαδικό έως το Ηώκαινο. Κατά τον Παπανικολάου (1978) η ενότητα αυτή είναι ομόλογη της ενότητας Ολύμπου – Κερκετέας.

Το Νεοελληνικό κάλυμμα (ονομάστηκε έτσι από τον Κατσικάτσο το 1977 για να ζεχωρίζει από το λεγόμενο Ηωελληνικό κάλυμμα της Πελαγονικής). Στην Εύβοια αποτελείται από δύο ενότητες:

Την τεκτονική ενότητα των Στύρων που βρίσκεται πάνω από την αυτόχθονη ενότητα του Αλμυροποτάμου και κάτω από την ενότητα της Όχης και αποτελείται από μάρμαρα, σιπολινομάρμαρα, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους που μερικές φορές μεταβαίνουν σε χαλαζίτες και οφιολιθικά σώματα που εμφανίζονται στην επαφή της με το υποκείμενο αυτόχθονο.

Την τεκτονική ενότητα της Όχης που υπέρκειται της προηγούμενης και αποτελεί την προς πάνω βαθμιαία εξέλιξη του ορίζοντα Μαρμάρων – Σιπολινών Στύρων και οι σχηματισμοί της έχουν την κύρια ανάπτυξή τους στο νότιο άκρο της Εύβοιας, όπου συνιστούν μια παχιά σειρά σχηματισμών συνολικού πάχους μεγαλύτερου από 5000m (φύλλο "Αλιβέρι" του Ι.Γ.Μ.Ε).

Οι δύο αυτές ενότητες του Νεοελληνικού καλύμματος είναι ομόλογες των Βορείων Κυκλάδων (ενότητα Στύρων) και Μακροταντάλου (ενότητα Όχης) κατά τον Παπανικολάου (1978) και χαρακτηρίζονται από HP/LT μεταμόρφωση που έγινε σε τρεις φάσεις, πριν το Μαιστρίχτιο, κατά το Κάτω Μειόκαινο – Ηώκαινο και τέλος το Ολιγόκαινο.

Η επώθηση του Νεοελληνικού καλύμματος έγινε από τα ΒΑ. Η ομόλογη ενότητα προς Βορρά κατά τον *Katsikatsos* (1976) είναι η ενότητα των Αμπελακίων της Αν. Θεσσαλίας. Κατά τον ίδιο ερευνητή, είναι πιθανό η παλαιογεωγραφική θέση των σχηματισμών του καλύμματος να βρίσκονται στο νότιο τμήμα της Βοιωτικής αύλακας (δηλαδή δυτικότερα της Υποπελαγονικής). Οι οφιολιθικές μάζες του καλύμματος προέρχονται από τον ωκεανό της Αλμωπίας, ο οποίος τροφοδότησε με οφιολίθους και την Υποπελαγονική.

Η Πελαγονική ενότητα εμφανίζεται στην Εύβοια και στην περιοχή της Κύμης (Εικόνα 5-1), μη μεταμορφωμένη, αποτελείται δε από τους παλαιότερους πρός νεότερους τους εξής σχηματισμούς:

- Κρυσταλλικό υπόβαθρο από αμφιβολίτες, αμφιβολιτικούς γνευσίους,
 διμαρμαρυγιακούς γνευσιοσχιστόλιθους και μιγματίτες.
- Νεοπαλαιοζωική σειρά κλαστικών σχηματισμών, ελαφρά μεταμορφωμένη, με αρκόζες, φυλλίτες, σερικιτικούς και χλωριτικούς σχιστόλιθους.
- Μεσοτριαδικοί Ανωιουρασικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες.

Σχηματισμοί του Ηωελληνικού τεκτονικού καλύμματος, το οποίο είναι επωθημένο πάνω στον προηγούμενο σχηματισμό κατά το Άνω Ιουρασικό – Κάτω Κρητιδικό και αποτελείται από δύο ενότητες σχηματισμών: α) Ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμοί και β) Σχηματισμός υπερβασικών πετρωμάτων. Οι σχηματισμοί αυτοί χωρίζονται με τεκτονική επαφή.

- Ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι
- Σχηματισμός φλύσχη

Η Πελαγονική ενότητα, επειδή συγκροτείται από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (μάζα), πάνω στην οποία υπάρχουν Μεσοζωικά ιζήματα (κάλυμμα), ονομάστηκε από τον *Kossmat* (1924) «Πελαγονική μάζα και το κάλυμμά της». Ο τελικός όρος «Πελαγονική» καθιερώθηκε από τους *Aubuin* (1957) και *Brunn* (1956) στα πλαίσια της διαίρεσης της Ελλάδας σε αλπικές ισοτοπικές ζώνες και δόθηκε σε αυτήν η έννοια του υβώματος που χώριζε την αύλακα της Αλμωπίας στα Ανατολικά από την αύλακα της Πίνδου στα Δυτικά. Η υποθαλάσσια ράχη της Πελαγονικής πιστεύονταν ότι διακοπτόταν από τους δύο διαύλους στις περιοχές της Κοζάνης και Κεντρικής Εύβοιας, διαμέσου των οποίων επικοινωνούσαν οι δύο αύλακες. Η διεύθυνσή της είναι BBΔ-NNA και εκτείνεται από τη Γιουγκοσλαβία προς τους Ελληνικούς ορεινούς όγκους του Βόρα, του Βερμίου, του Βέρνου, των Πιερίων, του Ολύμπου, του Πηλίου και τη Β. Εύβοιας και στη συνέχεια κάμπτεται προς τις Σποράδες.

Ωστόσο, για πολλά χρόνια η Κεντρική Εύβοια εντασσόταν στην Υποπελαγονική Ζώνη που βρίσκεται στη Δυτική παρυφή της Πελαγονικής Ζώνης, δηλαδή της περιοχής μετάβασης του Πελαγονικού υβώματος προς τη βαθιά αύλακα της Πίνδου. Βασική αιτία της διάκρισης αυτής ήταν η παρουσία στη δυτική αυτή περιοχή της Πελαγονικής Ζώνης μεγάλων οφιολιθικών μαζών. Σύμφωνα με παλαιότερες αντιλήψεις είχε θεωρηθεί ότι οι οφιολιθικές μάζες προέρχονταν από μαγματικό υλικό που είχε εκβληθεί από μεγάλα ρήγματα της δυτικής παρυφής του πελαγονικού υβώματος και το οποίο είχε εκχυθεί μέσα στα ιζήματα της προς τα δυτικά ευρισκόμενης μεταβατικής θάλασσας προς την αύλακα της Πίνδου (*Mouvτράκης, 2010*).

Οι μικρές διαφορές όμως που παρατηρούνται μεταξύ της Πελαγονικής και Υποπελαγονικής ζώνης, οδήγησαν τον *Ferriere* (1976) να προτείνει την εγκατάλειψη του όρου «Υποπελαγονική Ζώνη», ωστόσο κάτι τέτοιο θα άφηνε κενό στη γεωτεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων.



Εικόνα 5-1: Απόσμασμα Γεωλογικού χάρτη της Ελλάδας κλ. 1:500.000 (Μπορνόβας & Ροντογιάννη -Τσιαμπάου, 1983).

Σχετικά με την μεταλπική εξέλιξη της Εύβοιας, αυτή χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία κυρίως λιμναίων λεκανών που καταλαμβάνουν αρκετά μεγάλη εξάπλωση, στις οποίες ανήκει και η νεογενής λεκάνη Κύμης – Αλιβερίου της υπό εξέταση περιοχής και λιγότερο από θαλάσσια πλειοκαινικά ιζήματα. Το θαλάσσιο Πλειόκαινο εμφανίζεται κυρίως στη βορειοανατολική Εύβοια (Guernet 1971; Georgiadies & Dikeoulia 1969), ενώ οι κυριότερες λιμναίες λεκάνες είναι αυτές των Λιχάδων Γιάλτρας, της Ιστιαίας – Λίμνης, των Πολιτικών, της Αμφιθέας και της Κύμης – Αλιβερίου. Η ηλικία των λεκανών είναι κύρια Μειοκαινική, όπως αναφέρουν πλήθος ερευνητών που μελέτησαν τη χλωρίδα και τη μικρο-πανίδα των περιοχών (Gaudry, 1860; De Saporta, 1868; Deprat, 1904; Guernet & Savuage, 1969; Guernet, 1971; Μεττός κ.α., 1991; Ioakim et al., 2005) καθώς και από την παρουσία απολιθωμάτων θηλαστικών (Mitsopoulos, 1947; Cordela 1878; Deprat, 1904) αλλά και της χρονολόγησης των ηφαιστειακών εκχύσεων (Fytika et al. 1976).

Ειδικότερα η λεκάνη της Κύμης Αλιβερίου που αποτελεί και την περιοχή έρευνας, φαίνεται ότι σχηματίστηκε στο κατώτερο Μειόκαινο (*Katsikatsos et al., 1981*) και καλύπτει τους γεωλογικούς σχηματισμούς του Ανατολικού τμήματος της Υποπελαγονικής ζώνης, δηλαδή την ενότητα της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας, όπως αποτυπώνεται και στον χάρτη της Ελλάδας με τις γεωτεκτονικές ζώνες (*Mouvtpákης, 1985*) (Εικόνα 5-2).



Εικόνα 5-2: Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (Μουντράκης, 1985).

5.1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την ευρύτερη περιοχή της Κύμης εντάσσονται, όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, στην ενότητα της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας που αποτελείται από ένα Παλαιοζωϊκό υπόβαθρο εν μέρει μεταμορφωμένο και από μία Μεσοζωϊκή σειρά μη μεταμορφωμένων σχηματισμών στην οποία παρεμβάλλονται, τεκτονικά τεράστιες μάζες οφιολιθικών πετρωμάτων.

Τους σχηματισμούς αυτούς ο *Aubouin* (1957), τους κατατάσσει στην **Πελαγονική** ζώνη η οποία είναι επωθημένη στις τεκτονικές ενότητες της νότιας Εύβοιας.

Κατά τον Κατσικάτσο (1992), η ευρεία περιοχή έρευνας δομείται γεωλογικά από μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Πελαγονικής Ζώνης καθώς και από μεταλπικά ιζήματα. Οι αλπικοί σχηματισμοί βρίσκονται με ασυμφωνία επίκλυσης πάνω στο κρυσταλλικό υπόβαθρο στην ευρύτερη περιοχή Στροπώνων – Μετοχίου, ενώ τα μεταλπικά ιζήματα συνίστανται κυρίως από λεπτομερείς λιγνιτοφόρους νεογενείς αποθέσεις, που στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής έρευνας φιλοξενούν ηφαιστειακές λάβες.

Στην Εικόνα 5-3 δίδεται η στρωματογραφική στήλη των μη μεταμορφωμένων σχηματισμών της Πελαγονικής Ζώνης στην Κεντρική και Βόρεια Εύβοια (Από Φύλλο Κύμη, ΙΓΜΕ, Κατσικάτσος, κ.α. 1970; Αναστόπουλος, Ι., 1962).



Εικόνα 5-3: Στρωματογραφική στήλη της Πελαγονικής Ζώνης μη μεταμορφωμένων σχηματισμών της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας (Γ. Κατσικάτσος κ.α., 1970).

Με βάση το γεωλογικό χάρτη του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000, φύλλο Κύμη και το υπό έκδοση Φύλλο Στενή – Δίρφυς, δίδεται στη συνέχεια η στρωματογραφική ακολουθία των γεωλογικών σχηματισμών στην περιοχή έρευνας. Τα ανωτέρω βιβλιογραφικά στοιχεία αποτέλεσαν χρήσιμο βοήθημα και τη βάση στην όλη υπαίθρια εργασία που τελικά οδήγησε στη σύνταξη του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη, Κλίμακας 1:25.000 που παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο. Αναλυτικότερα, με βάση τα βιβλιογραφικά αυτά δεδομένα, οι λιθολογικές ενότητες που δομούν την ευρεία περιοχή έρευνας από τις νεότερες στις παλαιότερες είναι οι ακόλουθες:

Ολοκαινικές αποθέσεις

Οι πρόσφατες αποθέσεις του Τεταρτογενούς έχουν γενικά περιορισμένη ανάπτυξη στην περιοχή έρευνας. Αποτελούνται από πρόσφατα πλευρικά κορήματα στα πρανή των αλπικών σχηματισμών, από υλικά παλαιών αναβαθμίδων και πρόσφατων αποθέσεων κοίτης ποταμών και χειμάρρων, καθώς και παράκτιες χαλαρές αποθέσεις και χαρακτηρίζονται από μικρό βαθμό ή παντελή έλλειψη συνεκτικότητας.

Πλειστοκαινικές αποθέσεις

Οι πλειστοκαινικές αποθέσεις περιλαμβάνουν πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων, καθώς και τις αποθέσεις που καλύπτουν την πεδινή ζώνη δυτικά – βορειοδυτικά την πόλης της Κύμης. Οι τελευταίες αποτελούνται από εναλλαγές ερυθρών αργίλων, άμμων και λατυποκροκαλοπαγών. Τα πλευρικά κορήματα είναι ασβεστολιθικά, αναπτύσσονται κυρίως στη βόρεια παραλιακή ζώνη και συγκεκριμένα στις εξόδους προς τη θάλασσα χειμάρρων, που διατρέχουν ασβεστολιθικές περιοχές. Είναι συνεκτικά, με επικράτηση των αδρομερών στοιχείων, ενώ κατά θέσεις συμμετέχουν μεγάλα ασβεστολιθικά τεμάχη.

Νεογενή ιζήματα

Τα λιμναία τριτογενή ιζήματα της λεκάνης της Κύμης καταλαμβάνουν έκταση που υπερβαίνει τα 100km², και οριοθετούνται προς τα βόρεια από το όρος Σούκαρο, προς τα δυτικά από το ορεινό συγκρότημα Μαυροβουνίου, προς νότο από τους προβούνους της Οχθονιάς και προς τα ανατολικά διακόπτονται απότομα από τις ακτές της θάλασσας του Αιγαίου. Η περιοχή αυτή αποτελεί την κύρια τριτογενή λεκάνη της Κύμης, καθώς άλλες τρεις μικρότερης έκτασης αναπτύσσονται ανατολικά και βορειοδυτικά της πόλης της Κύμης. Η ιζηματογένεση αρχίζει με την απόθεση του κροκαλοπαγούς βάσης πάνω σε φλυσχικό κυρίως υπόβαθρο, ακολουθεί η απόθεση μεγάλου πάχους λεπτομερών ιζημάτων, αποτελούμενων κυρίως από μάργες που φιλοξενούν και τα λιγνιτικά κοιτάσματα και τέλος έχουμε την απόθεση στρωμάτων που συνίστανται από επάλληλες διαστρώσεις κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργίλων. Η λιθοστρωματογραφία των νεογενών ιζημάτων δίδεται αναλυτικότερα στη συνέχεια, με βάση τις υπαίθριες εργασίες.

<u>Ανώτερη σειρά νεογενών ιζημάτων</u>

Αποτελείται από σκληρές ασβεστολιθικές μάργες, με διαστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων, που εξελίσσονται προς τα ανώτερα μέλη σε εναλλαγές ανοιχτότεφρων και υπόλευκων μαργών, με παρεμβολές λεπτών διαστρώσεων τεφρών αργίλων, ψαμμιτών και ψηφιδοπαγών. Εμφανίζουν έντονο κερματισμό, ενώ η διαταραγμένη ζώνη αποκτά κατά θέσεις σημαντικό πάχος. Στους ανώτερους ορίζοντες της σειράς αυτής συμμετέχουν ενστρώσεις ή και φακοί κροκαλοπαγών πάχους μέχρι 30m, που καταλαμβάνουν την κορυφή λοφοειδών εξάρσεων με τη μορφή καλυμμάτων, τα οποία εμφανίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα της περιοχής έρευνας. Είναι μέτρια συνεκτικά και αποτελούνται από κροκαλολατύπες μικρού σχετικά μεγέθους.

<u>Κατώτερη σειρά νεογενών ιζημάτων</u>

Αποτελείται από τεφροπράσινες έως κυανότεφρες πλαστικές αργίλους, αργιλομάργες με ελάχιστες ψηφίδες και κροκάλες. Προς τα ανώτερα στρώματα εξελίσσονται σε φαιότεφρες έως φαιές συμπαγείς μάργες, με ενστρώσεις ψαμμιτών και μεγάλο αριθμό απολιθωμάτων. Μέσα στη σειρά αυτή φιλοξενείται το λιγνιτικό κοίτασμα της Κύμης, με τη μορφή ενός στρώματος ή περισσοτέρων, που διαχωρίζονται από λεπτές στρώσεις αργίλου - αργιλομάργας βαθύτεφρου έως κυανού χρώματος. Οι επιφανειακές εμφανίσεις της σειρά αυτής καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης, σημαντικού πάχους.

<u>Βασικό κροκαλοπαγές</u>

Αποτελείται από κροκάλες ποικίλου μεγέθους προερχόμενες από όλα τα είδη των πετρωμάτων του υποβάθρου, με επικράτηση αυτών του φλύσχη, ενώ το συνδετικό υλικό είναι ψαμμιτικό ή αργιλικό. Τοπικά παρατηρούνται ψαμμιτικές ενστρώσεις. Εμφανίζεται επιφανειακά κατά μήκος των ανατολικών περιθωρίων της λεκάνης των Βιτάλων, σε ζώνη πλάτους περί τα 250m. Στα δυτικά περιθώρια της ζώνης αυτής παρατηρούνται μικρότερης έκτασης εμφανίσεις. Έχει πάντως διαπιστωθεί η ύπαρξη του βασικού κροκαλοπαγούς και σε κεντρικά σημεία της λεκάνης, μέσω ερευνητικών γεωτρήσεων στα πλαίσια κοιτασματολογικής έρευνας για τον εντοπισμό λιγνιτικών κοιτασμάτων.

Πελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών

<u>Φλύσχης (Μαιστρίχτιο – Παλαιόκαινο)</u>

Αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, λεπτόκοκκων ψαμμιτών και λατυποκροκαλοπαγών. Κατά θέσεις παρεμβάλλονται, ασβεστολιθικές ενστρώσεις και σώματα περιδοτιτών που έχουν υποστεί ποικίλο βαθμό σερπεντινίωσης. Οι σχηματισμοί του φλύσχη έχουν μεγάλη επιφανειακή εξάπλωση βόρεια και δυτικά της πόλης της Κύμης, μέχρι το ανατολικό περιθώριο της νεογενούς λεκάνης των Βιτάλων, καθώς και σε όλο σχεδόν το μήκος του δυτικού περιθωρίου αυτής.

<u>Ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο – Μαιστρίχτιο)</u>

Συνθέτουν την ανθρακική σειρά ιζηματογένεσης μετά την επίκλυση της θάλασσας κατά το Κενομάνιο. Τα κατώτερα μέλη της σειράς αυτής αποτελούνται από μαργαϊκούς μεσοστρωματώδεις ασβεστολίθους, κιτρινωπού χρώματος. Στα μέσα και ανώτερα μέλη εμφανίζονται ανοιχτότεφροι, παχυστρωματώδεις και έντονα καρστικοποιημένοι. Αποτελούν τον ανθρακικό σχηματισμό με τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση, στο βόρειο και δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας.

<u>Βωξιτικά και Σιδηρονικελιούχα Λατεριτικά κοιτάσματα (Κενομάνιο)</u>

Εμφανίζονται με τη μορφή στρωματοειδών φακών, πάνω σε διαβρωσιγενή επιφάνεια, υποκείμενα των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων. Τα σιδηρονικελιούχα χαρακτηρίζονται ως πισσολιθικού και συμπαγούς τύπου, με άφθονες κερατολιθικές και οφιολιθικές λατύπες, γενικά μέτριας περιεκτικότητας σε νικέλιο. Τα βωξιτικά κοιτάσματα χαρακτηρίζονται ως καλής γενικά ποιότητας.

<u>Ασβεστόλιθοι (Κιμερίδιο – Τιθώνιο)</u>

Πρόκειται για τεφρούς έως ανοιχτόχρωμους παχυστρωματώδεις, έντονα καρστικοποιημένους ασβεστολίθους. Κατά θέσεις είναι δολομιτικοί ασβεστόλιθοι έως και δολομίτες.

Σχιστοκερατολιθική διάπλαση με οφιολίθους (Αν. Ιουρασικό – Κατ. Κρητιδικό)

Αποτελείται από εναλλαγές κερατολίθων και αργιλικών σχιστολίθων, χαρακτηριστικού ερυθρωπού χρώματος, με παρεμβολές οφιολιθικών σωμάτων. Οι σχηματισμοί αυτοί έχουν περιορισμένη επιφανειακή εξάπλωση και εμφανίζονται με τη μορφή μιας στενής λωρίδας μεταξύ των υποκείμενων ασβεστολίθων του Αν. Ιουρασικού και των υπερκείμενων επικλυσιγενών ασβεστολίθων του Αν. Κρητιδικού, λόγω της έντονης διάβρωσης που υπέστησαν, με τη χέρσευση της περιοχής κατά το Κατώτερο Κρητιδικό.

Ασβεστόλιθοι (Αν. Τριαδικό – Μέσο Ιουρασικό)

Πρόκειται για τεφρόμαυρους έως τεφρούς ασβεστολίθους, μεσοστρωματώδεις, με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστολίθων. Εμφανίζουν μικρό έως μέτριο βαθμό αποκάρστωσης. Στο βόρειο τμήμα της περιοχής έρευνας έχουν διαβρωθεί πριν από το Ανωκρητιδικό, έντονα ή τελείως, όπως συμβαίνει στην περιοχή του Ακρωτηρίου Κύμης.

<u>Ασβεστόλιθοι (Τριαδικό)</u>

Πρόκειται για παχυστρωματώδεις έως μεσοστρωματώδεις κρυσταλλικούς ασβεστολίθους με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστολίθων. Εμφανίζονται κατά μήκος της βόρειας παραλιακής ζώνης της περιφέρειας του Δήμου Κύμης. Κατά θέσεις μέσα σ' αυτούς απαντούν σώματα βασικών εκρηξιγενών, κατά κανόνα μικρών διαστάσεων, που

συνοδεύονται συνήθως από κλαστικά υλικά. Στη ζώνη μεταξύ του Ακρωτηρίου Καλάμι και του Όρμου Τσίλαρου, κυριαρχούν τα κλαστικά ιζήματα, κυρίως γραουβάκες και κροκαλοπαγή, που συνοδεύονται από σχιστοποιημένα εκρηξιγενή και ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων.

Σχιστόλιθοι (Νεοπαλαιοζωικό – Κατ. – Μέσο Τριαδικό)

Οι σχηματισμοί αυτοί επίκεινται του κρυσταλλικού υποβάθρου και αποτελούν σύστημα από χλωριτικούς, σερικιτικούς σχιστόλιθους, φυλλίτες, γραουβάκες και σχιστοψαμμίτες. Κατά θέσεις, απαντώνται παρεμβολές από κροκαλοπαγή και κοίτες σχιστοποιημένων βασικών εκρηξιγενών πετρωμάτων (κυρίως σπιλιτών). Επίσης στη σειρά αυτή και κυρίως στο ανώτερο τμήμα της παρεμβάλλονται με τη μορφή ενστρώσεων απολιθωματοφόροι ασβεστόλιθοι, κατά κανόνα σκοτεινόχρωμοι και λιγότεροι ανοιχτότεφροι. Το πάχος των ενστρώσεων αυτών κυμαίνεται από λίγα έως 50m και σε μερικές περιπτώσεις μέχρι και 250m.

Παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο

Εμφανίζεται στην περιοχή Στροπώνων – Μετοχίου και αποτελείται από γνευσίους, γνευσιοσχιστόλιθους, που τοπικά μεταπίπτουν σε μιγματίτες. Κατά θέσεις απαντώνται επίσης γρανιτικές διεισδύσεις και ενστρώσεις λευκών μαρμάρων. Η ηλικία των αρχικών σχηματισμών του υποβάθρου αυτού και της μεταμόρφωσής τους είναι προμεσολιθανθρακοφόρα. Αυτό προκύπτει από τα μεσολιθανθρακοφόρας ηλικίας απολιθώματα που βρέθηκαν στους υποκείμενους του κρυσταλλικού υποβάθρου νεοπαλαιοζωικούς σχηματισμούς στην περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας.

5.2 Τεκτονική εξέλιξη νεογενούς λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου

Πριν το σχηματισμό της τριτογενούς λεκάνης, είχαν διαμορφωθεί διάφορες απόψεις σχετικά με την ποικίλη φύση και ηλικία των προτριτογενών σχηματισμών, ως απόρροια εκδηλώσεων ορογενετικών και λοιπών τεκτονικών διαταραχών, που ακολούθησαν την απόθεση των σχηματισμών αυτών.

Ο Katsikatsos (1976) αναφέρει ότι στην ευρύτερη περιοχή υπάρχουν τρεις πτυχογόνες φάσεις πριν το Τριτογενές, οι οποίες την επηρέασαν και διαδραμάτισαν σημαντικό ρόλο στην κίνηση των υπόγειων νερών, καθώς και στη δημιουργία καρστικών πηγών. Πρόκειται για:

- Προ-ανωκρητιδικές φάσεις στο Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα (NTK), με ισοκλινείς πτυχές και διεύθυνση 145⁰-205⁰.
- Μετα-ανωκρητιδικές φάσεις κατά την επώθηση του ΝΤΚ πάνω στην ενότητα
 Αλμυροποτάμου, με ισοκλινείς πτυχές, διεύθυνση 110⁰-120⁰ και ΝΔ ώθηση.

 Επώθηση Πελαγονικής στις ενότητες Αττικοκυκλαδικής ζώνης (AKZ) με ανισόπαχες πτυχές διεύθυνσης 60⁰-80⁰ και ώθηση NA.

Οι Μαριολάκος & Παπανικολάου (1984) λίγο αργότερα, ανέλυσαν τα κυριότερα νεοτεκτονικά ρήγματα που έδρασαν από το Ανώτερο Μειόκαινο έως σήμερα και κατέληξαν ότι στο χώρο του σημερινού Ελληνικού τόξου υπάρχουν τρεις τομείς με διαφορετικό ρηγματογενή ιστό.

Ο Kokkalas (2001), αναφέρει ότι στην ευρύτερη περιοχή μελέτης κυριαρχεί μια μεγάλου μήκους τεκτονική δομή, γενικής διεύθυνσης BΔ - NA, η οποία εντοπίζεται δυτικά της Κύμης και φέρνει σε επαφή το φλύσχη και τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με τα νεογενή και τεταρτογενή ιζήματα. Σύμφωνα με τον ίδιο συγγραφέα, το ρήγμα αυτό μαζί με ένα άλλο εξίσου μεγάλου μήκους και ίδιας διεύθυνσης, το οποίο βρίσκεται δυτικότερα, δημιουργούν ένα τεκτονικό κέρας με αλπικούς σχηματισμούς το οποίο έρχεται σε επαφή με τα μεταλπικά ιζήματα (Εικόνα 5-4, Τομή G-G'). Επίσης, παρατηρούνται και άλλα, μικρότερου μήκους ρήγματα, με γενική διεύθυνση BA - NΔ. Σημαντικότερο είναι αυτό που εντοπίζεται βόρεια της Κύμης και φέρνει σε επαφή τους περιδοτίτες της Υποπελαγονικής ζώνης με τα νεογενή ιζήματα.



Εικόνα 5-4: Γεωλογικές τομές σε διάφορες θέσεις της νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου, (Kokkalas, 2001).

Οι *Xypolias et al.* (2003), προτείνουν ένα πιθανό ορογενετικό μοντέλο σχετικά με την ορογενετική εξέλιξη της περιοχής (Εικόνα 5-5).

Μετά το σχηματισμό των Μεσοζωικών ασβεστολίθων ακολούθησε η απόθεση του φλύσχη στο Μαιστρίχτιο - Κ. Ηώκαινο. Η διάρρηξη και πτύχωση των πετρωμάτων δημιούργησε διόδους για την έξοδο βασικών και υπερβασικών μαγμάτων η οποία οδήγησε στο σχηματισμό γαββροδιαβασικών και περιδοτιτικών πετρωμάτων εντός του φλύσχη και των ασβεστολίθων. Κατά την ανώτερη πτύχωση δημιουργήθηκε μια σειρά συγκλινικών και αντικλινικών πτυχών. Οι πτυχές αυτές κλίνουν προς ΒΑ και χαρακτηρίζονται από γενική διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ. Κατά την ίδια διεύθυνση εκδηλώθηκαν επωθητικές κινήσεις που επηρέασαν κυρίως το φλύσχη, λόγω της μεγαλύτερης πλαστικότητας των ιζημάτων έναντι των σχηματισμών των ασβεστολίθων. Μετά τις ορογενετικές κινήσεις αυτές εκδηλώθηκαν κατακόρυφες μετακινήσεις των επιμέρους τεμαχών, οι οποίες είχαν σαν συνέπεια το σχηματισμό του βυθίσματος εντός του οποίου άρχισε ασύμφωνα προς τους ασβεστολιθικούς, φλυσχικούς και οφιολιθικούς σχηματισμούς η απόθεση των τριτογενών σχηματισμών που περιέχουν το λιγνίτη. Η ακριβής ηλικία των τριτογενών αποθέσεων ποικίλλει. Άλλοι την τοποθετούν στο Ηώκαινο (Spratt, 1847; Unger, 1867; Corseix, 1873), Ολιγόκαινο (De Saporta, 1868 & 1873), στο Ακουϊτάνιο - Σαρμάτιο, στο Πόντιο, στο Πλειόκαινο ή τέλος στο Πλειστόκαινο (Fuchs, 1876).



Εικόνα 5-5: Γεωδυναμικό μοντέλο ορογένεσης της περιοχής μελέτης (Xypolias, 2003).

Η τεκτονική δομή της λεκάνης είναι απλή στο σύνολό της. Το εσωτερικό της λεκάνης έχει βυθιστεί τεκτονικά. Ο πυθμένας όμως παρουσιάζεται ανομοιόμορφος με εγκολπώσεις λιγνιτοφόρους ή μη, αποτέλεσμα των επιμέρους άνισων μετατοπίσεων τεμαχών λόγω των φαινομένων συνίζησης. Αποτέλεσμα αυτών αποτελεί η μη απόθεση ολόκληρης της σειράς των τριτογενών ιζημάτων στα διάφορα σημεία της λεκάνης, καθώς και η κατά τόπους ανομοιογενής σύστασή τους.

Σχετικά με την απόθεση των τριτογενών σχηματισμών, η πτύχωση που ακολούθησε λόγω της εκδήλωσης κατακόρυφων μετακινήσεων και εφαπτομενικών πιέσεων, συνδέεται με την ύπαρξη ζώνης έντονης διαταραχής εντός των ανώτερων οριζόντων των μαργών. Εξαιτίας της διαταραχής αυτής εμφανίζεται ασυμφωνία με τους κατώτερους ορίζοντες των μαργών, οι οποίοι εμφανίζονται με στρώση μικρής κλίσης και χωρίς τεκτονικές παραμορφώσεις και διαρρήξεις. Η παρατηρούμενη ασυμφωνία είναι τεκτονικής φύσης, οφειλόμενη πιθανώς σε ολίσθηση ευρείας έκτασης τμήματος των ανώτερων μαργών, ή σε πτύχωση προκληθείσα από τις κατακόρυφες μετατοπίσεις και τις εφαπτομενικές πιέσεις, που επηρέασαν μόνο το ανώτερο τμήμα των μαργών, λόγω της μεγαλύτερης πλαστικότητάς τους από τους βαθύτερους ορίζοντες (Αναστόπουλος, 1966). Συνεπώς δεν πρόκειται για στρωματογραφική ασυμφωνία, δηλαδή διακοπή της ιζηματογένεσης λόγω των ορογενετικών κινήσεων και επαναλειτουργία αυτής με τη λήξη της ορογένεσης. Σε τέτοια περίπτωση, θα είχαμε τις υποκείμενες μάργες πτυχωμένες και τις υπερκείμενες αδιατάρακτες, ενώ έχουμε ακριβώς το αντίθετο. Ακόμα αποκλείεται η ασυμφωνία κατά την ιζηματογένεση γιατί δεν παρατηρείται καμιά λιθολογική διαφορά μεταξύ των μαργών, ενώ παρατηρείται έντονη διάρρηξη και παρουσία τεκτονικού λατυποπαγούς στη βάση της ζώνης διαταραχής. Άρα η ασυμφωνία έχει τεκτονικά αίτια.

Μετά την Αλπική ορογένεση ακολούθησε έντονη διάβρωση στην περιοχή της λεκάνης της Κύμης, κατά την οποία σχηματίστηκαν αργιλοκροκαλοπαγή τα οποία επιστρώθηκαν επί των τριτογενών και παλαιότερων αποθέσεων. Τα κροκαλοπαγή αυτά έχουν διεύθυνση $A - \Delta$ περίπου και κλίση $3^0 - 10^0$ προς διάφορες τοπικές διευθύνσεις. Τα μεταλπικά ιζήματα που εντοπίζονται ανατολικά της Κύμης, έχουν αποτεθεί σύμφωνα με τον *Kokkalas* (2001), σε μια λεκάνη ιζηματογένεσης, η οποία αποτελεί τμήμα της μεγάλης νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου, που άρχισε να διαμορφώνεται κατά το Κατώτερο Μειόκαινο. Τα ιζήματα που αποτέθηκαν ξεπερνούν τα 500 μέτρα πάχος και αποτελούνται από κροκαλοπαγή και μάργες με λιγνιτικές παρεμβολές κατά θέσεις. Αργότερα, στα μέσα του Μειοκαίνου πραγματοποιήθηκε διείσδυση ηφαιστειακών πετρωμάτων που σήμερα εντοπίζονται στην περιοχή του Οξύλιθου (*Katsikatsos, 1977*).

Μετά την ηφαιστειακή δραστηριότητα άρχισε να δρα μια παραμορφωτική εφελκυστική περίοδος, η οποία μπορεί να διακριθεί στην Ανω-Μειοκαινική και την Πλειο-Πλειστοκαινική φάση. Κατά την πρώτη περίοδο το σχήμα της νεοτεκτονικής λεκάνης Κύμης - Αλιβερίου τροποποιήθηκε σημαντικά από ένα ορθογώνιο σύστημα BA και BΔ εφελκυστικών κανονικών ρηγμάτων, που ήταν αποτέλεσμα μεγάλης κλίμακας μεταορογενετικών καταρρεύσεων τμημάτων του ηπειρωτικού φλοιού.

Αργότερα, κατά τη διάρκεια του Πλειόκαινου-Πλειστόκαινου, η λεκάνη αποτελούσε τμήμα της οπισθοτάφρου που είχε δημιουργηθεί πίσω από το Ελληνικό τόξο. Οι τεκτονικές δομές που χαρακτηρίζουν την περίοδο αυτή είναι, τα κανονικά εφελκυστικά ρήγματα ΔΒΔ διεύθυνσης και τα επαναδραστηριοποιημένα παλιότερα κανονικά ρήγματα, ABA διεύθυνσης. Σύμφωνα με τους *Kokkalas & Doutsos* (2001), αυτές οι δομές είναι αποτέλεσμα εφελκυστικών παραμορφωτικών δυνάμεων BBA διεύθυνσης, που προκλήθηκαν, πολύ πιθανό, από δύο πρώτης τάξης γεωτεκτονικές δομές: την οπισθοτάφρο του Ελληνικού τόξου και το ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας.

Στην Εικόνα 5-6 απεικονίζεται ο τεκτονικός χάρτης με τα κύρια ρήγματα και τις επωθήσεις της ευρύτερης περιοχής (*Xypolias et al., 2003*). Στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης παρατηρείται η επώθηση της Κύμης η οποία δημιουργεί κατακόρυφη ασυνέχεια της τάξης των 1300 m και σχετίζεται με κατακλασίτες πάχους 10 m, ενώ παρατηρούνται συνθετικά ρήγματα και στυλολιθικοί σχισμοί. Μετά το μέσο Μειόκαινο και την ηφαιστειακή δραστηριότητα του Οξύλιθου η οποία οδήγησε στη διείσδυση ηφαιστειακού υλικού μήκους 5 km και πλάτους 1 km, ξεκινάει μια περόδος επιμήκυνσης για τη λεκάνη σε δύο υποφάσεις: τέλη Μειοκαίνου, Πλειστόκαινο και έτσι το σχήμα της λεκάνης αλλάζει έντονα από ένα σύστημα κανονικών ρηγμάτων ΑΝΑ και ΝΝΔ κατεύθυνσης (Kokkalas & Doutsos, 2001).



Οι τελευταίες τεκτονικές κινήσεις που επηρέασαν την περιοχή ήταν την περίοδο σχηματισμού του Ευβοϊκού. Σε αυτές τις κινήσεις οφείλεται αφ' ενός η αποκοπή και καταβύθιση του ανατολικού τμήματος της Κύμης, αφ' ετέρου οι μεταπτώσεις και ολισθήσεις που παρατηρούνται στα τριτογενή στρώματα και στο λιγνίτη της περιοχής.

5.3 Σεισμικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή Κύμης κάτω από ένα σύγχρονο εφελκυστικό σεισμοτεκτονικό καθεστώς, ανήκει σε ζώνη γενικά χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας, που όπως είναι δυνατόν να διαπιστωθεί από τις ιστορικές αλλά και σύγχρονες καταγραφές των πλέον ισχυρών σεισμικών συμβάντων (Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003). Η περιοχή αυτή του

Αιγαίου έχει πληγεί από σχετικά μεγάλους σεισμούς, από το 1600 και μετά. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει από το χάρτη των επικέντρων της περιόδου 1901 έως 1989.

Στα πλαίσια της σεισμοτεκτονικής ανάλυσης, συγκεντρώθηκαν οι σεισμοί που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης. Για το σκοπό αυτό, διερευνήθηκαν τα βιβλιογραφικά δεδομένα (Comninakis & Papazachos, 1986; Papazacos & Papazacou, 1989; Παπαζάχος & Παπαζάχου, 2003; Bulletin of International Seismological Centre, 1964-1984) και καταγράφηκαν όλοι οι σεισμοί μεγέθους ≥4.5 της κλίμακας Richter, για την περίοδο 1901-2011 που εκδηλώθηκαν στην περιοχή με γεωγραφικό πλάτος 38°15′ - 39°00′ και γεωγραφικό μήκος 23°30′ - 24°30′. Στον Πίνακα 5-1 δίνονται η ημερομηνία και η ώρα εκδήλωσης, το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του επικέντρου, το εστιακό βάθος και το μέγεθος (σε Richter), των σεισμικών συμβάντων, που καταγράφηκαν.

Πιο αναλυτικά, για τους σεισμούς της περιόδου 1901-1985, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία κυρίως από τον κατάλογο που δημοσίευσαν το 1986 οι *Comninakis & Papazachos* και περιλαμβάνει σεισμούς στον Ελληνικό χώρο μεγέθους ≥4.5 της κλίμακας Richter. Λόγω της έλλειψης επαρκών μικροσεισμικών δεδομένων, το εστιακό βάθος για τους αβαθείς σεισμούς μέχρι τη δεκαετία 1960-1970 δεν προσδιορίζεται. Για τα σεισμικά συμβάντα της περιόδου 1964-2011, οι καταγραφές στηρίζονται σε καταγραφές του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

έτος	ΜΗΝΑΣ	C HMEPA	ΩΡΑ	ЛЕПТО	ΔΕΥΤ/ΤΟ	ΓΕΩΓΡΑΦ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦ. ΜΗΚΟΣ	ΒΑΘΟΣ ΜΕΓΕΘΟΣ
198	ΑΥΓ	0	0	0	0	38.4	23.7	6.6
1417	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38.4	23.8	6.4
1694	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38.4	23.7	6.2
1726		0	0	0	0	38.5	23.6	6.0
1785	ΦΕΒΡ	24	0	0	0	38.4	23.5	6.0
1874	OKT	18	4	0	100	38.5	23.8	6.0
1902	АПР	11	18	35	30	38.5	23.5	5.5
1907	ΦΕΒΡ	15	23	40	100	39.0	23.5	5.3
1915	ΑΥΓ	19	11	0	32	38.3	23.5	5.1
1915	OKT	8	0	30	37	38.3	23.5	5.0
1915	IOYN	26	4	45	34	38.4	23.7	5.0
1916	ΦΕΒΡ	10	21	5	59	38.4	23.5	4.9
1916	MIA	20	22	14	11	38.4	23.5	5.3
1919	OKT	13	13	4	49	38.4	23.9	5.1
1919	OKT	2	5	2	20	38.5	23.7	4.9
1926	ΑΥΓ	23	17	56	14	38.4	23.8	4.9
1931	ΑΥΓ	11	8	32	41	38.7	23.5	4.9
1931	ΣΕΠΤ	11	8	34	0	38.7	23.5	5.0
1931	ΣΕΠΤ	11	14	34	2	38.7	23.5	5.2
1931	ΣΕΠΤ	11	16	23	8	38.7	23.5	5.3
1931	ΣΕΠΤ	13	6	22	2	38.7	23.5	5.0
1931	ΣΕΠΤ	13	6	26	26	38.7	23.5	5.0

Πίνακας 5-1: Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥4.5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 23 30'έως 24 30'γεωγραφικό μήκος και 38 15'έως 39.00°γεωγραφικό πλάτος.

ΚΕΦ.5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

1000		-							
1932	ΙΟΥΛ	8	11	17	32	38.7	24.5		4.9
1938	ΙΟΥΛ	20	0	23	35	38.3	23.8		6.0
1938	ΙΟΥΛ	27	1	29	10	38.3	23.8		5.0
1950	ΦΕΒΡ	15	6	33	50	38.7	24.3		5.0
1950	IOYN	22	14	21	33	39.0	24.2		5.0
1950	IOYN	26	21	5	7	38.5	23.5		4.5
1950	IOYN	7	17	12	36	39.0	24.2		4.7
1952	ΔΕΚ	8	8	40	100	38.8	23.5		4.9
1953	NOE	8	14	45	48	38.7	23.6		5.2
1955	IAN	9	1	53	40	38.3	23.9		4.8
1950	IOYN	7	17	12	36	39.0	23.5		4 7
1052	AEK	8	8	40	100	38.8	23.5		4.7
1053	NOF	8	14	40	100	38.7	23.5		5.2
1955	IAN	0	14	52	40	28.2	23.0		
1955		20	10	12	<u> </u>	28.0	23.9		4.0
1957		20	19	15 52	34	38.9	25.5		4.0
1958		10	15	20	32	38.5	24.0		4.0
1961	ΦΕΒΡ	6	8	20	36	38.6	24.0		4.5
1961	ΣΕΠΤ	5	0	39	31	38.6	23.6		4.5
1961	ΣΕΠΤ	5	1	16	52	38.5	23.6		4,5
1962	IAN	4	0	46	0	38.5	23.8		4.5
1964	ФЕВР	24	23	21	13	39.0	23.7		4.7
1964	АПР	15	20	54	27	39.0	23.7		4.6
1964	ΣΕΠΤ	29	17	0	4	38.9	23.7		4.6
1965	MAPT	9	18	19	38	38.9	24.1		4.8
1965	MAPT	9	18	52	1	38.9	24.3		4.6
1965	MAPT	13	4	9	38	39.0	23.7		5.5
1967	ΦΕΒΡ	6	17	16	32	38.7	23.8		4.5
1967	AYΓ	28	3	39	6	38.3	24.1		4.5
1968	MAPT	10	7	32	100	39.0	24.4		4.6
1968	MAPT	1	6	27	22	38.6	23.8		4.6
1968	АПР	7	3	42	0	38.6	24.4		4.5
1968	MAI	28	21	31	41	38.8	23.6		4.5
1968	ΑΥΓ	7	8	22	8	39.0	24.4		4.5
1969	ΙΟΥΛ	17	23	1	16	38.9	23.6		4.5
1970	ΦΕΒΡ	10	2	31	11	39.0	24.2		4.8
1971	OKT	22	21	4	55	38.6	23.9		4.5
1971	NOE	8	0	4	47	38.6	23.8		4.6
1972	ΔΕΚ	23	12	55	48	38.7	23.5		4.5
1973	MIA	7	22	38	2	39.0	24.2		4.7
1974	ΙΟΥΛ	25	21	16	2	38.9	23.9		4.5
1974	ΑΥΓ	30	0	13	38	38.6	23.9		4.5
1974	ΑΥΓ	2	23	26	6	38.7	23.9		4.5
1979	MAPT	13	13	48	59	38.5	24.3		4.8
1981	ΣΕΠΤ	20	19	54	17	38.6	23.6		4.6
1983	MAI	18	16	48	28	38.6	24.0		4.6
1985	OKT	19	22	36	28	38.7	24.0		4.5
1986	ΑΥΓ	24	1	8	58	38.9	24.2		4.5
1987	ΑΥΓ	27	16	46	48	38.9	23.8		5.2
1990		27	20	35	43	38.6	23.0		49
1990	IAN	27	19	52	40	38.5	23.5		4 5
1000	ΙΟΥΛ	27	17	55	57	38.6	23.5		<u> </u>
1001	IAN	15	1/	5	35	38.6	23.7		4.5
1005	OKT	1.5	14	30	55	28.0	23.7		<u> </u>
1007	ΔEBD	<u>14</u> Л	14 2	/1	12	38.6	23.3		4.0
1007	NOF		10	-+1 	55	28 /	24.2		<u>+./</u>
2001	IOVA		20	6	30	30.4	23.0	22	4.0
2001		20	20	21	/0	28.0	24.3	25	<u>+./</u> / Q
2001	UNI	27	∠0	∠1	サブ	20.7	∠4.4	20	4.0

ΚΕΦ.5: ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

2005 AYΓ	4	5	47	39.6	38.99	23.33	23	4.6
2008 MAPT	9	23	1	52.4	38.92	24.17	35	5.0
2008 OKT	4	2	6	34.7	38.85	23.62	24	5.6
2008 OKT	4	2	9	45.1	38.78	23.50	21	4.7
2008 OKT 1	4	2	16	57.9	38.87	23.61	21	5.1
2008 OKT 1	5	19	29	24.0	38.86	23.60	23	4.6
2009 IAN	2	14	42	53.7	38.78	23.49	23	4.6
2010 MAPT	9	2	55	00.9	38.87	23.65	22	5.1

Αντίθετα, η απουσία καταγραφής σεισμικών δεδομένων με σεισμογράφους για το μέγιστο ποσοστό των σεισμών της περιόδου 1901-1964 και η χρήση μακροσεισμικών πληροφοριών για την καταγραφή τους, είχε σαν αποτέλεσμα τον αδρό προσδιορισμό των συντεταγμένων των επικέντρων και επομένως την φαινομενική συγκέντρωση αυτών, σε ορισμένες κορυφές του δικτύου. Όσον αφορά στοιχεία ιστορικών σεισμών για πριν το 1900, αυτά ελήφθησαν από τους *Papazachos & Papazachou* (1989).

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα αυτού, το μέγιστο μέγεθος σεισμού που παρατηρήθηκε στην περιοχή που εξετάστηκε είναι 6.6, ωστόσο η καταγραφή αυτή προκύπτει από μακροσκοπικές παρατηρήσεις σε ότι αφορά την ένταση, γεγονός που πιθανόν ενέχει το σφάλμα του παρατηρητή αλλά και της μετατροπής.

Εξάλλου, μελετώντας τους σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου του 5.5R, που δίνονται στον Πίνακα 5-2, επιβεβαιώνεται η παρουσία μικρού αριθμού (9) σεισμών πάνω από το μέγεθος αυτό, εκ των οποίων μόνο ένας (1) εμφανίζει μέγεθος πάνω από 6.5R. Δηλαδή, σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα αυτού το μέγιστο μέγεθος σεισμού που παρατηρήθηκε στην ευρύτερη περιοχή που εξετάστηκε είναι 6.6 βαθμοί της κλίμακας *Richter*.

Στην Εικόνα 5-7 παρουσιάζεται η κατανομή των επικέντρων των επιφανειακών σεισμών, δηλαδή των σεισμών εστιακού βάθους μικρότερο των 60 Km, οι οποίοι έχουν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο από 4 βαθμούς *Richter*, και οι οποίοι εκδηλώθηκαν από το 300 μ.Χ. έως το 2011 (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

<u>Ινστιτούτα</u>	ο, Εθνικό Α	στεροσκοπει	ίο Αθηνώ	v).				
έτος	ΜΗΝΑΣ	НМЕРА	ΩΡΑ	АЕПТО	ΔΕΥΤ/ΤΟ	ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ	ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
198	АПР	11	18	35	30	38,5	23,5	5,5
1417	ΑΥΓ	0	0	0	0	38,4	23,7	6,6
1694	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38,4	23,8	6,4
1726	ΙΟΥΛ	0	0	0	0	38,4	23,7	6,2
1785	-	0	0	0	0	38,5	23,6	6,0
1874	ΦΕΒΡ	24	0	0	0	38,4	23,5	6,0
1902	OKT	18	4	0	100	38,5	23,8	6,0
1938	ΙΟΥΛ	20	0	23	35	38,3	23,8	6,0
1965	MAPT	13	4	9	38	39,0	23,7	5,5
2008	OKT	4	2	6	34.7	38.85	23.62	5.6

Πίνακας 5-2: Κατάλογος σεισμών μεγέθους ≥5.5 της κλίμακας Richter για την περιοχή με συντεταγμένες 23 30' έως 24 30' γεωγραφικό μήκος και 38 95' έως 39.00° γεωγραφικό πλάτος (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).



Εικόνα 5-7: Κατανομή των επικέντρων των σεισμών εστιακού βάθους μικρότερο των 60 Km, οι οποίοι έχουν μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο από 4 βαθμούς Richter, και οι οποίοι εκδηλώθηκαν από το 300 μ.χ έως το 2011 (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

Η μεγίστη ένταση που καταγράφεται για την ευρύτερη περιοχή μελέτης (περιοχή Κύμης), από στοιχεία του Υπουργείου Χ.Ο.Π. (1983) είναι VI. Ακόμα, το αναμενόμενο μέγιστο πιθανό ετήσιο μέγεθος είναι 4.57R της κλίμακας *Richter* για την Κύμη, ενώ το ετήσιο μέγεθος με 90% πιθανότητα να μην γίνει υπέρβασή του σε ένα χρόνο είναι 5.69 βαθμοί της κλίμακας *Richter* αντίστοιχα. Το μέγιστο πιθανό μέγεθος στα επόμενα 100 χρόνια υπολογίζεται σε 6.61R για την ευρύτερη περιοχή Κύμης, ενώ το μέγεθος με 90% πιθανότητα να στο στα επόμενα 50 χρόνια είναι 6.96R.

Επίσης, σύμφωνα με τις ίδιες καταγραφές, η προτεινόμενη κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας Ι και η στάθμη επιτάχυνσης με 90% πιθανότητα να μην υπερβεί σε 25 χρόνια είναι 91.19. Τέλος, το μέγιστο μέγεθος με 90% πιθανότητα να μην γίνει υπέρβασή του σε 50 χρόνια είναι 6.96R. Στην ίδια κατηγορία (Ι), δηλαδή στις ασθενώς σεισμόπληκτες περιοχές, αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, κατατάσσει και ο Νέος Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (Ν.Ε.Α.Κ., 2000) την περιοχή του Δήμου Κύμης, με σεισμική επιτάχυνση εδάφους, μετά την πολύ πρόσφατη διαμόρφωση τριών





Εικόνα 5-8: Οι τρεις κατηγορίες (ΙΙΙ, ΙΙ, Ι) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο Ελληνικός χώρος, σύμφωνα με τις πρόσφατες τροποποιήσεις του ΕΑΚ 2000 το 2003

Σύμφωνα με το Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό (ΟΑΣΠ, 2000), οι εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί κατατάσσονται σε πέντε (5) κύριες κατηγορίες:

Κατηγορία εδαφών Α:	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με την προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση. Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70m. Στρώσεις πολύ σκληρής, προσυμπιεσμένης αργίλου, πάχους μικρότερου των 70m
Κατηγορία εδαφών Β:	Έντονα αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη, που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη υλικά. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχος μεγαλύτερου των 5m, ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλυτέρου των 70m.

Κατηγορία εδαφών Γ:	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικά πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5m, ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70m. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5m.
Κατηγορία εδαφών Δ:	Έδαφος με μαλακές αργίλους, υψηλού δείκτη πλασιμότητας (Ip > 50%), συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10m.
Κατηγορία εδαφών Χ:	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοϊλυώδη εδάφη, υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων). Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα (αν συντρέχουν ειδικοί όροι δόμησης στην άμεση γειτονία σεισμοτεκτονικών ρηγμάτων που θεωρούνται σεισμικώς ενεργά, η δόμηση επιτρέπεται μόνο ύστερα από ειδική σεισμική – γεωλογική – γεωτεχνική – στατική μελέτη. Στη μελέτη αυτή θα διερευνώνται οι επιπτώσεις της γειτνίασης του ρήγματος και θα λαμβάνονται μέτρα για την αποτελεσματική αντιμετώπισή τους. Η σεισμική δράση σχεδιασμού στην άμεση γειτονία τέτοιων ρηγμάτων θα λαμβάνεται αυξημένη τουλάχιστον κατά 25% σε σχέση με την αρχικά οριζόμενη). Απότομες κλιτείς, καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπυκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικίνδυνα μεγάλη κλίση.

Λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα αυτό, οι σχηματισμοί που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης, εντάσσονται στις διάφορες κατηγορίες ως ακολούθως:

Στην κατηγορία Α κατατάσσονται οι υγιείς φάσεις των Νεογενών και του φλύσχη, των σχιστολίθων, καθώς και τα ανθρακικά (ασβεστόλιθοι - δολομίτες) και περιδοτιτικά πετρώματα.

Στην κατηγορία Β κατατάσσονται οι αποσαθρωμένες και εδαφικές φάσεις των Νεογενών και του φλύσχη, οι φυλλίτες, οι σχιστόλιθοι και οι σχηματισμοί κροκαλοπαγών και κορημάτων - ριπιδίων.

Στην κατηγορία Γ κατατάσσονται οι χαλαρές έως ημισυνεκτικές παλαιές τεταρτογενείς αποθέσεις.

Τέλος, στη κατηγορία X κατατάσσονται: οι πολύ χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις κοντά στο βαθμό κορεσμού, εδάφη και αποσαθρώματα που βρίσκονται κοντά σε μεγάλες τεκτονικές γραμμές, οι χαλαροί σχηματισμοί των κορημάτων και οι μανδύες αποσάθρωσης με ικανοποιητικό πάχος και γενικά οι χαλαρές αλλουβιακές αποθέσεις.

Με βάση τα παραπάνω δεν προκύπτουν συνθήκες ιδιαίτερου αντισεισμικού σχεδιασμού για τα διάφορα τεχνικά έργα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:

ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ -ΦΥΣΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση

Γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολογικών ενοτήτων



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ – ΦΥΣΙΚΗ</u> <u>ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ</u> <u>ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ</u>

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διεργασίες που αφορούν στην γεωλογική τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής και η οποία αποτελεί προϊόν του Ερευνητικού Προγράμματος «Κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης» (Κουμαντάκης et al., 2007).

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση ακολουθεί τις γενικές αρχές που θεσπίστηκαν το 1976 από την Επιτροπή τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων της *I.A.E.G.* και εξέδωσε σε σχετικό οδηγό η *UNESCO* (1976). Σύμφωνα με τον οδηγό αυτό, οι γενικές αρχές θεώρησης των τεχνικογεωλογικών χαρτών είναι τρεις (*Dearman - Matula, 1976*):

- Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση, πρέπει να παρουσιάζει τις πληροφορίες που περιέχει με τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνονται εύκολα κατανοητές από χρήστες διαφορετικών ειδικοτήτων,
- Οι πληροφορίες που περιέχει πρέπει να είναι αυτές ακριβώς που χρειάζονται για τον ακριβή προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων του περιβάλλοντος αναφοράς του χάρτη.
- Ο τεχνικογεωλογικός χάρτης θα πρέπει να διευκολύνει την πρόβλεψη των μεταβολών στο τεχνικογεωλογικό περιβάλλον, που είναι δυνατόν να συμβούν από την επίδραση οποιασδήποτε ανθρωπογενούς δραστηριότητας και παρέμβασης.

Ένας σημαντικός παράγοντας για την προπαρασκευή των τεχνικογεωλογικών χαρτών είναι η σωστή ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών σε τεχνικογεωλογικές ενότητες σύμφωνα με την κλίμακα (Ρόζος, 2007β). Για τον λόγο αυτό, η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε σε τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1:25.000, περιλάμβανε τον διαχωρισμό των σχηματισμών σε λιθολογικές ενότητες. Η κάθε ενότητα αποτελείται από ένα σύνολο λιθολογικών τύπων, οι οποίοι δημιουργήθηκαν σε ίδιες γεωτεκτονικές και παλαιογεωγραφικές συνθήκες, η διευθέτηση των οποίων είναι ομοιόμορφη και διακριτή στο χώρο. Για κάθε ενότητα δίνονται τα εύρη των σημαντικότερων φυσικών και μηχανικών παραμέτρων, καθώς και η γενικότερη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά αυτών. Ιδιαίτερα για τις ενότητες των μαργών, παρατίθενται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες όπως αυτές προέκυψαν από την εργαστηριακή έρευνα που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, αναλυτικά στοιχεία της οποίας περιγράφονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί (Κεφ. 7).

6.1 Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση – Γεωτεχνική θεώρηση των επί μέρους λιθολογικών ενοτήτων

Η τεχνικογεωλογική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών, καταβλήθηκε προσπάθεια να ανταποκρίνεται στη διεθνή πρακτική θεώρηση, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί μέχρι σήμερα, προσαρμοσμένη στις ιδιαιτερότητες της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των γεωμορφολογικών χαρακτήρων της περιοχής μελέτης και φυσικά των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή.

Η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση έγινε με σκοπό να παράσχει πληροφορίες που καλύπτουν πολλά αντικείμενα τεχνικογεωλογικού χαρακτήρα προς την κατεύθυνση των αναγκών σχεδιασμού τεχνικών έργων. Αναφορικά με το περιεχόμενο, περιγράφονται όλες οι βασικές πτυχές του τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος, όπως αυτές απορρέουν από τη γεωδυναμική–γεωμορφολογική εξέλιξη του χώρου και τους φυσικομηχανικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή (Εικόνα 6-1).

Οι λιθολογικές ενότητες που περιλαμβάνονται στο χάρτη, είναι οι ακόλουθες:

Αλλουβιακές αποθέσεις
Ποτάμιες αναβαθμίδες
Σύγχρονοι κώνοι κορημάτων
Σύγχρονα πλευρικά κορήματα
Διλουβιακές αποθέσεις
Ανώτεροι ορίζοντες Τριτογενών ιζημάτων
Κιτρινόφαιες μάργες
Κυανότεφρες μάργες
Ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών
Κροκαλοπαγές βάσης
Δακίτες – Ανδεσίτες
Τόφοι βιοτιτικού Δακίτη
Φλυσχοειδείς σχηματισμοί
Περιδοτίτες-Λατερίτες
Ασβεστόλιθοι Μεσοζωικού και ανθρακικά Περμίου
Φυλλίτες – Σχισόλιθοι
Γρανίτες Λιθανθρακοφόρου



ΥΠΟΜΝΗΜΑ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

Ενότητα αλλουβιακών αποθέσεων και αποθέσεων κοίτης:

Πρόκειται για αποθέσεις κυρίως χαλαρές, ασύνδετες αδρομερείς, αποτελούμενες από κροκάλες, χάλικες και ψηφίδες ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης, άμμους και λεπτομερή υλικά σε μικρότερο ποσοστό. Εντοπίζονται κατά μήκος της κοίτης ποταμών και χειμάρρων της περιοχής. Πρόκειται για σχηματισμό μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας, με μικρό εύρος ανάπτυξης και σαφώς μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Το πάχος τους κυμαίνεται ανάλογα με την τάξη του υδρογραφικού άξονα, αλλά γενικά δεν υπερβαίνει τα λίγα μέτρα.

γ_{b} =1.8-2.2gr/cm ³	PL=8-30%	$\phi_t = 15^0 - 35^0$
LL=20-46%	ct=0.2-0.5Kg/cm ²	qu=0.5-3.5 Kg/cm ²

Ενότητα σύγχρονων κώνων κορημάτων και πλευρικά κορήματα:

Αποτελούνται κυρίως από γωνιώδη θραύσματα και τεμάχια ποικίλων διαστάσεων, ανθρακικής συνήθως προέλευσης. Το μέγεθος των αδρομερών υλικών, κυμαίνεται από αυτό της ψηφίδας και φθάνει μέγρι λατύπες (15cm συνήθως). Όπου επικρατούν τα λεπτομερή υλικά (αργιλοϊλυώδους ή και αργιλοαμμώδους σύστασης). παρουσιάζουν χαμηλή υδροπερατότητα, ενώ η κίνηση του

δημιουργία υδροφόρων σημαντικής δυναμικότητας. Πρόκειται γενικά για χαλαρούς έως μικρής τοπικά συνεκτικότητας σχηματισμούς, με μικρών τιμών γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.

γ_b=2.0-2.4gr/cm3 PL=13-25% φt=25°-50°

LL=17-40% c_t=0.0-1.0Kg/cm² qu=0.3-2.5 Kg/cm²

Ενότητα αναβαθμίδων:

Αποτελούνται από ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες, μέτρια έως ισχυρά συγκολλημένες, με ασβεστομαργαϊκό ασβεστοψαμμιτικό συνδετικό υλικό. Χαρακτηρίζονται από σχετικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, εξαρτώμενη συνήθως από το βαθμό συγκόλλησης.

 $\begin{array}{ccc} \gamma_b{=}2.1{\text{-}} & c_t{=}2.0{\text{-}} \\ 2.8gr/cm^3 & 30Kg/cm^2 \end{array} \varphi_t{=}35^0{\text{-}}65^0 \end{array}$ qu=2.0-150 Kg/cm2

Ενότητα διλουβιακών αποθέσεων:

..... Οι σχηματισμοί αυτοί επίκεινται ασύμφωνα επί των παλαιότερων πετρολογικών σχηματισμών και είναι ποτάμιας κυρίως προέλευσης. Συνίστανται κυρίως από ερυθρές αργίλους, γαλαρούς ψαιμίτες και λατυποκροκαλοπαγή. Εμφανίζονται συνήθως με οριζόντια ανάπτυξη ή σπανιότερα με την κλίση της μορφολογίας του υποβάθρου και αποτελούν μη συνεκτικούς σχηματισμούς, με μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.

γ_b=1.8- c_t=0.2φ_t=15⁰-35⁰ qu=0.5-3.5 Kg/cm² 2.2gr/cm³ 0.5Kg/cm²

Πρόκειται για τους ανώτερους ορίζοντες των νεογενών ιζημάτων. Αποτελούνται από εναλλασσόμενες διαστρώσεις κροκαλοπαγών και αργιλούχων μαργών. Οι κροκάλες, χάλικες και ψηφίδες είναι ψαμμιτικής και ηφαιστειακής κυρίως προέλευσης. Το μέγεθος των χαλίκων ποικίλει σημαντικά από 2-4cm, ενώ απαντούν και ψηφίδες. Πρόκειται για μέτριας συνεκτικότητας σχηματισμό, η οποία εξασθενεί σημαντικά με τη δράση του νερού. Η υδροφορία που αναπτύσσεται στη μάζα τους εκφορτίζεται στην επαφή αυτών με τα υποκείμενα μαργαϊκά στρώματα, με τη μορφή μικροπηγών

v = 2.0- c = 2.0φ_t=30⁰-65⁰ qu=2.0-600 Kg/cm² 2.8gr/cm³ 70Kg/cm²

Ενότητα κιτρινότεφρων-τεφρών μαργών:

Οι ενδοιάμεσοι ορίζοντες των νεογενών ιζημάτων ξεκινούν στρωματογραφικά από τις ανώτερες κιτρινότεφρες έως τεφρές μάργες, οι οποίες είναι κυρίως ασβεστιτικές, με διαστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων και με παρεμβολές λεπτών διαστρώσεων τεφρής αργίλου, ψαμμιτών και ψηφιδοκροκαλοπαγών. Το πάχος τους τοπικά είναι σημαντικό με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρτεσιανών υδροφόρων οριζόντων. Στους ανώτερους ορίζοντες οι κιτρινότεφρες μάργες είναι ελαφρά πτυχωμένες και σχιστοποιημένες, ενώ βαθύτερα στις τεφρές παρατηρείται οχιστοποιημένες, έναι ραστόμα στη με αποτέλεσμα τη Κυστητα τοφφων. έντονη πτύχωση και διάρρηξη με αποτέλεσμα τη Εμφανίζονται κοντά στο νοτιοανατολικό άκρο του απολιθωματοφόρες μάργες, εξελίσσονται προς τα κάτω σε σκληρές ασβεστιτικές μάργες με φυτικά λείψανα. Πρόκειται γενικά για ημισυνεκτικούς σχηματισμούς. Σε ξηρή κατάσταση έχουν καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, η οποία όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς αυτή υποβαθμίζεται με τη διαβροχή και κυρίως με τον κορεσμό.

γ_b =1.8-2.8gr/cm ³	PL=14-27%	φ _s =19 ⁰ -32 ⁰	
LL=28-51%	c _s =0.03-0.45Kg/cm ²	qu=0.5-17.6 Kg/cm ²	
Ευμπαγείς μάργες:	σc=50-230Kg/cm ²	Is ₅₀ =1.02-13.77Kg/cm ²	

νερού στη μάζα τους είναι περιορισμένη και όχι ικανή για ΣΥ Ενότητα κυανότεφρων μαργών και ενδιαστρώσεις

Πρόκειται για κυανότεφρες μάργες που εμφανίζονται υποκείμενες των κιτρινότεφρων μαργών KOL διαφοροποιούνται από αυτές πέρα από το χρώμα και από την πλαστική συμπεριφορά που τις χαρακτηρίζει. Όπου εντοπίζονται στην επιφάνεια, παρουσιάζουν ζώνη αποσάθρωσης με υποβαθμισμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Στο σχηματισμό συμμετέχουν ψαμμούχοι ή και κροκαλοπαγείς ορίζοντες φακοειδούς μορφής σχετικά περιορισμένης εξάπλωσης, που παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στη διάβρωση, με αποτέλεσμα την παρουσία προβόλων μέσα στη γενική μαργαϊκή μάζα. Στους ανώτερους ορίζοντες της Ενότητας αυτής, η συνήθως λευκότεφρη, συμπαγής μάργα, με μεγάλο πλήθος απολιθωμάτων και ενίοτε ανθρακομιγής, καλείται «τεφεκές». Στους αργιλομαργαϊκούς ή και μαργαϊκούς ορίζοντες της ενότητας αυτής εντοπίζονται τα κοιτάσματα λιγνίτη που στο παρελθόν έτυχαν εντατικής εκμετάλλευσης. Πρόκειται για σχηματισμό πρακτικά στεγανό στο σύνολό του, στον οποίο όμως αναμένεται και η παρουσία μεμονωμένων επικρεμάμενων ή και επαλλήλων φακοειδών υδροφόρων οριζόντων

γ_b=1.8-2.8gr/cm³ PL=9-22% LL=26-40% c,=0.11-0.82Kg/cm² qu=2.0-24.0 Kg/cm² Συμπαγείς μάργες: σc=160-680Kg/cm² Is₅₀=10.2-34.67Kg/cm²

. ο Ενότητα κροκαλοπαγών βάσης:

Πρόκειται γενικά για σχηματισμό που χαρακτηρίζεται από μέτρια συνεκτικότητα, η οποία με τη δράση των αποσαθρωτικών-διαβρωτικών παραγόντων, μειώνεται σημαντικά. Η έντονη διαφοροποίηση που παρατηρείται στην κοκκομετρία των αδρομερών στοιχείων αυξάνει την υδροπερατότητα, ωστόσο η περιορισμένη επιφανειακή εξάπλωση αλλά και το αργιλικό-αργιλοψαμμιτικό συνδετικό υλικό, περιορίζουν την επιφάνεια τροφοδοσίας μέσω των απευθείας κατεισδύσεων του νερού των βροχοπτώσεων. Σε υγιή κατάσταση έχουν καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, ωστόσο οι ιδιάζουσες συνθήκες στην ετερογενή επαφή με τον υποκείμενο φλύσχη αλλά και με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, ευνοούν την εκδήλωση αστοχιών.

γ _b =2.0- 2.7gr/cm ³	c _t =2.5- 70Kg/cm ²	qu=3.5-550 Kg/cm ²	
---	--	-------------------------------	--

Ενότητα δακιτών - ανδεσίτων:

Εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Δήμου Κύμης και παρουσιάζουν μέτριο έως ισχυρό κερματισμό και χαμηλή αποσάθρωση. Αποτελούν συνεκτικούς βραχώδεις σχηματισμούς με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και υψηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα, ενώ παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα.

γ _b =2.5-	c=250-	φ=30 ⁰ -48 ⁰	qu=170-200
3.0gr/cm ³	600Kg/cm ²	1 Sec. 220	Kg/cm ²

νομού. Παρουσιάζονται με αυξημένη συνεκτικότητα, πολύ χαμηλή υδροπερατότητα και γενικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά. Εντούτοις, η εύκολη επίδραση των διεργασιών εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης, διαμορφώνουν σε ορισμένες θέσεις μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους.

v.=1.8- c=15φ=25°-45° qu=200-600 Kg/cm² 2.6gr/cm³ 200Kg/cm²

Ενότητα φλύσχη: Αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών ασβεστολίθων. Λόγω της ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης, αλλά και της κυκλοθεματικήςαπόθεσης σχηματισμών με ποικίλη γεωμηχανική συμπεριφορά, κυμαινόμενους φυσικομηχανικούς δείκτες και διαφορετικό συντελεστή υδροπερατότητας, ευνοούνται συχνά οι αστοχίες πρανών ιδιαίτερα σε θέσεις με αυξημένες βροχοπτώσεις. Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου επικρατούν οι αργιλικές φάσεις με ισχυρή πτύχωση και κερματισμό, ευνοείται η δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους.

y_b=1.7- c_s=10qu=100-1200 φ_s=25°-45° 2.8gr/cm³ 200Kg/cm² Kg/cm²

Ενότητα περιδοτιτών:

Πρόκειται για περιδοτίτες, δουνίτες και κατά θέσεις σερπεντιωμένους περιδοτίτες. Βραχώδεις σχηματισμοί, με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και αυζημένη δευτερογενή περατότητα στις διαρρηγμένες και αποσαθρωμένες ζώνες, η οποία μειώνεται στις θέσεις που το πέτρωμα είναι υγειές και με χαμηλό κερματισμό. Στις θέσεις αυξημένου βαθμού εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης, καλύπτονται επιφανειακά από συνήθως παχύ μανδύα αποσάθρωσης

Λατεριτικά πετρώματα παρουσιάζονται με σχετικά περιορισμένες εμφανίσεις στο δυτικό τμήμα του χάρτη. Αποτελούν βραχώδεις σχηματισμούς με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά και χαμηλή υδροπερατότητα, που αυξάνει πάντως στη ζώνη αποσάθρωσης και κερματισμού, που τοπικά έχει αυξημένο πάχος.

4gr/cm ³	c=250- 550Kg/cm ²	φ=40 ⁰ -50 ⁰	qu=200-1800 Kg/cm ²
$\gamma_b = Y$	γρό φαινόμενο	βάρος	
LL =	Όριο υδαρότητ	ας	
PL =	Όριο πλαστικότ	τας	
qu = d	Αντοχή σε ανεμ	πόδιστη θλίψη	
$c = \Sigma t$	υνοχή		
$\varphi = \Gamma$	ωνία τριβής		
E = N	Ιέτρο ελαστικό	τητας	

Αντοχή σε μοναξονική θλίψη ακέραιου πετρώματος Is50= Αντοχή σε σημειακή φόρτιση

Ενότητα ανθρακικών σχηματισμών: Οι ανθρακικοί σχηματισμοί του Μεσοζωικού και του Παλαιοζωικού, παρουσιάζουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά (υψηλή αντοχή, φέρουσα ικανότητα),μέτριο έως ισχυρό τοπικά κερματισμό και αυξημένο συντελεστή υδροπερατότητας. Τοπικά ο αυξημένος κερματισμός και η δράση των ατμοσφαιρικών τοιγείων (γιονοπτώσεις κλπ) διαμορφώνουν εκτεταμένες ζώνες πλευρικών κορημάτων με αυξημένο πάχος, που εγκυμονούν κινδύνους αστοχιών ιδιαίτερα σε θέσεις διαταραχής των πρανών από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Όπου συναντώνται ζώνες τεκτονισμού με μυλονιτιωμένο υλικό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς απομειώνονται τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού. Ιδιαίτερο, επίσης, ρόλο στην ευστάθεια των σχηματισμών διαδραματίζει ο κερματισμός της βραχομάζας, καθώς και η καρστικοποίησηκαι η πλήρωση των εγκοίλων με αργιλικόυλικό. Αστοχίες με τη μορφή καταπτώσεων ποικίλων διαστάσεων βράχων σημειώνονται σε ζώνες έντονης μορφολογίας, δημιουργώντας, σοβαρά προβλήματα στη λειτουργικότητα του οδικού

δικτύου $\begin{array}{cccc} \gamma_b = 2.5 & c = 100 \\ 2.8 gr/cm^3 & 300 Kg/cm^2 \end{array} \varphi = 27^0 \cdot 45^0 & \begin{array}{cccc} qu = 300 \cdot 1800 \\ Kg/cm^2 \end{array}$

Ενότητα σχιστολίθων: Πρόκειται για φυλλίτες και σχιστόλιθους του Παλαιοζωικού, που παρουσιάζουν συνήθως έντονο κερματισμό και αυζημένη αποσάθρωση στους επιφανειακούς ορίζοντες στα επιφανειακά στρώματα, όπου η χαλάρωση λόγω της πυκνής διάρρηξης, της λεπτοστρωματώδους δομής και της τεκτονικής καταπόνησης, αλλά και της δράσης του νερού, διαμορφώνουν παχύ μανδύα αποσάθρωσης. Τοπικά το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης εισχωρεί στις ανοικτές ασυνέχειες σχιστότητας και κερματισμού, μετατρέποντάς τες σε επιφάνειες ολίσθησης. Ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα αστοχιών δημιουργούνται στα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης, κυρίως σε περιπτώσεις υψηλού κορεσμού.

γ_b=1.8- c=10-

Ενότητα γρανιτών:

Εμφανίζονται στο Δυτικό τμήμα του γάρτη, με μορφή γρανιτικών σωμάτων τη Λιθανθρακοφόρου ηλικίας. Πρόκειται για συμπαγείς βραχώδεις σχηματισμούς, με μέτριο έως ισχυρό κερματισμό και συνήθως μικρού βάθους επιφανειακή αποσάθρωση. Όπου αυτή γίνεται έντονη, μειώνει σημαντικά τις μηχανικές αντοχές του πετρώματος, το οποίο υφίσταται χαλάρωση και τελικό μετασχηματισμό σε γρανιτική άμμο, με υποβαθμισμένη γεωμηχανική συμπεριφορά.

 $\begin{array}{c|c} \gamma_b = 2.8 - & 250 - \\ \hline 3.0 gr/cm^3 & 550 Kg/cm^2 \end{array} \varphi = 35^0 - 50^0 & qu = 200 - \\ 2000 Kg/cm^2 & 2000 Kg/cm^2 \end{array}$

φ.=19⁰-32⁰ $\begin{array}{cccc} v_b{=}1.7{-} & c{=}250{-} \\ 3.4 gr/cm^3 & 550 Kg/cm^2 \\ \end{array} \varphi{=}40^{0}{-}50^{0} & \begin{array}{c} qu{=}200{-}1800 \\ Kg/cm^2 \\ \end{array}$ Ενότητα λατεριτών:

V_b=1.8- C=10-2.4gr/cm³ 40Kg/cm² φ=28⁰-32⁰ qu=70-1200Kg/cm² Αποσαθρωμένοι c=0.5-σχιστόλιθοι: 6.0Kg/cm² φ=12⁰-40⁰ E=800-1000Kg/cm²
Αναλυτικότερα, η φυσική κατάσταση και η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των ενοτήτων αυτών, είναι οι εξής:

<u>ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</u>



Εικόνα 6-2: Αποθέσεις κοίτης στον Μαυροπόταμο.

(α) Ενότητα αλλουβιακών αποθέσεων και αποθέσεων κοίτης

Εντοπίζονται κατά μήκος της κοίτης ποταμών και χειμάρρων της περιοχής. Πρόκειται για αποθέσεις κυρίως χαλαρές, ασύνδετες αδρομερείς, αποτελούμενες από κροκάλες, χάλικες και ψηφίδες ασβεστολιθικής κυρίως προέλευσης, άμμους και λεπτομερή υλικά σε μικρότερο ποσοστό (Εικόνα 6-2). Είναι μέτριας έως υψηλής υδροπερατότητας σχηματισμοί, με μικρό

εύρος ανάπτυξης και μικρών τιμών γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Το πάχος τους κυμαίνεται ανάλογα με την τάξη του υδρογραφικού άξονα, αλλά γενικά δεν υπερβαίνει τα λίγα μέτρα στην περιοχή που εξετάζεται.



Εικόνα 6-3: Εκτεταμένοι κώνοι κορημάτων στο δρόμο για Μετόχι.

(<u>β) Ενότητα σύγχρονων κώνων κορημάτων</u> <u>και πλευρικά κορήματα</u>

Αποτελούν σχηματισμούς περιορισμένης έκτασης, οι οποίοι εμφανίζονται στο Δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6-3). Συνίστανται κυρίως από γωνιώδη θραύσματα και τεμάχια ποικίλων διαστάσεων και ανθρακικής συνήθως προέλευσης. Το μέγεθος των αδρομερών υλικών, κυμαίνεται από αυτό της ψηφίδας και φθάνει μέχρι

λατύπες (15cm συνήθως). Όπου επικρατούν τα λεπτομερή υλικά (αργιλοϊλυώδους ή και αργιλοαμμώδους σύστασης), παρουσιάζουν χαμηλή υδροπερατότητα, ενώ η κίνηση του νερού στη μάζα τους είναι περιορισμένη και όχι ικανή για δημιουργία υδροφόρων σημαντικής δυναμικότητας. Πρόκειται γενικά για χαλαρούς έως μικρής τοπικά συνεκτικότητας σχηματισμούς, με μικρών τιμών γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Στις περιπτώσεις που καλύπτουν ασβεστολιθικά πετρώματα χωρίς φυτοκάλυψη, παρατηρούνται ροές των χαλαρών υλικών προς τα κατάντη, υπό την επίδραση της βαρύτητας, των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων.

<u>(γ) Ενότητα αναβαθμίδων</u>

Πρόκειται για ποτάμιες αναβαθμίδες που εμφανίζονται με περιορισμένη επιφανειακή εξάπλωση στο νοτιοανατολικό τμήμα του χάρτη και αποτελούνται από ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες, μέτρια έως ισχυρά συγκολλημένες, με ασβεστομαργαϊκό ή ασβεστοψαμμιτικό συνδετικό υλικό (Εικόνα 6-4). Χαρακτηρίζονται από σχετικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, εξαρτώμενη συνήθως από το βαθμό συγκόλλησης.

(δ) Ενότητα διλουβιακών αποθέσεων

Εμφανίζονται σε περιορισμένη έκταση στην περιοχή έρευνας, επίκεινται ασύμφωνα επί των παλαιότερων σχηματισμών και είναι ποτάμιας κυρίως προέλευσης. Συνίστανται κυρίως από ερυθρές αργίλους, χαλαρούς ψαμμίτες και λατυποκροκαλοπαγή (Εικόνα 6-5). Εμφανίζονται συνήθως με οριζόντια ανάπτυξη η σπανιότερα με την κλίση της μορφολογίας του υποβάθρου και αποτελούν μη συνεκτικούς σχηματισμούς, με μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 6-4: Υλικά ποτάμιων αναβαθμίδων.

Εικόνα 6-5: Διλουβιακοί σχηματισμοί.

Στο σύνολό τους οι Τεταρτογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν μικρή επιφανειακή εξάπλωση στην περιοχή έρευνας, εμφανιζόμενες κυρίως με τη μορφή αποθέσεων κοίτης ρεμάτων, ποτάμιων αναβαθμίδων και πρόσφατων πλευρικών κορημάτων. Αποτελούν σχηματισμούς χωρίς ιδιαίτερη συνοχή, με επικράτηση των αδρομερών υλικών, ενώ στο σύνολό τους χαρακτηρίζονται ως σχηματισμοί μέτριας περατότητας. Οι αποθέσεις κοίτης, λόγω της αυξημένης υδροπερατότητάς τους, συμβάλλουν στην αύξηση του ποσοστού διήθησης από τις επιφανειακές απορροές των ρεμάτων και κατά συνέπεια στην αύξηση της τροφοδοσίας των υποκείμενων σχηματισμών. Σε θέσεις που εμφανίζουν αυξημένο πάχος και ο υποκείμενος σχηματισμός είναι υδατοστεγανός (λεπτομερή νεογενή ιζήματα ή φλύσχης), διαμορφώνεται στη μάζα τους φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας.

<u>ΝΕΟΓΕΝΕΙΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ</u>

Τα Νεογενή ιζήματα διακρίνονται στις ακόλουθες ενότητες:



Εικόνα 6-6: Οι μικτές (ανώτερες) φάσεις των νεογενών στο νοτιοανατολικό τμήμα του νομού.

(ε) Ενότητα κροκαλοπαγών, ψαμμιτών και αργίλων

Πρόκειται για τους ανώτερους ορίζοντες των νεογενών ιζημάτων, αποτελούνται από εναλλασσόμενες διαστρώσεις κροκαλοπαγών και αργιλούχων μαργών και καταλαμβάνουν το νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης (Εικόνα 6-6). Οι κροκάλες, χάλικες και ψηφίδες είναι ψαμμιτικής και ηφαιστειακής κυρίως προέλευσης. Το μέγεθος των χαλίκων ποικίλει σημαντικά από 2-4cm, ενώ απαντούν και ψηφίδες. Πρόκειται για μέτριας συνεκτικότητας

σχηματισμό, η οποία εξασθενεί σημαντικά με τη δράση του νερού. Η υδροφορία που αναπτύσσεται στη μάζα τους εκφορτίζεται στην επαφή αυτών με τα υποκείμενα μαργαϊκά στρώματα, με τη μορφή μικροπηγών.



Εικόνα 6-7: Ασβεστολιθικές μάργες των ανώτερων μαργαϊκών οριζόντων, που στους ανώτερους ορίζοντες μεταπίπτουν σε μαργαϊκούς ασβεστολίθους.

<u>(ζ) Ενότητα κιτρινότεφρων – τεφρών μαργών</u>

ενδοιάμεσοι ορίζοντες Οı των νεογενών ιζημάτων ξεκινούν στρωματογραφικά από τις ανώτερες κιτρινότεφρες έως τεφρές μάργες, οι οποίες είναι κυρίως ασβεστιτικές, με διαστρώσεις μαργαϊκών ασβεστολίθων (Εικόνα 6-7) και με παρεμβολές λεπτών διαστρώσεων τεφρής αργίλου, ψαμμιτών και ψηφιδοκροκαλοπαγών. Το πάχος τους τοπικά είναι σημαντικό με αποτέλεσμα δημιουργία αρτεσιανών τη υδροφόρων οριζόντων. Είναι απολιθωματοφόρες με λίγα οστρακώδη κατά θέσεις, ενώ στις διαστρώσεις ψηδιδοκροκαλοπαγών των παρατηρούνται θραύσματα ή και ολόκληρα κελύφη γαστερόποδων. Στους ανώτερους

ορίζοντες οι κιτρινότεφρες μάργες είναι ελαφρά πτυχωμένες και σχιστοποιημένες, ενώ βαθύτερα στις τεφρές παρατηρείται έντονη πτύχωση και διάρρηξη με αποτέλεσμα τη σχιστοποιημένη ζώνη διατάραξης (Εικόνα 6-8, 6-9). Οι τεφρές συμπαγείς απολιθωματοφόρες μάργες, εξελίσσονται προς τα κάτω σε σκληρές ασβεστιτικές μάργες με φυτικά λείψανα.

Η Ενότητα αυτή των μαργών περιλαμβάνει γενικά ημισυνεκτικούς σχηματισμούς. Σε ξηρή κατάσταση έχουν καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, η οποία όμως απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή καθώς αυτή υποβαθμίζεται με τη διαβροχή και κυρίως με τον κορεσμό. Όπου επικρατούν οι τεφρές αργιλικές μάργες, είναι γενικά ευαποσάθρωτος σχηματισμός, χαλαρός, χαρακτηρίζεται από μέση πλαστικότητα κατακερματισμένος λόγω τεκτονικής δραστηριότητας. Η τάση του σχηματισμού να δίνει μεγάλου πάχους μανδύα αποσάθρωσης καθώς και η παρουσία της αργίλου, τον καθιστούν επιρρεπή σε κατολισθητικά φαινόμενα. Έτσι, λόγω της αναμενόμενης ανισότροπης γεωμηχανικής συμπεριφοράς και σε συνδυασμό με τις γεωμορφολογικές, κλιματολογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες, καθώς και με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διανοίξεις δρόμων, πυρκαγιές κλπ), παρουσιάζουν αστοχίες πρανών οι οποίες, σε πολλές περιπτώσεις, είναι εκτεταμένες.



Εικόνα 6-8: Σχιστοποιημένες κιτρινότεφρες Εικόνα μάργες των ανώτερων μαργαϊκών οριζόντων. αντιπρο

Εικόνα 6-9: Τεφρές αργιλομάργες αντιπροσωπευτικές των ανώτερων μαργαϊκών οριζόντων.

(η) Ενότητα κυανότεφρων μαργών και ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών

Πρόκειται για κυανότεφρες μάργες που εμφανίζονται υποκείμενες των κιτρινότεφρων μαργών και διαφοροποιούνται από αυτές πέρα από το χρώμα και από την πλαστική συμπεριφορά που τις χαρακτηρίζει (Εικόνα 6-10). Όπου εντοπίζονται στην επιφάνεια, παρουσιάζουν ζώνη αποσάθρωσης με υποβαθμισμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά (Εικόνα 6-11). Επιπρόσθετα, στο σχηματισμό συμμετέχουν και ψαμμούχοι ή και κροκαλοπαγείς ορίζοντες φακοειδούς μορφής και σχετικά περιορισμένης εξάπλωσης, που παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά στη διάβρωση, με αποτέλεσμα την παρουσία προβόλων μέσα στη γενική μαργαϊκή μάζα. Στους ανώτερους ορίζοντες της Ενότητας αυτής, η συνήθως λευκότεφρη, συμπαγής μάργα, με μεγάλο πλήθος απολιθωμάτων και ενίοτε ανθρακομιγής, καλείται «τεφεκές».



Εικόνα 6-10: Επιφανειακή εμφάνιση των Εικόνα 6-11: Αποσαθρωμένες μάζες των κυανότεφρων μαργών σε πρανές του δρόμου κυανότεφρων μαργών. Πλατάνας – Παραλίας Κύμης.

Στους αργιλομαργαϊκούς ή και μαργαϊκούς ορίζοντες της ενότητας αυτής εντοπίζονται τα κοιτάσματα λιγνίτη που στο παρελθόν έτυχαν εντατικής εκμετάλλευσης. Πρόκειται για σχηματισμό πρακτικά στεγανό στο σύνολό του, στον οποίο όμως αναμένεται και η παρουσία μεμονωμένων επικρεμάμενων ή και επαλλήλων φακοειδών υδροφόρων οριζόντων (αδρομερείς φάσεις). Η διαφορά στην υδροπερατότητα με τις υπερκείμενες κιτρινότεφρες μάργες, ιδιαίτερα όπου αυτές εμφανίζονται σχιστοποιημένες και κατακερματισμένες, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα εκδήλωσης αστοχιών πρανών κυρίως σε θέσεις που αποκαλύπτονται επιφανειακά, καθώς το νερό κινείται στη διεπιφάνεια των μαργών λειτουργεί σαν λιπαντικό και σχεδόν υγροποιεί τους ορίζοντες επαφής.



Εικόνα 6-12: Άποψη του κροκαλοπαγούς βάσης στα βορειοανατολικά περιθώρια της λεκάνης των Βιτάλων.

(θ) Ενότητα κροκαλοπαγών βάσης

Αποτελούν σε γενικές γραμμές σχηματισμό που χαρακτηρίζεται από μέτρια συνεκτικότητα, η οποία με τη δράση των αποσαθρωτικών – διαβρωτικών παραγόντων, μειώνεται σημαντικά. Η επιφανειακή τους εξάπλωση περιορίζεται σε μικρές εμφανίσεις στα περιθώρια της νεογενούς λεκάνης, ενώ η παρουσία τους έχει διαπιστωθεί μέσω ερευνητικών γεωτρήσεων, σε κεντρικά σημεία αυτής. Λόγω του κυμαινόμενου βαθμού συνεκτικότητας, χαρακτηρίζονται από ανισότροπη

γεωμηχανική συμπεριφορά, ενώ οι υδρογεωλογικές συνθήκες που διαμορφώνονται επηρεάζουν την εν γένει συμπεριφορά του σχηματισμού. Τοπικά το κροκαλοπαγές παρουσιάζεις διαστρώσεις ψαμμιτικές, ενώ οι κροκάλες προέρχονται από όλα τα πετρώματα του υποβάθρου. Η έντονη διαφοροποίηση που παρατηρείται στην κοκκομετρία

των αδρομερών στοιχείων αυξάνει την υδροπερατότητα, ωστόσο η περιορισμένη επιφανειακή εξάπλωση αλλά και το αργιλικό - αργιλοψαμμιτικό συνδετικό υλικό, περιορίζουν την επιφάνεια τροφοδοσίας μέσω των απευθείας κατεισδύσεων του νερού των βροχοπτώσεων. Η πλευρική τροφοδοσία τους είναι δυσχερής καθώς στη μεγαλύτερη έκτασή τους, επίκεινται του υδατοστεγανού φλύσχη. Σε υγιή κατάσταση έχουν καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, ωστόσο οι ιδιάζουσες συνθήκες στην ετερογενή επαφή με τον υποκείμενο φλύσχη αλλά και με τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διάνοιξη οδικού δικτύου), ευνοούν την εκδήλωση αστοχιών.

Σε γενικές γραμμές, για τα νεογενή ιζήματα μπορούν να ειπωθούν τα παρακάτω:

Συνίστανται από λεπτόκοκκες κυρίως αμμούχες έως ασβεστιτικές φυλλώδεις μάργες, ενώ στους ανώτερους ορίζοντες συμμετέχουν ενστρώσεις ή και φακοί κροκαλοπαγών περιορισμένων διαστάσεων που συνήθως "απομονώνονται" μέσα στις λεπτομερέστερες φάσεις. Οι υποκείμενοι των λιγνιτικών στρωμάτων μαργαίκοί σχηματισμοί παρουσιάζουν έντονη ανομοιογένεια στη λιθολογική τους σύσταση, με εναλλαγές αργίλων, ψηφίδων, ψαμμιτών ή και ενδιαστρώσεων κροκαλοπαγών με συμπαγείς κυανότεφρες μάργες. Παρότι στο σύνολό τους είναι σχηματισμοί πολύ χαμηλής υδροπερατότητας, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η υδρογεωλογική συμπεριφορά των μαργαϊκών σχηματισμών στις ζώνες έντονου κερματισμού, καθώς και στις ζώνες με αυξημένο πάχος μανδύα αποσάθρωσης. Εκεί, οι ανώτεροι ορίζοντες των μαργών αποκτούν τοπικά αυξημένη δευτερογενή υδροπερατότητα. Το νερό που κατεισδύει κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα των ανοιχτών συνήθως ρωγμών (Σουτσίνι, Βίταλα κ.α.), συμβάλλοντας έτσι στην περαιτέρω χαλάρωση των κερματισμένων ζωνών με βραδύ ρυθμό, ο οποίος επιταχύνεται σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων.

Σε ζώνες με αυξημένο πάχος μανδύα αποσάθρωσης αναπτύσσεται φρεάτιος υδροφόρος ορίζοντας, μικρής δυναμικότητας, η οποία εξαρτάται από το ποσοστό συμμετοχής αδρομερών στοιχείων στη μάζα των υλικών αυτών. Σε κάθε περίπτωση πάντως, μπορεί να ειπωθεί ότι, τα λεπτομερή υλικά του μανδύα αποσάθρωσης, λόγω της χαμηλής μηχανικής συνοχής, του μεγάλου ολικού πορώδους και υψηλής της υδροαπορροφητικότητας, εμφανίζουν πλήρη κορεσμό τη χειμερινή περίοδο ακόμα και με μικρό ύψος βροχόπτωσης, με αποτέλεσμα την εκδήλωση αστοχιών με τη μορφή ερπυστικών κινήσεων ή και ολισθήσεων.

<u>ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</u>

(ι) Ενότητα δακιτών – ανδεσίτων

Εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του Δήμου Κύμης και παρουσιάζουν μέτριο κερματισμό και χαμηλή αποσάθρωση (Εικόνα 6-13). Αποτελούν συνεκτικούς βραχώδεις

σχηματισμούς με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά και υψηλή αναμενόμενη φέρουσα ικανότητα, ενώ παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και πολύ χαμηλή υδροπερατότητα.

<u>(κ) Ενότητα τόφφων</u>

Πρόκειται για τόφφους βιοτιτικού δακίτη που εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό άκρο της περιοχής έρευνας. Παρουσιάζονται με αυξημένη συνεκτικότητα, πολύ χαμηλή υδροπερατότητα και γενικά καλή γεωμηχανική συμπεριφορά (Εικόνα 6-14). Εντούτοις, η εύκολη επίδραση των διεργασιών εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης, διαμορφώνουν σε ορισμένες θέσεις μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους.



Εικόνα 6-13: Δακιτικά σώματα ευρύτερης Εικόνα 6-14: Χαρακτηριστική εικόνα των περιοχής Οζύλιθου. ηφαιστειακών τόφφων.

ΦΛΥΣΧΗΣ

<u>(λ) Ενότητα φλύσχη</u>

Αποτελεί κυκλοθεματικό σχηματισμό που συμμετέχει σε πολύ μεγάλο ποσοστό στη δομή των περιθωρίων της νεογενούς λεκάνης και αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και ασβεστολίθων. Λόγω της ισχυρής τεκτονικής καταπόνησης αλλά και της κυκλοθεματικής απόθεσης σχηματισμών με ποικίλη γεωμηχανική συμπεριφορά, τους κυμαινόμενους φυσικομηχανικούς δείκτες και τον διαφορετικό συντελεστή υδροπερατότητας, ευνοούνται συχνά οι αστοχίες πρανών ιδιαίτερα σε θέσεις με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και κυρίως ύστερα από αυξημένες βροχοπτώσεις.

Ιδιαίτερα σε περιοχές όπου επικρατούν οι αργιλικές φάσεις με ισχυρή πτύχωση και κερματισμό, ευνοείται η δημιουργία μανδύα αποσάθρωσης σημαντικού πάχους. Στις ζώνες αυτές, με τη συνδρομή και άλλων παραγόντων όπως, το έντονο ανάγλυφο, οι ισχυρές βροχοπτώσεις και οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, εκδηλώνονται συχνά κατολισθητικά φαινόμενα με τη μορφή ολισθήσεων ή ερπυσμών (Εικόνα 6-15).

Ως σύνολο ο φλύσχης θεωρείται υδατοστεγανός σχηματισμός. Ωστόσο, αυξημένη υδροπερατότητα αναμένεται στις ασβεστολιθικές ενστρώσεις και στις κερματισμένες ζώνες των ψαμμιτικών και κροκκαλοπαγών. Επίσης, στην κερματισμένη και αποσαθρωμένη ζώνη των σχηματισμών του φλύσχη αναπτύσσεται τοπικά υπόγεια υδροφορία μικρής δυναμικότητας, η οποία εκφορτίζεται μέσω μικροπηγών (*Kouμαντάκης* et al., 2007).



Εικόνα 6-15: Ιζήματα του φλύσχη περιοχής Καλημεριάνων.

<u> ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΑ ΠΕΤΡΩΝΑΤΑ - ΛΑΤΕΡΙΤΕΣ</u>



Εικόνα 6-16: Οφιολιθικά πετρώματα στην περιοχή παλαιού νταμαριού στην πόλη της Κύμης.

(μ) Ενότητα περιδοτιτών

Πρόκειται για περιδοτίτες, δουνίτες και κατά θέσεις σερπεντιωμένους περιδοτίτες (Εικόνα 6-16). Είναι βραχώδεις σχηματισμοί, με καλή γεωμηχανική συμπεριφορά, χαμηλή υδροπερατότητα αλλά αυξημένη περατότητα στις δευτερογενή διαρρηγμένες και αποσαθρωμένες ζώνες, η οποία μειώνεται στις θέσεις που το πέτρωμα είναι υγειές και με χαμηλό κερματισμό. Στις θέσεις αυξημένου βαθμού εξαλλοίωσης και

αποσάθρωσης, καλύπτονται επιφανειακά από συνήθως παχύ μανδύα αποσάθρωσης.



Εικόνα 6-17: Λατεριτικοί σχηματισμοί στα δυτικά του νομού.

<u>(ν) Ενότητα λατεριτών</u>

Λατεριτικά πετρώματα παρουσιάζονται με σχετικά περιορισμένες, σε έκταση, εμφανίσεις στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας (Εικόνα 6-17). Είναι βραχώδεις σχηματισμοί με μέτρια γεωμηχανική συμπεριφορά και χαμηλή υδροπερατότητα, που αυξάνει ωστόσο στη ζώνη αποσάθρωσης και κερματισμού, που τοπικά έχει αυξημένο πάχος.

ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

(ξ) Ενότητες ανθρακικών σχηματισμών Μεσοζωικού και Παλαιοζωικού

Η σειρά των ανθρακικών σχηματισμών του Μεσοζωικού και του Παλαιοζωικού αναπτύσσεται στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας, καθώς και στη βόρεια παραλιακή ζώνη του Δήμου Κύμης. Παρουσιάζουν ικανοποιητικά μηχανικά χαρακτηριστικά (υψηλή αντοχή, φέρουσα ικανότητα, κλπ), μέτριο έως ισχυρό τοπικά κερματισμό και αυξημένο συντελεστή υδροπερατότητας (Εικόνα 6-18).

Τοπικά, ο αυξημένος κερματισμός και η δράση των ατμοσφαιρικών στοιχείων (χιονοπτώσεις, κλπ) διαμορφώνουν εκτεταμένες ζώνες πλευρικών κορημάτων με αυξημένο πάχος, που εγκυμονούν κινδύνους αστοχιών ιδιαίτερα σε θέσεις διαταραχής των πρανών από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (διάνοιξη δρόμων κλπ). Επίσης, όπου συναντώνται ζώνες τεκτονισμού (διάρρηξη, εφίππευση, επώθηση) με μυλονιτιωμένο υλικό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, καθώς απομειώνονται τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού. Ιδιαίτερο ρόλο στην ευστάθεια των σχηματισμών διαδραματίζει ο κερματισμός της βραχομάζας, καθώς και η καρστικοποίηση και η πλήρωση των εγκοίλων με αργιλικό υλικό (Εικόνα 6-19). Αστοχίες με τη μορφή καταπτώσεων ποικίλων διαστάσεων βράχων σημειώνονται σε ζώνες έντονης μορφολογίας, δημιουργώντας, σοβαρά προβλήματα στη λειτουργικότητα του οδικού δικτύου.

Πρόκειται για σχηματισμούς υψηλής υδροπερατότητας, λόγω του κερματισμού και της έντονης καρστικοποίησης που έχουν υποστεί. Η καρστική υδροφορία κατά την κατακόρυφο, όπου αναπτύσσεται, θεωρείται ενιαία, ανεξάρτητα από την ηλικιακή διαφοροποίηση των ασβεστολίθων. Η τοπική παρεμβολή των υδατοστεγανών σχηματισμών της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης, των βωξιτικών και σιδηρονικελικούχων κοιτασμάτων, δεν εμποδίζουν την υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των κρητιδικών ασβεστολίθων και των υποκείμενων του Ιουρασικής και Τριαδικής ηλικίας. Την άποψη αυτή ενισχύει η απουσία καρστικών πηγών κατά μήκος της επαφής των προαναφερθέντων υδατοστεγανών σχηματισμών με τους υπερκείμενους ασβεστολίθους. Μέρος της πλούσιας καρστικής υδροφορίας του μεγάλου αυτού καρστικού συστήματος εκφορτίζεται μέσω πηγών επαφής των ασβεστολίθων με τους υποκείμενους σχιστολίθους (Φλέβα Μανικίων και Φλέβα Σέτας) και άλλες μικρότερες. Σύμφωνα με το Τεύχος Απογραφής Καρστικών Πηγών Ευβοίας του ΙΓΜΕ και μετρήσεις του Μαΐου 1976, η παροχή της πηγής Φλέβα Μανικίων ήταν 167m³/h, ενώ αυτή της πηγής Φλέβα Σέτας ήταν 105m³/h. Σημαντικό μέρος της καρστικής υδροφορίας εκφορτίζεται στη θάλασσα, είτε σε διάχυτη μορφή, είτε με τη μορφή υποθαλάσσιων πηγών (Kovμαντάκης et al., 2007).



Εικόνα 6-18: Ασβεστόλιθοι του υποβάθρου.

Εικόνα 6-19: Αποκαρστωμένοι ασβεστόλιθοι του υποβάθρου.

<u>ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</u>

(0) Ενότητα φυλλιτών - σχιστολίθων

Πρόκειται για φυλλίτες και σχιστόλιθους του Παλαιοζωικού, που παρουσιάζουν συνήθως έντονο κερματισμό και αυξημένη αποσάθρωση στους επιφανειακούς ορίζοντες (Εικόνες 6-20, 6-21), όπου η χαλάρωση λόγω της πυκνής διάρρηξης, της λεπτοστρωματώδους δομής, της τεκτονικής καταπόνησης αλλά και της δράσης του νερού, διαμορφώνουν παχύ μανδύα αποσάθρωσης. Στο σύνολο θεωρούνται υδατοστεγανοί σχηματισμοί, ωστόσο σε θέσεις όπου η ζώνη αυτή έχει αξιόλογο πάχος, αναπτύσσεται αβαθής υπόγεια υδροφορία, η οποία εκφορτίζεται στην επαφή με το υγιές τμήμα του σχηματισμού με τη μορφή μικροπηγών. Η υδροφορία αυτή σε συνδυασμό με την έντονη μορφολογία και τις διαβρώσεις που προκαλεί το ρέμα Μετοχίου, αποτελεί καθοριστικό παράγοντα στην εκδήλωση αστοχιών στα φυσικά και τεχνητά πρανή κατά μήκος του δρόμου από Κύμη προς Μετόχι, στο τμήμα που αυτός διέρχεται από το σύστημα των σχιστολίθων.

Τοπικά, το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης εισχωρεί στις ανοικτές ασυνέχειες σχιστότητας και κερματισμού, μετατρέποντάς αυτές σε επιφάνειες ολίσθησης. Ιδιαίτερα σοβαρά προβλήματα αστοχιών δημιουργούνται στα υλικά του μανδύα αποσάθρωσης, κυρίως σε περιπτώσεις υψηλού κορεσμού (περίοδοι αυξημένων ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων).



Εικόνα 6-20: Σχιστολιθικά πετρώματα στη περιοχή Εικόνα Μετόχι. ασβεστα

Εικόνα 6-21: Επαφή σχιστολίθων – ασβεστολίθων στην περιοχή Μετόχι προς Χιλιαδού.

ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ



Εικόνα 6-22: Γρανιτικά σώματα μέσα στις σχιστολιθικές μάζες (περιοχή μετά το Μετόχι).

(π) Ενότητα γρανιτών

Εμφανίζονται στο Δυτικό τμήμα του χάρτη, με τη μορφή γρανιτικών σωμάτων Λιθανθρακοφόρου ηλικίας. Πρόκειται για συμπαγείς βραχώδεις σχηματισμούς, με μέτριο έως ισχυρό κερματισμό και συνήθως μικρού βάθους επιφανειακή αποσάθρωση (Εικόνα 6-22). Όπου όμως αυτή γίνεται έντονη, μειώνει σημαντικά τις μηχανικές αντοχές του πετρώματος, το οποίο υφίσταται χαλάρωση και τελικό μετασχηματισμό σε γρανιτική

άμμο, με υποβαθμισμένη γεωμηχανική συμπεριφορά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Εργαστηριακές ερεύνες

Δειγματοληψία

Ορυκτολογική ανάλυση

Εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού φυσικών και μηχανικών παραμέτρων

Αξιολόγηση – συσχέτιση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΕΡΕΥΝΕΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται και σχολιάζονται τα ευρήματα που αφορούν στις εργαστηριακές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για την περιοχή της Κύμης. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δοκιμές προσδιορισμού της ορυκτολογικής σύστασης και της δομής των πετρωμάτων στο εργαστήρια Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, της Σχολής Μηχ. Μεταλ. Μεταλλουργών, υπό την εποπτεία της Καθηγήτριας κας Θ. Περράκη, ενώ ορισμένες από τις δοκιμές XRD πραγματοποιήθηκαν στη Σχολή Χημ. Μηχανικών του Ε.Μ.Π. Οι εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τα Διεθνή Πρότυπα στους χώρους του εργαστηρίου της Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας της Σχολής Μ.Μ.Μ., υπό την εποπτεία του Αν. Καθηγητή κ. Δ. Ρόζο καθώς και στο Εργαστήριο της Δ/νσης Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας, υπό την εποπτεία του κ. Χρ. Καλαμπάκα, ενώ ορισμένα από τα δείγματα της διατριβής, προσδιορίστηκαν στο εργαστήριο της γεωλόγου κ. Λαΐου σε συνεργασία με την εταιρία μελετών ΠΑΝΓΑΙΑ. Παράλληλα με την πραγματοποίηση των εργαστηριακών δοκιμών στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, πραγματοποιήθηκε αποδελτίωση γεωτρήσεων προγενέστερων γεωτεχνικών ερευνών, οι οποίες παραχωρήθηκαν από τη Δ/v ση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας, καθώς και από το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων, με σκοπό την πληρέστερη αποτύπωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των μαργών που εξετάζονται.

7.1 Δειγματοληψία

Προκειμένου να διερευνηθούν οι γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή έρευνας αλλά και να καθοριστούν η ορυκτολογική σύσταση καθώς και τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των διάφορων οριζόντων των ιζημάτων, πραγματοποιήθηκε συστηματική δειγματοληψία σε όλη την έκταση ανάπτυξης αυτών. Αυτή έγινε για την κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη εκπροσώπηση των κύριων οριζόντων των διαφόρων λιθοστρωματογραφικών ενοτήτων, με ιδιαίτερη έμφαση και βαρύτητα στα μέλη των λεπτομερών φάσεων, των οποίων η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά χρήζει διερεύνησης.

Τα δείγματα συλλέχθηκαν τόσο από επιφανειακά μέτωπα πρανών τα οποία είχαν την μορφή ορθογώνιου μπλοκ και ήταν αρκετά μεγάλων διαστάσεων ώστε να πραγματοποιηθούν σε αυτά όσο το δυνατόν περισσότερες εργαστηριακές δοκιμές, όσο και από πυρήνες γεωτρήσεων που παραχωρήθηκαν από τη Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών

της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας. Μέρος των δειγμάτων συλλέχθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος Ενίσχυσης Βασικής Έρευνας «ΛΕΥΚΙΠΠΟΣ», με Επιστημονικό Υπεύθυνο τον κ. Δ. Ρόζο (*Ρόζος & Ηλία, 2008*).

Επιπρόσθετα, εκτελέσθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας «Οικιστική καταλληλότητα στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Βιτάλων Κύμης» (ΕΜΠ, Σχολή ΜΜΜ, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας), δειγματοληπτικές γεωτρήσεις σε επιλεγμένες θέσεις (*Ρόζος et al., 2009*). Οι γεωτρήσεις αυτές έγιναν σε περιοχές που είχαν ως βασικό σκοπό να διερευνηθούν οι ήδη εκδηλωθείσες σοβαρές αστοχίες σε κατολισθαίνουσες ζώνες που εντοπίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσης έρευνας και να παρθούν μέτρα προστασίας – αντιμετώπισης των προβλημάτων που δημιουργούν (υποβληθείσα μελέτη – ερευνητικό πρόγραμμα του 2009).

Για την όσο το δυνατόν πληρέστερη εξαγωγή συμπερασμάτων, με βάση την οικονομία της έρευνας, λήφθηκαν κατά το δυνατόν, αντιπροσωπευτικά δείγματα των επικρατούντων οριζόντων λεπτομερών φάσεων από κάθε περιοχή.

Η όλη διαδικασία συλλογής των δειγμάτων από τις περιοχές που προαναφέρθηκαν, περιλάμβανε αρχικά τον καθαρισμό επιφανειακά του χώρου δειγματοληψίας, για την αποκάλυψη του υγιούς σχηματισμού του ορίζοντα ενδιαφέροντος. Προβλήματα στην λήψη επιφανειακών δειγμάτων κατάλληλων για εργαστηριακές δοκιμές δημιούργησαν τόσο οι ασυνέχειες και οι ρηγματώσεις όσο και η αποσαθρωσιμότητά τους σε ορισμένες περιπτώσεις. Ακολουθούσε η διαμόρφωση και απόσπαση τεμάχους διαστάσεων περίπου 30x30x30cm. Η διατήρηση των δειγμάτων στη φυσική τους κατάσταση γινόταν με περιτύλιξη με αλουμινόχαρτο και στη συνέχεια με εμβάπτιση σε παραφίνη.

Η μόρφωση, κοπή και προστασία των δοκιμίων αφορούσε στη διατήρηση των δειγμάτων σε αδιατάρακτη κατά το δυνατόν κατάσταση μέχρι το χρόνο εκτέλεσης των αναγκαίων δοκιμών στο εργαστήριο. Η διαταραχή των δειγμάτων οφείλεται σε διάφορους λόγους, όπως είναι η προετοιμασία (διαμόρφωση) των δοκιμίων για την εκτέλεση δοκιμών, η αλλαγή της πίεσης του νερού των πόρων όταν το δείγμα έρθει στην επιφάνεια, η διατήρηση της φυσικής κατάστασης του εδάφους (απώλεια υγρασίας), η μεταφορά του δείγματος, η γεωτρητική διαδικασία διείσδυση του δειγματολήπτη στο έδαφος (*Petley 1984*). Βέβαια, είναι γνωστές οι δυσκολίες που ενέχονται στον τρόπο αυτό δειγματοληψίας (μηχανική εκσκαφή), προκειμένου τα δείγματα να διατηρήσουν τη φυσική τους κατάσταση. Έτσι, ιδιαίτερη προσοχή και φροντίδα καταβλήθηκε σε όλα τα στάδια της δειγματοληψίας από τη συλλογή των δειγμάτων μέχρι τη μεταφορά τους, ώστε να περιοριστούν στο ελάχιστο οι κίνδυνοι διατάραξης της φυσικής τους κατάστασης.

Οι περιοχές στις οποίες πραγματοποιήθηκαν οι δειγματοληψίες παρουσιάζονται στην Εικόνα 7-1. Στο σχήμα αυτό, απεικονίζονται οι 5 περιοχές (Α, Β, Γ, Δ και Ε), κάθε μια από

τις οποίες περιλαμβάνει τις θέσεις δειγματοληψίας. Αναλυτικότερα, κάθε θέση δειγματοληψίας περιελάμβανε λιθολογικούς ορίζοντες, τόσο από την Ανώτερη ενότητα των τεφρών - κιτρινότεφρων μαργών, όσο και από την Κατώτερη ενότητα των έυκότεφρων – μελανότεφρων μαργών.

<u>Περιοχή Α</u>

Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει τις θέσεις δειγματοληψίας ΓΒ1, ΓΒ2, ΦΒ3, ΓΒ4, ΓΒ5, ΓΒ6 και ΓΒ7. Τα δείγματα που ελήφθησαν από τις θέσεις αυτές, αντιπροσωπεύουν την Ανώτερη ενότητα των μαργών και συγκεκριμένα τους ορίζοντες της κιτρινότεφρης ιλυώδους μάργας (ΓΒ1-2), της εξαλλοιωμένης κιτρινότεφρης μάργας (Δείγματα ΓΒ1-3, ΓΒ3-1, ΓΒ3-3, ΓΒ4-1, ΓΒ4-2, ΓΒ5-1, ΓΒ5-2, ΓΒ5-3, ΓΒ6-1, ΓΒ6-2, ΓΒ7-1 και ΓΒ7-2) και της αποσαθρωμένης τεφρής φυλλώδους μάργας (Δείγματα ΓΒ2-1).

<u>Περιοχή Β</u>

Η περιοχή Β περιλαμβάνει τις θέσεις δειγματοληψίας ΓΚ1, ΓΚ2, ΓΚ3, ΓΚ5, Δ2 και Δ3. Τα δείγματα που ελήφθησαν από τις θέσεις αυτές αντιπροσωπεύουν τόσο την Ανώτερη όσο και την Κατώτερη στρωματογραφική ενότητα των μαργών. Συγκεκριμένα, την Ανώτερη ενότητα των μαργών αντιπροσωπεύουν τα δείγματα ΓΚ1-7, ΓΚ1-9, ΓΚ2-4, ΓΚ2-5, ΓΚ2-6, ΓΚ3-2, ΓΚ3-3 και Δ2 (ορίζοντας κιτρινότεφρων μαργών), το δείγμα Δ3 (κιτρινότεφρη αμμιτική μάργα) και τα δείγματα ΓΚ1-2, ΓΚ1-3, ΓΚ1-4, ΓΚ2-2, ΓΚ5-1, ΓΚ5-2, ΓΚ5-3 και ΓΚ5-4 (ορίζοντας τεφρής αργιλομάργας). Αντίστοιχα, την Κατώτερη ενότητα αντιπροσωπεύουν τα δείγματα ΓΚ1-1, ΓΚ2-1, ΓΚ2-3 και ΓΚ3-1 (εξαλλοιωμένες λευκές – λευκότεφρες μάργες), τα δείγματα ΓΚ1-5 και ΓΚ1-6 (λευκότεφρες μάργες) και ΓΚ3-4 (μελανότεφρη μάργα).

<u>Περιοχή Γ</u>

Η περιοχή Β περιλαμβάνει τις θέσεις δειγματοληψίας ΓΚ4, Δ4, Δ5, Δ6, Δ7, Δ8 και Δ9. Τα δείγματα που ελήφθησαν από τις θέσεις αυτές αντιπροσωπεύουν ορίζοντες της Ανώτερης στρωματογραφικής ενότητας των μαργών. Τα δείγματα ΓΚ4-2, ΓΚ4-3, ΓΚ4-4, ΓΚ4-6 και Δ9 αντιπροσωπεύουν τεφρή αργιλική μάργα, το δείγμα Δ4 αντιστοιχεί σε ασβεστιτική ψαμμιτομάργα, το Δ5 σε ιλυολιθική μάργα, το Δ6 σε μαργαϊκό ασβεστόλιθο, το Δ7 σε αργιλική ψαμμιτομάργα και το Δ8 σε μαργαϊκό ψαμμίτη.

<u>Περιοχή Δ</u>

Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει δείγματα γεωτρήσεων που αφορούν κυρίως σε μαργαϊκούς ορίζοντες της Κατώτερης στρωματογραφική ενότητας, που ήταν δύσκολο να εντοπιστούν επιφανειακά ή και σε γεωτρήσεις άλλων περιοχών (π.χ. περιοχες Α, Β). Οι θέσεις δειγματοληψίας είναι οι ΓΣ1, ΓΣ2, ΓΣ3, ΓΣ4, ΓΣ5, ΓΣ7, ΓΣ8, ΓΣ9, ΓΣ10 και Δ10. Στην περιοχή Δ, την Ανώτερη ενότητα των μαργών αντιπροσωπεύουν οι ορίζοντες της εξαλλοιωμένης κιτρινότεφρης μάργας με τα δείγματα ΓΣ7-2 και ΓΣ7-3. Η Κατώτερη

στρωματογραφική ενότητα των μαργών αντιπροσωπεύεται από τους ακόλουθους λιθολογικούς ορίζοντες: τα δείγματα ΓΣ1-1, ΓΣ1-3, ΓΣ2-1, ΓΣ2-2, ΓΣ2-5 αντιστοιχούν σε μελανότεφρη ψαμμιτική μάργα, τα δείγματα ΓΣ3-1 και ΓΣ8-3 σε εξαλλοιωμένη τεφρή – μελανότεφρη μάργα, τα δείγματα ΓΣ4-1, ΓΣ7-1, ΓΣ8-1, ΓΣ8-2 σε εξαλλοιωμένη λευλή – λευκότεφρη μάργα, τα δείγματα ΓΣ1-5, ΓΣ3-4, ΓΣ4-2, ΓΣ7-6, ΓΣ7-7, ΓΣ8-5, ΓΣ8-6 σε λευκότεφρη μάργα και τα δείγματα ΓΣ1-2, ΓΣ1-4, ΓΣ1-5, ΓΣ3-8, ΓΣ3-9, ΓΣ3-10, ΓΣ3-11, ΓΣ5-1, ΓΣ5-2 σε μελανότεφρη μάργα.

<u>Περιοχή Ε</u>

Η περιοχή αυτή περιλαμβάνει το δείγμα Δ1 που αντιπροσπεύει ασβεστιτική μάργα της Ανώτερης στρωματογραφικής ενότητας των μαργών.



Εικόνα 7-1: Περιοχές δειγματοληψίας στο νομό Εύβοιας (Κύμη).

7.2 Ορυκτολογική ανάλυση

Η ορυκτολογική σύσταση των δειγμάτων, τα οποία ελήφθησαν από τους Ανώτερους και Κατώτερους ορίζοντες των μαργών της περιοχής Κύμης, προσδιορίστηκε με τις ακόλουθες μεθόδους:

- Πολωτικό ή οπτικό μικροσκόπιο (OM)
- Περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ (XRD)
- Διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση

Η ημιποσοτική ανάλυση πραγματοποιήθηκε τον προσδιορισμό της εκατοστιαίας ορυκτολογικής σύστασης των ακτινοδιαγραμμάτων που προέκυψαν από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στηρίζεται στη σχέση μεταξύ των εντάσεων των μεγίστων περίθλασης με τα αντίστοιχα επίπεδα περίθλασης σε κάθε δείγμα που αναλύεται, δηλαδή με τις συγκεντρώσεις των ορυκτών που το συνθέτουν.

7.2.1 Εξέταση με πολωτικό μικροσκόπιο

Για τον ορυκτολογικό προσδιορισμό των ορυκτών και την περιγραφή της δομής και του ιστού των εδαφικών σχηματισμών προετοιμάστηκαν λεπτές τομές, των οποίων η εξέταση έγινε στο πολωτικό μικροσκόπιο. Κρίθηκε ιδιαίτερα χρήσιμη η έρευνα εδαφικών υλικών με χρήση μικροσκοπίων, παρόλο που τα συμπεράσματα που διεξάγονται από αυτή είναι κυρίως ποιοτικά (*Nτουνιάς et al., 1986*). Η Οπτική Μικροσκοπία πραγματοποιήθηκε με παρατήρηση της λεπτής τομής κάθε μητρικού δείγματος, με οπτικό πετρογραφικό ή πολωτικό μικροσκόπιο LEITZ Orthoplan, στο Εργαστήριο Ορυκτολογίας του Τομέα Γεωλογικών Ερευνών, της Σχολής Μηχ. Μεταλ. Μεταλλουργών. Τα αποτελέσματα τεκμηριώνονται από αντιπροσωπευτικές φωτογραφίες, σε παράλληλα και κάθετα Nicols, οι οποίες ελήφθησαν από SONY CCD-IRIS/RGB Color Video Camera.

7.2.2 Εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-Χ

Για την εξέταση με περιθλασιμετρία ακτίνων-X (XRD), χρησιμοποιήθηκε περιθλασίμετρο τύπου Bruker D-8 Focus με ακτινοβολία CuKa (λ=1.5405Å) και φίλτρο Ni σε ένταση 30mA και τάση 40kV. Οι παράμετροι "βήμα σάρωσης" (scanning step) και "χρονικό διάστημα βήματος" (step time) καθορίστηκαν ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε ανάλυσης και συγκεκριμένα, για τα "ως έχουν" δείγματα, όπως επίσης και για αυτά, τα οποία θερμάνθηκαν σε διάφορες θερμοκρασίες επιλέχθηκε βήμα σάρωσης 2θ =0.02⁰ και χρονικό διάστημα βήματος 1s, σε εύρος 2⁰ -72⁰ (χρονική διάρκεια μέτρησης ~58 λεπτά), όπως προτάθηκε από τους (*Wilson, 1987; Moore & Reynolds, 1997*). Για τα δείγματα, τα οποία επεξεργάστηκαν με αιθυλενογλυκόλη, επιλέχθηκε εύρος 2⁰ -15⁰ (χρονική διάρκεια μέτρησης ~12 λεπτά), ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι παρέμειναν αμετάβλητες. Οι πρόσθετες δοκιμές μετά τις σχετικές επεξεργασίες, έγιναν, καθώς διευκόλυναν σημαντικά, αφενός μεν την αναγνώριση διογκούμενων ορυκτών (σμεκτιτών), και αφ' ετέρου την καλύτερη διάκριση των αργιλικών ορυκτών, που συμμετέχουν.

Η ταυτοποίηση των διαφόρων κρυσταλλικών φάσεων, πραγματοποιήθηκε με βάση τις χαρακτηριστικές τους ανακλάσεις, και χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα EVA (Version 12, Copyright @ SOCABIM 1996 - 2006).

7.2.3 Θερμική Ανάλυση (TG/DTG/DTA)

Η διαφορική θερμική (DTA) και θερμοβαρυτομετρική (TG/DTG) ανάλυση έγινε με όργανο Mettler Toledo 851. Τα δείγματα πυρώθηκαν έως τους 1200⁰C, με ταχύτητα αύξησης της θερμοκρασίας 10⁰C/min.

Η αξιολόγηση των καμπυλών έγινε με βάση τα δεδομένα της βιβλιογραφίας (Mackenzie, 1957; Smykatz-Kloss, 1974).

Η μέθοδος της διαφορικής θερμικής ανάλυσης (Differential Thermal Analysis ή D.T.A.), βασίζεται στο γεγονός ότι, όταν μια ουσία θερμαίνεται, υφίσταται διάφορες μετατροπές. Οι μετατροπές αυτές συνοδεύονται από πρόσληψη ή απώλεια θερμότητας, με αποτέλεσμα την εμφάνιση χαρακτηριστικών peaks (κορυφών) στο διάγραμμα D.T.A.

7.2.4 Αποτελέσματα ορυκτολογικής ανάλυσης

<u>Ανώτερη ενότητα κιτρινότεφρων μαργαϊκών οριζόντων</u>

Από τη μελέτη των δειγμάτων της Ανώτερης ενότητας των μαργαϊκών οριζόντων από την περιοχή της Κύμης, "Δ1", "Δ2", "Δ3", "Δ4", "Δ5", "Δ6", "Δ7", "Δ8", "Δ9" και "Δ11", διαπιστώθηκε ότι το υλικό αποτελείται, κύρια, από ανθρακικά ορυκτά σε υψηλό ποσοστό (40%-85%). Περιέχει, επίσης, αργιλικά ορυκτά και άστριους. Από τα ανθρακικά ορυκτά προσδιορίστηκαν, κύρια, ασβεστίτης, δολομίτης, και σε μερικά δείγματα αραγωνίτης. Από τα αργιλικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και άστριοι. Σε ορισμένα δείγματα σημαντική είναι και η παρουσία οργανικών, οξειδίων του σιδήρου και αδιαφανών ορυκτάν Σε όλα τα εξετασθέντα δείγματα εκτός ενός "Δ3" βρέθηκαν διογκούμενα ορυκτά (μοντμοριλονίτης).

- Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη (CaCO₃) χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (104) στα d=~3.03Å, (113) στα d=~2.29Å και (202) στα d=~2.09Å, ενώ για το δολομίτη [CaMg(CO₃)₂] χρησιμοποιήθηκε, κύρια, η ανάκλαση (104) στα d=~2.89Å.
- Για την ταυτοποίηση του αραγωνίτη, χρησιμοποιήθηκαν οι χαρακτηριστικές του ανακλάσεις (111), (221), (021) στα d=3.39Å, 1.98Å και 3.27Å, αντίστοιχα.

- Ο ιλλίτης-μοσχοβίτης [K(Fe,Mg,Al)₂(Al,Si)₄O₁₀(OH)₂] προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις του (001) στα d=~10Å και (003) στα d=~3.34Å.
- Ο καολινίτης $[Al_2Si_2O_5(OH)_4]$ ταυτοποιήθηκε από τις χαρακτηριστικές του ανακλάσεις (001) στα d=~7.1 Å και (002) στα d=~3.5 Å, ενώ ο χλωρίτης $[(Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8]$ από τις (001) στα d=~14Å και (002) στα d=~7Å.
- Η ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών διαπιστώθηκε από τη χαρακτηριστική ιδιότητα του μοντμοριλλονίτη [(Na,Ca)(Mg,Al)₂Si₄O₁₀(OH)₂·n(H₂O)] να διογκώνεται μετά από επεξεργασία του με αιθυλενογλυκόλη. Δεδομένου ότι μετά τον κορεσμό των υπό εξέταση δειγμάτων με αιθυλενογλυκόλη παρατηρήθηκε μετατόπιση της κύριας ανάκλασης του μοντμοριλλονίτη (100) από: d=~14Å σε d=~17Å, συμπεραίνεται ότι τα δείγματα που εξετάστηκαν περιέχουν διογκούμενα ορυκτά.
- Για τον προσδιορισμό του χαλαζία (SiO₂), ο οποίος απαντά σε όλα τα δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (101) στα d=~3.34Å και (100) στα d=~4.26Å.
- Επειδή, η ισχυρότερη ανάκλαση του χαλαζία στα d=3.34Å συμπίπτει, σχεδόν, με την ισχυρή ανάκλαση (003) του μοσχοβίτη, για τον ημιποσοτικό τους προσδιορισμό, ως σχετικό μέτρο της περιεκτικότητας σε χαλαζία, χρησιμοποιήθηκε η ανάκλαση στα d=~4.26Å.
- Επίσης, οι άστριοι [(K,Na)AlSi₃O₈] προσδιορίστηκαν με βάση τις ανακλάσεις (002) στα d=~3.19Å και (220) στα d=~3.24Å.

Αναλυτικότερα:

<u>Δείγμα Δ1</u>



Εικόνα 7-2: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος GD1(Nicols+).

Αναφορικά στο δείγμα "Δ1", οι εικόνες από το οπτικό μικροσκόπιο αποτυπώνουν απολιθωματοφόρο μικριτικό μαργαϊκό ίζημα, που αποτελείται από χαλαζία, ολιβίνη, χλωριτιωμένο βιοτίτη και οργανικό υλικό μέσα σε μια μικροκρυσταλλική μικριτική ασβεστολιθική μάζα (Εικόνα 7-2).

Από την αξιολόγηση του ακτινοδιαγράμματος του δείγματος "Δ1" διαπιστώθηκε, ότι, το υλικό αποτελείται κύρια, από ανθρακικά ορυκτά (~85%) και συγκεκριμένα από αραγωνίτη και ασβεστίτη.

Περιέχει, επίσης, μικρό ποσοστό χαλαζία και πολύ λίγα αργιλικά ορυκτά (Σχήμα 7-2).

Η ύπαρξη διογκούμενων αργιλικών ορυκτών, γίνεται εμφανής, έπειτα από επεξεργασία με γλυκόλη υλικού στο οποίο έγινε απομάκρυνση των ανθρακικών, όπου παρατηρείται μετατόπιση της ανάκλασης: d~14Å σε d~17.4Å (Σχήμα 7-3-δ). Επίσης,

στο επεξεργασμένο δείγμα, γίνεται εμφανής η παρουσία ιλλίτη (d~10Å), αστρίων (d~3.19Å), όπως επίσης και ολίγος καολινίτης (d~7.1Å).

 Από την ημιποσοτική ανάλυση το ποσοστό των ανθρακικών ορυκτών είναι, περίπου, 80%. ενώ τα αργιλικά ορυκτά συμμετέχουν με ποσοστό ~10%, όπως επίσης και ο χαλαζίας και οι άστριοι (~10%).



Τα παραπάνω επιβεβαιώθηκαν και έπειτα από τη μελέτη του υλικού με θερμική ανάλυση (T.G. και D.T.G.).

Συγκεκριμένα:

Από τη μεταβολή του βάρους, στη θερμοκρασιακή περιοχή από τους ~600⁰C έως τους 920⁰C (Σχήμα 7-4), η οποία αποδίδεται κύρια στην έκλυση του CO₂, υπολογίστηκε ότι το περιεχόμενο σε ανθρακικά είναι 82%, περίπου, σύμφωνα με την αντίδραση:

$$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2.$$

- Ας σημειωθεί ότι, έπειτα από επεξεργασία του υλικού με HCl, η περιεκτικότητα σε ανθρακικά του ίδιου δείγματος, υπολογίστηκε ότι είναι, περίπου, 85%.
- Από τη μελέτη του υλικού, το οποίο παρέμεινε μετά την απομάκρυνση των ανθρακικών (Σχήμα 7-5), επιβεβαιώνεται η ύπαρξη καολινίτη, από την απώλεια βάρους στους ~500°C, η οποία οφείλεται στη διάσπαση του πλέγματος του καολινίτη. Επίσης, επιβεβαιώνεται και η παρουσία μοντμοριλλονίτη, όπως φαίνεται από την απώλεια βάρους στη θερμοκρασιακή περιοχή 100°C 200°C, η οποία αποδίδεται στο προσροφημένο, στο διαστρωματικό του χώρο νερό.





Από την αντίστοιχη ορυκτολογική μελέτη των υπόλοιπων δειγμάτων της Ανώτερης ενότητας των κιτρινότεφρων μαργαϊκών οριζόντων, "Δ2", "Δ3", "Δ4", "Δ5", "Δ6", "Δ7", "Δ8", "Δ9", και "Δ10", διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

Δείγμα Δ3



Εικόνα 7-3: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος Δ3 (Nicols+).

Το δείγμα "Δ3" αφορά σε ψαμμιτική μάργα. Αποτελείται κύρια από χαλαζία, ασβεστίτη, εξαλλοιωμένο αλβίτη, χλωρίτη και μοσχοβίτη. Στο δείγμα αναγνωρίστηκε γλαυκοφανής, και προερχόμενος από την αποσάθρωση μεταμορφωμένων πετρωμάτων της περιοχής (Εικόνα 7-3).

Όπως φαίνεται στο αντίστοιχο ακτινοδιάγραμμα, το δείγμα "Δ3" περιέχει λιγότερα ανθρακικά από το δείγμα "Δ1", (~50%), τα οποία συνίστανται,

κύρια, από ασβεστίτη (d=3.04Å) (Σχήμα 7-6). Το δείγμα περιέχει, επίσης, χαλαζία (d=3.34Å) και άστριους (d=3.19Å).

 Όσον αφορά στα αργιλικά ορυκτά, ταυτοποιήθηκε ιλλίτης-μοσχοβίτης (d~9.98Å) και χλωρίτης (d~14Å). Το γεγονός ότι, έπειτα από τον κορεσμό του δείγματος με γλυκόλη, δεν εμφανίζεται μετατόπιση της ανάκλασης από τα d~14Å στα d~17.5Å,



επιβεβαιώνει την ύπαρξη του χλωρίτη και ταυτόχρονα την απουσία διογκούμενων ορυκτών από το συγκεκριμένο δείγμα (Σχήμα 7-7).

- Η μικρή απώλεια βάρους (~0.2%) στη θερμοκρασιακή περιοχή 100⁰C 200⁰C (Σχήμα 7-8), είναι ενδεικτική της απουσίας διογκούμενων ορυκτών.
- Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο συγκεκριμένο δείγμα έδειξε, για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών, ποσοστό ~50%, για τα αργιλικά ορυκτά ~20% και για τον χαλαζία και τους αστρίους ~30%.



<u>Δείγμα Δ4</u>



Εικόνα 7-4: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ4" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ4" αφορά σε ασβεστιτική ψαμμιτομάργα. Διακρίνονται χαλαζίας, δολομίτης, χλωρίτης, εξαλλοιωμένος βιοτίτης σε χλωρίτη, καολινίτης, μοσχοβίτης, σερπεντίνης, γλαυκοφανής, οξείδια σιδήρου και αδιαφανή ορυκτά (Εικόνα 7-4).

Στο δείγμα αυτό, από την ανάλυση του ακτινοδιαγράμματος (Σχήμα 7-9), διαπιστώθηκε ότι το υλικό αποτελείται κύρια από ανθρακικά ορυκτά (~67%) ενώ ταυτοποιείται μόνο δολομίτης

(d~2.89Å, 2.19Å, 1.79Å κλπ.).

- Το δείγμα περιέχει επίσης χαλαζία και άστριους, ενώ από τα αργιλικά ορυκτά συμμετέχουν ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης, μαζί με μικρό, σχετικά, ποσοστό μοντμοριλλονίτη. Εμφανής είναι η συνύπαρξη μοντμοριλλονίτη και χλωρίτη στο συγκεκριμένο δείγμα, έπειτα από την επεξεργασία του με γλυκόλη.
- Συγκεκριμένα, έπειτα από τον κορεσμό του δείγματος με γλυκόλη (Σχήμα 7-10), παρουσιάζεται μετατόπιση μέρους της ανάκλασης από τα d~14Å στα d~17.8Å, γεγονός που επιβεβαιώνει την ύπαρξη μοντμοριλλονίτη, και ταυτόχρονα, μέρος της ίδιας ανάκλασης εξακολουθεί να παραμένει στα d~14Å, γεγονός που επιβεβαιώνει, επίσης την ύπαρξη χλωρίτη.
- Η παρουσία του δολομίτη στο συγκεκριμένο δείγμα επιβεβαιώνεται και από το χαρακτηριστικό διπλό ενδόθερμο peak (Σχήμα 7-11). Το διπλό ενδόθερμο peak

οφείλεται στο γεγονός ότι, η διάσπαση του πλέγματος του δολομίτη γίνεται σε δύο στάδια.

- Από τη μελέτη με θερμική ανάλυση (Σχήμα 7-12) του υλικού που ελήφθη μετά την απομάκρυνση των ανθρακικών επιβεβαιώνεται η σχετικά μικρή περιεκτικότητα διογκούμενων ορυκτών (απώλεια βάρους μέχρι τους ~220°C ~3.5%). Επίσης, η απώλεια βάρους, η οποία καταγράφεται στους ~500°C, φανερώνει και την ύπαρξη καολινίτη στο συγκεκριμένο δείγμα.
- Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ανθρακικά ορυκτά ποσοστό ~65%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~15% και για χαλαζία και αστρίους ~20%.





Δείγμα Δ7



Εικόνα 7-5: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ7" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ7" αφορά σε αργιλική ψαμμιτομάργα. Η ανάλυση με το οπτικό μικροσκόπιο, έδειξε ότι το υλικό αποτελείται από χαλαζία, αργιλικά ορυκτά, μοσχοβίτη, και βιοτίτη σε μια σπαριτική ασβεστιτική συγκολλητική ύλη.

Η ανάλυση με τη μέθοδο της περιθλασιμετρίας ακτίνων-X (X-rays diffraction) έδειξε ότι το δείγμα "Δ7" περιέχει και τα 3 είδη ανθρακικών ορυκτών (~63%), (δολομίτη, ασβεστίτη, αραγωνίτη), με επικρατούσα φάση το δολομίτη.

- Όσον αφορά στην υπόλοιπη ορυκτολογική σύσταση, είναι ίδια με αυτή του δείγματος "Δ4", όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα που ακλουθούν (Σχήματα 7-13, 7-14, 7-15, 7-16).
- Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~60%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~15% και για χαλαζία και αστρίους ~25%.





Δείγμα Δ2



Το δείγμα "Δ2" αντιστοιχεί σε αργιλική μάργα. Αποτελείται από χαλαζία, αργιλικά ορυκτά, μικριτική ασβεστιτική συγκολλητική ύλη, βιοτίτη, οξείδια σιδήρου, χλωρίτη και θραυσμένα οστρακοειδή πληρωμένα με ασβεστιτικό υλικό (Εικόνα 7-6).

Από την αξιολόγηση του ακτινοδιαγράμματος του δείγματος "Δ2" διαπιστώθηκε ότι το υλικό αποτελείται από ανθρακικά ορυκτά (~40%) και συγκεκριμένα από ασβεστίτη και δολομίτη. Περιέχει επίσης, από τα αργιλικά ορυκτά,

καολινίτη, χλωρίτη – μοντμοριλονίτη, ιλλίτη – μοσχοβίτη, χαλαζία και αστρίους (Σχήμα 7-17).



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~40%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~40% και ~20% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

Δείγμα Δ5



Εικόνα 7-7: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ5" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ5" αντιστοιχεί σε ιλυόλιθική μάργα, στην οποία διακρίνονται χαλαζίας και αργιλικά ορυκτά σε μικροκρυσταλλική κύρια μάζα δολομιτικής κυρίως σύστασης (Εικόνα 7-7).

Από την αξιολόγηση του ακτινοδιαγράμματος του δείγματος διαπιστώθηκε ότι το υλικό αποτελείται από δολομίτη, λιγότερο από ασβεστίτη, χαλαζία και αστρίους. Από τα αργιλικά ορυκτά περιέχει καολινίτη, χλωρίτη – μοντμοριλονίτη, ιλλίτη – μοσχοβίτη (Σχήμα 7-18).



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~60%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~20% και ~20% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

<u>Δείγμα Δ6</u>



Εικόνα 7-8: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ6" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ6" αντιστοιχεί σε μαργαϊκο ασβεστόλιθο. Διακρίνονται χαλαζίας, χλωρίτης, ασβεστίτης, δολομίτης, εξαλλοιωμένος βιοτίτης σε χλωρίτη, καολινίτης, μοσχοβίτης, σερπεντίνης, γλαυκοφανής, οξείδια σιδήρου και αδιαφανή ορυκτά κυρίως μαγνητίτης (Εικόνα 7-8).

Η αξιολόγηση του ακτινοδιαγράμματος του δείγματος έδειξε ότι το υλικό περιέχει από τα ανθρακικά ορυκτά ασβεστίτη, δολομίτη και σε μικρότερο ποσοστό αραγωνίτη. Από τα αργιλικά ορυκτά περιέχει, επίσης, καολινίτη, χλωρίτη –

μοντμοριλονίτη, ιλλίτη – μοσχοβίτη, χαλαζία και αστρίους (Σχήμα 7-19).



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~60%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~20% και ~20% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

Δείγμα Δ8



Εικόνα 7-9: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ8" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ8" αντιστοιχεί σε μαργαϊκο ψαμμίτη που αποτελείται από χαλαζία, δολομίτη, αλβίτη, μοσχοβίτη και οξείδια σιδήρου (Εικόνα 7-9).

Η αξιολόγηση του ακτινοδιαγράμματος "Δ8" έδειξε ότι το υλικό περιέχει σε μεγάλο ποσοστό δολομίτη και ακολουθούν χαλαζίας και άστριοι. Περιέχει, επίσης, από τα αργιλικά ορυκτά καολινίτη, χλωρίτη – μοντμοριλονίτη, ιλλίτη – μοσχοβίτη, (Σχήμα 7-20).



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~55%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~15% και ~30% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

<u>Δείγμα Δ9</u>



Εικόνα 7-10: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ9" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ9" αντιστοιχεί σε τεφρή αργιλική μάργα που αποτελείται κύρια από χαλαζία, μικριτική ασβεστιτική μάζα και αργιλικά ορυκτά (Εικόνα 7-10).

Στο δείγμα, μετά από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ, ταυτοποιήθηκε, από τα ανθρακικά ορυκτά αραγωνίτης (~45%) και σε μικρότερο ποσοστό δολομίτης (d=2.89Å, 2.19Å, 1.79Å κλπ.) (Σχήμα 7-21). Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν καολινίτης, χλωρίτης –

μοντμοριλονίτης και ιλλίτης – μοσχοβίτης ενώ το υλικό περιέχει και χαλαζία και αστρίους.



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~45%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~35% και ~20% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

<u>Δείγμα Δ10</u>



Εικόνα 7-11: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "Δ10" (Nicols+).

Το δείγμα "Δ10" αφορά σε μαργαϊκο ψαμμίτη που αποτελείται από χαλαζία, εξαλλοιωμένο αλβίτη, χλωρίτη, επίδοτο, ασβεστίτη, δολομίτη, μοσχοβίτη, ακτινόλιθο, σερπεντίνη και πολλούς χρωμίτες (Εικόνα 7-11).

Στο δείγμα "Δ10", από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ βρέθηκε ότι το υλικό αποτελείται από ασβεστίτη, αραγωνίτη και δολομίτη, χαλαζία και αστρίους (Σχήμα 7-22). Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν καολινίτης, χλωρίτης – μοντμοριλονίτης και ιλλίτης –

μοσχοβίτης.



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~55%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~15% και ~30% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

Κατώτερη ενότητα κυανότεφρων μαργαϊκών οριζόντων

Από την αντίστοιχη ορυκτολογική μελέτη των δειγμάτων της Κατώτερης ενότητας των κυανότεφρων μαργαϊκών οριζόντων από την περιοχή της Κύμης, "ΓΣ2-2", "ΓΣ1-1", "ΓΣ1-2", "ΓΣ1-3", "ΓΣ1-4", "ΓΣ1-5", διαπιστώνονται τα ακόλουθα:

- Το υλικό αποτελείται από μικρότερο ποσοστό ανθρακικών ορυκτών (15%-45%) σε σύγκριση με αυτό των δειγμάτων της Ανώτερης ενότητας των κιτρινότεφρων μαργών. Περιέχει επίσης αργιλικά ορυκτά και άστριους.
- Τα παραπάνω δείγματα διαφοροποιούνται κύρια ως προς το είδος και το ποσοστό των ανθρακικών ορυκτών που συμμετέχουν.
- Για τον προσδιορισμό του ασβεστίτη (CaCO₃) χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (104) στα d=~3.03Å, (113) στα d=~2.29Å και (202) στα d=~2.09Å, ενώ για το δολομίτη [CaMg(CO₃)₂] χρησιμοποιήθηκε η ανάκλαση (104) στα d=~2.89Å.
- Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν ιλλίτης-μοσχοβίτης, καολινίτης, χλωρίτης και μοντμοριλλονίτης.
- Από τα μη αργιλικά ορυκτά επικρατούν ο χαλαζίας και άστριοι και από τα ανθρακικά ορυκτά προσδιορίστηκαν ασβεστίτης και δολομίτης. Σημαντική είναι η παρουσία μεταλλικών ορυκτών αλλά και οργανικών σε κάποια από τα δείγματα.
- Σε όλα τα εξετασθέντα δείγματα βρέθηκαν διογκούμενα ορυκτά.
- Ο ιλλίτης-μοσχοβίτης [K(Fe,Mg,Al)₂(Al,Si)₄O₁₀(OH)₂] προσδιορίστηκε με βάση τις κύριες ανακλάσεις του (001) στα d=~10Å και (003) στα d=~3.34Å.
- Ο καολινίτης [Al₂Si₂O₅(OH)₄] εμφανίζει τις χαρακτηριστικές ανακλάσεις (001) στα d=~7.1Å και (002) στα d=~3.5Å, ενώ ο χλωρίτης [(Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈] τις (001) στα d=~14Å και (002) στα d=~7Å.
- Η ύπαρξη διογκούμενων ορυκτών διαπιστώνεται με βάση τη χαρακτηριστική μετατόπιση της κύριας ανάκλασης του μοντμοριλλονίτη (100) από τα d=~14Å προς τις μικρότερες γωνίες 2θ (d=~17Å).
- Για τον προσδιορισμό του χαλαζία (SiO₂), ο οποίος απαντά σε όλα τα δείγματα, χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (101) στα d=3.34Å και (100) στα d=~4.26Å.
- Για τον προσδιορισμό των αστρίων [(K,Na)AlSi₃O₈] χρησιμοποιήθηκαν οι ανακλάσεις (002) στα d=~3.19 Å και (220) στα d=~3.24 Å.


Εικόνα 7-12: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ2-2" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ2-2" αντιστοιχεί σε μελανότεφρη ψαμμιτική μάργα (Εικόνα 7-12). Από την ανάλυση με περιθλασιμετρία ακτίνων Χ ταυτοποιήθηκε ασβεστίτης σε μικριτική και μικροκρυσταλλική μορφή, δολομίτης, χαλαζίας σε κοκκώδεις και μικροκοκκώδεις μορφές, άστριοι με σύσταση που εξαλλοιώνονται σε καολινίτη ή/και σερικίτημοσχοβίτη. Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιείται καολινίτης, ιλλίτης - μοσχοβίτης και χλωρίτης – μοντμοριλλονίτης (Σχήμα 7-23).

Πυρόξενοι σε υπιδιόμορφους κρυστάλλους, εξαλλοιωμένοι κατά θέσεις σε χλωρίτη και μοσχοβίτης συμπληρώνουν την ορυκτολογική σύσταση, ενώ το υλικό περιέχει και μεταλλικά ορυκτά σύστασης μαγνητίτη.



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~40%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~20% και ~40% για τα υπόλοιπα ορυκτά.



Εικόνα 7-13: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-1" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ1-1" αντιστοιχεί σε ψαμμιτική μάργα (Εικόνα 7-13).

Τα ορυκτά που ταυτοποιήθηκαν είναι, από τα ανθρακικά ορυκτά, δολομίτης και ασβεστίτης σε μικριτική, μικροκρυσταλλική μάζα.

Από τα αργιλικά ορυκτά ταυτοποιείται καολινίτης, ιλλίτης μοσχοβίτης και *χ*λωρίτης μοντμοριλλονίτης. Την κύρια ορυκτολογική σύσταση συμπληρώνουν χαλαζίας, αλβίτης, πυρόξενοι και μοσχοβίτης που θέσεις κατά

εξαλλοιώνεται σε χλωρίτη (Σχήμα 7-24).

Επίσης διακρίνονται μεταλλικά ορυκτά σύστασης μαγνητίτη. Το πηλιτικό υλικό που παρατηρείται αποτελείται από χαλαζία, αστρίους, μαρμαρυγία και υψηλό ποσοστό αργιλικών ορυκτών καθώς και μικρό ποσοστό οργανικού υλικού.



Σχήμα 7-23: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος. "ΓΣ1-1".

 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~25%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~25% και ~50% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

<u>Δείγμα ΓΣ1-2</u>



Εικόνα 7-14: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-2" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ1-2" αντιστοιχεί σε μελανότεφρη μάργα (Εικόνα 7-14).

Αποτελείται από χαλαζία, άστριους, μαρμαρυγίες, χλωρίτη, ασβεστίτη, δολομίτη και από αργιλικά ορυκτά όπως ιλλίτη - μοσχοβίτη, καολινίτη και χλωρίτη - μοντμοριλλονίτη σε υψηλό ποσοστό (Σχήμα 7-25).

Το ψαμμιτικό τμήμα αποτελείται από θραύσματα πετρωμάτων και θραύσματα ορυκτών καθώς και από ασβεστιτική συγκολλητική ύλη.

Παρατηρείται επίσης απόθεση οργανικής ύλης



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~15%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~30% και ~55% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

καθώς και αδιαφανή ορυκτά.



Εικόνα 7-15: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-3" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ1-3" αντιστοιχεί σε μελανότεφρη ψαμμιτική μάργα (Εικόνα 7-15).

Αποτελείται από κόκκους χαλαζία, αστρίων, μαρμαρυγία (μοσχοβίτη ή/και σερικίτη), χλωρίτη, ασβεστίτη, δολομίτη, μαγνητίτη και από τα αργιλικά ορυκτά από ιλλίτη - μοσχοβίτη, καολινίτη και χλωρίτη – μοντμοριλλονίτη (Σχήμα 7-26). Επίσης, το ψαμμιτικό τμήμα αποτελείται από αποστρογγυλεμένους κόκκους χαλαζία, αστρίων, μαρμαρυγία, αργιλικά ορυκτά και

θραύσματα πετρωμάτων μέσα σε συγκολλητική ασβεστιτική ύλη.

Παρατηρείται επίσης απόθεση οργανικής ύλης.



 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~25%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~25% και ~50% για τα υπόλοιπα ορυκτά.



Εικόνα 7-16: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-4" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ1-4" αντιστοιχεί σε μελανότεφρη μάργα που αποτελείται από ασβεστίτη και δολομίτη σε μικριτική και μικροκρυσταλλική μορφή, χαλαζία, άστριους, πυρόξενους και μοσχοβίτη (Εικόνα 7-16, Σχήμα 7-27).

Από τα αργιλικά ορυκτά απαντώνται ιλλίτης μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης μοντμοριλλονίτης σε φυλλώδεις κρυστάλλους ως προϊόντα αποσάθρωσης, ενώ κατά θέσεις διακρίνονται και αδιαφανή ορυκτά.

Το συγκολλητικό υλικό είναι ασβεστιτικής σύστασης ενώ απαντούν κλαστικά υλικά που είναι τόσο πετρώματα όσο και ορυκτά και κατά θέσεις διακρίνονται αδιαφανή ορυκτά αλλά και οργανικά.



Σχήμα 7-26: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "ΓΣ1-4".

 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~20%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~25% και ~55% για τα υπόλοιπα ορυκτά.



Εικόνα 7-17: Φωτογραφία από οπτικό μικροσκόπιο του δείγματος "ΓΣ1-5" (Nicols+).

Το δείγμα "ΓΣ1-5" αντιστοιχεί σε μελανότεφρη μάργα (Εικόνα 7-17).

Από τα ανθρακικά ορυκτά ταυτοποιήθηκαν κυρίως ασβεστίτης και δολομίτης σε μικριτική και μικροκρυσταλλική μάζα (Σχήμα 7-28).

Χαλαζίας, άστριοι σε ιδιόμορφους-υπιδιόμορφους κρυστάλλους με σύσταση κυρίως αλβίτη που εξαλλοιώνονται σε καολινίτη ή/και σερικίτημοσχοβίτη, πυρόξενοι και μαρμαρυγίες συμπληρώνουν την ορυκτολογική σύσταση.

Από τα αργιλικά ορυκτά ανιχνεύτηκε ιλλίτης - μοσχοβίτης, καολινίτης και χλωρίτης - μοντμοριλλονίτης σε φυλλώδεις κρυστάλλους ως προϊόντα αποσάθρωσης, ενώ κατά θέσεις διακρίνονται και αδιαφανή ορυκτά.



Σχήμα 7-27: Διάγραμμα περιθλασιμετρίας ακτίνων-Χ του δείγματος "ΓΣ1-5".

 Η ημιποσοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο δείγμα έδειξε για τα ποσοστά ανθρακικών ορυκτών ποσοστό ~45%, για τα αργιλικά ορυκτά βρέθηκε ποσοστό ~15% και ~40% για τα υπόλοιπα ορυκτά.

7.3 Εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού φυσικών και μηχανικών παραμέτρων

7.3.1 Δοκιμή ανθεκτικότητας στη διάβρωση

Η αντοχή στη διάβρωση, είναι μια σημαντική ιδιότητα των πετρωμάτων (Franklin & Chandra, 1972, Rodrigues, 1991; Rodigues, 1993; Dick & Shakoor, 1995; Gockeoglou et al., 2000; Dhakal et al., 2002, 2004; Yilmaz & Karacan, 2005; Singh et al., 2005). Διακρίνεται σαφώς από την αποσαθρωσιμότητα του σχηματισμού, δηλαδή τη δυνατότητα να υποστεί ο σχηματισμός μεταβολές σε βραχύ χρονικό διάστημα (Franklin & Chandra, 1972).

Οι μεταβολές οι οποίες επηρεάζουν την αντοχή στη διάβρωση των σχηματισμών, είναι δυνατόν να προκύψουν από ποικίλες διεργασίες όπως ηλιακή θέρμανση, απόπλυση, διάλυση - χημικές αλλαγές, δράση παγετού, αλλά κυρίως κλιματικές εναλλαγές υγρασίαςξηρασίας. Η γνώση της επίδρασης τέτοιων κλιματικών μεταβολών στην χαλάρωση αργιλικών κυρίως πετρωμάτων, (π.χ. αργιλικοί σχιστόλιθοι, σχιστόλιθοι κλπ.) με μειωμένες μηχανικές παραμέτρους, είναι σημαντική από γεωτεχνικής πλευράς. Έτσι οι *Franklin & Chandra* (1972), ανέπτυξαν και περιέγραψαν τη δοκιμή διαβρωσιμότητας (*Slake - durability test*) για τον προσδιορισμό της ανθεκτικότητας ενός σχηματισμού στη χαλάρωση και υποβάθμιση, που οφείλεται σε κλιματικές μεταβολές ύγρανσης και ξήρανσης. Επιπρόσθετα, πρόσφατες έρευνες έχουν συσχετίσει άμεσα τη γεωτεχνική συμπεριφορά χαλαρών αργιλικών πετρωμάτων, αλλά και ιλυολίθων, με το δείκτη διαβρωσιμότητας (*Martvnez-Bofill et al., 2004; Bell., et al, 1997*).

Σύμφωνα με τη δοκιμή διαβρωσιμότητας, προσδιορίζεται η ανθεκτικότητα του δοκιμίου σε τρεις τουλάχιστον διαδοχικούς κύκλους ύγρανσης-ξήρανσης, που ποσοτικά εκφράζεται με το δείκτη διαβρωσιμότητας του δεύτερου κύκλου (Id₂). Μια από τις βασικές απαιτήσεις της δοκιμής διαβρωσιμότητας (ISRM, 1981; ASTM, 1990) είναι η επίτευξη σφαιρικότητας των δοκιμίων, όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτική, κάθε ένα από τα οποία θα πρέπει να ζυγίζει 40gr – 60gr. Οι Kolay & Kayabali (2006) ανέδειζαν τη σπουδαιότητα της σφαιρικότητας του δοκιμίου, πραγματοποιώντας μετρήσεις του δείκτη διαβρωσιμότητας του δοκιμίων, άσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτική κάθε ένα από τα οποία θα πρέπει να ζυγίζει 40gr – 60gr. Οι Kolay & Kayabali (2006) ανέδειζαν τη σπουδαιότητα της σφαιρικότητας του δοκιμίου, πραγματοποιώντας μετρήσεις του δείκτη διαβρωσιμότητας (Id₂) σε γωνιώδη, υπογωνιώδη και σφαιρικά δοκίμια ποικίλων τύπων πετρωμάτων. Δεδομένου ότι η αντοχή σε αποσαθρωτικούς και διαβρωτικούς παράγοντες εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως ο τύπος του πετρώματος, ο βαθμός της διάβρωσης, η ορυκτολογική σύσταση, η δομή και ο ιστός του πετρώματος, οι απαιτήσεις που αφορούν στην προετοιμασία των εδαφικών σχηματισμών ελάχιστα επηρεάζουν την τιμή του δείκτη διαβρωσιμότητας. Με βάση τις τιμές του δείκτη αυτού και την εμπειρία τους οι Franklin & Chandra (1972), έδωσαν μία πρώτη ταζινόμηση της ανθεκτικότητας με όρους όπως "υψηλή", "μέση" κλπ. (Πίνακας 7-1).

Διάκριση ανθεκτικότητας	Δείκτης διαβρωσιμότητας Ιd₂(%)
Πολύ χαμηλή	0-25
Χαμηλή	25 - 50
Μέτρια	50 - 75
Υψηλή	75 - 90
Πολύ υψηλή	90 - 95
Πάρα πολύ υψηλή	95 - 100

Πίνακας 7-1: Ταξινόμηση της ανθεκτικότητας με βάση το δείκτη διαβρωσιμότητας (Franklin & Chandra, 1972).

Σύμφωνα με τον πίνακα αυτό, οι ίδιοι συγγραφείς δέχονται ότι οι σχηματισμοί που εμφανίζουν δείκτη διαβρωσιμότητας από 90%-100% είναι δυνατόν να χαρακτηρισθούν "βραχώδεις", ενώ αυτοί με χαμηλότερες τιμές "εδαφικοί". Αυτή βέβαια η πρώτη διάκριση, δεν είναι ''απόλυτη'' για όλους τους σχηματισμούς σε όλες τις περιοχές της γης με τις τόσο έντονες κλιματικές μεταβολές. Συνεπώς, πολλές προσπάθειες και σειρές δοκιμών θα απαιτηθούν ακόμη, για να βρεθούν τα πραγματικά όρια διάκρισης βράχων και εδαφών, ιδιαίτερα τώρα, που έχει προστεθεί στο διαχωρισμό των σχηματισμών και η κατηγορία των μαλακών βράχων – σκληρών εδαφών.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 7-29 παρουσιάζεται η συσχέτιση ανάμεσα στους κύκλους της δοκιμής διαβρωσιμότητας και τους αντίστοιχους δείκτες διάβρωσιμότητας Id₁, Id₂ και Id₃ για όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν πετρογραφικά.



Σχήμα 7-28: Συγκεντρωτικό διάγραμμα σχέσης δεικτών ανθεκτικότητας στη διάβρωση για τους τρεις κύκλους διάβρωσης της δοκιμής.

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής προέκυψε ότι οι μάργες της Κύμης ανήκουν σύμφωνα με τους *Franklin & Chandra* (1972), στην κατηγορία της μέτρια ως πολύ υψηλής ανθεκτικότητας, με εξαίρεση ένα δείγμα στο οποίο ο δείκτης διαβρωσιμότητας βρέθηκε 0.2% και το οποίο χαρακτηρίζεται από έντονη αποσαθρωσιμότητα καθώς και από το υψηλότερο ποσοστό αργιλικών ορυκτών (~40%) συγκριτικά με τα άλλα δείγματα που εξετάστηκαν (Πίνακας 7-2). Τα δείγματα της μέτριας ανθεκτικότητας στη διάβρωση παρουσιάζουν, όπως αναμενόταν, οι υποκείμενες ψαμμιτικές τεφρές - μελανότεφρες μάργες που χαρακτηρίζονται από μικριτική δομή, παρουσία οργανικής ύλης και υψηλότερο ποσοστό διογκούμενων αργιλικών ορυκτών.

Δείγμα	Id1 (%)	Id2 (%)	Id3 (%)
Δ1	95.56	94.08	93.38
Δ2	0.16	0.2	0.25
Δ3	85.19	75.05	67.29
$\Delta 4$	93.1	89.48	86.22
Δ5	95.8	94.38	90.05
Δ6	98.98	98.54	98.19
Δ7	75.09	61.39	54.67
$\Delta 8$	95.42	92.23	89.67
Δ9	90.61	81.23	69.03
Δ10	97.88	93.56	89.47
ΓΣ2-2	85.14	75.93	68.61
ΓΣ1-1	86.55	77.23	70.28
ΓΣ1-2	88.62	80.31	68.16
ΓΣ1-3	72.42	60.22	54.27
ΓΣ1-4	91.66	82.45	71.13
ΓΣ1-5	88.87	78.31	70.62

Πίνακας 7-2: Τιμές δεικτών <u>διαβρωσιμότητας για τις μάργες Κύμης.</u>

7.3.2 Κοκκομετρική διαβάθμιση

Ο προσδιορισμός της κοκκομετρικής διαβάθμισης αποτελεί τη βάση για την ταξινόμηση των εδαφικών υλικών και την εκτίμηση των φυσικών χαρακτηριστικών τους.

Για το σκοπό αυτό, συγκεντρώθηκαν τα δείγματα από τις διάφορες θέσεις δειγματοληψίας και ακολουθώντας την ξηρή μέθοδο, ξηράνθηκαν σε φούρνο για 12 έως 24 ώρες στους 105^{0} C. Στη συνέχεια, θραύτηκαν τα συσσωματώματα πολύ προσεκτικά σε γουδί, έτσι ώστε να απομονωθούν οι κόκκοι πριν περάσει το δείγμα από τα κόσκινα. Στην προκειμένη περίπτωση τα κόσκινα που χρησιμοποιήθηκαν είναι το № 10, το № 40 και το № 200. Κατόπιν, τα δείγματα ζυγίστηκαν για κοσκίνισμα και μετά από 10min δόνηση σε κάθε κόσκινο, προσδιορίστηκε η εδαφική μάζα που συγκρατήθηκε σε καθένα από τα κόσκινα (Πίνακας 7-3).

Στην περίπτωση που χρειάστηκε η διάκριση αργίλου – ιλύος, εφαρμόστηκε η υδραυλική δοκιμή (μέθοδος καθίζησης ή *Stokes*), η οποία βασίζεται στην ανάλυση με τη χρήση πυκνομέτρου ή και αραιόμετρου. Η μέθοδος αυτή πραγματοποιήθηκε στα ίδια εδαφικά δείγματα με την κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα και βασίζεται στην αρχή της κατακρήμνισης εδαφικών κόκκων στο νερό. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ογκομετρικό κύλινδρο 1000ml. Το κάθε δείγμα ήταν αντιπροσωπευτικό και αποτελούνταν από 50gr, ξηραμένο για 24 ώρες και διερχόμενο από το κόσκινο № 10.

Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με την κατασκευή του συγκεντρωτικού διαγράμματος κοκκομετρικών καμπύλων του Σχήματος 7-30, ενώ στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των εδαφών με βάση το Ενοποιημένο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών κατά USCS.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχήμα 7-31) διακρίνεται ο σαφής διαχωρισμός σε δύο ενότητες.

Αυτή της Ανώτερης ενότητας των κιτρινόφαιων έως τεφρών – τεφροκίτρινων μαργών με τα δείγματα να χαρακτηρίζονται στο μεγαλύτερο ποσοστό ως CL και ML με λιγότερα δείγματα να χαρακτηρίζονται ως GH, GM και SC.

Η Κατώτερη στρωματογραφικά ενότητα των λευκότεφρων – μελανότεφρων μαργών χαρακτηρίζεται στην πλειονότητα των δειγμάτων ως GC, SC και ακολοθούν τα CL.

	Δείγμα	Βάθη (m)	Περιγραφη πετρώματος/ Κατάταξη AUSCS	Φυσική υγρασία (%)	Χαλίκια (%)	Аµµоς (%)	Ιλύς-Άργιλος (%)	LL (%)	PL (%)	РІ (%)
	ГК1-2	2-2.35	E3/CL	23.47	-	2	98	40.47	21.88	18.59
	ГК1-3	4.5-5	E3/CL	-	-	11	89	31.15	17.68	13.47
>	ГК1-4	6.8-7.2	E3/GH	-	15	4	81	51.8	27.77	24.03
λų	ГК2-2	2-2.3	E3/CL	30.47	2	14	84	38.47	21.55	16.92
da	ГК4-1	0.45-1	E3/ CL	18.84	9	22	69	31.84	18.98	12.86
2	ГК4-2	1.3-1.7	E3/ CL	19.75	-	1	99	42.75	23.97	18.78
ъd	ГК4-3	2.6-2.9	E3/ CL	21.8	-	1	99	43.8	25.15	18.65
b 31	ГК4-4	4.2-4.5	E3/ CL	25.25	-	1	99	47.25	24.55	22.7
ινǫ́	ГК4-5	7.7-7.8	E3/ CL	24.47	-	7	93	38.47	21.32	17.15
цтр	ГК4-6	12.9-13.2	E3/ CL	16.13	-	9	91	33.13	19.52	13.61
¥	ГК5-1	0.6-0.9	E3/CL	24.35	-	5	95	35.35	19.98	15.37
, No	ГК5-2	1.6-2	E3/CL	17.75	-	2	98	32.75	19.97	12.78
bpc	ГК5-3	4-4.5	E3/CL	-	-	7	93	39.22	20.75	18.47
12	ГК5-4	6.5-6.9	E3/CL	18.68	-	1	99	39.68	22.55	17.13
τα	ГВ1-2	6.4-6.8	E4/ML	21.45	2.6	4.2	93.2	28.15	14.65	13.5
0 Մ	ГВ2-1	1-1.2	E5 /ML	23.95	6.7	8.9	84.4	41.55	25.38	16.17
Ę	ГВ3-1	3.3-3.6	E6/ML	17.77	8.9	16.7	74.4	30.47	22.18	8.29
μ	ГВ4-1	2.4-2.7	E6/ML	18.25	17	13.6	69.4	33.45	25.27	8.18
ύτε	ГВ4-2	3.5-3.9	E6/ML	19.75	9.1	14.5	76.4	35.25	23.85	11.4
Avc.	ГВ5-1	4.9-5.3	E6/ML	33.92	1.7	7	91.3	38.22	25.75	12.47
7	ГВ6-1	1.8-2	E6/ML	26.88	0.5	13.1	86.4	42.68	29.15	13.53
	ГВ6-2	4.5-4.9	E6/CL	25.45	18.4	11.2	70.4	36.65	24.15	12.5
	ГВ7-1	2.2-2.6	E6/CL	13.85	15.2	10.6	74.2	35.65	20.38	15.27
1	ΓΣ3-1	1.5-2	E1/CL2a	22.65	32	16	52	35.25	20.2	15.05
AG.	ΓΣ4-1	5-8.5	E2/CL1	20.87	29	15	56	27.47	14.92	12.55
đđ.	ΓΣ7-1	10.0-11.0	E2/CL2a	22.25	25	23,6	51,4	35.65	18.29	17.36
Ĵτε 'ŵ	ΓΣ8-1	0.8-2	E2/CL2a	27.3	31	10,1	58,9	35.2	18.08	17.12
ък вру	ΓΣ8-2	7.6-8.5	E2/GC	18.05	34	19	47	35.55	15.2	20.35
v µ	ΓΣ8-3	23-24	E1/GC	23.45	38	15	47	40.75	19.63	21.12
110	ΓΣ9-1	3.5-4	E2 /SC	22.02	26	32	42	37.42	17.17	20.25
10 20	ΓΣ9-2	16.8-2	E1/GC	12.18	32	27	41	26.18	9.21	16.97
εν [°] vóτ	ΓΣ9-3	22-22.5	E1/GC	19.05	44	17	39	38.75	16.79	21.96
եր	ГК1-1	0.6-0.9	E2/ GC	-	32	19	49	34.35	19.25	15.1
ÚТЕ К	ГК2-1	0.3-0.6	E2/SC	-	23	29	48	33.25	19.15	14.1
ατί	ГК2-3	2.6-3	E2/GC	24.13	28	24	48	36.13	22.32	13.81
K	ГК3-1	0.6-1	E2/GC	18.04	42	16	42	29.04	18.52	10.52

Πίνακας 7-3: Φυσικές ιδιότητες εδαφικών σχηματισμών

Όπου: Ε1: Εξαλλοιωμένη τεφρή – μελανότεφρη αργιλομάργα, Ε2: Εξαλλοιωμένη λευκή – λευκότεφρη μάργα, E3: Τεφρή αργιλομάργα μέσης πλαστικότητας, Ε4: Τεφρή ιλυώδης μάργα, Ε5: Τεφρή αποσαθρωμένη φυλλώδης μάργα, Ε6: Εξαλλοιωμένη κιτρινότεφρη μάργα.



Σχήμα 7-30: Συγκεντρωτικό διάγραμμα καμπύλων κοκκομετρικής διαβάθμισης με τη διάκριση των δύο ενοτήτων.

Είναι εμφανής η διάκριση των δύο ενοτήτων και ως προς τη διαβάθμιση της κοκκομετρίας τους.

Η Ανώτερη στρωματογραφικά ενότητα των κιτρινότεφρων μαργών εμφανίζεται περισσότερο ασυνεχής ως προς τη διαβάθμιση των κόκκων, σε σχέση με την Κατώτερη ενότητα των λευκότεφρων – μελανότεφρων μαργών στις οποίες διαφαίνεται μια σχετικά καλή διαβάθμιση.

Η καλή διαβάθμιση υποδηλώνει ότι οι μάργες της Κατώτερης ενότητας συνιστούν σχετικά σταθερό έδαφος που μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να παρουσιάσει σημαντική αντοχή στη διάτμηση. Αντίθετα, η ασυνεχής διαβάθμιση της Ανώτερης ενότητας συνιστά έδαφος με πτωχή διαβάθμιση, στο οποίο δεν επαρκεί η ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά των μεγαλύτερων κόκκων με αποτέλεσμα μετά τη συμπύκνωση να έχει ανοιχτή πορώδη δομή και να είναι ευαίσθητο σε υδραυλικές υποσκαφές.

Στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, για την πληρέστερη αποτύπωση της γεωτεχνικής συμπεριφοράς των μαργών που εξετάζονται, πραγματοποιήθηκε, όπως προαναφέρθηκε στην εισαγωγή του κεφαλαίου, αποδελτίωση γεωτρήσεων προγενέστερων γεωτεχνικών ερευνών, οι οποίες παραχωρήθηκαν από τη Δ/νση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας, καθώς και από το Κεντρικό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων.

Στο Σχήμα 7-32 αποτυπώνονται οι κοκκομετρικές καμπύλες που προέκυψαν από την αποδελτίωση των υφιστάμενων γεωτρήσεων των προγενέστερων ερευνών που αφορούσαν κυρίως σε ερευνητικές και δειγματοληπτικές γεωτρήσεις οι οποίες είχαν διατρήσει εναλλαγές τεφρών – πρασινότεφρων – λευκότεφρων και μελανότεφρων μαργών, στα πλαίσια κατασκευής του λιμανιού Κύμης αλλά και σε τοπικές αστοχίες πρανών στην ευρύτερη περιοχή έρευνας.



Σχήμα 7-31: Συγκεντρωτικό διάγραμμα καμπύλων κοκκομετρικής διαβάθμισης που προέκυψαν από την αποδελτίωση υφιστάμενων γεωτρήσεων προγενέστερων ερευνών.

Συγκρίνοντας τα διαγράμματα των Σχημάτων 7-31 και 7-32, παρατηρείται εμφανής ομοιότητα στις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις που προέκυψαν, κυρίως ως προς τη διάκριση μεταξύ των τεφρών μαργών όλων των αποχρώσεων, με τις κατώτερες μελανότεφρες μάργες. Διαπιστώνεται επίσης ανομοιογένεια στις κοκκομετρικές διαβαθμίσεις των λευκότεφρων μαργών και γενικά όλων των αποχρώσεων των τεφρών μαργών που εξετάστηκαν τόσο στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής όσο και αυτών που προέκυψαν από την αποδελτίωση των γεωτρήσεων. Η ανομοιογένεια στις διαβαθμίσεις αυτές επηρεάζει σημαντικά την τεχνικογεωλογική τους συμπεριφορά, ιδιαίτερα σε σχέση με τις κατασκευές τεχνικών έργων.

7.3.3 Προσδιορισμός ορίων συνεκτικότητας

Γενικά η συνεκτικότητα σε ένα λεπτόκοκκο έδαφος αναφέρεται στην ικανότητα αναζύμωσής του κάτω από διάφορες περιεκτικότητες σε νερό, χωρίς να ρωγματώνεται και αυτή η ικανότητα οφείλεται στο προσροφημένο νερό που περιβάλλει τα αργιλικά τεμαχίδια. Εκτός από το ποσοστό υγρασίας και την περιεκτικότητα σε άργιλο ενός εδάφους, η συνεκτικότητα αυτού εξαρτάται ακόμα από:

- Τον τύπο του αργιλικού ορυκτού: οι μοντμοριλλονίτες προκαλούν μεγαλύτερη συνεκτικότητα από ότι οι καολινίτες.
- Την υφή: η συνεκτικότητα αυξάνεται με τη μείωση του μεγέθους των κόκκων.
- Το οργανικό υλικό: προσδίδει μεγαλύτερη συνεκτικότητα από ότι η άμμος και η ιλύς, αλλά λιγότερη από την άργιλο.
- Τη δομή: ένα απλό έδαφος έχει περισσότερη συνοχή απ' ότι ένα καλά συσσωματωμένο, γιατί έχει περισσότερες επιφάνειες επαφής μεταξύ των μεμονωμένων τεμαχιδίων.

Ο καθορισμός της συνεκτικότητας των εδαφών είναι αναγκαίος όχι μόνο για την κατάταξή τους, η οποία δεν γίνεται μόνο βάσει της υφής, αλλά και για τον έλεγχο της μηχανικής τους συμπεριφοράς.

Στις αρχές του 1900 ο Σουηδός επιστήμονας Atterberg ανέπτυξε μία μέθοδο για να περιγράψει τη συνεκτικότητα των εδαφών κάτω από διάφορα ποσοστά υγρασίας. Διέκρινε αυθαίρετα τέσσερις καταστάσεις στις οποίες μπορεί να υφίσταται το έδαφος ανάλογα με το ποσοστό περιεχόμενης υγρασίας: ρευστή, πλαστική, ημιστερεή και στερεή. Τα όρια μεταξύ των παραπάνω καταστάσεων είναι γνωστά σαν όρια Atterberg ή όρια συνεκτικότητας (όρια υδαρότητας, πλαστικότητας και συρρίκνωσης) και περιγράφουν την μετάπτωση του εδάφους από την υγρή στην πλαστική και στην συνέχεια στην ημιστερεή και στην στερεή κατάσταση, σύμφωνα με τα ποσοστά της περιεχόμενης υγρασίας. Δείχνουν ουσιαστικά την συμπεριφορά ενός εδάφους ανάλογα με την μεταβολή της περιεχόμενης υγρασίας και καταδεικνύουν αν κάποιο έδαφος είναι ευαίσθητο στις

μεταβολές της υγρασίας, χαρακτηριστικό που είναι υψηλού ενδιαφέροντος για υλικά που χρησιμοποιούνται σε τεχνικά έργα.

Το περιεχόμενο υγρασίας στο οποίο το έδαφος σταματά να συμπεριφέρεται σαν υγρό και αρχίζει να συμπεριφέρεται σαν πλαστικό υλικό που μπορεί να πάρει παραμορφώσεις, είναι γνωστό σαν όριο υδαρότητας (*Liquid Limit, LL*). Το όριο μεταξύ της πλαστικής και ψαθυρής αστοχίας είναι γνωστό σαν όριο πλαστικότητας (*Plastic Limit, PL*).

Για τον υπολογισμό του ορίου υδαρότητας στα δείγματα που μελετήθηκαν, ελήφθησαν 100gr ξηραμένου δείγματος και διερχόμενου από το κόσκινο № 40. Το δείγμα αυτό τοποθετήθηκε σε κάψα και προστέθηκε απεσταγμένο νερό οπότε δημιουργήθηκε πάστα η οποία και τοποθετήθηκε στην συσκευή Cassagrande. Με το εργαλείο χαραγής δημιουργήθηκε μια χαραγή στον εδαφικό πλακούντα και έπειτα μετρήθηκαν οι χτύποι ώστε η χαραγή αυτή να κλείσει. Το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας που απαιτείται για να κλείσει η χαραγή στο μέσο του πυθμένα της κατά 12.7mm μετά από 25 χτύπους, ορίζεται σαν όριο υδαρότητας.

Για τον υπολογισμό του ορίου πλαστικότητας απαιτήθηκε ποσότητα ξηραμένου εδάφους 20gr διερχόμενου από το κόσκινο № 40. Στην συνέχεια αναμιγνυόταν το δείγμα με απεσταγμένο νερό και δημιουργούταν ένας βώλος ο οποίος ωρίμαζε στον υγραντήρα για 30 λεπτά. Στην συνέχεια δημιουργούνταν ραβδίσκοι διαμέτρου 3mm. Όταν αυτοί άρχιζαν να ρηγματώνονται μετριόταν η υγρασία τους.

Από τα αποτελέσματα του ορίου υδαρότητας και του δείκτη πλαστικότητας για τα δείγματα που ελήφθησαν από την περιοχή της Κύμης, προέκυψε το διάγραμμα του Σχήματος 7-33, όπου αποτυπώνεται η σχέση μεταξύ του ορίου υδαρότητας (LL) και του δείκτη πλαστικότητας (PI), με τη μορφή του "χάρτη πλαστικότητας του Casagrande" (*Casagrande, 1932*). Η προβολή του σημείου με συντεταγμένες (LL, PI) του εδάφους στο χάρτη πλαστικότητας, δίνει την ταξινόμηση του λεπτόκοκκου εδάφους, ανάλογα με την περιοχή που αυτό προβάλλεται στο διάγραμμα, πάντα σε σχέση με τη γραμμή "A" που αποτελεί την ευθεία που δίνεται από τη σχέση PI=0.73(LL-20) με αρχή το σημείο με συντεταγμένες LL=25.5 και PI=4.

Όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν διαπιστώθηκε ότι βρίσκονται κάτω από τη γραμμή "U" που ορίζεται από τη σχέση PI=0.9 (LL-8) και ανήκουν στην περιοχή CL-OL και ML – OL, ανήκουν δηλαδή στα συνεκτικά εδάφη και χαρακτηρίζονται σαν άργιλοι και ιλύες χαμηλής πλαστικότητας.



Η παραπάνω εικόνα, σε ότι αφορά την αποτύπωση της συμπεριφοράς των υπό μελέτη σχηματισμών στις μεταβολές της περιεχόμενης υγρασίας, επιβεβαιώθηκε από το αντίστοιχο διάγραμμα πλαστικότητας CASAGRANDE που κατασκευάστηκε μετά την αποδελτίωση των γεωτρήσεων των προγενέστερων γεωτεχνικών μελετών (Σχήμα 7-34).



Σχήμα 7-33: Διάγραμμα πλαστικότητας CASAGRANDE για τις μάργες Κύμης που προέκυψε από την αποδελτίωση υφιστάμενων γεωτρήσεων προγενέστερων ερευνών.

7.3.4 Περιεχόμενη υγρασία

Η περιεχόμενη υγρασία (moisture content) μιας εδαφικής μάζας καθορίζεται σαν ο λόγος (εκφρασμένος επί τοις εκατό) του βάρους του νερού που περιέχει προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους.

Η φυσική υγρασία αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς φυσικούς χαρακτήρες των εδαφικών σχηματισμών λαμβανομένων, είτε σαν υλικά κατασκευής, είτε σαν συστατικά του χώρου θεμελίωσης και επηρεάζει τις διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής των διαφόρων τεχνικών έργων (Ρόζος, 1989). Η φυσική υγρασία για το σύνολο των δειγμάτων που μελετήθηκαν κυμαίνεται από 12.2% έως 34% με μέση τιμή 21.6%.

Πιο συγκεκριμένα, για τις μελανότεφρες, η φυσική υγρασία κυμαίνεται από 12.2% - 23.45% με μέσο όρο 19.33%. Οι λευκότεφρες – τεφρές μάργες κυμαίνονται από 17% - 30% με μέσο όρο 22%, ενώ οι κιτρινότεφρες από 14% - 34% με μέσο όρο 22.26%.

7.3.5 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης

Η δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης έχει ως στόχο την προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός κορεσμένου αργιλικού υλικού κατά την επιβολή θλιπτικής τάσης. Η διαδικασία της στερεοποίησης συμβαίνει κατά τη διάρκεια του σχηματισμού ενός εδάφους και η τρέχουσα κατάστασή του σχετίζεται με την προηγούμενη ιστορία απόθεσης και διάβρωσής του (*Barnes, 2000*).

Η μονοδιάστατη συμπίεση αποτελεί τον συνήθη τρόπο παραμόρφωσης των εδαφικών υλικών, καθώς συμβαίνει κατά τα στάδια της ιζηματογένεσης με την απόθεση διαφόρων αυτών σε οριζόντιες στρώσεις εκτάσεων, με αποτέλεσμα την επαναλαμβανόμενη εναπόθεση των υπερκείμενων στρωμάτων επί των υποκείμενων εδαφικών αποθέσεων και την συνεπακόλουθη συμπίεση κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Ο τύπος αυτής της παραμόρφωσης συναντάται αρκετά συχνά στις κατασκευές τεχνικών έργων, με τις κατακόρυφες φορτίσεις μεγάλης έκτασης σε οριζόντιες εδαφικές στρώσεις. να οδηγούν τελικά σε μονοδιάστατη συμπίεση (Καββαδάς, 2006).

Η πρακτική εφαρμογή της γνώσης του μηχανισμού στερεοποίησης, αφορά στις εδαφικές καθιζήσεις που προκύπτουν έπειτα από την εφαρμογή του φορτίου μιας κατασκευής ενός τεχνικού έργου, ιδιαίτερα όταν πρόκειται για σχηματισμούς με μικρή υδροπερατότητα όπως είναι οι αργιλομαργαϊκοί ορίζοντες που εξετάζονται. Στα εδάφη αυτά, ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της στερεοποίησης και κατ' επέκταση της καθίζησης, είναι σημαντικός, σε αντίθεση με τα περισσότερο υδροπερατά εδάφη στα οποία η αποστράγγιση του νερού γίνεται ταχύτατα.

Στην περίπτωση κορεσμένων εδαφικών σχηματισμών, ένα κατά το δυνατόν αδιατάρακτο δείγμα της συμπιεστής εδαφικής στρώσης κόβεται προσεκτικά και τοποθετείται σε κυλινδρικό δακτύλιο ο οποίος είναι αρκετά άκαμπτος, ώστε κατά την κατακόρυφη φόρτιση του δοκιμίου να εξασφαλίζεται η μη-παραμόρφωσή του στην οριζόντια διεύθυνση. Πάνω και κάτω από το δοκίμιο τοποθετούνται πορώδεις δίσκοι, οι οποίοι επιτρέπουν την ελεύθερη στράγγιση από το πάνω και κάτω σύνορο. Στη συνέχεια, το δοκίμιο φορτίζεται στην κατακόρυφη διεύθυνση με διαδοχικά βήματα επιβολής φορτίου, σε καθένα από τα οποία το φορτίο διατηρείται σταθερό επί αρκετό χρόνο ώστε να περατωθεί το φαινόμενο της στερεοποίησης. Μία τυπική αλληλουχία φορτίσεων είναι: 5kPa (αρχική φόρτιση), 12kPa, 25kPa, 50kPa, 100kPa, 200kPa, 400kPa, 800kPa και κατόπιν αποφόρτιση στα 400kPa, 200kPa, 100kPa, 50kPa.

Στις δοκιμές στερεοποίησης (ή συμπιεσομέτρου) που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της διατριβής, χρησιμοποιήθηκαν 5 δοκίμια από τους πλέον χαλαρούς ορίζοντες των τεφρών - κιτρινότεφρων αργιλομαργαϊκών οριζόντων. Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-4.

Δείγμα	Περιγραφή πετρώματος/ Κατάταξη AUSCS	Δείκτης συμπιεστότητας (c _c)	Μέτρο Es για 100 Kpa (MPa)	Μέτρο Es για 200 Kpa (MPa)	Μέτρο Es για 400 Kpa (MPa)	Αρχικός λόγος κενών (e)	Τάση προστεςρεοποίησης Ρc (MPa)
ГК2-2	E3/CL	0.206	4.6	5.8	7.6	0.963	0.25
ГК4-3	E3/ CL	0.14	36.6	25.4	22.3	0.723	0.55
ГК5-2	E3/ CL	0.123	12	8.4	10.6	0.605	0.25
ГВ3-3	E6/ML	0.123	2.9	5.1	9.3	0.647	0.075
ГВ5-3	E6/ML	0.271	2.1	2.9	4.7	0.916	0.09

Πίνακας 7-4: Αποτελέσματα δοκιμής στερεοποίησης για τα δείγματα της Κύμης

Όπου: Ε3: Τεφρή αργιλομάργα μέσης πλαστικότητας, Ε6: Εξαλλοιωμένη κιτρινότεφρη μάργα.

Οι τιμές του δείκτη στερεοποίησης Cc, ο οποίος συμβολίζει την κλίση της γραμμής της κανονικής στερεοποίησης στο διάγραμμα λόγου κενών – ενεργού τάσης, είναι χαμηλές, αντίστοιχες του καολινίτη (Cc = 0.11, Lambe & Whitman, 1979) και κυμαίνονται για τα πέντε δείγματα που εξετάστηκαν, από 0,123 έως 0,271 με αρχικό λόγο κενών από 0.6 έως 0.96. Αντίστοιχα, για τα δείγματα που συγκεντρώθηκαν από υπάρχουσες γεωτρήσεις, προέκυψαν τιμές του δείκτη στερεοποίησης Cc που κυμαίνονται από 0.045 έως 0.159 με αρχικό λόγο κενών από 0.3 έως 0.5.

Στο Σχήμα 7-35, παρουσιάζονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των αντιπροσωπευτικών δειγμάτων της Κατώτερης και Ανώτερης ενότητας που προέκυψαν από τις δοκιμές στερεοποίησης. Από τα διαγράμματα αυτά αξίζει να επισημανθεί ότι οι καμπύλες αποφόρτισης παρουσιάζουν μικρή κλίση, ενώ ο λόγος κενών φαίνεται να επανέρχεται σε τιμές κοντά στις αρχικές του. Τα δείγματα δηλαδή κατά την αποφόρτιση (οι δοκιμές έγιναν στη φυσική τους υγρασία) φαίνεται να ανακτούν σημαντικό μέρος του αρχικού τους όγκου.

Από τα διαγράμματα λόγου κενών – κατακόρυφης τάσης των δοκιμών που εξετάστηκαν, έγινε προσπάθεια προσδιορισμού γραφικά της τάσης προστερεοποίησης με τη μέθοδο της διχοτόμου – *Casagrande*, παρά τις δυσκολίες και τις αβεβαιότητες που παρουσιάζει η μέθοδος αυτή κατά την εφαρμογή της. Έτσι, προσδιορίστηκε τάση προστερεοποίησης Pc από 0.07MPa έως 0.55MPa. Θα πρέπει ωστόσο να επισημανθεί ότι όλα τα διαγράμματα λόγου κενών – κατακόρυφης τάσης κατά τη φόρτιση, τόσο για τα δείγματα της διατριβής όσο και για αυτά που προέκυψαν από προηγούμενες μελέτες, είναι

με τη μορφή ομαλής καμπύλης, χωρίς ευδιάκριτη τάση προστερεοποίησης, με αποτέλεσμα οι ανωτέρω αναφερόμενες τιμές να μην μπορούν να περιγράψουν με ακρίβεια τις υπό μελέτη μάργες.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 7-36, παρουσιάζεται η συσχέτιση του δείκτη συμπιεστότητας με τον αρχικό λόγο κενών. Παρατηρείται γενικά μια τάση αύξησης της τιμής του δείκτη συμπιεστότητας με την αύξηση του αρχικού λόγου κενών, e₀.



Σχήμα 7-35: Διάγραμμα συσχέτισης λόγου κενών – δείκτη συμπιεστότητας για τις μάργες Κύμης.

7.3.6 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Στη δοκιμή αυτή το έδαφος θραύεται κατά μια προδιαγραμμένη επίπεδη επιφάνεια, την επιφάνεια διάτμησης και στη συνέχεια μετριέται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με τη μεταβολή της ορθής τάσης, που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Κατά τη δοκιμή υπολογίστηκε η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους με τη μεταβολή της ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια της διάτμησης (Κούκης & Χριστοδουλοπούλου, 1997). Για τις δοκιμές απευθείας διάτμησης χρησιμοποιήθηκε η ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση των δοκιμίων, η οποία εφαρμόζεται κυρίως σε γεωτεχνικά προβλήματα, όπου εξετάζεται η συμπεριφορά του εδάφους λόγω επιβολής φορτίου σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να μην είναι δυνατόν να γίνει εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων που δημιουργείται λόγω της φόρτισης (στάδιο αμέσως μετά την κατασκευή). Η δοκιμή αυτή επιλέχθηκε εξαιτίας της ευκολίας με την οποία μορφώνονται τα δοκίμια αλλά και της γρήγορης εκτέλεσής της σε σχέση με την τριαξονική δοκιμή.

Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής, προέκυψαν τιμές συνοχής για τις κιτρινόφαιες και τεφρές τεφροκίτρινες μάργες που κυμαίνονται από 2.7KPa έως 45KPa με μέση τιμή 24KPa (Πίνακας 7-5). Για τα ιζήματα των λευκότεφρων – μελανότεφρων μαργών της Κατώτερης ενότητας, η συνοχή κυμαίνεται από 11.3KPa έως 81KPa με μέση τιμή 38KPa (Σχήμα 7-37). Με βάση τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνεται ότι τα ιζήματα της Κατώτερης ενότητας παρουσιάζουν ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές συνοχής από αυτά της Ανώτερης ενότητας, γεγονός το οποίο συνάδει και με τα αποτελέσματα των κοκκομετρικών αναλύσεων. Η γωνία τριβής φ κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα με τιμές μεταξύ $19^0 - 32^0$.

Λείνμα	RáAn (m)	Περιγραφή πετρώματος/	Δοκιμή άμεσ	ης διάτμησης
20,700	Boon (iii)	Κατάταξη AUSCS —	c(kPa)	φ(0)
ΓΣ3-1	1.5-2	E1/CL2a	11.32	19.48
ΓΣ4-1	5-8.5	E2/CL1	26.18	25.7
ΓΣ7-1	10.0-11.0	E2/CL2a	45.93	19.7
ΓΣ8-1	0.8-2	E2/CL2a	11.52	22.6
ΓΣ8-2	7.6-8.5	E2/GC	28.89	24.9
ΓΣ8-3	23-24	E1/GC	55.15	19.2
ΓΣ9-1	3.5-4	E2 /SC	16.68	19.5
ΓΣ9-2	16.8-22	E1/GC	63.23	19.4
ΓΣ9-3	22-22.5	E1/GC	81.12	22.6
ГК4-2	1.3-1.7	E3/ CL	45	20
ГВ2-2	1.2-1.5	E6	2.68	32
ГВ5-2	4.5-4.8	E6	25	29
ГВ6-4	3.7-4	E6	20	27

Πίνακας 7-5: Αποτελέσματα δοκιμών απευθείας διάτμησης για τα δείγματα της Κύμης

Όπου: E1:Εξαλλοιωμένη τεφρή – μελανότεφρη αργιλομάργα, E2: Εξαλλοιωμένη λευκή – λευκότεφρη μάργα, E3: Τεφρή αργιλομάργα μέσης πλαστικότητας, E6: Εξαλλοιωμένη κιτρινότεφρη μάργα.



Σχήμα 7-36: Συγκεντρωτικό διάγραμμα ορθής τάσης – διατμητικής αντοχής για τις μάργες Κύμης.

7.3.7 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης

Η δοκιμή τριαξονικής φόρτισης είναι η πιο αξιόπιστη δοκιμή μέτρησης της διατμητικής αντοχής. Στη δοκιμή αυτή, ένα κυλινδρικό δείγμα εδάφους υπόκειται αρχικά σε μια ομοιόμορφη περιμετρική φόρτιση και στη συνέχεια εφαρμόζεται αξονικό φορτίο το οποίο αυξάνεται μέχρι την αστοχία.

Για την εκτέλεση της δοκιμής απαιτείται κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, το οποίο περιβάλλεται από ελαστική μεμβράνη και στη συνέχεια από υγρό μέσα σε θάλαμο πίεσης. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η επιβολή ομοιόμορφης πίεσης. Κατόπιν, το δοκίμιο υποβάλλεται σε κατακόρυφη συμπίεση με ένα αξονικό φορτίο. Η αξονική πίεση που ασκείται είναι ίση με το αξονικό φορτίο διαιρούμενο με την ανηγμένη επιφάνεια του δοκιμίου. Η μέγιστη κύρια τάση του δοκιμίου ισούται με το άθροισμα της μέγιστης κατακόρυφης πίεσης και της πίεσης του θαλάμου. Η πρόσθετη αξονική τάση είναι ίση με τη διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης κύριας τάσης που ασκούνται στο δοκίμιο.

Η διατμητική αντοχή του εδάφους δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της πίεσης που ασκείται σε αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά και από την εντατική κατάσταση στην οποία βρισκόταν το έδαφος. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν τρεις κατηγορίες τριαξονικών δοκιμών:

- Δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και χωρίς στράγγιση (UU)
- Δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς στράγγιση (CUPP)
- Δοκιμή με στερεοποίηση και με στράγγιση (CD)

Κατά την εκπόνηση των εργαστηριακών δοκιμών, η διαδικασία της τριαξονικής δοκιμής εκτελέστηκε σε τέσσερα παρόμοια δοκίμια από το ίδιο έδαφος με διαφορετικές πλευρικές πιέσεις. Οι δοκιμές εκτελέσθηκαν χωρίς στράγγιση, με στερεοποίηση όμως των δοκιμίων και ταυτόχρονη μέτρηση της πίεσης των πόρων (δοκιμές CUPP), ενώ σε ένα δείγμα έγινε χωρίς στερεοποίηση και στράγγιση των δοκιμίων (δοκιμές UU). Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν, έγιναν για τιμές πλευρικής πίεσης κελιού 100KPa, 200 KPa και 400 KPa (Πίνακας 7-6).

Κατά τη δοκιμή χωρίς στράγγιση, με στερεοποίηση όμως των δοκιμίων και ταυτόχρονη μέτρηση της πίεσης των πόρων (CUPP) εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σε ένα προστερεοποιημένο κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου, κατά την τριαξονική φόρτισή του δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων. Κατά τη δοκιμή μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισής του θα πρέπει να είναι αρκετά βραδεία ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου.

Αντίστοιχα, κατά τη δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και στράγγιση των δοκιμίων (UU) εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων κατά τη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου εδάφους όπου δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου κατά την τριαξονική φόρτιση. Κατά τη δοκιμή αυτή δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων καθότι έτσι αυξάνει η διάρκεια της δοκιμής ώστε η πίεση των πόρων να είναι περίπου η ίδια σε όλο το ύψος του δοκιμίου. Εφαρμόζεται κυρίως σε δοκίμια κορεσμένα, δηλαδή αφορά σε εδάφη που βρίσκονται κάτω απο τον υδροφόρο ορίζοντα.

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμών προέκυψαν για την Ανώτερη ενότητα των κιτρινότεφρων μαργών τιμές συνοχής 9KPa και 14KPa, ενώ για τις κατώτερες τεφρές μάργες 26KPa και 65KPa. Συγκριτικά δηλαδή, όπως και οι δοκιμές άμεσης διάτμησης έτσι και οι δοκιμές τριαξονικής φόρτισης έδωσαν αυξημένες τιμές συνοχής στις κατώτερες τεφρές μάργες σε σχέση με τις ανώτερες κιτρινότεφρες.

Δείγμα Βάθη (m) Περιγραφή π		Περιγραφή πετρώματος/ Κατάταξη AUSCS	Τριαζονική δοκιμή		
			C (kPa)	φ (0)	
ГК1-3	4.5-5	Τεφρή αργιλομάργα μέσης πλαστικότητας/CL	26	40	
ГК5-2	1.6-2	Τεφρή άργιλος μέσης πλαστικότητας/CL	65	9	
ГВ1-3	3.7-4	Κιτρινότεφρη εξαλλοιωμένη μάργα	14	17	
ГВ6-3	1.5-2.8	Κιτρινότεφρη εζαλλοιωμένη μάργα	9	28	

Πίνακας 7-6: Αποτελέσματα δοκιμών τριαξονικής φόρτισης για τα δείγματα της Κύμης

7.3.8 Δοκιμή σε ανεμπόδιστη θλίψη

Η δοκιμή αυτή είναι μια υποπερίπτωση της τριαξονικής δοκιμής UU (με $\sigma 3 = 0$), όπου απαραίτητη προϋπόθεση είναι, η συνεκτικότητα του εδάφους και η φυσική του υγρασία να επιτρέπουν τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πίεσης.

Κατά τη δοκιμή, το δοκίμιο τοποθετείται στη συσκευή θλίψεως στο κέντρο της κάτω πλάκας, ενώ παράλληλα η συσκευή ρυθμίζεται ώστε η πάνω πλάκα να βρίσκεται σε επαφή με την πάνω επιφάνεια του δοκιμίου και στη συνέχεια μηδενίζεται ο μετρητής των παραμορφώσεων. Στο δοκίμιο εφαρμόζεται θλιπτικό αξονικό φορτίο, τέτοιο, ώστε αξονική παραμόρφωση που επιτυγχάνεται να είναι της τάξης του 0.5% έως 2% ανά λεπτό, ενώ γίνεται καταγραφή των τιμών των αξονικών φορτίων και των παραμορφώσεων ανά 30 δευτερόλεπτα. Σαν αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη ορίζεται η τάση στην οποία το δοκίμιο είτε αρχίζει να παρουσιάζει επιφάνεια θραύσης, ή η παραμόρφωση συνεχίζεται χωρίς την αύξηση φορτίου. Αν καμία από τις καταστάσεις αυτές δεν συμβαίνει, τότε σαν αντοχή λαμβάνεται η τάση που αντιστοιχεί σε ανηγμένη παραμόρφωση 20%.

Στα πλαίσια των εργαστηριακών δοκιμών της παρούσας διατριβής, πραγματοποιήθηκε δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης σε τρία δείγματα με τιμές της αντοχής να κυμαίνονται από 0.046MPa έως 1.73MPa, ενώ από τα αποτελέσματα των δειγμάτων των προγενέστερων ερευνών που συγκεντρώθηκαν και αποδελτιώθηκαν, διαπιστώθηκαν τιμές αντοχής από 0.195 MPa για τις τεφρές στρωσιγενείς μάργες, έως 2.32MPa για τις τεφρές αργιλικές μάργες. Η φυσική υγρασία κυμαίνεται από 11.5% έως 31%. Όλα τα δείγματα αφορούσαν σε κιτρινότεφρες, τεφρές έως τεφροπράσινες μάργες.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-7. Παρατηρούνται τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη που χαρακτηρίζουν μια "ενδιάμεση συμπεριφορά" ανάμεσα στο έδαφος και τον βράχο, για τιμές μεταξύ qu = 0.4MPa έως qu = 2MPa (*Κωστόπουλος, 1985*). Κατατάσσονται δηλαδή με βάση την αντοχή τους σε ανεμπόδιστη θλίψη από "εδάφη" έως "σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι".

Δείγμα	Βάθη (m)	Περιγραφή πετρώματος/ Κατάταζη AUSCS	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη		Φυσική υγρασία %	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη(Mpa)
			qu (kgr/cm ²)	e (%)		
ГК2	2.2	E/CL	0.47	20	31	0.046
ГК5	6.7	E/CL	0.97	2.5	19.6	0.095
ГВ7	6.8	E/CL	17.6	17	18	1.73
ΔΑ1	16.5	E/ML	22	3.1	15.5	2.16
ΔA2	12.5	Ε/CL (στρωσιγενής)	1.99	5.6	12.2	0.195
ΔΑ3	14.5	E/CL	23.65	3.6	11.5	2.32
ΔΑ4	9.8	Ε/CL (ψαμμιτική)	6.98	3.2	14.7	0.685
ΔΑ5	18.5	Ε/ML (ψαμμιτική)	7.94	5.1	16	0.779

Πίνακας 7-7: Αποτελέσματα δοκιμών ανεμπόδιστης θλίψης για τα δείγματα της Κύμης

Όπου: Ε: Τεφρή έως τεφροπράσινη – κιτρινότεφρη αργιλική μάργα.

Για τις συνεκτικές μάργες της Κύμης που αφορούν σε ακέραια – βραχώδη υλικλα, εφαρμόστηκε η αντοχή σε μοναξονική θλίψη καθώς αυτή εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που έχουν σχέση με την ορυκτολογική σύσταση του πετρώματος και του τρόπου διάταξης των ορυκτών σε αυτό, την περιεχόμενη υγρασία του, την ανισοτροπία αλλά και τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής (*Hawkes & Mellor, 1970*).

Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη ενός δοκιμίου ακέραιου πετρώματος αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση που επιβάλλεται στο βραχώδες υλικό μέχρι τη θραύση του και υπολογίζεται διαιρώντας το μέγιστο φορτίο που έχει ασκηθεί στο δείγμα, με το εμβαδό της επιφάνειάς του. Η ταξινόμηση του βραχώδους υλικού σύμφωνα με την αντοχή του σε ανεμπόδιστη (μοναξονική) θλίψη σύμφωνα με την *ISRM* (1981), φαίνεται στον Πίνακα 7-8.

Η δοκιμή προσδιορισμού της αντοχής σε μοναξονική θλίψη αποτελεί την πιο ακριβή μέθοδο για τον προσδιορισμό της αντοχής του υλικού, ενώ από τα αποτελέσματα της δοκιμής, προσδιορίζεται έμμεσα η αντοχή και η παραμορφωσιμότητα της βραχόμαζας, καθώς η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (UCS) περιλαμβάνεται στις κύριες παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση της βραχόμαζας, καθώς

και για την εφαρμογή των κριτηρίων θραύσης, τόσο στο ακέραιο πέτρωμα, όσο και στη βραχόμαζα (*Tsiambaos & Sabatakakis, 2004*).

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών, προέκυψε ότι τα δείγματα της Ανώτερης ενότητας των κιτρινότεφρων συνεκτικών μαργών, παρουσιάζουν τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη που κυμαίνονται στην πλειονότητά τους από 5MPa έως 23MPa με μέσο όρο 13MPa, κατατάσσονται δηλαδή σε χαμηλής αντοχής πετρώματα (Σχήμα 7-38). Αντίστοιχα, τα δείγματα της Κατώτερης ενότητας των μελανότεφρων συνεκτικών μαργών παρουσιάζουν τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη που κυμαίνονται από 16MPa έως 68MPa με μέσο όρο 33MPa περίπου και κατατάσσονται σε μέσης έως υψηλής αντοχής πετρώματα. Συγκριτικά δηλαδή, οι μάργες της Κατώτερης ενότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη σε σχέση με αυτά της Ανώτερης ενότητας, γεγονός που ήταν άλλωστε αναμενόμενο.

Κατάταξη πετρώματος	Αντοχή σε μοναξονική θλίψη (MPa)	Επί τόπου εκτίμηση
Εξαιρετικά υψηλής αντοχής	>250	Το δείγμα δεν σπάει με γεωλογικό σφυρί
Πολύ υψηλής αντοχής	100-250	Για να σπάσει το δείγμα χρειάζονται πολλά χτυπήματα με γεωλογικό σφυρί
Υψηλής αντοχής	50-100	Για να σπάσει το δείγμα χρειάζονται περισσότερα από ένα χτυπήματα με γεωλογικό σφυρί
Μέσης αντοχής	25-50	Το δείγμα δε χαράσσεται με μαχαίρι και μπορεί να σπάσει με ένα χτύπημα με γεωλογικό σφυρί
Χαμηλής αντοχής	5-25	Το δείγμα χαράσσεται δύσκολα με μαχαίρι και το γεωλογικό σφυρί αφήνει βαθιές χαραγές
Πολύ χαμηλής αντοχής	1-5	Το δείγμα σπάει σε πολλά κομμάτια με ένα χτύπημα γεωλογικού σφυριού
Εξαιρετικά χαμηλής αντοχής	0.25-1	Το δείγμα χαράσσεται εύκολα με το νύχι

Πίνακας 7-8: ISRM (1981)



7.3.9 Δοκιμή σημειακής φόρτισης

Ο προσδιορισμός της αντοχής του βραχώδους υλικού σε σημειακή φόρτιση (*Point Load Test*), προτάθηκε αρχικά από τους *Broch & Franklin* (1972). Η Διεθνής Ένωση Βραχομηχανικής (ISRM) τη συμπεριέλαβε στις προτεινόμενες δοκιμές τον ίδιο χρόνο.

Η δοκιμή μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης ως ένα μέσο για την απευθείας ταξινόμηση του βραχωδους υλικού όσον αφορά την αντοχή, σύμφωνα με τον Πίνακα 7-9 (*Bieniawski, 1975*), καθώς και για τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη (*Kούκης & Σαμπατακάκης 2002*). Αποτελεί μια γρήγορη και χαμηλού κόστους μέθοδο, για τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής του πετρώματος. Πολύ συχνά αντικαθιστά τη δοκιμή μοναξονικής θλίψης, όταν ο χρόνος ή το μεγάλο κόστος της δεύτερης δεν επιτρέπουν την εκτέλεσή της, ενώ πλεονεκτεί και στο ότι μπορεί να πραγματοποιηθεί και σε δοκίμια ακανόνιστου σχήματος. Η αντοχή του μετριέται με την εφαρμογή μιας αντιδιαμετρικά ασκούμενης δύναμης από τα δύο κωνικά άκρα ειδικής συσκευής και προσδιορίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης (Is).

Για την εκτέλεση της δοκιμής στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια σε ακανόνιστη μορφή. Βασική προϋπόθεση ήταν να ικανοποιούνται οι σχέσεις μεταξύ της απόστασης των κωνικών άκρων, του μήκους, και της χαρακτηριστικής διάστασης του δοκιμίου. Με την εκτέλεση της δοκιμής υπολογίζεται ο δείκτης σημειακής φόρτισης Is (Point Load Index), που είναι ο λόγος του φορτίου θραύσης (P) προς το τετράγωνο της ισοδύναμης διάστασης (De).

Is= P/De^2 ,

όπου Ρ σε Ν, De σε mm και Is σε MPa.

Πίνακας 7-9: Ταξινόμηση ακέραιου πετρώματος με βάση το δείκτη σημειακής φόρτισης Is50 (Bieniawski, 1975)

Χαρακτηρισμός αντοχής	Δείκτης Σημειακής Φόρτισης Is50
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δε συνίσταται η δοκιμή

Ο μέσος όρος των αποτελεσμάτων Ιs για τα δείγματα της Ανώτερης ενότητας των κιτρινότεφρων μαργών είναι 0.4MPa με ανώτερη τιμή 1.35MPa και κατώτερη 0.1MPa ενώ της Κατώτερης ενότητας των λευκότεφρων - μελανότεφρων μαργών 1.3MPa με ανώτερη τιμή 3.4MPa και κατώτερη 0.9MPa (Σχήμα 7-39).

Συγκρίνοντας τις τιμές που προέκυψαν από τη δοκιμή σημειακής φόρτισης, διαπιστώνεται ότι οι μάργες της Ανώτερης ενότητας χαρακτηρίζονται από πολύ χαμηλή αντοχή σύμφωνα με την ταξινόμηση της αντοχής με βάση τον δείκτη Is₋₅₀ κατά *Bieniawski* (1975), ενώ τα δείγματα της Κατώτερης ενότητας των μελανότεφρων μαργών παρουσιάζουν χαμηλή έως μέση αντοχή σε σημειακή φόρτιση σύμφωνα με την ίδια ταξινόμηση.



7.3.10 Δοκιμή φόρτισης κατά Γενέτειρα Brazilian Test

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τον έμμεσο προσδιορισμό της εφελκυστικής αντοχής στ του πετρώματος. Η δοκιμή παρουσιάζει μεγαλύτερη ευκολία ως προς τον τρόπο εκτέλεσης από τη δοκιμή μοναξονικής θλίψης και είναι πιο δύσκολη απο τη δοκιμή σημειακής φόρτισης, καθώς απαιτείται τροχός για τη διαμόρφωση του δοκιμίου.

Στη δοκιμή αυτή, δοκίμιο μορφής δίσκου υποβάλλεται σε αντιδιαμετρική θλίψη μέχρι θραύσης. Υπό τις αυτές συνθήκες φόρτισης το δοκίμιο αστοχεί κατά τη διάμετρο φόρτισης σε εφελκυσμό και η εφελκυστική τάση που προκαλεί την αστοχία αυτή, θεωρείται ότι είναι ίση με την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Η δοκιμή βασίζεται στο γεγονός, ότι τα περισσότερα πετρώματα, όταν βρεθούν σε διαξονικό εντατικό πεδίο αστοχούν σε εφελκυσμό, όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση θλιπτική και εφ' όσον το μέγεθος της τελευταίας δεν υπερβαίνει το τριπλάσιο της κύριας εφελκυστικής τάσης.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εφελκυστική αντοχή των πετρωμάτων, είναι, όπως και στις περιπτώσεις της αντοχής σε θλίψη και διάτμηση, η ορυκτολογική τους σύσταση, ο ιστός, η ανσοτροπία, το μέγεθος των κόκκων, το είδος και το ποσοστό του υλικού συγκόλλησης και η περιεχόμενη υγρασία.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις μάργες της Κύμης (Σχήμα 7-40), οι τεφρές - τεφροκίτρινες μάργες παρουσιάζουν τιμές της εφελκυστικής αντοχής σt που κυμαίνονται από 0.145MPa έως 0.405MPa, ενώ οι μελανότεφρες και λευκότεφρες μάργες της Κατώτερης ενότητας παρουσιάζουν ανώτερες τιμές εφελκυστικής αντοχής που κυμαίνονται από 1.7MPa – 5.3MPa. Υπάρχει δηλαδή μια σαφής διαφοροποίηση της αντοχής σε εφελκυσμό, ανάμεσα στις Ανώτερες και Κατώτερες ενότητες των μαργών της Κύμης.



7.4 Αξιολόγηση – συσχέτιση των εργαστηριακών αποτελεσμάτων

Οι εργαστηριακές αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν προκειμένου να καθοριστεί και να χαρακτηριστεί η προβληματική φύση των εδαφικών υλικών ως προς την επιδεκτικότητά τους σε κατολισθητικά φαινόμενα.

Ο ρόλος των ορίων Atterberg στην προβληματική φύση των εδαφών από άποψη κατολισθητικής επικινδυνότητας έχει επισημανθεί από πολλούς μελετητές (Van Der Merwe, 1964; Mario et al., 1996; Msilimba & Holmes, 2005; Fauziah et al., 2006; Baynes, 2008). Οι Van der Merwe (1964) και Baynes (2008) κατηγοριοποίησαν τα εδάφη με ποσοστό > 25 % ως εξαιρετικά επιρρεπή σε κατολισθητικά φαινόμενα.



Στο σχήμα 7-41, φαίνονται οι τιμές ορίου υδαρότητας σε όλα τα δείγματα μαργών που εξετάστηκαν, οι οποίες κυμαίνονται από 27.5% έως 52%. Παρουσιάζονται δηλαδή εξαιρετικά υψηλές τιμές από άποψης κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

Από τις τιμές του δείκτη πλαστικότητας ΡΙ και του ποσοστού του αργιλικού κλάσματος προσδιορίσθηκε η ενεργότητα για όλα τα δείγματα της Ανώτερης και Κατώτερης ενότητας, η οποία κατά Skempton (1953) δίνεται από τη σχέση:

Ενεργότητα (Α)=ΡΙ/%αργιλικό κλάσμα

Υπάρχει επομένως συσχέτιση μεταξύ του αργιλικού κλάσματος και του δείκτη πλαστικότητάς του. Η συσχέτιση είναι γραμμική και η ευθεία διέρχεται από την αρχή των αξόνων, ενώ η κλίση της αντιπροσωπεύει την ενεργότητα του εδάφους. Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, διαμορφώνονται τα διαγράμματα των Σχημάτων 7-41 έως 7-47, με βάση τα οποία απεικονίζονται, πέρα από την ενεργότητα και η διογκωσιμότητα των εδαφικών υλικών που μελετήθηκαν.

Σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά *Skempton*, όλα τα δείγματα των μαργών παρουσιάζουν κανονική – υψηλή ενεργότητα με εξαίρεση δύο δείγματα από τις μελανότεφρες και λευκότεφρες μάργες της Κατώτερης ενότητας, οι οποίες εμφανίζονται ανενεργές (Σχήματα 7-42, 7-43).



Στα Σχήματα 7-44 και 7-45 που ακολουθούν, παρουσιάζεται η σχέση ανάμεσα στις ενεργότητες των δειγμάτων της Ανώτερης και Κατώτερης ενότητας και στις ενεργότητες διαφόρων βασικών αργιλικών ορυκτών. Γενικά έχει διαπιστωθεί ότι το είδος του αργιλικού ορυκτού που επικρατεί σε ένα ιζηματογενές πέτρωμα μπορεί να ελέγχει τη δυνατότητα διόγκωσης και επηρεάζει την πιθανότητα ύπαρξης κατολισθητικών φαινομένων. Οι *Ohlmacher* (2000) και *Yalcin* (2007) συνέδεσαν την εμφάνιση κατολισθήσεων με την παρουσία μοντμοριλλονίτη και ιλίτη που ανήκουν στην ομάδα των σμεκτιτών. Τέτοια αργιλικά εδάφη παρουσιάζουν συνήθως χαμηλότερη αντοχή στη διάτμηση και υψηλή τάση διόγκωσης σε σχέση με εδάφη στα οποία το κυρίαρχο αργιλικό ορυκτό είναι ο καολινίτης ή ο χλωρίτης (*Ohlmacher, 2000*).

Σχετικά με τα δείγματα που εξετάστηκαν, διαφαίνεται μια διαφοροποίηση στις ενεργότητες των δειγμάτων της Ανώτερης και της Κατώτερης ενότητας, με αυτά της Ανώτερης να κυμαίνονται περισσότερο μεταξύ της ενεργότητας του μοντμοριλλονίτη και του ιλλίτη, ενώ της Κατώτερης να επικρατούν στην ευθεία του ιλλίτη. Διαπιστώνονται δηλαδή ενεργότητες διογκούμενων ορυκτών και για τις δυο κατηγορίες των μαργών, όπως αυτά που προσδιορίστηκαν και με την ορυκτολογική ανάλυση, που πιθανόν να ελέγχουν τη δυνατότητα διόγκωσης και κατά συνέπεια την επιδεκτικότητά τους σε φαινόμενα



Σχήμα 7-43: Διάγραμμα συσχέτισης του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότητας στο οποίο παρουσιάζονται και οι ενεργότητες διαφόρων αργιλικών ορυκτών για τις μάργες της Ανώτερης ενότητας.



Σχήμα 7-44: Διάγραμμα συσχέτισης του αργιλικού κλάσματος με το δείκτη πλαστικότητας στο οποίο παρουσιάζονται και οι ενεργότητες διαφόρων αργιλικών ορυκτών για τις μάργες της Κατώτερης ενότητας.

Οι Holtz & Kovacs (1981) αναφέρουν ότι, όσο μεγαλύτερη πλαστικότητα έχει ένας εδαφικός σχηματισμός, τόσο μεγαλύτερη τάση για διόγκωση εμφανίζει. Ωστόσο, από τα αντίστοιχα διαγράμματα διογκωσιμότητας που ακολουθούν (Williams, 1958), διαφαίνεται ότι παρότι ο δείκτης πλαστικότητας και για τις δύο κατηγορίες ιζημάτων ήταν σχετικά υψηλός, τα ποσοστά αργιλικού κλάσματος καθορίζουν τη συμπεριφορά τους ως προς τη διογκωσιμότητα (Σχήματα 7-46, 7-47). Έτσι, οι μελανότεφρες – λευκότεφρες μάργες παρουσιάζουν μεγαλύτερα ποσοστά αργιλικού κλάσματος καθορίζουν τη συμπεριφορά τους ως προς τη διογκωσιμότητα, ενώ οι κιτρινόφαιες – τεφροκίτρινες μάργες από χαμηλή έως μέση διογκωσιμότητα. Ενώ δηλαδή τα διαγράμματα ενεργοτήτων για όλες τις μάργες που εξετάστηκαν έδειξαν μέτριες και υψηλές ενεργότητες και τιμές ενεργότητας όπως αυτές των διογκούμενων ορυκτών, τα αντίστοιχα διαγράμματα διογκωσιμότητας έδειξαν περιοχές μέσης έως χαμηλής διογκωσιμότητας. Αυτό οφείλεται στα χαμηλότερα ποσοστά αργιλικού κλάσματος διαγράμματα διογκωσιμότητα όπως αυτές των διογκούμενων ορυκτών, τα αντίστοιχα διαγράμματα διογκωσιμότητας έδειξαν κοι κλάσματος, με αντίστοιχη αύξηση των ποσοστών σε κοκκομετρίκού κλάσματος, με αντίστοιχη αύξηση των ποσοστών σε

Ο λόγος των μεγάλων σχετικά ποσοστών ιλύος των αργιλικών και ιλυωδώναργιλοϊλυωδών κυρίως φάσεων και των δύο ενοτήτων (δείγματα CL, ML) θα μπορούσε να αναζητηθεί στην ιλυώδη φύση των μαργαϊκών αυτών ιζημάτων, όπως αυτό έχει καταγραφεί και στο παρελθόν, αλλά και στην τάση να δημιουργούν συσσωματώματα μεγέθους ιλύος στην προκειμένη περίπτωση, τα οποία δεν είναι δυνατόν να διασπασθούν κατά την κοκκομετρική ανάλυση. Ο Καβουνίδης (1985) αναφέρει ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τις δοκιμές κατάταξης των μαργών, γιατί πολύ συχνά μικρές πολύ συνεκτικές συγκεντρώσεις αργιλικού υλικού μπορεί να εκληφθούν ως κόκκοι άμμου ή ιλύος.





Σχήμα 7-46: Διάγραμμα διογκωσιμότητας ιζημάτων για τις μάργες της Κατώτερης ενότητας.

Όσον αφορά στον προσδιορισμό του αργιλικού κλάσματος, που κατέχει σημαντικό ρόλο στην ενεργότητα των εδαφών, ο *Davis* (1967), εξετάζοντας ορυκτολογικά μάργες μιας περιοχής, διαπίστωσε σημαντικές αποκλίσεις του αναμενόμενου ποσοστού αργιλικού κλάσματος από αυτό που μετριέται με τη μέθοδο του αραιόμετρου. Αποδίδοντας τη διαφορά αυτή στην παρουσία συσσωματωμάτων αργιλικών ορυκτών, παρουσιάζει την επίδραση των συσσωματωμάτων, στον προσδιορισμό του αργιλικού κλάσματος, προτείνοντας μια ποσοτική μέθοδο υπολογισμού του βαθμού συσσωμάτωσης. Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στο προσδιορισμό της παραμέτρου «λόγος συσσωμάτωσης» (*aggregation ratio Ar*). Η παράμετρος αυτή ορίζεται ως λόγος της εκατοστιαίας αναλογίας των αργιλικών ορυκτών που προσδιορίζονται από την ορυκτολογική και χημική ανάλυση προς το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος όπως προσδιορίζεται από την κοκκομετρική ανάλυση (*Kούκης & Σαμπατακάκης, 2002*).

Από τη σύγκριση του ποσοστού του αργιλικού κλάσματος και των αργιλικών ορυκτών για επτά δείγματα που εξετάσθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διατριβής προκύπτουν τα εξής: τα τέσσερα δείγματα κιτρινόφαιων και τεφρών - τεφροκίτρινων μαργών της Ανώτερης ενότητας παρουσίασαν ποσοστά αργιλικού κλάσματος από 10% έως και 25% περίπου, το δε ποσοστό των αργιλικών ορυκτών κυμάνθηκε από 15% έως 35% περίπου. Αντίστοιχα, στα τρία δείγματα της Κατώτερης ενότητας των μελανότεφρων μαργών που εξετάσθηκαν, το ποσοστό των αργιλικού κλάσματος κυμάνθηκε από 20% έως 23% περίπου, ενώ το ποσοστό των αργιλικού κλάσματος κυμάνθηκε από 20% έως 23% περίπου, ενώ το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών από 15% έως 25% περίπου. Με βάση τις τιμές αυτές εκτιμάται λόγος συσσωμάτωσης από 1.5 έως 3.5 περίπου για την Ανώτερη ενότητα και 0.7 έως 1.2 περίπου για την Κατώτερη. Παρουσιάζουν δηλαδή τάση συσσωμάτωσης όλες οι κατηγορίες μαργών της Κύμης που εξετάστηκαν, σε κόκκους μεγέθους ιλύος, με συγκολλητική ύλη ασβεστιτική και χαλαζιακή, γεγονός που συνάδει με την πετρογραφική ανάλυση που προηγήθηκε. Τα συσσωματώματα στις μάργες που εξετάστηκαν, οφείλονται στην παρουσία μικριτικού ασβεστιτικού συγκολλητικού υλικού, στα οξείδια σιδήρου, στο οργανικό υλικό και στα αδιαφανή ορυκτά. Η παρουσία συσσωματωμάτων σε μαργαϊκούς σχηματισμούς διαπιστώθηκε και από άλλους ερευνητές. Ο Chandler (1969) διαπίστωσε ότι οι υγιείς και λιγότερο αποσαθρωμένες μάργες του Keuper δείχνουν μεγάλο ποσοστό σωματιδίων μεγέθους ιλύος, ενώ μόνο στις αποσαθρωμένες μάργες το ποσοστό του αργιλικού κλάσματος λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές. Ο Καβουνίδης (1980) διαπιστώνει για την κυανή μάργα της Δυτ. Ηπείρου, την παρουσία ισχυρών συγκολημένων συγκεντρώσεων αργιλικών σωματιδίων. Ο Ρόζος (1989) στη διδακτορική του διατριβή διαπιστώνει την έντονη παρουσία του ασβεστίτη ή και του διοξειδίου του πυριτίου στη θεμελιώδη μάζα (δομικό σκελετό), που, ιδιαίτερα στην περίπτωση προφορτισμένων σχηματισμών, δημιουργεί συγκεντρώσεις αργιλικών ορυκτών με ισχυρή συγκόληση. Ο Τσιαμπάος (1988), αναφέρει αντίστοιχα για τις μάργες του Ηρακλείου Κρήτης ότι δημιουργούν συσσωματώματα μεγέθους ιλύος λόγω της μικριτικής ύλης ανθρακικού ασβεστίου, των οξειδίων του σιδήρου και της οργανικής ύλης που περιέχουν.

Οι Seed et al. (1962) πρότειναν, με βάση δοκιμές που πραγματοποίησαν σε δείγματα συμπυκνωμένων τεχνητών μειγμάτων άμμου - αργίλου, μια ταξινόμηση των εδαφών με βάση το δυναμικό διόγκωσης αυτών. Προσδιόρισαν έτσι το δυναμικό διόγκωσης S από τη σχέση

$$S=(3.6 \cdot 10^{-5}) A^{2.44} C^{4.44}$$

όπου Α = ενεργότητα και C = αργιλικό κλάσμα.

Για φυσικά εδάφη πρότειναν τη σχέση $S=(2,16 \cdot 10^{-3})$ · $PI^{2.44}$, συσχετίζοντας το δυναμικό διόγκωσης με το δείκτη πλαστικότητας, PI.

Με βάση τη θεώρηση αυτή προσδιορίστηκε το δυναμικό διόγκωσης τόσο για τα ιζήματα της Ανώτερης ενότητας, όσο και για αυτά της Κατώτερης ενότητας. Έτσι, για την Ανώτερη ενότητα το δυναμικό διόγκωσης κυμαίνεται από 4% έως και 28%, με μέση τιμή 16% περίπου. Με βάση την κατάταξη κατά *Seed et al.* (1962) τα δείγματα της Ανώτερης ενότητας χαρακτηρίζονται από μέση ως υψηλή διογκωσιμότητα, με τη μέση τιμή να αντιπροσωπεύει έναν εδαφικό σχηματισμό υψηλής διογκωσιμότητας (5% με 25%, κατά *Seed et al., 1962*). Αντίστοιχα για τα δείγματα της Κατώτερης ενότητας το δυναμικό διογκωσιμότητας κυμαίνεται από 8% έως και 55%, με μέση τιμή 22%. Τα δείγματα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν από υψηλής έως πολύ υψηλής διογκωσιμότητας, ενώ η μέση τιμή τους αντιπροσωπεύει σχηματισμό μέσης διογκωσιμότητας.

Σχετικά με τη συνοχή, στο διάγραμμα που ακολουθεί (Σχ. 7-48), δεν παρατηρείται κάποια τάση συσχέτισης αυτής με τον δείκτη πλαστικότητας. Αντίθετα, η γωνία τριβής παρουσιάζει τάση μείωσης με την αύξηση του δείκτη πλαστικότητας, χωρίς ωστόσο να υπάρχει καλή συσχέτιση (Σχήμα 7-49).

Η Κούκη (2006) στη διδακτορική διατριβή της, διαπιστώνει για τα Πλειοπλειστοκαινικά ιζήματα Αχαΐας επίσης ότι δεν υπάρχει καλή τάση συσχέτισης της συνοχής με τον δείκτη πλαστικότητας και καταγράφει μεγαλύτερες τιμές συνοχής για τα ιζήματα της Κατώτερης ενότητας με διασπορά στις τιμές της γωνίας τριβής φ, αλλά και της συνοχής c που τις αποδίδει κατά κύριο λόγο στα μεταβαλλόμενα ποσοστά άμμου, ιλύος και αργίλου των δειγμάτων γεγονός ιδιαίτερα έντονο στα ιζήματα της Ανώτερης ενότητας.

Η συσχέτιση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με την περιεχόμενη υγρασία (Σχήμα 6-50), δεν φανερώνει σαφή επίδραση της υγρασίας στην αντοχή, παρά μόνο μια τάση μείωσης της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με την αύξηση της υγρασίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι με τη μείωση του πάχους των στρώσεων του νερού που περιβάλλουν τα αργιλικά πλακίδια, αυξάνεται η έλξη των αργιλικών πλακιδίων και κατά επέκταση η αντοχή του εδαφικού υλικού. Φαίνεται ότι τόσο για την Ανώτερη, όσο και για την Κατώτερη ενότητα, η διακύμανση της υγρασίας είναι σχεδόν σταθερή για όλα τα εύρη τιμών της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.

Ο Ρόζος (1989) διαπίστωσε για τις τρεις ενότητες των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων που εξέτασε ότι, σε γενικές γραμμές, φαίνεται να υπάρχει μείωση της αντοχής με την αύξηση της περιεχόμενης υγρασίας, χωρίς όμως καλή συσχέτιση. Την ίδια χρονιά, ο Τσιαμπάος (1988) στη διδακτορική του διατριβή αναφέρει την αδυναμία συσχετισμού της αντοχής των μαργών με την υγρασία και την αποδίδει στις διαφορές που παρουσιάζουν τα δείγματα στη σύσταση, στον ιστό τους και στο βαθμό κορεσμού, καθώς και στη διαταραχή των δειγμάτων κατά τη δειγματοληψία τους και μετά από αυτή.



Σχήμα 7-47: Διάγραμμα συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας και της συνοχής.



Στο Σχήμα 7-51, διαπιστώνεται τάση μείωσης της μοναξονικής θλίψης των ακέραιων βραχωδών δειγμάτων με την αύξηση της υγρασίας, ενώ στο Σχήμα 7-52 παρατηρείται καλή συσχέτιση της αντοχής σε μοναξονική θλίψη με τον δείκτη σημειακής φόρτισης.

Συγκρίνοντας στο Σχήμα 7-53 την αντοχή σε μοναξονική θλίψη των ακέραιων βραχωδών μαργών με το βάθος, διαπιστώνεται αρκετά μεγάλη διασπορά χωρίς να υπάρχει σαφής συσχέτιση αυτών, με μία, ωστόσο, τάση αύξησης της αντοχής με το βάθος.



Η τάση αύξηση της αντοχής με το βάθος, διαπιστώνεται και συσχετίζοντας αυτό, με την αντοχή σε σημειακή φόρτιση Is_{50} (Σχήμα 7-54), κάτι που άλλωστε αναμενόταν, δεδομένης της καλής θετικής συσχέτιση που παρατηρήθηκε ανάμεσα στην αντοχή σε μοναξονική θλίψη και στην αντοχή σε σημειακή φόρτιση. Η συσχέτιση φαίνεται να είναι

Αντοχή σε σημειακή φόρτιση Is50 0 0.5 1 1.5 2 2.5 3 3.5 4 0 5 10 * 3áθoç (m) 15 20 • • 25 30 35

καλύτερη από αυτήν της μοναξονικής θλίψης με το βάθος, κυρίως λόγω της αύξησης του πλήθους των δειγμάτων που μελετήθηκαν.

Σχήμα 7-53: Διάγραμμα συσχέτισης της αντοχής σε σημειακή φόεριση και του βάθους.

Συγκρίνοντας, τέλος, το δείκτη διαβρωσιμότητας Id_2 αλλά και τον δείκτη σημειακής φόρτισης Is_{50} με τη περιεκτικότητα σε ανθρακικά ορυκτά, όπως αυτά προσδιορίστηκαν με την ημιποσοτική ανάλυση, διαπιστώθηκε διαφοροποίηση ανάμεσα στις ανώτερες κιτρινότεφρες μάργες και στις κατώτερες μελανότεφρες, η οποία αποδίδεται στη διαφορετική περιεκτικότητα των δυο ενοτήτων σε συνοδευτικά ορυκτά. Η επίδραση των συνοδευτικών ορυκτών στην ανθεκτικότητα των σχηματισμών στη διάβρωση, έχει αναδειχθεί και από άλλους επιστήμονες (*Fookes et al., 1971*).

Πιο συγκεκριμένα, στα Σχήματα 7-55 έως 7-58, παρατηρείται καλή σχετικά συσχέτιση και συγκεκριμένα αύξηση της τιμής του δείκτη διαβρωσιμότητας Id₂ και του δείκτη σημειακής φόρτισης Is₅₀, με την αύξηση του ανθρακικού ασβεστίου για τις κιτρινότεφρες μάργες, σε αντίθεση με τις μελανότεφρες όπου διαφαίνεται ότι η παρουσία του ανθρακικού ασβεστίου δεν επηρεάζει θετικά την ανθεκτικότητα στη διάβρωση αλλά ούτε και την αντοχή σε σημειακή φόρτιση.

Η διαφοροποίηση αυτή αναδεικνύει την επίδραση του ποσοστού των συνοδευτικών ορυκτών, που στην περίπτωση των μελανότεφρων μαργών είναι αυξημένο (μ.ο. 48%) σε σχέση με των κιτρινότεφρων (μ.ο. 22.5%), στη διαμόρφωση της εν γένει γεωμηχανικής συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού, τόσο στο *matrix* του υλικού, αλλά και σαν πηγή προσφοράς κατιόντων ασβεστίου στον ''υμένα'' που περιβάλλει τα αργιλικά πλακίδια.



Σχήμα 7-54: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και του δείκτη ανθεκτικότητας στη διάβρωση (Id₂) για τις κιτρινότεφρες μάργες.



Σχήμα 7-55: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και του δείκτη σημειακής φόρτισης Is50 (MPa) για τις κιτρινότεφρες μάργες.



Σχήμα 7-56: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και του δείκτη ανθεκτικότητας στη διάβρωση (Id₂) για τις μελανότεφρες μάργες.


Σχήμα 7-57: Διάγραμμα συσχέτισης του ποσοστού των ανθρακικών ορυκτών (%) και του δείκτη σημειακής φόρτισης Is50 (MPa) για τις μελανότεφρες μάργες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8:

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ιστορική αναδρομή στα προβλήματα επί των τεχνικών έργων της Κύμης από την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων

Πρόσφατα κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης

Καταγραφή Κατολισθητικών φαινόμενων στην περιοχή Κύμης



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ</u> <u>ΕΡΕΥΝΑΣ</u>

Στο κεφάλαιο αυτό, δίνεται αρχικά το περιεχόμενο προηγούμενων γεωλογικών ερευνών – μελετών που εκπονήθηκαν στην ευρύτερη περιοχή έρευνας, ενώ στη συνέχεια περιγράφονται και σχολιάζονται οι εργασίες υπαίθρου που αφορούν στην εκδήλωση κατολισθήσεων που έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε οικισμούς, γραμμικά έργα, καλλιέργειες κλπ. Τμήμα των εργασιών αυτών πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος «Κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης» (Κουμαντάκης et al., 2007), βάσει του οποίου δόθηκε η δυνατότητα πολλών επισκέψεων στην περιοχή της έρευνας. Οι εργασίες αυτές πιστεύεται ότι βοηθούν στην πλήρη κατανόηση των γεωλογικών συνθηκών αλλά και της τεχνικογεωλογικών αστοχιών. Επισημαίνεται ότι στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, η καταγραφή συνεχίστηκε και τα έτη 2008 - 2012. Συνολικά καταγράφηκαν και χαρτογραφήθηκαν 132 κατολισθητικά φαινόμενα, αντιπροσωπευτικές περιπτώσεις των οποίων αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο.

8.1 Ιστορική αναδρομή στα προβλήματα επί των τεχνικών έργων της Κύμης από την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων

Περιοχή Βίταλα

Η πρώην Κοινότητα Βίταλα του Νομού Ευβοίας, βρίσκεται 4Km δυτικά της Κύμης και περιλαμβάνει δύο οικισμούς, τον κύριο οικισμό Βίταλα και τον οικισμό Κρινιάνοι.

Η Κοινοτική περιοχή των Βιτάλων, έχει πληγεί στο παρελθόν κατ' επανάληψη από κατολισθητικά φαινόμενα, τόσο στην οικιστική περιοχή, όσο και εκτός αυτής, σε καλλιεργημένες εκτάσεις και τεχνικά έργα. Όπως διαπιστώνεται από τις βιβλιογραφικές αναφορές που ακολουθούν, οι τεχνικές εκθέσεις του ΙΓΜΕ αναφορικά με την περιοχή Βιτάλων ξεκινούν από τη δεκαετία του '60 και γενικά αναφέρονται στην καταγραφή και εξέταση των κατολισθητικών φαινομένων, καθώς και σε σχετικές προτάσεις αντιμετώπισής τους. Οι μελέτες που εκπονήθηκαν στα πλαίσια διερεύνησης των φαινομένων αυτών, είναι οι ακόλουθες:

"Εκθεση εξετάσεως κατολισθήσεως κοινότητας Βιτάλων Ευβοίας", υπό Ι Αναστόπουλου, Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Ε-22, Αθήνα, 1965. Στην έκθεση αυτή διερευνώνται τα δύο τμήματα που αναπτύσσονται εκατέρωθεν του ρέματος Κρινιάνοι, στα οποία εκδηλώθηκαν τα κατολισθητικά φαινόμενα, που τη συγκεκριμένη περίοδο (Απρίλιος '65), επηρέασαν μόνο αγροτικές καλλιέργειες.

"Έκθεση γεωτεχνικής έρευνας στο εζωτερικό υδραγωγείο του συνδέσμου κοινοτήτων Κύμης και των οικισμών Βιτάλων και Κρυονερίτη Ν. Ευβοίας", υπό Αντ. Ελευθερίου, Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-980, Ε-22, Αθήνα, Σεπτ. 1983.

Σύμφωνα με την έκθεση αυτή, τα κατολισθητικά φαινόμενα στα Βίταλα τη δεκαετία του '80 επεκτάθηκαν στο βόρειο πρανές του ρέματος Κρινιάνοι, που ανήκει στην Κοινότητα Βιτάλων και έπληξαν αρκετά σπίτια της κοινότητας και το υδραγωγείο του χωριού. Η έκθεση καταλήγει με προτάσεις για την ανάσχεση των φαινομένων, που στόχο είχαν τη μείωση της διάβρωσης από το ρέμα, την αποστράγγιση επιφανειακών υδάτων, την αντιστήριξη θέσεων στις περιοχές όπου υπήρχαν οικίες, στις οποίες εκδηλώθηκαν εδαφικές θραύσεις, καθώς και την ενίσχυση της θεμελίωσης των πληγέντων σπιτιών.

"Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης στον οικισμό Κρινιάνων κοινότητας Βιτάλων Ευβοίας", υπό Α. Ελευθερίου - Δ. Ρόζου. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-1788, Αθήνα, 1994.

Μετά το 1983 τα φαινόμενα επαναλαμβάνονται εντονότερα. Επισημαίνεται ότι καμία από τις προτάσεις που είχαν γίνει στην προηγούμενη έκθεση, δεν υλοποιήθηκε. Συγκεκριμένα, η έκθεση αυτή, με αφορμή την επανάληψη των φαινομένων, διαπιστώνει ότι οι αστοχίες εξαπλώνονται και τονίζει την ανάγκη εφαρμογής των μέτρων που είχαν προταθεί το 1983.

Συγκεκριμένα τονίζεται ότι, η περιοχή των Κρινιάνων είναι επιρρεπής σε εκδήλωση αστοχιών που συνδέονται με φαινόμενα κατολισθήσεων και καθιζήσεων, λόγω της αργιλομαργαϊκής σύστασης των σχηματισμών, της μορφολογίας, του τεκτονισμού, καθώς και της επίδρασης των όμβριων νερών, που είτε διηθούνται εντός του εδάφους, είτε διαβρώνουν τα πρανή στην κοίτη του χειμάρρου, κατάντη του οικισμού. Για την ανάσχεση των φαινομένων αυτών, στις προτάσεις της έκθεσης αυτής περιλαμβάνονται:

- Κατασκευή δασοτεχνικών μικροφραγμάτων, κατάντη του οικισμού στην κοίτη του χειμάρρου, ώστε να μειωθεί η διαβρωτική ικανότητα των χειμερινών νερών, κυρίως σε περιπτώσεις έντονων βροχοπτώσεων.
- Διευθέτηση της ροής των όμβριων νερών στον οικοδομημένο χώρο του χωριού καθώς και στο πρανές του χειμάρρου.
- Ενίσχυση της θεμελίωσης των σπιτιών που έχουν ρωγματωθεί, με έργα κυρίως υποθεμελίωσης.
- Κατάντη των ρωγματωμένων σπιτιών, κατασκευή τοιχίων ποδός, θεμελιωμένα στον υγιή αργιλομαργαϊκό σχηματισμό, για την ενίσχυση της αντιστήριξής τους.

"Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης των τμημάτων του οδικού δικτύου Ανατολικής Εύβοιας", υπό Α. Ελευθερίου. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, T-1814, Αθήνα, 1995.

Στην τεχνική αυτή έκθεση εξετάζονται οικισμοί και τμήματα οδικών δικτύων που έχουν πληγεί από τα καταστροφικά φαινόμενα. Μεταξύ άλλων αναφορά γίνεται και στο δρόμο Ανδρωνιάνοι – Βίταλα, όπου τονίζεται ότι η λιθολογική σύσταση των σχηματισμών του υποβάθρου, σε συνδυασμό με τις έντονες βροχοπτώσεις και την κλίση του πρανούς, δημιούργησαν οριακές συνθήκες για την ευστάθεια κυρίως του μανδύα αποσάθρωσης, με αποτέλεσμα την εκδήλωση τοξοειδούς επιφάνειας ολίσθησης κατά μήκος του δρόμου.

Στις προτάσεις περιλαμβάνονται, η απαγωγή των επιφανειακών νερών σε όλο το μήκος του δρόμου, με εγκιβωτισμένα ρείθρα, καθώς και η αντιστήριξη του πρανούς με συρματοκιβώτια.

"Έκθεση κατολισθητικών φαινομένων που έπληζαν την κοινότητα Βίταλα και τον οικισμό Δέντρα κοινότητας Ανδρωνιάνοι του Ν. Ευβοίας", υπό Χρ. Αγγελίδη. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-1989, Ε-22, Αθήνα, 1998.

Σε αυτή την τεχνική έκθεση, η οποία συντάχθηκε μετά τα κατολισθητικά φαινόμενα του Μαρτίου του 1998, διαπιστώθηκε ότι τα προταθέντα κατά το παρελθόν μέτρα, δεν έχουν κατασκευαστεί στο σύνολό τους και προτείνεται η υλοποίησή τους, καθώς και η διενέργεια γεωλογικής – τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης και η ζωνοποίηση των οικοδομικών χώρων. Επιπρόσθετα, είχε προταθεί και η εφαρμογή γεωτεχνικού προγράμματος στο δρόμο προς τα Δένδρα.

"Κατολισθητικά φαινόμενα νομού Ευβοίας", υπό Ε. Λέκκα. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Αθήνα - Χαλκίδα, Ε.Κ.Π.Α. 1998.

Η έρευνα αυτή, ανατέθηκε από τα αρμόδια όργανα της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Εύβοιας, στον Τομέα Δυναμικής Τεκτονικής, Εφαρμοσμένης Γεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών, μετά από σχετική πρόταση, προκειμένου να να συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων που εκδηλώθηκαν στο Νομό.

Στα πλαίσια της έρευνας αυτής πραγματοποιήθηκε τον Μάρτιο του '98 επιτόπια αναγνωριστική έρευνα στην Κοινότητα Βίταλα. Διαπιστώθηκε ότι, τα κατολισθητικά φαινόμενα είχαν προσβάλλει ευρύτατα τους δύο οικισμούς της Κοινότητας, Βίταλα και Κρινιάνους, ιδιαίτερα στα τμήματα που βρίσκονται εκατέρωθεν του ρέματος, το οποίο διαχωρίζει τους δυο οικιστικούς χώρους. Η κύρια θραύση του εδάφους ήταν εμφανής στον οικισμό Κρινιάνοι, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ, παράλληλα προς το πρανές και έκτασης περίπου 200m. Αντίστοιχη θραύση είχε παρατηρηθεί με την ίδια σχεδόν διεύθυνση στο απέναντι πρανές του οικισμού Κρινιάνοι, η οποία είχε μήκος περί τα 100m. Από την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων, τουλάχιστον 15 οικίες έπαθαν σημαντικότατες βλάβες και κατέστησαν επικίνδυνες προς άμεση κατάρρευση, ενώ περί τις 50 σημειώθηκε ότι κινδύνευαν άμεσα. Πέρα από τις ζημιές στις οικοδομές, τα κατολισθητικά φαινόμενα προκάλεσαν βλάβες και στα έργα υποδομής και ειδικότερα στον κύριο αγωγό ύδρευσης της Κοινότητας, σε δίκτυα αποχέτευσης και δίκτυα της ΔΕΗ, του ΟΤΕ, σε πολλά σημεία του οδικού δικτύου καθώς και σε τοίχους αντιστήριξης κατά μήκος αυτού.

Σαν άμεσο μέτρο αντιμετώπισης προτάθηκε η διευθέτηση του χειμάρρου που ρέει μεταξύ των δυο οικισμών, με δασοτεχνικά φράγματα, έτσι ώστε να ανασταλούν όσο το δυνατόν τα φαινόμενα.

"Γεωλογική – τεχνικογεωλογική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων της ευρύτερης περιοχής Βιτάλων, Ν. Ευβοίας", υπό Ι. Χατζηνάκου, Ν. Νικολάου, Αλ. Τζίτζιρα, Δ. Γαλανάκη, Χ. Γεωργίου. Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Τ-2022, Αθήνα, 1999.

Μετά τα εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα που εκδηλώθηκαν το Μάρτιο του 1998, το ΥΠΕΧΩΔΕ ανέθεσε στο ΙΓΜΕ την εκπόνηση σχετικής έρευνας, για την οποία συντάχθηκε η Γεωλογική έκθεση. Στα πλαίσια της έρευνας πραγματοποιήθηκε πλήρης και τεκμηριωμένη γεωλογική, τεκτονική και τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5000 οικιστικές περιογές της Κοινότητας των Βιτάλων. Επιπλέον, στις πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός των περιοχών πολεοδομικής ανάπτυξης των συνοικισμών Βίταλα και Κρινιάνοι, σε τρεις ζώνες οικιστικής καταλληλότητας. Στα συμπεράσματα που διεξήχθησαν από την γεωλογική – γεωτεχνική χαρτογράφηση, ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε μεταξύ άλλων και στην ισχυρή νεοτεκτονική καταπόνηση της περιοχής που έχει συμβάλλει σημαντικά στη δημιουργία και εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων.

Περιοχή Σουτσίνι

Η περιοχή Σουτσίνι βρίσκεται 1200m περίπου βόρεια από το λιμάνι της Κύμης και περιλαμβάνει το τμήμα της ακτής και των απότομων πρανών που διαμορφώνονται εκατέρωθεν του μικρού χειμάρρου της Αγίας Μαρίνας. Στο νότιο τμήμα της περιοχής, τα πρανή, ύψους 100m περίπου, είναι σχεδόν κατακόρυφα, ενώ προς τη βάση τους διαμορφώνονται ηπιότερες μορφολογικές κλίσεις αλλά πάντα ισχυρές (35⁰-45⁰). Τέλος, κοντά στο χείμαρρο της Αγίας Μαρίνας, οι κλίσεις γίνονται ηπιότερες, 25⁰-30⁰ περίπου.

Στην περιοχή σημειώνονται σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα που επηρεάζουν συγκεκριμένο τμήμα του πρανούς από το υψόμετρο των 100 περίπου μέτρων μέχρι την ακτή. Τα φαινόμενα αυτά έχουν καταστρέψει τμήμα του δρόμου που οδηγεί προς το εξωκλήσι της Αγ. Μαρίνας διακόπτοντας την κυκλοφορία και έχουν προκαλέσει καταστροφές στους αναβαθμούς εξοχικής οικίας που βρίσκεται ανάντη του δρόμου. Η ζώνη των αστοχιών φθάνει στα κατάντη και νότια μέχρι το εξωκλήσι το οποίο έχει καταστραφεί από κατολίσθηση στο χώρο θεμελίωσής του.

Τα φαινόμενα αστοχιών πρανών στη συγκεκριμένη περιοχή δεν είναι μόνο πρόσφατα. Έχουν εκδηλωθεί και κατά το παρελθόν (δεκαετία '80) με τέτοια ένταση που προκάλεσε την εκτέλεση γεωλογικής και τεχνικογεωλογικής έρευνας. Βιβλιογραφικά έχει βρεθεί μια παλαιότερη έρευνα στην περιοχή που ασχολήθηκε με τα φαινόμενα αστοχιών πρανών στο Σουτσίνι, και συντάχθηκε το 1989. Στα επόμενα δίνεται σύντομη περιγραφή της περιοχής που μελετήθηκε τότε, τα προβλήματα που είχαν εκδηλωθεί και τα μέτρα αντιμετώπισης που προτάθηκαν.

"Γεωτεχνική εζέταση της περιοχής Σουτσίνι Κύμης", υπό Α. Ελευθερίου, Αδημοσίευτη έκθεση ΙΓΜΕ, Ε-5769, Αθήνα, 1989.

Η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή Σουτσίνι, σύμφωνα με τη συγκεκριμένη έκθεση, ξεκίνησε στην αρχή του φθινοπώρου του 1988, ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις και πιθανότατα, ύστερα από παρατεταμένη διαρροή σωλήνα ύδρευσης.

Συγκεκριμένα, επί των αργιλομαργαϊκών υλικών της περιοχής, δημιουργήθηκε με εκχωμάτωση σε ύψος 6m, τεχνητός αναβαθμός έκτασης περίπου 20m², επί του οποίου είχε κατασκευαστεί οικισμός θερινής διαμονής. Αποτέλεσμα της εκσκαφής ήταν να αυξηθεί ακόμη περισσότερο η μεγάλη φυσική κλίση του πρανούς. Έτσι, την 30-1-89 εκδηλώθηκε εδαφική θραύση της οποίας η κεφαλή ήταν 12m ανάντη του τεχνητού αναβαθμού, με πλάτος 8 με 12m, ενώ τα υλικά του ποδός της κατολίσθησης, είχαν σχηματίσει μεγάλο ύβωμα στη θέση του τεχνητού αναβαθμού όπου και κάλυπταν τα ερείπια μικρής οικίας. Στη μελέτη αυτή αναφέρεται ότι, στη θέση της κατολίσθησης, δεν διαπιστώθηκαν στοιχεία που να αποδεικνύουν την ύπαρξη άλλου κτίσματος πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

Στα αίτια που προκάλεσαν το φαινόμενο, αναφέρονται οι δυσμενείς γεωλογικές και γεωτεχνικές συνθήκες του πρανούς, η εκχωμάτωση για τη δημιουργία αναβαθμού καθώς και η αυξημένη διήθηση του νερού που πιθανότατα να οφείλεται σε διαρροή του σωλήνα ύδρευσης.

8.2 Πρόσφατα κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης

Κατολισθητικά φαινόμενα εντοπίζονται σε αρκετές θέσεις της περιοχής Κύμης, και οφείλονται κυρίως στη φυσική κατάσταση και στη γενική τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις σε συνδυασμό με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις (Κουμαντάκης et al., 2007).

Αναφορικά με τη φυσική κατάσταση των σχηματισμών και κυρίως των νεογενών ιζημάτων που επικρατούν στην περιοχή αλλά και των σχηματισμών του φλύσχη, η λιθοστρωματογραφική τους διάρθρωση και οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν τη διαμόρφωση παχύ μανδύα αποσάθρωσης που με τη δράση του υπόγειου νερού (αύξηση πίεση πόρων, κλπ) αλλά και της ανθρώπινης παρέμβασης αποκτά κινητικότητα. Η κινητικότητα αυτή εκφράζεται αρχικά σαν ερπυσμός που μετεξελίσσεται σε ολισθήσεις και αυτές με τη σειρά τους σε ροές εδαφικών υλικών.

8.2.1 Τύποι των κατολισθητικών φαινομένων

Γενικά, οι αστοχίες που σημειώνονται στην περιοχή της έρευνας κατηγοριοποιούνται σε ερπυσμούς, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, καταπτώσεις βραχωδών μαζών, αλλά και ροές υλικών.

Ολισθήσεις εκδηλώνονται στους ανώτερους ορίζοντες των σχηματισμών των νεογενών και του φλύσχη λόγω της γενικά ιδιόμορφης τεχνικογεωλογικής τους συμπεριφοράς που απορρέει από την κυκλοθεματική τους διάρθρωση (εναλλαγές διαφορετικής γεωμηχανικής συμπεριφοράς υλικά).

Στα βραχώδη πρανή, όπως αυτά του δρόμου από Κύμη προς Μετόχι, σημειώνονται καταπτώσεις βραχωδών μαζών και τοπικά ροές κορημάτων.

Οι ερπυσμοί αποτελούν πολύ βραδεία κίνηση του μανδύα αποσάθρωσης εδαφικών σχηματισμών ή των υλικών της ζώνης αποσάθρωσης, καθώς και στις ζώνες ισχυρού κερματισμού πετρωμάτων. Η βραδύτητα της κίνησης δεν επιτρέπει τη δημιουργία επιφάνειας ολίσθησης, αφού η μετακίνηση των εδαφικών υλικών γίνεται σε ζώνη εντός της οποίας δημιουργούνται ρωγματώσεις που συνήθως κλείνουν γρήγορα. Οι μόνες περιπτώσεις να γίνει αντιληπτή, η επί μακρόν χρόνο, κίνηση των υλικών που έχουν τεθεί σε ερπυσμό, είναι η ΄΄απολίθωση΄΄ αυτής, όπως αυτή για παράδειγμα αποτυπώνεται με σημαντική απόκλιση από την κατακόρυφο των δένδρων (Εικόνα 8-1) ή το σχίσιμο αυτών από τη ρίζα (Εικόνα 8-2) καθώς το ένα τμήμα της βρίσκεται εντός ζώνης ερπυσμού.

Τοπικά οι ερπυστικές κινήσεις εξελίσσονται σε ολισθήσεις, εφόσον δεν ληφθούν κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισής τους.

Οι περιστροφικές ολισθήσεις είναι συνήθεις σε σχηματισμούς όπως οι μάργες και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και το σχήμα της δημιουργούμενης επιφάνειας θραύσης θεωρείται κυκλικό (η τομή της από κατακόρυφο επίπεδο).

Η διαδικασία εκδήλωσης των αστοχιών αυτών και εφόσον δεν ληφθούν έγκαιρα τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης, συνεχίζεται με διαδοχικές ανάντη θραύσεις, που σταματούν όταν παύσει η δράση του νερού ή όταν συναντηθεί ανθεκτικός σχηματισμός (Εικόνα 8-3). Αυτός ο τύπος κατολισθητικών κινήσεων είναι πολύ συνήθης στον Ελλαδικό χώρο, σε νεογενείς αποθέσεις, αργιλικό φλύσχη, κλπ.



Εικόνα 8-1: Ερπυστική κίνηση σε πρανές νότια του χωρίου Πύργος, που αποτυπώνεται στα δένδρα της περιοχής.

Εικόνα 8-2: Σχίσιμο ελιάς στην περιοχή Βιτάλων από ερπυστικές κινήσεις.



Εικόνα 8-3: Περιστροφική ολίσθηση στην περιοχή του Φάρου (πρανές Στομίου – Πλατάνας).

Στις μεταθετικές ολισθήσεις η επιφάνεια ολίσθησης είναι σχεδόν επίπεδη και το εδαφικό ή βραχώδες υλικό (ολίσθηση τεμάχους) κινείται κατά μήκος αυτής προς τα κάτω και προς τα έξω. Η κίνηση δηλαδή κυρίως ελέγχεται από την ύπαρξη ασυνεχειών όπως στρώσεις, ρήγματα, διαρρήξεις κλπ.

Στις ροές, το εδαφικό υλικό που μετακινείται προσομοιάζει, στις περισσότερες των περιπτώσεων, με ιξώδες ρευστό που ρέει (ροές εδαφών, ρεύματα γαιών, ρεύματα κορημάτων). Η κίνηση αυτή δεν πρέπει να συγχέεται με τον ερπυσμό, καθώς ο τελευταίος είναι πολύ αργή κίνηση.



Εικόνα 8-4: Πλευρική (υποοριζόντια) εξάπλωση στην περιοχή Φάρου (πρανή Στομίου – Πλατάνας).

Στις πλευρικές (υποοριζόντιες) εξαπλώσεις, η κίνηση συνοδεύεται από διατμητικές και εφελκυστικές ρωγμές. Γενικά, η κίνηση μπορεί να είναι επέκταση μάζας που ολισθαίνει, χωρίς να μπορεί να καθορισθεί με ακρίβεια το επίπεδο ολίσθησης ή η ζώνη πλαστικής ροής. Ο υπερκείμενος σε αυτά τα υλικά βραχώδης ορίζοντας, διαμελίζεται σε μεγάλα τεμάχια, που κινούνται, περιστρέφονται, βυθίζονται ή θρυμματίζονται (Εικόνα 8-4) (Ρόζος. 2007a).

Στις καταπτώσεις βραχωδών μαζών, η αστοχία αναφέρεται στην αποκόλληση τμημάτων βραχομάζας ποικίλου μεγέθους. Στην περίπτωση αυτή, η αποκόλληση γίνεται σε απότομο πρανές και κατά μήκος μιας επιφάνειας όπου δεν σημειώνεται διάτμηση.

Γενικά, στην υπόψη περιοχή, τα ανθρακικά πετρώματα διαμορφώνουν φυσικά πρανή μεγάλου ύψους και κλίσης. Έτσι, τα τεχνητά πρανή του δρόμου, σχηματίζουν ισχυρές κλίσεις και σαν ανθρωπογενείς παρεμβάσεις επιφέρουν αστοχίες με τη μορφή καταπτώσεων.

8.2.2 Καταγραφή κατολισθητικών φαινόμενων στην περιοχή Κύμης

Η χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή Κύμης, καταγράφηκε στον χάρτη της Εικόνας 8-5. Η σύνταξη του χάρτη με τις θέσεις των κατολισθήσεων επιτεύχθηκε μετά από τη σχετική ερμηνεία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, την υπαίθρια καταγραφή τα έτη 2006 - 2012 και την αξιολόγηση βάσης δεδομένων με προγενέστερα κατολισθητικά φαινόμενα. Συνολικά καταγράφηκαν και χαρτογραφήθηκαν 132 κατολισθητικά φαινόμενα.

Τα σημαντικότερα κατολισθητικά φαινόμενα στο Δήμο Κύμης από πλευράς επίδρασης σε οικισμούς ή και γραμμικά έργα, εντοπίζονται στην παραλιακή ζώνη Στομίου – Πλατάνας – Παραλίας Κύμης, στην περιοχή των Βιτάλων, στο δρόμο προς το εξωκλήσι της Αγ. Μαρίνας αλλά και στο χώρο θεμελίωσης αυτού (θέση Σουτσίνι), στην περιοχή του χωριού Πύργος και ειδικότερα στο βόρειο άκρο του χωριού και τέλος στο δρόμο προς Μετόχι.



Πρανή παραλίας από Στόμιο έως Παραλία Κύμης

Η περιοχή των πρανών από το Στόμιο μέχρι και την παραλία Κύμης, δομείται από σχηματισμούς των νεογενών ιζημάτων και είναι διαμορφωμένος με μεγάλες έως πολύ μεγάλες μορφολογικές κλίσεις. Η διαμόρφωση αυτή αποκαλύπτει τεκτονική δράση στο συγκεκριμένο χώρο (μείζονες διαρρήξεις) που έχουν κατακερματίσει τις μάργες και έχουν διαμορφώσει τη μορφολογία που περιγράφηκε.

Γεωλογικά, δομείται από τις δύο κύριες φάσεις των νεογενών, δηλαδή τις τεφρές έως μελανότεφρες μάργες που είναι στο σύνολό τους στεγανός σχηματισμός και τις υπερκείμενες τεφροκίκρινες έως λευκοκίτρινες μάργες που εμφανίζονται ισχυρά καταπονημένες από την τεκτονική δράση και χαρακτηρίζονται σαν ημιπερατά υλικά. Οι υποκείμενες μελανότεφρες μάργες εμφανίζονται επιφανειακά σε δύο μόνο θέσεις με μικρή έκταση, ενώ οι τεφροκίτρινες κυριαρχούν στα πρανή του συγκεκριμένου χώρου, όπου και συνήθως καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους (3-5m) σε θέσεις μορφολογικών υφέσεων.

Η συγκεκριμένη γεωλογική διάρθρωση αλλά και η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών του νεογενούς ευνοούν την κατείσδυση του νερού μέχρι την επαφή των δύο φάσεων όπου συνήθως δημιουργούνται επιφάνειες ερπυσμών ή και ολισθήσεων. Τα συγκεκριμένα φαινόμενα είναι πολύ συνηθισμένα στο τμήμα των πρανών από ανάντη μέχρι το δρόμο Στομίου - Πλατάνας. Αντίθετα, στο τμήμα από το ύψος του συγκεκριμένου δρόμου και μέχρι την ακτή, σημειώνονται σημαντικές αστοχίες σε θέσεις όπου δεν υπάρχει προστασία με σχετικό λιμενικό έργο. Αναλυτικότερα οι αστοχίες που σημειώνονται εδώ έχουν ως εξής:

Πρανή ανάντη του δρόμου Στομίου – Παραλίας Κύμης



Εικόνα 8-6: Τα ανάντη πρανή του δρόμου Στομίου – Πλατάνας. Διακρίνεται η όχι ομαλή διαμόρφωση του πρανούς που αποκαλύπτει την παρουσία παλαιών εδαφικών αστοχιών.

Αρχίζοντας από την περιοχή του Στομίου, διαπιστώνεται ότι τα πρανή ανάντη του δρόμου έχουν μεγάλο ύψος με πολύ απότομες κλίσεις. Στο τμήμα αυτό όπως διαπιστώνεται και από την Εικόνα 8-6, το τμήμα του συγκεκριμένου πρανούς είχε υποστεί κατά παρελθόν δράση το τη κατολισθητικών φαινομένων. Η οποιαδήποτε ανθρώπινη παρέμβαση σε αυτό (π.χ. εκσκαφή για τη διαμόρφωση οικοπεδικού χώρου και των προσβάσεων αυτού) μπορεί προκαλέσει να ενεργοποίηση των παλαιών αστοχιών και συνεπώς σοβαρότατα προβλήματα στη λειτουργικότητα του δρόμου.

Στο επόμενο προς βορρά τμήμα του ίδιου πρανούς

(μέχρι του εστιατορίου Φάρος), είναι εμφανή ίχνη παλαιότερων αστοχιών που εκδηλώθηκαν σταδιακά και κυρίως μετά την τελευταία καταστροφή της φυτοκάλυψης στο χώρο από πυρκαγιά. Στα υψηλότερα σημεία του πρανούς, κατάντη του χωματόδρομου που συνδέει την Πλατάνα με την παραλία Κύμης στο φρύδι του πρανούς, εντοπίζονται ρωγμές εφελκυσμού που οριοθετούν την παλαιά αστοχία. Οι ρωγμές αυτές διατηρούνται λόγω της παρουσίας στη θέση ασβεστιτικών (σκληρών) μαργών, είναι όμως καλυμμένες με τη χαμηλή φυτοκάλυψη που έχει αναπτυχθεί και δεν είναι ορατές. Η αναγνώρισή τους έγινε ύστερα από σχετικές πληροφορίες των κατοίκων και αποκαλύπτουν την αστάθεια του πρανούς μέχρι σχεδόν την κορυφή του. Στις Εικόνες 8-7 και 8-8 φαίνεται στα πολύ απότομα πρανή του τμήματος αυτού και οι παλαιές αστοχίες, που επαναδραστηριοποιούνται σταδιακά.



Εικόνα 8-7: Τα απότομα πρανή στο τμήμα μέχρι το εστιατόριο Φάρος. Διακρίνεται η διαταραχή του πρανούς από τις διαδοχικές επαναδραστηριοποιήσεις των αστοχιών.



Εικόνα 8-8: Ο χώρος ανάντη του εστιατορίου Φάρος. Οι συνεχείς ενεργοποιήσεις των αστοχιών στο πρανές έχουν προκαλέσει τη διαμόρφωση μη ομαλού αναγλύφου και την αναμόχλευση των επιφανειακών οριζόντων των νεογενών ιζημάτων.

Μια τέτοια επαναδραστηριοποίηση καταγράφηκε τον Αύγουστο του 2008 όταν, μετά από έντονες βροχοπτώσεις δύο ημερών, τμήμα του πρανούς αποκολλήθηκε στον παραλιακό δρόμο Οξυλίθου – Πλατάνας που αποτελεί τμήμα του δρόμου Χαλκίδα – Λιμάνι Κύμης (Εικόνα 8-9). Η πτώση προκάλεσε υλικές ζημιές σε αυτοκίνητο που κινείτο από Στόμιο προς Πλατάνα, ενώ υπήρξε σοβαρός τραυματισμός (ακρωτηριασμός ποδιού) νεαρής γυναίκας που βρισκόταν στη θέση του συνοδηγού (Εικόνες 8-10, 8-11). Στην Εικόνα 8-12 διακρίνεται το τέμαχος του πρανούς που βρίσκεται σε οριακή ισορροπία και αναμένεται να αποκολληθεί.



Εικόνα 8-9: Το τμήμα του πρανούς από το οποίο αποκολλήθηκε το τέμαχος. Διακρίνεται η διαφορά στο χρώμα των αποσαθρωμένων τεφρών μαργών και αυτού που προέκυψε μετά την αποκόλληση.

Εικόνα 8-10: Φωτογραφία από τον τόπο του ατυχήματος στο οποίο προκλήθηκε ο σοβαρός τραυματισμός νεαρής γυναίκας. Διακρίνεται το τέμαχος που αναπήδησε στο φυσικό πρανές και κατέληζε στο δρόμο.



Εικόνα 8-11: Το αυτοκίνητο στο οποίο επέβαινε η Εικόνα 8-12: Διακρίνεται το τέμαχος που άτυχη συνοδηγός. βρίσκεται σε οριακή ισορροπία.

Έπειτα από την επί τόπου επίσκεψη από κλιμάκιο του ΙΓΜΕ που πραγματοποιήθηκε την επόμενη του ατυχήματος μετά από αίτηση του Γενικού Γραμματέα της Περιφέρειας Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας και του Δημάρχου Κύμης, κατά την επίσκεψη διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

 Η αποκόλληση των βράχων, έγινε από κατακόρυφο πρανές ευρισκόμενο σε υψόμετρο 120m περίπου.

- Τα βραχώδη τεμάχη είναι 4 και όγκου 1.5 2.0 m³ το καθένα.
- Τα 3 τεμάχη βρίσκονται στον πόδα του πρανούς, ενώ το 4° αναπήδησε (άλματα της τάξης των 15.0m περίπου και έφθασε μέχρι τον δρόμο.
- Διαπιστώθηκε, επίσης, η ύπαρξη τεμαχών μεγάλου όγκου, τα οποία βρίσκονται σε οριακή ισορροπία και υπάρχει κίνδυνος αποκόλλησής τους. Εκτιμήθηκε ότι είναι αναγκαία η τεχνητή ελεγχόμενη αποκόλλησή τους, προς αποφυγή παρόμοιων δυσάρεστων συμβάντων.

Οι αρμόδιες αρχές έκριναν ότι η κατάσταση των πρανών κατέχει υψηλή διακινδύνευση και για το λόγο αυτό, πάρθηκαν επί τόπου οι παρακάτω αποφάσεις:

- Κλείσιμο του δρόμου με την τοποθέτηση σάκων πληρωμένων με 3Α σε μήκος 160m περίπου (Εικόνα 8-13, 8-14). Οι σάκοι τοποθετήθηκαν στη διαχωριστική γραμμή των δύο ρευμάτων κυκλοφορίας και παράλληλα προς αυτήν σε δύο σειρές. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε μία σειρά σάκων πάνω στις δύο προηγούμενες, έτσι ώστε να δημιουργηθεί ¨ανάχωμα¨ ύψους 1.60m περίπου.
- Τοποθέτηση αδρανούς υλικού (3A) από τους σάκους μέχρι το υφιστάμενο πρανές, πάχους 0.50m σε όλο το προαναφερόμενο μήκος (160.0 m περίπου), ώστε να αποσβεσθεί η ενέργεια βραχώδους τεμάχους που πιθανόν θα κατακρημνιστεί.
- Η εκσκαφή τάφρου στον πόδα του βραχώδους πρανούς, με κλίση του πυθμένα ώστε να αποστραγγίζεται ευχερώς και στη συνέχεια τεχνητή αποκόλληση των τεμαχών που βρίσκονται σε οριακή ισορροπία.



Εικόνα 8-13: Τοποθέτηση αμμόσακων στη Εικόνα 8-14: Τοποθέτηση αμμόσακων στη διαχωριστική γραμμή του δρόμου.

Στην Εικόνα 8-15 διακρίνονται οι εναλλαγές των λιθολογικών τύπων των μαργών και η διαφορετική συμπεριφορά τους στη διάβρωση. Η γενική άποψη της περιοχής αποκόλλησης του βραχώδους τεμάχους αποτυπώνεται στην Εικόνα 8-16.



8-15: Εικόνα Εναλλαγές των λιθολογικών τύπων στο πρανές της αποκόλλησης του τεμάχους. Διακρίνονται οι εναλλαγές τεφρών μαργών με ενστρώσεις αργίλων, ψαμμιτών και ψηφιδοκρακαλοπαγών και η διαφορά στην αποσαθρωσιμότητα των αργιλικών στρώσεων σε σχέση με άλλους τους λιθολογικούς τύπους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υποσκαφής βάση στη των περισσότερο ανθεκτικών στη διάβρωση λιθολογικών τύπων.



Εικόνα 8-16: Πανοραμική άποψη από την περιοχή που αποκολλήθηκε ο βράχος στις 13/08/2008 (φωτ. από προσωπικό αρχείο γεωλόγου κ. Βελισσαρίου).

Ειδικότερα ο χώρος του εστιατορίου Φάρος με τη διαμόρφωση των οικημάτων του, καθώς και κατοικίας ανάντη αυτού, αλλά και των προσβάσεών τους, προκάλεσαν

γενικότερη αστάθεια στην εκεί ζώνη του πρανούς με καταστροφή των δρόμων και των κτισμάτων της οικίας ανάντη του εστιατορίου, από διαδοχικές ολισθήσεις και πλευρικές (Εικόνες 8-17, 8-18 και 8-19). Κινδυνεύουν συνεπώς με μια πιθανή εξαπλώσεις επαναδραστηριοποίηση και τα οικήματα του εστιατορίου.



Εικόνα 8-17: Τα πρανή ανάντη των κτισμάτων του Εικόνα 8-18: Πρόσφατη πεταλοειδής ολίσθηση εστιατορίου. Οι αστοχίες είναι εμφανείς από τα τεμάγια ασφαλτοτάπητα που έγουν ολισθήσει από ανάντη αλλά και τη διαταραχή των στρωμάτων των μαργών.

ανάντη του εστιατορίου.



Εικόνα 8-19: Βοηθητικά κτίσματα της οικίας Φάρος. εστιατορίου ανάντη του H καταστροφή από την οριακή θραύση ολίσθησης είναι εμφανής.

Πρόσφατες μικροθραύσεις και ολισθήσεις εντοπίζονται και στα χαμηλά τμήματα του πρανούς στη συγκεκριμένη ζώνη. Έτσι, παρατηρούνται υπερκαλύψεις των προστατευτικών τοιχίων στο εσωτερικό του δρόμου Πλατάνας Παραλίας — Κύμης από αναμοχλευμένα υλικά κατολίσθησης.

Παρόμοια φαινόμενα στα πρανή του δρόμου αυτού σημειώνονται και βορειότερα, όπως για παράδειγμα στην περιοχή του κέντρου διασκέδασης 'Έν πλω' και αμέσως μετά το Έν πλω΄΄ προς τη στροφή του δρόμου και πριν την είσοδο για το ξενοδοχείο ΄΄Πανόραμα΄΄. Στις θέσεις αυτές περιορισμένων διαστάσεων μάζα από τις τεφρόλευκες μάργες με κλίση λοξά αντίρροπες στο πρανές, από τις διακλάσεις, έχει υπερκεράσει το τοιχίο του δρόμου.

Στα συγκεκριμένα πρανή αποκαλύπτεται τοπικά η υποκείμενη μελανότεφρη μάργα επιβεβαιώνοντας έτσι το μηχανισμό ολίσθησης πάνω σε αυτήν, των τεφρόλευκων μαργών. Στα τμήματα του ανάντη του δρόμου Πλατάνας – Παραλίας Κύμης που περιγράφηκαν μέχρι τώρα η οικοδόμηση είναι πολύ αραιή και αυτό κρίνεται καλό για την ευστάθεια των πρανών. Αντίθετα στην περιοχή βορειότερα και μέχρι την παραλία Κύμης (ευρύτερη περιοχή ξενοδοχείων Βαλέντι και Κοράλι) η οικοδομική δραστηριότητα είναι έντονη με αποτέλεσμα συνεχείς παρεμβάσεις στα πρανή, ωστόσο η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολύ μικρότερες μορφολογικές κλίσεις από τις θέσεις που εξετάστηκαν προηγούμενα.

Στη ζώνη αυτή του πρανούς και συγκεκριμένα από το χώρο του λατομείου στα ανάντη μέχρι τον παραλιακό δρόμο στα κατάντη, υπάρχουν εμφανείς ενδείξεις ενεργοποίησης κατολισθητικών φαινομένων επί του πρανούς με τη μορφή ερπυσμών.

Έτσι, αρχίζοντας από ανάντη, διαπιστώνεται ότι τα πρανή κάτω από το νταμάρι ολισθαίνουν. Οι καλαμιώνες και η λοιπή βλάστηση γενικότερα αποκαλύπτουν μόνιμο υψηλό βαθμό κορεσμού των εδαφικών υλικών (μανδύας αποσάθρωσης των μαργών) που έχουν κυμαινόμενο αλλά αρκετά μεγάλο πάχος (μέχρι και 6m). Πιθανόν οι ασβεστόλιθοι στο χώρο του νταμαριού λόγω της παρουσίας των παρακείμενων στεγανών μαργών αναπτύσσουν αυξημένη υδροφορία που αποφορτίζεται στην επαφή του μανδύα με τις υποκείμενες μάργες. Στο χώρο εντοπίζεται μόνιμη ροή σε αυλάκι που δικαιολογεί την άποψη αυτή.

Οι ζώνες όπου εκδηλώνονται ερπυστικές κινήσεις στην περιοχή μπορούν να διακριθούν εξαιτίας της αυξημένης απόκλισης από την κατακόρυφο των δένδρων (ελιές), όπως φαίνεται στις εικόνες 8-20 και 8-21, ενώ το ανάντη όριο των κινήσεων αυτών εντοπίζεται στο δρόμο μπροστά από το παλαιό νταμάρι, με εσωτερικές οριακές ζώνες όπως αυτή της Εικόνες 8-22 και 8-23. Στην εικόνα αυτή διακρίνεται το ΄΄άλμα΄΄ που διαμόρφωσαν οι ερπυστικές κινήσεις στο τσιμεντένιο οδόστρωμα του εκεί αγροτικού δρόμου.



(αποκλίσεις ελαιόδεντρων από των κατακόρυφο) λατομείου.

Εικόνα 8-20: Ορατά ίχνη ερπυστικών κινήσεων Εικόνα 8-21: Φωτογραφία από το μέσον σχεδόν την του πρανούς. Ορατή και εδώ η απόκλιση των αμέσως κατάντη του παλαιού κυπαρισσιών από την κατακόρυφο λόγω των ερπυστικών κινήσεων.



Εικόνα 8-22: Εσωτερικό οριακό ίχνος ερπυσμών. Εικόνα 8-23: Η συνέχεια του ίχνους των Διακρίνεται το άλμα.

ερπυσμών σε πέτρινο τοίχο διαμόρφωσης αναβαθμού που ενσωματώνει και κτίσμα.

Συνεχίζοντας προς τα κατάντη (περιοχή των ξενοδοχειακών μονάδων Κοράλι και Βαλέντι), οι ερπυστικές κινήσεις παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη έκταση και είναι ορατές πάνω σε ανθρώπινες κατασκευές.

Πιο αναλυτικά, οι ερπυσμοί έχουν καταστρέψει αγωγό ομβρίων (Εικόνα 8-24) που οδεύει παράλληλα με τον δρόμο που συνδέει τον κεντρικό δρόμο Πλατάνας – Κύμης με το χώρο του νταμαριού και εξυπηρετεί τα δύο ξενοδοχεία. Αποτέλεσμα αυτού είναι ο πρόσθετος εμποτισμός των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης και της ζώνης κερματισμού των νεογενών, γεγονός που επιταχύνει τις ερπυστικές κινήσεις. Συνέπεια αυτού είναι η καταστροφή δεξαμενής νερού, ανάντη του ξενοδοχείου Βαλάντι (Εικόνα 8-25). Επίσης, πίσω από το ξενοδοχείο ο τοίχος αντιστήριξης περί τα 4m έχει αστοχήσει.

Στη ζώνη αυτή ο μανδύας αποτελείται από αμμοϊλυώδη λεπτομερή με λίγη άμμο και θραύσματα μάργας, ενώ χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλό φρεάτιο ορίζοντα στα υλικά του μανδύα.



Εικόνα 8-24: Κατεστραμμένος αγωγός ομβρίων, με Εικόνα 8-25: Δεξαμενή νερού ανάντη αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ροή στα εδαφικά υλικά Ξενοδοχείου (εμποτισμός-κορεσμός).

του Βαλέντι. Η δεζαμενή έχει αχρηστευτεί από τις εδαφικές κινήσεις (έχει υποστεί σοβαρή κλίση).

Συμπερασματικά μπορεί να λεχθεί ότι, σε όλο το μήκος του ανάντη πρανούς του δρόμου Πλατάνα - Παραλίας Κύμης, σημειώνονται είτε παλαιά είτε νέα κατολισθητικά φαινόμενα, που σε συνδυασμό με τις ανθρώπινες παρεμβάσεις καθιστούν την αστάθεια των ήδη ευπαθών ζωνών πολύ οριακή. Συνεπώς, η εκδήλωση μιας άμεσης κατολίσθησης ή η μετεξέλιξη των ερπυστικών κινήσεων σε κατολισθήσεις, μπορεί να γίνει ανά πάσα στιγμή.

Πρανή κατάντη του δρόμου Στομίου – Παραλίας Κύμης

Στα πρανή αυτά που καταλήγουν στη θάλασσα, όπου δεν υπάρχει προστασία του πόδα τους από τον κυματισμό, ή όπου αυτή είναι με τη μορφή τοιχίων από σκυρόδεμα που εύκολα υποσκάπτονται από τη δράση των κυμάτων, είναι έντονες οι αστοχίες που επηρεάζουν το εξωτερικό τμήμα του οδοστρώματος, δημιουργώντας πολλά προβλήματα στην κυκλοφορία.

Αρχίζοντας από την περιοχή Στομίου, διαπιστώνονται σοβαρότατες αστοχίες στον τοίχο αντιστήριξης κατάντη του δρόμου από σκυρόδεμα (Εικόνα 8-26), που υπήρχε εκεί, λόγω μη καλής θεμελίωσης και έντονης δράσης του κυματισμού της θάλασσας. Πριν την ανατροπή του τοιχίου προστασίας του δρόμου, ο μηχανισμός εξέλιξης της αστοχίας προκάλεσε αποπλύσεις των υλικών επιχωμάτωσης του δρόμου. Στην Εικόνα 8-27, διακρίνεται τμήμα του τοιχίου που δεν έχει ακόμα καταρρεύσει, ενώ το υλικό του επιχώματος έχει αποπλυθεί και έχει διαρρεύσει κάτω από τον τοίχο.



Εικόνα 8-26: Η καταστροφή της αντιστήριζης του δρόμου στην περιοχή Στομίου. Εικόνα 8-27: Τμήμα του τοιχίου προστασίας του δρόμου που βρίσκεται στα όρια αστοχίας.

Ομοίως στην Εικόνα 8-28 που δείχνει το τμήμα του δρόμου προς την Παραλία Κύμης, λίγο μετά τις αστοχίες του Στομίου, είναι εμφανής η απόπλυση του επιχώματος και η συνεπακόλουθη καταστροφή του οδοστρώματος, πέραν της βοηθητικής λωρίδας. Στη θέση αυτή, το τοιχίο είχε διαμορφωθεί κλιμακωτά, πιθανά για καλύτερη αντιμετώπιση του προβλήματος. Και σε αυτή τη θέση η δράσης του κυματισμού της θάλασσας είχε ως αποτέλεσμα την υποσκαφή και τον περαιτέρω κατακερματισμό των αναβαθμών (Εικόνα 8-29). Πανοραμική από ανάντη εικόνα όλων των αστοχιών που περιγράφηκαν δίνεται

στην Εικόνα 8-30. Στην ίδια εικόνα διακρίνεται η πολύ μεγάλη κλίση και το ύψος των πρανών ανάντη του δρόμου.



Εικόνα 8-28: Η καταστροφή του οδοστρώματος και του υποκείμενου επιχώματος του δρόμου λόγω των υποσκαφών του κυματισμού.



Εικόνα 8-29: Ο κατεστραμμένος τοίχος προστασίας του δρόμου από μπετόν, λόγω της δράσης του κυματισμού.



Εικόνα 8-30: Πανοραμική άποψη των αστοχιών κατάντη του δρόμου Πλατάνας - Στομίου.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος, οι αρμόδιες αρχές έκριναν σαν καταλληλότερη τη λύση της κατασκευής αντιστήριξης με τη μορφή φρεατοπασσάλων με κεφαλόδεσμο (Εικόνα 8-31). Η λύση αυτή αντιμετωπίζει το πρόβλημα λόγω βαθιάς θεμελίωσης των πασσάλων αλλά και της προστασίας του σκυροδέματος και του οπλισμού τους από τη δράση του κυματισμού της θάλασσας.

Παρόμοια προβλήματα αντιμετωπίστηκαν κατά το παρελθόν και σε άλλες θέσεις των πρανών κατάντη του δρόμου Στομίου - Πλατάνας – Παραλίας Κύμης, με την κατασκευή λιμενικών έργων από φυσικούς ογκολίθους, ενώ αντίστοιχα προβλήματα θα αντιμετωπιστούν και στο μέλλον στα τμήματα του πρανούς που μέχρι σήμερα δεν έχει δοθεί λύση.



Εικόνα 8-31: Ο νέος τοίχος προστασίας του δρόμου από φρεατοπάσσαλους.

Περιοχή Βίταλα

Το πρόβλημα των αστοχιών στην περιοχή των Βιτάλων, είναι διαχρονικό και πολύ σοβαρό, όπως μπορεί να διαπιστωθεί και από την εξέταση των παλαιότερων μελετών. Η υφιστάμενη σημερινή κατάσταση παρουσιάζεται ανάλογη με εκείνη που έχει καταγραφεί στο παρελθόν με σοβαρότερη περίπτωση αστοχίας αυτή του νοτιοδυτικού πρανούς των Κρινιάνων. Στο πρανές αυτό, διαπιστώνονται εκτεταμένες ζώνες αστοχίας οι οποίες έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε σειρά οικιών, μια από τις οποίες έχει εκκενωθεί αφού βρίσκεται στα πρόθυρα της κατάρρευσης.



Εικόνα 8-32: Δασοτεχνικό φράγμα για την ανάσχεση της διαβρωτικής δράσης του νερού στο Μαυροπόταμο.

λοφοειδής Η επιμήκης έξαρση του οικισμού των Κρινιάνων που αποτελεί το νοτιοδυτικό τμήμα της οικιστικής ζώνης και έχει διεύθυνση ΒΔ/κή – ΝΑ/κή, έχει διαμορφωθεί από τη δράση συστήματος ρηγμάτων παρόμοιας κατεύθυνσης. Τα ρήγματα αυτά έχουν ευνοήσει τη διαμόρφωση, εκατέρωθεν της λοφοειδούς έξαρσης, των ρεμάτων Κρινιάνων και Μαυροπόταμου, που υποσκάπτουν συνεχώς τους τεκτονικά καταπονημένους μαργαϊκούς σχηματισμούς που δομούν το χώρο. Έτσι, συμβάλλουν στην γενική αστάθεια των πρανών των ρεματιών αυτών, η οποία στην περίπτωση δράσης πρόσθετων αιτίων (φυσικών όπως αυξημένες βροχοπτώσεις κλπ ή ανθρωπογενών όπως διανοίξεις δρόμων ή οικοπέδων, αλλά και υπόγειων εκμεταλλεύσεων των λιγνιτών), ευνοεί την εκδήλωση ολισθήσεων. Για το λόγο αυτό, στα μέτρα που είχαν προταθεί από παλαιότερες μελέτες και έχουν μερικώς υλοποιηθεί, περιλαμβάνονταν και η κατασκευή δασοτεχνικών φραγμάτων που είναι εμφανή στην κοίτη του Μαυροπόταμου (Εικόνα 8-32).



Εικόνα 8-33: Λευκότεφρες μάργες. Διακρίνεται η φυλλόμορφη ανάπτυξή τους.

Στο νοτιοδυτικό άκρο του οικισμού Κρινιάνοι, εντοπίζεται μια τέτοια ρηξιγενής ζώνη, η οποία θεωρείται ότι ευθύνεται για τη διαμόρφωση των ΒΑ/κών πρανών του ρέματος Μαυροπόταμος, συμβάλλοντας επίσης στην αστάθεια της ζώνης που οριοθετείται μεταξύ αυτής και του υπόψη ρέματος. Γεωλογικά, η περιοχή δομείται από τις τεφρές - λευκότεφρες ασβεστιτικές μάργες που συνήθως είναι φυλλόμορφες (Εικόνα 8-33), ενώ τοπικά

εμφανίζουν αυξημένα πάχη στρώσεων. Επιφανειακά, στο μεγαλύτερο τμήμα καλύπτονται από υλικά του μανδύα αλλά και αναμοχλευμένα υλικά από παλαιές κατολισθήσεις. Πέρα από τα ιζήματα των νεογενών, κατάντη των Κρινιάνων, στην περιοχή του ρέματος Μαυροπόταμος, εντοπίζονται επιφανειακά σχηματισμοί του υποβάθρου (φλύσχης και οφιόλιθοι).

Οι αστοχίες πρανών που πλήττουν την περιοχή είναι διαδοχικές καθ' ύψος αλλά και συνεχείς σε όλη την έκταση του νοτιοδυτικού πρανούς των Κρινιάνων (επί μήκους 1200 περίπου μέτρων), ενώ στο απέναντι πρανές περιορίζονται στα 600 περίπου μέτρα και κυρίως εκδηλώνονται στα πρανή του οικισμού Δένδρων. Τέλος, στο ρέμα των Κρινιάνων έχουν εκδηλωθεί αστοχίες στα εκατέρωθεν πρανή με σημαντικότερη αυτή κατάντη του οικισμού των Βιτάλων.

Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι στην περιοχή υπήρχε παλαιότερα δραστηριότητα εκμετάλλευσης λιγνιτικών οριζόντων, η οποία γινόταν με υπόγεια διάνοιξη στοών. Η υπόγεια εκμετάλλευση εγκυμονεί κινδύνους εδαφικών υποχωρήσεων καθώς με την εγκατάλειψη των στοών, θεωρείται πιθανή μια επακόλουθη κατάρρευση τμήματος αυτών. Οι υποχωρήσεις αυτές ακολουθούν την κατεύθυνση της υπόγειας εκσκαφής με σαφώς διευρυμένη την πλευρική ανάπτυξη.



Εικόνα 8-34: Εγκαταλελειμμένη είσοδος υπόγειας εκμετάλλευσης λιγνιτών στους Μαλετιάνους (Ανατολικά των Βιτάλων).

Εν τούτοις αν και στην ευρύτερη περιοχή (κυρίως νοτιοανατολικά και ανατολικά των Βιτάλων) εντοπίζονται είσοδοι τέτοιων στοών (Εικόνα 8-34), η γενική κατεύθυνση αυτών είναι προς τα βορειοανατολικά. Συνεπώς στην περιοχή της λοφοειδούς εξάρσεως των Κρινιάνων δεν φαίνεται να είχαν διαμορφωθεί υπόγειες εκμεταλλεύσεις, τουλάχιστον στο πρανές της οικιστικής ζώνης με τις αστοχίες.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα που με ιδιαίτερη ένταση σημειώνονται στο νοτιοδυτικό πρανές της λοφοειδούς έξαρσης των Κρινιάνων, διαμορφώνουν μια ζώνη μέσα στην οποία, σύμφωνα με μαρτυρίες των κατοίκων, πριν ακόμα αναπτυχθεί το συγκεκριμένο τμήμα του οικισμού υπήρχαν βαθιές ανοικτές ρωγμές στις ασβεστιτικές μάργες που τη δομούν. Οι ρωγμές αυτές αποκαλύπτονταν εύκολα κάτω από τα υλικά αποσάθρωσης με τις πρώτες εκσκαφές. Ενδεικτική είναι η αναφορά στην αποτυχημένη μεταφορά της εκκλησίας του χωριού στη θέση αυτή λόγω της παρουσίας τέτοιων ρωγμών. Οι ρωγμές αυτές ήταν γνωστές από μαρτυρίες των κατοίκων στην περιοχή αυτή και αποκαλύπτονταν με τη θεμελίωση των οικιών.



Εικόνα 8-35: Εγκαταλελειμμένη οικία. Έχει κριθεί μη κατοικήσιμη.

Δυστυχώς σήμερα είναι πολλά τα σπίτια που θεμελιώνονται στη ζώνη αυτή. Αναλυτικότερα, στο ομαλό τμήμα της λοφοειδούς έξαρσης υπάρχουν δυο κατοικίες καθώς και το κτίριο του ΟΤΕ, τα οποία έγουν υποστεί αρκετές ζημιές, και παρόλο ότι επισκευάζονται, ξαναεμφανίζονται με κάθε επαναδραστηριοποίηση των φαινομένων. Τιc σοβαρότερες ζημιές τις έχει υποστεί η

οικία που εμφανίζεται στην Εικόνα 8-35, όπου πέρα από τις ρωγμές έχει υποστεί και κλίση με αποτέλεσμα να έχει εγκαταλειφθεί σαν ετοιμόρροπη.

Τα προβλήματα των αστοχιών του πρανούς συνεχίζονται προς τα κατάντη και μέχρι σχεδόν την κοίτη του Μαυροπόταμου. Διαπιστώνεται ότι οι αστοχίες αυτές έχουν επηρεάσει σημαντικά και τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις άλλα και την κεντρική πρόσβαση στον οικισμό. Στα χωράφια που διαμορφώνονται κάτω από το χώρο θεμελίωσης των οικιών οι αστοχίες είναι εμφανείς σε βοηθητικά κτίσματα που υπάρχουν εκεί.



Εικόνα 8-36: Μικρός οικίσκος μεταξύ χώρου θεμελίωσης των οικιών και του δρόμου Δένδρων - Κρινιάνων.

Στην Εικόνα 8-36 διακρίνεται η απόκλιση του αγροτικού από την κατακόρυφο κτίσματος εξαιτίας της αστοχίας που έχει εκδηλωθεί. Ο τοίχος αντιστήριξης του πρανούς εσωτερικό του δρόμου στο Δένδρων Κρινιάνων, παρουσιάζει _ σημαντικές ρωγμές λόγω των αυξημένων αναμοχλευμένων ωθήσεων των και μετακινηθέντων υλικών. Οı εδαφικές θραύσεις και κινήσεις παρουσιάζονται και κατάστρωμα του δρόμου στο που επισκευάζεται από κάθε μετά επαναδραστηριοποίηση των φαινομένων

(Εικόνες 8-37 & 8-38).



Εικόνα 8-37: Ρωγμές στον τοίχο αντιστήριξης στο εσωτερικό του δρόμου Δένδρων – Κρινιάνων.



Εικόνα 8-38: Θραύση του οδοστρώματος και απόκλιση από την κατακόρυφο των δένδρων.

Στη συνέχεια της επιμήκους λοφοειδούς έξαρσης προς τα ΒΔ/κά, το υψόμετρο αυξάνει και τελικά καταλήγει σε σχεδόν επίπεδο χώρο όπου έχει θεμελιωθεί το τμήμα μεγαλύτερο του οικισμού Κρινιάνων. Στο τμήμα της έξαρσης αυτής που προσεγγίζει το πρανές του Μαυροπόταμου υπάρχει σειρά οικιών με πολύ εμφανή τα προβλήματα από τις κατολισθητικές κινήσεις που έχουν πλήξει

τον οικισμό.

Πιο αναλυτικά, οκτώ κατοικίες παρουσιάζουν σημαντικές ζημιές από την εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων (Εικόνες 8-39, 8-40, 8-41 & 8-42).



Εικόνα 8-39: Διακρίνεται η αποκόλληση του Εικόνα 8-40: βοηθητικού κτίσματος (1980) από την κύρια τοιχοποιία του πρώτου ορόφου. οικοδομή (1933) η οποία έχει υποστεί και αυτή ζημιές.

Διακρίνονται οι ρωγμές στην



Εικόνα 8-41: Ρωγμή στην τοιχοποιία.

Det D

Εικόνα 8-42: Ρωγμή που διακόπτει τη συνέχεια της αυλής με κατεύθυνση το χώρο θεμελίωσης του σπιτιού.

Σημειώνεται εδώ το οδικό δίκτυο της περιοχής όπου δομούνται οι οκτώ κατοικίες είχε υποχωρήσει με κατακόρυφο άλμα 70cm, με την τελευταία προ του 1998 επαναδραστηριοποίηση και επέκταση των αστοχιών. Στη συγκεκριμένη θέση και πάντα σύμφωνα με τις μαρτυρίες των κατοίκων, υπήρχε πηγή σημαντικής υδροφορίας η οποία εμπότιζε τα πρανή με ροή χωρίς διευθέτηση (Εικόνα 8-43). Δεν είναι τυχαίο ότι το τμήμα του πρανούς του Μαυροπόταμου στη συγκεκριμένη περιοχή έχει την ονομασία Βουλιασούρα, που παραπέμπει σε υποχωρήσεις του εδάφους. Η παρουσία της πηγής στις ασβεστομάργες μπορεί να δικαιολογηθεί από την τεκτονική τους καταπόνηση που αυξάνει τη δευτερογενή περατότητα των σχηματισμών αυτών.

Στην περιοχή της Βουλιασούρας, τα ίχνη των κινήσεων είναι ορατά στις ελάχιστες κατασκευές. Όπως διακρίνεται στη σχετική εικόνα (Εικόνα 8-44), ο μαντρότοιχος από σκυρόδεμα έχει αστοχήσει και τμήμα του μετά την αρχική ρωγμάτωση έχει ανυψωθεί με μορφή σφήνας, πιθανώς λόγω επιβράδυνσης της κίνησης του κατάντη τμήματος και συνεπώς συμπίεσης των τεμαχίων του τοίχου.



Εικόνα 8-43: Η σημερινή ελεγχόμενη ροή του νερού πηγής.

Εικόνα 8-44: Κατεστραμμένος μανδρότοιχος από μπετόν στο χώρο της τοποθεσίας Βουλιασούρας.

Από τις παραπάνω αναφορές διαπιστώνεται ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται σε όλη την έκταση του πρανούς του ρέματος Μαυροπόταμος, που οριοθετεί από νοτιοδυτικά τον οικισμό των Κρινιάνων.

Πράγματι, όλες οι οικίες που αναφέρθηκαν με τα προβλήματα εντοπίζονται στο φρύδι των πρανών αυτού του ρέματος, ενώ εσωτερικότερα δεν υπάρχουν προβλήματα στις κατασκευές. Επιπρόσθετα, πολλά προβλήματα αναφέρονται στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις σε όλο το πρανές αυτό μέχρι σχεδόν την κοίτη του Μαυροπόταμου. Ενδεικτικά εδώ αναφέρονται οι ρωγμές στο τοιχίο του δρόμου από Δένδρα προς Κρινιάνους, αλλά και στο οδόστρωμα, ενώ δυτικότερα εντοπίζονται οι αστοχίες του πρανούς στη θέση Βουλιασούρα.

Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά αλλά και τις γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες της περιοχής αυτής όπως αναλύθηκαν στα προηγούμενα, διαπιστώνεται ότι τα σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα που την επηρεάζουν έχουν άμεση σχέση με τη ρηξιγενή ζώνη που διαμορφώνεται κατά μήκος του ΒΑ/κού πρανούς του Μαυροποτάμου και η οποία διασχίζει ή είναι σε άμεση επαφή με την κατοικημένη περιοχή του οικισμού.

Περιοχή Σουτσίνι

Στη συγκεκριμένη περιοχή σήμερα υπάρχουν δύο θέσεις στις οποίες σημειώνονται σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα. Οι θέσεις αυτές εντάσσονται σε μια ζώνη αστοχιών πρανών που φθάνει μέχρι την παραλία Σουτσινίου και Αγ. Μαρίνας.

Η πρώτη αφορά στο δρόμο που οδηγεί στην παραλία και επηρεάζει όλο το πρανές, από αμέσως ανάντη του δρόμου μέχρι την παραλία και η δεύτερη στο χώρο θεμελίωσης του εξωκλησιού της Αγ. Μαρίνας που βρίσκεται στην παραλία.

Αναφορικά στην πρώτη, ο δρόμος που οδηγεί στην παραλία της Αγ. Μαρίνας πλήττεται από σοβαρά κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν επηρεάσει το οδόστρωμα σε όλο του σχεδόν το πλάτος (Εικόνα 8-45). Η υπόψη θέση εντοπίζεται στο υψόμετρο των 60 μέτρων, περί τα 200m σε ευθεία απόσταση βόρεια - βορειοανατολικά του εξωκλησιού της

Αγ. Μαρίνας. Αποτελεί αστοχία που με την σημερινή οριακή θραύση (κεφαλή της κατολίσθησης) έχει καταστρέψει το οδόστρωμα επί μήκους 30-40 μέτρων. Εντούτοις, τα ίχνη γρήγορης μετεξέλιξης σε ευρύτερη ζώνη, που περιλαμβάνουν άλλα 150m του οδοστρώματος έξω από το δεξί σκέλος της βασικής σημερινής αστοχίας είναι εμφανή. Πράγματι, η ζώνη αυτή είναι ορατή στο σπίτι ανάντη της σημειωθείσας κατολίσθησης και συγκεκριμένα στα παρτέρια των αναβαθμών που έχουν διαμορφωθεί στον προαύλιό της χώρο (Εικόνα 8-46).

Γεωλογικά, η περιοχή έρευνας (από το ύψος του δρόμου και βορειότερα μέχρι την παραλία της Αγ. Μαρίνας), δομείται από τις κιτρινότεφρες έως λευκότεφρες μάργες που συνιστούν τον ορίζοντα των νεογενών που υπέρκεινται των μελανότεφρων μαργών. Οι τελευταίες στη συγκεκριμένη περιοχή εντοπίζονται σε τέσσερις θέσεις με μικρή σχετικά επιφανειακή εξάπλωση. Γενικά η παρουσία τους και εδώ όπως και στα πρανή της παραλίας Πλατάνας - Παραλίας Κύμης, ευνοούν την εκδήλωση αστοχιών με το μηχανισμό της διαμόρφωσης στην επαφή με τις υπερκείμενες λευκότεφρες μάργες επιφανειών αστοχίας, όπως αναλύθηκε στην περίπτωση των αστοχιών των πρανών του δρόμου ης Πλατάνας – Παραλίας Κύμης.

Στην περιοχή της κατολίσθησης του δρόμου που εξετάζεται, οι κιτρινότεφρες ασβεστιτικές μάργες, εμφανίζονται να καλύπτουν τις υποκείμενες μελανότεφρες που αποκαλύπτονται στο αριστερό σκέλος της αστοχίας, επιβεβαιώνοντας το μηχανισμό εκδήλωσης των αστοχιών στην επαφή των δύο διακριτών οριζόντων (Εικόνα 8-47). Σημειώνεται ότι οι υπερκείμενες μάργες, από τη δράση της τεκτονικής αλλά και των εργασιών εκσκαφής και διαμόρφωσης του δρόμου, έχουν υποστεί κερματισμό και σημαντική χαλάρωση των ασυνεχειών, που τοπικά εμφανίζουν άνοιγμα μέχρι και 20cm (Εικόνα 8-48).



Εικόνα 8-45: Η σχεδόν ολοκληρωτική καταστροφή Εικόνα 8-46: Εμφανείς είναι οι θραύσεις στους του οδοστρώματος από την κατολίσθηση στο δρόμο τοίχους των αναβαθμών διαμόρφωσης του προς Αγ. Μαρίνα. Διακρίνεται η είσοδος στο χώρο προαυλίου χώρου της εξοχικής οικίας. της ανάντη του δρόμου οικίας.



Εικόνα 8-47: Οι μελανότεφρες μάργες στο αριστερό σκέλος της κατολίσθησης.

Εικόνα 8-48: Η έντονη χαλάρωση των ασβεστιτικών μαργών στο τεχνητό πρανές του δρόμου.

Η συγκεκριμένη κατάσταση ευνοεί την άμεση κατείσδυση των νερών της βροχής που στην διεπιφάνεια των δύο διακριτών λιθολογικών οριζόντων αρχίζει να δρα σαν λιπαντικό διευκολύνοντας την εκδήλωση αστοχιών. Οι αστοχίες αυτές μεταναστεύουν συνεχώς προς τα ανάντη τμήματα του πρανούς και θα σταματήσουν είτε λόγω άμεσης εφαρμογής μέτρων θεραπείας είτε όταν φθάσουν στο ανώτερο δυνατό για ολίσθηση τμήμα του πρανούς.

Οι παραπάνω σχολιασμοί υποδηλώνουν ότι η κατολίσθηση που εξετάζεται και συνεχίζεται όπως διαπιστώνεται από την υποχώρηση της πρόσφατης πρόσθετης επιχωμάτωσης μετά την καταστροφή του ασφαλτοτάπητα, κατά μισό περίπου μέτρο, δεν πρωτοεμφανίστηκε με τη σημερινή της μορφή, αλλά άρχισε παλαιότερα από χαμηλότερες υψομετρικά θέσεις και μετεξελίχθηκε στη σημερινή της μορφή.

Πράγματι, από την επιτόπια εξέταση σε όλο το τμήμα του πρανούς (από το ύψος του δρόμου μέχρι την παραλιακή ζώνη) διαπιστώνεται ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα επηρεάζουν το πρανές μέχρι την ακτή. Συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι τα κατολισθητικά φαινόμενα έχουν πλήξει όλο το πρανές σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Τούτο αποκαλύπτεται από τη φυτοκάλυψη που έχει αναπτυχθεί στα αναμοχλευμένα υλικά στο χαμηλότερο τμήμα του πρανούς (Εικόνα 8-49).

Από την ίδια εξέταση διαπιστώνεται ότι με την τελευταία ανάδραση της αστοχίας, τα ήδη αναμοχλευθέντα υλικά από παλαιότερη δράση της αστοχίας μετακινήθηκαν εκ νέου προς την ακτή, με αποτέλεσμα να καλύψουν και να καταστρέψουν τους τοίχους από σκυρόδεμα που είχαν κατασκευαστεί εκεί (Εικόνα 8-50). Οι τοίχοι αυτοί προφανώς είχαν κατασκευαστεί παλαιότερα σε μια προσπάθεια ανάσχεσης της κίνησης, χωρίς τη γεωλογική μελέτη των φαινομένων, με αποτέλεσμα να αστοχήσουν. Κατά την κατασκευή τους πιθανά προβλεπόταν και η δημιουργία αποδυτηρίων για λουόμενους, που όμως ποτέ δεν λειτούργησαν.



Εικόνα 8-49: Πανοραμική από κατάντη άποψη της κατολίσθησης στο Σουτσίνι. Διακρίνεται η εξάπλωσή της από την παράλια ζώνη μέχρι το ύψος του δρόμου (60-70m ανάντη).



Εικόνα 8-50: Καταστροφή των παράκτιων τοίχων αντιστήριξης από τη νέα μετακίνηση ολισθημένων μαζών.

Από αυτά που ήδη περιγράφηκαν, διαπιστώνεται ότι η κατολίσθηση στη συγκεκριμένη θέση στο Σουτσίνι βρίσκεται σε μια φάση συνεχούς επέκτασης προς τα ανάντη τμήματα του πρανούς. Συνεπώς, αν δεν ληφθούν μέτρα προστασίας, αυτή θα

συνεχίσει να εκδηλώνεται, περιλαμβάνοντας και ανώτερα τμήματα του πρανούς. Έτσι, θα καταστραφεί πλήρως ο δρόμος και θα κινδυνεύσει άμεσα η οικία ανάντη αυτού.

Σε ότι αφορά την κατολίσθηση στο χώρο της εκκλησίας της Αγ. Μαρίνας, αυτή έχει εκδηλωθεί στο μικρό λοφίσκο που είναι χτισμένη η εκκλησία (Εικόνα 8-51). Συγκεκριμένα ο υπόψη λοφίσκος είναι μικρού ύψους και διαμορφώνεται αμέσως ανάντη της ακτής (βρέχεται από το χειμέριο κύμα). Στη συνέχεια και εσωτερικά του λοφίσκου η περιοχή διαμορφώνεται με υψηλό αναβαθμό όπου βρίσκονται θεμελιωμένες δύο οικίες, για να ενσωματωθεί στη συνέχεια προς τα ανάντη με το κυρίως πρανές που αποκτά σημαντικό ύψος και ισχυρές κλίσεις.



Εικόνα 8-51: Γενική άποψη από ανατολικά του λοφίσκου του εξωκλησιού της Αγ. Μαρίνας. Οι αστοχίες σε αυτόν είναι εμφανείς.

Από βόρεια ο λοφίσκος οριοθετείται από μικρή ρεματιά στην οποία σημειώνεται η παρουσία πηγής νερού (Εικόνα 8-52). Τα νερά της πηγής ενισχύουν την παροχή του ρέματος που έτσι είναι συνεχής σχεδόν όλο το χρόνο. Τα νερά αυτά προκαλούν υποσκαφές στη βάση του λοφίσκου, αν και η διαμόρφωση του δρόμου μέχρι την παραλία έχει περιορίσει τις υποσκαφές αυτές. Από την ανατολική πλευρά (πλευρά παραλίας), οι υποσκαφές του λοφίσκου οφείλονται στη δράση του κυματισμού της θάλασσας, η οποία δράση συνεχίζεται παρά την κατασκευή σχετικού λιμενικού έργου. Το συγκεκριμένο λιμενικό έργο απομακρύνει το κύμα από τη μισή έκταση της βάσης του λόφου, εξαιτίας του ότι είναι ημιτελές (Εικόνα 8-53).

Η προχειρότητα της κατασκευής ή η μη ολοκλήρωση του έργου διαπιστώνεται από το γεγονός της δράσης του κυματισμού της θάλασσας που εισχωρεί κάτω από το κρηπίδωμα και αποπλύνει τα λεπτομερή υλικά των επιχωματώσεων που έχουν αποτεθεί εκεί, δημιουργώντας βυθίσματα με την παραμονή μόνο των αδρομερών στοιχείων αλλά και περιοδικές εισροές της θάλασσας (Εικόνες 8-54, 8-55).

Η οριακή θραύση της κατολίσθησης εντοπίζεται στο εσωτερικό του λοφίσκου. Έτσι, οι δύο οικίες που θεμελιώνονται αμέσως ανάντη δεν έχουν προς το παρόν επηρεαστεί από τις αστοχίες.





Εικόνα 8-54: Το ατελές λιμενικό έργο, εσωτερικά του Εικόνα 8-55: Τμήμα του λοφίσκου στο οποίο έχει κρηπιδώματος. χτιστεί το εξωκλήσι.

Από γεωλογικής – τεχνικογεωλογικής πλευράς οι σχηματισμοί που δομούν το λοφίσκο (τεφροκίτρινες έως λευκότεφρες μάργες), έχουν υποστεί τεκτονική καταπόνηση καθώς εντοπίζεται ζώνη ρηγμάτων να τη διασχίζει. Επιπρόσθετα, νότια του λοφίσκου στο εκεί ρέμα αποκαλύπτονται οι υποκείμενες μελανότεφρες μάργες.

Οι μάργες αυτές ως γνωστόν ευνοούν στην επαφή τους με τις υπερκείμενες κερματισμένες και συνεπώς περατές τεφρές μάργες, την εκδήλωση ολισθήσεων. Τα υλικά που έχουν επηρεαστεί από την αστοχία στο λοφίσκο της εκκλησίας (αναμοχλευμένα υλικά) τοπικά έχουν ρευστοποιηθεί.

Από τις παραπάνω αναφορές γίνεται αντιληπτό, ότι το εξωκλήσι έχει υποστεί πολλές ζημιές από την παρουσία στο χώρο της θεμελίωσής του εσωτερικών εδαφικών θραύσεων. Συγκεκριμένα, η τσιμεντένια επίστρωση του αυλόγυρου έχει πλήρως καταστραφεί, ενώ η ανωδομή του έχει σοβαρά ρωγματωθεί τόσο στο κύριο τμήμα της όσο και στο ιερό (Εικόνα 8-56). Επιπρόσθετα, έχει καταστραφεί ο τοίχος αντιστήριξης από τη μεριά της ακτής από τα υλικά που μετακινήθηκαν και στη συνέχεια ρευστοποιήθηκαν.



Εικόνα 8-56: Διακρίνονται οι σημαντικές ρωγμές τόσο στο προαύλιο χώρο όσο και στην ανωδομή του εζωκλησιού της Αγ. Μαρίνας.

Περιοχή Πύργος

Αναλύοντας τη σημερινή κατάσταση στην ευρύτερη περιοχή του χωριού Πύργος, σημειώνονται τα ακόλουθα:

A. Η παρουσία σημαντικής ζώνης ερπυσμών στα πρανή νότια του χωριού. Τα πρανή εκεί καλύπτονται επιφανειακά από παχύ μανδύα των νεογενών.



Εικόνα 8-57: Ερπυστικές κινήσεις στον ελαιώνα κατάντη του Πύργου. Διακρίνεται η απόκλιση από την κατακόρυφο του κορμού των δένδρων.



Εικόνα 8-58: Το εξωκλήσι στο χώρο των ερπυσμών. Διακρίνεται η υποθεμελίωσή του και η συσσώρευση των υλικών που έρπουν στην ανάντη πλευρά του.

Οι ερπυσμοί αυτοί που πλήττουν αγροτικές καλλιέργειες (κυρίως ελαιώνες) όπως φαίνεται στην Εικόνα 8-57 έχουν εξαπλωθεί στα κατάντη μέχρι το εξωκλήσι που υπάρχει εκεί (Εικόνα 8-58). Τα υλικά που έρπουν συσσωρεύονται στο χώρο του ιερού του εξωκλησιού και της προς ανάντη πλευράς και προκαλούν ρωγματώσεις στην ανωδομή, εξαιτίας των τάσεων και πιέσεων που ασκούν.

Β. Στη συνέχεια θα πρέπει να αναφερθεί μικρής έκτασης παλαιότερη ολίσθηση που είναι εμφανής σαν μικρό βύθισμα στον ασφαλτοτάπητα του δρόμου που διασχίζει το χωριό. Ήδη η αστοχία αυτή φαίνεται σταθεροποιημένη προς το παρόν και δεν προβληματίζει τη λειτουργικότητα του δρόμου.



Εικόνα 8-59: Η κατολίσθηση που έχει πλήξει το δρόμο από Πύργο προς Καλλιανούς. Διακρίνεται το μεγάλο κατακόρυφο άλμα της οριακής θραύσης.



Εικόνα 8-60: Ο καταστραμμένος σωληνωτός οχετός των νερών του δρόμού.



Εικόνα 8-61: Το εσωτερικό του δρόμου στην περιοχή της κατολίσθησης του Πύργου.

Γ. Η σημαντικότερη ωστόσο κατολίσθηση στην περιοχή του Πύργου, έχει εκδηλωθεί πρόσφατα και εντοπίζεται βόρεια του κατοικημένου χώρου, στο ύψος του δρόμου που ενώνει το χωριό με τους Καλλιανούς (Εικόνα 8-59).

Η αστοχία αυτή έχει επηρεάσει το οδόστρωμα επί μήκος 30m με την οριακή της θραύση να έχει καταστρέψει το οδόστρωμα σε εύρος 2m περίπου, δυσχεραίνοντας την κυκλοφορία.

Η αστοχία αυτή που έχει κατακόρυφο άλμα στη στέψη (οδόστρωμα) περί τα 1.70m περιβάλλει τον εκεί τεχνητό οχετό που έχει καταστραφεί στο κατάντη τμήμα του (εξωτερική πλευρά του δρόμου, Εικόνα 8-60).

Πρόκειται για κυκλικής διατομής οχετό, που το ακραίο τμήμα του μετά τη θραύση που υπέστη, έχει παρασυρθεί προς τα κάτω από τα αναμοχλευμένα υλικά της κατολίσθησης.

Σημειώνεται ότι στο εσωτερικό του δρόμου δεν υπάρχει καλά διαμορφωμένος τσιμενταύλακας απορροής των νερών του οδοστρώματος, με αποτέλεσμα τα νερά να κινούνται ανεξέλεγκτα στο οδόστρωμα και από κει στο κατάντη πρανές (Εικόνα 8-61).

Η ευρύτερη περιοχή δομείται από νεογενή ιζήματα (μάργες) που επιφανειακά αναπτύσσουν αυξημένου πάχους ζώνη αποσάθρωσης και κερματισμού.

Αποτέλεσμα αυτού είναι τα υλικά του μανδύα να αποτελούνται από αργιλοϊλύες με κυμαινόμενο αλλά γενικά μικρό ποσοστό ψηφίδων και χαλίκων. Το πάχος του μανδύα

αποσάθρωσής θεωρείται ότι είναι μεγαλύτερο των 7m. Στην περιοχή της οδού τα υλικά του μανδύα καλύπτονται από επιχωματώσεις της υπόβασης και βάσης του οδοστρώματος, πάχους περίπου 0.5m.

Μελετώντας τις επιτόπου γεωλογικές και τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή, καθώς και το υδρολογικό καθεστώς, συνεκτιμώντας και τις εργασίες διαμόρφωσης του τεχνητού οχετού, διαπιστώνεται ότι τα κύρια αίτια εκδήλωσης της αστοχίας αυτής είναι τα ακόλουθα:

- Η παρουσία των χαλαρών υλικών του μανδύα αποσάθρωσης των μαργών. Τα υλικά αυτά με το μεγάλο πάχος αλλά και τη σχετικά αυξημένη περατότητα στις περιόδους των αυξημένων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων αποκτούν υψηλό βαθμό κορεσμού, με αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης των πόρων και του βάρους τους. Αυτός ο μηχανισμός οδηγεί στη μείωση των διατμητικών αντοχών του υλικού και συνεπώς, κάτω από αυτές τις συνθήκες, την εκδήλωση αστοχιών.
- Ο συνεχής εμποτισμός των μαργών από τα νερά που κατεβάζει ο οχετός. Η κατασκευή του οχετού (η σύνδεση των τμημάτων φαίνεται ότι δεν ήταν η καταλληλότερη), δεν ήταν καλή, με αποτέλεσμα τον συνεχή εμποτισμό των υλικών του μανδύα και συνεπώς την ενεργοποίηση του μηχανισμού που αναφέρθηκε ανωτέρω.

Περιοχή Οδικού Δικτύου Κύμη - Μετόχι

Ο δρόμος που συνδέει τη Κύμη με τον οικισμό του Μετοχίου (μήκους 24Km περίπου), διέρχεται από το σύνολο των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν την ευρύτερη περιοχή του Δήμου Κύμης. Στο τμήμα μετά τα Βίταλα (προς Μετόχι) διέρχεται μέσα από ιδιαίτερα δυσχερές γεωμορφολογικό περιβάλλον για τη χάραξη οδικών έργων.

Ο δρόμος αυτός εξυπηρετεί πέρα από τους μόνιμους κατοίκους και τους παραθεριστές της θερινής περιόδου, καθώς αποτελεί την μοναδική οδό πρόσβασης από την ευρύτερη παραλιακή ζώνη της Κύμης προς τις παραλίες Μετοχίου και Χιλιαδούς. Στη συνέχεια, δίδεται η περιγραφή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών στις θέσεις εκδήλωσης των αστοχιών κατά μήκος του δρόμου, φωτογραφική απεικόνιση και εντοπίζονται οι πραγματικοί ή και οι σε δυναμική αστάθεια χώροι εκδήλωσης αστοχιών πρανών.

Στην Εικόνα 8-62 παρουσιάζεται αστοχία σε πρανές του δρόμου όπου δομείται γεωλογικά από φλύσχη, ο οποίος είναι πολυπτυχωμένος και έντονα κερματισμένος, με επικράτηση τις λεπτομερούς φάσης (ιλυόλιθος). Επιφανειακά ο υγιής σχηματισμός καλύπτεται από παχύ στρώμα υλικών του μανδύα αποσάθρωσης που κατά θέσεις το πάχος του ξεπερνά τα δύο μέτρα.



Εικόνα 8-62: Άποψη των ολισθημένων υλικών μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη.



Εικόνα 8-63: Άποψη της οριακής θραύσης της ολίσθησης.



Εικόνα 8-64: Άποψη των ολισθημένων υλικών μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη που καλύπτουν μέρος του οδοστρώματος.

Η αστοχία στη θέση αυτή εκδηλώθηκε το Νοέμβριο του 2006, με τη μορφή ολίσθησης των υλικών του μανδύα στο ανάντη πρανές. Εντοπίζεται σε ζώνη πλάτους 5 περίπου μέτρων, ενώ η οριακή θραύση (Εικόνα 8-63) εντοπίζεται σε απόσταση 10m περίπου από το οδόστρωμα. Τα ολισθημένα υλικά έχουν καλύψει μέρος του οδοστρώματος (Εικόνα 8-64).

Στην εκδήλωση της αστοχίας συνέβαλε η μορφολογική αυξημένη κλίση του πρανούς, ο εμποτισμός των χαλαρών υλικών του μανδύα από τα νερά των βροχοπτώσεων που προηγήθηκαν, αλλά και από την ύπαρξη μικροπηγής που εκδηλώνεται σε υψηλότερη θέση. Τα νερά αυτά ρέουν διάχυτα στο πρανές και καταλήγουν οδόστρωμα στο σε παρακείμενη της ολισθημένης ζώνης θέση.

Η περαιτέρω εξέλιξη της ολίσθησης προς ανάντη θεωρείται πολύ τα πιθανή μελλοντικά, σε περίοδο έντονων βροχοπτώσεων. Βέβαια, το υγιές τμήμα σχηματισμών του φλύσχη των δεν πλήττεται από την αστοχία, ούτε φυσικά το υπόβαθρο του οδοστρώματος και κατά

συνέπεια δεν υπάρχει ανάγκη σοβαρής παρέμβασης για την αντιμετώπιση της αστοχίας. Τέτοιας μορφής αστοχίες (ολισθήσεις και ροές υλικών από τα ανάντη πρανή του δρόμου), μικρότερης βέβαια κλίμακας, παρατηρούνται και σε άλλες θέσεις του δρόμου στο τμήμα που αυτός διέρχεται μέσα από μαργαϊκούς σχηματισμούς και σχηματισμούς του φλύσχη.

Η επόμενη θέση αστοχίας εντοπίζεται 1.600m μετά τη διασταύρωση του δρόμου προς Βίταλα, όπου σημειώνεται καθίζηση του οδοστρώματος σε μήκος περίπου 60m (Εικόνα 8-65). Σε ευρύτερη ζώνη εκατέρωθεν της αστοχίας ο δρόμος διέρχεται κατά μήκος της επαφής του κροκαλοπαγούς βάσης του νεογενούς με τον φλύσχη.


Εικόνα 8-65: Γενική άποψη του οδοστρώματος που έχει υποστεί καθίζηση.



Εικόνα 8-66: Αποψη του ανάντη πρανούς του δρόμου. Διακρίνονται τα υπολείμματα κροκαλοπαγούς στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη.

Σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη που περιέχεται στη ''Γεωλογική και Κοιτασματολογική Μελέτη της د، Περιοχής Λιγνιτοφόρου Κύμης (Αναστόπουλος, 1966), κατά μήκος της επαφής του κροκαλοπαγούς βάσης με τις υπερκείμενες μάργες, εντοπίζεται λιγνιτικού επιφανειακή εμφάνιση Η εκμετάλλευση κοιτάσματος. του λιγνίτη επιφανειακά ή/και υπόγεια, πιθανόν συνέβαλλε στην εκδήλωση της αστοχίας, με τη μορφή ολίσθησης του κροκαλοπαγούς πάνω στην ιλυολιθική φάση του φλύσχη, όπως αυτή αποκαλύπτετε στο ανάντη πρανές του δρόμου (Εικόνα 8-66).

Η αστοχία φαίνεται ότι έχει εκδηλωθεί σε παλαιότερη περίοδο, με διαδοχικές επαναδραστηριοποιήσεις σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Αυτό

υποδηλώνουν τα ίχνη των διαδοχικών ασφαλτοστρώσεων του τμήματος που έχει υποστεί καθίζηση. Στην κατάντη του δρόμου ζώνη, τα ίχνη της αστοχίας έχουν επουλωθεί λόγω των λεπτομερών υλικών του μανδύα αποσάθρωσης.

Η εικόνα 8-67 αποτυπώνει αστοχία η οποία σχετίζεται με διεργασίες διάβρωσης. Συγκεκριμένα στη θέση αυτή παρατηρείται διάβρωση του εξωτερικού τμήματος του οδοστρώματος σε ζώνη μήκους 10 μέτρων περίπου. Η διάβρωση πλήττει το επίχωμα του δρόμου και θεωρείται ότι προκλήθηκε από την ανεξέλεγκτη κίνηση των επιφανειακών νερών. Τα επιφανειακά νερά του οδοστρώματος τροφοδοτούνται πρόσθετα από την επιφανειακή απορροή της ανάντη της στροφής του δρόμου έκτασης τα οποία καταλήγουν στο οδόστρωμα ακριβώς απέναντι από τη διαβρωμένη ζώνη (Εικόνα 8-68).

Η ζώνη διέλευσης του εξεταζόμενου οδικού άξονα, από τα βορειοδυτικά περιθώρια της νεογενούς λεκάνης των Βιτάλων, μέχρι και λίγο πριν το Ρέμα Μετοχίου, δομείται γεωλογικά από ασβεστολιθικά πετρώματα. Οι γεωλογικές αστοχίες στη ζώνη αυτή εκδηλώνονται με τη μορφή καταπτώσεων βράχων και ροών χαλαρών ασβεστολιθικών κορημάτων. Τα φαινόμενα των καταπτώσεων είναι ιδιαίτερα έντονα σε δύο θέσεις, όπου τα ανάντη πρανή του δρόμου έχουν μεγάλο ύψος και ισχυρές μορφολογικές κλίσεις.



Εικόνα 8-67: Άποψη της διάβρωσης του Εικόνα 8-68: Άποψη του δρόμου που ακολουθούν εξωτερικού τμήματος του οδοστρώματος. στροφής του δρόμου έκτασης.

Στη πρώτη ζώνη, τα ασβεστολιθικά πρανή του δρόμου είναι έντονα κερματισμένα, δημιουργώντας σύγχρονους κώνους κορημάτων, που το ύψος τους τοπικά ξεπερνά τα 60m. Σε τυχαίες χρονικές περιόδους με τη συνδυασμένη δράση παραγόντων όπως του νερού των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων, του ανέμου και των μεταβολών της θερμοκρασίας, σημειώνονται καταπτώσεις βράχων ποικίλων διαστάσεων (Εικόνα 8-69).

Τα ασβεστολιθικά πρανή καλύπτονται από σημαντικού πάχους χαλαρά πλευρικά κορήματα, τα οποία λόγω βαρύτητας, σε συνδυασμό με τη δράση των παραγόντων που αναφέρθηκαν προηγούμενα, ρέουν προς τα κατάντη, καλύπτοντας μέρος του οδοστρώματος (Εικόνα 8-70).



Εικόνα 8-69: Άποψη του απόκρημνου Εικόνα 8-70: Άποψη των χαλαρών ασβεστολιθικού πρανούς. πρανές και ρέουν προς το οδόστρωμα.



Εικόνα 8-71: Καθίζηση του οδοστρώματος σε μήκος 40m, με άλμα περί τα 10cm.

Στη δεύτερη ζώνη καταγράφονται αστοχίες με τη μορφή καθιζήσεων του οδοστρώματος και διαβρώσεων στο κατάντη πρανές (Εικόνες 8-71, 8-72 8-73), οι οποίες πλήττουν κυρίως τη ζώνη αποσάθρωσης και κερματισμού των σχιστολίθων. Έχουν δε ως κύριο γενεσιουργό αιτία τη δράση των επιφανειακών και υπόγειων νερών που εκφορτίζονται στα πρανή του δρόμου, αλλά

και τις διαβρώσεις κοίτης που προκαλεί η αυξημένη απορροή του Ρέματος Μετοχίου τις χειμερινές περιόδους για τα χαμηλότερα τμήματα του φυσικού πρανούς.





καθίζησης του οδοστρώματος σε μήκος 20m, με του οδοστρώματος. εμφανές άλμα 40cm στο εσωτερικό τσιμεντένιο ρείθρο του δρόμου.

Εικόνα 8-72: Δεύτερη και σημαντικότερη θέση Εικόνα 8-73: Διάβρωση του εζωτερικού τμήματος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9:

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ *WEIGHT OF EVIDENCE*

Η μέθοδος *Weight of Evidence* στις έρευνες κατολισθητικών φαινομένων

Επιλογή των προγνωστικών μεταβλητών και διαμόρφωση κλάσεων κάθε μεταβλητής

Χωρική στατιστική ανάλυση

Εφαρμογή του μοντέλου *Weight of Evidence* στην περιοχή Κύμης



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΗΣ</u> <u>ΕΠΙΔΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ *WEIGHT OF* <u>ΕVIDENCE</u></u>

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει την μέθοδο Weight of Evidence, WofE στις έρευνες κατολισθητικών φαινομένων. Το τελικό προϊόν είναι η εφαρμογή μοντέλου πρόβλεψης, μέσω της εκτίμησης των προγνωστικών μεταβλητών και της διαμόρφωσης των κλάσεων, για τη σχεδίαση του χαρτογραφικού προϊόντος της κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

9.1 Η μέθοδος Weight of Evidence, WofE στις έρευνες κατολισθητικών φαινομένων

Η μέθοδος Weight of Evidence, WofE, αποτελεί μια ποσοτική μέθοδο η οποία χαρακτηρίζεται ως data-driven model, μέσω της οποίας συνεκτιμώνται χωρικά δεδομένα, με στόχο την υποστήριξη μιας "υπόθεσης" κατά τη δημιουργία προβλεπτικών μοντέλων (Kayastha et al., 2012).

Η μέθοδος αρχικά αναπτύχθηκε για μη χωρικές εφαρμογές και συγκεκριμένα για ιατρικές διαγνωστικές εφαρμογές, κατά τις οποίες τα "στοιχεία" αφορούσαν σε ομάδες συμπτωμάτων και η "υπόθεση", σε προτάσεις της μορφής: «ο ασθενής νοσεί έχοντας την ασθένεια X» (Spiegelhater & Knill-Jones, 1984). Για κάθε σύμπτωμα, η μεθοδολογία υπολογίζει ένα ζεύγος από δείκτες βαρύτητας, έναν για την παρουσία του συμπτώματος και έναν για την απουσία του συμπτώματος. Το μέγεθος των δεικτών βαρύτητας εξαρτάται από την εκτιμώμενη συσχέτιση μεταξύ του συμπτώματος και του μοτίβου της ασθένειας που διαμορφώνεται σε μια ομάδα ασθενών. Οι δείκτες βαρύτητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της πιθανότητας που υπάρχει για έναν νέο ασθενή να νοσήσει, βασιζόμενοι στην παρουσία ή την απουσία των συμπτωμάτων.

Η μέθοδος υιοθετήθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 στην μεταλλευτική έρευνα και, μέσω των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αναπτύχθηκε για τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης εμφάνισης κοιτάσματος (Bonham-Carter et al., 1988, 1989). Στην περίπτωση της μεταλλευτικής έρευνας, τα στοιχεία της μεθοδολογίας αποτελούν ένα σύνολο από ερευνητικά δεδομένα, υπό τη μορφή χαρτογραφικών προϊόντων και η υπόθεση αποτελεί τη γεωγραφική θέση, την περισσότερο πιθανή για εμφάνιση κοιτάσματος τύπου Χ. Οι δείκτες που χρησιμοποιούνται, εκτιμώνται από τη συσχέτιση της εμφάνισης των κοιτασμάτων και των μεγεθών που διακρίνονται στους διάφορους χάρτες που χρησιμοποιούνται ως προγνωστικοί παράγοντες. Η υπόθεση εφαρμόζεται για κάθε

πιθανή θέση στην περιοχή έρευνας χρησιμοποιώντας τους δείκτες βαρύτητας που εκτιμήθηκαν προηγουμένως, δημιουργώντας έναν πιθανολογικό κοιτασματολογικό χάρτη, επί του οποίου το αποτέλεσμα της εκτίμησης για την υπόθεση διαμορφώνεται από τη συνδυαστική χρήση των διαφόρων θεματικών επιπέδων πληροφορίας. Η μέθοδος ανήκει στην κατηγορία των μεθόδων κατάλληλων για πολυ-κριτηριακή επιλογή αποφάσεων (multi-criteria decision making).

Από τις πρώτες εφαρμογές της μεθόδου **WofE** στη μελέτη των κατολισθητικών φαινομένων, υπήρξε η εργασία των Lee et al. (2002). Έκτοτε, έχουν καταγραφεί πλήθος ερευνητών που έχουν εφαρμόσει τη μέθοδο σε μελέτες κατολισθητικών φαινομένων (van Westen et al., 2003; Lee & Choi, 2004; Mathew et al., 2007; Neuhauser & Terhorst, 2007; Poli & Sterlacchini, 2007; Dahal et al., 2008; Sharma & Kumar, 2008; Barbieri & Cambuli, 2009; Ghosh et al., 2009; Ilia et al., 2010; Regmi et al., 2010; Kayastha et al., 2012).

Παρόμοια με τις μεθόδους της πολλαπλής παλινδρόμησης στη στατιστική, η μέθοδος *WofE*, περιλαμβάνει την εκτίμηση των μεταβλητών και ενός συνόλου προγνωστικών μεταβλητών (ερευνητικών δεδομένων με τη μορφή χαρτών). Συγκεκριμένα κατά την εφαρμογή της μεθόδου αξιοποιούνται τα εξής δεδομένα:

Θεματικό Επίπεδο Πληροφοριών - Στοιχείων (ΘΕΠΣ). Αποτελεί ένα χάρτη, σε διανυσματική ή πλεγματική μορφή, που χρησιμοποιείται για τη πρόβλεψη σημειακών χωρικών αντικειμένων (στη περίπτωσή μας σημειακής εμφάνισης κατολισθητικού συμβάντος). Συνήθως, τα πολύγωνα ή πλεγματικά φατνία των ΘΕΠΣ κατέχουν δυο ή περισσότερες κατηγορίες. Επί παραδείγματι, ένας γεωλογικός χάρτης μπορεί να κατέχει δυο ή περισσότερες κατηγορίες που αντιπροσωπεύουν ξεχωριστούς σχηματισμούς. Παρότι η μέθοδος *WofE* αρχικώς εφαρμόστηκε σε διμεταβλητά ΘΕΠΣ, μπορεί να εφαρμοστεί και σε περιπτώσεις ΘΕΠΣ με περισσότερες των δυο κλάσεων.

Σημειακά Χωρικά Αντικείμενα Εκπαίδευσης. Αποτελεί ΘΕΠ σημειακού αντικειμένου που παρουσιάζει τη χωρική εμφάνιση των σημείων. Στη μεταλλευτική έρευνα, τα σημειακά αντικείμενα αποτελούν τα σημεία εμφάνισης των κοιτασμάτων τα οποία έχουν εντοπιστεί προγενέστερα μετά από σχετικές έρευνες. Στην περίπτωση που εξετάζουμε στη διδακτορική διατριβή, τα ΣΧΑΕ είναι σημεία εμφάνισης κατολισθητικών συμβάντων. Αποτελεί το χάρτη καταγραφής κατολισθήσεων που προσδιορίζει χωρικά τη διασπορά των κατολισθητικών συμβάντων σε μια περιοχή έρευνας. Κατά τον *Wieczorek* (1984), ο χάρτης καταγραφής των κατολισθήσεων αποτελεί τη βασική παράμετρο για τη διαχείριση της κατολισθητικής επικινδυνότητας.

Το σύνολο των σημείων εμφάνισης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των δεικτών βαρύτητας για κάθε ΘΕΠΣ, έναν δείκτη για κάθε κλάση, χρησιμοποιώντας την επικαλυπτόμενη συσχέτιση μεταξύ των σημείων και των διαφόρων κλάσεων που

χαρακτηρίζουν κάθε ΘΕΠ. Τα χαρακτηριστικά κάθε σημειακού χωρικού αντικειμένου εκπαίδευσης, στη περίπτωση των κατολισθητικών φαινομένων του πλάτους, της έκτασης που καταλαμβάνει περιγράφονται στους σχετικούς πίνακες χαρακτηριστικών (*attribute table*), ωστόσο τα ΣΧΑΕ περιγράφονται στο μοντέλο πρόβλεψης που δημιουργείται από τη μέθοδο *WofE* ως παρόντα ή απόντα και δεν αποκτούν δείκτη βαρύτητας με βάση άλλα χαρακτηριστικά.

Μοναδιαίο Φατνίο (Unit cell). Κάθε σημειακό αντικείμενο εκπαίδευσης καταλαμβάνει μια μικρή έκταση η οποία καλείται μοναδιαίο φατνίο. Για τον υπολογισμό της πιθανότητας μιας σημειακής εμφάνισης θα πρέπει να επιλεγεί και η σχετική μοναδιαία έκταση έρευνας. Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου είναι ένας χάρτης που επιδεικνύει την πιθανότητα η μοναδιαία έκταση να κατέχει μια σημειακή εμφάνιση. Συνεπώς με ενδεχόμενη αλλαγή του μεγέθους του μοναδιαίου φατνίου αλλάζει και η πιθανότητα πρόβλεψης. Σημειώνεται για την ορθή εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται η επιλογή ίδιου μεγέθους μοναδιαίου φατνίου για κάθε ΘΕΠΣ. Επίσης το μέγεθος των μοναδιαίων φατνίων δεν σχετίζεται με το φυσικό μέγεθος ή τη χωρική επιρροή των σημειακών αντικειμένων καθώς επίσης είναι ανεξάρτητο από το μέγεθος του φατνίου που χρησιμοποιείται στις πλεγματικές βάσεις δεδομένων. Οι τιμές των δεικτών βαρύτητας

Θεματικό Επίπεδο Απόκρισης (Response theme). Αποτελεί το τελικό χαρτογραφικό προϊόν που εκφράζει την πιθανότητα το σύνολο των μοναδιαίων φατνίων της περιοχής έρευνας να κατέχουν ένα σημειακό αντικείμενο. Υπολογίζεται μέσω της συνδυαστικής επιρροής των δεικτών βαρύτητας για καθεμία προγνωστική μεταβλητή. Ο χάρτης που προκύπτει συνήθως κατηγοριοποιείται έτσι ώστε να γίνεται περισσότερη αντιληπτή η πιθανότητα που υπολογίζεται.

Ερευνητική Βάση Δεδομένων (Exploration dataset). Αναφέρεται στη ψηφιακή βάση δεδομένων, η οποία μπορεί να αποτελείται από ψηφιοποιημένους γεωλογικούς και τοπογραφικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες καθώς και άλλα ψηφιακά χαρτογραφικά προϊόντα που απαιτούνται κατά την έρευνα των κατολισθήσεων.

Το χαρακτηριστικό που επιτρέπει στη μέθοδο *WofE* να ξεχωρίζει είναι ότι η παρουσία ή απουσία της υπόθεσης αποκτούν ισότιμη αξία. Η οποιαδήποτε αρνητική συσχέτιση μεταξύ των σημείων εμφάνισης και των πρωτογενών δεδομένων σε άλλα μοντέλα δεν λαμβάνεται υπόψη, αντίθετα με όσα επιτρέπει η μέθοδος *WofE*.

9.1.1 Η Μαθηματική έκφραση του μοντέλου Weight of Evidence (WofE)

Σε μια περιοχή στην οποία καταγράφονται πλήθος γεωλογικών αστοχιών, (L) η εκ των προτέρων πιθανότητα μιας αστοχίας ανά επιφάνεια P(L) υπολογίζεται ως το συνολικό

πλήθος αστοχιών που καταγράφηκαν στο παρελθόν κάτω από παρόμοιες συνθήκες προς τη συνολική επιφάνεια έρευνας (A).

$$P\{L\} = \frac{N\{L\}}{N\{A\}}$$
(9.1)

Έχοντας ένα σύνολο δεδομένων, τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ως μεταβλητές που επιδρούν στα κατολισθητικά φαινόμενα, η εκ των προτέρων πιθανότητα μπορεί να τροποποιηθεί και να αποτυπώνει τη δεσμευμένη ή εκ των υστέρων πιθανότητα P {L | B}, η οποία εκφράζει τη πιθανότητα, ένα κατολισθητικό συμβάν (L) να συμβεί υπό την παρουσία ή απουσία της μεταβλητής B,

$$P\{L \mid B\} = \frac{P\{L \cap B\}}{P\{B\}} = P\{L\} \times \frac{P\{B \mid L\}}{P\{B\}}$$
(9.2)

και

$$P\{L \mid \bar{B}\} = \frac{P\{L \cap \bar{B}\}}{P\{\bar{B}\}} = P\{L\} \times \frac{P\{\bar{B} \mid L\}}{P\{\bar{B}\}}$$
(9.3)

Για τη διευκόλυνση των υπολογιστικών διαδικασιών η δεσμευμένη πιθανότητα μπορεί να εκφραστεί ως λόγος πιθανότητας:

$$O = P / 1 - P$$
 (9.4)

 Ω ς εκ τούτου οι εξισώσεις (9.2) και (9.3) τροποποιούνται σε:

$$O\{L \mid B\} = O\{L\} \times \frac{P\{B \mid L\}}{P\{B \mid \bar{L}\}}$$
(9.5)
Kat

$$O\{L \mid \bar{B}\} = O\{L\} \times \frac{P\{\bar{B} \mid L\}}{P\{\bar{B} \mid \bar{L}\}},$$
(9.6)

όπου O {L | B} και O {L | B} είναι ο εκ των υστέρων λόγος πιθανοτήτων ενός κατολισθητικού συμβάντος (L) υπό την προϋπόθεση παρουσίας ή απουσίας μιας μεταβλητής - στοιχείου (B).

Ο Bonham-Carter (1994) ορίζει ως θετικό και αρνητικό δείκτη βαρύτητας για τη μεταβλητή – στοιχείο (B) (W^+ και W^- , αντίστοιχα) δίνοντας με αυτό το δείκτη, πληροφορίες για το αν υπάρχει θετική ή αρνητική συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και της χωρικής κατανομής των κατολισθήσεων, συνδυάζοντας τις δεσμευμένες πιθανότητες ως εξής:

$$W^{+} = \ln \frac{P\{B \mid L\}}{P\{B \mid \bar{L}\}}$$
(9.7)

όπου το στοιχείο - δεδομένο evidence (B) είναι παρόν,

$$W^{-} = \ln \frac{P\{\bar{B} \mid L\}}{P\{\bar{B} \mid \bar{L}\}}$$
(9.8)

όπου το στοιχείο – δεδομένο evidence (B) είναι απών.

Αν υπάρχουν n προγνωστικές μεταβλητές, τότε οι δείκτες βαρύτητας αθροίζονται για την εύρεση του φυσικού λογάριθμου, του εκ των υστέρων λόγου πιθανότητας της πιθανής αστοχίας.

$$\ln O_{posterior} \{L\} = \sum_{i=1}^{n} W_i + \ln O_{prior} \{L\}$$
(9.9)

Μια ακόμα μετρική της χωρικής συσχέτισης μεταξύ των κατολισθητικών συμβάντων (L) και της μεταβλητής – στοιχείου (B) αποτυπώνεται από το δείκτη *αντίθεση*, contrast C, ο οποίος καθορίζεται από τη διαφορά των δεικτών βαρύτητας W^+ και W^- που καθορίζονται στις εξισώσεις 9.8 και 9.9 αντίστοιχα. Η *αντίθεση*, δίνει μια συνολική εκτίμηση το πόσο σημαντικό είναι το ΘΕΠΣ για το μοντέλο (Wright et al., 1988;, Bonham-Carter et al., 1994).

$$C = W^+ - W^-$$
 (9.10)

Η τυποποιημένη τιμή του C (studentized C) υπολογίζεται ως ο λόγος του C προς την τυπική απόκλιση S (C) και χρησιμεύει σαν δείκτης για τη σημασία της χωρικής διασύνδεσης, ενεργώντας σαν ένα μέτρο της σχετικής βεβαιότητας της προγενέστερης πιθανότητας (Bonham-Carter, 1994):

C / S (C) (9.11)

Μια θετική τιμή του δείκτη *αντίθεσης* σημαίνει θετική συσχέτιση ενώ μια αρνητική τιμή σημαίνει αρνητική χωρική συσχέτιση. Αυτό σημαίνει ότι αν περισσότερα συμβάντα (κατολισθητικά φαινόμενα) εκδηλώνονται εντός του Θεματικού Επιπέδου Πληροφοριών της μεταβλητής – στοιχείου από εκείνα που αναμένονται από τυχαιότητα, ο δείκτης βαρύτητας W⁺, είναι θετικός και ο δείκτης βαρύτητας W⁻ είναι αρνητικός. Αντίθετα, αν ο δείκτης βαρύτητας W⁺ είναι αρνητικός και ο δείκτης βαρύτητας W⁻ είναι αρνητικός τότε λιγότερα συμβάντα αναμένονται να καταγραφούν εντός του ΘΕΠ της μεταβλητής – στοιχείου από εκείνα που αναμένονται από τυχαιότητα (*Bonham-Carter et al., 1989*). Ένας δείκτης *αντίθεσης* κοντά στο μηδέν σημαίνει ότι το ΣΧΑΕ είναι χωρικά ασυσχέτιστο με το συγκεκριμένο ΘΕΠΣ.

9.1.2 Εκτίμηση της ανεξαρτησίας των προγνωστικών μεταβλητών

Η μέθοδος υποθέτει την υπό όρους ανεξαρτησία μεταξύ των προγνωστικών μεταβλητών. Αν όλες οι προγνωστικές μεταβλητές είναι υπό όρους ανεξάρτητες μεταξύ τους, τότε ο αριθμός των εκτιμώμενων θέσεων αστοχίας θα ισούται με τον πραγματικό αριθμό των θέσεων αστοχίας (Agterberg & Cheng, 2002). Ωστόσο στην πραγματικότητα κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό και κρίνεται αναγκαίος ο έλεγχος του βαθμού ανεξαρτησίας με την εκτέλεση σχετικών ελέγχων υποθέσεων (Bonham-Carter, 1994; Porwal et al., 2006).

Ο έλεγχος χ^2 αποτελεί επαγωγική διαδικασία η οποία διερευνά τη σχέση μεταξύ δυο μεταβλητών. Ελέγχει την υπόθεση ότι οι δυο μεταβλητές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους ή πιο απλά ότι δεν επιδρά η μία στην άλλη. Η διαδικασία απαιτεί τη διαμόρφωση δισδιάστατων πινάκων συνάφειας όπου για κάθε μεταβλητή καταγράφονται οι θέσεις αστοχίας (Πίνακας 9-1).

		1	2	. j .	С	Σύνολο
	1	<i>n</i> ₁₁	<i>n</i> ₁₂	. n _{1j} .	n_{lc}	<i>n</i> _{1.}
	2	<i>n</i> ₂₁	<i>n</i> ₂₂	. n _{2j} .	n_{2c}	<i>n</i> _{2.}
Μεταβλητή 1		•				
	i	n _{il}	<i>n</i> _{<i>i</i>2}	. n _{ij} .	n_{ic}	n _{i.}
			•	•		
	r	n_{rl}	n_{r2}	. n_{rj} .	n_{rc}	$n_{r.}$
	Σύνολο	<i>n</i> .1	<i>n</i> .2	. n _{.j} .	<i>n</i> . <i>c</i>	$n_{}=n$

Πίνακας 9-1: Πίνακας συνάφειας

Ο αριθμός που έχει καταγραφεί συγκρίνεται με τον αριθμό που αναμένεται για τη μεταβλητή μέσω σχετικής εξίσωσης 9.12. Η υπόθεση ανεξαρτησίας ελέγχεται συγκρίνοντας τις τιμές χ^2 που εκτιμήθηκαν με μια θεωρητική τιμή χ^2 , η οποία υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τους βαθμούς ελευθερίας του συστήματος και του επιπέδου εμπιστοσύνης για την υπόθεση (*Bonham-Carter*, 1994).

$$\chi^{2} = \sum_{i=1}^{rc} \frac{(O_{i} - E_{i})^{2}}{E_{i}}$$
(9.12)

, ópou O_i h prosdiorisménn timú kai E_i h anamenómenn timú.

Οι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος υπολογίζονται από την εξίσωση 9.13:

 $v = (row - 1)^* (column - 1)$ (9.13)

όπου ν, οι βαθμοί ελευθερίας,

row, οι γραμμές του πίνακα συνάφειας,

column, οι στήλες του πίνακα συνάφειας.

Πίνακας 9-2: Θεωρητικές στατιστικές τιμές του δείκτη χ², όπου ν οι βαθμοί ελευθερίας του συστήματος

v	0.10	0.05	0.025	0.01	0.001
1	2.706	3.841	5.024	6.635	10.828
2	4.605	5.991	7.378	9.210	13.816
3	6.251	7.815	9.348	11.345	16.266
4	7.779	9.488	11.143	13.277	18.467
5	9.236	11.070	12.833	15.086	20.515
6	10.645	12.592	14.449	16.812	22.458
7	12.017	14.067	16.013	18.475	24.322
8	13.362	15.507	17.535	20.090	26.125
9	14.684	16.919	19.023	21.666	27.877
10	15.987	18.307	20.483	23.209	29.588
11	17.275	19.675	21.920	24.725	31.264
12	18.549	21.026	23.337	26.217	32.910
13	19.812	22.362	24.736	27.688	34.528
14	21.064	23.685	26.119	29.141	36.123
15	22.307	24.996	27.488	30.578	37.697
16	23.542	26.296	28.845	32.000	39.252
17	24.769	27.587	30.191	33.409	40.790
18	25.989	28.869	31.526	34.805	42.312
19	27.204	30.144	32.852	36.191	43.820
20	28.412	31.410	34.170	37.566	45.315

Στην περίπτωση που η υπόθεση της ανεξαρτησίας απορρίπτεται θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο η μεταβλητή να απομακρυνθεί από το σύστημα για να υπάρξει καλύτερη απόδοση.

9.1.3 Ο δείκτης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Για την τελική εκτίμηση του δείκτη της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, αθροίζονται οι *αντιθέσεις* που υπολογίστηκαν για κάθε κλάση i της κάθε μεταβλητής j σύμφωνα με την εξίσωση 3.14 (*Lee et al., 2002, Mathew et al., 2007*):

$$LSI = \sum_{j=1}^{n} C_j \tag{9.14}$$

όπου, LSI: ο δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

Cj, η *αντίθεση* της μεταβλητής j,

n: ο αριθμός των προγνωστικών μεταβλητών.

Το εύρος των τιμών που λαμβάνει ο δείκτης καλύπτει τόσο αρνητικές όσο και θετικές τιμές. Οι αρνητικές τιμές, αντιπροσωπεύουν ευσταθείς καταστάσεις ενώ οι θετικές τιμές, ασταθείς. Για την καλύτερη αποτύπωση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας, επιχειρείται η κατηγοριοποίηση του δείκτη με βάση τις γνωστές τεχνικές κατηγοριοποίησης του λογισμικού πακέτου ArcMap 9.3, σε πέντε κατηγορίες. Η κάθε κατηγορία αντιπροσωπεύει και μια κατηγορία επιδεκτικότητας εκφρασμένη με ποιοτικά χαρακτηριστικά. Η επιλογή αυτή παρέχει μια κλιμακωτή διαβάθμιση του βαθμού επιδεκτικότητας, ξεκινώντας από πολύ χαμηλό, χαμηλό, μέτριο, υψηλό και καταλήγοντας σε πολύ υψηλό βαθμό επιδεκτικότητας.

9.1.4 Αξιολόγηση και εκτίμηση της ακρίβειας της μεθόδου

Για την αξιολόγηση της μεθόδου, εκτιμάται η ακρίβειά (*accuracy*) της, δηλαδή η ικανότητα του μοντέλου να προβλέπει την κλάση ενός άγνωστου νέου συμβάντος. Η ταξινόμηση ενός συμβάντος προκύπτει από τη σύγκριση μεταξύ της πρόβλεψης και της πραγματικής κατάστασης του μοντέλου.

Στην περίπτωση που εξετάζουμε, η εκτίμηση γίνεται από ένα σύνολο κατολισθητικών συμβάντων που θεωρούνται ως κατολισθητικά συμβάντα ελέγχου. Αποτελούν δεδομένα τα οποία δεν ελήφθησαν υπόψη κατά την εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης. Συγκεκριμένα από το σύνολο των αρχικών δεδομένων εφαρμόζοντας τεχνικές διαμόρφωσης συνόλων, με τη βοήθεια της επέκτασης Geostatistical analysis του ArcMap 9.3 της ESRI, προκύπτουν δυο τυχαία σύνολα A (80% επί του συνολικού αριθμού κατολισθήσεων) και B (20% επί του συνολικού αριθμού κατολισθήσεων). Μετά την εφαρμογή της μεθόδου στο A σύνολο και τη δημιουργία του σχετικού χάρτη επιδεκτικότητας, παραθέτουμε το B σύνολο. Αν το υπό εξέταση κατολισθητικό συμβάν

του συνόλου Β ανήκει στην κατηγορία υψηλή ή πολύ υψηλή επιδεκτικότητα τότε έχει προβλεφθεί σωστά. Σε κάθε άλλη περίπτωση θα πρέπει να καταχωρηθεί ως λανθασμένη πρόβλεψη. Η σχετική συχνότητα των κατολισθητικών συμβάντων έναντι του ποσοστού των κλάσεων επιδεκτικότητας που διαμορφώνονται, καθώς και το ποσοστό των επιτυχών προβλέψεων, αποτελούν δυο δείκτες αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή. Στην Εικόνα 9-1 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής ενός υποθετικού μοντέλου εκτίμησης της κατολισθητικής επιδεκτικότητας με τη μέθοδο *WofE*.



9.2 Επιλογή των προγνωστικών μεταβλητών και η διαμόρφωση των κλάσεων κάθε μεταβλητής

Κατά τη διαδικασία ανάπτυξης ενός οποιουδήποτε μοντέλου πρόβλεψης, η εκτίμηση των μεταβλητών που θα πρέπει να εξεταστούν αλλά και η διαμόρφωση των κλάσεων των μεταβλητών που επιλέχθηκαν, αποτελούν δυο ουσιώδεις διαδικασίες. Η χρήση ενός μεγάλου αριθμού μεταβλητών, συνεπάγεται αύξηση της διακριτικής ικανότητας του μοντέλου, ωστόσο παράλληλα αυξάνεται και ο υπολογιστικός χρόνος και ο χρόνος εκτέλεσης, παράμετροι που επιδρούν αρνητικά στην αποτελεσματικότητά του μοντέλου πρόβλεψης. Ο μεγάλος αριθμός μεταβλητών αυξάνει την πολυπλοκότητα του μοντέλου, ενώ ένας μικρός αριθμός μεταβλητών αγνοεί χαρακτηριστικά του φαινομένου (*Benardos & Kaliambakos, 2004*).

Εξίσου σημαντική παράμετρο στην ανάπτυξη ενός αξιόπιστου μοντέλου πρόβλεψης αποτελεί η διαμόρφωση των κλάσεων των προγνωστικών μεταβλητών.

Τα Γ.Σ.Π., επιτρέπουν τη διάκριση κλάσεων ή κατηγοριών τόσο περιγραφικών όσο και αριθμητικών πληροφοριών, με στόχο την παραγωγή νέων ΘΕΠ κυρίως με τρεις τρόπους (*Βαλαδάκη-Πλέσσα*, 2001):

- διάκριση χωρικών αντικειμένων σε κατηγορίες με βάση μια ή περισσότερες πληροφορίες,
- διάκριση της γεωγραφικής περιοχής σε κατηγορίες με βάση μια ιδιότητα,
- κατηγοριοποίηση πληροφοριών με τιμές που εκφράζονται από τακτικά αριθμητικά.

Οι κλάσεις ορίζονται ανάλογα με την κατανομή των τιμών και του σκοπού της κατανομής. Οι συνήθεις τρόποι διάκρισης, κατηγοριοποιούνται με βάση: α) τα φυσικά όρια των τιμών, β) το χωρισμό σε ίσα μέρη του αριθμού των στοιχείων του πληθυσμού, γ) την κατανομή των ίσων αποστάσεων, δ) την κατανομή σε ίσα μέρη με βάση τη μεταβολή των τιμών, ε) την τυπική απόκλιση.

Στην παρούσα διατριβή εξετάστηκαν ως προγνωστικές μεταβλητές οκτώ παράμετροι: η γεωλογία της περιοχής, το υψόμετρο, η μορφολογική κλίση, η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων, η καμπυλότητα των πρανών, ο Τοπογραφικής Δείκτης Υγρασίας, η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο και η απόσταση από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά.

Η διάκριση των κατηγοριών σε διακριτές κλάσεις πραγματοποιείται ακολουθώντας τη διάκριση των φυσικών ορίων και την τροποποίηση των τιμών που προκύπτουν με τιμές που προσδιορίζονται βάσει της γνώσης των ειδικών (*Carrara et al., 1995; Carrara et al.,* 1999; Ayalew, et al., 2004; Ayalew & Yamagishi, 2005,).

<u>Γεωλογία</u>

Η γεωλογική διάθρωση και οι λιθολογικές ενότητες μιας περιοχής αποτελούν τους πλέον σημαντικούς παράγοντες που ελέγχουν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων σε ότι αφορά τον τύπο, την ένταση και την επανάληψη (Sidle & Ochiai, 2006; Fell et al., 2008). Όπως διαπιστώθηκε, η γεωλογική δομή της περιοχής έρευνας, περιλαμβάνει γεωλογικούς σχηματισμούς με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά, οι οποίοι καλύπτουν σχηματισμούς με μικρότερη μηχανική αντοχή, ενώ διαπιστώθηκε η ύπαρξη εναλλαγών στρωμάτων με διαφορετικές τιμές παραμέτρων μηχανικής αντοχής. Κρίθηκε σκόπιμο η παράμετρος που αφορά τη γεωλογική διάρθρωση να μην υποστεί καμιά περαιτέρω ταξινόμηση, δηλαδή να μην διακριθούν ιδιαίτερες κλάσεις. Και αυτό γιατί κάθε λιθολογική ενότητα που εμφανίζεται στην περιοχή έρευνας αποτελεί από μόνη της μια ξεχωριστή χωρική οντότητα με διαφορετικά χαρακτηριστικά.

<u>Υψόμετρο</u>

Το υψόμετρο μιας περιοχής, όπως και η γενικότερη μορφολογία, διαμορφώνεται από τη γεωλογική δομή, την τεκτονική δραστηριότητα, τις κλιματικές συνθήκες που καθορίζουν την ένταση και τη διάρκεια των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών διαδικασιών (*Dai & Lee, 2002*). Δεν επιδρά άμεσα στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, ωστόσο αποτελεί ένα παράγοντα που, εξαιτίας του ότι διαμορφώνεται από την αλληλεπίδραση πολλών άλλων παραγόντων, δεν μπορεί να εξαιρεθεί από μια μελέτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας (*Pachauri et al., 1998*).

Για το πρώτο χαρτογραφικό προϊόν και για την κατηγοριοποίηση του ΘΕΠ Υψομέτρου, διαμορφώθηκαν έξι ισοϋψομετρικές ζώνες, συνεκτιμώντας τη διακύμανση των τιμών υψομέτρου στη περιοχή έρευνας, την εμπειρία των ειδικών, καθώς και σχετικές βιβλιογραφικές αναφορές (*Rozos et al., 2008, Ilia et al., 2008*). Προκύπτουν οι εξής κλάσεις: 0 - 220m, 220 - 440m, 440 - 660m, 660 - 880m, 880 - 1100m και υψόμετρα μεγαλύτερα από 1100m (Εικόνα 9-2).

- Κατηγορία A, 0 220m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 34.88 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία B, 220 440m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 24.73
 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, 440 660m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 17.8 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Δ, 660 880m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 15.02 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Ε, 880 1100m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 6.65 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

 Κατηγορία ΣΤ, >1100m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 0.92 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

<u>Μορφολογικές κλίσεις</u>

Οι μορφολογικές κλίσεις καθώς και η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων ενός φυσικού πρανούς, επιδρούν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων (*Wu et al., 2004; Jaboyedoff et al., 2004; Rozos et al., 2008*). Τα γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς διαμορφώνονται από τη συνδυαστική επίδραση της γεωλογικής δομής, της τεκτονικής δραστηριότητας και των τεκτονικών χαρακτηριστικών, των κλιματικών συνθηκών που καθορίζουν την ένταση και τη διάρκεια των διαβρωτικών και αποσαθρωτικών διαδικασιών καθώς και από το είδος της βλάστησης που επικρατεί (*Maharaja, 1993*).

Για τη περιοχή έρευνας, διαμορφώθηκαν τέσσερις ζώνες, συνεκτιμώντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών που δομούν τη περιοχή έρευνας, την αξιολόγηση των σχετικών βιβλιογραφικών αναφορών και την εμπειρία των ειδικών (Wen et al., 2004; Ilia et al., 2008). Προκύπτουν οι εξής τέσσερις κλάσεις: 0°-17°, 17° - 36° , $36^{\circ} - 50^{\circ}$ και κλίσεις μεγαλύτερες από 50° (Εικόνα 9-3).

- Κατηγορία Α, 0 17⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 39.00 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, 17⁰ 36⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 45.74 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, 36⁰ 50⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 12.04 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Δ, >50⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 3.23 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

<u>Διεύθυνση Μορφολογικών κλίσεων</u>

Η διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων επιδρά έμμεσα στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Η διεύθυνση του πρανούς καθορίζει την επίδραση της έκθεσης στις κλιματολογικές συνθήκες, π.χ. διάρκεια ηλιακού φωτός, ένταση βροχοπτώσεων, υγρασία κ.α., αλλά και των συνθηκών βλάστησης που αναπτύσσονται (Guzzetti et al., 1999; Nagarajan et al., 2000; Saha et al., 2002; Cevik & Topal, 2003; Ercanoglu et al., 2004; Lee et al., 2005).

Αξιολογώντας την εμπειρία που αφορά στη συσχέτιση μεταξύ της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων και της εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων στον Ελληνικό χώρο, προκύπτουν οι εξής πέντε κατηγορίες προσανατολισμού (*Ζιούρκας, 1989; Rozos et al., 2008; Ilia et al., 2010*) (Εικόνα 9-4):

- Κατηγορία Α, 225⁰-275⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 11.32 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, 45⁰-90⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 15.24 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, 90⁰-135⁰, 275⁰-315⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 23.61 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Δ, 315⁰-360⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 11.40 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Ε, 0⁰-45⁰, 135⁰-225⁰: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 38.43 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

Καμπυλότητα κατά τη διεύθυνση κλίσης και η καμπυλότητα κάθετα στη κλίση

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους προσδιορίζουν τη δράση του νερού και το πώς αυτό θα κινηθεί. Συγκεκριμένα, η διεύθυνση του πρανούς καθορίζει την κατεύθυνση της επιφανειακής ροής του νερού. Οι Nefeslioglu et al. (2008), θεωρούν ότι η καμπυλότητα που υπολογίζεται κατά τη διεύθυνση της κλίσης, επηρεάζει την επιτάχυνση και την επιβράδυνση της ροής και, ως εκ τούτου, επηρεάζει τις διεργασίες της διάβρωσης και της απόθεσης. Από την άλλη, η καμπυλότητα που υπολογίζεται κάθετα στην κλίση, επηρεάζει την σύγκλιση, είτε την απόκλιση, των ροών νερού. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνδυαστική επίδραση των δυο δεικτών καμπυλότητας γίνεται περισσότερο κατανοητή η διαδικασία ροής σε μια επιφάνεια.

Στις κυρτές επιφάνειες το επιφανειακό νερό επιταχύνει και κερδίζει σε ενέργεια και μεταφορική ικανότητα. Στις περιοχές αυτές το ανάγλυφο ευνοεί τον μηχανισμό διάβρωσης. Αντίθετα, στις περιοχές όπου η μορφολογία χαρακτηρίζεται από κοίλες επιφάνειες, η ταχύτητα και η ενέργεια του νερού μειώνεται και οι περιοχές αυτές ευνοούν τα φαινόμενα απόθεσης. Ουσιαστικά, καλύτερη αναμενόμενη συμπεριφορά ως προς την ευστάθεια παρουσιάζουν οι κοίλες επιφάνειες (*Wilson & Gallant, 2000*).

Οι κατηγορίες που διακρίθηκαν είναι οι ακόλουθες (Εικόνα 9-5):

- Κατηγορία Α, κυρτές επιφάνειες, αρνητικές τιμές: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 34.01 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, επίπεδες επιφάνειες, μηδενικές τιμές: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 31.07% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, κοίλες επιφάνειες, θετικές τιμές: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 34.92 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης, του μορφολογικού ανάγλυφου, της τεκτονικής καθώς και των κλιματικών παραγόντων. Τόσο η μορφή, η πυκνότητα, η διεύθυνση όσο και το βάθος των χαραδρώσεων, καθορίζονται από τους ανώτερους παράγοντες. Η ανάπτυξη πυκνού υδρογραφικού δικτύου σε μια λεκάνη απορροής, ερμηνεύεται με βάση την υπόθεση του έντονου διαμελισμού των σχηματισμών και κατά συνέπεια τη δημιουργία αξονικών διαβρώσεων (αυλακωτή, χαραδρωτική), οι οποίες υποβοηθούν την εκδήλωση καταστροφικών φαινομένων. Σε αντίθετη περίπτωση, αραιό δίκτυο υποδηλώνει σχετική σταθερότητα των ορεινών λεκανών (Gokceoglu & Aksoy, 1996; Dai et al., 2001; Saha et al., 2002; Cevik & Topal, 2003; Yalcin, 2005).

Η δημιουργία ζωνών επιρροής αναφορικά με την απόσταση εκατέρωθεν του υδρογραφικού δικτύου, επιτρέπει την περαιτέρω διάκριση των περιοχών ως προς την πιθανότητα αστοχίας. Οι περιοχές εγγύτερες στο υδρογραφικό δίκτυο εξαιτίας των διεργασιών που περιγράφηκαν, εμφανίζονται ως περιοχές με αυξημένη πιθανότητα αστοχίας.

Για την περιοχή έρευνας διαμορφώνονται οι εξής 4 κατηγορίες (Εικόνα 9-6):

- Κατηγορία Α, απόσταση 0 50m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 34.46 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, απόσταση 50 75m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 14.55 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, απόσταση 75 100m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 12.84 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Δ, απόσταση >100m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 38.14 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

<u>Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας</u>

Ο Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας, έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς για να περιγράψει την επίδραση της τοπογραφίας στη θέση και την έκταση κορεσμένων περιοχών (Wood et al., 1990; Moore et al., 1991; Consoscenti et al. 2008).

Οι Moore et al. (1991), πρότειναν την εκτίμηση του δείκτη μέσω της εξίσωσης 9.4. Σύμφωνα με τους Consescenti et al. (2008), οι περιοχές με υψηλότερες τιμές είναι περισσότερο επιδεκτικές σε κατολισθητικά φαινόμενα.

$$TWI = \ln(A_S / \tan \beta)$$
(9.4)

Οι κατηγορίες που διακρίθηκαν είναι οι ακόλουθες (Εικόνα 9-7):

- Κατηγορία Α, Ξηρή Κατάσταση: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 69.4 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, Υγρή Κατάσταση: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 30.6 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.

Απόσταση από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά

Ο Varnes (1984) αναφέρει ότι ο βαθμός ρωγμάτωσης διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στον καθορισμό της ευστάθειας του πρανούς. Η τεκτονική δραστηριότητα επιδρά στην ευστάθεια μέσω της διαμόρφωσης των επιφανειών ασυνέχειας (Ibetsberger, 1996; Pachauri et al., 1998). Η δημιουργία ζωνών επιρροής εκατέρωθεν των τεκτονικών χαρακτηριστικών, ρηγμάτων, εφιππεύσεων και επωθήσεων, συμβάλλει στην περαιτέρω διάκριση των περιοχών ως προς την πιθανότητα αστοχίας. Οι περιοχές εγγύτερες στα τεκτονικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται ως περιοχές με αυξημένη πιθανότητα αστοχίας.

Οι κατηγορίες που διακρίθηκαν είναι οι ακόλουθες (Εικόνα 9-8):

- Κατηγορία Α, απόσταση 0 150m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 27.33 % της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Β, απόσταση 150 300m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 19.72% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Γ, απόσταση 300 450m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 13.98% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.
- Κατηγορία Δ, απόσταση > 450m: Η έκταση της κατηγορίας αυτής αντιστοιχεί στο 38.97% της συνολικής έκτασης της περιοχής έρευνας.



Εικόνα 9-2: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Υψομέτρου.



Εικόνα 9-3: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Μορφολογικών Κλίσεων.



Εικόνα 9-4: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων.



Εικόνα 9-5: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Καμπυλότητας Μορφολογικού Αναγλύφου.



Εικόνα 9-6: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Απόστασης από Υδρογραφικό Δίκτυο.





Εικόνα 9-8: Θεματικό Επίπεδο Πληροφορίας Απόστασης από τεκτονικά χαρακτηριστικά, όπου διακρίνονται με κόκκινο χρώμα τα τεκτονικά χαρακτηριστικά.

9.3 Χωρική Στατιστική Ανάλυση

Στις παραγράφους που ακολουθούν πραγματοποιείται χωρική στατιστική ανάλυση, όπου υπολογίζονται η χωρική διασπορά των καταγεγραμμένων κατολισθητικών φαινομένων σε κάθε προγνωστική μεταβλητή που μελετάται στην παρούσα διατριβή.

9.4.1 Στατιστική Ανάλυση Κατολισθητικών συμβάντων σε σχέση με τα ΘΕΠ

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων (Πίνακας 9-3) σε σχέση με τη χωρική κατανομή των λιθολογικών ενοτήτων που προέκυψαν, διαπιστώθηκε ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της ενότητας των κιτρινόφαιων μαργών (με 38 κατολισθήσεις), ακολουθεί η ενότητα κυανότεφρων μαργών (με 29 κατολισθήσεις), ακολούθως η ενότητα του φλύσχη (με 24 κατολισθήσεις), η ενότητα των σύγχρονων πλευρικών κορημάτων (με 17 κατολισθήσεις), η ενότητα των αλλούβιων με 7 κατολισθήσεις και τέλος η ενότητα κροκαλοπαγούς βάσης (με 4 κατολισθήσεις).

Λιθολογικές Ενότητες	П	Σ1	Σ2	Σ3
Αλλούβια	3.56	7	5.30	21.62
Φλύσχης	11.66	24	18.18	20.66
Φυλλίτες-Σχιστόλιθοι	5.22	13	9.85	17.07
Κυανότεφρες μάργες	10.75	29	21.97	15.76
Κιτρινόφαιες μάργες	9.47	38	28.79	10.60
Κροκαλοπαγές βάσης	0.69	4	3.03	7.33
Σύγχρονα πλευρικά κορήματα	2.78	17	12.88	6.95
Ανώτεροι ορίζοντες Νεογενούς	4.44	0	0.00	0.00
Διλλούβια	0.79	0	0.00	0.00
Ασβεστόλιθοι	43.53	0	0.00	0.00
Τόφοι βιοτιτικού Δακίτη	0.91	0	0.00	0.00
Ενδιαστρώσεις κροκαλοπαγών	0.19	0	0.00	0,00
Ποτάμιες αναβαθμίδες	0.09	0	0.00	0.00
Γρανίτες Λιθανθρακοφόρου	1.87	0	0.00	0.00
Δακίτες-Ανδεσίτες	1.64	0	0.00	0.00
Περιδοτίτες	1.00	0	0.00	0.00
Ανθρακικά Περμίου	1.35	0	0.00	0.00
Λατερίτες	0.08	0	0.00	0.00

Πίνακας 9-3: Χωρική και στατιστική ανάλυση Λιθολογικών Ενοτήτων

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των υψομετρικών κλάσεων, διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται σε υψόμετρα της κατηγορίας **A**, 0-220 m, με 74 κατολισθήσεις, ακολουθεί η κατηγορία **B**, 220 – 440 m, με 37 κατολισθήσεις, ακολούθως η κατηγορία Γ, 440 – 660 m, με 16 κατολισθήσεις, η κατηγορία Δ, 660 – 880 m, με 4 κατολισθήσεις και τέλος η κατηγορία E, 880 – 1100 m. με 1 κατολίσθηση. Η κατηγορία ΣΤ δεν παρουσιάζει κανένα κατολισθητικό συμβάν (Πίνακας 9-4).

	<u>and property</u>	1		
Κατηγορίες Υψομέτρου	П	Σ1	Σ2	Σ3
A (0-220 m)	34.88	74	56.06	43.00
B (220-440 m)	24.73	37	28.03	30.33
Г (440-660 m)	17.80	16	12.12	18.22
Δ (660-880 m)	15.02	4	3.03	5.40
E (880-1100 m)	6.65	1	0.76	3.05
ΣT (>1100 m)	0.92	0	0.00	0.00

Πίνακας 9-4: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας υψομετρικών κλάσεων

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη γωρική κατανομή των κλάσεων των μορφολογικών κλίσεων (Πίνακας 9-5), διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία B (με 56 κατολισθήσεις), ακολουθεί η κατηγορία Α (με 53 κατολισθήσεις), ακολούθως η κατηγορία Γ (με 17 κατολισθήσεις) και τέλος η κατηγορία Δ (με 16 κατολισθήσεις).

Κατηγορίες Μορφολογικών Π Σ1 Σ2 Σ3 Κλίσεων $\overline{\mathbf{A}}$ (0⁰-17⁰) 23.21 39.00 53 40.15 B (17º-36º 45.74 56 42.42 20.91 Γ (36⁰-50⁰) 12.04 12.88 24.12 17

Πίνακας 9-5: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας μορφολογικών κλίσεων

 Δ (>50°)

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

3.23

16

4.55

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων (Πίνακας 9-6), διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία Ε (με 66 κατολισθήσεις), ακολουθεί η κατηγορία Γ (με 23 κατολισθήσεις), ακολούθως η κατηγορία **B** (με 19 κατολισθήσεις), η κατηγορία **A** (με 13 κατολισθήσεις), και τέλος η κατηγορία Δ (με 11 κατολισθήσεις).

Πίνακας 9-6: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας διεύθυνσης μορφολογικών κλίσεων

Κατηγορίες Διεύθυνσης Μορφολογικών Κλίσεων	П	Σ1	Σ2	Σ3
A (225 ⁰ -275 ⁰)	11.32	13	9.85	18.98
$B(45^0-90^0)$	15.24	19	14.39	20.61
Γ (90 [°] -135 [°] , 275 [°] -315 [°])	23.61	23	17.42	16.10
Δ (315 ⁰ -360 ⁰)	11.40	11	8.33	15.94
$E(0^{0}-45^{0}, 135^{0}-225^{0})$	38.43	66	50.00	28.38

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

31.76

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που προσδιορίζουν την καμπυλότητα του μορφολογικού ανάγλυφου (Πίνακας 9-7), διαπιστώνεται ότι, 54 κατολισθήσεις εντοπίζονται στην κατηγορία **A**, 42 κατολισθήσεις εντοπίζονται στην κατηγορία **B** και ακολουθεί η κατηγορία **Γ** με 36 κατολισθητικά συμβάντα.

ις 9-	·/: <i>Λωρικη και στατιστικη αναλυση</i>	κατηγοριας καμι	πυλοτηι	ας μορφολογι	<u>KOU AVAYN</u> UG
	Κατηγορίες Καμπυλότητας	Π	Σ1	Σ2	Σ3
	Α (Αρνητικές τιμές)	34.01	54	40.91	39.98
	Β (Μηδενικές τιμές)	31.07	42	31.82	34.05
	Γ (Θετικές τιμές)	34.92	36	27.27	25.97

Πίνακας 9-<u>7: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας καμπυλότητας μορφολογικού ανάγλ</u>υφου

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που αντιστοιχούν στις ζώνες επιρροής του υδρογραφικού δικτύου (Πίνακας 9-8), διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία **A** (με 57 κατολισθήσεις), ακολουθεί η κατηγορία **A** (με 41 κατολισθήσεις), ακολούθως η κατηγορία **B** (με 21 κατολισθήσεις) και τέλος η κατηγορία **Γ** (με 13 κατολισθήσεις).

Πίνακας 9-8: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας ζωνών επιρροής υδρογραφικού δικτύου

Κατηγορίες Ζωνών Επιρροής Υδρογραφικού Δικτύου	П	Σ1	Σ2	Σ3
A (0-50 m)	34.46	57	43.18	31.91
B (50-75 m)	14.55	21	15.91	27.83
Г (75-100 m)	12.84	13	9.85	19.53
A (>100 m)	38.14	41	31.06	20.73

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που αντιστοιχούν στις ζώνες επιρροής των τεκτονικών χαρακτηριστικών (Πίνακας 9-9), διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία **A** (με 57 κατολισθήσεις), ακολούθως η κατηγορία **B** (με 21 κατολισθήσεις) και τέλος η κατηγορία **Γ** (με 13 κατολισθήσεις).

Πίνακας 9-9: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας ζωνών επιρροής τεκτονικών χαρακτηριστικών

· ·	Κατηγορίες Ζωνών Επιρροής Τεκτονικών χαρακτηριστικών	П	Σ1	Σ2	Σ3
Ī	A (<150 m)	27.33	50	37.88	32.87
	B (150-300 m)	19.72	34	25.76	30.98
	Г (300-450 m)	13.98	17	12.88	21.85
	Δ (>450 m)	38.97	31	23.48	14.29

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%). Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που προσδιορίζουν την κατάσταση του μορφολογικού ανάγλυφου ως προς τη δράση του νερού (Πίνακας 9-10), διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία **A** (με 79 κατολισθήσεις) και ακολουθεί η κατηγορία **B** (με 53 κατολισθήσεις).

9- <u>10: Λωρική και στατιστική αναλυσή κ</u>	ατηγοριας Τι	πογραφι	κου σεικτη υ	φασιας
Κατηγορίες Τοπογραφικού Δείκτη Ύγρανσης	П	Σ1	Σ2	Σ3
Α (Αρνητικές τιμές)	69.40	79	59.85	39.66
Β (Θετικές τιμές)	30.60	53	40.15	60.34
$\frac{1}{1}$		$\Sigma 1$		-0

Πίνακας 9-<u>10: Χωρική και στατιστική ανάλυση κατηγορίας Τοπογρ</u>αφικού δείκτη υγρασίας

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Αριθμός κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

9.4 Εφαρμογή του μοντέλου Weight of Evidence στην περιοχή Κύμης

9.4.1 Διαμόρφωση συνόλων εκπαίδευσης και ελέγχου

Η διαμόρφωση των συνόλων εκπαίδευσης και ελέγχου και η υπέρθεσή τους επί των προγνωστικών μεταβλητών, έγινε με τη βοήθεια της σχετικής υπορουτίνας της επέκτασης *Geostatistical Analysis, Create subsets.* Δημιουργήθηκαν τρία ζεύγη συνόλων Α, Β και Γ από τη βάση των κατολισθητικών δεδομένων, ενώ ο αριθμός των θέσεων αστοχίας για κάθε ζεύγος είναι 105 για το σύνολο εκπαίδευσης και 27 για το σύνολο ελέγχου.

Σε κάθε σύνολο εκπαίδευσης, γίνεται υπέρθεση των προγνωστικών μεταβλητών και υπολογίζεται η σχετική πυκνότητα για κάθε κλάση και η συνολική πυκνότητα για την περιοχή έρευνας. Στη συνέχεια, υπολογίζονται οι σχετικοί δείκτες βαρύτητας, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή της μεθόδου *Weight of Evidence*. Οι Πίνακες 9-11, 9-12 και 9-13 παρουσιάζουν τους εκτιμώμενους δείκτες βαρύτητας για κάθε προγνωστική μεταβλητή που χρησιμοποιήθηκε και για κάθε σύνολο εκπαίδευσης.

$\mathit{Kep.9:anaaysht} ths \mathit{Katoaisohtikhs} epiisektikothtas me th xphsh ths$
ME@OAOY WEIGHT OF EVIDENCE

Arlalanni- Enterne	17	117	C		0/-(-)
Διθολογικές Ενότητές	W+ 1.0032	<u>w-</u> 0 2002	1 2024	<u>s(c)</u>	<u>c/s(c)</u> 2 7/0
l	1.0032	-0.2002	1.2034	0.4392	2.740
2	0.0000	0.0437	-0.0437	0.1923	-0.257
3	0.7922	-0.1435	0.9373	0.4029	2.023
4	0.0000	0.0100	-0.0100	0.1923	-0.080
5	-0.0219	0.0009	-0.0228	0.1025	-0.022
6	0.0000	0.0092	-0.0092	0.1923	-0.046
7	0.4208	-0.0700	-0.0079	0.4934	-0.041
8	0.0000	0.0079	-0.0079	0.1925	2 950
ġ	0.0000	0.3302	-0.5302	0.1923	-2.839
10	2.3043	-0.0700	2.4343	0.7349	0.010
11	0.0000	0.0019	-0.0019	0.1925	-0.010
12	0.0000	0.0009	-0.0009	0.1925	-0.004
13	0.0000	0.0190	-0.0190	0.1925	-0.099
14	0.7495	-0.0638	0.8134	0.6124	1.328
15	1.0518	-0.0782	1.1300	0.6124	1.845
16	0.0000	0.0101	-0.0101	0.1925	-0.053
17	0.0000	0.0137	-0.013/	0.1925	-0.0/1
18	0.0000	0.0008	-0.0008	0.1925	-0.004
Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης	<i>W</i> +	<u>W-</u>	<u>C</u>	s(c)	<i>c/s(c)</i>
1	-0.0775	0.0095	-0.0870	0.3187	-0.2729
2	-0.1334	0.0222	-0.1556	0.2871	-0.5421
3	-0.2146	0.0580	-0.2725	0.2485	-1.0965
4	-0.5367	0.0521	-0.5888	0.3912	-1.5050
5	0.2725	-0.2176	0.4902	0.1952	2.5113
Μορφολογική κλίση	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)
1	0.0254	-0.0166	0.0420	0.1992	0.2110
2	0.0403	-0.0353	0.0756	0.1954	0.3867
3	0.0280	-0.0039	0.0319	0.2963	0.1076
4		0.0328	-0.0328	0.0976	-0.3361
νικάμετρο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	C	s(c)	c/s(c)
1	0.4245	-0 3331	0.7576	0 1956	3 8731
2	0.2091	-0.0795	0.2886	0.2120	1 3611
3	-0.3628	0.0638	-0.4267	0.2963	-1 4399
4	-1 6597	0.1338	-1 7935	0.5858	-3.0617
5	-1.9436	0.0593	-2.0028	1.0048	-1.9933
6		0.0092	-0.0092	0.0976	0.0000
Καμπηλότητα	<i>W</i> +	<i>W</i> -	C	s(c)	c/s(c)
1	0.0620	-0.0335	0.0955	0 2031	0 4704
2	0.0020	-0.0478	0.1464	0.2051	0.7119
3	-0.1678	0.0796	-0 2474	0.2139	-1 1564
Απόσταση από ηδοονοαωικό δίκτης	W+	W-	<u> </u>	5. <u>-</u> 10)	a/s(a)
1	0.2615	_0 1710	0.4325	0 1963	2 2027
1	-0.0186	0.0031	-0 0217	0.1905	-0 0770
2	-0.0100	0.0051	-0.0217	0.2709	-0.0779
3	-0.2030	0.0208	-0.2303	0.2120	-0.7228
4 Τοπονοσωικός δείκτης ρησοσίας	-0.2244 W+	W-	<u>-0.5415</u>	0.2120	-1.0090
1	0.7188	_0 6420	1 3626	$\frac{s(c)}{0.2031}$	6 7008
1	0.7100	-0.0439	1.3020	0.2031	6 7652
	U.7/UU II/	-0.3018	1.2/24	0.2031	0.2033
Απυσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά	<i>W</i> +	0.2076	0 (120	s(c)	<u>c/s(c)</u>
1	0.4044	-0.2076	0.6120	0.1984	5.084
2	0.2277	-0.0648	0.2927	0.2261	1.294
3	-0.2015	0.02923	-0.2308	0.3067	-0.752
1	-0 5335	0 2343	-0 7679	0.2324	-3 304

κεφ.9: αναλύση της κατολισθητικής επιδεκτικοτητάς με τη χρήση της
ME@OAOY WEIGHT OF EVIDENCE

Διθολονικές Ενότητες	<i>W</i> +	<i>W</i> -	C	s(c)	clele
1	0.8490	-0 1514	1 0005	0 4629	$\frac{2161}{2161}$
2	0.0000	0.0457	-0.0457	0.1925	-0.237
3	0.6099	-0.0987	0.7086	0.4954	1.430
4	0.0000	0.0166	-0.0166	0.1925	-0.086
5	0.6712	-0.0384	0.7096	0.7349	0.966
6	0.0000	0.0092	-0.0092	0.1925	-0.048
7	0.6092	-0.1225	0.7317	0.4629	1.581
8	0.0000	0.0079	-0.0079	0.1925	-0.041
9	0.0000	0.5502	-0.5502	0.1925	-2.859
10	2 3645	-0.0700	2 4345	0 7349	3 313
11	0.0000	0.0019	-0.0019	0 1925	-0.010
12	0.0000	0.0009	-0.0009	0 1925	-0.004
13	0.0000	0.0190	-0.0190	0.1925	-0.099
14	0.7495	-0.0638	0.8134	0.6124	1.328
15	1.0518	-0.0782	1.1300	0.6124	1.845
16	0.0000	0.0101	-0.0101	0.1925	-0.053
17	0.0000	0.0137	-0.0137	0.1925	-0.071
18	0.0000	0.0008	-0.0008	0.1925	-0.004
Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c
1	-0.0775	0.0095	-0.0870	0.3187	-0.272
2	0.3186	-0.0698	0 3884	0 2398	1 6196
2	-0.4377	0 1039	-0 5416	0.2715	_1 994
3	0.4022	0.1037	-0.3410	0.2713	1 200
4	-0.4032	0.0410	-0.4430	0.3078	-1.209
5	0.1/35	-0.1258	0.2993	0.1959	1.5278
Μορφολογική κλιση	W^+	<i>W-</i>	0.1096	<u>s(c)</u>	<u>c/s(c)</u>
1	0.1164	-0.0822	0.1986	0.1967	1.0097
2	-0.0875	0.0683	-0.1558	0.1978	-0./8/
3	0.1021	-0.0148	0.1169	0.2871	0.4073
4	-1.2203	0.0232	-1.2435	1.0048	-1.237
Υψόμετρο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c,
1	0.3881	-0.2931	0.6813	0.1953	3.4890
2	0.2697	-0.1073	0.3770	0.2086	1.8075
3	-0.4429	0.0746	-0.5175	0.3067	-1.687
4	-1.3720	0.1239	-1.4959	0.5098	-2.934
5	-1.9436	0.0593	-2.0028	1.0048	-1.993
6		0.0092	0.0000	0.097591	0.0000
Καμπυλότητα	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c
1	0.2009	-0.1218	0.3227	0.1972	1.6359
2	0.0337	-0.0156	0.0492	0.2082	0.2364
3	-0.3137	0.1349	-0.4486	0.2230	-2.011
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c,
1	0.2400	-0.1539	0.3939	0.1967	2.0026
2	-0.2417	0.0359	-0.2777	0.3067	-0.905
3	-0.2036	0.0268	-0.2303	0.3187	-0.722
4	-0.1066	0.0605	-0.1671	0.2056	-0.812
Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	<i>W</i> +	<i>W</i> -	C	s(c)	c/s(c
1	-0.1298	0.2438	-0.3736	0.2000	-1.867
2	0.2438	-0.1298	0.3736	0.2000	1.8678
Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c
1	0.3321	-0.1603	0.4925	0.2009	2.45
2	0.1885	-0.0523	0.2409	0.2291	1.05
3	-0.0474	0.0074	-0.0549	0.2870	-0.19
					····/

κεφ.9: αναλύση της κατολισθητικής επιδεκτικοτητάς με τη χρήση της
ME@OAOY WEIGHT OF EVIDENCE

Πίνακας 9-13: Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - Γ							
Λιθολογικές Ενότητες	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)		
1	1.0032	-0.2002	1.2034	0.4392	2.740		
2	0.0000	0.0457	-0.0457	0.1925	-0.237		
3	0.3868	-0.0543	0.4410	0.5417	0.814		
4	0.0000	0.0166	-0.0166	0.1925	-0.086		
5	0.6712	-0.0384	0.7096	0.7349	0.966		
6	0.0000	0.0092	-0.0092	0.1925	-0.048		
7	0.2037	-0.0315	0.2352	0.5417	0.434		
8	0.0000	0.0079	-0.0079	0.1925	-0.041		
9	0.0000	0.5502	-0.5502	0.1925	-2.859		
10	2.7700	-0.1108	2.8808	0.6124	4.704		
11	0.0000	0.0019	-0.0019	0.1925	-0.010		
12	0.0000	0.0009	-0.0009	0.1925	-0.004		
13	0.0000	0.0190	-0.0190	0.1925	-0.099		
14	1.05/2	-0.1064	1.1436	0.541/	2.111		
15	1.0518	-0.0782	1.1300	0.0124	1.845		
16	0.0000	0.0101	-0.0101	0.1925	-0.033		
17	0.0000	0.0137	-0.0137	0.1925	-0.071		
	0.0000	0.0008	-0.0008	0.1923	-0.004		
Διευθυνση μορφολογικης κλισης	<i>W</i> +	<u> </u>	<u> </u>	<u>s(c)</u>	<u>c/s(c)</u>		
1	-0.0775	0.0095	-0.0870	0.318/	-0.2729		
2	0.0001	0.0000	0.0001	0.2715	0.0004		
3	-0.2146	0.0580	-0.2725	0.2485	-1.0965		
4	-0.5367	0.0521	-0.5888	0.3912	-1.5050		
5	0.2341	-0.1799	0.4140	0.1953	2.1201		
Μορφολογική κλίση	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)		
1	-0.0487	0.0299	-0.0786	0.2020	-0.3891		
2	0.1173	-0.1108	0.2280	0.1953	1.1678		
3	-0.1391	0.0176	-0.1567	0.3187	-0.4916		
4	-1.2203	0.0232	-1.2435	1.0048	-1.2375		
Υψόμετρο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)		
1	0.4422	-0.3538	0.7960	0.1959	4.0630		
2	0.1446	-0.0524	0.1970	0.2160	0.9120		
3	-0.2887	0.0529	-0.3416	0.2871	-1.1899		
4	-1.6597	0.1338	-1.7935	0.5858	-3.0617		
5	-1.9436	0.0593	-2.0028	1.0048	-1.9933		
6		0.0092	-0.0092	0.0976	0.0000		
Καμπυλότητα	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)		
1	0.1380	-0.0793	0.2173	0.2000	1.0864		
2	0.0115	-0.0052	0.0168	0.2102	0.0799		
3	-0.1678	0.0796	-0.2474	0.2139	-1.1564		
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	<u>C</u>	s(c)	<u>c/s(c)</u>		
1	0.3032	-0.2061	0.5093	0.1956	2.6034		
2	0.1066	-0.0193	0.1259	0.2649	0.4752		
3	-0.6555	0.0684	-0./240	0.3912	-1.8505		
<u> </u>	-0.2244	0.1169	-0.3413	0.2120	-1.6096		
Ι οπογραφικος δεικτης υγρασιας	W+	<i>W-</i>	0.6954	<u>s(c)</u>	<u>c/s(c)</u>		
1	-0.2033	0.4221	-0.0834 0.6854	0.1930	-3.3039		
2	0.4221	-0.2033	0.0834	0.1930	5.5058		
Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά	<i>W</i> +	W-	C	s(c)	c/s(c)		
1	0.4719	-0.2571	0.7291	0.1967	3.707		
2	0.1885	-0.0523	0.2409	0.2291	1.051		
3	-0.2885	0.0399	-0.3285	0.3186	-1.031		
4	-0.5761	0.2466	-0.8228	0.2359	-3.487		

9.4.2 Έλεγχος της υπό όρους ανεξαρτησίας

Ο έλεγχος της υπό όρους ανεξαρτησίας των προγνωστικών μεταβλητών πραγματοποιήθηκε με τη δοκιμή χ^2 , με 1 βαθμό ελευθερίας, από όπου διαπιστώνεται ότι και τα τρία σύνολα εκπαίδευσης δίνουν ασφαλή αποτελέσματα (Πίνακας 9-14).

ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΕΣ	MI	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ – ΣΥΝΟΛΟ Α		1012	1115	1714	1115	140	1017	1010
M1	-	0.6977	2.2246	0.8363	1.4228	0.6353	0.6316	0.6002
M2		-	1.4386	1.6447	2.3144	1.4214	0.9976	0.4496
<i>M3</i>			-	1.3698	1.2500	0.2500	0.6754	0.4359
<i>M4</i>				-	2.2924	0.2924	0.4537	0.9921
M5					-	1.3498	0.1435	0.3602
<i>M</i> 6						-	0.2653	0.8753
<i>M</i> 7							-	0.9423
<i>M8</i>								-
ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΕΣ		1/2	1/2		145	14	147	1.60
ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ – ΣΥΝΟΛΟ Β	MI	M2	M3	M4	MS	M6	M 7	M8
M1	-	0.6327	2.6386	0.7459	1.4228	0.5253	0.6378	0.5632
M2		-	1.3186	1.4377	2.1555	1.4334	0.5674	0.4643
<i>M3</i>			-	1.3698	1.2890	1.4230	0.6549	0.6359
<i>M4</i>				-	2.7324	0.4264	0.4237	0.7931
M5					-	1.3398	0.1235	0.6432
<i>M6</i>						-	0.2653	1.0753
<i>M</i> 7							-	0.7323
<i>M8</i>								-
ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ – ΣΥΝΟΛΟ Γ	M1	M2	М3	M4	M5	<i>M6</i>	M7	<i>M8</i>
<i>M1</i>	_	0.4789	2.4327	0.8999	1.4228	0.5894	0.6226	0.6978
М2		-	1.3875	1.2737	2.3144	1.4214	0.9276	0.4434
М3			-	1.4374	1.2195	0.2879	0.5644	0.4959
<i>M4</i>				-	2.4520	0.2924	0.4327	0.9442
<i>M5</i>					-	1.3498	0.3455	0.3980
<i>M6</i>						-	0.3455	0.8323
<i>M</i> 7							-	0.8444
<i>M</i> 8								-

Πίνακας 9-14: Εκτίμηση της υπό όρους ανεξαρτησίας – έλεγχος χ²

Υποσημείωση: M1: Τεχνικογεωλογικές ενότητες, M2: Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης, M3: Μορφολογική κλίση, M4: Υψόμετρο, M5: Καμπυλότητα, M6: Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, M7: Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, M8: Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά.

9.4.3 Έλεγχος της απόδοσης του μοντέλου πρόβλεψης

Κατά την μέχρι τώρα πορεία διαπιστώθηκε ότι, η επιλογή των προγνωστικών μεταβλητών θεωρείται ενδεδειγμένη για την περιγραφή του προβλήματος, δίνοντας αποτελέσματα ικανοποιητικής πρόβλεψης. Στο επόμενο στάδιο της διαδικασίας πραγματοποιείται η επαναταξινόμηση των προγνωστικών μεταβλητών, λαμβάνοντας υπόψη τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας που προσδιορίστηκαν.

Η επόμενη φάση είναι να αξιολογηθούν συνδυαστικά όλες οι προγνωστικές μεταβλητές που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία του χάρτη επιδεκτικότητας (Εικόνα 9-9). Ο χάρτης ταξινομείται σε πέντε κλάσεις (πολύ χαμηλή, χαμηλή, μέτρια, υψηλή και πολύ υψηλή) που χαρακτηρίζουν το βαθμό επιδεκτικότητας, ενώ με υπέρθεση τοποθετούνται διαδοχικά τα τρία σύνολα ελέγχου. Για κάθε ένα από αυτά, υπολογίζονται το ποσοστό των κατολισθήσεων που εντοπίζονται στις κατηγορίες "υψηλή" και "πολύ υψηλή επιδεκτικότητα". Ο Πίνακας 9-15 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της διαδικασίας ελέγχου από όπου διαπιστώνεται η πολύ καλή απόδοση του μοντέλου, αφού το μέσο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης είναι της τάξης του 83.70%.

Κατηγορίες Επιδεκτικότητας Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - 1	П	Σ1	Σ2	Σ3
A	16.35	0	0.00	0.00
В	20.42	1	3.70	3.57
Γ	24.15	5	18.52	15.11
Δ	22.78	10	37.04	32.03
Ε	16.29	11	40.74	49.29
Κατηγορίες Επιδεκτικότητας Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - 2	П	Σ1	Σ2	Σ3
Α	12.91	0	0,00	0,00
В	20.50	1	3.70	3.87
Γ	23.73	4	14.81	13.37
Δ	24.15	11	40.74	36.14
Ε	18.72	11	40.74	46.62
Κατηγορίες Επιδεκτικότητας Data Train Set - Σύνολο Εκπαίδευσης - 3	Π	Σ1	Σ2	Σ3
Α	13.09	0	0.00	0.00
В	19.48	1	3.70	3.98
Γ	25.80	3	11.11	9.01
Δ	26.48	14	51.85	40.98
E	15.15	9	33.33	46.03
Μέσο ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης				83 70

Πίνακας 9-15: Εκτίμηση ποσοστού επιτυχούς απόδοσης για τα τρία σύνολα ελέγχου

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

9.4.4 Διαμόρφωση του τελικού μοντέλου πρόβλεψης

Το επόμενο στάδιο αφορά στην εφαρμογή εκ νέου της διαδικασίας που περιγράφηκε με σκοπό την εκτίμηση των αντίστοιχων συντελεστών βαρύτητας για το σύνολο των 132 θέσεων αστοχίας.

Τα αποτελέσματα της διαδικασίας παρουσιάζονται στον αντίστοιχο Πίνακα 9-16, ενώ στον Πίνακα 9-17, ο έλεγχος της υπό όρους ανεξαρτησίας δίνει παρόμοια αποτελέσματα με τα σύνολο εκπαίδευσης. Στη συνέχεια πραγματοποιείται επαναταξινόμηση των προγνωστικών μεταβλητών με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας και ακολουθεί η συνδυαστική αξιολόγησή τους με σκοπό τη δημιουργία του χάρτη επιδεκτικότητας. Ο τελικός χάρτης που προέκυψε με τις πέντε κατηγορίες επιδεκτικότητας φαίνεται στην Εικόνα 9-9. Προβάλλοντας το σύνολο των αστοχιών πάνω στον χάρτη επιδεκτικότητας και υπολογίζοντας το αντίστοιχο ποσοστό των κατολισθήσεων που εντοπίζονται στις κατηγορίες "υψηλή" και "πολύ υψηλή επιδεκτικότητα", διαπιστώνεται η βελτίωση του ποσοστού πρόβλεψης, κάτι το οποίο ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της εκπαίδευσης με περισσότερα δεδομένα (Πίνακας 9-18).

Ο τελικός χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας, όπως προέκυψε από την υλοποίηση της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αποτυπώνει την εικόνα ενός σύνθετου προτύπου απεικόνισης. Δεν ακολουθεί τη χωρική απεικόνιση κάποιας από τις οκτώ παραμέτρους που αξιοποιήθηκαν στο μοντέλο πρόβλεψης. Ο βαθμός κατολισθητικής επιδεκτικότητας προκύπτει ως το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης του συνόλου των παραγόντων.

Από την εξέταση των δεικτών αντίθεσης C του Πίνακα 9-16, διαπιστώνεται ότι τις μεγαλύτερες τιμές κατέχουν οι κλάσεις της παραμέτρου "Λιθολογικές ενότητες". Οι κλάσεις αυτές συμμετέχουν στη διαμόρφωση του βαθμού επιδεκτικότητας σε μεγαλύτερο ποσοστό από ότι οι υπόλοιπες παράμετροι. Η σειρά με την οποία κατατάσσονται οι παράμετροι με βάση την σειρά σπουδαιότητας ως προς τη διαμόρφωση του βαθμού επιδεκτικότητας έχει ως εξής: Λιθολογικές Ενότητες, Υψόμετρο, Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά, Μορφολογική κλίση, Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης, Καμπυλότητα και Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας. Στην παράμετρο της Λιθολογικής ενότητας διακρίνεται ότι το κροκαλοπαγές βάσης κατέχει τον μεγαλύτερο δείκτη αντίθεσης (1.4945). Οι κιτρινόφαιες μάργες, τα σύγχρονα πλευρικά κορήματα και οι κυανότεφρες μάργες ακολοθούν σε σπουδαιότητα συμμετοχής με τιμές 1.3475, 1.2978 και 0.9228 αντίστοιχα. Η επόμενη κλάση με τον υψηλότερο δείκτη αντίθεσης είναι αυτή που χαρακτηρίζει την παράμετρο του υψομέτρου και αναφέρεται στην κατηγορία A (0m - 220m) με τιμή 0.8677. Η κλάση με τον υψηλότερο δείκτη αντίθεσης που ακολουθεί με τιμή 0.6787, είναι αυτή που αναφέρεται στην παράμετρο της Λιθολογικής ενότητας και συγκεκριμένα σε αυτή των Φυλλιτών – Σχιστολίθων.
	1171	11/	C	$\langle \rangle$	(()
Λιθολογικες Ενοτητες	<i>W</i> +	<i>W-</i>	1 2 4 7 5	s(c)	<u>c/s(c)</u>
1	0.0000	-0.2390	-0.0457	0.1923	-0.525
2	0.7808	-0 1420	0.9228	0.2102	4 389
3	0.0000	0.0166	-0.0166	0.0870	-0 191
4	0.0000	0.0100	0.0100	0.0070	0.171
5	0.3370	-0.0159	0.3529	0.3884	0.909
6	0.0000	0.0092	-0.0092	0.0870	-0.105
7	0.4085	-0.0719	0.4804	0.2257	2.129
8	0.0000	0.0079	-0.0079	0.0870	-0.091
9	0.0000	0.5502	-0.5502	0.0870	-6.321
10	1.4707	-0.0238	1.4945	0.5078	2.943
11	0.0000	0.0019	-0.0019	0.0870	-0.022
12	0.0000	0.0009	-0.0009	0.0870	-0.010
13	0.0000	0.0190	-0.0190	0.0870	-0.219
14	0.6289	-0.0497	0.6787	0.2921	2.323
15	1.1995	-0.0983	1.2978	0.2599	4.994
16	0.0000	0.0101	-0.0101	0.0870	-0.117
17	0.0000	0.0137	-0.0137	0.0870	-0.157
19	0.0000	0.0008	-0.0008	0.0870	-0.009
 Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης	<i>W</i> +	W-	С	s(c)	c/s(c)
1	-0.1393	0.0165	-0.1557	0.2921	-0.5331
2	-0.0569	0.0099	-0.0668	0.2480	-0.2693
-	-0.3036	0.0778	-0.3815	0.2295	-1.6624
3	-0.3136	0.0341	-0.3476	0.3149	-1.1039
	0.2631	-0.2081	0.4711	0.1741	2.7065
 Μορφολογική κλίση	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)
1	0.0292	-0.0191	0.0483	0.1776	0.2723
2	-0.0752	0.0593	-0.1345	0.1761	-0.7638
3	0.0674	-0.0096	0.0770	0.2598	0.2964
4	0.3427	-0.0137	0.3564	0.4179	0.8529
Υψόμετρο	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)
1	0.4744	-0.3934	0.8677	0.1754	4.9479
2	0.1254	-0.0449	0.1703	0.1938	0.8790
3	-0.3841	0.0668	-0.4508	0.2667	-1.6904
4	-1.6008	0.1320	-1.7329	0.5078	-3.4128
5	-2.1724	0.0612	-2.2336	1.0038	-2.2251
6		0.0092	-0.0076	0.0870	0.0000
Καμπυλότητα	<i>W</i> +	<i>W</i> -	С	s(c)	c/s(c)
1	0.1846	-0.1104	0.2949	0.1770	1.6658
2	0.0239	-0.0109	0.0348	0.1869	0.1863
3	-0.2471	0.1111	-0.3582	0.1954	-1.8326
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	W+	W-	<u>C</u>	<u>s(c)</u>	<u>c/s(c)</u>
1	-0.5705	0.4205	0.3064	0.1737	-4.3081
2	-0.3128	0.1555	0.1050	0.2380	-2.7243
3	-0.8072	0.1034	-0.2991	0.2921	-5.5262
4	-0.80/3	0.8198	-0.3138	0.1881	-8.6501
Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας	W+	-0.0835	<u>C</u> 0.1437	s(c)	<u>c/s(c)</u> 0.8094
1	-0.0825	0.0602	-0 1/27	0.1776	-0 8004
 Απόσταση από τεκτονικά γαρακτηριστικά	-0.0035 W+	W-	-0.1437 C	s(c)	-0.0094 c/s(c)
1	0.3264	-0.1569	0.4833	0.1794	2.6933
2	0.2672	-0.0782	0.3454	0.1990	1.7354
- 3	-0.0821	0.0127	-0.0948	0.2599	-0.3649
4	-0.5065	0.2262	-0.7327	0.2053	-3.5682

Πίνακας 9-16: Σύνολο κατολισθητικών δεδομένων

ΠΡΟΓΝΩΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ	M1	M2	M3	M4	M5	<i>M6</i>	M7	M8
M1	-	0.6327	2.6386	0.7459	1.4228	0.5253	0.6316	0.6002
<i>M2</i>		-	1.3186	1.4377	2.3144	1.4214	0.9976	0.4496
<i>M3</i>			-	1.3698	1.2500	0.2500	0.6754	0.4359
<i>M4</i>				-	2.2924	0.2924	0.4537	0,9921
M5					-	1.3498	0.1435	0.3602
<i>M6</i>						-	0.2653	0.8753
M 7							-	0.9423
<i>M8</i>								-
	1							

Υποσημείωση: M1: Τεχνικογεωλογικές ενότητες, M2: Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης, M3: Μορφολογική κλίση, M4: Υψόμετρο, M5: Καμπυλότητα, M6: Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, M7: Τοπογραφικός δείκτης υγρασίας, M8: Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά.

Κατηγορίες Επιδεκτικότητας	Π	Σ1	Σ2	Σ3
Α	13.91	1	0.76	1.11
В	19.18	4	3.03	3.23
Γ	24.26	15	11.36	9.57
Δ	24.65	44	33.33	27.62
E	18.00	68	51.52	58.47
Σύνολο	100.00	132	100.00	100.00
Ποσοστό επιτυχούς πρόβλεψης				86.09

Πίνακας 9-18: Εκτίμηση ποσοστού επιτυχούς απόδοσης για τον τελικό χάρτη επιδεκτικότητας

Υποσημείωση: Π: Ποσοστό % φατνίων που καταλαμβάνει η κλάση, Σ1: Συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων, Σ2: Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%), Σ3: Σταθμισμένη Σχετική συχνότητα κατολισθητικών συμβάντων (%).

Σε ότι αφορά τη χωρική κατανομή της ζώνης που προσδιορίζει την πολύ υψηλή επιδεκτικότητα, αυτή εντοπίζεται στα ανατολικά της περιοχής έρευνας. Αντίστοιχη κατανομή παρουσιάζει και η ζώνη της υψηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Καταλαμβάνει κυρίως τα πεδινά τμήματα της περιοχής, στις θέσεις όπου παρουσιάζεται αστική ανάπτυξη, γεγονός που επηρρεάζει αρνητικά και σε μεγάλο βαθμό την ενδεχόμενη εκδήλωση αστοχίας. Το κεντρικό τμήμα της περιοχής έρευνας, το οποίο αποτελεί περιοχή όπου δεν υπάρχει αστική ανάπτυξη, κατατάσσεται στη ζώνη πολύ χαμηλής και χαμηλής κατολισθητικής επιδεκτικότητας. Στο τμήμα αυτό αναπτύσσονται οι ορεινοί ασβεστολιθικοί όγκοι και κατέχει δείκτη αντίθεση -0.5502. Σύμφωνα με την πρόβλεψη του μοντέλου, η περιοχή του Μετοχίου, αποτελεί περιοχή που κατατάσσεται, κατά μήκος του ρέματος Μετοχίου, σε ζώνη υψηλής και πολύ υψηλής επιδεκτικότητας.



Εικόνα 9-9: Χάρτης Κατολισθητικής Επιδεκτικότητας.

КЕФАЛАІО 10:

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΑΘΜΟΥ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ – ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η έννοια του βαθμού διακινδύνευσης στα κατολισθητικά φαινόμενα

Η εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης στην περιοχή έρευνας

Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης



<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10: ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΒΘΜΟΥ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ –</u> <u>ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</u>

Στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η αξιοποίηση του χάρτη κατολισθητικής επιδεκτικότητας και η εκτίμηση των επιπτώσεων στο ανθρώπινο περιβάλλον, από την εκδήλωση μιας γεωλογικής αστοχίας. Στόχος είναι ο εντοπισμός των περιοχών που παρουσιάζουν μεγαλύτερο βαθμό διακινδύνευσης, ενώ στις θέσεις αυτές προτείνονται μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης.

10.1 Η έννοια του βαθμού διακινδύνευσης στα κατολισθητικά φαινόμενα

Όπως ειπώθηκε στο 3° κεφάλαιο, τα στοιχεία σε διακινδύνευση και η τρωτότητα αυτών, επιτρέπουν την εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης. Ωστόσο, η δυσκολία στην εκτίμηση της επικινδυνότητας και της τρωτότητας σε θέματα που σχετίζονται με τα κατολισθητικά φαινόμενα οδηγούν στην υιοθέτηση συγκεκριμένων παραδοχών. Οι παραδοχές αυτές αφορούν στην εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός εναυσματικού παράγοντα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και της πιθανότητας εξαιτίας του εναυσματικού παράγοντα να προκληθεί αστοχία (van Westen et al., 2008). Και για τις δυο παραδοχές, η παρούσα διδακτορική διατριβή λαμβάνει τις πιθανότητες ίσες με τη μονάδα.

Συγκεκριμένα, οι παραδοχές θεωρούν ότι σε χρονικό διάστημα t θα ενεργοποιηθεί μια τουλάχιστον κατολίσθηση από έναν εναυσματικό παράγοντα (εκτεταμένη βροχόπτωση, σεισμική δραστηριότητα ή ανθρωπογενής παρέμβαση). Οι παραδοχές αυτές οδηγούν στην υιοθέτηση του δείκτη επιδεκτικότητας, ως δείκτη επικινδυνότητας αφού η πιθανότητα παρουσίας των εναυσματικών παραγόντων και ενεργοποίησης ενός κατολισθητικού φαινομένου ισούται με τη μονάδα.

Επιπρόσθετα, αν κανείς υπολογίσει τις επιπτώσεις που θα είχε η εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής επί των στοιχείων σε διακινδύνευση και συνυπολογίσει την επικινδυνότητα που συνδέεται με αυτά, θα αποτύπωσει τελικά το βαθμό διακινδύνευσης (Zezere et al., 2008; Remondo et al., 2008). Ο βαθμός των επιπτώσεων εκτιμάται επί των στοιχείων του ανθρώπινου περιβάλλοντος και διαμορφώνεται λαμβάνοντας υπόψη την κρίση των ειδικών αλλά και την συνεκτίμηση ποσοτικών στοιχείων (Cascini et al., 2005; Fell et al., 2005; Wong, 2005).

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή, ως στοιχεία σε διακινδύνευση αξιοποιήθηκαν ο ανθρώπινος παράγοντας που εκφράζεται ποσοτικά με βάση τα πληθυσμιακά στοιχεία κάθε κοινότητας, το οδικό δίκτυο και οι χρήσεις γης.

10.1.1 Στοιχεία σε διακινδύνευση

Οι επιπτώσεις που έχει η εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου στον ανθρώπινο πληθυσμό, εκτιμώνται κυρίως με οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια. Οι οικονομικές επιπτώσεις της εκδήλωσης μιας φυσικής καταστροφής, διακρίνονται σε πρωτεύουσες, δευτερεύουσες και μακροπρόθεσμες. Οι πρωτεύουσες διακρίνονται περαιτέρω σε άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις (*Pelling, 2003; Liu, 2006*).

Οι άμεσες πρωτεύουσες οικονομικές επιπτώσεις, αναφέρονται στη διακοπή της αγροτικής και βιομηχανικής παραγωγής, στην καταστροφή των δικτύων μεταφοράς και επικοινωνίας, στη διατάραξη των εμπορικών συναλλαγών και στην καταστροφή του δομικού ιστού μιας πολιτείας. Ιδιαίτερα κρίσιμα και επιδεκτικά σε βλάβες, εξαιτίας των φυσικών κινδύνων, αποτελούν τα δημόσια κτίρια, όπου στεγάζονται οι δημόσιες υπηρεσίες, υπηρεσίες κοινωνικής ωφελείας, χώροι οι οποίοι αποθηκεύουν πρώτες ύλες, βιομηχανοποιημένα αγαθά και υλικά πρώτης ανάγκης (*Pelling, 2003*).

Στις έμμεσες οικονομικές επιπτώσεις, περιλαμβάνονται οι απώλειες σε ανθρώπινο εργατικό δυναμικό και παραγωγικό χρόνο, οι οποίες προκαλούν αλυσιδωτές αντιδράσεις και επηρεάζουν μεγαλύτερο μέρος της οικονομίας, από την επίδραση που έχει η εκδήλωση ενός φυσικού κινδύνου σε τοπικό επίπεδο (*Aleotti & Chowdhury, 1999*). Στις έμμεσες οικονομικές επιπτώσεις συγκαταλέγονται ακόμα, οι επιπτώσεις από τον ενδεχόμενο περιορισμό των διεθνών και εγχώριων συναλλαγών, η μείωση του τουρισμού κ.α.

Σε ότι αφορά τις δευτερεύουσες οικονομικές συνέπειες, οι ενδεχόμενες καταστροφές δικτύων ύδρευσης ή αποχέτευσης κυρίως σε λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές, είναι δυνατό να προκαλέσουν επιδημίες. Επιπρόσθετα, η διαταραχή των εμπορικών συναλλαγών, έχει ως αποτέλεσμα, την ενδεχόμενη έλλειψη βασικών αγαθών, η οποία με τη σειρά της προκαλεί αύξηση στις τιμές των προϊόντων και κατά συνέπεια στη διαμόρφωση υψηλότερων επιτοκίων και πληθωριστικών τάσεων στην αγορά.

Στις μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις συγκαταλέγονται, ο περιορισμός, είτε η απώλεια ξένων επενδύσεων και η παρουσία των διεθνών αγορών, καθώς και η πιθανή οικονομική κατάρρευση παραγωγικών - βιομηχανικών μονάδων.

Σε ότι αφορά τις κοινωνικές επιπτώσεις, αυτές διακρίνονται σε πρωτεύουσες και σε δευτερεύουσες. Στην πρώτη κατηγορία, εντάσσονται οι απώλειες σε ανθρώπινες ζωές, οι τραυματισμοί, η απώλεια εισοδήματος, η μείωση των ευκαιριών εργασίας. Η καταστροφή του δομικού ιστού των οικισμών έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ανάγκης στέγασης και συνακόλουθα την αύξηση του αριθμού των αστέγων. Στις δευτερεύουσες κοινωνικές συνέπειες, συμπεριλαμβάνονται ακόμα οι ασθένειες ή οι μόνιμες αναπηρίες, ο ψυχολογικός αντίκτυπος του πιθανού τραυματισμού και της κατάστασης σοκ και πανικού (*King & MacGregor, 2000*).

Η ενδεχόμενη καταστροφή θα πλήξει τις κοινότητες που απαριθμούν μεγαλύτερο πληθυσμό. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και το γεγονός ότι οι οικονομικά ασθενέστερες και περισσότερο περιθωριοποιημένες κοινότητες απειλούνται περισσότερο και υφίστανται ανεπανόρθωτες επιπτώσεις από την εκδήλωση μιας φυσικής καταστροφής (*Pelling, 2003*).

Σε ότι αφορά το οδικό δίκτυο σε μια κοινότητα, διακρίνονται τρεις κατηγορίες: Πρωτεύον, δευτερεύον επαρχιακό και αγροτικό δίκτυο. Ως προς τις αναμενόμενες επιπτώσεις που θα είχε μια εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου, το πρωτεύον δίκτυο χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό, ακολουθεί το δευτερεύον επαρχιακό δίκτυο με μέτριο βαθμό και τέλος το αγροτικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από χαμηλό βαθμό. Κάθε κατηγορία χωρίζεται περαιτέρω με την εφαρμογή σχετικού αλγορίθμου σε ζώνες επιρροής. Διαμορφώνονται τρεις ζώνες που απέχουν από τον κεντρικό άξονα του δρόμου 100m, 250m και πάνω από 250m, αντίστοιχα. Η τελική διαμόρφωση του βαθμού επίπτωσης που θα έχει η εκδήλωση ενός κατολισθητικού συμβάντος στο οδικό δίκτυο συνυπολογίζει την επιρροή τόσο των κατηγοριών όσο και των ζωνών που διαμορφώνονται σύμφωνα με τον Πίνακα 10-1.

ΖΩΝΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	< 100m	100 -250 m	> 250m
ΠΡΩΤΕΥΟΝ	УΨНЛО	ҮΨНЛО	ΜΕΤΡΙΟ
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ	УΨНЛО	ΜΕΤΡΙΟ	ХАМНЛО
TPITEYON	ΜΕΤΡΙΟ	ХАМНЛО	ХАМНЛО

Πίνακας 10-1: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων στο οδικό δίκτυο

Οι αστικές περιοχές υφίστανται συνήθως τις μεγαλύτερες απώλειες και τις εντονότερες επιπτώσεις εξαιτίας του συγκεντρωμένου υψηλού ποσοστού πληθυσμού καθώς και του υψηλού δείκτη αστικής χωρικής ανάπτυξης (Pelling, 2003). Οι αγροτικές περιοχές αποτελούν στην ουσία δομές των οποίων η ανάπτυξη και τα χαρακτηριστικά συνδέονται με το ευρύτερο φυσικό περιβάλλον. Είναι γενικά αποδεκτό ότι στις αγροτικές περιοχές ο κίνδυνος επιπτώσεων από τις φυσικές καταστροφές είναι μικρότερος σε σχέση με τις αστικές περιοχές (Lewis, 1999).

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες ως προς τις χρήσεις γης: Αστικές, αγροτικές περιοχές και δασικές ή εκτάσεις με φυσική βλάστηση. Ως προς τις αναμενόμενες επιπτώσεις που θα είχε μια εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου, οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται με υψηλό βαθμό, ακολουθούν οι αγροτικές περιοχές με μέτριο βαθμό και τέλος οι δασικές ή εκτάσεις με φυσική βλάστηση χαρακτηρίζονται από χαμηλό βαθμό.

10.1.2 Η μαθηματική έκφραση της διακινδύνευσης

Η εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης σε μια περιοχή ως προς τα κατολισθητικά φαινόμενα, προκύπτει από τη συνδυαστική εκτίμηση των επιπτώσεων και του κινδύνου. Ο κίνδυνος με βάση τις παραδοχές που υιοθετεί η παρούσα διατριβή εκλαμβάνεται ίση με την κατολισθητική επιδεκτικότητα.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται προϋποθέτει την επαναταξινόμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας που εκτιμήθηκε στο 9° κεφάλαιο, σε τρεις κατηγορίες, υψηλή, μέτρια και χαμηλή. Ακολούθως, με βάση τον Πίνακα 10-2 προκύπτει ο υπολογισμός της κατολισθητικής διακινδύνευσης για κάθε στοιχείο σε διακινδύνευση.

Πίνακας 10-2: Πίνακας απόδοσης του βαθμού διακινδύνευσης

ΕΠΠΙΤΩΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΣ	ХАМНАН МЕТРІА		үүнлн
ΥΨΗΛΟΣ	ΜΕΤΡΙΑ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΥΨΗΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΥΨΉΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ
ΜΕΤΡΙΟΣ	ΧΑΜΗΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΜΕΤΡΙΑ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΥΨΗΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ
ΧΑΜΗΛΟΣ	ΧΑΜΗΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΧΑΜΗΛΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΜΕΤΡΙΑ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ

Η τελική διακινδύνευση για την περιοχή μελέτης προκύπτει από την άθροιση των επιμέρους βαθμών διακινδύνευσης κάθε στοιχείου σε διακινδύνευση σύμφωνα με την εξίσωση 10.1 :

$$R = \sum_{j=1}^{n} S * C_{j}$$
 (10.1)

όπου, R: ο δείκτης κατολισθητικής διακινδύνευσης,

S, δείκτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας,

Cj, οι επιπτώσεις του στοιχείου σε διακινδύνευση j,

n: ο αριθμός των στοιχείων σε διακινδύνευση.

10.2 Εκτίμηση του βαθμού διακινδύνευσης στην περιοχή έρευνας

Η επικινδυνότητα ως προς την εκδήλωση κατολισθητικού φαινομένου υπολογίστηκε λαμβάνοντας τις εξής παραδοχές:

 Η πιθανότητα ενός εναυσματικού παράγοντα, όπως είναι η εκδήλωση ακραίας βροχόπτωσης, ή ενός δυναμικού φαινομένου ή μιας ανθρωπογενούς παρέμβασης, είναι ίση με τη μονάδα. Η πιθανότητα εκδήλωσης μιας αστοχίας εξαιτίας του εναυσματικού παράγοντα είναι ίση με τη μονάδα.

Με αυτές τις παραδοχές, η κατολισθητική επιδεκτικότητα που προκύπτει συνεπάγεται ότι ισούται με την επικινδυνότητα της περιοχής έρευνας. Η διάκριση της περιοχής σε τρεις ζώνες (χαμηλής, μέτριας και υψηλής επικινδυνότητας), πραγματοποιείται με επαναταξινόμηση του χάρτη επιδεκτικότητας (Εικόνα 10-1).



Εικόνα 10-1: Χάρτης κατολισθητικής επικινδυνότητας, τρεις ζώνες βαθμού επικινδυνότητας.

Σε ότι αφορά την φάση αναγνώρισης των στοιχείων σε διακινδύνευση, αφού προσδιοριστούν τα στοιχεία, εξετάζονται οι επιπτώσεις που θα είχε μια ενδεχόμενη εκδήλωση αστοχίας σε αυτά. Στην παρούσα διατριβή εξετάζονται τα στοιχεία που αφορούν στα χαρακτηριστικά των κοινοτήτων, στο οδικό δίκτυο και στις χρήσεις γης. Η τελική συναξιολόγηση των τριών στοιχείων σε διακινδύνευση δίνει μια συνολική εικόνα των επιπτώσεων που έχει μια ενδεχόμενη εκδήλωση αστοχίας.

10.2.1 Κοινότητες

Οι επιπτώσεις από την εκδήλωση μιας αστοχίας χαρακτηρίζονται ως χαμηλού, μέτριου και υψηλού βαθμού και αποδίδονται σε κάθε κοινότητα, όπως αυτή ορίζεται από τα γεωγραφικά όρια. Η απόδοση του βαθμού των επιπτώσεων συναξιολογεί πληθυσμιακά και κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια. Στην περιοχή έρευνας υπάρχουν δώδεκα κοινότητες (Εικόνα 10-2). Στον Πίνακα 10-3 διακρίνονται τα πληθυσμιακά στοιχεία κάθε κοινότητας, ο αριθμός των κατοίκων, η σχετική πυκνότητα πληθυσμού, ενώ δίνεται και ο ποιοτικός

χαρακτηρισμός του βαθμού των επιπτώσεων από μια ενδεχόμενη αστοχία. Υψηλότερο βαθμό επίπτωσης φαίνεται να κατέχουν οι κοινότητες, Κύμης, Οξύλιθου, Βιτάλων και Μετοχίου. Μέτριο βαθμό κατέχουν οι κοινότητες Ανδρωνιάνων, Πλατάνας και Καλημεριάνων, ενώ στο χαμηλότερο βαθμό επίπτωσης κατατάσσονται οι κοινότητες Άνω Ποταμιάς, Ενορίας, Πύργου, Ταξιαρχών και Μαλετιάνων (Εικόνα 10-3). Ο βαθμός διακινδύνευσης υπολογίζεται με βάση τον Πίνακα 10-4 και αποδίδεται στον χάρτη της Εικόνας 10-3. Ο βαθμός διακινδύνευσης ως προς το στοιχείο "κοινότητα", θεωρείται υψηλός για τις περιοχές όπου η επικινδυνότητα είναι υψηλή και οι επιπτώσεις θεωρούνται μετρίου ή υψηλού βαθμού. Υψηλό βαθμό διακινδύνευσης κατέχουν και οι περιοχές με μάτρια επικινδυνότητα και υψηλό βαθμό επιπτώσεων. Οι περιοχές με χαμηλή διακινδύνευση, όπως επίσης και οι περιοχές με χαμηλό βαθμό επιπτώσεων και μέτρια επικινδυνότητα. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μέτρια διακινδύνευση. Εκτελώντας τη σχετική αλγεβρική πράξη μέσω του ArcMap και της υπορουτίνας Raster Calculator, προκύπτει ο χάρτης της Εικόνας 10-3.

Κοινότητες	Πληθυσμός	П (%)	Έκταση (%)	Σχετική πυκνότητα (%)	Ποιοτικός χαρακτηρισμός επιπτώσεων
Κ. ΜΑΛΕΤΙΑΝΩΝ	138	1.57	1.96	4.15	Χαμηλό βαθμό επιπτώσεων
Κ. ΑΝΩ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	160	1.82	1.69	5.58	Χαμηλο βαθμο επιπτώσεων Υπιπλά βαθμά
Κ. ΕΝΟΡΙΑΣ	273	3.11	1.46	11.02	λαμηλο ραθμο επιπτώσεων
К. ПҮРГОҮ к	279	3.18	1.65	9.95	Χαμηλό βαθμό επιπτώσεων Μέτοιο βαθμό επιπτώσεων
ΚΑΛΗΜΕΡΙΑΝΩΝ	302	3.44	2.81	6.32	Χαμηλό βαθμό
Κ. ΤΑΞΙΑΡΧΩΝ	332	3.78	2.10	9.28	επιπτώσεων
Κ. ΠΛΑΤΑΝΑΣ	417	4.75	0.82	29.90	Μέτριο βαθμό επιπτώσεων
Κ. ΑΝΔΡΩΝΙΑΝΩΝ	565	6.44	9.38	3.54	Μέτριο βαθμό επιπτώσεων
Κ. ΜΕΤΟΧΙΟΥ ΔΙΡΦΥΩΝ	632	7.20	28.01	1.33	Υψηλό βαθμό επιπτώσεων
Κ. ΒΙΤΑΛΩΝ	637	7.26	15.47	2.42	Υψηλό βαθμό επιπτώσεων
Κ. ΟΞΥΛΙΘΟΥ	1363	15.54	10.78	7.44	Υψηλό βαθμό επιπτώσεων
Λ ΚΥΜΗΣ	3674	41 88	23.87	9.05	Υψηλό βαθμό επιπτώσεων

Πίνακας 10-3: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων επί του στοιχείου Κοινότητας

Πίνακας 10-4: Πίνακας απόδοσης του βαθμού διακινδύνευσης επί του στοιχείου Κοινότητας

ΕΠΠΙΤΩΣΗ ΚΙΝΔΥΝΟΣ	ХАМНАН	METPIA	үүнан
ҮΨНАН	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ	ΥΨΉΑΗ
	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΊΝΔΥΝΕΥΣΗ
METPIA	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΥΨΗΛΗ
	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ
хамнан	ΧΑΜΗΛΗ	ΧΑΜΗΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ
	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ	ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗ



Εικόνα 10-2: Χάρτης πληθυσμού κοινοτήτων (σε παρένθεση δίνονται ο αριθμός των κατοίκων, με βάση την απογραφή του 2001).



Εικόνα 10-3: Χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης ως προς το στοιχείο Κοινοτήτων.

10.2.2 Οδικό δίκτυο

Οι επιπτώσεις επί του οδικού δικτύου από την εκδήλωση μιας κατολίσθησης, χαρακτηρίζονται ως χαμηλού, μέτριου και υψηλού βαθμού και αποδίδονται σε κάθε οδικό άξονα λαμβάνοντας υπόψη δυο παραμέτρους. Ως πρώτη παράμετρος θεωρείται ο χαρακτηρισμός του οδικού άξονα ως πρωτεύον επαρχιακό δίκτυο, ως δευτερεύον επαρχιακό δίκτυο καθώς και ως αγροτικό οδικό δίκτυο. Ως δεύτερη παράμετρος, θεωρείται η ζώνη επιρροής του οδικού δικτύου, όπου προσδιορίζονται τρεις ζώνες, μία μικρότερη από 100m, μία μεταξύ 100 και 250m και μία μεγαλύτερη των 250m.

Ο πρωτεύων επαρχιακός οδικός άξονας, χαρακτηρίζεται ως υψηλού βαθμού, ο δευτερεύων ως μέτριου και ο αγροτικός ως χαμηλού βαθμού. Υψηλότερες θεωρούνται αντίστοιχα οι επιπτώσεις στην πρώτη ζώνη επιρροής (<100m), μέτριες στη δεύτερη ζώνη (100 - 250m) και χαμηλότερες στην τρίτη ζώνη (>250m). Η τελική διαμόρφωση του βαθμού επιπτώσεων ως προς το οδικό δίκτυο προκύπτει από τον σχετικό Πίνακα 10-5.

ΖΩΝΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ	< 100m	100 - 250m	>250m
ΠΡΩΤΕΥΟΝ	үүнло	ҮΨНЛО	ΜΕΤΡΙΟ
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΝ	Ү ΨΗΛΟ	ΜΕΤΡΙΟ	ХАМНЛО
TPITEYON	ΜΕΤΡΙΟ	ХАМНЛО	ХАМНЛО

Πίνακας 10-5: Πίνακας απόδοσης του βαθμού επιπτώσεων στο οδικό δίκτυο

Οι περιοχές που απέχουν λιγότερο από 100m από το κεντρικό άξονα του πρωτεύοντα και δευτερεύοντα οδικού δικτύου χαρακτηρίζονται από υψηλού βαθμού επιπτώσεις όπως και οι περιοχές μεταξύ 100 και 250m του πρωτεύοντος επαρχιακού δικτύου. Οι περιοχές που βρίσκονται μεταξύ 100 και 250m και διέρχονται από το αγροτικό οδικό δίκτυο χαρακτηρίζονται από χαμηλό βαθμό επιπτώσεων. Στον ίδιο χαμηλό βαθμό ταξινομούνται και οι περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη από 100m, και αφορούν στο αγροτικό οδικό δίκτυο. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μέτριο βαθμό επιπτώσεων.

Ο βαθμός διακινδύνευσης υπολογίζεται, όπως και στην εκτίμηση της διακινδύνευσης για το στοιχείο κοινότητας, με βάση τον Πίνακα 10-4. Ο βαθμός διακινδύνευσης θεωρείται υψηλός για τις περιοχές όπου η επικινδυνότητα είναι υψηλή και οι επιπτώσεις θεωρούνται μετρίου ή υψηλού βαθμού. Υψηλό βαθμό διακινδύνευσης κατέχουν και οι περιοχές με μέτρια επικινδυνότητα και υψηλό βαθμό επιπτώσεων. Οι περιοχές με χαμηλή επικινδυνότητα και χαμηλό ή μέτριο βαθμό επιπτώσεων χαρακτηρίζεται από χαμηλή διακινδύνευση, όπως επίσης και οι περιοχές με χαμηλό βαθμό επιπτώσεων και μέτρια επικινδυνότητα. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μέτρια



διακινδύνευση. Εκτελώντας τη σχετική αλγεβρική πράξη μέσω του ArcMap και της υπορουτίνας Raster Calculator, προκύπτει ο χάρτης της Εικόνας 10-4.

Εικόνα 10-4: Χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης ως προς το στοιχείο Οδικό δίκτυο.

10.2.3 Χρήσεις Γης

Οι επιπτώσεις επί των χρήσεων γης από την εκδήλωση κατολισθήσεων χαρακτηρίζονται ως χαμηλού, μέτριου και υψηλού βαθμού και αποδίδονται σε κάθε κατηγορία χρήσεων γης ως εξής: Στις αστικές περιοχές αποδίδεται υψηλού βαθμού επίπτωση, στις αγροτικές, καλλιεργήσιμες εκτάσεις αποδίδεται μέτριο βαθμού επίπτωση, ενώ στις δασικές εκτάσεις και εκτάσεις με φυσική βλάστηση χαμηλού βαθμού επίπτωση.

Ο βαθμός διακινδύνευσης υπολογίζεται, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις από τον Πίνακα 10-2. Ο βαθμός διακινδύνευσης θεωρείται υψηλός για τις περιοχές όπου η επικινδυνότητα είναι υψηλή και οι επιπτώσεις θεωρούνται μετρίου ή υψηλού βαθμού. Υψηλό βαθμό διακινδύνευσης κατέχουν και οι περιοχές με μέτρια επικινδυνότητα και υψηλό βαθμό επιπτώσεων. Οι περιοχές με χαμηλή επικινδυνότητα και χαμηλό ή μέτριο βαθμό επιπτώσεων χαρακτηρίζεται από χαμηλή διακινδύνευση, όπως επίσης και οι περιοχές με χαμηλό βαθμό επιπτώσεων και μέτρια επικινδυνότητα. Σε κάθε άλλη περίπτωση οι περιοχές χαρακτηρίζονται από μέτρια διακινδύνευση. Εκτελώντας τη σχετική αλγεβρική πράξη μέσω του ArcMap και της υπορουτίνας Raster Calculator, προκύπτει ο χάρτης της Εικόνας 10-5.



Ο τελικός χάρτης κατολισθητικής διακινδύνευσης για την περιοχή έρευνας προκύπτει από την άθροιση των επιμέρους βαθμών διακινδύνευσης κάθε στοιχείου (Εικόνα 10-6).



10.3 Μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης

Οι περιοχές υψηλής διακινδύνευσης εντοπίζονται εντός του αστικού περιβάλλοντος και κατά μήκος του παραλιακού οδικού δικτύου Πλατάνας – Κύμης. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκαν οι ακόλουθες περιοχές οι οποίες κατέχουν τον υψηλότερο βαθμό διακινδύνευσης:

- Η παραλιακή ζώνη Στομίου Πλατάνας Παραλίας Κύμης.
- Η περιοχή του οικισμού των Βιτάλων.
- Ο δρόμος προς το εξωκλήσι της Αγ. Μαρίνας αλλά και ο χώρος θεμελίωσης αυτού (θέση Σουτσίνι).
- Η περιοχή του χωριού Πύργος και ειδικότερα στο βόρειο άκρο του χωριού.
- Η περιοχή του οικισμού Οξύλιθου.
- Το οδικό δίκτυο προς το Μετόχι.

Στις παραγράφους που ακολουθούν αναλύονται οι ιδιαίτερες συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές αυτές, ενώ προτείνονται σχετικά μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης

10.3.1 Παραλιακή ζώνη Στόμιο – Πλατάνα – Παραλία Κύμης

Η παραλιακή ζώνη από το Στόμιο μέχρι και την παραλία της Κύμης, χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής και πολύ υψηλής κατολισθητικής διακινδύνευσης.

Η περιοχή του τμήματος της παραλιακής ζώνης δομείται γεωλογικά από τις δύο κύριες φάσεις των νεογενών σχηματισμών, δηλαδή τις λευκότεφρες έως μελανότεφρες μάργες και τις υπερκείμενες τεφρές έως τεφροκίτρινες μάργες.

Από τη σχετική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, η περιοχή χαρακτηρίζεται στο σύνολο σχεδόν της έκτασης από υψηλές έως πολύ υψηλές μορφολογικές κλίσεις με δυσμενή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων ως προς την κατολισθητική επικινδυνότητα. Η χωρική μεταβλητή που εξετάζει την απόσταση των κατολισθητικών φαινομένων από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά, κατατάσσει την περιοχή, σε αυτή με υψηλή τεκτονική καταπόνηση. Οι δυο λιθολογικές φάσεις εμφανίζονται ισχυρά καταπονημένες και κατακερματισμένες από την τεκτονική δράση και είναι διαμορφωμένες με μεγάλες έως πολύ μεγάλες μορφολογικές κλίσεις. Η διαμόρφωση αυτή αποκαλύπτει τεκτονική δράση στο συγκεκριμένο χώρο (μείζονες διαρρήξεις) που έχει κατακερματίσει τις μάργες και έχει διαμορφώσει τη μορφολογία που περιγράφηκε.

Σε ότι αφορά τον μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων που παρουσιάζονται σε όλη την έκταση, αναφέρονται τα εξής:

Η καταπόνηση και ο κερματισμός της συμπαγούς μάργας, εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας, των φαινομένων διαδοχικής διαβροχής και ξήρανσης είτε των

φαινομένων αποσάθρωσης, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εδαφικού υλικού αργιλοπηλώδους σύστασης με μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, η συντελούμενη διάβρωση των επιφανειών των πρανών από την επιφανειακή απορροή των νερών της βροχής επιτρέπει τη δημιουργία επικρεμάμενων βραχωδών μαζών. Η ανθρώπινη παρέμβαση με τη διάνοιξη οδών πρόσβασης σε θέσεις εντός της ζώνης αστοχίας και η δημιουργία πλατωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη των συνθηκών ευστάθειας.

Οι υποκείμενες μελανότεφρες μάργες εμφανίζονται επιφανειακά σε δύο μόνο θέσεις με μικρή έκταση, ενώ οι τεφρές - τεφροκίτρινες κυριαρχούν στα πρανή του συγκεκριμένου χώρου, όπου συνήθως καλύπτονται από μανδύα αποσάθρωσης αυξημένου πάχους (3-5m) σε θέσεις μορφολογικών υφέσεων. Η ανισότροπη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των λιθολογικών φάσεων των μαργών, όπως αναδείχθηκε και από την εργαστηριακή έρευνα, επιτρέπει την ολίσθηση των κατακερματισμένων υπερκείμενων τεφρών - τεφροκίτρινων μαργών επί των μελανότεφρων, επιτρέποντας την κατείσδυση του νερού μέχρι την επαφή των δύο φάσεων δημιουργώντας επιφάνειες ερπυσμών ή και ολισθήσεων. Τα φαινόμενα εντείνονται, εκεί όπου ανάμεσα στις αποσαθρωμένες και κατακερματισμένες μάργες, παρεμβάλλονται συνεκτικοί, βραχώδεις ορίζοντες των μαργαϊκών ασβεστολίθων.

Η μικροτεκτονική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής σε δυο επιλεγμένες θέσεις φυσικών πρανών επί της παραλιακής ζώνης όπου παρατηρήθηκαν τα προβλήματα της αποκόλλησης και κατάπτωσης των βραχωδών μαργών τον Αύγουστο του 2008, κατέδειξε δυνητικές αστοχίες σφήνας, επιπέδου και ανατροπές. Οι ασυνέχειες που μετρήθηκαν ήταν διακλάσεις, στρώσεις και ρήγματα, ελαφρά τραχείες, με αργιλικό υλικό πλήρωσης και η στατιστική επεξεργασία έγινε με τη χρήση του λογισμικού DIPS του Πανεπιστημίου του Τορόντο.

Πιο συγκεκριμένα, από τα αποτελέσματα της στατιστικής επεξεργασίας σε δυο θέσεις φυσικού τμήματος πρανούς των λευκότεφρων ασβεστιτικών μαργών, διαπιστώνονται τα παρακάτω:

Από το διάγραμμα της Εικόνας 10-7 προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Δυνητική αστοχία σφήνας κατά την τομή των επιπέδων 2 και 7 (59/040 και 45/157αντίστοιχα)
- Δυνητική θραύση ανατροπής κατά το επίπεδο 5 (80/248)
- Υποσκαφές κατά τη στρώση 4 (25/230)
- Δυνητική αστοχία επιπέδου κατά το επίπεδο 2 (59/040)

Από το διάγραμμα της Εικόνας 10-8 προκύπτουν τα ακόλουθα:

- Δυνητική αστοχία επιπέδου κατά το επίπεδο 2 (67/075)
- Δυνητική αστοχία σφήνας κατά την τομή των επιπέδων 2 και 3 67/075 και 76/124)

- Δυνητική αστοχία σφήνας κατά την τομή των επιπέδων 3 και 1 (76/124 και 57/021)
- Οριακές δυνητικές αστοχίες σφήνας κατά την τομή των επιπέδων 2 και 6, 1 και 2 και 2 και 7
- Υποσκαφές κατά τη στρώση 5 (18/251)



Εικόνα 10-8: Τεκτονικό διάγραμμα δυνητικών ολισθήσεων για φυσικό πρανές σε ασβεστιτικές μάργες του δρόμου Στόμιο - Πλατάνας.

Από τα αποτελέσματα της μικροτεκτονικής ανάλυσης και λαμβάνοντας υπόψη τις υψηλές μορφολογικές κλίσεις και τις υπερκρεμάμενες βραχόμαζες οι οποίες βρίσκονται σε οριακή κατάσταση ισορροπίας στο νοτιότερο τμήμα της παραλιακής ζώνης, κρίνεται επιτακτική η λήψη μέτρων προστασίας στην περιοχή.

Ως γενική οδηγία, κρίνεται η αναγκαία διακοπή της οικοδομικής δραστηριότητας στη ζώνη του πρανούς ανάντη του δρόμου Στομίου – Πλατάνας - Παραλίας Κύμης, έτσι ώστε να αποφευχθούν οι οποιεσδήποτε διαταραχές στις ήδη βεβαρημένες συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Σε κάθε περίπτωση, ωστόσο, κάθε προσπάθεια μελλοντικής οικοδόμησης θα πρέπει να γίνεται μετά από εφαρμογή αναλυτικής γεωλογικής και γεωτεχνικής μελέτης, που θα καθορίζει τους τρόπους αποστράγγισης, αντιστήριξης και θεμελίωσης. Συγκεκριμένα, πρέπει να αποφεύγονται κατά το δυνατόν οι μεγάλες εκσκαφές, και σε κάθε περίπτωση να λαμβάνονται τα σχετικά μέτρα προστασίας. Κατά την κατασκευή νέων οικοδομών να πραγματοποιείται βαθύτερη θεμελίωση σε θέσεις όπου διαπιστωμένα υπάρχει πιθανότητα ερπυστικών κινήσεων και παράλληλα να προβλέπεται η απομάκρυνση και καλή αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων στις θέσεις θεμελιώσεις των κατασκευών.

Παράλληλα, πρέπει να ληφθούν μέτρα πρόληψης και προστασίας τα οποία να είναι συνδυαστικά, με αφαίρεση των επικρεμάμενων βραχωδών τεμαχών και κατασκευή τοίχων σε αναβαθμούς, πλάτους 5-6 μέτρων και με κλίση προς το πρανές, τα οποία θα καταδείξει κατάλληλη γεωλογική μελέτη για την περιοχή.

Για τα ολισθαίνοντα εδαφικά αλλά και βραχώδη υλικά επιβάλλεται η αποστράγγιση και διευθέτηση των επιφανειακών νερών. Κατάλληλη γεωλογική – γεωτεχνική μελέτη θα προσδιορίσει, με την εγκατάσταση και παρακολούθηση αποκλισιομέτρων, τις πιθανές ζώνες ολίσθησης και με αυτό τον τρόπο, στις θέσεις όπου θα εφαρμοστούν τα μέτρα για τη διευθέτηση των επιφανειακών απορροών αλλά και των κατεισδύσεων με στραγγιστήρια ανάντη, συλλεκτήριους αγωγούς, θα επέλθει αύξηση του δείκτη συνεκτικότητας και διατμητικής αντοχής των υλικών που δομούν τα πρανή.

Αποστραγγιστικά μέτρα θα πρέπει να ληφθούν και στις θέσεις όπου εντοπίζονται αποσαθρωμένες μάργες με τη μορφή κορημάτων, οι οποίες σε κατάσταση κορεσμού έχουν χάσει πλήρως τη διατμητική τους αντοχή και ρέουν. Συνδυαστικά προτείνεται να εξομαλυνθεί η μορφολογική τους κλίση και να φυτοκαλυφθούν ώστε να υπάρξει σχετική προστασία.

Σε ότι αφορά τα υλικά επίχωσης του οδικού δικτύου που έχει αστοχήσει, θα πρέπει να κατασκευαστούν νέοι τοίχοι αντιστήριξης που θα θεμελιώνονται σε τέτοιο βάθος, ώστε να μη δημιουργούνται φαινόμενα υποσκαφών από τη δράση του κυματισμού της θάλασσας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των αγωγών αποστράγγισης θα πρέπει να επιλεγούν ώστε να είναι δυνατή η αποστράγγιση των ποσοτήτων των επιφανειακών νερών που ρέουν από το ανάντη πρανές.

Σε ότι αφορά την αντιμετώπιση των διαβρώσεων στο κατάντη πρανές του δρόμου (δράση του κυματισμού της θάλασσας), κρίνεται ότι η καταλληλότερη αντιμετώπιση προστασία είναι η τοποθέτηση ογκολίθων που θα απομακρύνουν τη δράση του κυματισμού από το πρανές του επιχώματος του δρόμου. Με δεδομένη την ακαταλληλότητα της συγκεκριμένης παραλίας που αναπτύσσεται παράλληλα στο οδικό δίκτυο για κολύμβηση, η εφαρμογή της πρακτικής αυτής δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα ως προς τη λειτουργικότητα. Στην περίπτωση έλλειψης φυσικών ογκολίθων κατάλληλης διαμέτρου εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθούν ογκόλιθοι από σκυρόδεμα μορφής ΄΄τετραπόδων΄΄ με τους οποίους επιτυγχάνεται άριστη αλληλεμπλοκή των μαζών τους διαμορφώνοντας ενιαίο σώμα που ανθίσταται στη δράση του κυματισμού της θάλασσας (*Κουμαντάκης et al., 2007*).

Στο βορειότερο τμήμα του οδικού δικτύου της παραλιακής ζώνης Στομίου – Πλατάνας - Παραλίας Κύμης, όπου υπάρχει αυξημένη οικοδόμηση, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα εκτροπής και ελεγχόμενης απορροής των επιφανειακών νερών που εισέρχονται και εμποτίζουν τα εδαφικά υλικά της ζώνης. Παράλληλα, θα πρέπει να εγκιβωτισθούν τα ρέματα της περιοχής με κατάλληλη διατομή, καθώς σήμερα, ειδικά προς τα κατάντη, η οριοθέτηση των οικοπέδων έχει περιορίσει την κοίτη τους στο ελάχιστο (*Kouμaντάκης et al., 2007*).

10.3.2 Οικισμός Βιτάλων

Η ευρύτερη ζώνη που περιλαμβάνει τον οικισμό των Βιτάλων, χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής και πολύ υψηλής κατολισθητικής διακινδύνευσης. Σε ακτίνα 1km από το κέντρο του οικισμού διακρίνονται 10 ζώνες αστοχίας, εντός των οποίων η εκδήλωση μιας άμεσης κατολίσθησης ή η μετεξέλιξη των ερπυστικών κινήσεων σε κατολισθήσεις, πιθανολογείται ως αρκετά βέβαιη. Στο πλαίσιο διερεύνησης της διαχρονικής εξέλιξης των κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό των Βιτάλων, μέσα από την ερμηνεία σειράς αεροφωτογραφιών που καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή (περίοδο που καλύπτουν το χρονικό διάστημα 1945 - 2003), διαπιστώθηκαν 22 κατολισθητικά συμβάντα που, είτε αποτελούσαν επανδραστηροποίηση, είτε μια νέα δράση. Με την εφαρμογή σχετικού πιθανολογικού μοντέλου *Poisson*, δίνεται η πρόβλεψη για χρονική περίοδο πέντε ετών, με πιθανότητα εμφάνισης κατολισθητικού φαινομένου περίπου 85%, (διάστημα εμπιστοσύνης 95%). Για διάστημα δέκα ετών η αντίστοιχη πιθανότητα υπερβαίνει το 97%.

Από την σχετική καταγραφή που διενεργήθηκε, οι περισσότερες από τις κατολισθήσεις εκδηλώνονται στον μανδύα αποσάθρωσης και στους ανώτερους ορίζοντες των νεογενών σχηματισμών και αφορούν ερπυσμούς, περιστροφικές και μεταθετικές ολισθήσεις καθώς και πλευρικές εξαπλώσεις. Τα φαινόμενα αυτά συνδέονται άμεσα με την ιδιαίτερη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών που δομούν την περιοχή. Η συμπεριφορά αυτή οφείλεται στην κυκλοθεματική τους διάρθρωση καθώς και στις εναλλαγές οριζόντων διαφορετικής γεωμηχανικής συμπεριφοράς.

Σε ότι αφορά την γεωλογική διαστρωμάτωση της περιοχής, αυτή δομείται από κιτρινότεφρες μάργες έως λευκότεφρες ασβεστιτικές μάργες που συνήθως είναι φυλλόμορφες με αυξημένα πάχη στρώσεων, σχηματισμοί με υψηλή κατολισθητική επικινδυνότητα. Η μεγαλύτερη έκταση του οικισμού καλύπτεται επιφανειακά από υλικά του μανδύα αλλά και αναμοχλευμένα υλικά από παλαιές κατολισθήσεις.

Από την σχετική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, η περιοχή χαρακτηρίζεται στο σύνολο σχεδόν της έκτασης από μέτριες έως υψηλές μορφολογικές κλίσεις με δυσμενή

διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων ως προς την κατολισθητική επιδεκτικότητα. Η καμπυλότητα του μεγαλύτερου ποσοστού των πρανών που διαμορφώνονται στην περιοχή χαρακτηρίζεται ως κοίλα. Επιπλέον, η χωρική μεταβλητή που εξετάζει την απόσταση των κατολισθητικών φαινομένων από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά, κατατάσσει την περιοχή, σε περιοχή με υψηλή τεκτονική καταπόνηση.

Σε ότι αφορά το υδρογραφικό δίκτυο, αυτό χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα πυκνό, ενώ το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής κατέχει υψηλή τιμή σε ότι αφορά το Τοπογραφικό Δείκτη Ύγρανσης (ΤΔΥ). Η σχετική διεργασία του κερματισμού και της χαλάρωσης εξαιτίας της τεκτονικής καταπόνησης και ο υψηλός δείκτης ΤΔΥ έχουν ως επακόλουθο, το φαινόμενο της συγκράτησης των νερών της βροχής, να αποτελεί μια εξαιρετικά σημαντική διεργασία στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.

Το μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων σε συνδυασμό με το χαμηλό ποσοστό κατείσδυσης στους μαργαϊκούς σχηματισμούς ευνοούν την επιφανειακή απορροή. Οι αυξημένες τιμές επιφανειακής απορροής σε περιόδους έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων προκαλούν διαβρώσεις στην κοίτη και στις όχθες του υδρογραφικού δικτύου, οπότε δυνητικά μπορούν να προκαλέσουν αστοχίες σε κατασκευές κοντά στις όχθες των ρεμάτων της περιοχής.

Προβάλλοντας την κατολισθητική διακινδύνευση για την περιοχή του οικισμού των Βιτάλων παρατηρείται σχετική αύξηση του ποσοστού της ζώνης που χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής διακινδύνευσης. Η ανθρωπογενής δραστηριότητα χαρακτηρίζεται ως εξαιρετικά σημαντική παράμετρος, η οποία καθορίζει οποιαδήποτε μελλοντική παρέμβαση (Εικόνα 10-9, *Ρόζος et al., 2009* μετά από τροποποιήσεις).

Συναξιολογώντας την τεχνικογεωλογική γνώση για την περιοχή και τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης, κρίνεται εξαιρετικά δύσκολη η οριστική επίλυση του προβλήματος, αφού η σύνδεση των αστοχιών με τεκτονικά και υδρολογικής φύσεως αίτια καθιστούν προβληματική την αποτελεσματικότητα αυτών, με βέβαιη την επανάληψη των φαινομένων και καταστροφή των όποιων παρεμβάσεων. Ως ενδεδειγμένο μέτρο πρόληψης αποτελεί η αναδίπλωση τμήματος του οικισμού σε άλλη ασφαλή θέση.

Σε μια τέτοια περίπτωση θα πρέπει να διερευνηθούν με λεπτομέρεια οι ιδιαίτερες γεωμορφολογικές, γεωδυναμικές και υδρογεωλογικές συνθήκες με στόχο τον διαχωρισμό, από απόψεως εδαφικών συνθηκών, της έκτασης του οικισμού σε περιοχές (Εικόνα 10-9): α) κατάλληλες, β) κατάλληλες υπό προϋποθέσεις και γ) ακατάλληλες προς δόμηση περιοχές. Αναλυτικά συμπεράσματα της διερεύνησης αυτής αποτυπώνονται στην τελική έκθεση του ερευνητικού προγράμματος «Οικιστική καταλληλότητα θέσεων στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Βιτάλων Κύμης» (*Ρόζος et al., 2009*). Στις κατάλληλες περιοχές για οικιστική ανάπτυξη, σύμφωνα με την πρόταση που υιοθετείται στο πρόγραμμα αυτό, εντάσσονται οι ζώνες με ανάγλυφο του οποίου οι μορφολογικές κλίσεις κυμαίνονται από 0^0 έως 16^0 . Σε ότι αφορά τις κατάλληλες υπό προϋποθέσεις, εντάσσονται οι ζώνες με ανάγλυφο του οποίου οι μορφολογικές κλίσεις κυμαίνονται από 16^0 έως 35^0 και καλύπτονται από υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των μαργαϊκών σχηματισμών. Τέλος οι ακατάλληλες προς δόμηση περιοχές, εντάσσονται σε αυτές που καταλαμβάνουν έκταση εκατέρωθεν της κοίτης των υδρορεμάτων και μέχρι 20m από τον κεντρικό άξονά τους, περιοχές με μορφολογικές κλίσεις μεγαλύτερες από 35^0 και περιοχές όπου έχουν εκδηλωθεί κατολισθητικά φαινόμενα.



Εικόνα 10-9: Χάρτης οικιστικής καταλληλότητας περιοχής Βιτάλων – Κύμης (Ρόζος et al. 2009 μετά από τροποποιήσεις).

10.3.3 Σουτσίνι - Αγ. Μαρίνα

Η περιοχή που αναπτύσσεται βορειανατολικά της παραλίας Κύμης και εκτείνεται μέχρι την παραλία Σουτσινίου και Αγ. Μαρίνας, αποτελεί ζώνη πολύ υψηλής διακινδύνευσης. Στην περιοχή αυτή καταγράφεται μια από τις μεγαλύτερες συχνότητες κατολισθητικών συμβάντων στην περιοχή της Κύμης. Όπως περιγράφηκε και στο σχετικό κεφάλαιο όπου αναφέρονται εκτενώς τα κατολισθητικά φαινόμενα, οι κιτρινότεφρες έως λευκότεφρες και πιο ασβεστιτικές μάργες, εμφανίζονται να καλύπτουν τις υποκείμενες μελανότεφρες. Οι υπερκείμενες λευκότεφρες (ασβεστιτικές) μάργες, εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας αλλά και των εκτεταμένων ανθρωπογενών επεμβάσεων, εργασιών εκσκαφής και διαμόρφωσης του οδικού δικτύου, έχουν υποστεί κερματισμό και σημαντική χαλάρωση των ασυνεχειών. Η σχετική διεργασία του κερματισμού και της χαλάρωσης έχει ως επακόλουθο την άμεση κατείσδυση των νερών της βροχής που στη διεπιφάνεια των δύο διακριτών οριζόντων αρχίζει να δρα σαν λιπαντικό υλικό διευκολύνοντας την εκδήλωση αστοχιών.

Από τη σχετική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, η περιοχή χαρακτηρίζεται στο σύνολο σχεδόν της έκτασης από μέτριες έως υψηλές μορφολογικές κλίσεις με δυσμενή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων ως προς την κατολισθητική επικινδυνότητα. Η χωρική μεταβλητή που εξετάζει την απόσταση των κατολισθητικών φαινομένων από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά, κατατάσσει την περιοχή, σε περιοχή με υψηλή τεκτονική καταπόνηση. Σημειώνεται επίσης ότι η παράταξη των μαργαϊκών ιζημάτων στο μεγαλύτερο τμήμα της ζώνης αστοχίας είναι με διεύθυνση B80°Δ και κλίση 35° προς νότο, δηλαδή ομόρροπη έως λοξά ομόρροπη με το φυσικά διαμορφούμενο πρανές που φτάνει μέχρι την παραλία. Αυτή η ευνοϊκή, για την εκδήλωση αστοχιών, παράταξη των στρωμάτων σε συνδυασμό με τις ισχυρές κλίσεις του πρανούς αλλά και το ενδεχόμενο εμποτισμού του κύριου όγκου της ζώνης αστοχίας από τα νερά της βροχής, αποτελούν τους κύριους παράγοντες εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων.

Από την εξέταση του παραγόμενου χάρτη διακινδύνευσης, όπου λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του φαινομένου ως προς την οικιστική ανάπτυξη και το οδικό δίκτυο, διακρίνεται η μείωση του ποσοστού της έκτασης που χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής διακινδύνευσης με αποτέλεσμα τον περιορισμό των μέτρων που απαιτούνται για την ανάσχεση του φαινομένου.

Σε ότι αφορά τα προληπτικά μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν, προτείνεται η εφαρμογή μέτρων αποστράγγισης της ζώνης αστοχίας αλλά και μέτρων αντιστήριξης για το τμήμα του οδικού δικτύου που διέρχεται από τις δυο ζώνες αστοχίας. Τα μέτρα αποστράγγισης αφορούν στην κατασκευή στραγγιστηρίου τύπου ''ψαροκόκαλου'' με κεντρικό κλάδο τον κύριο άξονα των ζωνών αστοχίας και τουλάχιστον άλλα δύο ζεύγη πλευρικών κλάδων για τη διαμόρφωση του ψαροκόκαλου έτσι ώστε να αποστραγγίζεται ευχερώς το σώμα της κατολισθητικής ζώνης (*Koυμαντάκης et al., 2007*).

Απαραίτητη κρίνεται η κατασκευή στραγγιστηρίου εσωτερικά του οδικού δικτύου, θεμελιωμένου στις ασβεστιτικές μάργες, με κατάλληλο διάτρητο σωλήνα, που θα έχει επένδυση από γεωμεμβράνη στο κατάντη πρανές του και τη βάση του και θα είναι ελεύθερο ανάντη για την είσοδο των επιφανειακών νερών.

Η κατασκευή του στραγγιστηριού θα αποτρέπει την ροή των επιφανειακών νερών από ανάντη μέσα στο σώμα του οδικού δικτύου προς τα κατάντη, ενώ μέσω κατάλληλης διάταξης, τσιμενταύλακας ή ειδικού σωλήνα κατάλληλης διαμέτρου, οι ποσότητες του νερού θα απομακρύνονται ελεγχόμενα μέχρι την ακτή (*Κουμαντάκης et al., 2007*).

Για την αντιστήριξη του οδικού δικτύου που βρίσκεται εντός της ζώνης αστοχίας, προτείνεται η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης με συρματοκιβώτια. Οι τοίχοι αυτού του τύπου θεωρούνται εύκαμπτοι, είναι ικανοί να δέχονται παραμορφώσεις, ενώ επιτρέπουν την εύκολη αποστράγγιση των μαζών που αντιστηρίζουν. Η θεμελίωση του τοίχου που κατέχει κλιμακωτή διάταξη, θα πρέπει να γίνει σε βάθος μεγαλύτερο από το βάθος της επιφάνειας ολίσθησης, η οποία επιφάνεια θα πρέπει να προσδιοριστεί, και να φτάσει σε ύψος μέχρι και λίγο υψηλότερα από το οδόστρωμα για την ασφαλή διέλευση των οχημάτων. Συμπληρωματικά και μετά την ολοκλήρωση των έργων που προτείνονται θα πρέπει η μεγαλύτερη έκταση της ζώνης αστοχίας να φυτοκαλυφθεί με βαθύρριζα και γρήγορα αναπτυσσόμενα φυτά, έτσι ώστε να υπάρξει σχετική σταθεροποίηση των αναμοχλευμένων υλικών αλλά και αποτροπή της ταχείας κατείσδυσης του νερού (*Κουμαντάκης et al., 2007*).

Σε ότι αφορά τα προληπτικά μέτρα που θα πρέπει να ληφθούν για τη θέση Αγ. Μαρίνας, απαιτείται η διευθέτηση των νερών του ρέματος, η δυσμενής δράση των οποίων ενισχύεται από την ύπαρξη των νερών της πηγής που εμφανίζεται στην περιοχή. Η διευθέτηση που προτείνεται μπορεί να γίνει με σχετικό εγκιβωτισμό της κοίτης του ρέματος, η οποία θα αποτρέψει τις υποσκαφές από τη βόρεια πλευρά του λόφου. Απαραίτητη κρίνεται επίσης η επανακατασκευή από την ανατολική πλευρά του τοίχου αντιστήριξης και η επέκτασή του σε όλο το μήκος του πρανούς του λοφίσκου. Σημειώνεται, ότι η θεμελίωση του τοίχου αντιστήριξης θα πρέπει να είναι σε τέτοιο βάθος ώστε να αποτραπεί οποιοδήποτε υποσκαφή από τη δράση του κυματισμού της θάλασσας (*Κουμαντάκης et al., 2007*).

10.3.4 Οικισμός Πύργου

Η ευρύτερη περιοχή δομείται από νεογενή ιζήματα (μάργες) που επιφανειακά αναπτύσσουν αυξημένου πάχους ζώνη αποσάθρωσης και κερματισμού. Το μεγαλύτερο τμήμα του οικισμού χαρακτηρίζεται από υψηλή κατολισθητική επικινδυνότητα. Ωστόσο τα ερπυστικά φαινόμενα πλήττουν κυρίως αγροτικές καλλιέργειες όπου υπάρχει σχετική απουσία κατασκευών. Πολύ υψηλή επιδεκτικότητα παρουσιάζουν οι περιοχές στο βόρειο τμήμα του κατοικημένου χώρου, κυρίως κατάντη και ανάντη του οδικού δικτύου. Οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν και τον υψηλότερο βαθμό κατολισθητικής διακινδύνευσης.

Από τη σχετική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής, η περιοχή χαρακτηρίζεται στο σύνολο σχεδόν της έκτασης από χαμηλές έως μέτριες μορφολογικές κλίσεις με πολύ δυσμενή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων. Η ευρύτερη περιοχή παρουσιάζει υψηλό βαθμό ΤΔΥ, ενώ σε ότι αφορά την τεκτονική καταπόνηση θεωρείται έντονη.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα, τα μέτρα εκείνα που πιστεύεται ότι πρέπει να ληφθούν για την αντιμετώπιση των φαινομένων και την επαναλειτουργία όλου του εύρους του καταστρώματος του οδικού δικτύου που έχει αστοχήσει, είναι τα εξής:

- Επιμελημένη επανακατασκευή του τεχνητού οχετού που έχει αστοχήσει, έτσι ώστε να μην υπάρξουν διαρροές στο μέλλον.
- Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης με συρματοκιβώτια σε όλο το μήκος του δρόμου που έχει επηρεαστεί από την αστοχία. Η θεμελίωση του τοίχου αυτού πρέπει να γίνει βαθιά και ή δυνατόν στις μάργες και η κατασκευή του σώματος του κλιμακωτά για σταθερότερη κατασκευή.
- Ελεγχόμενη παροχέτευση του νερού του τεχνητού οχετού στο ρέμα, με ειδικό σωλήνα, ή με αύλακα από τσιμέντο. Αυτό θα προστατεύσει το κατάντη του δρόμου πρανές από ανεπιθύμητο εμποτισμό, διεργασία που ευθύνεται για την ενεργοποίηση του μηχανισμού εκδήλωσης της αστοχίας.
- Στην περίπτωση του τσιμενταύλακα στο εσωτερικό του δρόμου αυτός πρέπει να διαμορφωθεί με ασφαλή κλίση προς τα μέσα, έτσι ώστε όλα να πηγαίνουν στο τεχνητό και όχι στο κατάντη πρανές.

10.3.5 Οικισμός Οξύλιθου

Η ευρύτερη περιοχή της κοινότητας του Οξύλιθου, αποτελεί ζώνη πολύ υψηλής διακινδύνευσης. Ο οικισμός αναπτύσσεται επί των νεογενών ιζημάτων και ειδικότερα εντοπίζονται εναλλαγές αργιλομαργών, μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων με λεπτές ενστρώσεις αργιλώδων και αργιλοϊλυωδών οριζόντων. Στην περιοχή του οικιστικού συγκροτήματος αναπτύσσεται παχύς μανδύας αποσάθρωσης, πάχους περίπου 2 – 3m.

Η περιοχή χαρακτηρίζεται στο σύνολο σχεδόν της έκτασης από ήπιες μορφολογικές κλίσεις αλλά από δυσμενή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων (NNA- NNΔ) ως προς την κατολισθητική επικινδυνότητα. Σε ότι αφορά το υδρογραφικό δίκτυο, αυτό χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα πυκνό. Το μεγαλύτερο ποσοστό της περιοχής κατέχει υψηλό δείκτη ΤΔΥ, ενώ χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη υπόγειας υδροφορίας, η οποία εκδηλώνεται με την ανάπτυξη εποχιακών μικροπηγών στον μανδύα αποσάθρωσης. Στην ευρύτερη περιοχή υπάρχει μεγάλος αριθμός φρεάτων κατασκευασμένων από τους κατοίκους του οικισμού που χρησιμοποιούνται κυρίως για άδρευση.

Ασθενή κατολισθητικά φαινόμενα και φαινόμενα αστάθειας έχουν καταγραφεί στο παρελθόν, με μικρές ζημιές σε νεόκτιστες κυρίως οικοδομές. Τα φαινόμενα που καταγράφηκαν αποτελούν πρόδρομα φαινόμενα κατολισθήσεων.

Ως μέτρα πρόληψης προτείνονται η διευθέτηση των όμβριων και υπόγειων υδάτων στον χώρο θεμελίωσης των οικισμών, με την κατασκευή περιμετρικά κατάλληλων έργων

αποστράγγισης. Παράλληλα θα πρέπει να δρομολογηθεί από τις αρμόδιες αρχές η σχεδίαση και ανάπτυξη σχετικού αποχετευτικού δικτύου καθώς και δικτύου συλλογής όμβριων μέσα στον οικισμό, καθώς και η αχρήστευση των απορροφητικών βόθρων, όπου υπάρχουν. Η ενεργοποίηση ενός κατολισθητικού φαινομένου αναμένεται να είναι πιθανή μετά από την εμφάνιση δυσμενών συνθηκών, εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων, δυναμικών φορτίσεων, ανθρωπογενών παρεμβάσεων, ωστόσο η ενδεχόμενη εκδήλωση ενός κατολισθητικού θεωρείται ότι θα είναι ασθενής με περιορισμένη έκταση.

10.3.6 Οδικό δίκτυο προς Μετόχι

Το μεγαλύτερο τμήμα του οδικού δικτύου που συνδέει την Κύμη με τον οικισμό του Μετοχίου, χαρακτηρίζεται από χαμηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα. Ωστόσο, σημαντικά τμήματα του οδικού δικτύου παρουσιάζουν υψηλή και πολύ υψηλή κατολισθητική επιδεκτικότητα. Στα τμήματα αυτά διαμορφώνονται υψηλές μορφολογικές κλίσεις και δυσμενή διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων. Οι αστοχίες που πλήττουν τον υπόψη οδικό άξονα είναι αποτέλεσμα συνδυασμού της δράσης παραγόντων που έχουν να κάνουν (*Kouμαντάκης et al., 2007*):

- με την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών,
- με το έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και
- με τη δράση των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Σε ότι αφορά τον τύπο των αστοχιών, αυτές εκδηλώνονται με τη μορφή ολισθήσεων υλικών της ζώνης κερματισμού και του μανδύα αποσάθρωσης, καταπτώσεων βραχωδών μαζών και διαβρώσεων στα κατάντη πρανή του δρόμου από τη δράση των επιφανειακών νερών του οδοστρώματος.

Λαμβάνοντας υπόψη το χάρτη διακινδύνευσης που προκύπτει, διαπιστώνεται ότι στην ευρύτερη περιοχή που καλύπτει το οδικό δίκτυο θα πρέπει να δρομολογηθούν παρεμβάσεις με τις οποίες θα είναι δυνατή η βατότητα του δικτύου. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν στα παρακάτω:

- Κατασκευή έργων ασφαλούς παροχέτευσης επιφανειακών και υπόγειων νερών.
 Στα τμήματα όπου διαπιστώνονται φαινόμενα διάβρωσης, προτείνεται ο εγκιβωτισμός του οδοστρώματος με τσιμεντένια ρείθρα, ώστε να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη κίνηση των επιφανειακών νερών.
- Καθαρισμό και συντήρηση των έργων παροχεύτεσης των επιφανειακών και υπόγειων νερών του οδικού δικτύου και, όπου απαιτείται, επένδυση αυτού με τσιμέντο. Οι εν λόγω παρεμβάσεις αφορούν τμήματα του οδικού δικτύου που δομούνται γεωλογικά από φλύσχη, ο οποίος παρουσιάζεται πολυπτυχωμένος και έντονα κερματισμένος.

- Τοποθέτηση συστήματος αντιστήριξης από συρματοκιβώτια εξωτερικά των πρανών που αστοχούν και αφορούν κυρίως το τμήμα του οδικού δικτύο το οποίο αναπτύσσεται εντός της ζώνης αποσάθρωσης και κερματισμού των φυλλιτών – σχιστολίθων.
- Για την αντιμετώπιση καταπτώσεων που εντοπίζονται στα ασβεστολιθικά πρανή, προτείνεται η τοποθέτηση μεταλλικού φράχτη ανάσχεσης βραχοπτώσεων (GEOBRUGG) με γεωμετρικά χαρακτηριστικά που θα προκύπτουν μετά από σχετική γεωτεχνική – γεωλογική μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11: ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής κατά τη διάρκεια της οποίας μελετήθηκαν οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες κυρίως των μαργών στην ευρύτερη περιοχή της Κύμης Εύβοιας, καθώς και το φαινόμενο των κατολισθήσεων, διαπιστώθηκαν τα εξής:

Γενικά συμπεράσματα

Η μελετηθείσα περιοχή της Κύμης βρίσκεται στη ΒΑ ζώνη της κεντρικής Εύβοιας, στην ευρύτερη περιοχή της πόλης της Κύμης, με έκταση 167.6km². Από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που συντάχθηκε με τη χρήση αλγορίθμων χωρικής ανάλυσης, διαμορφώθηκαν τα θεματικά επίπεδα πληροφορίας: υψομέτρου, μορφολογικών κλίσεων και διεύθυνση μορφολογικών κλίσεων, με βάση τα οποία η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται ως μια πεδινή έως ημιορεινή περιοχή. Οι ορεινές περιοχές καταλαμβάνουν συνολικά το 26.3% του συνολικού εμβαδού, η ημιορεινή ζώνη το 42.3%, ενώ το πεδινό τμήμα αφορά στο 31.5% του συνολικού εμβαδού και καταλαμβάνει κυρίως τις παράκτιες περιοχές. Η επικρατέστερη διεύθυνση των μορφολογικών κλίσεων λαμβάνει τιμές από 0⁰ έως 112.5^{0} (36.50%) και ακολουθούν τα εύρη τιμών 112.5^{0} – 202.5^{0} (33.0%). Συμπερασματικά, ο βασικός προσανατολισμός του αναγλύφου είναι προς Β - ΒΑ και Α με μικρότερη συμμετογή του προσανατολισμού προς τα Δ - ΝΔ. Επίσης, οι επικρατούσες κλίσεις του αναγλύφου είναι της τάξης του 7^0 -30⁰ (67.4% του συνολικού εμβαδού) και ακολουθούν εκείνες με τιμές 30^{0} - 37^{0} και 0^{0} - 7^{0} (11.2% και 10.9% αντίστοιχα). Οι μεγαλύτερες κλίσεις, αυτές που αντιπροσωπεύονται από μορφολογικές κλίσεις μεγαλύτερες από 37°, συμμετέχουν σε ποσοστό μόλις 10.6%.

Από τον χάρτη όπου αποτυπώνονται οι γεωμορφές διαπιστώθηκε ότι σε ποσοστό 54% η περιοχή έρευνας καταλαμβάνεται από πλαγιές, ακολουθούν με 7.3% οι άνω πλαγιές, με 7.2% οι υψηλές κορυφογραμμές, 6.9% τα φαράγγια και οι βαθιές χαράδρες και οι υπόλοιπες γεωμορφές σε μικρότερα ποσοστά.

Σε ότι αφορά την φυτοκάλυψη της περιοχής, αυτή είναι γενικά εκτεταμένη, με μεγάλες εκτάσεις από φυλλοβόλα κυρίως δέντρα. Καλύπτεται σε ποσοστό 23% από πλατύφυλλα και κωνοφόρα δάση, ενώ σημαντική έκταση, (ποσοστό 23.53%) καταλαμβάνει η καλλιεργημένη γη, στην οποία υπάρχουν και μεγάλα τμήματα από φυσική βλάστηση.

Ο τύπος του υδρογραφικού δικτύου που επικρατεί είναι ο δενδριτικός, ενώ διακρίνονται ακόμα ο παράλληλος τύπος και ο κλιμακωτός τύπος. Σχετικά με τις υδρολογικές λεκάνες που εντοπίζονται στους μαργαϊκούς σχηματισμούς του νεογενούς, η

λεκάνη του Μαυροπόταμου που εκβάλει στην περιοχή της Πλατάνας παρουσιάζει σημαντική επιφανειακή απορροή η οποία διατηρείται με φθίνουσα πορεία μέχρι τις αρχές της θερινής περιόδου, τροφοδοτούμενη από πολλές παρόχθιες μικροπηγές. Η μεσολεκανώδης περιοχή ανατολικά της πόλης της Κύμης που δομείται από τους μελετηθέντες γεωλογικούς σχηματισμούς, αποστραγγίζεται επιφανειακά από πλήθος μικρορεμάτων τα οποία εκβάλουν στον όρμο της Κύμης. Η μορφολογία χαρακτηρίζεται έντονη, με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από 15⁰ έως 25⁰, ενώ οι απολήξεις της στη θάλασσα διαμορφώνουν σχεδόν κατακόρυφα πρανή. Το υδρογραφικό δίκτυο του Ρέματος Απουλίστης, έχει διαμορφωθεί από την τεκτονική δράση και διακρίνεται από έντονο ανάγλυφο, με μορφολογικές κλίσεις που κυμαίνονται από μοσοσιάζει σημαντική απορροή την περίοδο των βροχοπτώσεων, η οποία διατηρείται χρονικά και πέραν αυτών.

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης της περιόδου 1961–1990 ανέρχεται σε 1071mm. Ο Ιανουάριος είναι ο μήνας με τις υψηλότερες βροχοπτώσεις, με μέση μηνιαία τιμή 180.2mm, ακολουθεί ο Δεκέμβριος με 173.9mm και ο Φεβρουάριος με 164.7mm. Ποσοστό 48.5% του συνολικού μέσου ετήσιου ύψους βροχής σημειώνεται τον χειμώνα, ακολουθεί το φθινόπωρο με 27.4%, η άνοιξη με 20.3% και τέλος το καλοκαίρι με 6.8%.

Γεωλογική σύσταση και σεισμοτεκτονικό πλαίσιο της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Σχετικά με το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής μελέτης, οι γεωλογικοί σχηματισμοί εντάσσονται, στην ενότητα της Κεντρικής και Βόρειας Εύβοιας και αποτελούνται από ένα Παλαιοζωϊκό υπόβαθρο εν μέρει μεταμορφωμένο και από μία Μεσοζωϊκη σειρά μη μεταμορφωμένων σχηματισμών στην οποία παρεμβάλλονται τεκτονικά τεράστιες μάζες οφιολιθικών πετρωμάτων.

Ειδικότερα η νεογενής λεκάνη της Κύμης Αλιβερίου στην οποία εντοπίζονται οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες των μαργαϊκών σχηματισμών, σχηματίστηκε το κατώτερο Μειόκαινο και καλύπτει το Ανατολικό τμήμα της Υποπελαγονικής ζώνης. Το εσωτερικό της λεκάνης έχει βυθιστεί τεκτονικά, με τον πυθμένα να παρουσιάζεται ανομοιόμορφος με εγκολπώσεις λιγνιτοφόρους ή μη, με αποτέλεσμα τη μη απόθεση ολόκληρης της σειράς των τριτογενών ιζημάτων στα διάφορα σημεία της λεκάνης, καθώς και την κατά τόπους ανομοιογενή σύστασή τους. Μετά την απόθεση των τριτογενών σχηματισμών ακολούθησε πτύχωσή τους λόγω εκδήλωσης κατακόρυφων μετακινήσεων και εφαπτομενικών πιέσεων. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η ύπαρξη τεκτονικής ασυμφωνίας με τους κατώτερους ορίζοντες των μαργών, οφειλόμενη πιθανώς σε ολίσθηση ευρείας έκτασης τμήματος των ανώτερων μαργών, ή σε πτύχωση προκληθείσα από τις κατακόρυφες μετατοπίσεις και τις εφαπτομενικές πιέσεις, που επηρέασαν μόνο το ανώτερο τμήμα των μαργών (*Αναστόπουλος, 1966*). Εξαιτίας αυτού εμφανίζονται περισσότερο πτυχωμένες από τις υποκείμενους αδιατάρακτους ορίζοντες αυτών. Η ευρύτερη περιοχή Κύμης κάτω από ένα σύγχρονο εφελκυστικό σεισμοτεκτονικό καθεστώς, ανήκει σε ζώνη χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας, κατατάσσεται δηλαδή αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού στην κατηγορία (Ι), στις ασθενώς σεισμόπληκτες περιοχές.

Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση και καταγραφή των κατολισθήσεων

Στην Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε σε τοπογραφικό υπόβαθρο κλίμακας 1:25.000, περιγράφονται οι συνθήκες του τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος, όπως αυτές απορρέουν από τη γεωδυναμική – γεωμορφολογική εξέλιξη του χώρου και τους φυσικομηχανικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή. Ειδικότερα σε σχέση με τις λιθοστρωματογραφικές ενότητες των μαργών, στους κατώτερους ορίζοντες των νεογενών ιζημάτων, διαχωρίστηκαν οι δύο ενότητες των μαργών, οι ανώτερες κιτρινότεφρες – τεφρές μάργες και οι κατώτερες κυανότεφρες – λευκότεφρες και αποτυπώθηκαν τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά τους.

Οι κατολισθήσεις και άλλες αστοχίες που σημειώνονται στην περιοχή της Κύμης καταγράφηκαν και αποτυπώθηκαν στον Τεχνικογεωλογικό χάρτη που συντάχθηκε μετά από τη σχετική ερμηνεία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων και την υπαίθρια έρευνα για τα έτη 2006 - 2012 και την αξιολόγηση βάσης δεδομένων με προγενέστερα κατολισθητικά φαινόμενα. Συνολικά δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων 132 κατολισθητικών φαινομένων που περιλαμβάνουν ερπυσμούς, ολισθήσεις, πλευρικές εξαπλώσεις, καταπτώσεις βραχωδών μαζών, αλλά και ροές υλικών.

Ορυκτολογική σύσταση και δομή των μαργαϊκων σχηματισμών

Απο την ορυκτολογική εξέταση των μαργών προέκυψε ότι η ορυκτολογική σύσταση των τεφρών - κιτρινότεφρων μαργών της Ανώτερης ενότητας περιλαμβάνει ανθρακικά ορυκτά, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 40% έως 80%, κυρίως ασβεστίτη, δολομίτη ή και αραγωνίτη. Η ορυκτολογική σύσταση συμπληρώνεται με την παρουσία χαλαζία και αστρίων σε ποσοστά απο 10% έως 30%, ενώ από τα αργιλικά ορυκτά κυριαρχούν ο καολινίτης, ιλλίτης - μοσχοβίτης και μικτή φάση μοντμοριλλονίτη – χλωρίτη σε ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 40%. Στα περισσότερα δείγματα ταυτοποιήθηκαν μεταλλικά ορυκτά και οξείδια σιδήρου.

Η αντίστοιχη ορυκτολογική σύσταση των μελανότεφρων μαργών της Κατώτερης ενότητας περιλαμβάνει ανθρακικά ορυκτά, κυρίως ασβεστίτη και δολομίτη, σε ποσοστό που κυμαίνεται από 15% έως 45%. Η ορυκτολογική σύσταση συμπληρώνεται με την παρουσία χαλαζία και αστρίων σε αυξημένα ποσοστά σε σχέση με αυτά της Ανώτερης ενότητας (40% έως 55%), ενώ από τα αργιλικά ορυκτά κυριαρχούν ο καολινίτης, ιλλίτης - μοσχοβίτης και μικτή φάση μοντμοριλλονίτη – χλωρίτη σε ποσοστά που κυμαίνονται από

15% έως 30%. Στα περισσότερα δείγματα ταυτοποιήθηκαν μεταλλικά ορυκτά και οξείδια σιδήρου.

Εργαστηριακές διεργασίες, εκτίμηση φυσικών, μηχανικών ιδιοτήτων και συσχετίσεις αυτών

Από τα αποτελέσματα της δοκιμής διαβρωσιμότητας προέκυψε ότι οι μάργες της Κύμης ανήκουν στην κατηγορία της μέτριας ως πολύ υψηλής ανθεκτικότητας στη διάβρωση. Τα δείγματα της μέτριας ανθεκτικότητας παρουσιάζουν οι υποκείμενες ψαμμιτικές τεφρές - μελανότεφρες μάργες που χαρακτηρίζονται από μικριτική δομή, παρουσία οργανικής ύλης και υψηλότερο ποσοστό διογκούμενων αργιλικών ορυκτών.

Από την εξέταση της κοκκομετρικής διαβάθμισης των μαργών της Κύμης, διαπιστώθηκε εμφανής διάκριση των δύο ενοτήτων, της Ανώτερης στρωματογραφικά ενότητας των κιτρινότεφρων μαργών η οποία εμφανίζεται περισσότερο ασυνεχής ως προς τη διαβάθμιση των κόκκων, με την Κατώτερη ενότητα των λευκότεφρων – μελανότεφρων μαργών στην οποία διαφαίνεται σχετικά καλή διαβάθμιση. Αυτό σημαίνει ότι οι μάργες της Κατώτερης ενότητας συνιστούν σχετικά σταθερό έδαφος που μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να παρουσιάσει σημαντική αντοχή στη διάτμηση, σε αντίθεση με την ασυνεχή διαβάθμιση της Ανώτερης ενότητας, η οποία συνιστά έδαφος με πτωχή διαβάθμιση, στο οποίο δεν επαρκεί η ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά των μεγαλύτερων κόκκων με αποτέλεσμα μετά να έχει ανοιχτή πορώδη δομή και να είναι ευαίσθητο σε υδραυλικές υποσκαφές.

Σε όλα τα δείγματα μαργών που εξετάστηκαν, οι τιμές ορίου του υδαρότητας παρουσιάζονται εξαιρετικά υψηλές τιμές από άποψης κατολισθητικής επιδεκτικότητας και κυμαίνονται από 27.5% έως 52% και παρουσιάζουν στην πλειονότητα τους κανονική έως υψηλή ενεργότητα κατά Skempton, με μια διαφοροποίηση στις ενεργότητες των δειγμάτων της Ανώτερης να κυμαίνονται περισσότερο μεταξύ της ενεργότητας του μοντμοριλλονίτη και του ιλλίτη, ενώ τα δείγματα της Κατώτερης να επικρατούν στην ενεργότητα του ιλλίτη. Διαπιστώνονται δηλαδή ενεργότητες διογκούμενων ορυκτών και για τις δυο κατηγορίες των μαργών, όπως αυτά που προσδιορίστηκαν και με την ορυκτολογική ανάλυση, που πιθανόν να ελέγχουν τη δυνατότητα διόγκωσης και κατά συνέπεια την επιδεκτικότητά τους σε φαινόμενα αστάθειας.

Σε ότι αφορά τις τιμές του λόγου συσσωμάτωσης, οι μάργες της Ανώτερης ενότητας των μαργών κυμαίνονται από 1.5 έως 3.5 περίπου και της Κατώτερης από 0.7 έως 1.2. Παρουσιάζουν τάση συσσωμάτωσης όλες οι κατηγορίες μαργών της Κύμης που εξετάστηκαν, σε κόκκους μεγέθους ιλύος, με συγκολλητική ύλη ασβεστιτική και χαλαζιακή, γεγονός που συνάδει με την πετρογραφική ανάλυση. Τα συσσωματώματα στις μάργες που εξετάστηκαν, οφείλονται στην παρουσία μικριτικού ασβεστιτικού συγκολητικού υλικού, στα οξείδια σιδήρου, στο οργανικό υλικό και στα αδιαφανή ορυκτά.

Με βάση την κατάταξη κατά Seed et al. (1962) τα δείγματα της Ανώτερης ενότητας χαρακτηρίζονται από μέση ως υψηλή διογκωσιμότητα, με τη μέση τιμή να αντιπροσωπεύει έναν εδαφικό σχηματισμό υψηλής διογκωσιμότητας (5% με 25%). Αντίστοιχα για τα δείγματα της Κατώτερης ενότητας το δυναμικό διογκωσιμότητας κυμαίνεται από 8% έως και 55%, με μέση τιμή 22%. Τα δείγματα αυτά μπορούν να χαρακτηριστούν από υψηλής έως πολύ υψηλής διογκωσιμότητας, ενώ η μέση τιμή τους αντιπροσωπεύει σχηματισμό μέσης διογκωσιμότητας.

Όλα τα δείγματα των μαργών που εξετάστηκαν διαπιστώθηκε ότι βρίσκονται κάτω από τη γραμμή "U" που ορίζεται από τη σχέση PI=0.9 (LL-8) και ανήκουν στην περιοχή CL-OL και ML – OL, ανήκουν δηλαδή στα συνεκτικά εδάφη και χαρακτηρίζονται σαν άργιλοι και ιλύες χαμηλής πλαστικότητας.

Σχετικά με τις τιμές συνοχής που προέκυψαν απο τη δοκιμή απευθείας διάτμησης, διαπιστώθηκαν για τις κιτρινόφαιες και τεφρές τεφροκίτρινες μάργες τιμές που κυμαίνονται από 2.7KPa έως 45KPa με μέση τιμή 24KPa. Για τα ιζήματα των λευκότεφρων – μελανότεφρων μαργών της Κατώτερης ενότητας, η συνοχή κυμαίνεται από 11.3KPa έως 81KPa με μέση τιμή 38Kpa, παρουσιάζουν δηλαδή ελαφρώς μεγαλύτερες τιμές συνοχής από αυτές της Ανώτερης ενότητας. Η γωνία τριβής φ κυμαίνεται περίπου στα ίδια επίπεδα με τιμές μεταξύ $19^0 - 32^0$.

Σχετικά με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη για τα εδαφικά δείγματα των μαργών, παρατηρούνται τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη που χαρακτηρίζουν μια "ενδιάμεση συμπεριφορά" ανάμεσα στο έδαφος και τον βράχο, για τιμές μεταξύ qu = 0.4MPa έως qu = 2MPa. Κατατάσσονται δηλαδή με βάση την αντοχή τους σε ανεμπόδιστη θλίψη από "εδάφη" έως "σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι".

Από τα αποτελέσματα των δοκιμών της αντοχής σε μοναξονική θλίψη για τα ακέραια – βραχώδη τεμάχη των μαργών που εξετάστηκαν, προέκυψε ότι τα δείγματα της Ανώτερης ενότητας των κιτρινότεφρων συνεκτικών μαργών που εξετάστηκαν, παρουσιάζουν τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη που κυμαίνονται στην πλειονότητα από 5MPa έως 23MPa με μέσο όρο 13MPa, κατατάσσονται δηλαδή σε χαμηλής αντοχής πετρώματα. Αντίστοιχα, τα δείγματα της Κατώτερης ενότητας των μελανότεφρων συνεκτικών μαργών που κυμαίνονται στην πλειονότητα από 5MPa έως 68MPa με μέσο όρο 33MPa περίπου και κατατάσσονται σε μέσης έως υψηλής αντοχής πετρώματα. Συγκριτικά δηλαδή, οι βραχώδεις μάργες της Κατώτερης ενότητας παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές αντοχής σε μοναξονική θλίψη σε σχέση με αυτές της Ανώτερης ενότητας, γεγονός που ήταν άλλωστε αναμενόμενο.

Η συσχέτιση της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με την περιεχόμενη υγρασία, φανερώνει μια τάση μείωσης της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με την αύξηση της υγρασίας. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι με τη μείωση του πάχους των

στρώσεων του νερού που περιβάλλουν τα αργιλικά πλακίδια, αυξάνεται η έλξη των αργιλικών πλακιδίων και κατά επέκταση η αντοχή του εδαφικού υλικού.

Θετική συσχέτιση διαπιστώνεται μεταξύ της αντοχής σε μοναξονική θλίψη και της αντοχής σε σημειακή φόρτιση, καθώς και τάση αύξησης της αντοχής με το βάθος.

Συσχετίζοντας τον δείκτη διαβρωσιμότητας Id₂ αλλά και τον δείκτη σημειακής φόρτισης Is₅₀ με την περιεκτικότητα σε ανθρακικά ορυκτά, όπως αυτά προσδιορίστηκαν με την ημιποσοτική ανάλυση, διαπιστώθηκε καλή σχετικά συσχέτιση και συγκεκριμένα αύξηση της τιμής του δείκτη διαβρωσιμότητας Id₂ και του δείκτη σημειακής φόρτισης Is₅₀, με την αύξηση του ανθρακικού ασβεστίου για τις κιτρινότεφρες μάργες, σε αντίθεση με τις μελανότεφρες όπου διαφαίνεται ότι η παρουσία του ανθρακικού ασβεστίου δεν επηρεάζει θετικά την ανθεκτικότητα στη διάβρωση αλλά ούτε και την αντοχή σε σημειακή φόρτιση. Η διαφοροποίηση αυτή αναδεικνύει την επίδραση του ποσοστού των συνοδευτικών ορυκτών, που στην περίπτωση των μελανότεφρων μαργών είναι αυξημένο (μ.ο. 48%) σε σχέση με των κιτρινότεφρων (μ.ο. 22.5%), στη διαμόρφωση της εν γένει γεωμηχανικής συμπεριφοράς του εδαφικού υλικού, τόσο στο matrix του υλικού, αλλά και σαν πηγή προσφοράς κατιόντων ασβεστίου στον ''υμένα'' που περιβάλλει τα αργιλικά πλακίδια.

Συμπεράσματα ως προς την εφαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης Weight of Evidence για την εκτίμηση της κατολισθητικής επιδεκτικότητας

Η μέθοδος Weight of Evidence που εφαρμόστηκε στην περιοχή έρευνας, εξασφαλίζει τη συνεκτίμηση του βαθμού αβεβαιότητας που ενέχουν οι υπολογισμοί, αποδίδοντας ένα πιο αξιόπιστο αποτέλεσμα ως προς την εκτίμηση των δεικτών κατολισθητικής επιδεκτικότητας.

Το χαρακτηριστικό που επιτρέπει η μέθοδος **WofE** να ξεχωρίζει είναι ότι η παρουσία ή απουσία της υπόθεσης αποκτούν ισότιμη αξία. Η οποιαδήποτε αρνητική συσχέτιση μεταξύ των σημείων εμφάνισης και των πρωτογενών δεδομένων σε άλλα μοντέλα δεν λαμβάνεται υπόψη, αντίθετα με όσα επιτρέπει η μέθοδος **WofE**.

Με εφαρμογή της μεθόδου *WofE* προέκυψε ο χάρτης κατολισθητικής επιδεκτικότητας όπου διαμορφώνονται οι ζώνες κατολισθητικής επιδεκτικότητας με βάση τη συνδυαστική επίδραση του συνόλου των μεταβλητών που επιδρούν επί του φαινομένου των κατολισθήσεων.

Η σειρά κατάταξης των παραμέτρων με βάση τη σειρά σπουδαιότητας ως προς τη διαμόρφωση του βαθμού επιδεκτικότητας έχει ως εξής: Λιθολογικές Ενότητες, Υψόμετρο, Απόσταση από τεκτονικά χαρακτηριστικά, Μορφολογική κλίση, Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο, Διεύθυνση μορφολογικής κλίσης, Καμπυλότητα και Τοπογραφικός Δείκτης Υγρασίας.

Συμπεράσματα που προέκυψαν από τη χωρική και στατιστική ανάλυση των κατολισθητικών φαινομένων

Η πλειονότητα των κατολισθητικών φαινομένων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της ενότητας των κιτρινόφαιων μαργών, ακολουθεί η ενότητα κυανότεφρων μαργών, η ενότητα του φλύσχη, η ενότητα των σύγχρονων πλευρικών κορημάτων, η ενότητα των φυλλιτών και σχιστολίθων, η ενότητα των αλλούβιων και τέλος η ενότητα κροκαλοπαγούς βάσης. Σε ότι αφορά τη σταθμισμένη συχνότητα, διαπιστώνεται ότι οι μάργες στο σύνολό τους κατέχουν υψηλή συχνότητα, 26.36%, ακολουθεί η ενότητα των αλλουβίων με 21.62%, η ενότητα του φλύσχη 20.66%, η ενότητα των φυλλιτών και σχιστόλιθων 17.07%.

Τα περισσότερα κατολισθητικά συμβάντα εντοπίζονται σε υψόμετρα της κατηγορίας A (0 - 220m), ακολουθεί η κατηγορία B (220m - 440m), η κατηγορία Γ (440m - 660m), η κατηγορία Δ (660m - 880m) και τέλος η κατηγορία E (880m – 1100m). Σε ότι αφορά τη σταθμισμένη συχνότητα, το υψηλότερο ποσοστό κατέχει η κατηγορία A το οποίο εκτιμάται σε 43%, ενώ η σχετική ανάλυση εκτιμά ποσοστά 30.33% για τη κατηγορία B, 18.22% για τη κατηγορία Γ, 5.40% για τη κατηγορία Δ και 3.05% για την κατηγορία E.

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων των μορφολογικών κλίσεων, διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της κατηγορίας B (17⁰ - 36⁰), ακολουθεί η κατηγορία A (0⁰ - 17⁰), η κατηγορία Γ (36⁰ - 50⁰) και τέλος η κατηγορία Δ (>50⁰). Σε ότι αφορά τη σταθμισμένη συχνότητα, το υψηλότερο ποσοστό κατέχει η κατηγορία Δ το οποίο εκτιμάται σε 31.76%, ακολουθεί με 24.12% η κατηγορία Γ, 23.21% για τη κατηγορία A, και 20.91% για τη κατηγορία B.

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων της διεύθυνσης των μορφολογικών κλίσεων, διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται σχηματισμούς της κατηγορίας E (0⁰-45⁰, 135⁰-225⁰), ακολουθεί η κατηγορία Γ (90⁰-135⁰, 275⁰-315⁰), η κατηγορία B (45⁰-90⁰), η κατηγορία A (225⁰-275⁰) και τέλος η κατηγορία Δ (315⁰ -360⁰). Σε ότι αφορά τη σταθμισμένη συχνότητα, το υψηλότερο ποσοστό κατέχει η κατηγορία Ε με ποσοστό 28.38%, ακολουθεί με 20.61% η κατηγορία B, η κατηγορία Α με ποσοστό 18.98%, η κατηγορία Γ με ποσοστό 16.10% και τέλος η κατηγορία Δ με ποσοστό 15.94%.

Αναφορικά στη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που προσδιορίζουν την καμπυλότητα του μορφολογικού ανάγλυφου, διαπιστώνεται ότι η πλειονότητα των κατολισθήσεων εντοπίζονται στην κατηγορία Α (αρνητικές τιμές – κοίλα γεωμετρία), ακολούθως στην κατηγορία Β (μηδενικές τιμές – επίπεδη γεωμετρία) και τέλος στην κατηγορία Γ (θετικές τιμές – κυρτή

γεωμετρία). Η κατηγορία Α κατέχει και την υψηλότερη σχετική συχνότητα (39.98%), ακολουθούμενη από την κατηγορία Β (34.05%) και την κατηγορία Γ (25.97%).

Σχετικά με τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που αντιστοιχούν στις ζώνες επιρροής του υδρογραφικού δικτύου, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στους σχηματισμούς της κατηγορίας A (0m - 50m), ακολουθεί η κατηγορία Δ (>100m), η κατηγορία B (50m - 75m) και τέλος η κατηγορία Γ (75m -100m). Η κατηγορία A κατέχει και την υψηλότερη σχετική σταθμισμένη συχνότητα (31.91%) ακολουθούμενη από την κατηγορία B (27.83%), την κατηγορία Δ (20.73%) και την κατηγορία Γ (19.53%).

Η πλειονότητα των αστοχιών εντοπίζεται στην ζώνη που απέχει από τα τεκτονικά χαρακτηριστικά λιγότερο από 150m και ανήκει στην κατηγορία A, ακολουθεί η κατηγορία Δ (> 450m), η κατηγορία B (150m – 300m) και τέλος η κατηγορία Γ (300m -450m). Σε ότι αφορά τη σχετική σταθμισμένη συχνότητα, το υψηλότερο ποσοστό κατέχει η κατηγορία A με ποσοστό 32.87%, ακολουθεί με 30.98% η κατηγορία B, η κατηγορία Γ με ποσοστό 21.85% και η κατηγορία Δ με ποσοστό 14.29%.

Σε ότι αφορά τη χωρική διασπορά των κατολισθητικών φαινομένων σε σχέση με τη χωρική κατανομή των κλάσεων που προσδιορίζουν την κατάσταση του μορφολογικού ανάγλυφου ως προς τη δράση του νερού, διαπιστώνεται ότι, η πλειονότητα των κατολισθητικών συμβάντων εντοπίζεται στην κατηγορία Α (θετικές τιμές) και ακολουθεί η κατηγορία Β (αρνητικές τιμές). Σε ότι αφορά τη σχετική σταθμισμένη συχνότητα, το υψηλότερο ποσοστό κατέχει η κατηγορία Β με ποσοστό 60.34% και ακολουθεί με 39.66% η κατηγορία Α.

Συμπεράσματα για τον μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων

Κατολισθητικά φαινόμενα εντοπίζονται σε αρκετές θέσεις, κυρίως εξαιτίας της φυσικής κατάστασης και της γενικής τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις σε συνδυασμό με ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Σε ότι αφορά τον μηχανισμό εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων που παρουσιάζονται, διαπιστώνονται τα εξής:

Η ανισότροπη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των λιθολογικών φάσεων των μαργών, όπως αναδείχθηκε και από την εργαστηριακή έρευνα, επιτρέπει την ολίσθηση των κατακερματισμένων υπερκείμενων τεφρών - τεφροκίτρινων μαργών επί των μελανότεφρων, επιτρέποντας την κατείσδυση του νερού μέχρι την επαφή των δύο φάσεων δημιουργώντας επιφάνειες ερπυσμών ή και ολισθήσεων. Τα φαινόμενα εντείνονται, εκεί όπου, ανάμεσα στις αποσαθρωμένες και κατακερματισμένες μάργες, παρεμβάλλονται συνεκτικοί, βραχώδεις ορίζοντες των μαργαϊκών ασβεστολίθων.
Η καταπόνηση και ο κερματισμός της συμπαγούς μάργας, εξαιτίας της τεκτονικής δραστηριότητας, των φαινομένων διαδοχικής διαβροχής και ξήρανσης είτε των φαινομένων αποσάθρωσης, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία εδαφικού υλικού αργιλοπηλώδους σύστασης με μειωμένα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Επιπρόσθετα, η συντελούμενη διάβρωση των επιφανειών των πρανών από την επιφανειακή απορροή των νερών της βροχής επιτρέπει τη δημιουργία υπερκρεμάμενων βραχωδών μαζών.

Ολισθήσεις εκδηλώνονται και στους ανώτερους ορίζοντες των σχηματισμών των νεογενών και του φλύσχη, εξαιτίας της ιδιόμορφης τεχνικογεωλογικής τους συμπεριφοράς. Στα βραχώδη πρανή σημειώνονται καταπτώσεις βραχωδών μαζών, ανατροπών καθώς και αστοχιών επιπέδου και σφήνας εκεί όπου αναπτύσονται ζώνες με έντονη μορφολογία, ενώ διαπιστώνονται συχνά τοπικά ροές κορημάτων.

Ως προς τους εναυσματικούς παράγοντες, το μεγάλο ύψος βροχοπτώσεων (~1000mm) σε συνδυασμό με το χαμηλό ποσοστό κατείσδυσης στους μαργαϊκούς σχηματισμούς ευνοούν την επιφανειακή απορροή. Οι αυξημένες τιμές επιφανειακής απορροής σε περιόδους έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων προκαλούν διαβρώσεις στην κοίτη και στις όχθες του υδρογραφικού δικτύου, οπότε δυνητικά μπορούν να προκαλέσουν αστοχίες σε κατασκευές κοντά στις όχθες των ρεμάτων της περιοχής. Επιπρόσθετα, η ανθρώπινη παρέμβαση με τη διάνοιξη οδών πρόσβασης σε θέσεις εντός της ζώνης αστοχίας και η δημιουργία πλατωμάτων έχει ως αποτέλεσμα τη διατάραξη των συνθηκών ευστάθειας.

Γενικά, για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων, απαιτείται:

- Η πλήρης γνώση της σύγχρονης γεωλογικής δομής και γεωλογικής εξέλιξης της ευρύτερης περιοχής στην οποία διαπιστώνεται η παρουσία κατολισθητικών φαινομένων.
- Η γνώση της υδρολιθολογικής διάρθρωσης των σχηματισμών και των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής.
- Η λεπτομερής γνώση των γεωτεχνικών συνθηκών και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών, όπως προκύπτουν από μακροσκοπικές παρατηρήσεις, in situ έρευνες και από εργαστηριακές δοκιμές.

Σε επίπεδο περιφέρειας ή σε μεσαίας ανάλυσης κλίμακα, η εκτίμηση της ενδεχόμενης καταστροφικότητας είναι απαραίτητη, καθώς οδηγεί σε σωστό και κατάλληλο σχεδιασμό πριν τη φάση διαστασιολόγησης και κατασκευής των τεχνικών έργων και κατ' επέκταση συμβάλλει στη μείωση του κόστους κατασκευής και συντήρησης των μελλοντικών τεχνικών έργων.

Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Με βάση την έρευνα που διεξήχθη στα πλαίσια της παρούσης διδακτορικής διατριβής, διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν μια σειρά από ζητήματα που προσφέρονται για μελλοντική έρευνα, όπως:

- Η διαμόρφωση ενός ερευνητικού πλαισίου που θα αφορά στους μαργαϊκούς σχηματισμούς που εμφανίζονται στον Ελληνικό χώρο και θα περιλαμβάνει την εκτίμηση παραμέτρων μικροσκοπικής και μακροσκοπικής κλίμακας (ορυκτολογικές-φυσικομηχανικές παράμετροι). Η ένταξη των συσχετίσεων που πιθανότατα να υπάρχουν μεταξύ των παράμετρων που προσδιορίζονται στις κλίμακες αυτές, στο γενικότερο γεωλογικό - τεκτονικό πλαίσιο, που θα έχει σαν στόχο τη διαμόρφωση του τελικού τεχνικογεωλογικού προφίλ των μαργαϊκών σχηματισμών.
- Η ενσωμάτωση της κλασικής τεχνικογεωλογικής έρευνας, που περιλαμβάνει έρευνες πεδίου, εργαστηριακές αναλύσεις και δοκιμές, στις διεργασίες της χωρικής ανάλυσης, με στόχο την ολιστική επίλυση των προβλημάτων που σχετίζονται με τα κατολισθητικά φαινόμενα. Η προσπάθεια αυτή θα πρέπει να έχει σαν στόχο τη διαμόρφωση κανόνων και αρχών που θα πρέπει να ακολουθεί ο ερευνητής, ώστε το αποτέλεσμα της διαδικασίας να είναι σύμφωνο και πλήρως κατανοητό, για κάθε περιοχή μελέτης.
- Η αξιοποίηση των τεχνολογικών δυνατοτήτων της τηλεμετρικής παρακολούθησης, επιρρεπών σε αστοχίες περιοχών με την εγκατάσταση κατάλληλων δικτύων παρακολούθησης εδαφικών κινήσεων και όπου κρίνεται αναγκαίο, εγκατάσταση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης. Στα πλαίσια αυτών των συστημάτων παρακολούθησης - προειδοποίησης, ζητούμενο αποτελεί η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος διαχείρισης κατολισθητικών φαινομένων με δικτυακές δυνατότητες και προεκτάσεις, ικανό να επεξεργάζεται και να αναλύει δεδομένα πραγματικού χρόνου, που θα έχει σαν στόχο την ένταξη της χρονικής διάστασης στο φαινόμενο.

Σημαντική παράμετρο στην αποτελεσματική διαχείριση των καταστροφικών φαινομένων αποτελεί ο προσδιορισμός των στοιχείων σε διακινδύνευση. Ο ουσιώδης ρόλος στη βιώσιμη ανάπτυξη του ανθρώπινου περιβάλλοντος, θα πρέπει να αποτυπώνεται με τη χρήση ποσοτικών δεικτών. Οι δείκτες αυτοί θα εξασφαλίζουν τα αποτελέσματα που προκύπτουν να χαρακτηρίζονται από αντικειμενικότητα.

Η επιτυχής ολοκλήρωση των ανώτερων ενεργειών θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διακινδύνευσης αρχικώς σε τοπική κλίμακα κατά αντιστοιχία με τις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας και θα αποτελέσουν ένα σημαντικό βήμα για την ορθότερη διαχείριση των φυσικών κινδύνων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Abderahamn, N., 2007. *Evaluating the influence of rate of undercutting on the stability of slopes*. B. Eng. Geol. Environ. 66, 303-309.
- Agterberg, F.P. & Cheng, Q., 2002. Conditional independence test for weights of evidence modelling, Natural Resources Research, 11, 249–255.
- Akai, K., 1993. Testing methods for indurated soils and soft rocks Interim report. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Aleotti, P. & Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58(1), pp. 21-44.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GISbased weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture. Japan. Landslides 1:73–81.
- Ayalew, L. & Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65(1-2), pp. 15-31.
- Anagnostopoulos S.G., Kalteziotis N., Tsiambaos G.K. & Kavvadas M., 1991. Geotechnical properties of the Corinth Canal marls. Geotech. & Geol. Eng., 9, 1-26.
- A.S.T.M., 1990. Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks (D4664). Annual Book of ASTM Standards Vol. 4.08. ASTM, Philadelphia, PA., 863-865.
- Atkinson, P.M. & Massari, R., 1998. Generalized linear modeling of landslide susceptibility in the central Apennines, Italy. Computers & Geosciences, 24, pp. 373–385.
- Aubouin, J., 1957. Sur la Géologie de la bordure Méridionale de la plaine de Trikkala.Ann. Geol. des P. Hellen., 8, Athènes.

- Barbieri, G. & Cambuli, P., 2009. The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy). 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia, 13-17 July 2009.
- Barnes, G.E., 2000. Soil Mechanics: Principles and Practice. In Trans. in Greek. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2005.
- Barth, T.F.W., Correns, C.W. & Eskola, P., 1939. Die Entstehung der Gesteine. Springer Verlag, Berlin.
- Batuk, F., Emem, O., Gorum, T. & Gokasan, E., 2008. Implementation of GIS for Landforms of Southern Marmara. TS 7I - GIS Applications in Turkey. Integrating Generations FIG Working Week 2008 Stockholm, 14-19 June Sweden.
- Bavay, P. & Bavay, R.D., 1980. L'unité de Styra Ochi. Un ensemble metamorpique de type schistes bleus d'âge alpin dans le massif d'Attique – Cyclades. Thèses 3e cycle. Univ. Paris-Sud/Orsay. 370 p.
- Baynes, F.J., 2008. Anticipating Problem soils on linear projects. Conference proceedings on Problem Soils in South Africa, 3-4 November 2008, 9-21.
- Beavis, F.C., 1985. Engineering Geology, Blackwell, Melbourne (1985) 231 pp.
- Bell, F.G., Cripps, J.C., Culshaw, M.G. & Entwisle, D. 1993. Volume changes in weak rocks: Prediction and measurement. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Bell, F.G., Entwisle, D.C., Culshaw, M.G., 1997. A Geotechnical survey of some British Coal Measures mudstones, with particular emphasis on durability. Engineering Geology 46. pp. 115-129.
- Benardos, A.G., Kaliampakos, D.C., 2004. A methodology for assessing geotechnical hazards for TBM tunnelling - illustrated by the Athens Metro, Greece. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, vol. 41, no. 6, pp. 987-999.
- Bhattarai, P., Marui, H., Tiwari, B., Watanabe, N., Tuladhar, G., Aoyama, K., 2006. *Influence of Weathering on Physical and Mechanical Properties of Mudstone*. Disaster Mitigation of Debris Flows, Slope Failures and Landslides, Universal Academy Press Inc., 467-479.
- Bieniawski, Z.T., 1975. *The point load test in geotechnical practice*. Eng. Geology, 9, pp.1-11.

Blatt, H., 1982. Sedimentary Petrology., W.H. Freeman and Company, San Francisco.

- Bofill, M.J., Corominas, J., Soler, A., 2004. Behaviour of the weak rock cutslopes and their characterization using the results of the Slake Durability Test. Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe, Springer Berlin, V104, 05-413.
- Bolongaro-Crevenna, A., Torres-Rodri guez, V., Sorani, V., Frame, D., Arturo, M., 2005. Ortiz, Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. Geomorphology 67, pp 407–422.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F., 1988. Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. Photogramm Eng Remote Sensing 54:1585–1592.
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, FP, Wright, D.F., 1989. Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. Statistical applications in the earth science, geological survey of Canada, Paper 89–9: 171–183.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS. Computer methods in the geosciences, Vol. 13. Pergamon Press, Oxford, p 398.
- Božinović, D., Ćorić, S., Vujanić, V., Jotić, M. & Jelisavac, B., 1993. Slope stability analysis in stiff fissured clays and marls. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Bräutigam, T., Gay, G., Schad, H., 1999. Landslides in the upper keuper marl of south west Germany an some remedial measures. Werkstoffe und Werkstoffprüfung im Bauwesen, 17-28, Festschrift zum 60.Geburtstag von Prof. H.-W. Reinhardt, Universität Stuttgart.
- British Standards Institution, BS 5930:1981. Code of practice for site investigations, (formerly CP 2001), London.
- Broch, E. & Franklin, J., 1972. Rock Mech. Min. Sci. 9(6) 669-697.
- Brook, N., 1980. Size correction for Point Load Testing. International Journal of rock mechanics and mining sciences & Geomechanics abstrects. Pergamon Press. Vol. 17, No. 4, pp.231-235.
- Brunn, J.H., 1956. *Contribution a l'etude geologique du Pinde septentrional et d'une partie de laMacedoine occidentale*. Ann. Geol. Pays Hell., 7: 1-358.

- Brunsden, D., 1984. Mudslides. In Slope Instability (eds D. Brunsden and D.B. Prior), Wiley, Chichester, pp. 363-418.
- Burrough, P.A., Van Gaans, P.F.M., MacMillan, R.A., 2000. *High-resolution landform classification using fuzzy k-means*. Fuzzy Sets and Systems 113, pp 3-52.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surface Processes & Landforms, Volume 16, Issue 5, 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara A, Guzzetti F (eds) Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer, Dordrecht, pp 135–175.
- Carrara, A., Guzzet, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard. Natural Hazards, Vol. 20 (2-3), pp. 117-135.
- Casagrande, A., 1932. *Research on the Atterberg limits of soils*. Public Roads, 13, 121-136.
- Cascini, L., Bonnard, Ch., Corominas, J., Jibson, R., Montero-Olarte, J., 2005. Landslide hazard and risk zoning for urban planning and development. State of the Art report. Proceeding of the International Conference on Landslide Risk Management. Hungr, Fell, Couture & Eberhardt (Eds.), A.A. Balkema Publishers, pp. 199-235.
- Cetin, H., Laman, M. & Ertune, A., 2000. Settlement and slaking problems in the world's fourth largest rock-fill dam, the Ataturk Dam in Turkey. Eng. Geol. 56 3–4 (2000), pp. 225–242.
- Çevik, E. & Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey). Environ. Geol., 44(8): 949-962.
- Chandler, R.J., 1969. The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper Marl. Geotechnique, 19, No 3, 321-334.
- Chang, K., 2003. Introduction to Geographic Information Systems, International Edition: McGraw-Hill.
- Chang, H. & Kim, N.K., 2004. *The evaluation and the sensitivity analysis of GIS-based landslide susceptibility models*. Geosciences Journal, Vol. 8, No. 4, p. 415-423.

- Christoulas, S., Kalteziotis, N., Gassios, E., Sabatakakis, N., Tsiambaos, G., 1989. Instability phenomena in weathered flysch in Greece. Proceedings of the 5th.
- Coates, D.R., 1977. Landslide perspectives. In: Landslides (D. R. Coates, Ed.) Geological Society of America, pp. 3-28.
- Corceix, H., 1873. *Notice sur le bassin miocenique d' eau douce de Koumi (Eubèe)*. Ann. Ecole Norm. Sup. 2, S. 317-321.
- Comninakis, P.E. & Papazachos, B.C., 1986. A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1985. Publ. Geophys. Lab., Univ. Thessaloniki, No 1, pp.167.
- Corominas, J. & Santacana, N., 2003. *Stability analysis of the Vallcebre translational slide, Eastern Pyrenees (Spain) by means of a GIS*. Nat Hazards 30(3), pp.473–485.
- Cordella, 1878. La Grece sous le rapport geologique et mineralogique. Edition Parent, Paris.
- Coumantakis, J., 1989. Une classification Geotechnique simple des molasses. Bulletin de l'Association Internationale de GEOLOGIE DE L'INGENIEUR, No 39, Paris.
- Conoscenti, C., Di Maggio, C. & Rotigliano, E., 2008. GIS analysis to assess landslide susceptibility in a fluvial basin of NW Sicily (Italy), Geomorphology, 94, 325–339.
- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 43(1), pp. 27-29.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., Paudyal, P., 2008. Predictive modeling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. Geomorphology 102, 496–510.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. Environmental Geology 40: 381–391.
- Dai, F.C. & Lee, C.F., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, Volume 42, Issue 3-4, 213-228.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology, 64 (1), pp. 65–87.
- Datta, M., Gulhati, S.K., Rao, G.V., 1982. Engineering behavior of carbonate soils of India and some observations on classification of such soils, in Geotechnical

properties. Behaviour, and Performance of Calcareous Soils, ASTM Special

Technical Publication 777, American Society for Testing and Materials, 113-40.

- Davis, A.G., 1967. *The mineralogy and phase equilibrium of Keuper Marl*. Engng. Geol., 1, 25-38.
- Dearman, W.R. & Matula, M., 1976. Environmental aspects of Eng. Geological Mapping. Bulletin of I.A.E.G., 14, 141-146.
- Deere, D., Don, U., Varde, O., 1986. Engineering geological problems related to foundations and excavations in weak rocks, general report. Proc. 5th Int. AEG Congress, Buenos Aires. Balkema, Rotterdam.
- Dehn, M., Gartner, H., Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures. Computers & Geosciences 27, pp 1005–1010.
- DeMers, M.N., 2002. GIS Modeling in Raster. New York: John Wiley & Sons, p.203.
- Deprat, J., 1904. *Etude géologique et petrographique de l'île d'Eubée*. Besançon: Typographie et lithographie Dodivers et cie. 2 p. l., 230 p. illus., plates (partly fold.), fold. maps, fold. tables, diagrs. 26 cm. (Harvard Kummel Geological Sci: QE271.D42).
- De Saporta, G., 1868. Sur la flore fossile de Coumi (Eubèe). Bull. Soc. Geol. Fr., 2 (25), p. 315-328.
- De Saporta, G., 1873. Exaimen critique d' une collection de plantes fossils de Coumi (Eubèe). Ann. Ec. Norm. Sup. 2, S.323-352.
- Dhakal, G., Yoneda, T., Kato, M., Kaneko, K., 2002. *Slake durability and mineralogical properties of some pyroclastic and sedimentary rocks*. Eng Geol 65:31–45.
- Dhakal, G., Kodama, J., Yoneda, T., Neaupane, K. & Goto, T., 2004. *Durability characteristics of some assorted rocks*. J. Cold Reg. Eng., 18, 110-122.
- Dick, J.C. & Shakoor, A., 1992. Lithological controls of mud rock durability The Geological Society. Q. J. Eng. Geol. 25 (1992), pp. 31–46.
- Dick, J.C.& Shakoor, A., 1995. Characterizing durability of mud rocks for slope stability purposes. Geol. Soc. Am., Rev. Eng. Geol. X, pp. 121–130.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. & Ibsen, M., 1996. Landslide Recognition.Identification, Movement and Causes. Wiley & Sons, Chichester, pp. 274.

- Dikau, R. & Saurer, H., 1999. GIS for Earth Surface Systems Analysis and Modelling of the Natural Environment: Stuttgart, Borntraeger, 197 p.
- Dingman S. L, 2002. Physical Hydrology, Upper Saddle River, New Jersey: Prentice -Hall.
- Dounias, G.T., Costopoulos, S. & Kavounidis, S., 1993. A marl of Samos as fill. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical engineering of Hard Soils – Soft Rocks. Athens. Balkema, Rotterdam.
- Dragut, L., Blaschke, T., 2006. Automated classification of landform elements using objectbased image analysis. Geomorphology 81, pp 330–344.
- EM-DAT, 2012. The OFDA/CRED International Disaster Database www.emdat.be Université catholique de Louvain – Brussels – Belgium.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C., Van Asch, Th.W.J., 2004. Landslide Susceptibility Zoning North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques. Natural Hazards, 32: 1–23.
- Erskine, C.F., 1973. Landslides in the vicinity of the Fort Randall reservoir, S. Dakota. U.S. Geoogical. Survey Professional Paper, vol. 675, pp. 64.
- European Environmental Agency, 2006. CORINE Land Cover, European Environmental Agency, Luxembourg.
- Fauziah, A., Yahaya, A, S. & Farooqi, M.A. 2006. Characterization and geotechnical properties of Penang residual soils with emphasis on landslides. American Journal of Environmental Sciences, 2, pp121- 128.
- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In Landslide Risk Management, Editors O Hungr, R Fell, R Couture and E Eberhardt, Taylor and Francis, London, pp. 3-26.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W.Z., 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology, 102 (3–4), pp. 85–98.
- Ferrière, J., 1976. Sur la signification de séries du massif d'Othris (Grèce continentale centrale) : la zone isopique maliaque. Ann. Soc. Geol. Nord, 96/2, 121-134.
- Fiedler, K.G., 1841. Reise durch alle Teile des Königreiches Griechenland (1834-1837). Leipzig.

- Fookes, P.G., Dearclan, W.R. & Franklin, I.A., 1971. *Some engineering aspects of rock weathering*. Quarterly Journal of Engineering Geology. Vol. 4, pp. 139-185.
- Franklin, J.A. & Chandra, A., 1972. J.A. *The slake durability test*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr. 9, pp. 325–341.
- Frydmana, S., Talesnicka, M., Geffenb, S., Shvarzmanc, A., 2007. Landslides and residual strength in marl profiles in Israel. Engineering Geology, Volume 89, Issues 1–2, 12 January 2007, Pages 36–46.
- Fuchs, Th., 1876. Über die Verbindung mit Flyschgesteinen und grünen Schiefern vorkommenden Serpentine bei Kumi auf Euboea. S.B. A.W. 72, S.338-342, Wien.
- Fyticas, M., Gyulani, O., Innocenti, F., Marinelli, G & Mazzuoli, R., 1976. Geochronological data on Recent magmatism of the Aegean Sea. Tectonophysics, 31, p. 129-134.
- Ganić, M., Lazić, M., Knežević, S., Rundić, L., 2012. Geological and engineering geological conditions for formation of landslide in cement marl at open pit "Filijala", Beocin.
- Gaudry, A., 1860. Plantes fossils de l'ile de l'Eubee. C.R.Acad. Sc., Paris, 50, p. 1093-1095.
- Georgiades Dikeoulia, E., 1969. *Le Pliocene maris au NE du l; Eubee centrale*. Ann. Geol. Pays Hell., 21, p. 661.
- Gercek D., 2010. Object based classification of landforms based on their local geometry and geomorphometric context. PhD Thesis. Department of Geodetic and Geographic Information Technologies. Middle East Technical University.
- Ghosh, P., Huang, L., Yu, B. & Tiwari, R.C., 2009. Semiparametric Bayesian approaches to joinpoint regression for population-based cancer survival data. Comput. Statist. Data Anal. 53 4073–4082.
- Gokceoglu, C. & Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Eng. Geol., 44, 147–161.
- Gokceoglu C., Ulusay R. & Sonmez., H., 2000. Factors affecting durability of selected weak and clay bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Eng. Geol. 57 3–4 (2000), pp. 215–237.

- Gorceix, H., 1874. Note sur l'ile de Cos et sur quelques bassins tertiaires de l'Eubee, de la Thessalie et de la Macedoine. Bull. Soc. Geol. de France. 3e Serie, II. Paris, s. 398 u.403.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P.E. & Foltz, R.B., 2000. Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Discriminant Analysis and GIS. GIS in the Rockies 2000 Conference, pp. 1-10.
- Guernet, C. & Sauvage, J., 1969. Sur la microflore des lignite set calcaires marneux des bassins neogene de Kymi et DE Gides (Eubee, Grece). C.R.Acad.Sc. Paris, 169, p. 1611-1613.
- Guernet, C., 1971. *Etudes Géologiques en Eubée et dans les Régions Voisines (Grèce)*. Faculté des Sciences de Paris, p.353, Paris.
- Guth, P.L., 2001. Quantifying terrain fabric in digital elevation models, in Ehlen, Judy, and Harmon. R.S., eds., The environmental legacy of military operations: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, v. 14, p. 13-25.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy. Geomorphology 31, pp. 181–216.
- Harvey, C.A. & Eash, D.A., 1996. Description, instructions, and verification for BASINSOFT, a computer program to quantify drainage-basin characteristics. U.S. Geological Survey, Water- Resources Investigations Report 95-4287, 25 p.
- Hatheway, A.W., 1990. Perspectives No 5: weak rock, poorly lithified cockroaches and snakes. AEG News 33(3) : 33-36.
- Hawkins, A., Lawrence, M.S., Privett, K.D., 1988. *Implications of weathering on the engineering properties of the Fuller's Earth formation*. Geotechnique, 38, 517-32.
- Hawkes, I. & Mellor, M., 1970. Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. Eng. Geol., 4, pp. 177-285.
- Hengl, T. & Reuter, H.I., 2008. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*.Developments in Soil Science, vol. 33, Elsevier, 772 pp.
- Holtz, R.D. & Kovacs, W.D., 1981. An Introduction to Geotechnical Engineering.

- Hsu, S.C. & Nelson, P.P., 1993. Characterization of cretaceous clay shales in North America. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Hutchinson, J.N., 1968. Mass Movement. In the Encyclopedia of Geomorphology (Fairbridge, R.W. ed.), Reinhold Book Corp., New York, pp. 688-696.
- Hutchinson, J.N., 1995. Keynote paper: Landslide hazard assessment. Proceedings 6th International Symposium on Landslides, Christchurch. Balkema, Rotterdam, pp. 1805-1841.
- IAEG Commission on Landslides, 1990. Suggested Nomenclature for Landslides, Bull. Int. Assos. Of Engineering Geology, 441, pp. 13-16.
- Ibetsberger, H.J., 1996. *The Tsergo Ri Landslide: an uncommon area of high morphological activity in the Langthang valley, Nepal.* Tectonophysics, Vol. 260, p. 85-93.
- IDNDR, 1992. Glossary: Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, DHA-Geneva, 83 pp.
- Ilia, I., Rozos, D, Perraki, Th. & Tsangaratos, P., 2009. Geotechnical and mineralogical properties of weak rocks from central Greece. Cent. Eur. J. Geosci. DOI: 10.2478/v10085-009-0029-0.
- Ilia, I., Koumantakis, I., Rozos, D., Markantonis K. & Tsagaratos, P., 2008. Landslide Phenomena in Kimi area, Euboea Island, Central Greece. EGU General Assembly, Vienna.
- Ilia, I., Tsangaratos P., Koumantakis, I., Rozos, D., 2010. Application of a Bayesian approach in GIS bases model for evaluating landslide susceptibility. Case study Kimi area, Euboea, Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, 2010.
 Proceedings of the 12th International Congress, Patras.
- Ioakim, Ch., Rondoyianni, Th., Mettos, A., 2005. The Miocene basins of Greece (Eastern Mediterranean) from Paleoclimatic prespective. Revue de Paleobiologie, 24 (2), 735-748.
- ISRM, 1981. Basic Geotechnical Description of Rock Masses, [USD 5].
- ISRM, 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring (ISRM Suggested methods). Editor E. Brown. Pergamon Press, New York, 211p.

- ISRM, 1985. *Suggested method for determing point load strength*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. 22, pp. 51-62.
- Jaboyedoff, M., Baillifard, F., Philippossian, F. & Rouiller, J.D., 2004. Assessing fracture occurrence using `weighted fracturing density`: A step towards estimating rock instability hazard. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 4: 83-93.
- Jaiswal, P., van Westen, C.J. & Jetten, V., 2011. Quantitative assessment of landslide hazard along transportation lines using historical records. Landslides, doi:10.1007/s10346-011-0252-1.
- Jenness, J., 2006. Topographic Position Index (TPI) v 1.2. Extension for ArcView 3x. Jenness Enterprices, web site: http://www.jennessent.com.
- Jenson K. & Dominique J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. Photogram etric Engineering and Remote Sensing, 54 (11): 1593-1600.
- Jenson S.K., 1991. Application of Hydrologic Information Automatically Extracted from digital Elevation Models.in Bevan, K.J. and Moore I.D. (eds), Terrain Analysis and distributed modeling in Hydrology, Chichester, England:Wiley.
- Jimenez-Peralvarez, J.D., Irigaray, C., El Hamdouni, R., Chacon, J., 2009. Building models for automatic landslide-susceptibility analysis, mapping and validation in ArcGIS. Nat Hazards 50: pp. 571–590.
- Johnson, R.B. & DeGraff, J.V., 1988. Principles of Engineering Geology, Wiley, New York (1988). Clay Sci. 9 (1994), pp. 225–237.
- Johnston, I.W. & Novello, E.A., 1993. Soft rocks in the geotechnical spectrum. Proc. Of Int. Symp. In Geotech. Eng. of Hard soils – soft rocks, Anagnostopoulos et al (Eds) Balkema, Rotterdam, 1, 177-184.
- Jones, F.O., Embody, D.R., & Peterson, W., 1961. Landslides Along the Columbia River Valley, Northeastern Washington. U.S. Geological Survey, Professional Paper 367, 98pp.
- Jordan, G., Meijninger, B.M.L., Van Hinsbergen, D.J.J., Meulenkamp, J.E., Van Dijk, P.M., 2005. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and applications for study areas in Hungary and NW Greece. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 7, pp 163–182.

- Jordan, G., 2007. Digital terrain analysis in a GIS environment. Concepts and development in digital terrain modeling. Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-43.
- Jurko, J., Paudits, P. & Vlcko, J., 2006. Landslide susceptibility map of Liptovska kotlina basin using GIS. The Geological Society of London, IAEG Paper number 162, pp. 1-7.
- Karsten, D., Terralogix Consulting & Willem de Frey, 2009. Landform classification using GIS. Ekoinfo, PositionIT, GIS Technical, pp 30-34.
- Katsikatsos, G. & Kollmann H.A., 1986. An Upper Cretaceous Mollusc Fauna from the Marbles of Almyropotamos (Euboea, Greece).
- Katsikatsos, G., 1969. L'age du systeme metamorphique de l'Eubee meridionale et sa subdivision stratigraphique (Note preliminaire). Praktika Akadimias Athinon. Vol. 44. 223-238.p.
- Katsikatsos, G., 1970. *Les formations triassiques de l'Eubee centrale*. Ann. geol. Pays hellen., 22: 62-76, 4 textfig. Athine.
- Katsikatsos, G., 1971. L'âge du système métamorphique de l'Eubee méridionale et sa subdivision stratigraphique. Praktika Akad. Athin., 44: 223-238, 1 textfig., 1 map. -Athine.
- Katsikatsos, G., 1976. *La structure tectonique d'Attique et de l' île d' Eubée*. Bull Soc Gool France 19 : 211-228.
- Katsikatsos, G., 1979. La structure tectonique d'Attique et de l'ile d'Eubée. Proc. Inst. Geol. Mining Research, 1: 211-220, 8 textfig. - Athine.
- Katsikatsos, G., 1977. *La structure tectonique d' Attique et l' ile d' Eubee*. Proc. Vth Coll. On the Aegean Region, Athens, (IGME Publ.), v. 1, 211-228.
- Katsikatsos, G., De Bruijn, H. & Van der Meulen, A.J., 1981. The Neogene of the island of Euboea (Evia), a review. Geol. Mijnbouw, 60: 509-516.
- Katsikatsos, G., 1991. *Geological map of Greece, Aliveri sheet*. I.G.M.E. (Institute of Geology and Mineral Exploration, gen. di. V. Andronopoulos).
- Katsikatsos, G., Mettos, A., Vidakis, M. & Dounas, A. 1986. Geological Map of Greece in scale1:50.000, "Athina-Elefsis" sheet, I.G.M.E. Publ., Athens.

- Kavvadas, M., 2000. General report: Modelling the soil behaviour Selection of soil parametres. The Geotechnics of Hard Soils-Soft Rocks. (Ed.Evangelista & Picarelli), Balkema, 1441-1481.
- Kayastha, P., Dhital MR., De Smedt F., 2012. *Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal.* Nat Hazards, 63:479-498.
- King, C., 1981. *The stratigraphy of the London Basin and associated deposits*. Tertiary Research Special Paper, Vol. 6, Backhuys, Rotterdam.
- King D. & MacGregor C., 2000. Using social indicators to measure community vulnerability to natural hazards. Aust J Emerg Manage 15(3), pp. 52–57.
- Kokkalas, S. & Doutsos, T., 2001. Strain-dependent stress field and plate motions in the south-east Aegean region. J. GEODYN. 32 (3): 311-332.
- Kokkalas, S., 2001. Tectonic evolution and stress field of the Kymi Aliveri basin, Evia Island, Greece. Athens, T. XXXIV, *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 34, pp. 243 – 249.
- Kolay, E. & Kayabali, K., 2006. Investigation of the effect of aggregate shape and surface on the slake durability index using the fractal dimension approach. Engineering Geology 86. pp. 271-284.
- Kossmat, F., 1924. Geologie der Zentral Balkanhalbinsel. Die Kriegsschanplatz 1914– 1918 geologisch dargestelt, vol. 13. 198 pp., Berlin.
- Kouki, G.A., 2006. Engineering geological geotechnical parameters and mechanical behaviour of hard soils and soft rocks in the design of underground works, PhD thesis, University of Patras, Greece (in Greek).
- Koukis, G. & Ziourkas, C., 1991. Slope instability phenomena in Greece: A statistical analysis. Bulletin of IAEG, 43, pp. 47-60.
- Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1994. Slope movements in the Greek territory: A statistical approach. Proceedings of the 7th International Congress of the International Association of Engineering Geology, Lisboa, Portugal, 5 – 9 Sept., Vol. 7:4621 – 4628.
- Koukis, G., Tsiambaos, G., Sabatakakis, N., 1997. Landslide movements in Greece: Engineering geological characteristics and environmental consequences.

Proceedings International Symposium of Engineering Geology and the Environment, Athens, June 23-27(1), pp. 789-792.

- Koukis, G., Sabatakakis, N., Lainas, S., 2007. Soil suitability estimation for housing purposes in landslide prone areas. The case of Karya village, Patras, W. Greece.
 Bull of Geological Society of Greece, Proc.11th Int. Congr., Vol.XXX, 1683 1694.
- Ktenas, A.K., 1907. Tschermak's Min. Petr. Mitt. 1907, pp. 257-323.
- Kuhnel, R.A., Van der Gaast, S.J., Brych, J., Laan G.J. & Kulnig, H., 1994. *The role of clay minerals in durability of rocks observations on basaltic rocks*. J. Appl.
- Lainas, S., Sabatakakis, N., Koukis, G., 2006. Landslide phenomena affecting the urban planning: the surrounding area of the city of Patras, western Greece. 11th International. Symposium on Natural and Human induced hazards 2nd workshop on earthquake prediction, University of Patras, p.63.
- Lambe, T.W. & Whitman, R.V., 1979. Soil Mechanics, SI Version, John Wiley & Sons.
- Lee, S., Choi, J., Min, K., 2002. Landslide susceptibility analysis and verification using the *Bayesian probability model*. Environmental Geology, vol. 43, pp. 120-131.
- Lee, S., Joo, H. R. Joong S.W., Hyck, J.P., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping: using an artificial neural network. Engineering Geology. v71. 289-302.
- Lee, S. & Choi, J., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-ofevidence model. Int J Geogr Inf Sci 18:789–814.
- Lee, S., 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. Int J Remote Sens 26:1477– 1491.
- Lewis, J., 1999. Development in disaster-prone places studies of vulnerability (London: Intermediate Technology Publications Ltd).
- Li, Z., F. Nadim, Huang H., Uzielli, M., Lacasse, S., 2010. Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards." Landslides, pp. 1-10.
- Lindenmayer, D.B. & Fischer, J., 2006. Habitat Fragmentation and Landscape Change An Ecological And Conservation Synthesis, Island Press, USA, 2006.
- Liu, 2006. Site-specific Vulnerability Assessment for Debris Flows: Two Case Studies, Journal of Mountain Science Vol 3 No 1, pp. 20-27.

- Mackenzie, R.C., 1957. *The Differential Thermal Investigation of Clays*. Mineralogical Society, London.
- Maheras, P., 1979. Climatologie de la mer Ergee et de ses marges continentals, These d' Etat, Universe de Dijon, p. 783, 1979.
- Maharaja, R., 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St.Andrew, Jamaica, West Indies. Engineering Geology, Vol. 34, pp. 53-79.
- Marin, A., 1992. Costs And benefirs of risk reduction. Appendix in Risk: Analysis, Perception and Management. Report of a Royal Society Study Group, London, 192-201.
- Marinos, P., 1993. General report: Hard soils soft rocks: Geological features with special emphasis to soft rocks. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Mario, P., Pasuto, A., Silvano, S. & Soldati, M., 1996. Temporal occurrence and activity of landslides in the area of Cortina d'Ampezzo (Dolomites, Italy). Geomorphology, 15, 311 - 326.
- Martinez-Bofill, J., Corominas, J., Soler, A. 2004. *Behaviour of the weak rock cutslopes* and their characterization using the results of the Slake Durability Test.
 In: "Engineering Geology for Infrastructure Planing in Europe", R. Hack, ed. Springer.
- Mathew, J., Jha, V.K. & Rawat, G.S., 2007. Weights of evidence modeling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhanda. Current Science, 92, pp. 628–638.
- Minár J. & Evans I.S., 2008. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping.
 Geomorphology 95, pp 236-259.
- Mitsopoulos, M., 1947. *Die Verbreitung der Pikermistufe auf der Insel Euboa*. Ann.Geol.Pays Hellen., 1, p. 209-216.
- Moore, I.D., Grayson, R.B. & Ladson, A. R., 1991. Digital terrain modeling a review of hydrological, geomorphological, and biological applications, Hydrol. Process., 5, 3– 30.

- Moore, I.D., 1996. Hydrological Modeling and GIS, in Goodchild, M.F., Steyaert, L.T., Parks, B.O., Johnston, C. Maidment, D. Crane M.and Glendinning, S. (eds), GIs and Environmental Modeling:Progress and Research Issues, Fort Collin, Co:GIS World Banks.
- Moore, D.M. & Reynolds, R.C., 1997. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. 2nd Ed., Oxford University Press, New York, 378pp.
- Morgenstern, N.R. & Eigenbrod, K.D., 1974. Classification of argillaceous soils and rocks. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 100, No. GT10, Proc. Paper 10885, Oct. 1974, p. 1137-1156.
- Msilimba, G.G. & Holmes, P.J., 2005. A landslide hazard assessment and vulnerability appraisal procedure: Vunguvungu/Banga catchment, Northern Malawi. Natural Hazards, 34, 199 - 216.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod, K.R., Mukherjee, A., Khire, M.V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions: Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 58, pp. 275–287.
- Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C. & Sonmez, H., 2008. A n assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. Engineering Geology, Vol. 97, 71-171.
- Negris, Ph., 1915-1919. Rôches cristallophylliennes et tectonique de la Grèce. Ref. Pia: N. Jah. F. Min. Geol. Pal. Beil., I, 100p.
- Neuhäuser, B. & Terhorst, B., 2007. Landslide Susceptibility Assessment Using Weightsof-Evidence Applied on a Study Site at the Jurassic Escarpment of the Swabian Alb (SW Germany). Geomorphology 86, p. 12-24.
- Ohlmacher, G.C., 2000. *The relationship between geology and landslide hazards at Atchison, Kansas and vicinity*. Current Research in Earth Science, 244, 1 – 16.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. & Chander, R., 1998. Landslide zoning in a part of the garhwal himalayas. Envir. Geol., 36: 325-334.
- Papazachos, B.C. & Papazachou C., 1989. Earthquakes in Greece. Editor Ziti, Thessaloniki.

- Patton, F.D. & Deere, D.U., 1971. *Geologic Factors Controlling Slope Stability in open Pit Mines. In Stability in Open Pit Mining*. Brawner, C.O., and Milligan, V., eds., Society of Mining Engineers, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, pp. 23-48.
- Pelling, M., 2003. Vulnerability of Cities, Natural Disasters and Social Resilience. Earthscan, London, UK, 212 pp.
- Petley, D.J., 1984. Ground investigation, sampling and testing for studies sof slope instability. In Slope Instability, edited by D. Brunsden and D.B. Prior, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Pettijohn, E.J., 1975. Sedimentary rocks. Harper and Row. New York.
- Philippson, A., 1951. Die griechischen Landschaften. Handschrift, [H. 7-9].
- Poli, S. & Sterlacchini, S., 2007. Landslide representation strategies in susceptibility studies using Weight – of – Evidence modelling technique. Nat Resour Res 16 (2):121-134.
- Porwal, A., Carranza, E.J.M. & Hale, M., 2006. Bayesian network classifiers for mineral potential mapping. Journal Computers & Geosciences. Vo 32 (1), pp.16.
- Prima, O., Echigo, A., Yokoyama, R., Yoshida, T., 2006. Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. Geomorphology 78, pp 373–385.
- RegmiI, N.R., Giardino, J.R. & Vitek, J.D., 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. Geomorphology, 115, pp. 172–187.
- Remondo, J., Bonachea, J., Cendrero A., 2008. Quantitative landslide risk assessment and mapping on the basis of recent occurrences." Geomorphology, 94, pp. 496-507.
- Rocha, M., 1977. Some problems related to rock mechanics of low resistance. LNEC, Memória No 491, 1, Lisboa.
- Rodrigues, J.D., 1991. *Physical characterization and assessment of rock durability through index properties*. NATO ASI Ser. E. Applied Sci. 200 (1991), pp. 7–34.
- Rodrigues, J.D., 1993. Introduction: Assessment of the degradability of soft rocks. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks, Athens.
 Balkema, Rotterdam.

- Rozos, D. & Koukis, G., 1993. Slake-durability and geomechanical behavior of the fine grained Miocene sediments of the NW Peloponnesus, Greece. Geotechnical engineering of hard soils - soft rocks, vol. 1, A.A. Balkema, Rotterdam, 261-268.
- Rozos, D., Pyrgiotis, L., Skias, S., Tsagaratos, P., 2008. An implementation of rock engineering system for ranking the instability potential of natural slopes in Greek territory. An application in Karditsa County. Landslides, Vol. 5 no3, 261-270.
- Russegger, J., 1841. Reise in der Levante und in Europa: mit besonderer Rucksicht auf die naturwissenschaftlichen Verhaltnisse der betreffenden Lander; unternommen in den Jahren 1839 bis 1841. Band 1, Teil 1. Stuttgart.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A., Marturia, J., 2003. A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in la Pobla de Lillet area (Easter Pyrenees, Spain). Natural Hazards 30: 281-295.
- Sabatakakis, N., Tsiambaos, G., & Koukis, G., 1993. Index properties of soft marly rocks of the Athens basin, Greece.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Mourtas, D., 2005.*Composite landslides induced by heavy rainfalls in suburban areas: City of Patras and surrounding area, western Greece*. Landslides 2:202 – 211.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S., 2013. Landslide susceptibility zonation in Greece. Natural Hazards, 65, 1, 523-543.
- Saha, A.K., Gupta, R.P. & Arora, M.K., 2002. *GIS based landslide hazard zonation in a part of the Himalayas*. Int J Remote Sens, 23, pp 357-369.
- Sakellariou, M.G. & Ferentinou, M.D., 2001. *GIS-Based Estimation of Slope Stability*. Natural Hazards Review (ASCE), vol. 2, pp. 12-21.
- Sauvage, 1846. Observations sur la geologie d'une partie de la Grèce continentale et de l'île d'Eubée. Annales des Mines, ser.4 10.
- Schmidt, J. & Hewitt, A., 2004. *Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position*. Geoderma 121, pp 243–256.
- Seed, M.B., Woodward, R.J. & Lundgren, R., 1962. Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 88, No SM3, 53.

- Sharma, M. & Kumar, R., 2008. GIS-based landslide hazard zonation: a case study from the Parwanoo area, Lesser and Outer Himalaya, H.P., India. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 67, 129–137.
- Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V., 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. Geoderma 107, pp 1–32.
- Sidle, R.C. & Ochiai, H., 2006. Landslides: Processes, Prediction, and Land Use. Water Resources Monograph 18, American Geophysical Union: Washington, DC.
- Singh, T., Verma, A., Sinngh, V., Sahu A., 2005. *Slake durabilità study of shaly rock and its predictions*. Environ. Geol., , 47, 246-253.
- Skempton, A.W., 1953. *The Colloidal activity of Clay*. Proc. of the 3rd Int. Conference on Soil Mechanics Foundation Eng., Zurich, Vol. 1, 57-61.
- Skempton, A.W., 1964. Long Term Stability of Clay Slopes. Geotechnique, Vol. 14, No. 2, pp. 77-101.
- Skempton, A.W. & Hutchinson, J.N., 1969. Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations. Proc., 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, State-of-the Art Vol., , pp. 291-340.
- Smith, W.K., 1996. Photogrammetric determination of slope movements on the Slumgullion landslide, in Varnes. D.J., and Savage, W.Z., eds., The Slumgullion earth flow: A large-scale natural laboratory: U.S. Geological Survey Bulletin 2130, p. 57-60.
- Smykatz-Kloss, W., 1974. Differential Thermal Analysis. Wyllie, P.J. (edt.), Minerals, Rocks and Inorganic Materials, Springer-Verlag, Berlin, 185.
- Soeters, R. & van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. Special Report - National Research Council, Transportation Research Board, 247, pp. 129-177.
- Spratt, Th., 1847. *On the Geologie of a part of Euboea and Beotia*. Journ. Of the Ged. Soc., III, 5-67.
- Spiegelhater, D., Knill-Jones, R.P., 1984. Statistical and knowledge approaches to clinical decision-support systems, with an application in gastroenterology. J R Stat Soc 147:35–77.

- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Am. Geophys. Union Trans. 38 (6): 931-920.
- Tagil, S. & Jenness, J., 2008. GIS-Based Automated Landform Classification and Topographic, Landcover and Geologic Attributes of Landforms around the Yazoren Polje, Turkey. Journal of Applied Sciences 8 (6): 910-921, ISSN 1812-5654, Asian Network for Scientific Information.
- Tangestani, M.H., 2003. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS. Kakan, catchment area, Iran. Proceedings of 6th annual International Map India Conference 2003, New Delhi.
- Teller, F.J., 1880. Der geologische Bau der Insel Euboea. Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften zu Wien Math.-Natu. Kl., 40: p. 129-182. (Harvard Museum Comp Zoology: Pz-G 352 G-Geol.& Palaeont. 56).
- Terzaghi, K., 1931. Earth Slips and Subsidences From Underground Erosion. Engineering News- Record, Vol. 107, July 16, , pp. 90-92. (2.174).
- Terzaghi, K., 1950. *Mechanics of Landslides*. Geol. Soc. Of Am., Bekley Volume, p. 83-124, New York.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B., 1967. Soil Mechanics in engineering practice. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Tsangaratos, P., Ilia, I., Rozos, D., 2011. *Case Event System for landslide susceptibility analysis*. Proceedings of the Second World Landslide Forum – 3-7 October, Rome.
- Tsiambaos G., 1990. Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls. Eng. Geol., 30, 357-369.
- Tsiambaos, G. & Sabatakakis, N., 2004. *Considerations on strength of intact sedimentary rocks*. Engineering Geology, Elsevier, 72, 261-273.
- UNESCO/IAEG, 1976. Engineering geological maps. A guide to their preparation, 79 p. The Unesco Press, Paris.
- Unger, F., 1867. *Die fossile Flora von Kumi auf der Insek Euboea*. Denkschr K. Akad. Wiss., math-nat, KI,19, Wien.
- Van Der Merwe, D.H., 1964. *The Prediction of Heave from the Plasticity Index and Percentage Clay Fraction of Soils*. Trans. SAfri. Instn Civ Engrs, 6(6), 103 - 107.

- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geologische Rundschau 86, pp. 4004–4414.
- Van Westen, C. J., Rengers, N. & Soeters, R., 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. Natural Hazards, 30, 399–419, 2003.
- Van Westen, C.J., Castellanos, E., Kuriakose, S.L., 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. Engineering Geology, 102, pp. 112-131.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movements types and processes. R.L. Schuster, R.L. Krizek (Eds.), Landslides: Analysis and Control. Special Report 176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., pp. 11–33.
- Varnes, D.J. & IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements, 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice, UNESCO Press, Paris.
- Vaughan, P.R., 1993. Engineering behaviour of weak rocks: Some answers and some questions. Proc. of Int. Symp. on Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks. Balkema, Rotterdam.
- Vergely, P., 1984. Tectoniques des ophiolites dans les Hellenides Internes (déformation, métamorphismes et phénomènes sédimentaires). Conséquences sur l'évolution de la région Tethysiennes Occidentales. PhD thesis, Univers. de Paris-Sud, Orsay.
- Ward, C.R., Nunt-Jaruwong, S., Swanson, J., 2005. Use of mineralogical analysis in geotechnical assessment of rock strata for coal mining. Int. J. Coal Geol., 64, 156-171.
- Way, D., 1978. Terrain analysis, New York, USA: McGraw-Hill.
- Weiss, A., 2001. Topographic position and landforms analysis. Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.
- Wen, B.P., Wang, S.J., Wang, E.Z. & Zhang, J.M., 2004. Characteristics of rapid giant landslides in China. Landslides, 1: 247-261.
- Wieczorek, G.F., 1984. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction: Association of Engineering Geologists Bulletin, v. 21, no. 3, p. 337– 342.

- Williams, A.A., 1985. Discussion on Jennings and Knight's paper. Trans. S. Afr. Inst. Civ. Engrs, B., No 6, 123-124.
- Wilson, M.A., 1987. NMR techniques and applications in geochemistry and soil chemistry, 1st Edition Pergamon Press, Oxford.
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C., 2000. Terrain analysis—Principles and Applications: Chichester UK & NY, Wiley, 479 p.
- Wong, H.N., 2005. Landslide risk assessment for individual facilities. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R. Eberhardt, E. (Eds.), Landslide Risk Management. Taylor and Francis, London, pp. 237–298.
- Wood, E.F., Sivapalan, M. & Beven, K.J., 1990. Similarity and scale in catchment storm Response. Reviews of Geophysics 28, 1-18.
- WP/WLI, 1991. A Suggested Method for a Landslide Summary. Bull. of the Int. Assos. Engineering Geology, 43, pp. 101-110.
- Wright, D.F., Bonham-Carter, G.F. & Rogers, P.J., 1988. Spatial data integration of lakesediment geochemistry, geology and gold occurrences, megum a terrane, eastern nova scotia, prospecting in areas of Glaciated Terrain. CIMM Meeting, Halifax, Sept. 1988, pp: 501-515.
- Wu, W. & Sidle, R.C., 1995. A distributed slope stability model for steep forested hillslopes. Water Resources Research, 31(8), 2097-2110.
- Wu, S., Jin, Y., Zhang, J. Shi & Dong, C., 2004. Investigations and assessment of the landslide hazards of Fengdu County in the reservoir region of the three Gorges project on the yangtze river. Environ. Geol., 45: 560-566.
- Xie, M., Esaki, T., Zhou, G., 2004. *GIS-Based Probabilistic Mapping of Landslide*. Natural Hazards, pp. 265–282.
- Xypolias, P., Kokkalas, S., Skourlis, K., 2003. Upward extrusion and subsequent transpression as a possible mechanism for the exhumation of HP/LT rocks in Evia Island. Journal of Geodynamics, Vol.35, pp 303-332.
- Yılmaz, I., Karacan, E., 2005. Slaking durability and its effect on the doline occurrence in the gypsum. Environmental Geology, 47 (7), 1010-1016.

- Yalcin, A., 2005. An investigation on Ardesen (Rize) region on the basis of landslide susceptibility. PhD Thesis, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey. (in Turkish).
- Yalcin, A., 2007. *The effects of clay on landslides: A case study*. Applied Clay Science, 38, 78-85.
- Zaruba, Q. & Mencl, V., 1969. *Landslides and their control*. 1st ed, Elsevier, Amsterdam, pp. 205.
- Zezere, J.L., Garcia, R.A.C., Oliveira, S.C., Reis, E., 2008. Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal), Geomorphology, 94, pp. 467–495.
- Zevenbergen, L.W. & Thorne, C.R., 1987. *Quantitative analysis of land surface topography*. Earth Surface Processes and Landforms 12, (1), 47-56.
- Αγγελίδης, Χρ., 1998. Έκθεση κατολισθητικών φαινομένων που έπληζαν την κοινότητα Βίταλα και τον οικισμό Δέντρα κοινότητας Ανδρωνιάνοι του Ν. Ευβοίας. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, IΓΜΕ, T-1989, E-22.
- Αλεξούλη Λειβαδίτη, Α., 1978. Τα μικτά θειούχα μεταλλεύματα της περιοχής Καλλιάνου, Νοτίου Εύβοιας. Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Μηχ. Μεταλλείων Μεταλλουργών, ΕΜΠ, Αθήνα, pp. 117.
- Αναστοπούλος, Ι., 1962. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Κύμη, κλ. 1:50.000, Γεωλογική χαρτογράφηση των Νεογενών σχηματισμών.
- Αναστοπούλος, Ι., 1965. Εκθεση εξετάσεως κατολισθήσεως κοινότητας Βιτάλων Ευβοίας. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕΕ-22.
- Αναστοπούλος, Ι., 1966. Γεωλογική και Κοιτασματολογική Μελέτη της Λιγνιτοφόρου Περιοχής Κύμης. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕΕ.

Ανδρονόπουλος, Β., 1962. Γεωλογική κατασκευή νοτίου Εύβοιας. Εκδόσεις Ι.Γ.Ε.Υ.

- Βαλαδάκη-Πλέσσα, Α., 2001. Αζιοποίηση Γ.Σ.Π στην επιλογή κριτηρίων καταλλήλων περιοχών για οικιστική ανάπτυζη, με γεωλογικά κριτήρια, στην κεντρική Εύβοια. Πρακτικά 9ου Διεθνούς Συνεδρίου, Αθήνα. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, XXXIV/5, pp. 1653-1661.
- Βασιλειάδης, Ε., 2010. Ζωνοποίηση της επικινδυνότητας των κατολισθητικών φαινομένων στον ελληνικό χώρο. Δημιουργία και εφαρμογή μοντέλων με γεωγραφικό σύστημα

πληροφοριών., Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, pp. 218.

- Βλαχαντώνης, Α., 2010. Σύντομη ιστορική αναδρομή μεταλλευτικής δραστηριότητας ανθρακορυχείο Ανδρονιάνων. «Η Φωνή των Ανδρονιάνων», Έτος 13ο, Αρ. Φυλ. 75, Απρίλιος – Μάιος.
- Ελευθερίου, Α., 1983. Έκθεση γεωτεχνικής έρευνας στο εζωτερικό υδραγωγείο του συνδέσμου κοινοτήτων Κύμης και των οικισμών Βιτάλων και Κρυονερίτη Ν. Ευβοίας. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕ, Τ-980, Ε-22.
- Ελευθερίου, Α., 1989. Γεωτεχνική εξέταση της περιοχής Σουτσίνι Κύμης. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕ, Ε-5769.
- Ελευθερίου, Α. & Ρόζος, Δ.,1994. Εκθεση γεωτεχνικής εξέτασης στον οικισμό Κρινιάνων κοινότητας Βιτάλων Ευβοίας. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕ, Τ-1788.
- Ελευθερίου, Α., 1995. Έκθεση γεωτεχνικής εξέτασης των τμημάτων του οδικού δικτύου Ανατολικής Εύβοια. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, ΙΓΜΕ, Τ-1814.
- Ζιούρκας, Κ., 1989. Κατολισθητικά φαινόμενα στον Ελληνικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας, Παν. Πατρών.
- Ηλίας, Π., 2000. Ανάπτυξη μεθοδολογίας εκτίμησης επικινδυνότητας με χρήση νευρωνικών δικτυων. Διδακτορική Διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτελειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, pp. 552.
- Καββαδάς, Μ., 2006. Στοιχεία Εδαφομηχανικής. Εκδ. Ε.Μ.Π.
- Καβουνίδης, Σ., 1980. Μερικές παρατηρήσεις από την εξέταση μάργας με ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Τεχνικά Χρονικά, 2, σελ. 24-27.
- Καβουνίδης, Σ., 1985. *Γεωτεχνική θεώρηση των αργιλικών ημιβράχων*. Πρακτικά Ημερίδας "Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά", ΤΕΕ, Αθήνα, σελ. 23-64.
- Κατσικάτσος, Γ., 1971. Η ηλικία του μεταμορφωμένου συστήματος της Ν. Εύβοιας και η στρωματογραφική διάρθρωση αυτού. Πρακτικκά Ακαδημίας Αθηνών, 44, σελ. 223-238.
- Κατσικάτσος, Γ., 1992. Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις ΟΕΔΒ.
- Κατσικάτσος, Γ., Φυτίκας, Μ & Κούκης, Γ., 1970. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Κύμη, κλ. 1:50.000.

- Κούκη, Α., 2006. Τεχνικογεωλογικές Γεωτεχνικές παράμετροι και μηχανική συμπεριφορά σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων στο σχεδιασμό υπόγειων τεχνικών έργων. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, σελ. 414.
- Κούκης, Γ. & Ρόζος, Δ., 1982. Γεωτεχνικές συνθήκες και κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο σε σχέση με τη γεωλογική δομή και γεωτεκτονική εξέλιξη. Ορυκτός Πλούτος 16, pp. 53-97.
- Κούκης, Γ. & Ζιούρκας, Κ., 1989. Κατολισθητικές κινήσεις στον Ελληνικό χώρο Στατιστική Θεώρηση. Ορυκτός Πλούτος, 58, pp. 39-58.
- Κούκης, Γ. & Χριστοδουλοπούλου, Τ., 1997. Εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί. Φυσικά-μηχανικά χαρακτηριστικά και εργαστηριακοί προσδιορισμοί. Εκδόσεις Παν/μίου Πατρών, σελ. 392.
- Κούκης, Γ. & Σαμπατακάκης, Ν., 2002. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, σελ. 514.
- Κούκης, Γ. & Σαμπατακάκης, Ν., 2007. Γεωλογία Τεχνικών Έργων. Εκδόσεις Παπασωτηρίου, pp. 575.
- Κουμαντάκης, Ι., 1985. Κεφάλαια Τεχνικής Γεωλογίας. Σημειώσεις για τους φοιτητές της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π.
- Κουμαντάκης, Ι., 1987. Κατολισθητικά φαινόμενα σε τμήματα της Εγνατίας οδού παρά τα Λουτρά Ελευθερών Καβάλας. Πρόταση γεωτεχνικής ταξινόμησης μολασσών. Δελτίο ΚΕΔΕ 1987/3, pp.135-142.
- Κουμαντάκης, Ι., 1988. Αλληλοεπιδράσεις τεχνικών έργων και γεωλογικού περιβάλλοντος. Εισήγηση για το διήμερο του Ε.Μ.Π. «Η προστασία του περιβάλλοντος στα πλαίσια της τεχνολογικής ανάπτυξης της χώρας μέσα από τα Προγράμματα Σπουδών και Έρευνας του Ε.Μ.Π.» Αθήνα, σελ.11.
- Κουμαντάκης, Ι., Ρόζος, Δ., Ηλία, Ι., Μαρκαντώνης, Κ. & Τσαγγαράτος, Π., 2007. Κατολισθητικά φαινόμενα Κύμης. Ερευνητικό Πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Εύβοιας.
- Κούμουλος, Δ., Κοργιαλός Θ., 1985. Επιτόπια και εργαστηριακή διερεύνηση της μάργας του Περαιά. Γεωτεχνικά Προβλήματα της Μάργας του Περαιά, pp 97-106., ΤΕΕ, Αθήνα.

- Κωστόπουλος, Σ., 1985. Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της μάργας του Πειραιά. Πρακτικά Ημερίδας "Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά", ΤΕΕ, Αθήνα, σελ. 67-96.
- Λατσούδας Χ. & Τριανταφύλλης, Μ., 1991. Γεωλογικός χάρτης Φύλλο Κάρυστος Πλατανιστός. IΓΜΕ.
- Λεοντάρης, Σ. & Γκουρνέλλος, Θ., 1990. Παρατηρήσεις στην εξέλιζη του υδρογραφικού δικτύου της Νήσου Εύβοιας σε σχέση με τη γεωλογική δομή της.
- Λέκκας, Ε., 1998. Κατολισθητικά φαινόμενα νομού Ευβοίας. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Αθήνα Χαλκίδα, Ε.Κ.Π.Α.
- Μαρίνος, Γ. & Petrascheck, W., 1956. ΛΑΥΡΙΟΝ Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλογικαί και γεωφυσικαί μελέται, τόμ. ΙV, αρ. 1, σ. 247.
- Μαριολάκος, Η. & Παπανικολάου, Δ., 1984. Είδος παραμόρφωσης και σχέσης παραμόρφωσης, σεισμικότητας στο Ελληνικό τόζο. 20 Γεωλογικό διήμερο, Μάιος 1984, Δελτίο Ελλν. Γεωλ. Εταιρίας, 19, 59-76.
- Μαχαίρας, Π. & Μπαλαφούτης, Χ., 1987. Συμβολή στη μελέτη του βιοκλίματος του Ελληνικού χώρου (Εφαρμογή της μεθόδου Emberger). Πανελλήνια Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών, Τόμος 1, 349-357.
- Μεττός, Α., Ροντογιάννη, Θ., Παπαδάκης, Ι., Πάσχος, Π., Γεωργίου, Χ., 1991. Νέα δεδομένα στη γεωλογία των νεογενών αποθέσεων της Βόρειας Εύβοιας. B.G.S. Greece, XXV/3, 71-83.
- Μισθός, Μ., 2009. Η Συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γ.Σ.Π. στην Ολοκληρωμένη Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών. Μελέτη Περίπτωσης: Η Τεχνική της Ανίχνευσης Μεταβολών στον Εντοπισμό Κατακλυσμένων Εκτάσεων από Ποτάμια Πλημμύρα. Μεταπτυχιακή Εργασία, Δ.Π.Μ.Σ. Περιβάλλον και Ανάπτυξη, Ε.Μ.Π, pp. 340.
- Μουντράκης, Δ., 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press, Θεσσαλονίκη, σελ. 2507.
- Μουντράκης, Δ. 2010. Γεωλογία και Γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας.
- Μπορνόβας, Ι., Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, Θ., 1983. Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500.000. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2η έκδοση, Αθήνα

- Ντουνιάς, Γ., Τίκα Θ., Καβουνίδης, Σ., 1986. Μερικές μικροδομικές παρατηρήσεις της μάργας του Πειραιά. Πρακτικά Ημερίδας: Γεωτεχνικά Προβλήματα της μάργας του Πειραιά, ΤΕΕ, Αθήνα.
- Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ., 2003. «Οι σεισμοί της Ελλάδας», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, σελ. 286.
- Παπανικολάου, Δ., 1978. Γεωλογικαί έρευναι εις την νήσο Άνδρον. Αθήνα. Σελ. 1-214.
- Πλάκα, Κ., 2006. Ανάλυση ισχυρών βροχοπτώσεων στον Ελληνικό χώρο κατά τύπο καιρού. Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», ΕΜΠ.
- Ποντίκης, Μ. Γ., 2010. Τα λιγνιτορυχεία, βασικό κεφάλαιο της ιστορίας του τόπου μας «Η Φωνή των Ανδρονιάνων», Έτος 14ο, Αρ. Φυλ. 77, Σεπτέμβριος – Οκτώβριος 2010.
- Ρόζος, Δ., 1989. Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στο νομό Αχαΐας. Γεωμηχανικοί χαρακτήρες των Πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων. Διατριβή επί διδακτορία, Τμήμα Γεωλογίας Πανεπιστημίου Πατρών, σελ. 453. Πάτρα.
- Ρόζος, Δ., 2007α. Τεχνική Γεωλογία Ι. Σημειώσεις για τους φοιτητές του 7ου εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., pp. 352.
- Ρόζος, Δ., 2007β. Τεχνική Γεωλογία Ι Ι. Σημειώσεις για τους φοιτητές του 8ου εξαμήνου της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Ε.Μ.Π., pp. 265.
- Ρόζος, Δ. & Ηλία, Ι., 2008. Διερεύνηση της ορυκτολογικής σύστασης, δομής και διαβρωσιμότητας πετρωμάτων της κατηγορίας των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων και συσχέτιση με την τεχνικογεωλογική συμπεριφορά τους. Πρόγραμμα ενίσχυσης Βασικής Έρευνας «ΛΕΥΚΙΠΠΟΣ», Σχολή Μηχ. Μεταλλείων Μεταλλουργών, Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Εργαστήριο Τεχν. Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Αθήνα, ΕΜΠ 2006-2008 (Επιστημονικός Υπεύθυνος Δ. Ρόζος, κύριος Ερευνητής Ι. Ηλία).
- Ρόζος, Δ., Κουμαντάκης, Ι., Ηλία, Ι., Μαρκαντώνης, Κ. & Τσαγγαράτος, Π., 2009. Οικιστική καταλληλότητα θέσεων στην ευρύτερη περιοχή του οικισμού Βιτάλων Κύμης. Ερευνητικό Πρόγραμμα χρηματοδοτούμενο από τη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Εύβοιας.

Σαμπατακάκης, Ν., 1991. Τεχνικογεωλογική έρευνα του Λεκανοπεδίου Αθηνών. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.

- Σκιάς, Σ., 1998. Εκτίμηση της Γεωμηχανικής συμπεριφοράς και των φαινομένων αστάθειας: Η περίπτωση των σχηματισμών του φλύσχη της Δυτικής Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, pp. 425.
- Τσαγγαράτος, Π., 2012. Διερεύνηση της Τεχνικογεωλογικής Συμπεριφοράς των Γεωλογικών Σχηματισμών με τη χρήση Πληροφοριακών Συστημάτων. Διδακτορική Διατριβή, Ε.Μ.Π., pp. 363.
- Τσιαμπάος, Γ., 1988. Τεχνικογεωλογικοί χαρακτήρες των μαργών Ηρακλείου Κρήτης. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Φερεντίνου, Μ., 2004. Εκτίμηση του κίνδυνου των κατολισθήσεων με νευρωνικά δίκτυα σε περιβάλλον Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, pp. 337.
- Φιλιότης, 2011. Βάση Δεδομένων για την Ελληνική φύση, Ε.Μ.Π.

Χατζηνάκου, Ι., Νικολάου, Ν., Τζίτζιρα, Αλ., Γαλανάκη, Δ., Γεωργίου, Χ., 1999. Γεωλογική – τεχνικογεωλογική μελέτη κατολισθητικών φαινομένων της ευρύτερης περιοχής Βιτάλων, Ν. Ευβοίας. Αδημοσίευτη έκθεση, Αθήνα, IΓΜΕ, Τ-2022.

Χριστοδουλοπούλου Τ., 2000. Μικροδομή των λεπτομερών Νεογενών -Πλειοστοκαινικών ιζημάτων της Βορείου Πελοποννήσου σε σχέση με τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας, Πάτρα.