



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΙΣ ΟΡΕΙΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΗ

Μεταπτυχιακή Εργασία

*“Τα προβλήματα των κατολισθήσεων στην
ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου”*



Στεφανία Α. Μπίσα
Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Καλιαμπάκος

Επιτροπή Παρακολούθησης:
Καθηγητής Δ. Αργιαλάς
Επίκουρος Καθηγητής Δ. Δαμίγος

Μέτσοβο, Ιούλιος 2011

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ (Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΙΣ ΟΡΕΙΝΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΗ

Μεταπτυχιακή Εργασία

*“Τα προβλήματα των κατολισθήσεων στην
ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου”*



Στεφανία Α. Μπίσα
Μηχανικός Ορυκτών Πόρων

Επιβλέπων: Καθηγητής Δ. Καλιαμπάκος

Επιτροπή Παρακολούθησης:
Καθηγητής Δ. Αργιαλάς
Επίκουρος Καθηγητής Δ. Δαμίγος

Μέτσοβο, Ιούλιος 2011

**Περιβάλλον
και
Ανάπτυξη**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική (μεταπτυχιακή) αυτή εργασία, εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος του Ε.Μ.Π., «Περιβάλλον και Ανάπτυξη Ορεινών Περιοχών», στις εγκαταστάσεις του ΜΕ.Κ.Δ.Ε., στο Μέτσοβο. Στοιχεύει στην παρουσίαση των προβλημάτων των κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου και θέλει να συμβάλει στην οποιαδήποτε επιστημονική προσπάθεια για τη διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών-υδρολογικών συνθηκών που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, καθώς και μέσω αυτής να προταθούν κάποια μέτρα αντιμετώπισης των κατολισθητικών φαινομένων στις «ευαίσθητες» περιοχές.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους διάβασαν την εργασία αυτή και έκαναν διορθώσεις, σχόλια και παρατηρήσεις.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Κουμαντάκη Ιωάννη, Ομότιμο Καθηγητή του Ε.Μ.Π., για τις εύστοχες παρατηρήσεις και σχόλια που έκανε κατά τη διάρκεια της επί τόπιας επίσκεψης-έρευνας που πραγματοποιήθηκε στις κατολισθημένες περιοχές του Μετσόβου, με αποτέλεσμα να διαμορφώσω μία πιο ολοκληρωμένη επιστημονική άποψη σχετικά με τα προβλήματα που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές.

Για τη συγκέντρωση υλικού και τη διεκπεραίωση της συγκεκριμένης εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.) Πρέβεζας, την Εγνατία Οδό Α.Ε. και το Δήμο Μετσόβου.

Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω τον κύριο Δημήτρη Καλιαμπάκο, Καθηγητή του Ε.Μ.Π., τον κύριο Δημήτρη Αργιαλά, Καθηγητή του Ε.Μ.Π. και τον κύριο Δημήτρη Δαμίγο, Επίκουρο Καθηγητή του Ε.Μ.Π., για το ότι αποδέχτηκαν να συμμετάσχουν ως μέλη της εξεταστικής επιτροπής, της διπλωματικής εργασίας.

*Αφιερώνεται,
στον Αντώνη και στη Βιργινία,*

Μέτσοβο, Ιούλιος 2011

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ – ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ.....	4
1.1 Γενικά-Ορισμός.....	5
1.2 Κατηγορίες κατολισθήσεων.....	7
1.3 Βραχώδη πρανή.....	18
1.4 Αίτια των κατολισθήσεων.....	22
1.5 Εκτίμηση της ευστάθειας.....	26
1.5.1 Διατμητική αντοχή των εδαφών-Ολική και Ενεργή τάση.....	27
1.5.2 Κριτήριο Mohr-Coulomb.....	30
1.5.3 Συντελεστής Ασφάλειας (Factor of Safety, FS).....	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	38
2.1 Εισαγωγή.....	39
2.2. Μέτρα αντιμετώπισης-πρόληψης των κατολισθήσεων.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ.....	52
3.1 Εισαγωγή.....	53
3.2 Γενικά.....	53
3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.....	55
3.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά.....	57
3.5 Τεκτονικά χαρακτηριστικά.....	63
3.6 Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.....	64
3.6.1 Υδατικοί πόροι.....	64
3.6.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	65
3.6.3 Υδρολογικές μεταβλητές.....	67
3.6.4 Υδρομετεωρολογικές συνθήκες.....	69
3.7 Υδραυλικά έργα.....	72
3.8 Στοιχεία σεισμικότητας.....	78
3.9 Εδαφικές αστοχίες.....	78
3.9.1 Συνοικία Αγίου Χαραλάμπου.....	83
3.9.2 Συνοικία Αγίου Δημητρίου.....	86
3.9.3 Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης στις συνοικίες του Αγίου Χαραλάμπου και Αγίου Δημητρίου.....	89

3.9.4 Κτηριακό συγκρότημα Αδερφών Τσομπίκου.....	94
3.9.5 Θέση μεταξύ του Εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων και του δρόμου εισόδου προς Μέτσοβο.....	98
3.9.6 Θέση ανάντη του εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων.....	100
3.9.7 Θέση κατόντη του εθνικού δρόμου (Ρέμα ντι Ροάτε).....	101
3.9.8 Περιοχή Ανηλίου.....	103
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ-ΕΡΙΠΥΣΜΟΙ ΣΕ ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ.....	105
4.1 Εισαγωγή.....	106
4.2 Περιοχή Β του Τμήματος 2.4 της Εγνατίας Οδού, «Ποταμός Άραχθος- Περιστερί».....	107
4.2.1 Γενικά.....	107
4.2.2 Γεωμορφολογικές-γεωτεκτονικές συνθήκες.....	110
4.2.3 Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα.....	115
4.2.4 Συνθήκες ευστάθειας.....	117
4.2.5 Ποσοτικά στοιχεία των κατολισθήσεων.....	122
4.2.6 Μέτρα αντιμετώπισης της κατολίσθησης.....	122
4.3 Τμήμα 3.1 της Εγνατίας Οδού, «Μ. Περιστερί-Ανθοχώρι».....	127
4.4 Περιοχή Μεγάλου Ορύγματος (Χ.Θ. 18+470-Χ.Θ. 18+980, Δ70-Δ79).....	132
4.4.1 Γενικά.....	132
4.4.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες.....	136
4.4.3 Γεωλογικές συνθήκες.....	136
4.4.4 Τεκτονικές συνθήκες.....	140
4.4.5 Ποιότητα βραχώμαζας.....	142
4.4.6 Υδρογεωλογικές συνθήκες.....	143
4.4.7 Σεισμολογικά στοιχεία.....	144
4.4.8 Κατολισθητικά φαινόμενα-μετρήσεις παρακολούθησης.....	145
4.4.9 Έργα σταθεροποίησης.....	149
4.5 Ανισόπεδος Κόμβος (Α/Κ) Παναγίας.....	156
4.6 Γέφυρα (Γ1) δύο ανεξάρτητων κλάδων και Γέφυρα κλάδου εξόδου, Α/Κ Παναγίας, τμήμα 4.1.1s Εγνατίας Οδού.....	159
4.6.1 Εισαγωγή-Θέση.....	159
4.6.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης.....	161

4.6.3 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.....	161
4.6.4 Σεισμικότητα.....	166
4.6.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θεμελίωση.....	167
4.6.6 Μέτρα αποκατάστασης αστοχιών-Θεμελίωση γεφυρών.....	167
4.6.7 Εδαφικές αστοχίες σε τεχνητά πρηνή κατά μήκος της Εγνατίας Οδού Μαλακάσι-Παναγία.....	170
4.7 Περιοχή Επιχώματος Ε6 (Χ.Θ. 14+468 έως 14+929).....	172
4.7.1 Γενικά.....	172
4.7.2 Στοιχεία γεωτρήσεων.....	174
4.7.3 Στρωματογραφία εδάφους.....	175
4.7.4 Μετρήσεις ινκλινομέτρων και μαρτύρων καθίζησης.....	176
4.7.5 Χαρακτηριστικά της κατολίσθησης.....	181
4.7.6 Έργα ενίσχυσης.....	181
4.8 Περιοχή εξόδου σήραγγας Συρτού.....	185
4.8.1 Γενικά.....	185
4.8.2 Τεκτονικά στοιχεία.....	185
4.8.3 Γεωλογικά στοιχεία.....	187
4.8.4 Υδρολογικά στοιχεία.....	188
4.8.5 Συνθήκες κατολίσθησης.....	189
4.8.6 Μέτρα σταθεροποίησης.....	190
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	192
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	197
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	204

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- 1.1: Στερεοδιάγραμμα κατολίθησης στο οποίο διακρίνονται: α) οι ημισεληνοειδείς εφελκυστικές ρωγμές, β) το μέτωπο (κόγχη) αποκολλήσεως, γ) οι εγκάρσιες τοξοειδείς ρωγμές, δ) οι ακτινωτές ρωγμές και ε) οι πλευρικές διογκώσεις (Κουμαντάκης, 1984).....6
- 1.2: Κάτοψη μίας κατολίθησης και κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονα της (Κουμαντάκης, 1984).....7
- 1.3: Τυπική πτώση βράχων (Goodman and Bray 1976).....9
- 1.4: Ανατροπή: (α) λόγω κάμψης, (β) εξαιτίας εφελκυστικών ρωγμών, (γ) ανατροπή εδαφικών υλικών και (δ) ανατροπή βράχων (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).....10
- 1.5: Περιστροφικές ολισθήσεις (καθήσεις) (α) βράχων, (β) γαιών και (γ) επίχωσης που ελέγχεται από θραύση στο υποκείμενο έδαφος (Καλλέργης και Κούκης, 1985).....11
- 1.6: Πολλαπλές περιστροφικές ολισθήσεις στην ακτογραμμή στην περιοχή Folkestone στην Αγγλία: a) ψαμμίτες, b) άργιλοι, c) μάργες, d) ψαμμιτικές μάργες (Zaruba and Mencl 1982).....11
- 1.7: Μεταθετικές ολισθήσεις. (α) Μεταθετική ολίσθηση στο Point Fermin (California) με μέγιστη μετακίνηση 3 cm/εβδομάδα, (β) ανάπτυξη ολισθήσεων σε οριζόντια στρώματα αργιολίθων και κάρβουνου, που προκαλείται από τη χαλάρωση των οριζόντιων τάσεων, η οποία προέκυψε από τη μείωση του πάχους των υπερκείμενων στρωμάτων (Καλλέργης και Κούκης, 1985), (γ) ολίσθηση τεμάχους γης, λόγω ρευστοποίησης ευαίσθητων αργίλων, εξαιτίας σεισμού, το 1964 στην Αλάσκα (Hansen, 1965).....12
- 1.8: (α) Πλευρικές εκτάσεις και (β) εξαπλώσεις βράχων χωρίς καλώς ορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνης πλαστικής ροής (Varnes, 1978).....13
- 1.9: (α) Ροή κορημάτων και (β) ροή γαιών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) και (γ) ροή ξηρής άμμου (Varnes, 1978).....14
- 1.10: Σύνθετες μετακινήσεις (α) ολίσθηση-ροή, (β) καταπτώσεις-ροή (γ) ανατροπή-ολίσθηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).....15
- 1.11: Βραχώδη πρανή με δύο δέσμες διακλάσεων, όπου η γραμμή τομής τους είναι παράλληλη προς το πρανές (α, β και δ), άρα το πρανές δε χρειάζεται αντιστήριξη και η περίπτωση γ όπου το πρανές δεν είναι ασφαλές, ακόμη και

	όταν ο συντελεστής ασφάλειας είναι μεγαλύτερος της μονάδος (Μαραγκός, 2001).....	18
1.12:	Η βραχώμαζα ως δομικό υλικό των γεωκατασκευών (Μπαντής, 2010).....	19
1.13:	Κυκλική μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).....	20
1.14:	Επίπεδη μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).....	21
1.15:	Αστοχία σφήνας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).....	21
1.16:	Μορφή αστοχίας με ανατροπή (Hoek and Bray, 1981).....	22
1.17:	Επίδραση του νερού στην ευστάθεια πρανούς (Hencher, 1989).....	24
1.18:	Γεωλογικές συνθήκες που ευνοούν την αστάθεια των κλιτύων. Όπου: 1. στρώματα συμπαγών πετρωμάτων με ενστρώσεις αργλικές και με κλίση ομόρροπη προς την κλίση της κλιτύος, 2. πετρώματα συμπαγή μη στρωσιγενή με διακλάσεις που οι επιφάνειες τους έχουν κλίση ομόρροπη προς την κλίση της κλιτύος, 3. στρώματα αργλικά και 4. συμπαγή πετρώματα υπερκείμενα ψευδοσυμπαγών (Κουμαντάκης, 1984).....	25
1.19:	Πλήρες διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης (Αγιουτάντης, 2002).....	27
1.20:	(α) Καμπύλη φόρτισης αργίλου και (β) καμπύλη φορτίου-υποχώρησης θεμελίου (Craig, 1984).....	27
1.21:	Απεικόνιση της επαφής μεταξύ δύο κόκκων αμμόδους υλικού και των ορθών (N) και διατμητικών (T) δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των κόκκων (Craig, 1984).....	29
1.22:	Κριτήριο Coulomb και κύκλος Mohr (Αγιουτάντης, 2002).....	31
1.23:	Το κριτήριο Coulomb για το σώμα και την ασυνέχεια. Το κριτήριο αστοχίας του υλικού δίνεται από τη σχέση $\tau \geq S_0 + \sigma \tan \varphi$ και το κριτήριο αστοχίας της ασυνέχειας από τη σχέση $S_0 > S_\alpha$ και $\tan \varphi > \tan \varphi_\alpha$, $\tau \geq S_\alpha + \sigma \tan \varphi_\alpha$ (Αγιουτάντης, 2002).....	32
1.24:	Παραμετρική παρουσίαση των συνθηκών αστοχίας σε επίπεδο ασυνέχειας ενός σώματος (Αγιουτάντης, 2002).....	33
1.25:	Δυνάμεις που ενεργούν σε (α) κυκλικές επιφάνειες αστοχίας και (β) σε επίπεδη επιφάνεια αστοχίας (Hunt, 1986).....	33
1.26:	Ανάλυση ευστάθειας εδαφικών πρανών για την περίπτωση $\varphi = 0^\circ$ (Στειακάκης, 2004).....	35
1.27:	Μέθοδος των λωρίδων και ανάλυση των δυνάμεων που ενεργούν σε κάθε λωρίδα (Στειακάκης, 2004).....	36

2.1:	Παράδειγμα σταθεροποίησης με απλά στραγγιστήρια (Κουμαντάκης, 1984).....	42
2.2:	Απεικόνιση αποστράγγισης υπογείων νερών με οριζόντια διατρήματα (γεωτρήσεις) (Hunt, 1984).....	42
2.3:	Άποψη συρματοκιβωτίων (Ανακτήθηκε από: www.temkald.gr).....	45
2.4:	Τοίχος από οπλισμένο έδαφος-ενισχυμένη γη (Hunt, 1984).....	45
2.5:	Τοίχοι βαρύτητας από σκυρόδεμα, αναλογίες διάστασης και δυναμοδιαγράμματα (Hunt, 1986).....	47
2.6:	Ενίσχυση πρανούς με ιλώσεις-αγκυρώσεις, με αποτέλεσμα την αύξηση των δυνάμεων αντίστασης (Hunt, 1984).....	49
2.7:	Μέθοδοι συγκράτησης βραχωδών πρανών (Hunt, 1984).....	49
2.8:	Χρήση αγκυρίων και κατακόρυφων στοιχείων από σκυρόδεμα για τη σταθεροποίηση πρανούς αυτοκινητόδρομου, κοντά στο Σαν Ρέμο στην Ιταλία. 1) Ψαμμίτες και μάργες, 2) μάργες και ασβεστόλιθοι, 3) αρχική επιφάνεια εδάφους, 4) επιφάνεια ολίσθησης, 5) πλάκα σκυροδέματος, 6) 9 κατακόρυφα στοιχεία από σκυρόδεμα, βάθους 30 m και μεταξύ τους απόστασης 24 m. Η δύναμη ολίσθησης υπολογίστηκε 6.500 kN, που παραλείφθηκε από 300 αγκύρια, μήκους 45-75 m. (Zaruba and Mencl 1982).....	50
2.9:	Γεωλογική τομή πρανούς στην περιοχή Weirton, στη δυτική Βιρτζίνια (όπου 1: οριζόντια ψαμμιτικά και αργιλικά στρώματα, 2: στρώματα αργιολίθου, 3: άμμοι και χαλίκια, 4: κορήματα, 5: πρόσφατες αποθέσεις, 6: πιθανή επιφάνεια ολίσθησης, d: αποστραγγιστική τάφρος, d.g.: αποστραγγιστικές στοές, d.h.: αποστραγγιστικές οπές, p.h.: στάθμη υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, s.d.: κατακόρυφα στραγγιστήρια και w: πασσαλότοιχος με αγκύρια) (Zaruba and Mencl, 1982).....	51
3.1:	Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Μετσόβου. Στο χάρτη σημειώνεται με βέλος η θέση της εδαφικής αστοχίας που έχει εκδηλωθεί στα νοτιοανατολικά του Μετσόβου.....	53
3.2:	Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Φύλλο «Μέτσοβο», κλίμακας 1:50.000.....	60
3.3:	Τεκτονικός χάρτης περιοχών Μετσόβου-Ανατολικού Ζαγορίου, όπου: 1. επώθηση ζώνης Πίνδου, 2. επώθηση οφιολίθων, 3. επώθηση ομάδας	

	Πολιτσών, 4. εφίππευση, 5. ρήγματα κανονικά και οριζόντιας μετατόπισης, 6. άξονες μεγαπτυχών, 7. κλίση και παράταξη στρωμάτων και 8. θέσεις τομών (Δημαράς, 2007).....	63
3.4:	Οι πέντε κυριότερες υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας γύρω από το Μέτσοβο (Μαμάσης, 2009).....	65
3.5:	Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής Μετσόβου (Νικολάου και Πάσχος, 1998).....	67
3.6:	Κατανομή της κατακρήμνισης στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).....	68
3.7:	(α) Κατανομή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και (β) της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).....	68
3.8:	Κατανομή του δείκτη ξηρότητας στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).....	69
3.9:	Υδρομετρικοί και βροχομετρικοί σταθμοί (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 1998).....	70
3.10:	Εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης Μετσόβου. Παρατηρούνται οι δεξαμενές υδροδότησης.....	74
3.11:	Χάρτης του οικισμού του Μετσόβου. Παρατηρείται η ροή του νερού στον οικισμό.....	77
3.12:	Οι τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίστηκε ο ελληνικός χώρος.....	78
3.13:	Σχηματική γεωλογική τομή της περιοχής Μετσόβου (Βότσογλου, 2003).....	79
3.14:	Χάρτης μερικών εδαφικών αστοχιών στη συνοικία του Αγίου Χαραλάμπου και στο αδόμητο πρानές (κόκκινο χρώμα) (Τμήμα του Τεχνικογεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, του Δ.Δ. Μετσόβου, κλίμακας 1:5.000).....	84
3.15:	Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης στη θέση της πρόσφατης κατολίσθησης (Νικολάου και Πάσχος, 2010).....	93
3.16:	Σχηματική απεικόνιση μέτρων αντιστήριξης-αναχαίτισης της διάβρωσης στο Κάτω Μέτσοβο (Βότσογλου, 2003).....	94
3.17:	Σχηματική τομή του πρானούς ανάντη του ξενοδοχείου με τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης των αστοχιών (Πάσχος, 2008).....	97
4.1:	Άποψη των περιοχών μελέτης στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, επί της Εγνατίας Οδού.....	106

- 4.2: Γεωερευνητικές εργασίες που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης. Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι ερευνητικές εργασίες (B-) που εκτελέστηκαν το χρονικό διάστημα 21/3/2004-3/6/2004 και με μπλε οι ερευνητικές εργασίες (N-) που εκτελέστηκαν από τις 29/5/2002-22/6/2002. Σημειώνονται οι γεωτρήσεις N24 (28,40 mm/χρόνο), B24 (16,64 mm/χρόνο) του κεντρικού τμήματος, όπου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες μετακινήσεις. Επίσης με τη μαύρη γραμμή απεικονίζονται τα όρια της κατολίσθησης (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).....109
- 4.3: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Απόσπασμα από τους Γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλα ΠΡΑΜΑΝΤΑ & ΜΕΤΣΟΒΟ, κλίμακα 1:50.000).....112
- 4.4: Σεισμοτεκτονικός χάρτης και επίκεντρα ιστορικών σεισμικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή του έργου (ΙΓΜΕ, Σεισμοτεκτονικός Χάρτης Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000).....116
- 4.5: Απεικόνιση των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (III, II, I), στις οποίες έχει χωρισθεί ο ελληνικός χώρος σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2004.....117
- 4.6: Απεικόνιση των δύο επιφανειών ολίσθησης, στο κατάντη και στο ανάντη τμήμα της περιοχής Β (Μαυρομμάτη και Σακελλαρίου, 2005).....118
- 4.7: Τυπική διατομή επιχώματος στην περιοχή του πόδα ολισθαίνουσας μάζας, στο τμήμα 2.4, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β1) (Φικίρης και Μαυρομμάτη, 2007).....126
- 4.8: Τυπική διατομή επιχώματος στην περιοχή του πόδα ολισθαίνουσας μάζας, στο τμήμα 2.4, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β2) (Φικίρης και Μαυρομμάτη, 2007).....127
- 4.9: Οριζοντιογραφία της κατολίσθησης της περιοχής Β του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστερι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900) (Καβουνίδης κ.α., 2005).....129
- 4.10: Διατομή διά μέσω της κατολίσθησης της περιοχής Β (Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900) του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστερι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.α., 2005).....129
- 4.11: Οριζοντιογραφία της κατολίσθησης της περιοχής Δ3 του Τμήματος 3.1 (Μ. Περιστερι-Ανθοχώρι) και του προσωρινού ορύγματος του τεχνικού δι' εκσκαφής και επανεπίχωσης (Σ2) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.α., 2005).....131

- 4.12: Διατομή διά μέσω της κατολίσθησης της περιοχής Δ3 και του τεχνικού δι' εκσκαφής και επανεπίχωσης (Σ2) του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.α., 2005).....131
- 4.13: Τμήμα οριζοντιογραφίας του Μεγάλου Ορύγματος, όπου σημειώνονται οι θέσεις γεωτρήσεων και τα όρια της κατολίσθησης με τις μαύρες διακεκομμένες γραμμές (Νάσκος και Δημαράς, 2005).....135
- 4.14: Απόσπασμα σεισμοτεκτονικού χάρτη του ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:500.000, της περιοχής του έργου (Σεισμοτεκτονικός χάρτης Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000, ΙΓΜΕ).....145
- 4.15: Απεικόνιση του Ανισόπεδου Κόμβου (Α/Κ) Παναγίας.....157
- 4.16: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000.....159
- 4.17: Σκαρίφημα που παρουσιάζει τη λύση θεμελίωσης των γεφυρών, στην περιοχή των βάθρων Α0, Μ1, Μ2, Μ3 (για ύψος πρανούς έως 4,00 m και κλίση 1:1) (Αστερίου κ.α., 2005).....169
- 4.18: Σκαρίφημα που παρουσιάζει τη λύση θεμελίωσης των γεφυρών στις περιοχές των μεσόβαθρων Μ4, Μ5, Μ6, Μ7, Μ8, Μ1κ, Μ2κ, Μ3κ, Μ4κ και των ακροβάθρων Α8, Α9, Α5κ (για μέγιστη γωνία κλίσης 27⁰) (Αστερίου κ.α. 2005).....170
- 4.19: Άποψη του Επιχώματος Ε6. Απεικονίζονται τα ανύσματα των μετακινήσεων, σημειώνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων και οι εδαφικές ρωγμές (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).....174
- 4.20: Απεικόνιση της κατάστασης μετά την εκδήλωση της ολίσθησης λαμβάνοντας υπ' όψη: τη γεωμετρία, τη βαθειά επιφάνεια ολίσθησης, τα γεωϋλικά, τα υπόγεια νερά, καθώς και τα στοιχεία ενίσχυσης (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).....178

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

1.1:	Ρυθμός μετακίνησης των πρανών (Καλλέργης και Κούκης., 1985, με πηγή Varnes, 1978).....	8
1.2:	Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με τον A. Heim, το 1885 (Κουμαντάκης, 1984).....	16
1.3:	Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με τους Bay (1939), Penta (1956) και Desio (1959) (Κουμαντάκης, 1984).....	17
1.4:	Αίτια εκδήλωσης των κατολισθήσεων (Ε.Μ.Π., 2005).....	25
3.1:	Μέσα ύψη βροχής και μέσες τιμές θερμοκρασίας για την περιοχή του Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009.....	71
4.1:	Χαρακτηριστικά των σημαντικότερων σεισμών με επίκεντρο την ευρύτερη περιοχή του έργου, μετά το 1900 και με μέγεθος σεισμού $M \geq 6.0$ της κλίμακας Richter (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).....	116
4.2:	Σημαντικότεροι σεισμοί, με επίκεντρα στην ευρύτερη περιοχή του έργου, ακτίνας ≤ 50 km και μέγεθος $\geq 6,0$ βαθμών της κλίμακας Richter (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).....	144
4.3:	Γεωτρήσεις που έχουν εκτελεσθεί στην περιοχή κατολίθησης του χαμηλού τμήματος του επιχώματος Ε6 (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).....	174

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

- 1.1: Παράδειγμα μεταβολής του συντελεστή ασφάλειας ενός πρανού με το χρόνο (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).....34
- 3.1: Κατανομή μέσης μηνιαίας τιμής ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009, από δώδεκα βροχομετρικούς σταθμούς.....71
- 3.2: Κατανομή μέσης μηνιαίας τιμής θερμοκρασιών στην περιοχή Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009.....71

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία αφορά τα προβλήματα των κατολισθήσεων στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου. Στοχεύει στην αναφορά και αξιολόγηση των γεωλογικών-γεωτεχνικών στοιχείων και της υφιστάμενης κατάστασης της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου, που οδήγησαν στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Αποτιμώνται τα προβλήματα που προκύπτουν από τις επικρατούσες γεωλογικές, υδρογεωλογικές, υδρομετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, καθώς αναφέρονται, αλλά και προτείνονται τρόποι αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων. Για την αξιολόγηση των παραπάνω συνθηκών, έχουν συλλεχθεί στοιχεία από σχετικές εργασίες, άρθρα δημοσιευμένα, συνέδρια, πανεπιστημιακές σημειώσεις, καθώς και στοιχεία που έχουν παρθεί από μελέτες του Δήμου Μετσόβου, της Εγνατίας Οδού και του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε) Πρέβεζας.

Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά των γεωλογικών-υδρολογικών συνθηκών που ευνοούν την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων στον οικισμό του Μετσόβου, ιδιαίτερα στις συνοικίες του Αγίου Χαραλάμπου και του Αγίου Δημητρίου, καθώς και των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών που παρατηρήθηκαν, σε κατολισθήσεις πρανών, ορυγμάτων και θραύσεις επιχωμάτων, κατά τη διάνοιξη του οδικού άξονα της Εγνατίας Οδού, στο Περιστέρι, στην έξοδο της σήραγγας Μετσόβου και στον Ανισόπεδο Κόμβο Α/Κ Παναγίας.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνθέτουν τη γεωλογική δομή των παραπάνω περιοχών, είναι ο σχηματισμός του φλύσχη (Ιονίου και Πίνδου) και οι οφιόλιθοι, όπου κατά την Αλπική ορογένεση επωθήθηκε η Ζώνη της Πίνδου στην Ιόνιο Ζώνη και οι οφιόλιθοι επωθήθηκαν στον πινδικό φλύσχη. Εξαιτίας αυτών των έντονων τεκτονικών διεργασιών, πτυχώσεων, διακλάσεων κ.α., που επέδρασαν στα πετρώματα, αναπτύχθηκε σημαντική υδροφορία και σε πετρώματα που θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατα (π.χ. φλύσχη), ενισχύοντας τις εδαφικές αστάθειες αυτών των περιοχών.

Οι παράγοντες που καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις γεωτεχνικές συνθήκες και ευνοούν τις εκδηλώσεις κατολισθητικών φαινομένων στις περιοχές αυτές, είναι κυρίως η μορφολογία του αναγλύφου, το υδρογραφικό δίκτυο, το γεωλογικό υπόβαθρο, οι υδρογεωλογικές συνθήκες, οι κλιματολογικές συνθήκες, καθώς και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις.

Για τη διασφάλιση των συνθηκών ευστάθειας στις κατολισθημένες περιοχές, λαμβάνοντας υπ' όψη τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες τους, περιγράφονται έργα σταθεροποίησης για την ασφαλή διέλευση των αμφοτέρων κλάδων του αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας Οδού, π.χ. κατασκευή επιχωμάτων-αντιβάρων, αποστραγγιστικής τάφρου κ.α., καθώς και προτείνονται μέτρα προστασίας του εδάφους θεμελίωσης στον οικισμό του Μετσόβου, όπως αποστράγγιση, αποφυγή εκσκαφών σε παλαιότερες κατολισθήσεις, τοίχοι αντιστήριξης κ.τ.λ.

ABSTRACT

This project involves the landslide problems occurring in the wider area of Metsovo and it was carried out as part of the postgraduate program of the National Technical University of Athens (N.T.U.A.), “Environment and Development of Mountainous Areas” at Metsovion Interdisciplinary Research Center of the N.T.U.A. (M.I.R.C.) in Metsovo. It aims to report and evaluate the geological-geotechnical elements and the present state of the wider area of Metsovo, which led to the occurrence of landslide incidents. The problems which occur due to the geological, hydrogeological and hydrometeorological conditions in the area are presented as well as ways to deal with these issues are suggested.

For the evaluation of the above conditions, data from relevant projects, articles, conferences, university notes and books have been collected as well as data taken by research conducted by the municipality of Metsovo and Egnatia Highway.

Specifically, the geological, hydrological conditions which favour the occurrence of landslide phenomena in Metsovo are reported, especially in the St. Charalambos and St. Dimitrios quarters, as well as the geotechnical characteristics which have been observed, in landslides of slopes of pits and breakings of embankments, during the opening up of the highway of the Egnatia highway, in Peristeri, of the exit of the Metsovo tunnel and the overpass in Panagia.

The geological formations that make up the geological structure of the areas above, are the formation of flysch (Ionios and Pindos zone) and the ophiolites, where during the alpine mountain genesis the Pindos zone overthrust the Ionian zone and the ophiolites overthrust the Pindos-zone flysch. Because of these intense tectonic processing, farowings, joints, and others which affented the rocks, significant aquifer has developed even on rocks which are considered practically impassable (eg. flysch), enhancing the ground instability of there areas.

The factors which determine to a great extent the geotechnical conditions and favour the occurrence of landslide incidents in these areas are mostly the morphology of the bass-relief, the aquifer network, the geological base, the hydrogeological conditions, the climatic conditions as well as human interventions.

In order to secure stability conditions of the areas that have experienced landslides and taking into account their techno-geological conditions, stability works are presented for the secure passing of both lanes of the Egnatia Highway, for

example construction of landfills-counterweights, draining trench and others, and measures to protect the grounding of Metsovo are suggested, such as draining, avoidance of excavation in former landslides, shoring-up walls and others.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατολισθήσεις συμπεριλαμβάνονται στην κατηγορία των φυσικών καταστροφών, ως απόρροια κατάλυσης ισορροπίας εδαφικών ή βραχωδών πρανών, φυσικών ή τεχνητών. Η εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων, είναι αποτέλεσμα της μεταβολής των τοπικών γεωμορφολογικών, υδρολογικών, γεωλογικών και τεκτονικών συνθηκών, εξαιτίας της δράσης του γεωδυναμικού καθεστώτος, της σεισμικής δραστηριότητας, της επίδρασης της βλάστησης, των ανθρωπογενών επεμβάσεων, καθώς και όλων εκείνων των παραγόντων που διαμορφώνουν ένα γεωπεριβάλλον.

Οι εδαφικές αυτές μετακινήσεις, μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς το φυσικό και το δομημένο περιβάλλον, με σημαντικές κοινωνικές και οικονομικές συνέπειες, π.χ. επηρεάζοντας τη βιωσιμότητα οικισμών, την κατασκευή συγκοινωνιακών και άλλων τεχνικών έργων.

Η αντιμετώπιση τους, με τη κατανόηση του κινδύνου, με τη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας και αποκατάστασης, απαιτεί γνώση από τους επιστημονικούς κλάδους της Γεωλογίας, της Τεχνικής Γεωλογίας, της Βραχομηχανικής, της Εδαφομηχανικής, σε συνδυασμό με την εφαρμογή εργαλείων ανάλυσης χώρου, όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ).

Οι μόνες μετακινήσεις εδαφικών μαζών, που δεν ανήκουν στις κατολισθήσεις, είναι οι καθιζήσεις. Πρόκειται για κατακόρυφες μετακινήσεις, σε αντίθεση με τις κατολισθήσεις, όπου η κίνηση τους αναλύεται σε δύο συνιστώσες (κατακόρυφη και οριζόντια).

Οι κατολισθήσεις εμφανίζονται με μεγάλη συχνότητα στις ορεινές περιοχές, εξαιτίας του έντονου γεωμορφολογικού αναγλύφου και του αυξημένου ύψους βροχοπτώσεων. Οι γεωλογικές συνθήκες στη Δυτική Ελλάδα ευνοούν την εκδήλωση κατολισθήσεων και είναι ιδιαίτερα αυξημένες στην οροσειρά της Πίνδου. Εκεί, επικρατούν οι επιρρεπείς σε κατολισθήσεις σχηματισμοί του φλύσχη, των αργιλομαργών και των σχιστοκερατολίθων, με επιπευμένα ασβεστολιθικά λέπια, των αργιλικών σχιστολίθων, των πλευρικών κορημάτων κ.α. Εξαιτίας της παρουσίας της Πίνδου, επηρεάζονται οι διαδικασίες βροχόπτωσης, οι οποίες είναι ιδιαίτερα αυξημένες στα δυτικά διαμερίσματα της χώρας, σε αντίθεση με τα ανατολικά που δέχονται μικρά ποσοστά βροχής.

Το Μέτσοβο, αναπτύσσεται στο κεντρικό τμήμα της οροσειράς της Πίνδου, με μέσο υψόμετρο αυτό των 1.150 m, όπου η οροσειρά διασχίζει τη χώρα από βορειοδυτικά προς νότια. Μορφολογικά, η περιοχή χαρακτηρίζεται από σχετικά απότομα πρανή, με κλίσεις $\geq 30^\circ$, από πλήθος μικρορεμάτων και έντονα φαινόμενα διάβρωσης. Η έντονη καταπόνηση του φλυσχικού υποβάθρου (πλήθος πτυχώσεων, διακλάσεων, διαρρήξεων), σε συνδυασμό με τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, δηλαδή το μεγάλο θερμοκρασιακό εύρος, τις χιονοπτώσεις και τις πολλές βροχοπτώσεις, συντελούν στην ανάπτυξη σημαντικού πάχους εδαφικού μανδύα αποσάθρωσης, πάνω στον οποίο έχουν αναπτυχθεί δένδρα επιφανειακού ριζικού συστήματος. Χαρακτηριστικό των επιφανειακών υλικών του μανδύα αποσάθρωσης του φλυσχικού υποβάθρου, είναι η χαμηλή συνοχή και η μικρή διατμητική αντοχή, οι οποίες αποκτούν ακόμη μικρότερες τιμές όταν εμποτιστούν με νερό. Πολλές ανθρώπινες παρεμβάσεις, π.χ. η βελτίωση του οδικού δικτύου του οικισμού (διαπλατύνσεις-επιχωματώσεις), δημιουργούσαν και συνεχίζουν να δημιουργούν ακόμα πιο απότομα πρανή και μεγαλύτερες ποσότητες επιχωμάτων.

Ο κυριότερος παράγοντας που οδηγεί σε κατολισθήσεις στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, αλλά και γενικότερα είναι το νερό (επιφανειακό-υπόγειο), με οποιαδήποτε μορφή προέλευσης π.χ. διήθηση. Με τη διήθηση, προκαλείται αύξηση του βάρους της μάζας των επιρρεπών σχηματισμών, ενώ μειώνεται ο συντελεστής τριβής στην επιφάνεια ολίσθησης, εξαιτίας της πλαστικότητας της αργίλου. Οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, με την ανάπτυξη σχεδόν επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα και την εκδήλωση μικροπηγών διαλείπουσας ροής, εντείνουν τις εδαφικές αστοχίες. Η υδροφορία αναπτύσσεται στα υδροπερατά εδαφικά υλικά που καλύπτουν το υγιές αδιαπέρατο φλυσχικό υπόβαθρο. Στα εδαφικά υλικά και στα επιχώματα, καταλήγει μεγάλο μέρος από τα νερά των βροχών και των πηγών, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι ήδη χαμηλές διατμητικές αντοχές τους.

Η κατασκευή έργων οδοποιίας, στην περιοχή του Περιστερίου, στην έξοδο της σήραγγας Μετσόβου και στον Α/Κ Παναγίας, αποτελούν θέσεις ενδιαφέροντος στην παρούσα εργασία. Η επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον αυτών των περιοχών, αλλά και γενικότερα, μεταβάλλουν τη γεωμορφολογική δομή και τους υδατικούς πόρους αυτών των περιοχών.

Η συχνότητα και η ένταση εμφάνισης των μεταβολών αυτών, τόσο γενικότερα, όσο και στις περιοχές μελέτης της εργασίας, ενισχύεται από πιθανά λανθασμένες επιλογές, κατά το σχεδιασμό, τη χωροθέτηση και την εκτέλεση του

έργου (Monroe and Vicander, 1989). Αποτέλεσμα αυτών, είναι η μεταβολή των γεωμορφολογικών διεργασιών, οδηγώντας σε ακραίες καταστάσεις, όπως υπερχειλίσεις της κοίτης ρεμάτων, καθιζήσεις των επιχωμάτων, διαβρώσεις-κατολισθήσεις των πρανών, οδηγώντας σε δυσμενείς επιπτώσεις, στο κόστος, στη λειτουργικότητα του έργου, καθώς και στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Στην εργασία αυτή συγκεντρώνονται και διερευνώνται στοιχεία, που αφορούν εκτός από τη λιθολογική δομή του οικισμού του Μετσόβου και της ευρύτερης περιοχής και την παρουσία του σημαντικότερου παράγοντα «νερού», όπου ρέει ανεξέλεγκτα στην ευρύτερη περιοχή, ενισχύοντας τις διαβρώσεις και τις κατολισθήσεις σε φυσικά και τεχνητά πρανή. Συγκεκριμένα:

- ❑ Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται προσπάθεια να κατανοηθεί ο όρος κατολίπηση (π.χ. ορισμοί, ταξινομήσεις κατολισθήσεων κ.α.). Περιλαμβάνει κυρίως τα αίτια που προκαλούν το φαινόμενο αυτό και τις συνέπειες που προκαλούν.
- ❑ Στο **δεύτερο κεφάλαιο**, γίνεται αναφορά των σημαντικότερων και ευρείας χρήσης μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθήσεων.
- ❑ Στο **τρίτο κεφάλαιο**, παρουσιάζονται τα κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν εκδηλωθεί στον οικισμό του Μετσόβου και Ανηλίου. Περιγράφονται οι γεωλογικές-τεκτονικές-υδρολογικές-υδρομετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, καθώς προτείνονται και μέτρα αντιμετώπισης-αποκατάστασης για τις κατολισθημένες περιοχές.
- ❑ Στο **τέταρτο κεφάλαιο**, περιγράφεται η εκδήλωση μετακινήσεων και ερπυσμών, που έχουν εκδηλωθεί στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, σε φυσικά και τεχνητά πρανή κατά μήκος της Εγνατίας Οδού και συγκεκριμένα στην περιοχή του Περιστερίου, στην έξοδο της σήραγγας Μετσόβου (Μαλακάσι) και στον Ανισόπεδο Κόμβο της Παναγίας. Παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες αυτών των περιοχών, αποτελέσματα από κλισιόμετρα, πιεζόμετρα και μέσω αυτών, τα απαιτούμενα μέτρα αποκατάστασης-ενίσχυσης των προβληματικών περιοχών.
- ❑ Τέλος, αναφέρονται τα **συμπεράσματα** που έχουν προκύψει συνολικά από την εργασία και περιγράφονται συνοπτικά τα μέτρα αποκατάστασης που έχουν προταθεί για τις κατολισθήσεις του Μετσόβου και που έχουν αναλυθεί εκτενέστερα στο τρίτο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

1.1 Γενικά-Ορισμός

Οι κατολισθήσεις αποτελούν μετακινήσεις πετρωμάτων ή εδαφών (συνεκτικών ή χαλαρών), που εκδηλώνονται σε κεκλιμένες επιφάνειες, υπό την επίδραση της βαρύτητας. Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί για τον προσδιορισμό του όρου «κατολίσθηση», σύμφωνα με τους Skempton & Hutchinson (1969), τους Terzaghi (1950), Zaruba & Mencl (1969), Varnes (1978) και Schuster (1979). Ο Cruden (1991), ως κατολίσθηση, ορίζει την προς τα κάτω και έξω κίνηση μιας μάζας βράχου, κορημάτων ή γαιών σε ένα πρηνές. Πρόκειται για έναν ορισμό που έχει υιοθετηθεί από την *Ομάδα Εργασίας για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων* (Working Party on the World Landslide Inventory (WP/WLI), 1991).

Οι κατολισθήσεις αποτελούν γεωλογικά φαινόμενα, ακόμη και αν έχουν προκληθεί εξαιτίας ανθρώπινων διεργασιών, π.χ. από εκσκαφές στη βάση μίας κλιτύς, από υπερβολικές φορτίσεις, από επεμβάσεις στην κατεύθυνση επιφανειακών και υπγείων νερών, από την κατασκευή πρηνών μεγάλων κλίσεων κ.α.

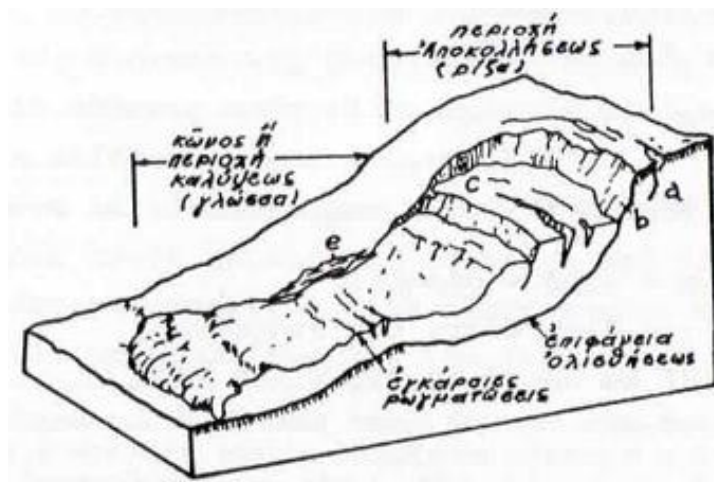
Παρά τους πολλούς παράγοντες που προκαλούν τις κατολισθήσεις, εμφανίζονται σχεδόν πάντα με τα ίδια χαρακτηριστικά. Συγκεκριμένα, πριν την κατολίσθηση, στο επάνω τμήμα (ρίζα) της μάζας του πρηνούς που πρόκειται να κατολισθήσει, δημιουργούνται εφελκυστικές ρωγμές, ακολουθεί υποχώρηση και καταβύθιση του επάνω μέρους της μετακινούμενης μάζας, κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης, ενώ αντίστοιχα το κάτω μέρος (κόνος) της διογκώνεται, ανυψώνεται δηλαδή σε σχέση με την αρχική του θέση. Σε περίπτωση αρχικής, επίπεδης επιφάνειας του πρηνούς και εδαφικής ομοιογενούς μάζας, μετά την εκδήλωση της κατολίσθησης, η τομή της επιφάνειας του εδάφους από ένα κατακόρυφο επίπεδο, κατά μήκος του άξονα της κατολίσθησης, θα είχε τη μορφή καμπύλης σχήματος s. Όταν υπάρχει ευαίσθητη άργιλος ή άργιλος με θύλακες άμμου, το κάτω μέρος της μετακινούμενης μάζας δε διογκώνεται, αλλά τα υλικά που κινήθηκαν ρέουν σαν ρευστά (Κουμαντάκης, 1984).

Σε μία τυπική κατολίσθηση διακρίνονται τα εξής μέρη:

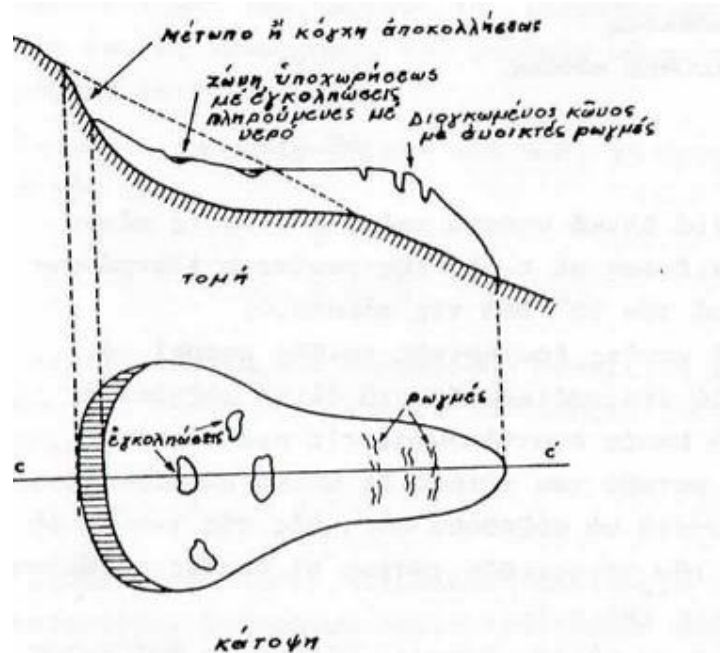
- **Η κόγχη ή ρίζα:** είναι η εκτομή της κλιτύς από όπου αποσπάστηκε η μάζα που μετακινήθηκε από το σταθερό σημείο. Η επιφάνεια της εκτομής μπορεί να είναι τοξοειδής, πεταλοειδής, ημικυκλική, ανώμαλη, σύνθετη και σπάνια επίπεδη (Κουμαντάκης, 1984).

- **Η επιφάνεια ολίσθησης:** είναι η επιφάνεια στην οποία εκδηλώνεται η κατολίσθηση. Μπορεί να είναι επίπεδη, όταν π.χ. συμπίπτει με ένα κεκλιμένο επίπεδο στρώσεως, που διαχωρίζει ένα συμπαγές πέτρωμα από ένα αργιλικό στρώμα, καθώς και κογχώδης, ημισελινοειδής κ.α.
- **Το σώμα της κατολίσθησης:** αποτελείται από τη μάζα των κατολισθημένων υλικών.
- **Ο κώνος ή σωρός:** είναι το κάτω μέρος της κατολίσθησης. Έχει προέλθει από τη συσσώρευση των υλικών, τα οποία αφού μετακινήθηκαν συγκεντρώθηκαν στη θέση όπου η κινητική τους ενέργεια μηδενίστηκε.
- **Ο πόδας:** είναι το χαμηλότερο σημείο του κώνου. Σε περιπτώσεις όπου η κατολίσθηση υπερβαίνει τον άξονα της κοιλάδας και ανέρχεται και στην απέναντι κλιτύ, ο πόδας δε συμπίπτει με το ακραίο σημείο του κώνου της κατολίσθησης.

Χαρακτηριστικές είναι και οι ρωγμές που παρατηρούνται σε μία κατολίσθηση. Συγκεκριμένα, ρωγμές ακτινωτής μορφής διακρίνονται στον πόδα, ενώ στο πάνω μέρος της μάζας που μετακινήθηκε, κατάντη της επιφάνειας αποχωρισμού σχηματίζονται εγκάρσιες, τοξοειδείς ρωγμές. Εγκάρσιες ρωγμές, δημιουργούνται επίσης, όταν η μετακινούμενη μάζα πρέπει να υπερβεί μία κύρτωση της επιφάνειας της κλιτύς. Οι ημισελινοειδούς μορφής εφελκυστικές ρωγμές, αποτελούν ένδειξη εκδήλωσης-επέκτασης μιας κατολίσθησης και εμφανίζονται ανάντη της κόγχης αποκολλήσεως (Σχήματα 1.1 και 1.2) (Κουμαντάκης, 1984).



Σχήμα 1.1: Στερεοδιάγραμμα κατολίσθησης στο οποίο διακρίνονται: α) οι ημισελινοειδείς εφελκυστικές ρωγμές, β) το μέτωπο (κόγχη) αποκολλήσεως, γ) οι εγκάρσιες τοξοειδείς ρωγμές, δ) οι ακτινωτές ρωγμές και ε) οι πλευρικές διογκώσεις (Κουμαντάκης, 1984).



Σχήμα 1.2: Κάτοψη μίας κατολίσθησης και κατακόρυφη τομή κατά μήκος του άξονα της (Κουμαντάκης, 1984).

Η έκταση των κατολισθήσεων κυμαίνεται από μερικά τετραγωνικά μέτρα έως μερικά τετραγωνικά χιλιόμετρα, αντιστοιχώντας σε μερικές δεκάδες εκατομμύρια κυβικά μέτρα ή τόνους εδάφους. Οι μεγάλης έκτασης κατολισθήσεις, αφορούν ομάδα μικρών και ομοειδών κατολισθήσεων, οι οποίες επειδή βρίσκονται κάτω από τους ίδιους ή παρόμοιους μηχανισμούς γένεσης εξελίσσονται ομαδικά ή αλυσωτά (Μονόπωλης, 1991).

1.2 Κατηγορίες κατολισθήσεων

Έχουν πραγματοποιηθεί πολλές προσπάθειες για να ταξινομηθούν οι κατολισθήσεις σε κατηγορίες, λαμβάνοντας κάθε φορά διαφορετικούς παράγοντες, όπως τον τρόπο εκδήλωσης τους, καθώς και παραμέτρους που παρατηρούνται και μπορούν να μετρηθούν.

Βασικά χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων αποτελούν α) η ταχύτητα εξέλιξης τους, όσο αναφορά το βαθμό επικινδυνότητας μίας κατολίσθησης και β) το μήκος μετατόπισης της κατολισθαίνουσας μάζας. Βάση της ταχύτητας εξέλιξης, ο Varnes (1978) διακρίνει τις μετακινήσεις των πρανών όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.1).

Πίνακας 1.1: Ρυθμός μετακίνησης των πρανών (Καλλέργης και Κούκης., 1985, με πηγή Varnes, 1978).

Χαρακτηρισμός της μετακίνησης	Ταχύτητα μετακίνησης
Εξαιρετικά γρήγορη	3m/sec
Πολύ γρήγορη	
Γρήγορη	0,3m/min
Μέτρια	1,5m/day
Αργή	1,5m/month
Πολύ αργή	1,5m/year
Εξαιρετικά αργή	0,6m/year

Πολλές κατολισθήσεις από το στάδιο της αρχικής τους κινητοποίησης μέχρι την τελική τους τοποθέτηση, περνούν από περισσότερα του ενός στάδια ταχύτητας. Επίσης, η κίνηση τους μπορεί να διακόπτεται για κάποια χρονικά διαστήματα. Όταν το χρονικό αυτό διάστημα διαρκεί χρόνια, οι κατολισθήσεις που επακολουθούν, εξαιτίας της ενεργοποίηση των παλαιότερων, χαρακτηρίζονται ως *διακεκριμένες* κατολισθήσεις.

Με την ταχύτητα εξέλιξης, καθώς και με τις διαστάσεις-όγκο της κατολίσθησης, πρέπει να συνδυάζεται το μήκος μετατόπισης της κατολισθαίνουσας μάζας, το οποίο εκτείνεται από μερικά εκατοστά έως μερικά χιλιόμετρα και επηρεάζει σημαντικά τις κατασκευές και τα τεχνικά έργα προστασίας (Στειακάκης, 2004).

Το μήκος της κατολίσθησης, δηλαδή η απόσταση της ρίζας από τον πόδα, είναι γενικά μεγαλύτερη από το πλάτος της. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις όπου το πλάτος της κατολίσθησης είναι πολύ μεγαλύτερο από το μήκος της, π.χ. όταν η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται εντός χονδρόκοκκης στρώσης ιλύος ή άμμου και διαχωρίζει δύο στρώσεις αργίλου. Εξαιτίας της σημαντικής αύξησης της πίεσης των πόρων της ενδιάμεσης στρώσης ιλύος ή άμμου, η θραύση συμβαίνει ξαφνικά, χωρίς να παρατηρούνται κάποιες ενδείξεις μετακίνησης (Κουμαντάκης, 1984).

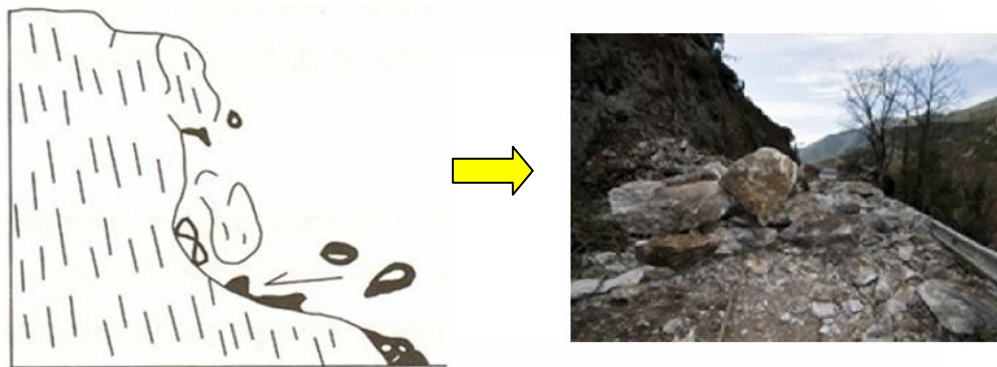
Οι κατολισθήσεις μπορούν επιπλέον να διακριθούν, βάση ηλικίας, σε *σύγχρονες* και *παλαιές*, οι οποίες παλαιές δεν έχουν ενεργοποιηθεί για χρόνια και δεν είναι ιδιαίτερα εμφανείς.

Λαμβάνοντας υπ' όψη τη γεωλογική σύσταση των σχηματισμών που κατολισθαίνουν, το είδος της κίνησης και τις συνθήκες εκδήλωσης της κατολίσθησης,

π.χ. υγρασία γεωϋλικών, μορφολογία πρηνούς κ.α., οι κατολισθήσεις μπορούν να διακριθούν σε: α) πτώσεις (falls), β) ολισθήσεις (περιστροφικές και μεταθετικές) (slides), γ) ανατροπές (topplings), δ) πλευρικές εκτάσεις (laterar spreads), ε) ροές (flows) και στ) σύνθετες μετακινήσεις (Καλλέργης και Κούκης Γ, 1985, με πηγή Varnes, 1978).

α) Πτώσεις (Falls)

Πρόκειται για ελεύθερες πτώσεις τεμαχών πετρώματος ή πολύ σκληρού εδάφους, τα οποία αποσπώνται από απότομες κλιθείς (Καροτσιέρης, 1993, Σχήμα 1.3). Μπορεί αρχικά να εκδηλωθεί ολίσθηση εδαφικής μάζας ή βραχώδους πετρώματος και μετά να ακολουθήσει η πτώση.



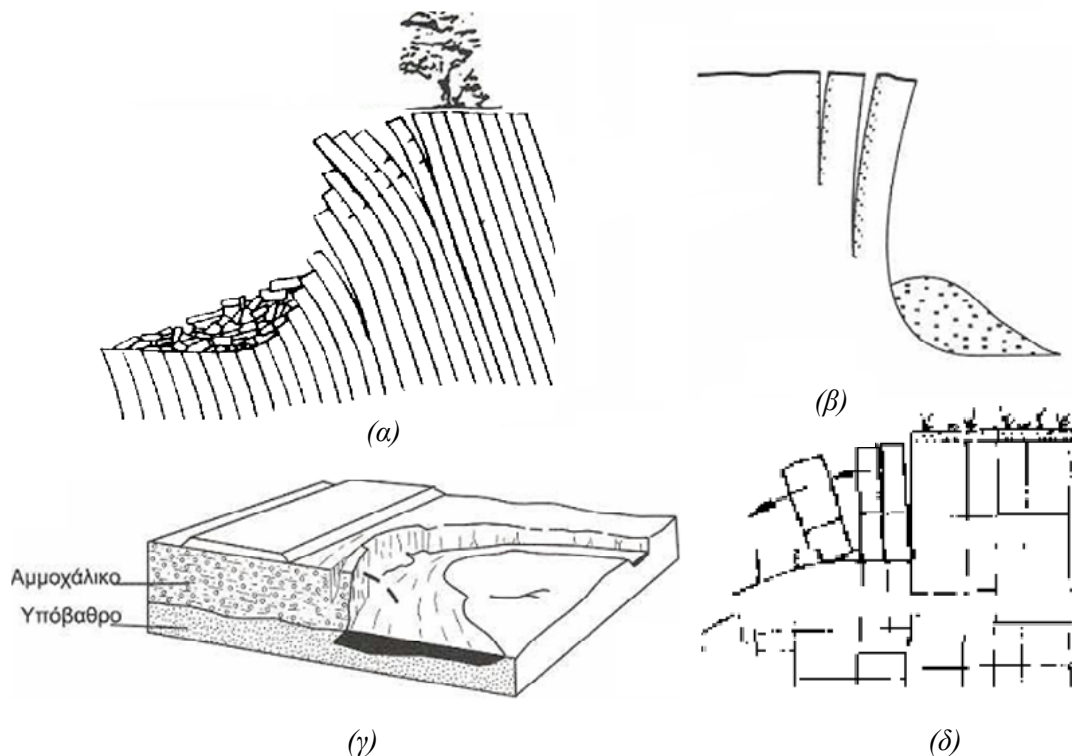
Σχήμα 1.3: Τυπική πτώση βράχων (Goodman and Bray 1976).

Καταπτώσεις μπορούν να συμβούν, εκτός εξαιτίας της μεγάλης κλίσης του πρηνούς και από τις ευνοϊκές διατάξεις των ασυνεχειών (επίπεδα στρώσεις, διακλάσεις, ρήγματα), την υποσκαφή, καθώς και από την ύπαρξη νερού σε υγρή ή στερεή φάση. Υποσκάπτοντας τη βάση ενός πετρώματος, το οποίο βρίσκεται πάνω από ένα πιο ευαποσάθρωτο πέτρωμα, όταν προχωρήσει η υποσκαφή το τμήμα που προεξέχει, του υπερκείμενου πετρώματος αποκόπτεται και πέφτει εξαιτίας του βάρους του ή και της δράσης του νερού.

β) Ανατροπές (Topplings)

Στις ανατροπές τα τεμάχια που πρόκειται να μετακινηθούν, κινούνται περιστροφικά προς τα εμπρός γύρω από άξονα περιστροφής, που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους του τεμαχίου (Σχήμα 1.4). Αυτήν την κίνηση προκαλούν, η βαρύτητα

και οι δυνάμεις που ασκούνται από γειτονικά τεμάχια ή από το νερό που βρίσκεται μέσα στις ρωγμές.



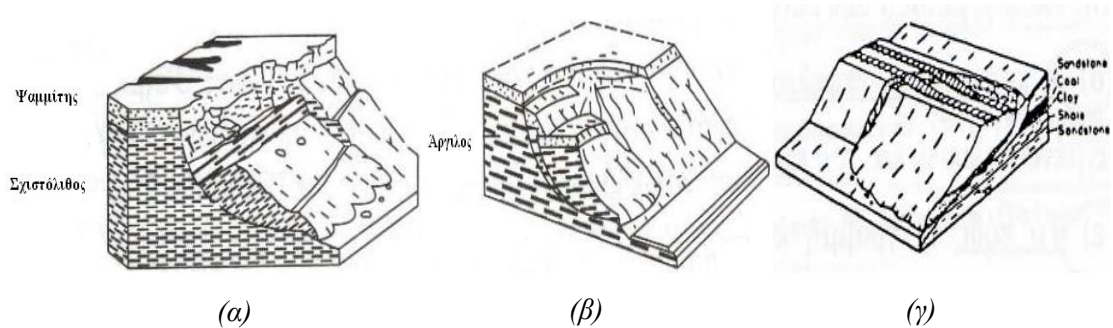
Σχήμα 1.4: Ανατροπή: (α) λόγω κάμψης, (β) εξαιτίας εφελκυστικών ρωγμών, (γ) ανατροπή εδαφικών υλικών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) και (δ) ανατροπή βράχων (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

γ) Ολισθήσεις (Slides)

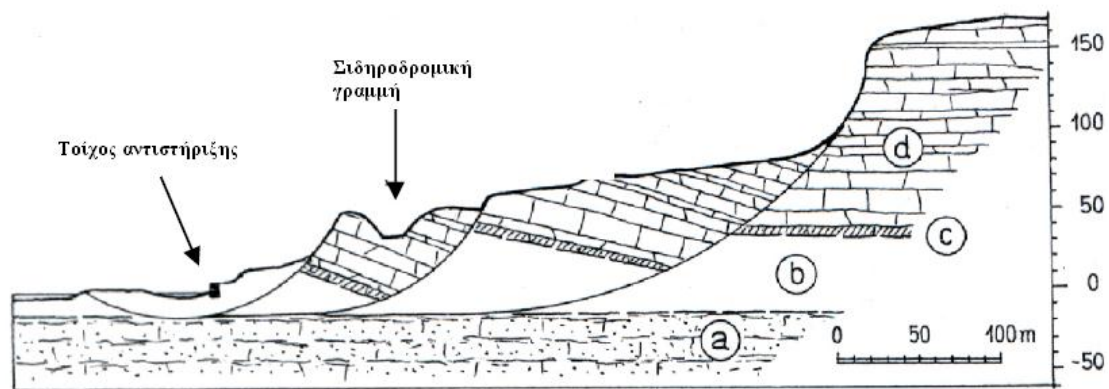
Στις ολισθήσεις η μετακίνηση προκύπτει από διατμητική παραμόρφωση και μετακίνηση κατά μήκος μίας ή περισσότερων επιφανειών, οι οποίες μπορεί να μην είναι ορατές. Η κίνηση μπορεί να είναι προοδευτική, δηλαδή να μη συμβεί ταυτόχρονα η διατμητική θραύση σε όλη την επιφάνεια αστοχίας, αλλά να επεκταθεί σταδιακά από μια περιοχή τοπικής θραύσης (Στειακάκης, 2004). Οι ολισθήσεις διακρίνονται σε περιστροφικές, επίπεδες (ολίσθηση τεμάχους ή αστοχία με πλευρική εξάπλωση) και σε ολισθήσεις κορημάτων.

↳ *Περιστροφικές (Rotational slides)*: Η πιο συχνά εμφανιζόμενη περιστροφική ολίσθηση είναι η κάθηση (slump) (Σχήματα 1.5 και 1.6). Πρόκειται για ολίσθηση, με μικρή παραμόρφωση, σε επιφάνεια θραύσης κοίλη προς τα επάνω, όπου η κίνηση πραγματοποιείται μόνο κατά μήκος εσωτερικών επιφανειών ολίσθησης. Αν η ολίσθηση επεκταθεί σημαντικά κατά μήκος του πρανού, κάθετα προς τη

διεύθυνση της μετακίνησης, η επιφάνεια θραύσης μοιάζει με τομέα κυλίνδρου με άξονα παράλληλο προς το πρηνές (Καλλέργης και Κούκης, 1985). Οι καθήσεις σε συνδυασμό με άλλου τύπου κινήσεις εμφανίζονται πολύ συχνά στα πρηνή.



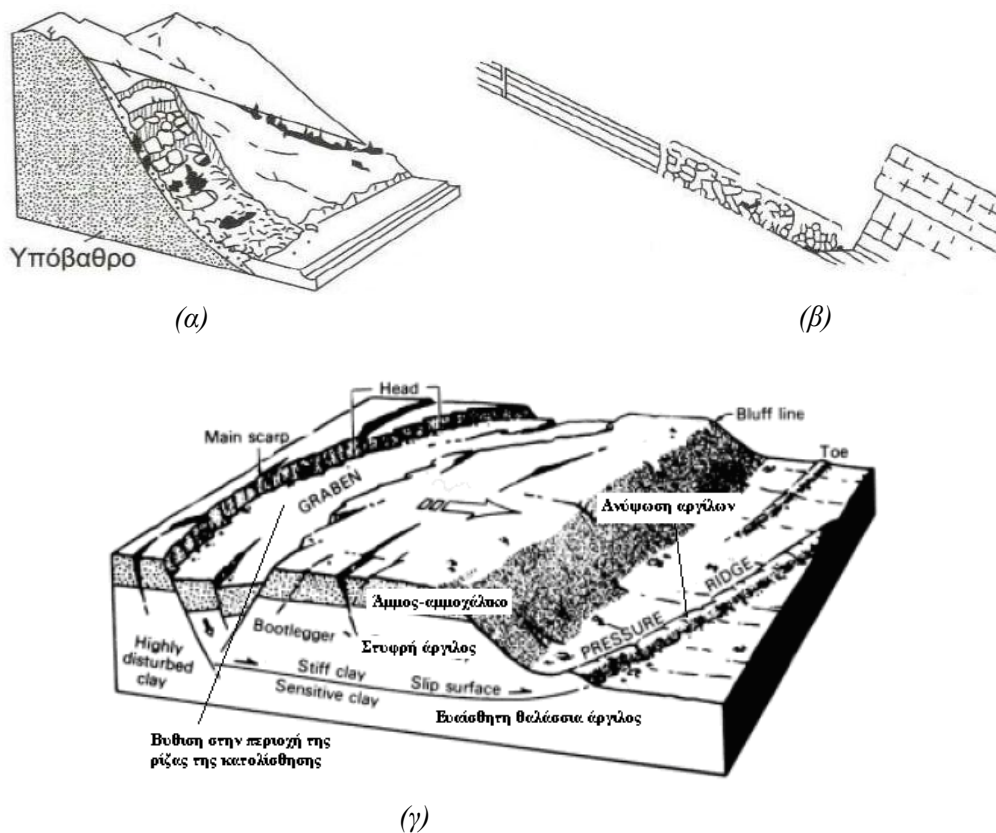
Σχήμα 1.5: Περιστροφικές ολισθήσεις (καθήσεις) (α) βράχων, (β) γαιών και (γ) επίχωσης που ελέγχεται από θραύση στο υποκείμενο έδαφος (Καλλέργης και Κούκης, 1985).



Σχήμα 1.6: Πολλαπλές περιστροφικές ολισθήσεις στην ακτογραμμή στην περιοχή Folkestone στην Αγγλία: α) ψαμμίτες, β) άργιλοι, γ) μάργες, δ) ψαμμιτικές μάργες (Zaruba and Mencl 1982).

↳ *Μεταθετικές (Translational slides)*: Στις μεταθετικές ολισθήσεις, η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει σε μία επίπεδη ή ομαλά κυματοειδή επιφάνεια, με πολύ μικρή περιστροφική κίνηση ή κάμψη (Σχήμα 1.7). Η κίνηση τους εξαρτάται από επιφάνειες ασυνέχειας (ρήγματα), από είδους ρωγμές, από τα επίπεδα στρώσης και τις μεταβολές της διατμητικής αντοχής, μεταξύ των επιπέδων στρώσης ή από την επαφή του υποβάθρου και των υπερκείμενων αποσαθρωμάτων ή κορημάτων (Στειακάκης, 2004). Διακρίνονται σε «ολισθήσεις τεμάχους» (block slide), όταν η μάζα που μετακινείται αποτελείται από μόνο μία ομάδα όχι έντονα παραμορφωμένη και

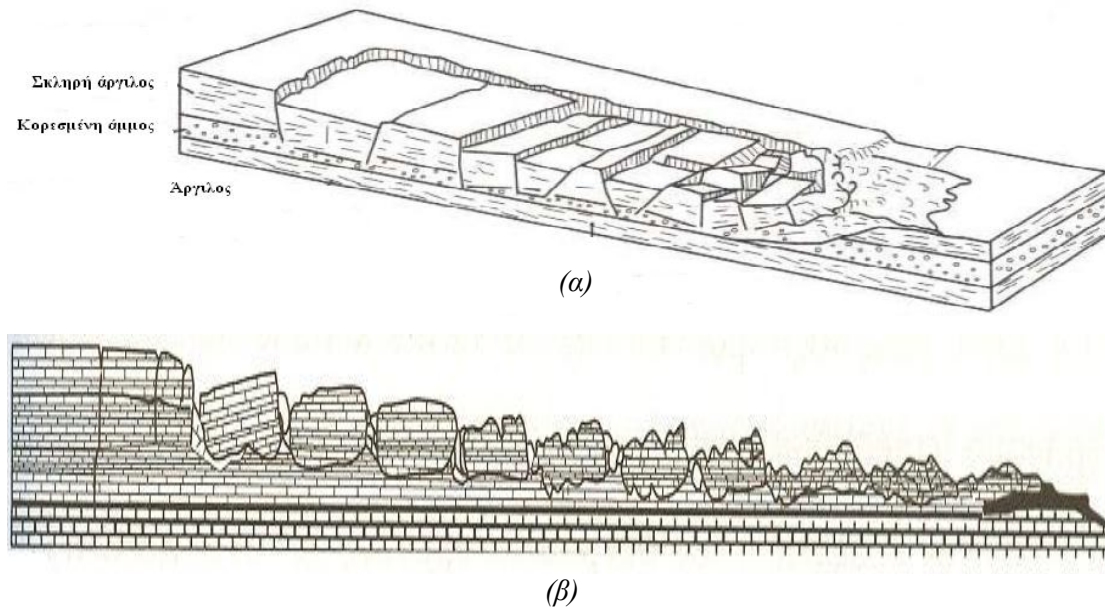
σε «κερματισμένες ολισθήσεις», όπου η μετακινούμενη μάζα περιλαμβάνει πολλές ημιανεξάρτητες μάζες.



Σχήμα 1.7: Μεταθετικές ολισθήσεις. (α) Μεταθετική ολίσθηση στο Point Fermin (California) με μέγιστη μετακίνηση 3 cm/εβδομάδα, (β) ανάπτυξη ολισθήσεων σε οριζόντια στρώματα αργιολίθων και κάρβουνου, που προκαλείται από τη χαλάρωση των οριζόντιων τάσεων, η οποία προέκυψε από τη μείωση του πάχους των υπερκείμενων στρωμάτων (Καλλέργης και Κούκης, 1985), (γ) ολίσθηση τεμάχους γης, λόγω ρευστοποίησης ευαίσθητων αργίλων, εξαιτίας σεισμού, το 1964 στην Αλάσκα (Hansen, 1965).

δ) Πλευρικές εκτάσεις (Lateral spreads)

Στις πλευρικές εκτάσεις, η κίνηση μπορεί να είναι περιστροφική, μεταθετική, ροής, καθώς και να θεωρηθούν ως σύνθετες μετακινήσεις (Σχήμα 1.8). Διακρίνονται σε α) αυτές που δεν υπάρχει μια καθορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνη πλαστικής ροής, ώστε να ελέγχεται η μετακίνηση (κυρίως στο υπόβαθρο) (Σχήμα 1.8 (β,)) και σε β) σε αυτές που κατακερματίζεται το συνεκτικό γεωυλικό.

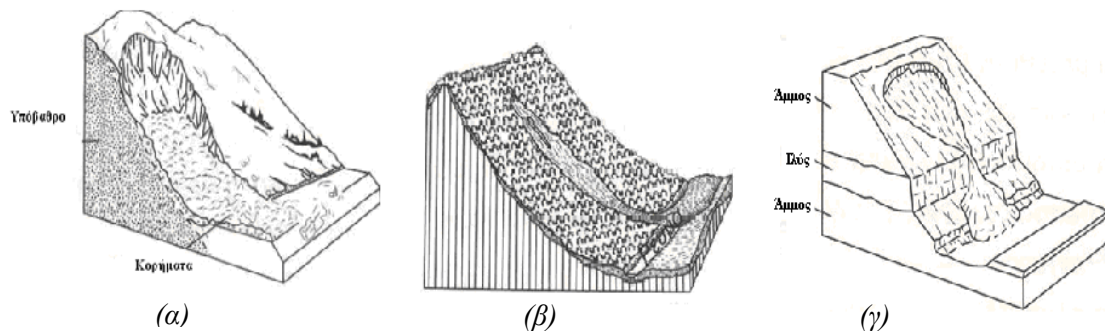


Σχήμα 1.8: (α) Πλευρικές εκτάσεις και (β) εξαπλώσεις βράχων χωρίς καλώς ορισμένη επιφάνεια διάτμησης ή ζώνης πλαστικής ροής (Varnes, 1978).

ε) Ροές (Flows)

Στις ροές μετακινούνται τα επιμέρους συστατικά της κατολισθαίνουσας μάζας, η οποία μοιάζει με παχύρευστο υγρό μεγάλου ιξώδους, από το οποίο προκαλείται μεγάλη εσωτερική παραμόρφωση του γεωυλικού. Οι ροές δημιουργούνται συνήθως από μεγάλες ποσότητες νερού που εισχωρούν σε αργιλομιγή εδάφη, τα οποία περνούν σε μία κατάσταση κοντά στο όριο υδαρότητας, μειώνοντας σημαντικά τη διατμητική αντοχή του υλικού, με αποτέλεσμα να ρέει το υλικό, αν και η κλίση του πρανούς είναι ευνοϊκή.

Οι επιφάνειες ολίσθησης δεν είναι ορατές συνήθως μέσα στη μάζα, ενώ η ταχύτητα μετακίνησης είναι συνήθως γρήγορη έως εξαιρετικά γρήγορη. Από τις ροές προσβάλλονται τόσο τα συνεκτικά εδάφη (αργιλικά), όσο και τα ψαθυρά (αμμώδη), καθώς και τα πλευρικά κορήματα που συναντώνται στις απότομες πλαγιές των πρανών (Σχήμα 1.9).



Σχήμα 1.9: (α) Ροή κορημάτων και (β) ροή γαιών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) και (γ) ροή ξηρής άμμου (Varnes, 1978).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα ροής αποτελούν οι ευαίσθητες άργιλοι, οι οποίες ενεργοποιούνται από πτώσεις βράχων (Καροτσιέρης, 1993).

Μετακινήσεις ροών περιγράφονται συχνά από πολλούς ως «ερπυσμός» (creep), ενώ σύμφωνα με το Varnes, 1978, ο ερπυσμός αναφέρεται σε αργές και συνεχείς παραμορφώσεις στο χώρο. Επίσης, ως ερπυσμός μπορεί να θεωρηθεί η παραμόρφωση που έχει υποστεί η εδαφική μάζα σαν ενιαίο σώμα. Υπάρχουν διάφορες απόψεις σχετικά με την έννοια του ερπυσμού, οι οποίες περιπλέκονται περισσότερο, αφού οι μετακινήσεις τύπου ερπυσμού μπορεί να εμφανίζονται σε διάφορες κατηγορίες κατολισθήσεων.

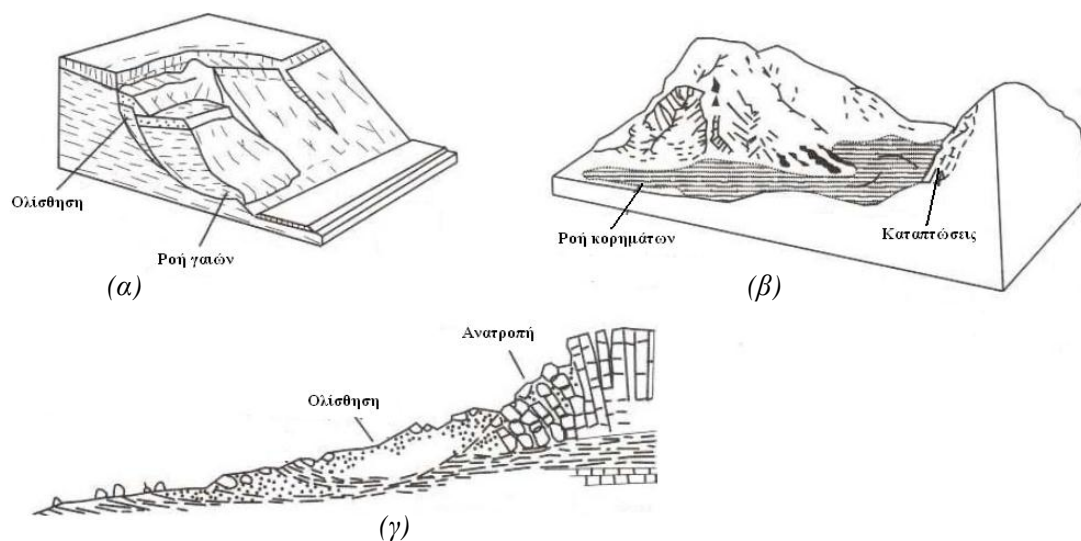
Ο ερπυσμός μπορεί να εκδηλωθεί τόσο όταν το όριο ερπυσμού (η ενεργοποιημένη διατμητική αντοχή, μετά την οποία εμφανίζεται ο ερπυσμός) είναι χαμηλό, όσο και όταν ο βαθμός ενεργοποίησης της διατμητικής αντοχής (ο λόγος της διατμητικής τάσης προς τη διατμητική αντοχή) είναι υψηλός. Χαμηλή διατμητική αντοχή του εδάφους και έντονο φαινόμενο ερπυσμού (υπο-επιφανειακός ερπυσμός), εμφανίζεται σε επιφανειακά στρώματα, εξαιτίας της αποσάθρωσης και των εποχικών μεταβολών υγρασίας και θερμοκρασίας. Σε μεγάλα βάθη και εξαιτίας της βαρύτητας και της αυξημένης συγκέντρωσης διατμητικών τάσεων, ο βαθμός ενεργοποίησης της διατμητικής αντοχής είναι μεγάλος (ερπυσμός βάθους). Σε περιπτώσεις χαμηλών και μεσαίων μεγεθών διατμητικών τάσεων, ο ρυθμός του ερπυσμού μειώνεται βαθμιαία και το φαινόμενο εξελίσσεται με πολύ χαμηλό ρυθμό (δεκαετίες έως εκατονταετίες), ενώ σε περιπτώσεις πολύ υψηλών διατμητικών τάσεων που πλησιάζουν τη θραύση, ο ρυθμός του ερπυσμού αυξάνει με το χρόνο και το φαινόμενο ολοκληρώνεται με τη θραύση (Στειακάκης, 2004).

Όταν στο γεωλογικό σχηματισμό η κατανομή των διατμητικών τάσεων είναι ανομοιόμορφη, εκεί όπου οι διατμητικές τάσεις είναι χαμηλές ο ρυθμός του ερπυσμού

μειώνεται με το χρόνο, ενώ αυξάνει με το χρόνο στα τμήματα όπου παρουσιάζονται υψηλές τιμές διατμητικών τάσεων (φαινόμενο πύκνωσης/επικέντρωσης ερπυσμού με το χρόνο). Σταδιακά δημιουργείται μια ζώνη, δηλαδή μία λανθάνουσα επιφάνεια ολίσθησης, στην οποία μπορεί να εμφανίζονται τμήματα με πλήρη ενεργοποίηση της διατμητικής αντοχής (όπου ο σχηματισμός είναι σε πλαστική κατάσταση) και εξαιτίας της παραμόρφωσης του εδάφους μέσα σε αυτή, εμφανίζονται ασυνέχειες ή ρωγματώσεις, οι οποίες επηρεάζουν και την έκταση της ζώνης αυτής (Στειακάκης, 2004, με πηγή Stephanian, 1980).

στ) Σύνθετες μετακινήσεις πρανών

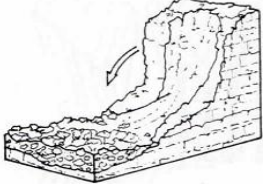
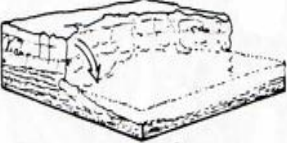
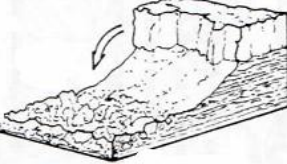
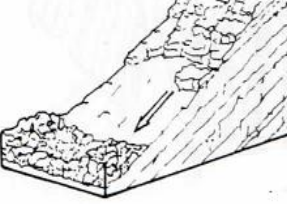
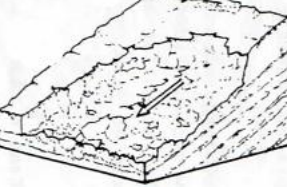
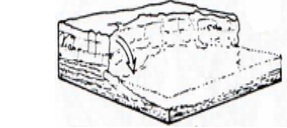
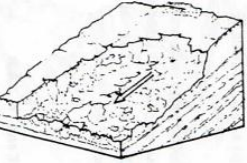
Γενικά, οι κατολισθήσεις στα πρανή προέρχονται από συνδυασμένους τύπους μετακινήσεων, οι οποίοι έχουν αναφερθεί (Σχήμα 1.10). Επικίνδυνες σύνθετες μετακινήσεις θεωρούνται οι εξαιρετικά γρήγορες πτώσεις βράχων-ροές κορημάτων, γνωστές ως χιονοστοιβάδα πτώσης βράχων (rock-fall avalanche), οι οποίες εκδηλώνονται κυρίως στις ορεινές περιοχές εξαιτίας του έντονου αναγλύφου.



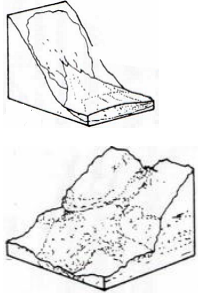
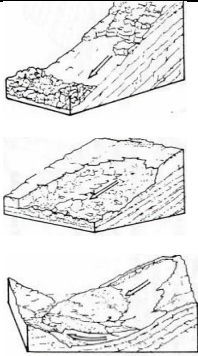
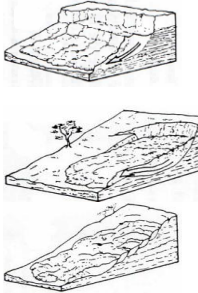
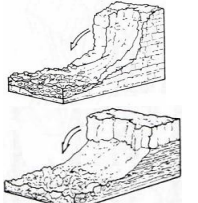
Σχήμα 1.10: Σύνθετες μετακινήσεις (α) ολίσθηση-ροή, (β) καταπτώσεις-ροή (γ) ανατροπή-ολίσθηση (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις των κατολισθήσεων, στηριζόμενες σε διαφορετικά κριτήρια, σύμφωνα με τους Heim (1885) (Πίνακας 1.2), Bay (1939), Penta (1956), Desio (1959), που ταξινομεί τις κατολισθήσεις με ένα σύστημα, το οποίο υιοθετεί και η Διεθνής Επιτροπή Μελέτης της Υδραυλικής Διευθετήσεως και Προστασίας του Εδάφους (1971), κ.α. (Πίνακας 1.3).

Πίνακας 1.2: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με τον A. Heim, το 1885 (Κουμαντάκης, 1984).

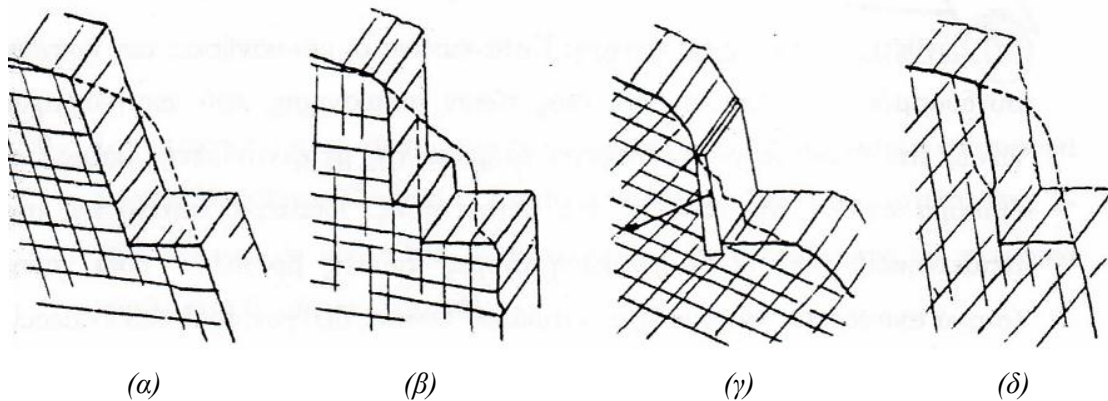
α) Απλοί τύποι κατολισθήσεων:		Μορφολογικές όψεις κατολισθήσεων
Κατολισθήσεις μορφής λεπτής φέτας:	γρήγορες με απότομη κλίση πρανούς	
	αργές με ήπια κλίση πρανούς	
Κατολισθήσεις με αποκοπή	σε πετρώματα 'in situ'	
	σε μάζες μεταφερμένων υλικών	
Ολισθήσεις στρώμα προς στρώμα	στρώμα σκληρό πάνω σε άργιλο	
	αργιλικά υλικά πάνω σε σκληρό στρώμα	
Κατολισθήσεις με περιστροφή		
Καταπτώσεις		
β) Μεικτές κατολισθήσεις:	συνήθως κατολισθήσεις με αποκοπή και κατολισθήσεις με περιστροφή	 και 
γ) Πολύπλοκες κατολισθήσεις		

Πίνακας 1.3: Ταξινόμηση κατολισθήσεων σύμφωνα με τους Bay (1939), Penta (1956) και Desio (1959) (Κουμαντάκης, 1984).

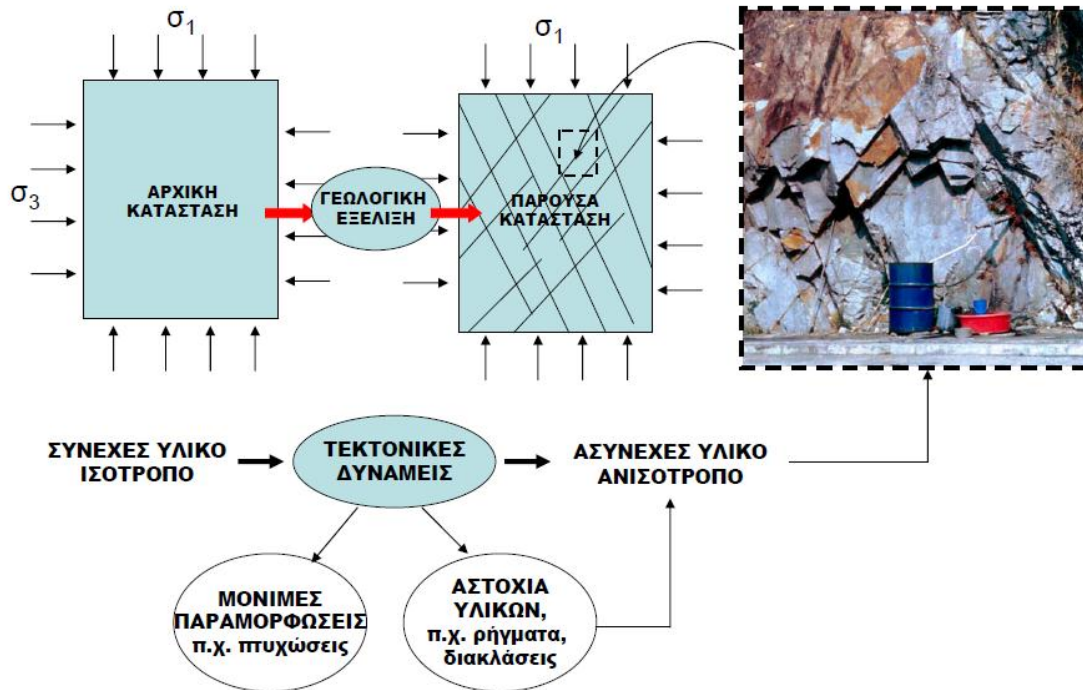
Bay (1939)	Penta (1956)	Desio (1959)	Μορφολογική όψη κατολισθήσεων
α) Επιφανειακές κατολισθήσεις ή εξαλλοιώσεις	α) Κατολισθήσεις γαιών, αργίλων, εναλλαγών αργλικών στρωμάτων με άλλα πετρώματα, βραχωδών πετρωμάτων, κλαστικών υλικών κ.α.	α) Κατολισθήσεις από καταρρεύσεις	
β) Βαθιές κατολισθήσεις	β) Κατακρημνίσεις επιφανειακές και μεγάλων μαζών	β) Κατολισθήσεις από διαρρεύσεις	
γ) Κατολισθήσεις από διαβρώσεις στη βάση του πρανούς	γ) Καταρρεύσεις	γ) Κατολισθήσεις από ολισθήσεις, στρώμα προς στρώμα	
	δ) Καθιζήσεις συμπιεστών υλικών από βάρη κατασκευών	δ) Κατολισθήσεις από θραύσεις	
	ε) Μεικτούς τύπους	ε) Κατολισθήσεις από κατακρημνίσεις	
		στ) Μεικτές κατολισθήσεις	

1.3 Βραχώδη πρανή

Ο όρος βραχώμαζα (rock mass) αναφέρεται σε τμήμα του φυσικού υλικού, το οποίο περιλαμβάνει όλες τις δομικές ατέλειες που το χαρακτηρίζουν, όπως οι φυσικές και τεχνητές ασυνέχειες του, η ενδεχόμενη υδροφορία του κ.α. (Αγιουτάντης, 2002) (Σχήμα 1.11). Σε όλα τα τεχνικά έργα σε πετρώματα, το σημαντικό είναι να προσδιορισθεί η μηχανική συμπεριφορά του φέροντος υλικού, το οποίο ουσιαστικά είναι η μάζα του πετρώματος. Οι τιμές της αντοχής του ακέραιου πετρώματος και της βραχώμαζας, μπορούν να προσδιοριστούν άμεσα με επιτόπου δοκιμές ή με εργαστηριακές δοκιμές (καταπόνηση σε θλίψη, εφελκυσμό, διάτμηση, κάμψη και στρέψη) σε κατάλληλα διαμορφωμένα δοκίμια, όπου στη συνέχεια συνεκτιμούνται τα αποτελέσματα αυτά με διάφορους παράγοντες, όπως οι ιδιότητες του ακέραιου υλικού, η υδραυλική πίεση των πόρων του υλικού, οι ιδιότητες των ασυνεχειών κ.α. (Σχήμα 1.12).



Σχήμα 1.11: Βραχώδη πρανή με δύο δέσμες διακλάσεων, όπου η γραμμή τομής τους είναι παράλληλη προς το πρανές (α, β και δ), άρα το πρανές δε χρειάζεται αντιστήριξη και η περίπτωση (γ) όπου το πρανές δεν είναι ασφαλές, ακόμη και όταν ο συντελεστής ασφάλειας είναι μεγαλύτερος της μονάδος (Μαραγκός, 2001).



Σχήμα 1.12: Η βραχώμαζα ως δομικό υλικό των γεωκατασκευών (Μπαντής, 2010).

Οι ασυνέχειες (discontinuities) είναι επιφάνειες αδυναμίας που δημιουργούνται από μηχανική διακοπή της συνέχειας του πετρώματος ή/και από αλλαγή της ομοιογένειας του πετρώματος. Προέρχονται από α) τις συνθήκες σχηματισμού των διαφόρων πετρωμάτων (ρυθμός ψύξης, σύσταση, ποσοστό πτητικών του μάγματος, διαφορική σύσταση ιζημάτων, κλπ), β) τις τεκτονικές, βαρυτικές και άλλου είδους δυνάμεις που επέδρασαν αργότερα, γ) τις διεργασίες διάβρωσης και αποσάθρωσης κ.α. Χαρακτηριστικούς τύπους ασυνεχειών αποτελούν τα ρήγματα (faults), οι διακλάσεις (joints), μικρορωγματώσεις (microfractures), τα ασθενή επίπεδα διάστρωσης, ο σχισμός (cleavage) και οι διατμητικές ζώνες (shear zones).

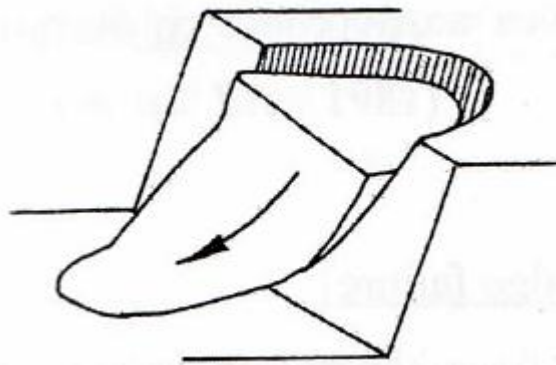
Οι μηχανικές ιδιότητες ενός πετρώματος συνδέονται άμεσα με τις ιδιότητες των ασυνεχειών που υπάρχουν στο πέτρωμα. Οι αντοχές των ασυνεχειών διακρίνονται σε πρωτογενείς, σε αντοχές που εμφανίζονται κατά τη δημιουργία της ασυνέχειας και σε δευτερογενείς, που εμφανίζονται μετά από μία ολίσθηση των παρειών των ασυνεχειών, περαιτέρω διερεύνηση των ασυνεχειών, κλπ. (Αγιουτάντης, 2002). Η επίδραση των ασυνεχειών στη μηχανική συμπεριφορά του πετρώματος, εκφράζεται με διάφορους δείκτες ποιότητας (π.χ. δείκτης RQD (Rock quality designation)), που προέρχονται από τα συστήματα ταξινόμησης των πετρωμάτων και των ασυνεχειών. Σημειώνεται ό,τι οι ασυνέχειες ενός πετρώματος χαρακτηρίζονται

από χαμηλή διατμητική αντοχή και μεταβλητή παραμορφωσιμότητα, ελάχιστη στην περίπτωση συμπιεστικών τάσεων και μέγιστη στην περίπτωση εφελκυσμού. Επίσης η παρουσία νερού στα ανοίγματα των ασυνεχειών, επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές τους ιδιότητες. Η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών αποτελεί σημαντική παράμετρο στην ανάλυση των πρανών (σχεδιασμός πρανών, έλεγχος συμπεριφοράς τους κ.α.).

Οι κύριες μορφές αστοχίας σε βραχώδη πρανή διακρίνονται σε: α) κυκλική, β) επίπεδη, γ) αστοχία σφήνας και δ) μορφή αστοχίας με ανατροπή (Hoek and Bray, 1981), χωρίς να αποκλείονται οι περιπτώσεις όπου η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι σαφής.

α) Κυκλική θραύση (*Circular failure*)

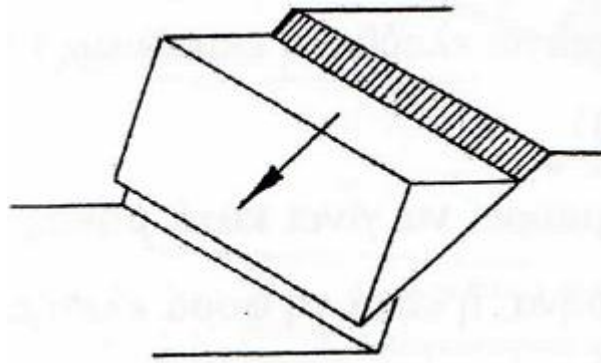
Αναφέρεται σε κατακεραματισμένη βραχώμαζα στην οποία η θραύση ορίζεται από επιφάνεια αστοχίας κυκλικού τομέα (Σχήμα 1.13).



Σχήμα 1.13: Κυκλική μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).

β) Επίπεδη θραύση (*Plane failure*)

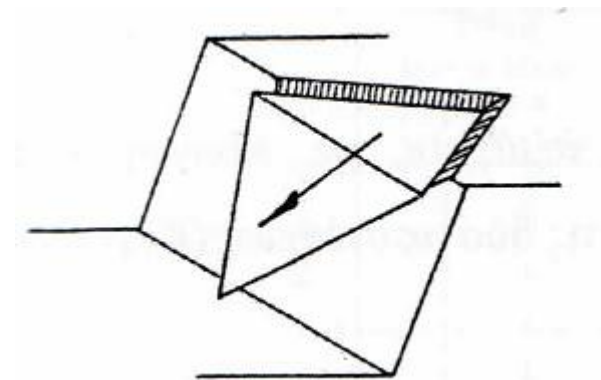
Σε ένα πέτρωμα (βραχώδη πρανή) για να συμβεί ολίσθηση κατάντη ενός τεμάχους κατά μήκος μιας ασυνέχειας, θα πρέπει η παράταξη της ασυνέχειας να είναι παράλληλη προς το πρανές και με κλίση μικρότερη από την κλίση του πρανούς. Παράλληλα, η συνιστώσα του βάρους του τμήματος που θα κατολισθήσει, η παράλληλη προς το πρανές, θα πρέπει να υπερνικήσει τη διατμητική αντοχή της ασυνέχειας (Καροτσιέρης, 1993) (Σχήμα 1.14).



Σχήμα 1.14: Επίπεδη μορφή αστοχίας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).

γ) Σφηνοειδής θράυση-ολίσθηση (Wedge failure)

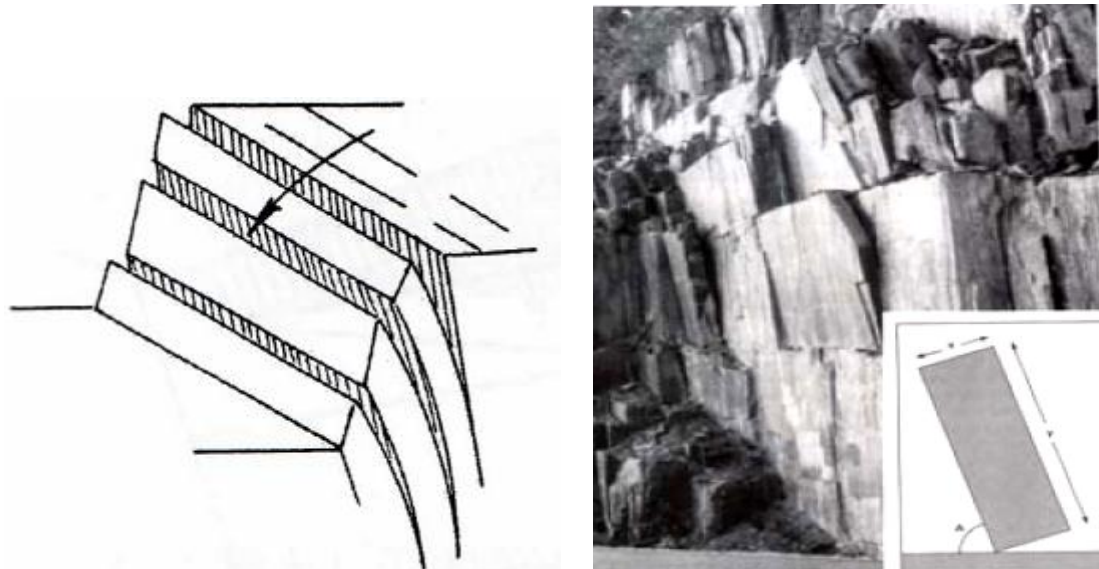
Στην αστοχία σε μορφή σφήνας, το τέμαχος περιβάλλεται από δύο τεμνόμενες ασυνέχειες, από την κεκλιμένη επιφάνεια του πρανούς και από την επάνω ελεύθερη επιφάνεια της μάζας, από την οποία θα αποσπαστεί η σφήνα (Στειακάκης, 2004) (Σχήμα 1.15). Η ολίσθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο κατά μήκος της διατομής των ασυνεχειών, όσο κατά τη φορά της κλίσης της μίας από τις δύο ασυνέχειες.



Σχήμα 1.15: Αστοχία σφήνας σε βραχώδη πρανή (Hoek and Bray, 1981).

δ) Ανατροπή (Toppling failure)

Ανατροπή μπορεί να συμβεί όταν ένα κομμάτι που περιβάλλεται από ελεύθερες επιφάνειες (πρανές) και επιφάνειες ασυνεχειών, δεν μπορεί να ολισθήσει, εξαιτίας της μικρής κλίσης της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης, που έχει γωνία μικρότερη από τη γωνία τριβής των τοιχωμάτων της ασυνέχειας και εξαιτίας της συνισταμένης των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό και δημιουργούν ροπή ως προς μία εξωτερική ακμή της βάσης του, που μπορεί να το ανατρέψει (Στειακάκης, 2004) (Σχήμα 1.16).



Σχήμα 1.16: Μορφή αστοχίας με ανατροπή (Hoek and Bray, 1981).

Στα βραχώδη πρανή, μορφές κατολισθήσεων αποτελούν και οι σάρρες (Ravelling slopes), προερχόμενες από τη διαστολή και συστολή της μάζας, εξαιτίας του νερού (πήξη-τήξη) στις ρωγμές των πετρωμάτων. Επιπλέον σημαντικό παράγοντα στις συνθήκες ευστάθειας, αποτελεί η αποσύνθεση του συνδετικού υλικού του πετρώματος και των ασυνεχειών.

1.4 Αίτια των κατολισθήσεων

Στη διατάραξη της ισορροπίας μιας φυσικής κλιτύος ή ενός τεχνητού πρανού (Σχήματα 1.17 και 1.18) συμβάλλουν:

1. Η μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους (συνοχή, γωνία εσωτερικής τριβής, ενεργή τάση)

α) Μείωση συνοχής (cohesion):

Η συνοχή εκφράζει την ικανότητα του υλικού να ανθίστανται σε διατμητικές δυνάμεις (νόμος Coulomb) (Αγιουτάντης, 2002), συμβάλλοντας στην αύξηση της διατμητικής αντοχής ενός υλικού. Στα εδάφη, η συνοχή εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε νερό, την πυκνότητα και την πλαστικότητα του και στα πετρώματα εξαρτάται επίσης από την υγρασία τους και την πυκνότητα τους.

Η παρουσία υπογείου νερού, προκαλεί απόπλυση διαλυτών ορυκτολογικών στοιχείων ή και της ορυκτής κόλλας, οδηγώντας έτσι στη μείωση της συνοχής του εδάφους. Συγκεκριμένα, στις ευαίσθητες αργίλους το ποσοστό των διαλυμένων

αλάτων στο νερό των πόρων μειώνεται από την παρουσία νερού, ελαττώνοντας έτσι τη συνοχή αυτών των εδαφών (Στειακάκης, 2004).

Επίσης κραδασμοί προερχόμενοι από σεισμούς ή εκρήξεις, οδηγούν σε μείωση της συνοχής και στη ρευστοποίηση των εδαφών.

β) Μείωση γωνίας εσωτερικής τριβής (angle of internal friction):

Στα εδάφη η γωνία εσωτερικής τριβής εκφράζει, ένα μέτρο της γωνίας φυσικής απόθεσης ενός εδάφους. Στα πετρώματα η γωνία εσωτερικής τριβής εκφράζεται έμμεσα και όταν η συμπεριφορά ενός υλικού σε διάτμηση προσομοιάζεται με το νόμο Coulomb (Αγιουτάντης, 2002).

Μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής προκαλείται κυρίως από την παρουσία νερού, η οποία οδηγεί στην απομάκρυνση των λεπτόκοκκων υλικών ενός εδάφους (εσωτερική διάβρωση), μειώνοντας τις επιφανειακές τάσεις, καθώς και τις τριβόμενες επιφάνειες.

γ) Μείωση ενεργής τάσης:

Η ενεργή τάση εκφράζει την πραγματική πίεση που εξασκείται μεταξύ των κόκκων σε ένα έδαφος, επηρεάζοντας έτσι τη διατμητική αντοχή των εδαφών, τον όγκο τους και τις καθιζήσεις. Η έννοια της ενεργής τάσης περιγράφεται πιο αναλυτικά στην παράγραφο 1.5.1.

Με την αύξηση της πίεσης των πόρων, μειώνεται η ενεργή τάση και μειώνεται η διατμητική αντοχή του γεωυλικού. Σε μια εδαφική μάζα αύξηση της πίεσης των πόρων, προκαλείται από την άνοδο της πιεζομετρικής στάθμης ή από την κάλυψη του εδάφους από νερά (Καροτσιέρης, 1993).

2. Αύξηση του βάρους

α) Αύξηση του μοναδιαίου φαινόμενου βάρους:

Η προσθήκη νερού σε έναν εδαφικό σχηματισμό, καθώς και η τριχοειδής ανύψωση του νερού, μπορούν να προκαλέσουν αύξηση του μοναδιαίου φαινόμενου βάρους. Αύξηση του βάρους λόγω κορεσμού, συμβαίνει στην περίπτωση που το γεωυλικό βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, ενώ στην περίπτωση που το γεωυλικό βρίσκεται μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα, εξαιτίας της άνωσης το βάρος του μειώνεται (Στειακάκης, 2004).

Η επίδραση της άνωσης διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ευστάθεια των πρανών, εξαιτίας του ότι προκαλεί μείωση της διατμητικής αντοχής. Έτσι, η εξίσωση Coulomb ($\tau=c+p*\epsilon\phi$, όπου: c =συνοχή, p =κατακόρυφη φόρτιση και ϕ =γωνία

εσωτερικής τριβής), τροποποιείται εξαιτίας της αντίθετης δράσης της άνωσης (u_w) σε $(\tau=c+(p-u_w)*\epsilon\phi)$. Η δράση της άνωσης μειώνει τη διατμητική αντοχή, ακόμη και αν το υπόγειο νερό δεν προκαλέσει μείωση της συνοχής και της γωνίας εσωτερικής τριβής.

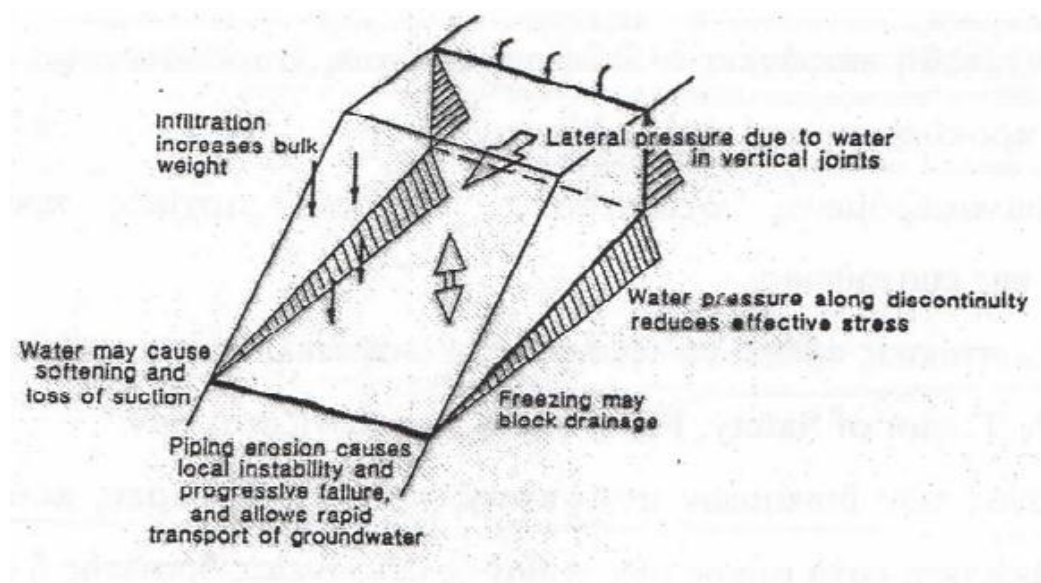
β) Φόρτιση με πρόσθετο βάρος:

Προκύπτει από μία φυσική διεργασία, όπως η συσσώρευση φερτών υλικών από προσχώσεις (κορήματα, πτώσεις βράχων), ή με την ανθρώπινη παρέμβαση, με κατασκευές μεγάλων έργων στα φυσικά πρανή ή επιχώματα. Το βάρος μπορεί να αυξηθεί σημαντικά και από τη συσσώρευση χιονιού για κάποιο χρονικό διάστημα.

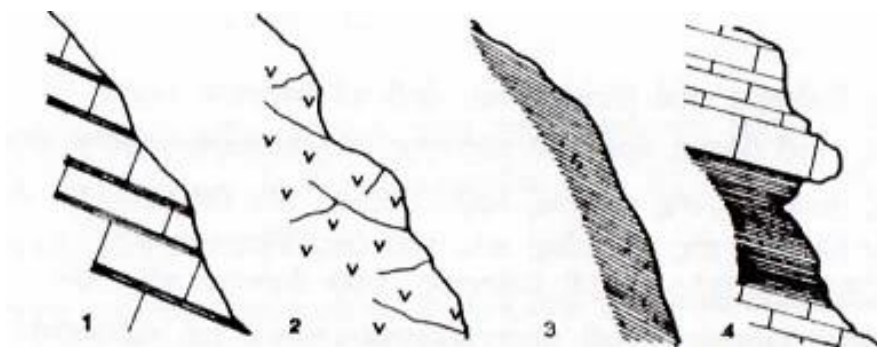
3. Διαφοροποίηση της γεωμετρίας (αύξηση της κλίσης του πρανούς ή και του ύψους)

Η ροή του νερού στα πρανή έχει ως αποτέλεσμα την κατά βάθος διάβρωση του πρανούς και την αύξηση της κλίσης του.

Η επίδραση του νερού στην ευστάθεια του πρανούς είναι καθοριστική. Το νερό εισχωρεί στις ασυνέχειες των βραχωδών πρανών, ωθεί μέσω υδροστατικής πίεσης τα βραχώδη τεμάχια προς το πρανές, ενώ στην επιφάνεια ολίσθησης το νερό προκαλεί μείωση της ενεργής τάσης και κατ' επέκταση και της διατμητικής αντοχής (Στειακάκης, 2004). Επίσης, εξαιτίας των μεταβολών της εδαφικής υγρασίας και του υδροφόρου ορίζοντα, δημιουργούνται ρωγματώσεις στον όγκο του υλικού λόγω αποξήρανσης και διαβροχής του.



Σχήμα 1.17: Επίδραση του νερού στην ευστάθεια πρανούς (Hencher, 1987).



Σχήμα 1.18: Γεωλογικές συνθήκες που ευνοούν την αστάθεια των κλιτύων. Όπου: 1. στρώματα συμπαγών πετρωμάτων με ενστρώσεις αργλικές και με κλίση ομόρροπη προς την κλίση της κλιτύς, 2. πετρώματα συμπαγή μη στρωσιγενή με διακλάσεις που οι επιφάνειες τους έχουν κλίση ομόρροπη προς την κλίση της κλιτύς, 3. στρώματα αργλικά και 4. συμπαγή πετρώματα υπερκείμενα ψευδοσυμπαγών (Κουμαντάκης, 1984).

Στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 1.4), αναφέρονται συνοπτικά οι σημαντικότεροι παράγοντες εκδήλωσης μίας κατολίσθησης.

Πίνακας 1.4: Αίτια εκδήλωσης των κατολισθήσεων (Ε.Μ.Π., 2005).

ΑΥΞΗΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	ΜΕΙΩΣΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ
<p>ΠΑΡΟΔΙΚΕΣ ΓΗΙΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Σεισμικές δονήσεις • Δονήσεις από εκρήξεις • Εξώθηση υποκείμενου πλαστικού υλικού <p>ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Διάβρωση από υδρορεύματα • Διάβρωση από κύματα • Διάλυση και αποκόμιση υλικών • Δημιουργία νέων πρανών από προηγούμενες μετακινήσεις • Υποσκαφή στο πόδι πρανούς • Δημιουργία ταμειυτήρων • <p>ΦΥΣΙΚΗ ΔΡΑΣΗ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση νερού των πόρων • Συγκέντρωση πλευρικών κορημάτων • Επιφόρτιση λόγω βλάστησης • Επιφόρτιση με τα νερά της βροχής και των πηγών <p>ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Κατασκευή επιχωμάτων • Επιφόρτιση από σκουπιδότοπο • Βάρος κτιρίων • Επιφόρτιση από απώλειες νερού αγωγών, δεξαμενών • Καλλιέργεια και άρδευση πρανούς <p>ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Παρουσία νερού σε ρωγμές και κοιλότητες • Πάγωμα νερού σε ρωγμές • Διόγκωση αργίλων ή ανυδρίτη • Κινητοποίηση της παραμένουσα τάσης 	<p>ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αποσύνδεση αργίλων και κοκκοδών πετρωμάτων • Ενυδάτωση αργλικών ορυκτών • Ξήρανση σχιστολίθων • Αποσάθρωση <p>ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Λιθολογική σύσταση • Υφή των υλικών • Ασυνέχειες • Ρήγματα • Επίπεδα στρώσης • Έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών • Φυλλώδης διάταξη των ορυκτών στους σχιστολίθους • Σχιστότητα • Ζώνες τεκτονικού κερματισμού • Συμπαγή στρώματα πάνω σε ασθενή πλαστικά • Εναλλαγή διαπερατών και ημιπερατών πετρωμάτων • Προσανατολισμός του πρανούς και η κλίση του <p>ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ</p> <p>Βροχοπτώσεις, Λιώσιμο χιονιού, Αποψύλωση, Προοδευτικός ερυσμός, Δράση ριζικού συστήματος των δένδρων, Άλλα αίτια</p> <p>ΕΝΑΥΣΜΑ ΚΙΝΗΣΗΣ</p> <p>Παρατεταμένες βροχοπτώσεις, Τήξη χιονιού, Έντονη διάβρωση, Υποσκαφή στο πόδι του πρανούς για κατασκευές, Αποψύλωση, Καλλιέργεια πρανούς, Διαρροή από τεχνητές πηγές, Γρήγορη μεταβολή στάθμης νερού, Σεισμοί, Τεκτονικές κινήσεις, Εκρήξεις, Κυκλοφορία βαρέων οχημάτων, Ξήρανση, Λατόμευση, Αναδάσωση πρανών</p>

1.5 Εκτίμηση της ευστάθειας

Η ευστάθεια σε ένα φυσικό πρανές εξαρτάται τόσο από τη βαρύτητα, η οποία αποτελεί σημαντικό παράγοντα αστάθειας, που τείνει να παρασύρει προς τα κάτω τμήμα μάζας εδάφους, όσο και από τις παραμέτρους αντοχής, τη συνοχή και την εσωτερική τριβή, οι οποίες αντιστέκονται σε οποιαδήποτε μετακίνηση, συμβάλλοντας έτσι στην ευστάθεια του πρανούς.

Οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας πρανών, βασίζονται στην παραδοχή συγκεκριμένης επιφάνειας αστοχίας. Στην περίπτωση βραχωδών πρανών, οι πιθανές μορφές αστοχίας είναι η επίπεδη ολίσθηση, η σφηνοειδής ολίσθηση και η ανατροπή, ενώ σε εδαφικά πρανή ή έντονα διαταραγμένους βράχους η πιθανή μορφή αστοχίας είναι η κυκλική ή περιστροφική.

Αφού βρεθεί η μορφή αστοχίας, πραγματοποιείται ανάλυση με «μεθόδους οριακής ισορροπίας». Γενικά για τις συνθήκες αστοχίας ενός υλικού, κάτω από δεδομένη εντατική κατάσταση και παραμορφωσιακή κατάσταση, έχουν διατυπωθεί ορισμένα κριτήρια αστοχίας (για ψαθυρά υλικά), από τα οποία τα κυριότερα είναι: η θεωρία Coulomb, η θεωρία Mohr, η θεωρία Griffith, θεωρία Hoek-Brown.

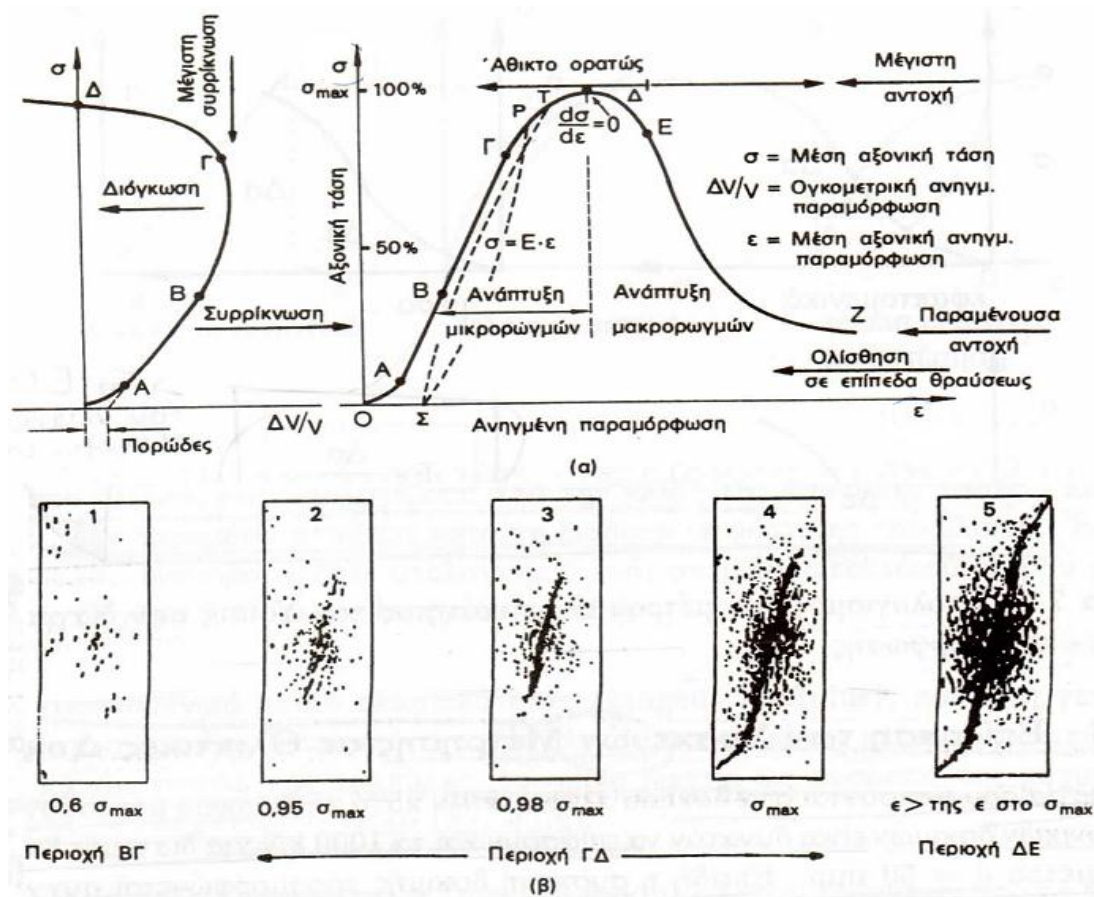
Την πιο συνηθισμένη μέθοδο, αποτελεί το κριτήριο Mohr-Coulomb ($\tau=c+\sigma_n \tan\phi$), το οποίο εφαρμόζεται κατά μήκος μιας θεωρούμενης επιφάνειας αστοχίας σε ένα τμήμα του πρανούς, υπολογίζοντας τις δυνάμεις που επενεργούν στο σώμα του και την αντίσταση στη διάτμηση που επιδεικνύει.

Αστοχία ενός υλικού επέρχεται όταν οποιαδήποτε παράμετρος αντοχής του υλικού είναι μικρότερη από την αντίστοιχη τάση καταπόνησης. Σε αυτή τη συσχέτιση λαμβάνει μέρος και ο Συντελεστής Ασφάλειας.

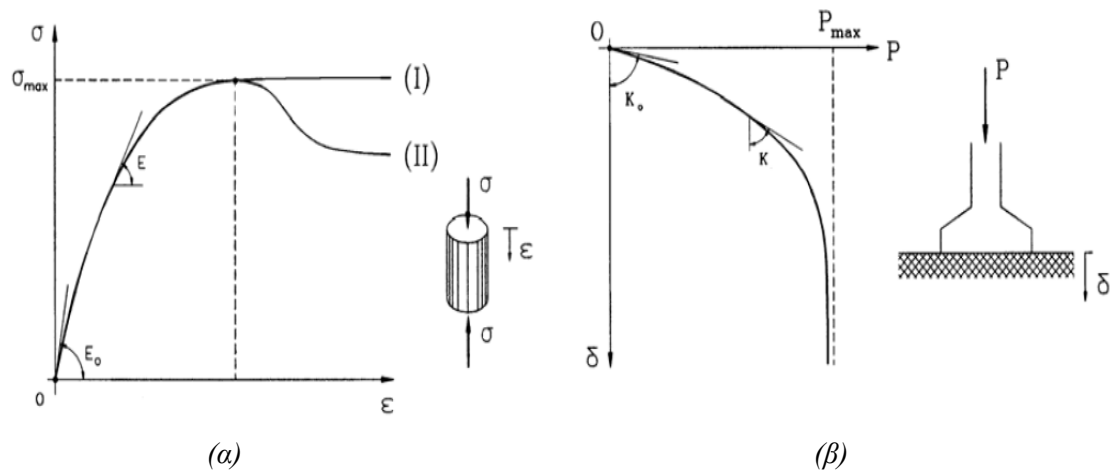
Τα πετρώματα αστοχούν σε διάτμηση (shear failure) και σε εφελκυσμό (tensile failure). Η αστοχία σε διάτμηση ή εφελκυσμό, μπορεί να οφείλεται σε μεγάλες διατμητικές ή εφελκυστικές τάσεις, η οποίες δημιουργούν άμεσα τις συνθήκες αστοχίας, ή να οφείλεται σε μεγάλες θλιπτικές τάσεις, οι οποίες δημιουργούν έμμεσα συνθήκες αστοχίας. Σε περιπτώσεις μονοαξονικών δοκιμών θλίψης, το πέτρωμα αστοχεί σε διάτμηση κατά ένα ή περισσότερα επίπεδα, κεκλιμένα ως προς τον άξονα φόρτισης. Όταν το δοκίμιο (ή ο σχηματισμός επί τόπου) αποτελείται από επίπεδα χαμηλής συνοχής, θα αστοχήσει σε διάτμηση κατά μήκος των επιπέδων αδυναμίας ή σε εφελκυσμό όταν τα φορτία εφαρμόζονται παράλληλα προς αυτά τα επίπεδα (Αγιουτάντης, 2002).

1.5.1 Διατμητική αντοχή των εδαφών-Ολική και Ενεργή τάση

Όταν ένα εδαφικό ή οποιοδήποτε άλλο υλικό, προσβληθεί σε εξωτερικά φορτία, αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις και παραμορφώσεις (Σχήμα 1.19).



Σχήμα 1.19: Πλήρες διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης (Αγιουτάντης, 2002).



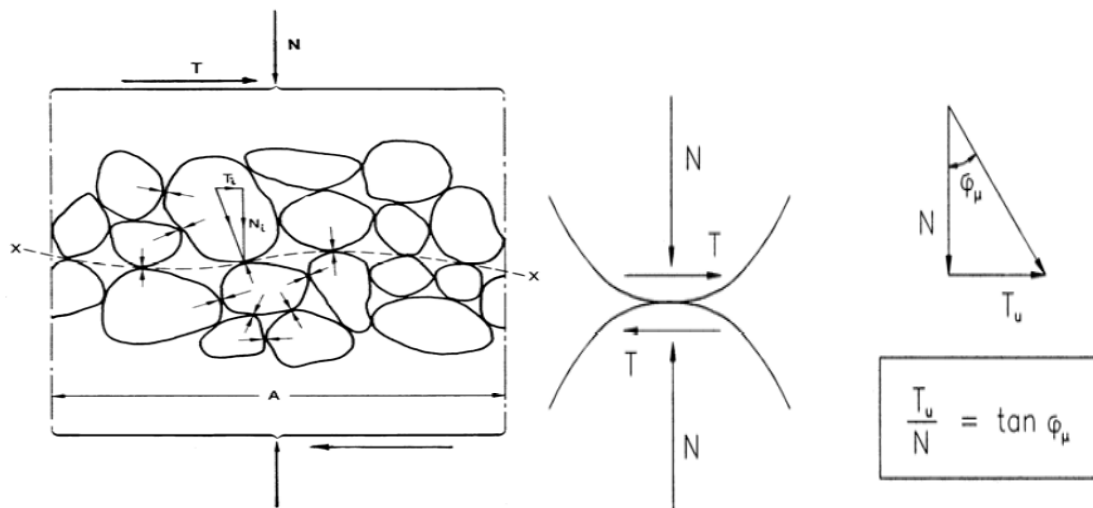
Σχήμα 1.20: (α) Καμπύλη φόρτισης αργίλου και (β) καμπύλη φορτίου-υποχώρησης θεμελίου (Craig, 1984).

Στο σχήμα 1.20 (α) και 1.19, παρατηρείται ένα διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, ενός κυλινδρικού δοκιμίου αργίλου που υφίσταται μονοαξονική καταπόνηση, καθώς και παρουσιάζονται οι μεταβολές του δοκιμίου, ανάλογα με την εντατική του κατάσταση. Η καμπύλη του σχήματος, αντιστοιχεί και σε άλλα υλικά, όπως το σκυρόδεμα, ο χάλυβας, τα πλαστικά υλικά κλπ. Αρχικά το τμήμα της καμπύλης είναι ευθύγραμμο με μέτρο ελαστικότητας E_0 , ενώ στη συνέχεια παρατηρείται αύξηση της θλιπτικής τάσης, με βαθμιαία μειούμενο ρυθμό και μείωση του μέτρου ελαστικότητας E . Η συνεχής παραμόρφωση, οδηγεί το υλικό σε μία κατάσταση, στην οποία η παραμόρφωση δεν προέρχεται από την περαιτέρω αύξηση της τάσης. Η τάση παραμένει σταθερή (I) ή μειώνεται βαθμιαία (II) (Καββαδάς, 2006). Η κατάσταση αυτή ονομάζεται *κατάσταση αστοχίας* και αντιστοιχεί στη μέγιστη φόρτιση που μπορεί να δεχθεί το υλικό.

Σε περιπτώσεις κατασκευών, η κατάσταση αστοχίας του εδάφους προκαλεί καταστροφικές συνέπειες στα έργα, εξαιτίας των σημαντικών παραμορφώσεων, που υπερβαίνουν τις ανοχές των συνήθων κατασκευών.

Στο σχήμα 1.20 (β), απεικονίζεται η καμπύλη φορτίου-υποχώρησης ενός θεμελίου με αξονική φόρτιση, το οποίο εδράζεται σε αμμώδες, εδαφικό υλικό, όπου η μορφή της καμπύλης, μοιάζει με την καμπύλη τάσεων-παραμορφώσεων του σχήματος 1.20 (α) και 1.19. Αυξάνοντας το φορτίο, αυξάνεται η υποχώρηση με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό, δηλαδή η κλίση (K) της καμπύλης μειώνεται. Το έδαφος θεμελίωσης αστοχεί, όταν το φορτίο φθάσει την τιμή P_{max} , δηλαδή η υποχώρηση αυξάνει ανεξέλεγκτα και το θεμέλιο "βυθίζεται" στο έδαφος. Η φόρτιση του θεμελίου προκαλεί την ανάπτυξη τάσεων στο έδαφος κάτω από το θεμέλιο, αλλά η ένταση των αναπτυσσόμενων τάσεων ποικίλει από θέση σε θέση. Σε αντίθεση με το σχήμα 1.20 (α), όπου η αστοχία αφορά όλα τα εδαφικά στοιχεία του δοκιμίου, λόγω του ότι έχουν την ίδια εντατική κατάσταση ($\sigma'_{zz}=\sigma_{max}, \sigma'_{xx}=\sigma'_{yy}=\sigma'_{xy}=\sigma'_{yz}=\sigma'_{xz}=0$) (Καββαδάς, 2006).

Τα κοκκώδη εδαφικά υλικά αποτελούνται από ασύνδετους ή χαλαρά συνδεδεμένους στερεούς κόκκους που σχηματίζουν τον εδαφικό σκελετό. Τα φορτία που επιβάλλονται από εξωτερικούς παράγοντες, παραλαμβάνονται από τον εδαφικό σκελετό με την ανάπτυξη ορθών και διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των κόκκων και οδηγούν σε παραμορφώσεις, εξαιτίας των ολισθήσεων και κυλίσεων μεταξύ των κόκκων (Σχήμα 1.21).



Σχήμα 1.21: Απεικόνιση της επαφής μεταξύ δύο κόκκων αμμόδους υλικού και των ορθών (N) και διατμητικών (T) δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των κόκκων (Craig, 1984).

Η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των κόκκων επηρεάζει σημαντικά την παραμόρφωση των εδαφικών υλικών. Στην παραμόρφωση των εδαφών συμβάλλει και η πραγματική συνοχή, δηλαδή η συγκόλληση των κόκκων, λόγω ηλεκτροχημικών ή άλλων δυνάμεων. Στα αμμόδη εδαφικά υλικά, η τριβή αποτελεί τον κύριο παράγοντα παραμορφώσεων, επειδή η επιρροή της πραγματικής συνοχής είναι αμελητέα.

Σύμφωνα με το θεμελιώδη νόμο της μηχανικής τριβής, για κάθε τιμή της ορθής δύναμης (N), η διατμητική αντοχή (T_u) της επαφής μεταξύ των κόκκων, δίνεται από τη σχέση:

$$T_u = N \tan \phi_\mu \quad (1.1)$$

όπου $\tan \phi_\mu$ είναι σταθερά, χαρακτηριστική του υλικού των κόκκων και ϕ η πραγματική γωνία τριβής του υλικού των κόκκων.

Αν η πραγματική διατμητική δύναμη (T) είναι μικρότερη από τη διατμητική αντοχή (T_u) ($T < T_u$), η επαφή μεταξύ των κόκκων είναι ευσταθής, ενώ, αν $T = T_u$, οι κόκκοι ολισθαίνουν μεταξύ τους (υπέρβαση της διατμητικής αντοχής) (Καββαδάς, 2006).

Έστω κορεσμένο το έδαφος στο σχήμα 1.21, στο οποίο εφαρμόζεται κατακόρυφο φορτίο (P) και ένα επίπεδο ($x'x$) διερχόμενο από τα σημεία επαφής των

κόκκων, το οποίο συμπίπτει με μία επίπεδη επιφάνεια (A) (Craig, 1984). Μέρος του φορτίου μεταφέρεται στον εδαφικό σκελετό, προκαλώντας την ανάπτυξη ορθών τάσεων, όπου το άθροισμα τους ονομάζεται ενεργή τάση (σ') και το υπόλοιπο μέρος μεταφέρεται στο νερό των πόρων, προκαλώντας την πίεση των πόρων του νερού (u). Οι τάσεις αυτές συνδέονται με τις εξής σχέσεις:

$$\sigma = \sigma' + u \text{ (ολική τάση)} \quad (1.2)$$

$$\sigma' = \sigma - u \text{ (ενεργή τάση)} \quad (1.3)$$

Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, η ενεργή τάση επιδρά στη διατμητική αντοχή των εδαφών, στη μεταβολή του όγκου τους και στις καθιζήσεις.

1.5.2 Κριτήριο Mohr-Coulomb

Σε ένα εδαφικό υλικό όταν επιβληθούν εξωτερικά φορτία, αναπτύσσονται τάσεις και παραμορφώσεις, όπως έχει αναφερθεί. Για να προσδιοριστεί η πιθανότητα αστοχίας σε ένα οποιοδήποτε επίπεδο της εδαφικής μάζας, θα πρέπει να υπολογιστούν η ορθή τάση (σ) και η διατμητική τάση (τ) που ενεργούν σε αυτό.

Η ορθή και η διατμητική τάση σε ένα επίπεδο συνδέονται με μια γενική συνάρτηση της μορφής:

$$\tau = f(\sigma) \quad (1.4)$$

η οποία είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό (Jaeger and Cook, 1979). Το πρόσημο της διατμητικής τάσης, αναφέρεται μόνο στη διεύθυνση ολίσθησης, άρα στη συνάρτηση ενδιαφέρει μόνο το μέγεθος της διατμητικής τάσης. Αυτή η συνάρτηση παριστάνεται από μια καμπύλη (σ, τ) στο επίπεδο. Όταν οι τιμές σ, τ που περιγράφουν την εντατική κατάσταση ενός υλικού και που παριστάνονται γραφικά στον κύκλο του Mohr (Σχήμα 1.22) για κάθε επίπεδο που διέρχεται από δεδομένο σημείο, βρίσκονται κάτω από την καμπύλη $f(\sigma)$, τότε οι συνθήκες αστοχίας δεν πληρούνται. Για να αστοχήσει ένα υλικό, θα πρέπει ο κύκλος του Mohr που κατασκευάζεται για μια δεδομένη εντατική κατάσταση, να εφάπτεται ή να τέμνει την καμπύλη $f(\sigma)$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι, η τιμή της ενδιάμεσης κύριας τάσης σ_2 ($\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$) δεν επιδρά στη διαμόρφωση του κριτηρίου αστοχίας (Αγιουτάντης, 2002).

Όπως έχει αναφερθεί, η γραφική παράσταση των τ συναρτήσει της σ στα επίπεδα αστοχίας, ορίζει μια καμπύλη γραμμή, η οποία προσεγγιστικά και χωρίς σοβαρό σφάλμα προσεγγίζεται από την ευθεία της εξίσωσης του Coulomb (Σχήμα 1.22):

$$\tau = S_0 + \sigma \tan \varphi \quad (1.5)$$

όπου:

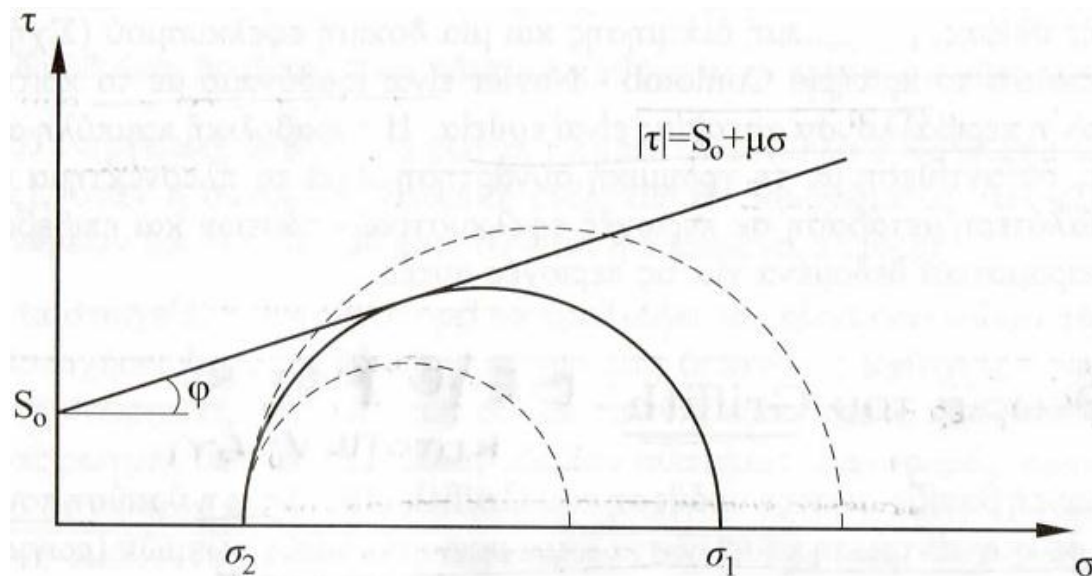
τ : η μέγιστη διατμητική τάση

σ : η ορθή (κάθετη) τάση στο επίπεδο ολίσθησης

S_0 : η συνοχή του υλικού

μ : ο συντελεστής εσωτερικής τριβής του υλικού (coefficient of internal friction)

$\mu = \tan \varphi$, όπου φ είναι η γωνία εσωτερικής τριβής του υλικού.



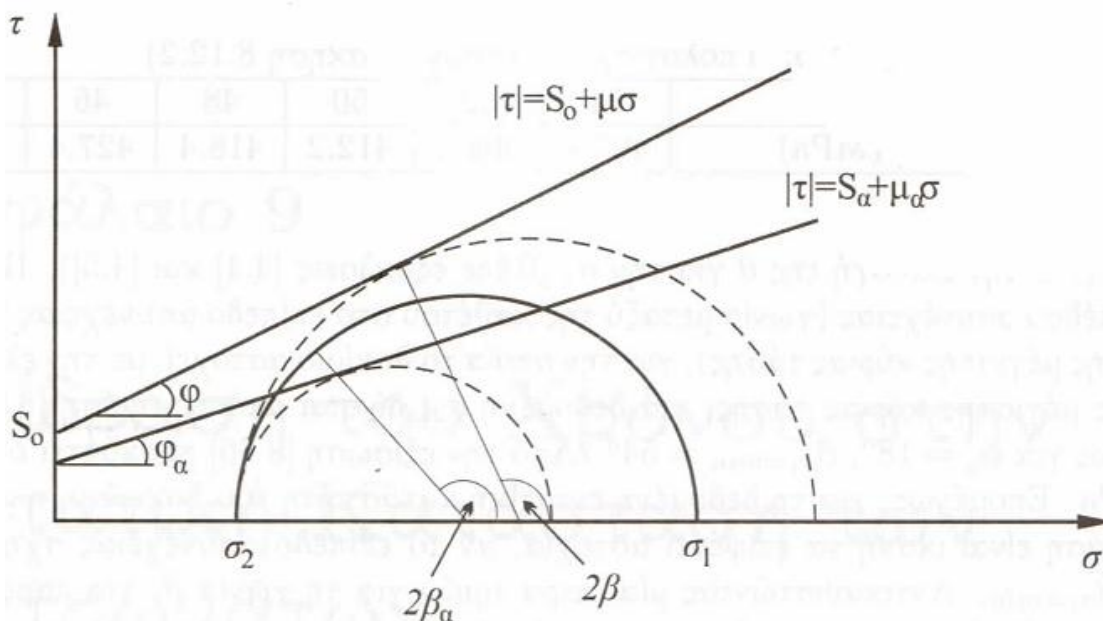
Σχήμα 1.22: Κριτήριο Coulomb και κύκλος Mohr (Αγιουτάντης, 2002).

Σε περίπτωση παρουσίας νερού στο έδαφος, τα κριτήρια αστοχίας δεν εξαρτώνται μόνο από τις τάσεις που οφείλονται στο εντατικό πεδίο, αλλά και από τις ενεργές τάσεις. Σύμφωνα με τα παραπάνω, το κριτήριο Coulomb, υπολογίζεται από τη σχέση:

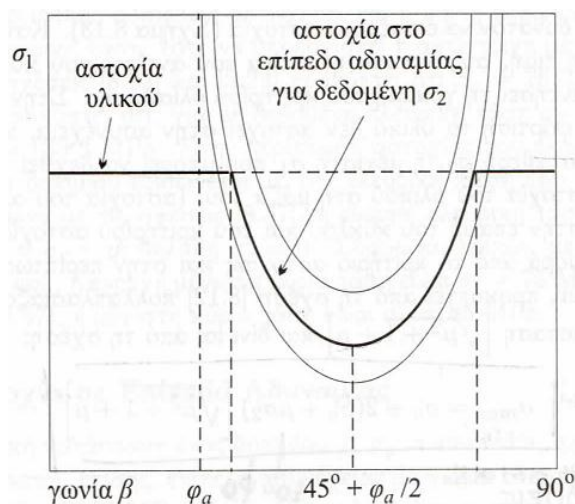
$$\tau = S_0' + \sigma' \epsilon \varphi \rightarrow \tau = S_0' + (\sigma - u) \epsilon \varphi \quad (1.6)$$

(όπου: σ' =η ενεργή τάση που ασκείται κάθετα στο επίπεδο διάτμησης, u =η πίεση του νερού των πόρων, S_0' και ϕ' = οι παράμετροι του εδάφους που αναφέρονται στις ενεργές τάσεις).

Στην περίπτωση που το πέτρωμα διασχίζεται από παράλληλα επίπεδα ασυνεχειών, το κριτήριο αστοχίας που αφορά την ολίσθηση επιφανειών αδυναμίας, περιγράφει μία αστοχία σε διάτμηση και έχει τη μορφή του κριτηρίου Mohr-Coulomb. Όταν στον κύκλο Mohr (Σχήμα 1.23) η γωνία $2\beta_\alpha$ που χαρακτηρίζει το επίπεδο αδυναμίας, ανήκει στο τόξο της χορδής του κύκλου (σημείο B), τότε οι τάσεις είναι ικανές να προκαλέσουν ολίσθηση, ενώ όταν δεν ανήκει στο τόξο αυτό (σημείο A) δεν παρατηρείται αστοχία σε αυτό το επίπεδο για δεδομένη εντατική κατάσταση. Για τιμές της γωνίας $\beta_\alpha \leq \phi_\alpha$, το υλικό δεν αστοχεί στο επίπεδο αδυναμίας, αλλά σε τυχαίο επίπεδο, όπως προβλέπεται από το κριτήριο αστοχίας του υλικού (Σχήμα 1.24) (Αγιουτάντης, 2002).



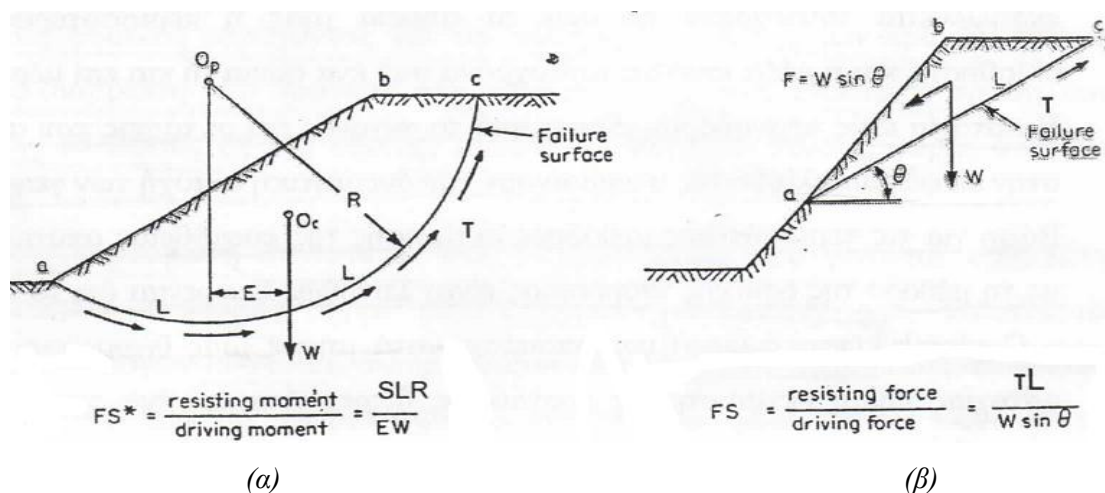
Σχήμα 1.23: Το κριτήριο Coulomb για το σώμα και την ασυνέχεια. Το κριτήριο αστοχίας του υλικού δίνεται από τη σχέση $\tau \geq S_0 + \sigma \tan \phi$ και το κριτήριο αστοχίας της ασυνέχειας από τη σχέση $S_0 > S_\alpha$ και $\tan \phi > \tan \phi_\alpha$, $\tau \geq S_\alpha + \sigma \tan \phi_\alpha$ (Αγιουτάντης, 2002).



Σχήμα 1.24: Παραμετρική παρουσίαση των συνθηκών αστοχίας σε επίπεδο ασυνέχειας ενός σώματος (Αγιουτάντης, 2002).

1.5.3 Συντελεστής Ασφάλειας (Factor of Safety, FS)

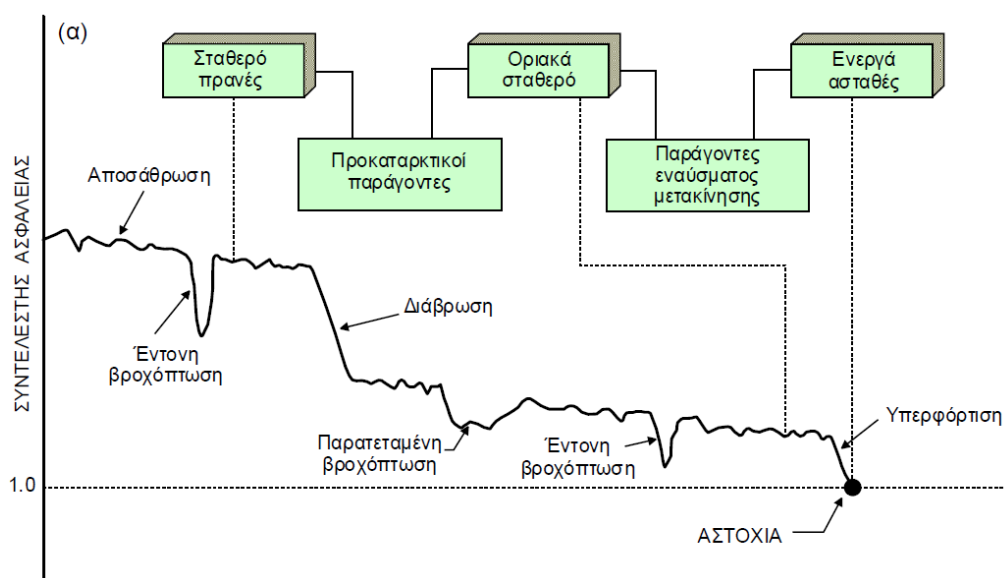
Από την παραπάνω ανάλυση οριακής ισορροπίας, προκύπτει ο Συντελεστής Ασφαλείας (Factor of Safety, FS), ο οποίος εκφράζει την αντοχή του πετρώματος έναντι θραύσης ή καταπόνησης. Ορίζεται ως ο λόγος του συνόλου των δυνάμεων ή ροπών που αντιστέκονται στην ολίσθηση και που οφείλονται στη διατμητική αντοχή του εδάφους, προς τις αντίστοιχες δυνάμεις ή ροπές που συμβάλλουν στην αστάθεια του πρανούς, προκαλώντας την ολίσθησή του (Σχήμα 1.25).



Σχήμα 1.25: Δυνάμεις που ενεργούν σε (α) κυκλικές επιφάνειες αστοχίας και (β) σε επίπεδη επιφάνεια αστοχίας (Hunt, 1986).

Κατά τον υπολογισμό του SF, με τις μεθόδους οριακής ισορροπίας πρέπει να προσδιοριστεί η κρίσιμη επιφάνεια και η αντίστοιχη ελάχιστη τιμή συντελεστή ασφαλείας για την οποία το υπό εξέταση πρανάς δεν θα αστοχήσει.

Στο διάγραμμα που ακολουθεί, παριστάνεται η μεταβολή του συντελεστή ασφαλείας ενός πρανούς με το χρόνο (Διάγραμμα 1.1).

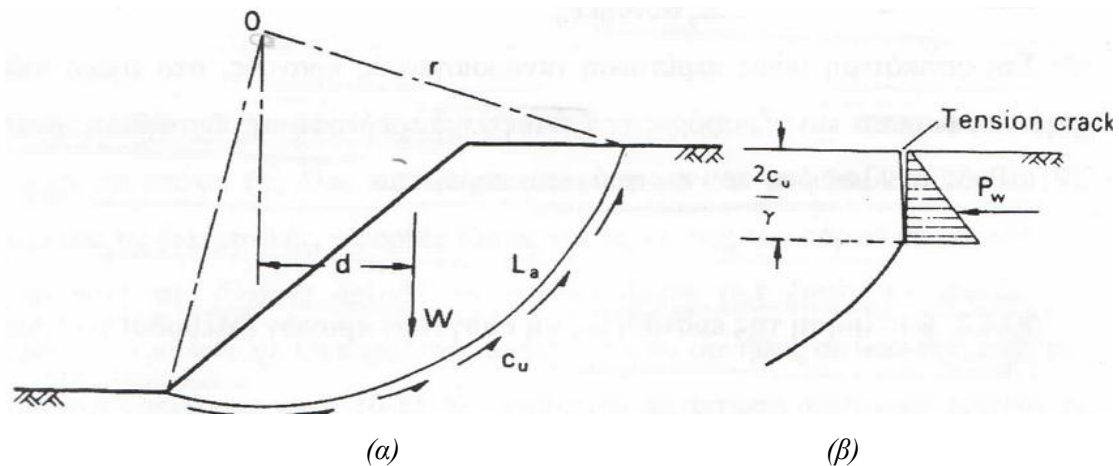


Διάγραμμα 1.1: Παράδειγμα μεταβολής του συντελεστή ασφαλείας ενός πρανούς με το χρόνο (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

● Ανάλυση ευστάθειας εδαφικών πρανών για την περίπτωση όπου $\varphi=0$

Η ανάλυση αυτή, θεωρώντας ολικές τάσεις, αφορά την περίπτωση πλήρως κορεσμένων αργίλων σε αστράγγιστες συνθήκες, στη φάση δηλαδή αμέσως μετά την κατασκευή (Στειακάκης, 2004).

Για την ανάλυση ευστάθειας θεωρείται ισορροπία ροπών. Επίσης θεωρείται μια τομή εδάφους με κυκλική επιφάνεια ολίσθησης (κέντρου O, ακτίνας r και μήκους L_a), όπου η πιθανή αστοχία οφείλεται στο ολικό βάρος της εδαφικής μάζας, πάνω από την επιφάνεια αστοχίας (Σχήμα 1.26).



Σχήμα 1.26: Ανάλυση ευστάθειας εδαφικών πρανών για την περίπτωση $\varphi=0^\circ$ (Στειακάκης, 2004).

Από την ισορροπία ροπών γύρω από το σημείο O προκύπτει ότι ο συντελεστής ασφάλειας είναι:

$$Wd=(c_u/F)L_a r \rightarrow F=L_a c_u r/Wd \quad (1.7)$$

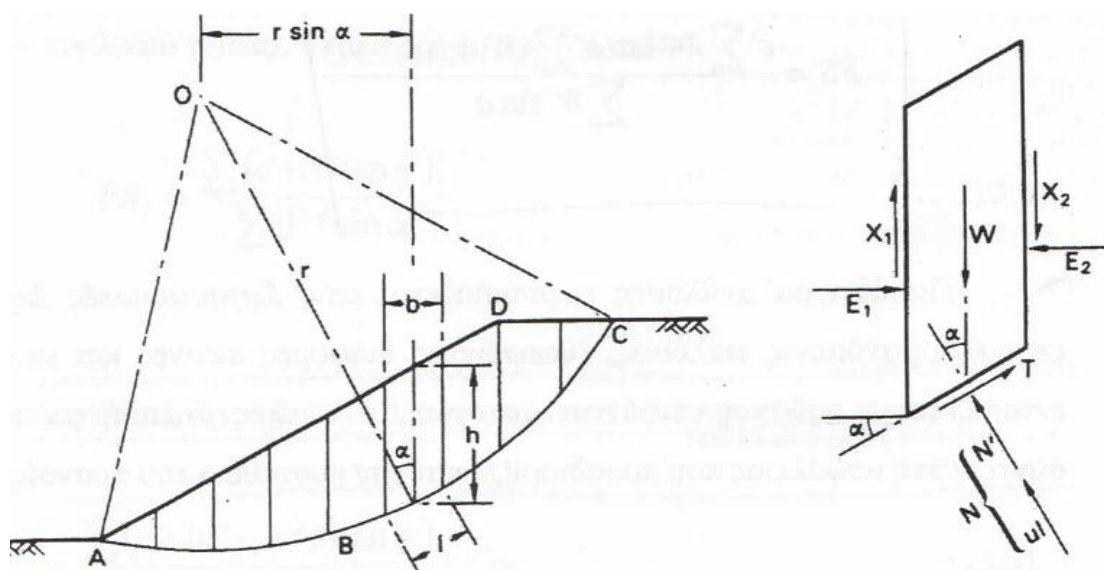
Εάν εμφανιστεί ρωγμή στην επιφάνεια (Σχήμα 1.26 (β)), το μήκος του τόξου L_a θα μικρύνει και θα πρέπει να θεωρηθεί μια υδροστατική πίεση (P_w) κάθετα στη ρωγμή, σε περίπτωση που αυτή θα είναι γεμάτη με νερό. Για να βρεθεί ο ελάχιστος συντελεστής ασφάλειας θα πρέπει να γίνουν αναλύσεις για έναν αριθμό θεωρούμενων επιφανειών (Στειακάκης, 2004).

Στην περίπτωση που θεωρείται ομογενές το πρανές (θεωρώντας ολικές τάσεις), η ευστάθεια του μπορεί να προσδιορισθεί με βάση τα νομοδιαγράμματα Taylor και ο συντελεστής ασφάλειας μπορεί να υπολογιστεί από το ύψος του πρανούς και τη γωνία τριβής φ , σε αστράγγιστες συνθήκες. Όμως γενικότερα τα πρανή είναι ανομοιογενή, αναπτύσσονται και υδροφόροι ορίζοντες σε αυτά, με αποτέλεσμα η εκτίμηση της ευστάθειας να γίνεται με τις Μεθόδους Λωρίδων.

● **Εκτίμηση ευστάθειας μη ομογενών πρανών (Μέθοδοι Λωρίδων)**

Θεωρείται ολίσθηση κατά κυκλικό τομέα και η μάζα του εδάφους που μπορεί να ολισθήσει χωρίζεται σε κατακόρυφες λωρίδες, όπου η ισορροπία εξετάζεται ξεχωριστά σε κάθε λωρίδα. Από την ανάλυση των δυνάμεων προκύπτουν εξισώσεις ισορροπίας δυνάμεων και μια εξίσωση ισορροπίας ροπών για κάθε λωρίδα, ο αριθμός

των οποίων είναι μικρότερος από τον αριθμό των αγνώστων, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να προσδιοριστεί η ορθή τάση (N) στη διατμητική επιφάνεια (Σχήμα 1.27). Εξαιτίας των παραπάνω, ανάλογα με τις παραδοχές που έχουν γίνει (για τη διεύθυνση ή/και το μέγεθος των δυνάμεων μεταξύ των λωρίδων) έχουν προκύψει διάφοροι μέθοδοι επίλυσης, όπως η Τροποποιημένη Μέθοδος Bishop (complete Bishop method), η οποία είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος.



Σχήμα 1.27: Μέθοδος των λωρίδων και ανάλυση των δυνάμεων που ενεργούν σε κάθε λωρίδα (Στειακάκης, 2004).

Τροποποιημένη Μέθοδος Bishop (Complete Bishop Method)

Σε αυτή τη μέθοδο γίνεται η παραδοχή ότι οι εφαπτομενικές δυνάμεις στις πλευρές των λωρίδων είναι πολύ μικρές, άρα μπορούν να μην ληφθούν υπ' όψη. Από την ισορροπία δυνάμεων στην κάθετη διεύθυνση υπολογίζονται οι ορθές τάσεις στη διατμητική επιφάνεια, ενώ η διατμητική τάση στη βάση κάθε λωρίδας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = (1/FS_1) * (c'l + N'tan\phi') \quad (1.8)$$

Από την ανάλυση των δυνάμεων στην κάθετη διεύθυνση προκύπτει:

$$\begin{aligned} W &= N' \cos\alpha + ul \cos\alpha + (c'l/FS_1) \sin\alpha + (N'/FS_1) \tan\phi' \sin\alpha \rightarrow \\ N' &= [W - (c'l/FS_1) \sin\alpha - ul \cos\alpha] / [(\cos\alpha + \tan\phi' \sin\alpha) / FS_1] \end{aligned} \quad (1.9)$$

και από τη σχέση του συντελεστή ασφάλειας (θεωρώντας ροπές γύρω από το κέντρο του κυκλικού τομέα):

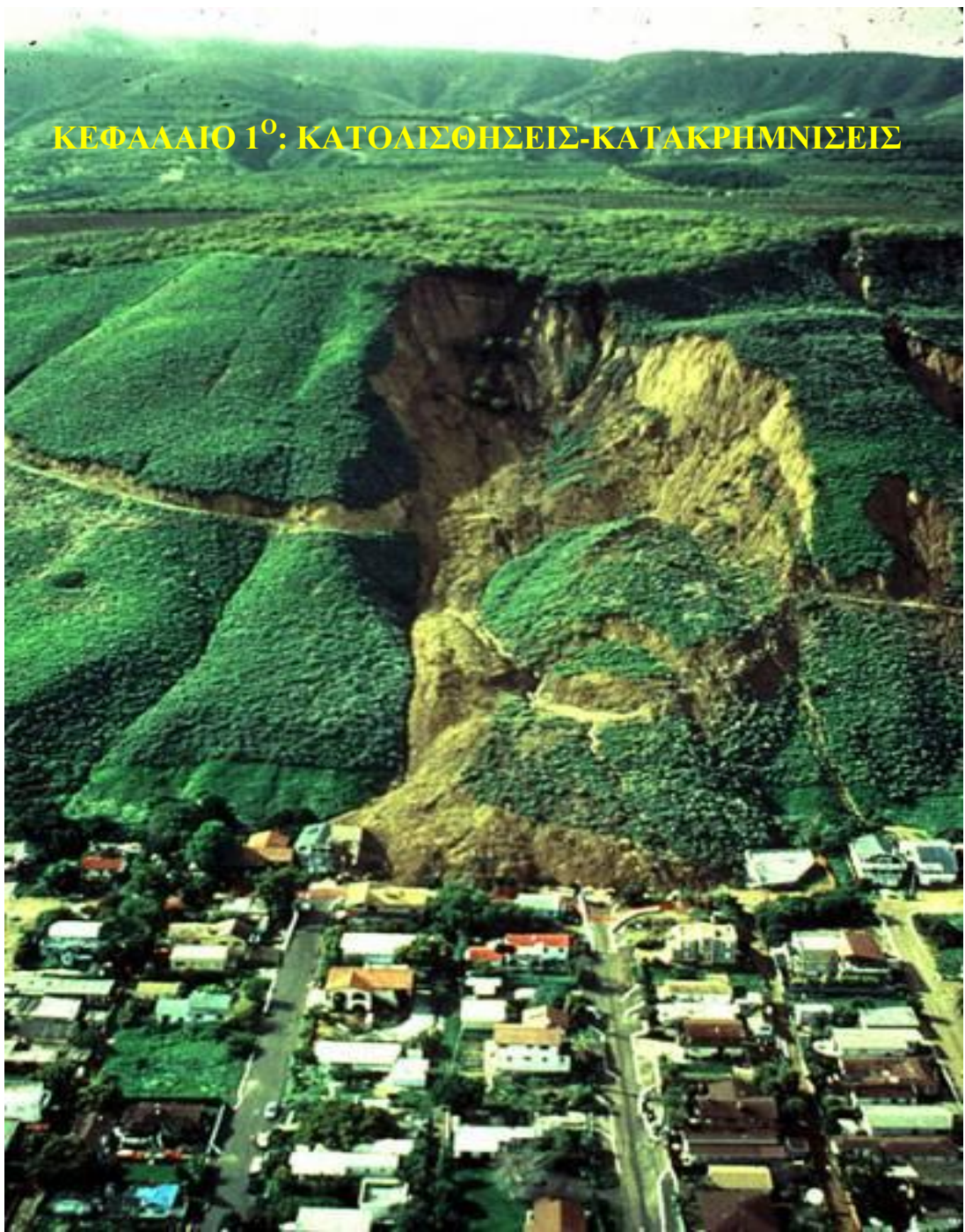
$$FS_2 = \frac{\sum(c' + N' \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (1.10)$$

προκύπτει η σχέση:

$$FS_2 = \left[\frac{\sum(c + (W - ul) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \right] \cdot 1/m_a \quad (1.11)$$

όπου: $m_a = \cos \alpha [1 + \tan \alpha (\tan \phi' / FS_1)]$

Στην εξίσωση 1.11, παρατηρούνται δύο συντελεστές ασφάλειας, υποθέτοντας την τιμή του FS_1 υπολογίζεται ο FS_2 και η προσεγγιστική μέθοδος σταματάει όταν $FS_1 = FS_2$. Από τις μεθόδους Bishop προκύπτουν υψηλές τιμές του FS, όταν η γωνία της επιφάνειας αστοχίας, στην κατώτερη περιοχή του πρηνούς είναι 30° (Στειακάκης, 2004).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ-ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΕΙΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια κύρια μέτρα αποκατάστασης των κατολισθητικών φαινομένων, π.χ. υπόγεια αποστράγγιση, τοίχοι αντιστήριξης, αλλαγή των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πρανούς, αποφορτίσεις της ασταθούς μάζας κ.α. Για την αποκατάσταση μιας ασταθούς περιοχής, θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη τα υδρολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά που επικρατούν σε κάθε περιοχή, καθώς και να εφαρμόζονται τα απαραίτητα μέτρα αποστράγγισης, σε περιπτώσεις που το απαιτούν κάποια έργα αποκατάστασης, πχ. σε τοίχους αντιστήριξης.

2.2. Μέτρα αντιμετώπισης-πρόληψης των κατολισθήσεων

Οι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω είναι: α) οι μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων και των εδαφών, β) το βάρος των παραπάνω γεωλογικών σχηματισμών και γ) η κλίση των πρανών, όπου εκδηλώνεται η κατολίσηση.

Τα συνήθη μέτρα που λαμβάνονται για τη βελτίωση των παραπάνω παραγόντων είναι:

- α) Αλλαγή της γεωμετρίας.
- β) Αποστράγγιση των υπογείων νερών με οριζόντια διατρήματα (γεωτρήσεις), στοές και διευθέτηση των επιφανειακών νερών, π.χ. στεγανοποίηση των επιφανειακών ρωγμών.
- γ) Ενίσχυση του πρανούς με ιλώσεις-αγκυρώσεις.
- δ) Υποστήριξη με τεχνικά έργα υποστήριξης.
- ε) Επιφανειακή προστασία με εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, δίχτυα κλπ.

Τα μέτρα διαχωρίζονται σε αυτά που μπορούν να ληφθούν πριν εκδηλωθεί μία κατολίσηση, γνωστά ως μέτρα πρόληψης και σε αυτά που λαμβάνονται για την αποκατάσταση και την εμπόδιση εκδήλωσης νέας κατολίσησης, τα μέτρα αναχαίτισης.

Τα μέτρα αποκατάστασης θα πρέπει να επιλεγούν για κάθε περίπτωση, σύμφωνα με τα υδρολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, σύμφωνα με τις αιτίες που προκλήθηκε η κατολίσηση, καθώς και των διαστάσεων της ασταθούς μάζας κ.α. Για παράδειγμα, αν οι έντονες βροχοπτώσεις θα ανεβάσουν την

πιεζομετρική επιφάνεια πίσω από ένα πρανές, ή μειώσουν τη συνοχή των υλικών, τότε το πρανές θα πρέπει να επενδυθεί με ένα στεγανό κάλυμμα. Άλλο παράδειγμα αποτελεί ο παγετός, όπου εξαιτίας της χαλάρωσης του εδάφους που προκαλεί, είναι αναγκαία η κατασκευή ενός δικτύου αποστράγγισης των υλικών του επιφανειακού μανδύα από τα υπόγεια νερά. Επίσης, αν μία άμμος κινδυνεύει να ρεύσει, θα πρέπει να συμπυκνωθεί κ.α. (Κουμαντάκης, 1984).

Τα συνήθη, σήμερα μέτρα παρεμβάσεων προληπτικά ή αναχαιτιστικά, που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των παραγόντων που οδηγούν σε κατολισθήσεις είναι τα ακόλουθα:

○ Διευκόλυνση της επιφανειακής απορροής του νερού και εμπόδιση της κατείσδυσης του

Αυτό επιτυγχάνεται με την εξομάλυνση της επιφάνειας του εδάφους (κλείσιμο κοιλοτήτων, οπών), με το κλείσιμο των ανοικτών εφελκυστικών ρωγμών και με τη δημιουργία δικτύου αποχέτευσης (Καροτσιέρης, 1993). Με την αποχέτευση των επιφανειακών νερών, απομακρύνονται τα νερά από την επιφάνεια της κατολίσθησης, δε λιμνάζουν σε αυτή και έτσι τα νερά δεν κατεισδύουν στο υπέδαφος.

○ Υπόγεια αποστράγγιση

Κατασκευάζονται ανοιχτά στραγγιστήρια, τάφροι, που ανοίγονται κατά κλίση και φθάνουν μέχρι το σταθερό υπόβαθρο της κατολίσθησης, καθώς και σήραγγες αποστράγγισης, όταν δεν είναι δυνατή η κατασκευή στραγγιστηρίων εξαιτίας του μεγάλου πάχους της ασταθούς μάζας. Η επένδυση τους απαιτείται για την αποφυγή διεισδύσεων και διαβρώσεων από το νερό.

Οι τάφροι κατασκευάζονται με κλίσεις τουλάχιστον 10% και είναι επενδεδυμένες με προκατασκευασμένα καναλέτα από μπετόν, τραπεζοειδούς κάτοψης και μεταβλητής διατομής απορροής. Συνδέονται μεταξύ τους με μικρή, εύκαμπτη αλληλοεπικάλυψη, αποφεύγοντας τις διαρροές μεταξύ των συνδέσεων και θραύσεις από μετακινήσεις του εδάφους. Τα καναλέτα τοποθετούνται σχεδόν σε όλες τις τάφρους, καθώς και στη κεντρική συλλεκτήρια τάφρο, η οποία βρίσκεται βαθιά στο έδαφος και συγκεντρώνει τα νερά και των δύο πλευρών. Μειονέκτημα στην κατασκευή των τάφρων, αποτελεί η επένδυση από μπετόν, η οποία από τις μετακινήσεις θραύεται εύκολα και δημιουργούνται ρωγμές από τις οποίες κατεισδύει το νερό στο υπέδαφος. Έτσι, το μπετόν καλό θα ήταν να οπλίζεται, με 2-3 σίδερα μικρής διαμέτρου. Σε μικρές κλίσης εδάφους, είναι αναγκαστικές οι επενδύσεις από

μπετόν, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα καναλέτα, εξαιτίας της διαφυγής του νερού από αυτά (Κουμαντάκης, 1984).

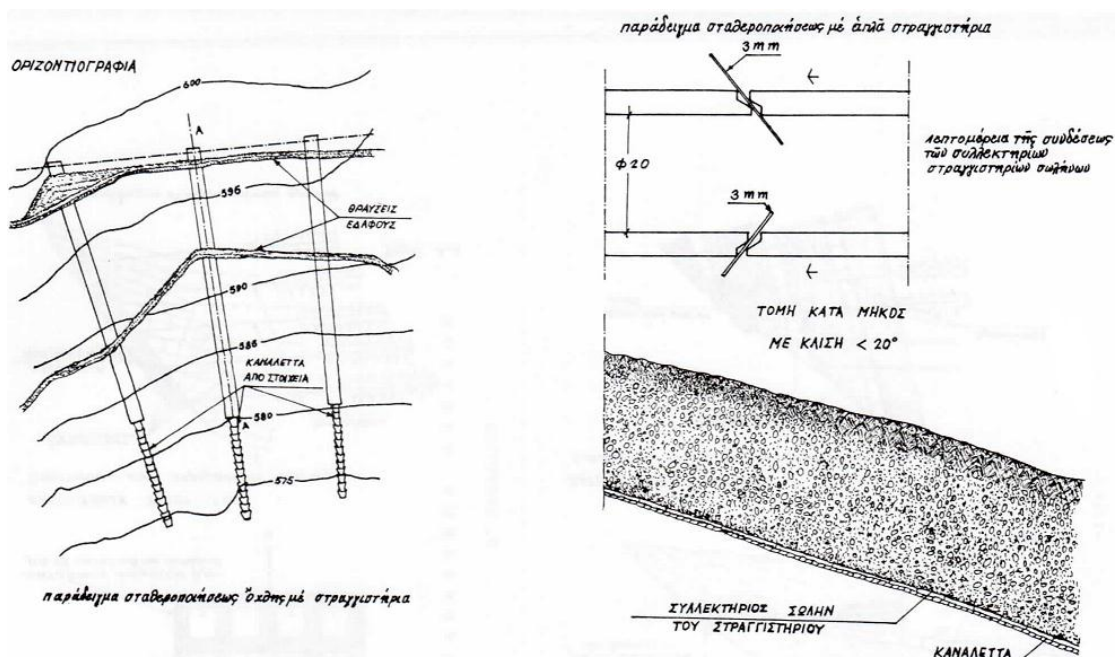
Απαραίτητη επίσης είναι, η συλλογή τυχόν νερών από τις γύρω περιοχές προς την ευπαθή μάζα, με κατασκευή περιμετρικών στεγανών τάφρων.

Η συλλογή των υπογείων νερών, όπως έχει αναφερθεί, μπορεί να γίνει με στραγγιστήρια, που πρέπει να φτάνουν μέχρι το σταθερό τμήμα των υλικών που μετακινούνται (Σχήμα 2.1). Διανοίγεται τρανσέρα κατά τη γραμμή της μέγιστης κλίσης του εδάφους, για να αποφευχθεί νέα κίνηση λόγω εκσκαφής και στον πυθμένα της κατασκευάζεται οχετός από ξηρολιθοδομή ή τοποθετούνται έτοιμοι διάτρητοι σωληνωτοί οχετοί π.χ. τσιμεντένιοι, πλαστικοί κ.α., περιβαλλόμενοι από φιλτροχάλικο, για αποφυγή αποφράξεων από λεπτόκοκκα υλικά των πρανών (Κουμαντάκης, 1984).

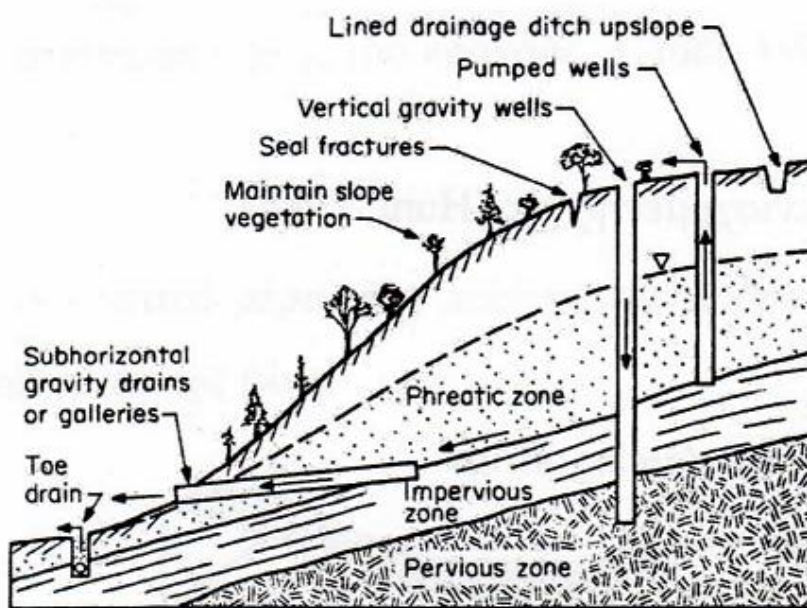
Όταν η στάθμη των υπογείων νερών βρίσκεται σε σχετικά μεγάλο βάθος, η αποστράγγιση μπορεί να γίνει με *σήραγγες αποστράγγισης* μέτριας διατομής. Για την οικονομικότερη εφαρμογή τους, μερικές φορές δεν κατασκευάζεται επένδυση στις σήραγγες αποστράγγισης και ο κενός χώρος συμπληρώνεται με αποστραγγιστικά υλικά π.χ. ογκολίθους, άμμο, χάλικες κ.α., καθώς και τοποθετείται στον πυθμένα τους ένας συλλεκτήριο αγωγός. Όμως, παρά την οικονομικότερη κατασκευή, η λειτουργία του αγωγού και η αντικατάσταση του δεν είναι εφικτή.

Για την καλύτερη απόδοση λειτουργίας μίας σήραγγας, μπορούν να κατασκευαστούν κεκλιμένα στραγγιστήρια, για την αποστράγγιση υπογείων νερών, που εξαιτίας υδατοστεγανών πετρωμάτων, δεν καταλήγουν στη σήραγγα. Τα κεκλιμένα στραγγιστήρια μπορεί να είναι πλαστικά ή μεταλλικά με οπές, τα οποία εισάγονται στο υπέδαφος με γεωτρύπανα, με απευθείας έμπηξη μέσω πίεσεως κ.α., για τη συλλογή των υπογείων νερών.

Η υπόγεια αποστράγγιση μπορεί να γίνει και με οριζόντια διατρήματα (Σχήμα 2.2), η οποία θα πρέπει να συνδυάζεται και με τη διευθέτηση των επιφανειακών νερών.



Σχήμα 2.1: Παράδειγμα σταθεροποίησης με απλά στραγγιστήρια (Κουμαντάκης, 1984).



Σχήμα 2.2: Απεικόνιση αποστράγγισης υπογείων νερών με οριζόντια διατρήματα (γεωτρήσεις) (Hunt, 1984).

○ Ελάττωση της κλίσης

Γίνεται συνήθως με τη διαμόρφωση βαθμίδων σε τεχνητά αλλά και σε φυσικά πρανή, αναλογίας βάσης προς ύψος 1:1 ή 3:2. Το πλάτος των βαθμίδων είναι συνήθως 2-3 m και εσωτερικά των βαθμίδων κατασκευάζεται συλλεκτήρια τάφρος, μικρής κλίσης,

όπου κατευθύνονται τα όμβρια νερά σε κεντρική συλλεκτήρια τάφρο και απομακρύνονται.

○ **Ενίσχυση στον πόδα του πρανούς**

Επιτυγχάνεται με επιφανειακή φόρτιση στη βάση του πρανούς, ώστε να αυξηθεί το βάρος του τμήματος που αντιστέκεται στην κατολίσθηση.

○ **Αποφόρτιση**

Πρόκειται για την απομάκρυνση από ένα μέτωπο ή μία κλιτύ, εκείνων των τμημάτων του πετρώματος που μπορούν να αποκοπούν και να πέσουν, ή και την απομάκρυνση κάποιες φορές και ολόκληρων κατασκευών.

○ **Στηθαίο ανακοπής κίνησης και συγκράτησης μαζών**

Για την κατασκευή του στηθαίου χρησιμοποιούνται μεταλλικοί πάσσαλοι μεγάλης αντοχής, που μπήγονται στο έδαφος και συνδέονται εγκάρσια με μεταλλικές δοκούς κ.α.

○ **Δίκτυα προστασίας (συρματοπλέγματα)**

Πρόκειται για χαλύβδινα σύρματα (3 mm), με ρομβοειδή πλέξη των 3-5 cm, που καλύπτουν τις κλιτείς και στερεώνονται με χαλύβδινα καρφιά. Χρησιμοποιούνται σε υψηλά πρανή δρόμων (φυσικά ή τεχνητά) για τον περιορισμό της ορμής των βράχων.

○ **Εμπόδια από λιθόρριπτο υλικό**

Είναι εύκαμπτες κατασκευές, αποτελούμενες από ογκολίθους, που προστατεύουν τις κλιτείς από έντονες διαβρώσεις, ελαττώνοντας την κινητική ενέργεια του νερού. Σε περίπτωση υποσκαφής της θέσης που εδράζονται, μπορούν να μετακινηθούν σε άλλες θέσεις (Κουμαντάκης, 1984).

○ **Αναβαθμοί**

Για την ελάττωση της ορμής του νερού και της ανύψωσης του πυθμένα της κοίτης των υδατορευμάτων, που συνεπάγεται και μείωση του ύψους του πρανούς, κατασκευάζονται κάθετα προς τις κοίτες αναβαθμοί (επιχωματώσεις). Επίσης, με τις επιχωματώσεις ενισχύεται η ευστάθεια στον πόδα του πρανούς. Οι αναβαθμοί μπορούν να κατασκευαστούν με τοιχοποιία, με συρματοκιβώτια κ.α.

○ **Τεχνητή σήραγγα**

Σε περιπτώσεις δημιουργίας συγκοινωνιακών έργων, κατασκευάζονται συνήθως υψηλά εκχώματα, από υλικά προερχόμενα από τη διάνοιξη των δρόμων, σε υλικά που ευνοούν τις κατολισθήσεις. Για να αποφευχθούν αποφράξεις δρόμων και κατολισθήσεις, καλύπτεται το κατώτερο τμήμα του εκχώματος, μπαζώνεται στη

συνέχεια στο σύνολο του, δημιουργώντας έτσι ένα είδος σήραγγας, η οποία αποτρέπει την εκδήλωση νέας κατολίσθησης (Κουμαντάκης, 1984).

○ **Τοίχοι αντιστήριξης**

Κατασκευάζονται στη βάση των πρανών και θεμελιώνονται σε βάθος ανάλογα με την επιφάνεια ολίσθησης. Σε περίπτωση που η επιφάνεια αυτή βρίσκεται σε μεγάλο βάθος, θεμελιώνονται σε οπλισμένους πάσσάλους που φθάνουν κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Οι πάσσαλοι εξαιτίας του ότι είναι ανθεκτικοί σε διάτμηση και κάμψη, αποτρέπουν τις κατολισθητικές κινήσεις.

Ανάλογα με τα υλικά κατασκευής τους διακρίνονται σε: τοιχοποιία με κονίαμα και τοιχοποιία χυτή, πρόκειται για άκαμπτες κατασκευές, σε ημιάκαμπτες κατασκευές τοιχοποιίας από λιθοδομή και σε τοιχοποιία με συρματοκιβώτια, οι οποίες αποτελούν εύκαμπτες κατασκευές που παραλαμβάνουν μέτριες παραμορφώσεις.

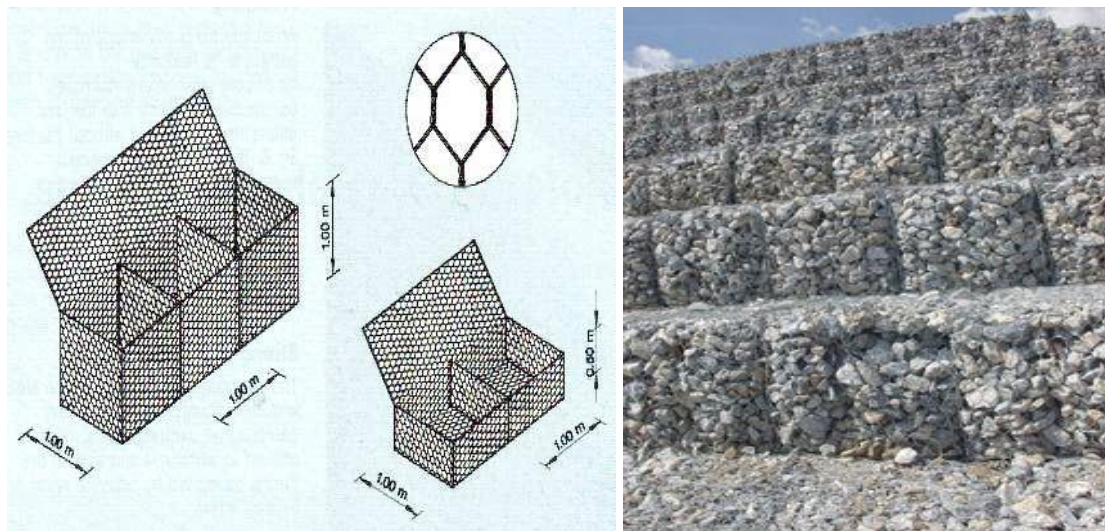
Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να γίνεται καλή αποστράγγιση των υλικών του πρανούς πίσω από τον τοίχο αντιστήριξης.

Όπως έχει αναφερθεί, οι τοίχοι διακρίνονται στους άκαμπτους και στους εύκαμπτους τοίχους βαρύτητας, οι οποίοι είναι πιο οικονομικοί και χρησιμοποιούνται όχι σε μεγάλες ωθήσεις. Χαρακτηριστικό τους είναι ό,τι είναι «ανεκτικοί» στις υποχωρήσεις.

Εύκαμπτοι τοίχοι

α) Συρματοκιβώτια (gabions)

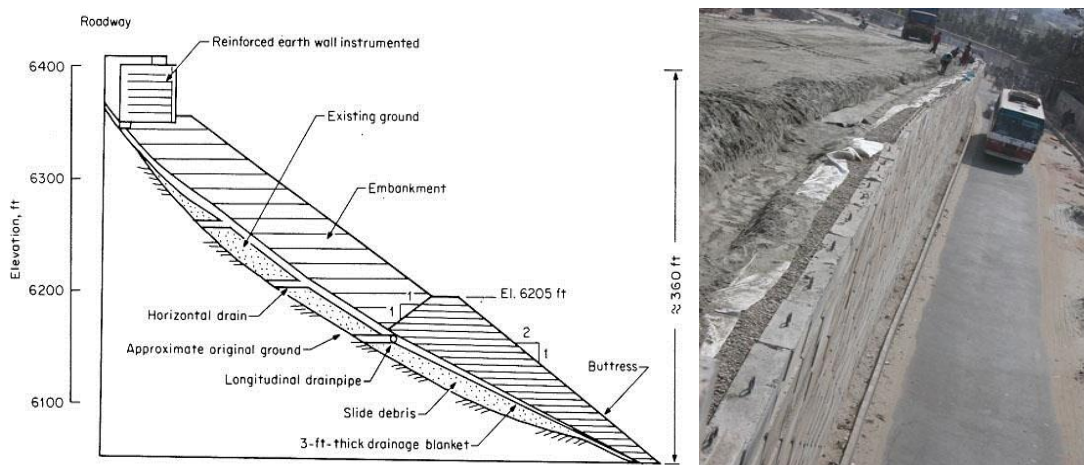
Πρόκειται για συρματοσακκούς διαστάσεων 50 cm η κάθε πλευρά, αποτελούμενοι από γωνιώδη θραύσματα πετρωμάτων 10-15 cm, οι οποίοι εξαιτίας του βάρους τους, της αλληλοεμπλοκής και της τριβής που αναπτύσσουν μεταξύ τους, συμβάλλουν στην υποστήριξη του μετακινούμενου εδάφους. Τα ύψη που κατασκευάζονται είναι περίπου 10m (Hunt, 1986) (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3: Αποψη συρματοκιβωτίων (Ανακτήθηκε από: www.temkald.gr).

β) Τοίχοι από οπλισμένο έδαφος-ενισχυμένη γη (*reinforced earth wall*)

Αποτελούν μια μάζα από οριζόντιες στρώσεις εδάφους, πάχους 25 cm περίπου, ανάμεσα στις οποίες τοποθετείται ο οπλισμός (μεταλλικές λάμες, ράβδοι), ο οποίος παραλαμβάνει τις εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται στο επίχωμα. Η κοκκομετρία των υλικών θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να δίνει ένα πυκνό έδαφος με ικανοποιητική τριβή μεταξύ του εδάφους και του οπλισμού. Ο οπλισμός θα πρέπει να αντέχει σε εφελκυσμό και σε διάβρωση (Βαλαλάς, 1979). Για λόγους προστασίας από διάβρωση, αλλά και για αισθητικούς, ο οπλισμός συνδέεται στο μέτωπο του τοίχου με εξωτερική λεπτή επένδυση από προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Η αντοχή των επί μέρους στοιχείων του έργου θα πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να υποστεί τις πλευρικές ωθήσεις που αναπτύσσονται. Πρόκειται για κατασκευές ύψους 15 m και μήκους 0.8-1.2 m του ύψους τους (Hunt, 1986).



Σχήμα 2.4: Τοίχος από οπλισμένο έδαφος-ενισχυμένη γη (Hunt, 1984).

γ) Μεταλλικοί τοίχοι

Πρόκειται για πασσαλοσανίδες που στερεώνονται με αγκύρια στο πρανές ή στην εκσκαφή και χρησιμοποιούνται μαζί με άλλα μέτρα σταθεροποίησης για την υποστήριξη πλευρών εκσκαφής, συνήθως σε πλευρικά κορήματα (Hunt, 1986).

Άκαμπτοι τοίχοι

α) Απλοί τοίχοι βαρύτητας (*Gravity walls*)

Είναι κατασκευές από άοπλο σκυρόδεμα, αντιστέκονται στη κίνηση-ώθηση με το βάρος της μάζας τους και δεν ανθίστανται στις εφελκυστικές τάσεις. Πρόκειται για κατασκευές αρκετού κόστους, όταν πρόκειται να κατασκευαστούν μεγάλου ύψους τέτοιοι τοίχοι.

β) Τοίχοι ημιβαρύτητας (*Semi-gravity walls*)

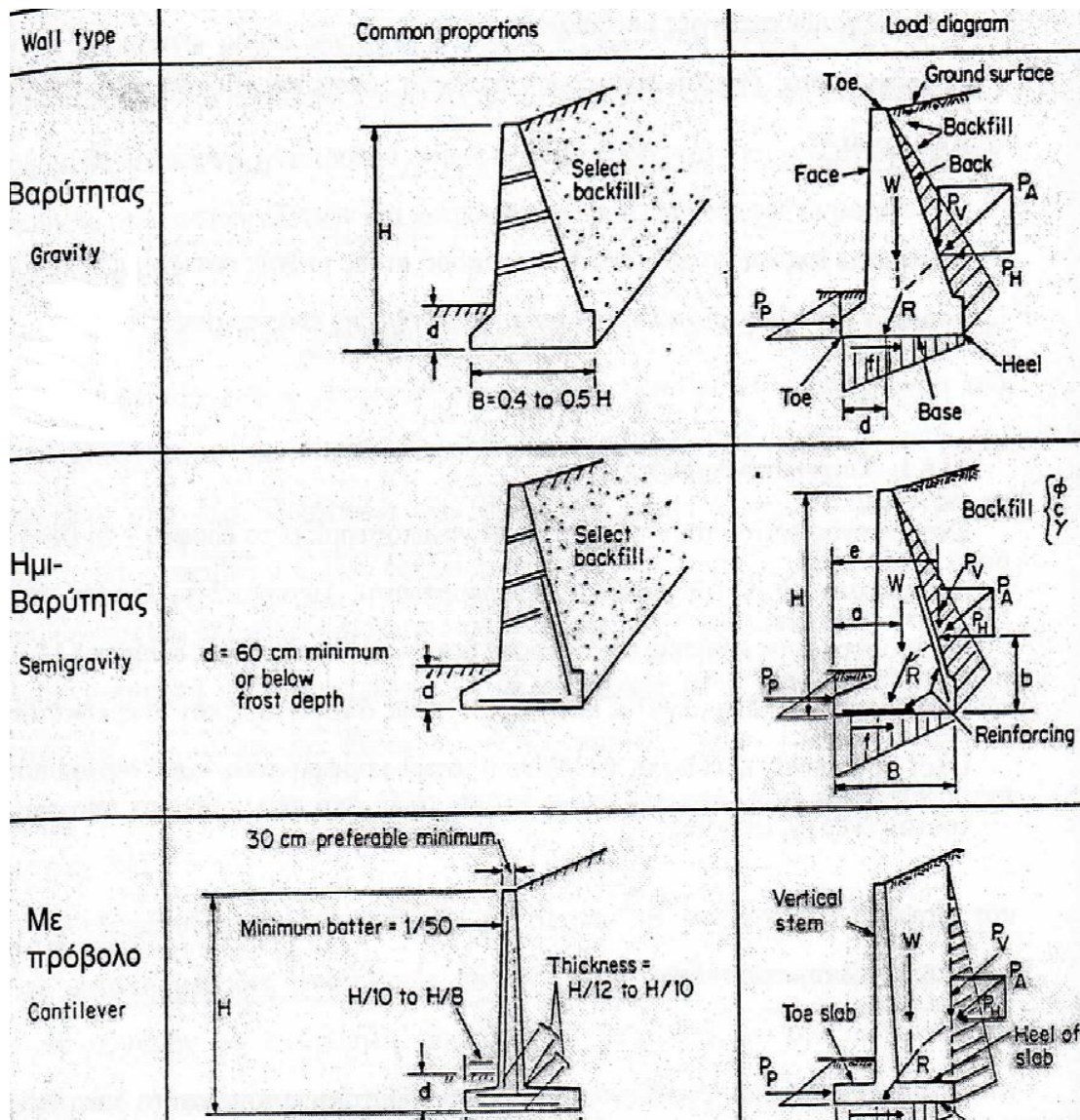
Σε αντίθεση με τους απλούς τοίχους βαρύτητας, ένα τμήμα τους είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα, μειώνοντας έτσι τον όγκο τους και σχεδιάζονται με μεγαλύτερα ύψη έως και 32 m.

γ) Τοίχοι με πρόβολο (*Cantilever wall*)

Πρόκειται για λεπτούς τοίχους οπλισμένου σκυροδέματος με πρόβολο, ενώ δεν λείπουν και παραλλαγές αυτών π.χ. ενισχυμένοι με αντηρήδες (counterfort).

Στο σχήμα που ακολουθεί, απεικονίζονται διάφοροι τύποι των άκαμπτων τοίχων που αναφέρθηκαν παραπάνω (Σχήμα 2.5).

Πολλές φορές τα παραπάνω τεχνικά έργα για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων λειτουργούν ανασταλτικά π.χ. δημιουργία επιφορτίσεων, εκσκαφές κλπ., για αυτό χρησιμοποιούνται μέτρα εξυγίανσης των μηχανικών ιδιοτήτων των εδαφών και πετρωμάτων.



Σχήμα 2.5: Τοίχοι βαρύτητας από σκυρόδεμα, αναλογίες διάστασης και δυναμοδιαγράμματα (Hunt, 1986).

○ Ηλεκτρόσμωση

Με την ηλεκτρόσμωση γίνεται υπόγεια αποστράγγιση των κορεσμένων αργιλομιγών εδαφών, βελτιώνοντας τις μηχανικές τους ιδιότητες. Το νερό απομακρύνεται με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου, με τη βύθιση δύο ηλεκτροδίων στο έδαφος. Με τη δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου το νερό οδηγείται προς την άνοδο (θετικό ηλεκτρόδιο), όπου συγκεντρώνεται και απομακρύνεται. Δεν εφαρμόζεται συχνά (Καροτσιέρης, 1993).

○ Συμπαγοποίηση με τσιμεντενέσεις ή άλλα χημικά μέσα

Εφαρμόζεται με σκοπό τη σταθεροποίηση μη συνεκτικών εδαφών. Το ένεμα μπορεί να αποτελείται από τσιμέντο ή από άλλα χημικά υλικά (ρευστά) που στερεοποιούνται.

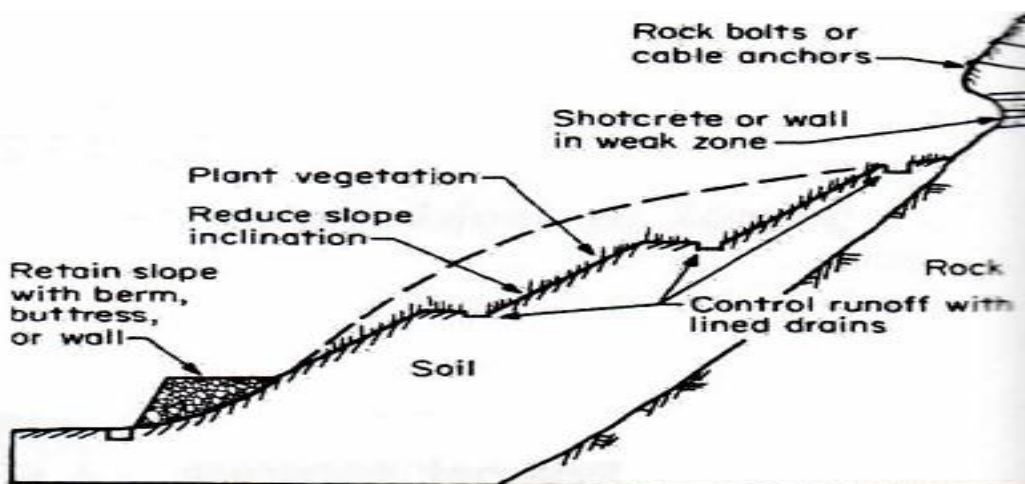
Ανάλογα με την κοκκομετρία των υλικών που θα στερεοποιηθούν και την περατότητα τους, επιλέγεται για κάθε περίπτωση η μέθοδος. Οι ενέσεις δεν χρησιμοποιούνται σε υλικά στεγανά π.χ. αργιλούχους σχηματισμούς, δεν είναι αποδοτικές για τη σταθεροποίηση κόκκων διαμέτρου $d_{10} < 0,5$ mm (δρώσα διάμετρος κατά Allen-Hazen) π.χ. λεπτόκοκκη άμμος, άργιλος και ιλύς (Κουμαντάκης, 1984). Σε ιδιαίτερα εξαιρετικές περιπτώσεις, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε στεγανά υλικά ($d_{10} > 0,5$ mm), όπου η εφαρμογή άλλης μεθόδου είναι αδύνατη.

Παράδειγμα αποτελεί το φράγμα Grand Coulee, στον ποταμό Κολούμπια στην Ουάσιγκτον, όπου από τα πρηνή που είχαν εκσκαφτεί έρεε λάσπη με ταχύτητα 0,60 m/h, καμία αποστράγγιση δεν μπορούσε να γίνει και εφαρμόστηκε με επιτυχία η μέθοδος της ψύξεως. Η μέθοδος της ψύξεως δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα και απαιτεί πολύ χρόνο, εξαιτίας του παγώματος των εδαφικών υλικών. Σύμφωνα με το Κέντρο Κρυσταλλικών Ερευνών της Grenoble στη Γαλλία, η χρήση υγρού αζώτου, μειώνει το χρόνο σε σύγκριση με την προηγούμενη μέθοδο, αλλά και με άλλες στο 1/15 έως 1/30 (Κουμαντάκης, 1984).

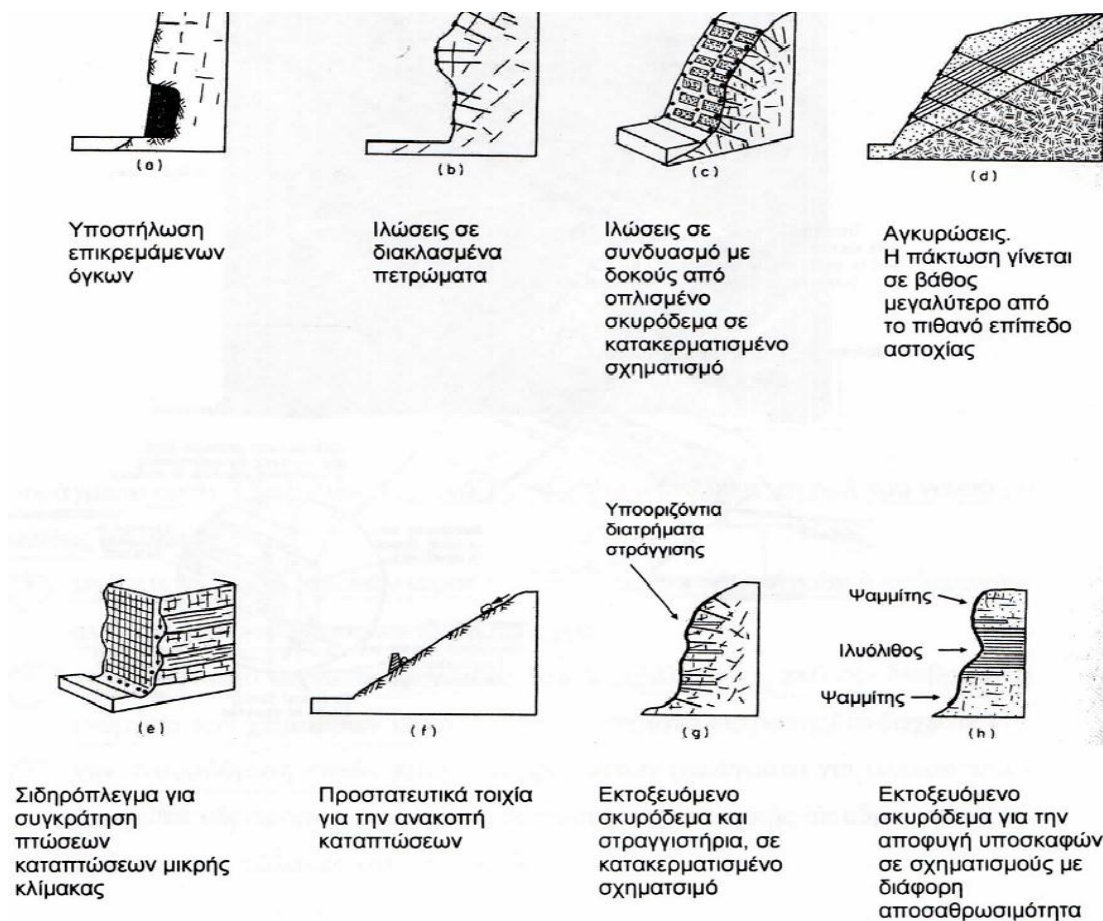
Η μέθοδος ανταλλαγής ιόντων, αποτελεί μία από τις χημικές μεθόδους που συντελεί στην αύξηση της συνοχής του εδάφους. Επεξεργάζονται τα αργιλικά ορυκτά με κατάλληλο συμπύκνωμα, ανάλογα με την ορυκτολογική σύσταση του εδάφους και τις υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στην ολισθαίνουσα μάζα. Με το χημικό διάλυμα εισάγονται κατιόντα τα οποία αντικαθιστούν ορισμένα κατιόντα των αργιλικών ορυκτών, με αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους κατά 200-300% (Καλλέργης και Κούκης, 1985).

○ Αγκυρώσεις

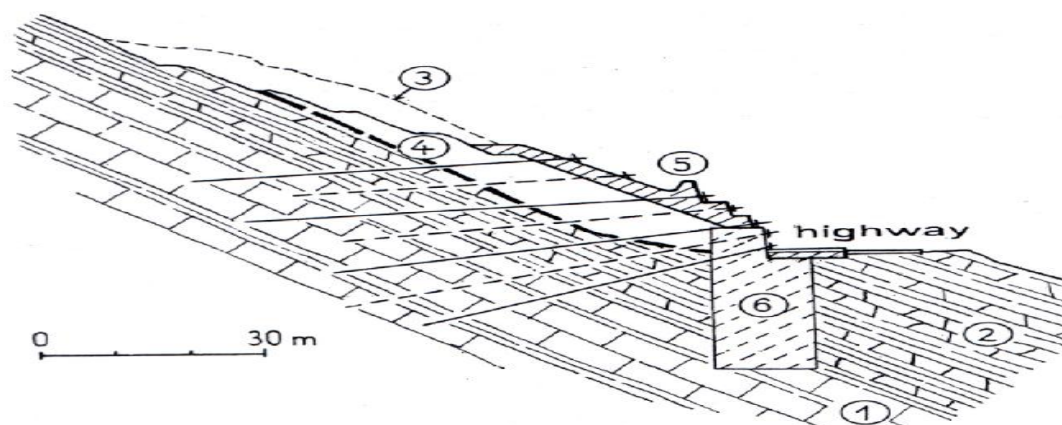
Πρόκειται για μεταλλικές βέργες διαφόρων μεγεθών, οι οποίες συγκρατούν στη θέση τους ασταθή τμήματα βράχων, διατρύπουν την ασταθή μάζα, εισέρχονται στο σταθερό τμήμα του πετρώματος και σταθεροποιούνται σε αυτό (Σχήματα 2.6, 2.7 και 2.8). Στην περίπτωση όπου η μάζα που πρόκειται να αγκυρωθεί δεν είναι συμπαγής και συνεχής, κατασκευάζονται δοκοί διανομής των τάσεων για να στερεωθούν τα αγκύρια (π.χ. ελκυστήρες).



Σχήμα 2.6: Ενίσχυση πρανούς με ιλώσεις-αγκυρώσεις, με αποτέλεσμα την αύξηση των δυνάμεων αντίστασης (Hunt, 1984).



Σχήμα 2.7: Μέθοδοι συγκράτησης βραχωδών πρανών (Hunt, 1984).



Σχήμα 2.8: Χρήση αγκυρίων και κατακόρυφων στοιχείων από σκυρόδεμα για τη σταθεροποίηση πρανούς αυτοκινητόδρομου, κοντά στο Σαν Ρέμο στην Ιταλία. 1) Ψαμμίτες και μάργες, 2) μάργες και ασβεστόλιθοι, 3) αρχική επιφάνεια εδάφους, 4) επιφάνεια ολίσθησης, 5) πλάκα σκυροδέματος, 6) 9 κατακόρυφα στοιχεία από σκυρόδεμα, βάθους 30 m και μεταξύ τους απόστασης 24 m. Η δύναμη ολίσθησης υπολογίστηκε 6.500 kN, που παραλείφθηκε από 300 αγκύρια, μήκους 45-75 m (Zaruba and Mencl 1982).

○ Φυτοκάλυψη

Εφαρμόζεται για προστασία από διάβρωση και στερεοποίηση των κινητών γαιών στο υγιές πέτρωμα και εφαρμόζεται ως συμπληρωματικό μέτρο για τον περιορισμό των κατολισθητικών φαινομένων. Η φυτοκάλυψη όμως, πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της κατεΐσδυσης.



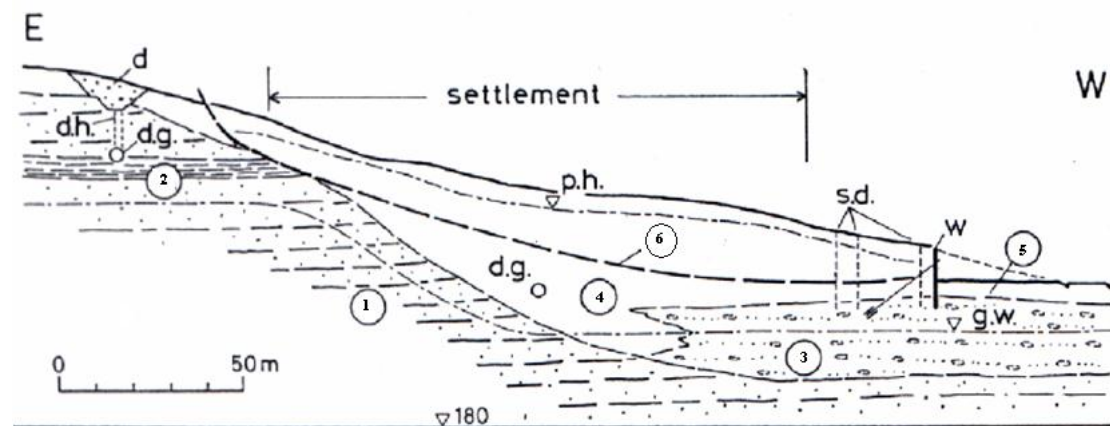
Εικόνα 2.1: (α) Πειραματικές σπορές σε αργιλικό σχιστόλιθο στην Εγνατία οδό, 2002 και (β) αποτελέσματα σπορών σε γαλλικό αυτοκινητόδρομο (Βαλιάντζα κ.ά., 2006).

○ Αναδάσωση

Το δάσος μπορεί να εμποδίσει την επιφανειακή διάβρωση και τη διαυλάκωση από τα νερά, μετά από την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων για κάθε περιοχή. Αντίθετα τα

δένδρα ευνοούν τις εδαφικές αστάθειες, με την κατείδυση των νερών στο υπέδαφος, με το επιπλέον βάρος τους, καθώς και με την κίνηση τους από τον άνεμο, όπου ξεριζώνονται προκαλώντας χαλάρωση του εδάφους και δημιουργώντας έγκυλα, ανοίγματα, από όπου διηθούνται τα νερά στο υπέδαφος.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα παράδειγμα αποκατάστασης της κατολισθημένης περιοχής Weirton, στη δυτική Βιρτζίνια, με τη χρήση αποστραγγιστικής τάφρου, αποστραγγιστικών στοών, αποστραγγιστικών οπών, κατακόρυφων στραγγιστηρίων και πασσαλότοιχου με αγκύρια.



Σχήμα 2.9: Γεωλογική τομή πρανούς στην περιοχή Weirton, στη δυτική Βιρτζίνια (όπου 1: οριζόντια ψαμμιτικά και αργιλικά στρώματα, 2: στρώματα αργιολίθου, 3: άμμοι και χαλίκια, 4: κορήματα, 5: πρόσφατες αποθέσεις, 6: πιθανή επιφάνεια ολίσθησης, d: αποστραγγιστική τάφρος, d.g.: αποστραγγιστικές στοές, d.h.: αποστραγγιστικές οπές, p.h.: στάθμη υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, s.d.: κατακόρυφα στραγγιστήρια και w: πασσαλότοιχος με αγκύρια (Zaruba and Mencl 1982).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ



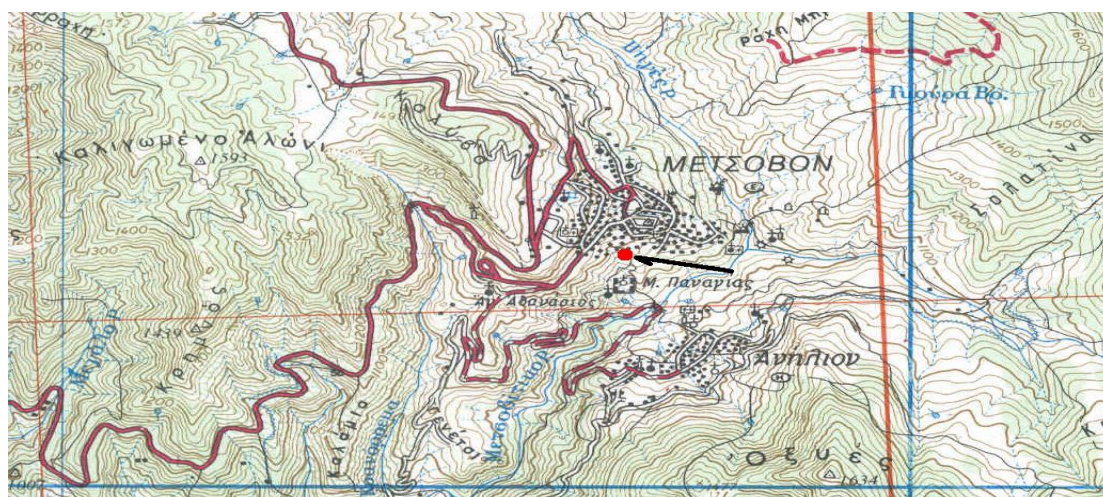
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΣΜΟ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ

3.1 Εισαγωγή

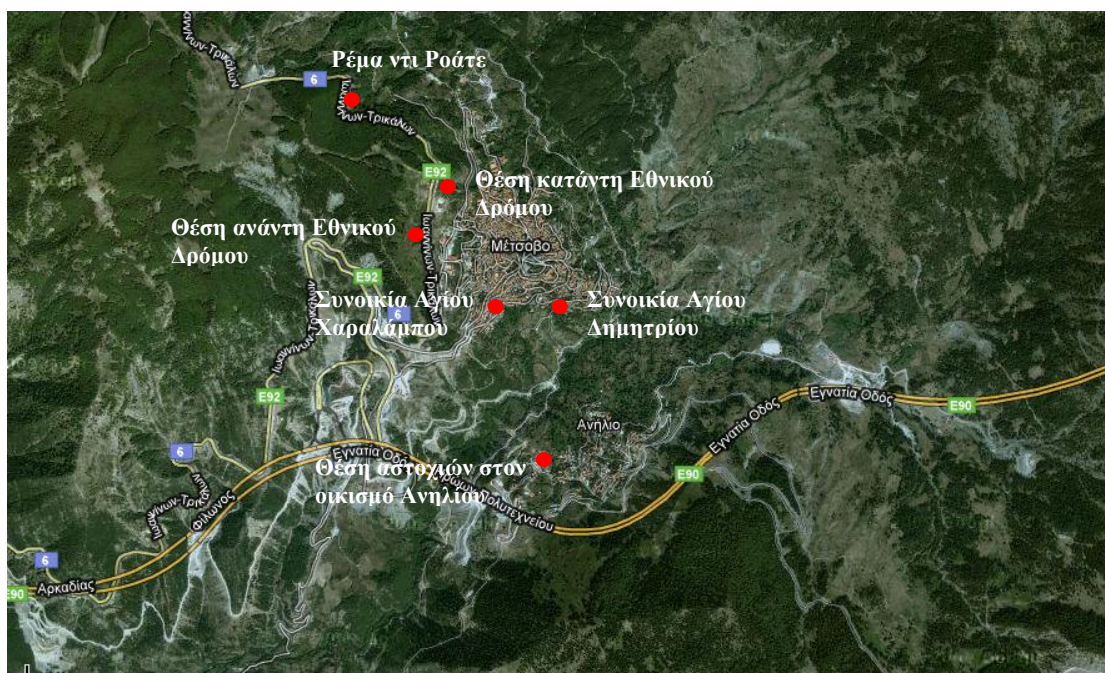
Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει στοιχεία σχετικά με τη γεωμορφολογία του Μετσόβου, τους υδάτινους πόρους του και τις εδαφικές αστοχίες που έχουν εκδηλωθεί στο Δήμο παλαιότερα, αλλά και πιο πρόσφατα. Από επί τόπια έρευνα, αλλά και από συλλογή στοιχείων, διαπιστώθηκαν σημαντικά προβλήματα διαβρώσεων και κατολισθήσεων και προτείνονται κάποια μέτρα ενίσχυσης αυτών των ασταθειών, που μπορούν να πραγματοποιηθούν άμεσα και με μικρό κόστος.

3.2 Γενικά

Το Μέτσοβο είναι μία ορεινή περιοχή που έχει αναπτυχθεί στο ανατολικό πρηνές της βουνοκορφής Καλύβα της Πίνδου, με μέσω υψόμετρο τα 1.150 m. Περιβάλλεται από τα ανατολικά και νότια από τον ποταμό Άνω Μετσοβίτικο Ρέμα και από τα δυτικά από το Κρανόρεμα (Σχήμα 3.1 και Εικόνα 3.1). Βρίσκεται 30 km ανατολικά-βορειοανατολικά (Α-ΒΑ) από τα Ιωάννινα. Πρόκειται για έναν οικισμό 1.000 χρόνων, με αρχική συνοικία τον Άγιο Δημήτριο, από όπου περνούσε η παλαιά Εγνατία Οδός Τρικάλων-Μετσόβου-Ιωαννίνων.



Σχήμα 3.1: Τοπογραφικός χάρτης της περιοχής Μετσόβου. Στο χάρτη σημειώνεται με βέλος η θέση της εδαφικής αστοχίας που έχει εκδηλωθεί στα νοτιοανατολικά του Μετσόβου.



Εικόνα 3.1: Πανοραμική άποψη της περιοχής Μετσόβου και Ανηλίου. Σημειώνονται οι θέσεις των εδαφικών αστοχιών που εκδηλώθηκαν το 2010 (Googleearth, 2011).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συνθέτουν την περιοχή είναι ο φλύσχης (Ιονίου και Πίνδου) και οι οφιόλιθοι. Αν και αδιαπέρατοι σχηματισμοί, εξαιτίας των τεκτονικών διεργασιών που επέδρασαν στα πετρώματα και των κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν, ευνοήθηκε η υδροφορία. Το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής παρουσιάζει βαθιές χαράδρες, με απότομες κλιθείς και χαρακτηρίζεται από τη διάβρωση σε βάθος, αλλά και σε πλάτος. Χαρακτηριστική είναι η ροή του κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια του έτους, με σημαντική μείωση την ξηρά περίοδο, ενώ τους χειμερινούς μήνες, παρατηρείται χειμαρρώδης ροή και μεγάλη παροχή φερτών υλικών.

Η λιθολογία του φλύσχη, η μικρή δασοκάλυψη στην περιοχή, η μεγάλη κλίση του εδάφους και οι μετεωρολογικές συνθήκες, συνέβαλαν στη διάβρωση της κοίτης του Μετσοβίτικου ποταμού και σε κατολισθήσεις στην πόλη του Μετσόβου, στο χωριό Ανήλιο, καθώς και στην Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Τρικάλων. Οι εδαφικές αστοχίες, ενισχύθηκαν σημαντικά από ανθρώπινες παρεμβάσεις, π.χ. υλοτομία και κτηνοτροφία, κύριες ασχολίες των κατοίκων παλαιότερα, καλλιέργειες αγρών μεγάλων κλίσεων, χωρίς να εφαρμόζον κατάλληλα αντιδιαβρωτικά μέτρα και μετ' έπειτα προστέθηκε και η οικοδόμηση αυτών των ευαίσθητων περιοχών.

Έτσι, ο Ευάγγελος Αβέρωφ, τότε Υπουργός Γεωργίας και διαχειριστής του Ιδρύματος Τοσίτσα, για τη διευθέτηση του χειμάρρου κατασκεύασε τεχνικά έργα, τα

φράγματα στο Μετσοβίτικο Ποταμό και στα τρία κύρια ρέματα που διασχίζουν κάθετα το Μέτσοβο. Επίσης, εκτέλεσε φυτοκομικά έργα, για την ενίσχυση της ευστάθειας της κοίτης του ποταμού και των πρανών, από διαβρώσεις και κατολισθήσεις και κάλυψε τα γυμνά και αποπλυθέντα εδάφη με τεχνητές αναδασώσεις.

Η πρώτη κατολίσθηση εκδηλώθηκε το 1963, όπου επηρεάστηκαν σημαντικά το νεκροταφείο και το δημοτικό σχολείο του Αγίου Δημητρίου, η εκκλησία του Αγίου Χαραλάμπου, καθώς και κάποια σπίτια σε αυτές τις συνοικίες. Το 2010, πενήντα χρόνια αργότερα, ενεργοποιήθηκε αυτό το παλιό γεωλογικό ρήγμα, μετά από μία μεγάλη περίοδο χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων, με δυσμενείς συνέπειες για τις συνοικίες του Αγίου Δημητρίου και του Αγίου Χαραλάμπου.

Η παρουσία υπογείων νερών στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, τόσο παλαιότερα όσο και σήμερα, σε συνδυασμό με άλλα γεωλογικά φαινόμενα, διαμορφώνουν τις δυσμενείς συνθήκες του εδάφους. Με μία απλή επίσκεψη στην περιοχή μελέτης, διαπιστώνει κανείς την ανεξέλεγκτη ροή των επιφανειακών και υπογείων νερών.

Ένδειξη ύπαρξης υπογείου νερού, αποτελούν και τα παλιά αρχοντικά σπίτια του Μετσόβου. Κάθε παλιό αρχοντικό χτιζόταν εκεί όπου υπήρχαν φυσικές πηγές νερού. Αυτές οι πηγές νερού, παρατηρούνται μέχρι σήμερα στις οικίες Α. Σιούτα, στο Μουσείο, στο Κουλάκι, στη θέση Κουταβέλη και αλλού. Επίσης, στο Μέτσοβο παλαιότερα υπήρχαν δύο πηγάδια, βάθους περίπου 8 m, κάτω από το καμπαναριό, το οποίο τροφοδοτούσε το παλιό οικοτροφείο και στην περιοχή του Αγίου Αντωνίου, το οποίο χρησιμοποιούσαν κυρίως για την άρδευση των κήπων.

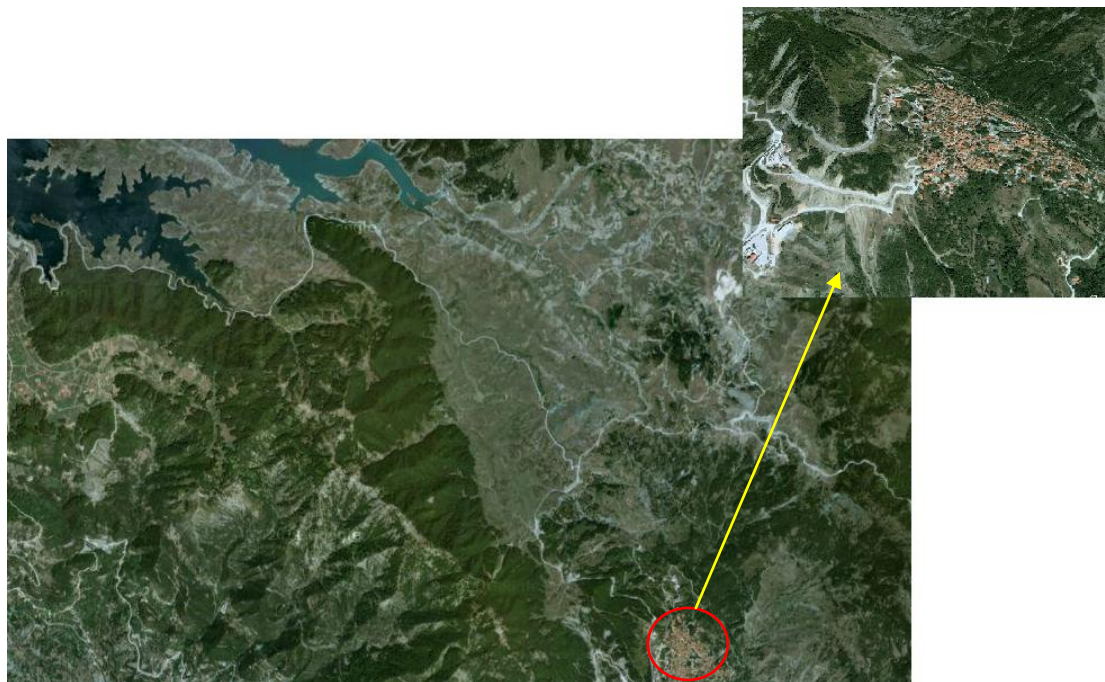
3.3 Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά

Μορφολογικά, η ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου χαρακτηρίζεται από ένα έντονο και πολυσχιδές ανάγλυφο, με ένα εκτεταμένο, όχι μόνο πυκνό, αλλά κυρίως βαθιά χαραγμένο υδρογραφικό δίκτυο. Αυτό το έντονο ανάγλυφο, με τις ψηλές κορυφές και το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, οφείλεται στην εμφάνιση του γεωλογικού σχηματισμού του φλύσχη, ο οποίος παρουσιάζει διαφορετική ανθεκτικότητα στη διάβρωση, σε συνδυασμό με την έντονη τεκτονική καταπόνηση της περιοχής (συνεχείς λεπιώσεις, πτυχώσεις και τεκτονικά ρήγματα). Η κατά βάθος διάβρωση, από την οποία σχηματίζονται οι βαθιοί χείμαρροι και οι κοιλάδες, ακολουθεί τις τεκτονικές γραμμές των λεπιώσεων, των τεκτονικών βυθισμάτων και των

λιθολογικών ορίων. Έτσι, το υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζεται με δύο διευθύνσεις, τη βόρεια/βορειοανατολική-νότια/νοτιοδυτική (B/BA-N/ND), η οποία συμπίπτει με τη διεύθυνση των ρηγμάτων τεκτονικής διάρρηξης, κάθετα προς τις πτυχές και τη βόρεια/βορειοδυτική-νότια/νοτιοανατολική (B/BD-N/NA), παράλληλη προς τη διεύθυνση των πτυχών (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

Η πόλη του Μετσόβου, διασχίζεται από μικρά ρέματα που εκβάλλουν στο Μετσοβίτικο ποταμό, στον οποίο καταλήγουν επίσης τα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα του οικισμού. Σημαντική είναι, η εμφάνιση των υδροκριτών των λεκανών απορροής των ποταμών Αώου, Αράχθου, Πηνειού και Αλιάκμονα, στην ευρύτερη περιοχή.

Η πολυσχιδής μορφολογία της περιοχής, εμφανίζεται κυρίως εκεί όπου υπερτερεί η αργιλική έναντι της ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη και ευνοείται η διάβρωση (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Οι κλίσεις του εδάφους διαφέρουν κατά θέση, από ήπιες έως απότομες, με γενική διεύθυνση κλίσεων ανατολική, βορειοανατολική, νοτιοανατολική και νότια, κάθετα προς την κοίτη του Μετσοβίτικου ρέματος. Ο οικισμός είναι χτισμένος σε απότομο πρανές, με μία κλίση $\geq 30^\circ$ (Εικόνα 3.2).



Εικόνα 3.2: Άποψη του ορεινού αναγλύφου της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου. Διακρίνεται η Τεχνητή Λίμνη Πηγών Αώου. Στη φωτογραφία πάνω δεξιά, παρατηρείται η περιοχή μελέτης με τα απότομα πρανή.

3.4 Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Συγκεκριμένα στον οικισμό του Μετσόβου εμφανίζεται ο φλύσχος της Ζώνης Γαβρόβου και πάνω σε αυτόν είναι επωθημένος ο φλύσχος της Ζώνης Πίνδου και οι οφιόλιθοι της Υποπελαγονικής Ζώνης (Ζούρος και Μουντράκης, 1991) (Σχήμα 3.2). Ο φλύσχος της ζώνης Γαβρόβου αντιστοιχεί στον ψαμμιτομαργαϊκό και αργιλοσχιστολιθικό φλύσχη, ανατολικά της πόλης του Μετσόβου, ενώ το κάλυμμα του πινδικού φλύσχη, αντιστοιχεί στη σειρά των λεπιωμένων στρωμάτων ψαμμιτών, με τις αργιλοσχιστολιθικές παρεμβολές (Brunn, 1956).

Ο φλύσχος της Ζώνης της Πίνδου, εμφανίζεται τόσο με τη μορφή ψαμμιτικής φάσης, ηλικίας Λουτησίου, όσο και της πηλιτικής φάσης (ψαμμιτομαργαϊκή-αργιλοσχιστολιθική φάση), ηλικίας Δανίου έως Ανώτερου Ηωκαίνου, υποκείμενης της ψαμμιτικής φάσης.

Στην πόλη του Μετσόβου, ο *φλύσχος ψαμμιτικής φάσης* καταλαμβάνει το δυτικό, κεντρικό και βόρειο τμήμα της και συγκεκριμένα εκτείνεται από την κωμόπολη του Μετσόβου μέχρι το Γρεβενίτι. Μεταξύ των ψαμμιτικών στρώσεων παρεμβάλλονται λεπτές στρώσεις αργιλικού σχιστολίθου (Εικόνα 3.3). Οι ψαμμίτες τεκτονικά χωρίζονται σε επιμέρους σειρές (πακέτα), συνολικού πάχους 750 m, περίπου 100 m-200 m πάχος κάθε επιμέρους σειρά, ενώ τα επιμέρους στρώματα έχουν πάχος από 0,30 m έως 1,5 m (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Ο ψαμμίτης είναι μεσόκοκκο έως αδρόκοκκο, υγιή βραχώδες υλικό, με ίχνη οξείδωσης, εξαιτίας της ροής του νερού μέσα στις ασυνέχειες. Τα ψαμμιτικά στρώματα εμφανίζονται με κλίσεις 20°-60° και διευθύνσεις ΒΑ, Α, ΝΔ (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

Οι στρώσεις των αργιλικών σχιστολίθων δρουν σαν δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης, εντός των ψαμμιτικών στρωμάτων, επειδή η άργιλος διογκώνεται και λειτουργεί ως λειαντικό υλικό. Ο ψαμμίτης είναι ανθεκτικός στη διάβρωση, σχηματίζοντας μανδύα αποσάθρωσης μικρού πάχους σε σημεία ομαλής κλίσης. Μπορεί να αστοχήσει υπό τη μορφή καταπτώσεων τεμάχων, ενώ κατά τις θεμελιώσεις οικοδομών, όταν δεχτεί κάθετες τάσεις, μπορεί να υποχωρήσει πάνω στις στρώσεις αργιλικού σχιστολίθου. Στρώματα φλύσχη κλίσεως $\geq 30^\circ$, αποτελούν επικίνδυνα πρανή για την εκδήλωση κατολισθήσεων. Ο οικισμός του Μετσόβου έχει χτιστεί πάνω στα ψαμμιτικά στρώματα.



Εικόνα 3.3: Άποψη ψαμμιτικής φάσης του φλύσχη υπό μορφή κεκλιμένων στρωμάτων ψαμμίτη με λεπτές ενδιάμεσες αργλικές στρώσεις.

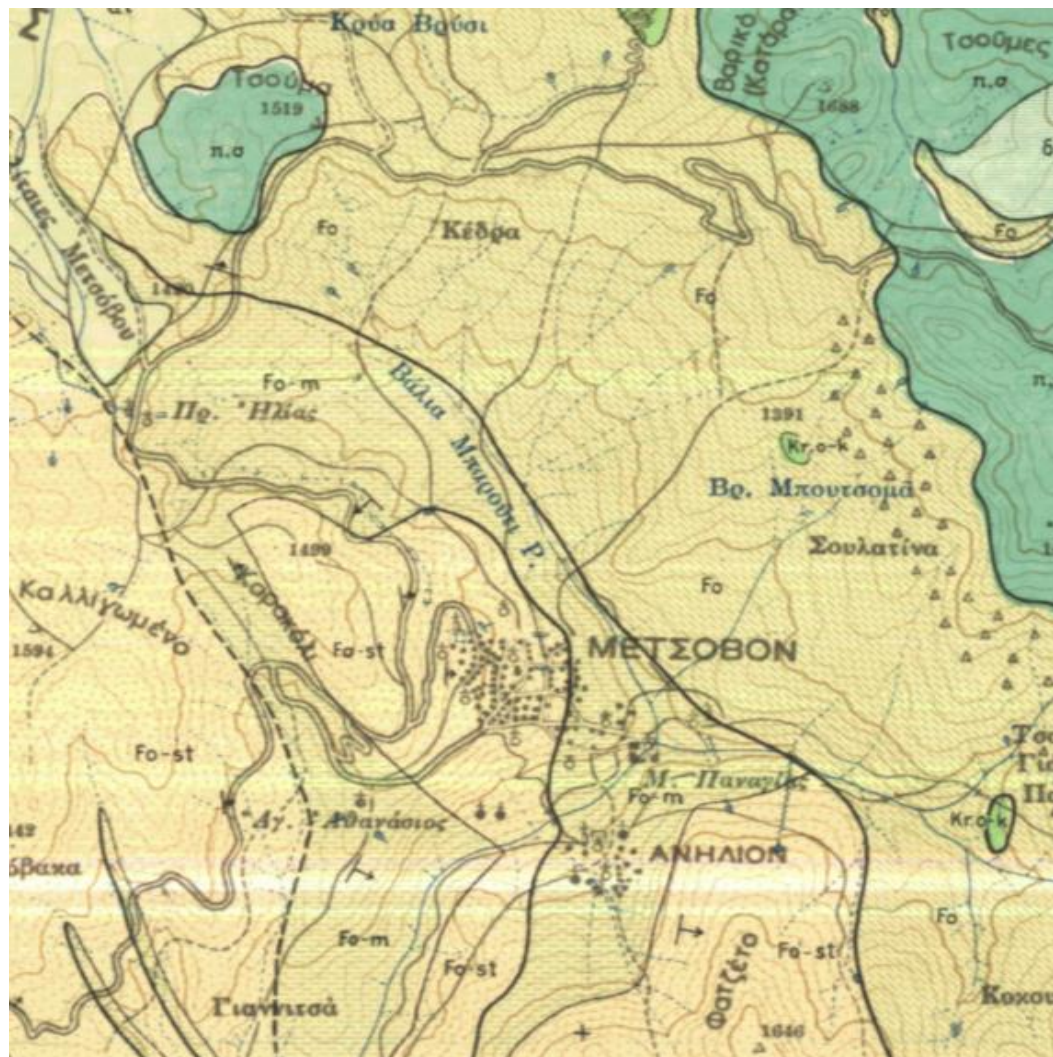
Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης, στη συνοικία του Κάτω Μετσόβου (Αγίου Δημητρίου, Αγίου Χαραλάμπου, Αγίου Νικολάου) και στη βάση του πρανούς στο οποίο είναι χτισμένο το Μέτσοβο, εμφανίζεται η **πηλιτική φάση του φλύσχη**. Αποτελείται κυρίως από μάργες, αργλικούς σχιστολίθους, ιλυολίθους και από παρεμβαλλόμενες στρώσεις (πακέτα) ψαμμίτη, με μικρό πάχος ψαμμιτικών στρωμάτων της τάξης των 0,5 cm-30 cm (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Η πηλιτική φάση του φλύσχη διαβρώνεται ευκολότερα από την ψαμμιτική, σχηματίζοντας στρώμα μανδύα αποσάθρωσης μεγαλύτερου πάχους. Το σύνολο των εδαφικών αστοχιών στην περιοχή μελέτης, συνδέεται με την πηλιτική φάση του φλύσχη και το μανδύα αποσάθρωσης του, που την καλύπτουν κατά θέσεις. Οι εναλλαγές αργλικών σχιστολίθων και οι ιλυολίθων έχουν μέτριες γεωμηχανικές ιδιότητες, εξαιτίας της διόγκωσης της αργίλου με την παρουσία νερού και στη συνέχεια της ξηρασίας της, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης στα όρια επαφής της με κάποιον άλλο σχηματισμό (π.χ. ψαμμίτη). Ο συγκεκριμένος σχηματισμός δεν είναι τόσο κατάλληλος για θεμελιώσεις, συγκριτικά με την ψαμμιτική φάση του φλύσχη.

Στη βάση της στρωματογραφικής σειράς του πινδικού φλύσχη, συναντάται και μία τρίτη φάση του φλύσχη, γνωστή ως *κόκκινος φλύσχη* (flysh rouge, Brunn, 1956), η οποία υπόκειται των άλλων δύο φάσεων (Εικόνα 3.4). Στον κόκκινο φλύσχη, εναλλάσσονται κόκκινοι και πράσινοι πηλίτες, με ορίζοντες κόκκινων λεπτόκοκκων ψαμμιτών και μικρολατυποπαγών. Σε αυτόν το σχηματισμό, έντονα είναι τα φαινόμενα κατάκλασης και μυλωνιτίωσης των στρωμάτων, καθώς επίσης οι ιλυόλιθοι που βρίσκονται στις επιφάνειες των επιπτεύσεων, εμφανίζονται εύθρυπτοι και φυλλώδεις (Νικολάου και Πάσχος, 1998).



Εικόνα 3.4: Η κόκκινη φάση του φλύσχη στη βάση του πρανούς του Μετσόβου, όπου διακρίνονται οι ερυθροπηλίτες.

Το επωθημένο οφιολιθικό σύμπλεγμα, στο φλύσχη της Πίνδου, καλύπτει το ανατολικό τμήμα και ένα κομμάτι βορειοδυτικά και βόρεια του οικισμού του Μετσόβου. Αποτελείται από υπερβασικά και βασικά πετρώματα, κυρίως περιδοτίτες (συνήθως σερπεντινωμένους), γάββρους, σωρείτες και λάβες. Πρόκειται για ένα σύμπλεγμα, προερχόμενο από το δυτικό ωκεάνιο χώρο της Υποελαγωνικής, όπου κατά την τριτογενή πύχωση, επωθήθηκε στον πινδικό φλύσχη, με αποτέλεσμα τον έντονο τεκτονισμό των οφιολίθων και την ανάμειξη των πετρωμάτων του συμπλέγματος. Στη ζώνη επώθησης, εμφανίζεται ο σχηματισμός του μείγματος «Melange», αποτελούμενος από τεμάχη λαβών, κερατολίθων, σερπεντινών ηφαιστειακών κλαστικών, ασβεστολίθων και γάββρων, τα οποία παρεμβάλλονται σαν ολισθόλοι και τεκτονικά έγκλειστα σε ιλυολιθικής σύστασης υλικό (Ράσσιου και Γρίβας, 1993).



Υπόμνημα-Legend

Fo. Φλώσχης Πίνδου.
Fo-st. Φωμμίται του φλώχου Πίνδου.
Fo-m. Μάργαι, φωμμίται, σχιστόλιθοι του φλώχου Πίνδου.



Fo. Flysch du Pinde.
Fo-st. « » « grés.
Fo-m. « » « marnes, schistes, grés.

Fo. Φλώσχης Πίνδου, άδαιρέτος (άλιανον - Ήλιανον)

Άριστοποιητός φώσας του φλώχου Πίνδου εις ζώνης όλιγότερον κατακαρμιτισμένης κυρίως μεταξύ Μετσόβου και Γρεβεντίου.

Fo-st. Φωμμιτικά μάρμα.

Fo-m. Μάργαι, τεφροί ή έρυθροί όργιλικό σχιστόλιθο, φωμμιτικά τράπεζα (όριζόντες υποκείμενοι των φωμμιτών: άλιανον-Κατώτερον Ήλιανον).

Fo. Flysch du Pinde en général, sans subdivisions (Danien - Κοκίνη).

Facies remarquables du Flysch du Pinde dans les zones moins écrasées, notamment entre Μετσόβου et Grevenioti.

Fo-st. Masse gréseuse (approx. Lutétien).

Fo-m. Marnes, schistes argileux gris ou rouges, bancs de grés (niveaux sous-jacents aux grés: Danien - Κοκίνη inférieure).

Μεσοζωικοί άσβεστόλιθοι:
Κρ-ο-κ. Άσβεστόλιθοι πλακώδεις.
Tj-k. Άσβεστόλιθοι κατά συμπηγής μάζας.



Calcaires mésozoïques:
Κρ-ο-κ. calcaires en plaquettes.
Tj-k. « massifs.

Μεσοζωικοί άσβεστόλιθοι εις μεμονωμένα ύπολείμματα καλυμμάτων γενικώς άνευ άπολιθώματων. (Μέτσον οφιολίθου ή ύπολείμματα καλυμμάτων έντός ατόων).

Κρ-ο-κ. Άσβεστόλιθοι πλακώδεις ή καλώς έστρωμένοι τεφροί ή έρυθροί άντιπροσπεύοντες τα φώσας του Άνωτερου Κρητιδικού της ζώνης Πίνδου - Όλονος ένιστε μί *Globotruncana Linnei*. Κάτωθεν της θύσεως Άσπρα λίθια Φλίγκας (Βλκή άκρα των Πολιτών) και έναντι Περιβόλιου περιέχουν θραύσματα *Orbitolinae* του Κενοζωίου.

Tj-k. Ύπολείμματα καλυμμάτων εκ λευκών άσβεστολιθικών μάζων άνευ άπολιθώματων. Κατ' αναλογίαν προς τους άσβεστολίθους με *Halobites* και *Polyptera* (*Theosmitia sp*) εύρισκόμενος όλιγον άνωτοκώτερον του φώχου τούτων, δυνάμεθα νά τους κατατάξωμεν εις τό Τριαδικόν και Ίουρασιαν. Η φύσις αυτή περισσότερο άσβεστολιθική και όλιγότερον βασική: θάλασσας (*Polyptera*) άπό ένάντιον της ζώνης Όλονος Πίνδου, προικισθέντα προέχοντα έτι άνωτοκώτερον: Παροχή κλιμακώδης μάζης.

Calcaires mésozoïques en Klippes isolés, généralement sans fossiles. (Front des ophiolithes, ou klippes dans celles-ci).

Κρ-ο-κ. Calcaires en plaquettes ou bien lités, gris ou roses, présentant le faciès du Crétacé supérieur de la zone du Pinde-Olonos et, parfois des *Globotruncana Linnei*; sous les Aspra Litharia du Pinda (extrémité NW des Polités) et en face de Périvoli, contiennent des débris d'*Orbitolinae* cénozoïennes.

Tj-k. Klippes de calcaires massifs, blancs, sans fossiles. Par analogie avec un pointement de calcaires à *Halobites* et à *Polyptera* (*Theosmitia sp.*) situé un peu à l' E de cette feuille, on peut les rapporter au Trias et au Jurassique. Les faciès, plus calcaires et moins profonds (*Polyptera*) que ceux de la zone du Pinde-Olonos évoquent une origine plus orientale: liasière du Massif Pélagonien.

ΟΦΙΟΛΙΘΙΚΗ ΙΣΙΡΑ CORTÈGE OPHIOLITHIQUE

Περιδοίται, Ιερπεντίνα.
Péridolites, Serpentes.



η, Περιδοίται. ς, Ιερπεντίνα.
η, Péridolites. ς, Serpentes.

Γάββροι.
Gabbros.



Γάββροι διάφοροι: Τροκίλιθοι, όλιβινικοί γάββροι, γάββροι γνήσιοι γενικώς έστερωμένοι.
Gabbros divers: troctolites, gabbros à olivine, gabbros francs généralement lités.

Δοκρίται. Βασίλιαι και άλλα μικρολιθικά πετρώματα.
Dolerites, Basaltes et autres roches microlithiques.



δ. Δοκρίται. δ. Dolerites.
δ. Μικρολιθικά πετρώματα κατά τό μάλλον και ήτεον ποικιλοχρώδους φύσης, γενικώς άλλοιωμένα, μί όλιγώτατα ή άβήτην (Σερπίται), πλούσια εις δευτερογενή γυαζίαν και άσβεστινη κυρίως έντός των κοιλώσεων του πετρώματος.
δ. Roches microlithiques plus ou moins bulleuses, généralement altérées, à oligoclases ou à albite (Spillites), riches en quartz et en calcite secondaires, notamment dans les alvéoles.

Σχήμα 3.2: Τμήμα του γεωλογικού χάρτη του Ινστιτούτου Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους, Φύλλο «Μέτσοβο», κλίμακας 1:50.000

Συγκεκριμένα, οι γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν τον οικισμό του Μετσόβου, από τους νεότερους προς τους παλαιότερους είναι οι εξής:

α) Παχυστρωματώδεις ιλυόλιθοι και ψαμμίτες

Πρόκειται για μια σειρά στρωμάτων όπου υπερτερούν οι παχυστρωματώδεις ιλυόλιθοι και οι ψαμμίτες, πάχους 0,30 m-3,0 m, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται λεπτές στρώσεις σχιστοφυών αργίλων και ιλυωδών μαργών, πάχους 0,05 m-0,15 m. Εμφανίζονται κυρίως νότια, συγκεκριμένα στα νοτιοδυτικά περιθώρια του οικισμού, με κλίσεις στρωμάτων προς τα ΒΑ, Α και ΝΑ και γωνίες κλίσεως από 30°-60°. Η παχυστρωματώδης αυτή σειρά, με ορισμένες προϋποθέσεις, αποτελεί τον καλύτερο λιθολογικό σχηματισμό για θεμελιώσεις κτισμάτων και άλλων τεχνικών έργων, συγκριτικά με τους υπόλοιπους γεωλογικούς σχηματισμούς που επικρατούν στην περιοχή. Οι τράπεζες (στρώματα) των ψαμμιτών συμπεριφέρονται μηχανικά ως βράχος, ενώ οι ενδιάμεσες παρεμβολές ως μαλακό έδαφος (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

β) Λεπτοστρωματώδεις ιλυόλιθοι

Σε αυτόν το σχηματισμό, εμφανίζονται «πακέτα» στρωμάτων σε διάφορες θέσεις, πάχους 20 m-60 m και με κλίσεις αυτών των στρωμάτων ανάλογες με εκείνες του παχυστρωματώδη γεωλογικού σχηματισμού (ΒΑ, Α και ΝΑ). Σχηματίζονται λεπτά στρώματα ιλυολίθων, πάχους 0,10 m-0,20 m, με παρεμβολές λεπτότερων στρωμάτων ιλυολιθικών μαργών ή και αργίλων, με επικρατέστερα τα στρώματα των ιλυολίθων (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Σε περιπτώσεις θεμελιώσεων, ο συγκεκριμένος σχηματισμός υστερεί πολύ από τον παχυστρωματώδη γεωλογικό σχηματισμό, εξαιτίας των μικρότερων τιμών της διατμητικής αντοχής του.

γ) Εναλλαγές αργιλοσχιστολίθων και λεπτοστρωματωδών ιλυολίθων

Πρόκειται για μία λιθολογική ενότητα, αποτελούμενη από στρώματα ιλυολίθων και αργιλοσχιστολίθων, σε ίδιο ποσοστό. Η αύξηση του αριθμού και του πάχους των αργιλοσχιστολιθικών παρεμβολών, συνεπάγεται σημαντική μείωση της αντοχής τους στα φορτία.

δ) Στρώματα σχιστοφυών αργίλων και μαργών

Πρόκειται για τον πιο ασταθή πρωτογενή γεωλογικό σχηματισμό, από αυτούς που αναφέρθηκαν και οι οποίοι αποτελούν το μητρικό λιθολογικό υπόβαθρο της πόλης του Μετσόβου. Υπερτερούν τα αργιλικά και μαργαϊκά στρώματα, με εμφανίσεις

ιλυολίθων, σε λεπτά πλακίδια της τάξης των 1 cm-3 cm (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Τα στρώματα αυτής της λιθολογικής ενότητας, διαβρώνονται εύκολα, απορροφούν μεγάλη ποσότητα νερού και κατολισθαίνουν στις επικλινείς πλαγιές.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί συμπληρώνονται από τεταρτογενείς αποθέσεις, δηλαδή ιζήματα πλευρικών κορημάτων, χειμαρρωδών αποθέσεων και μανδύα αποσάθρωσης, συγκεκριμένα:

ε) Παλιές και πρόσφατες μετακινημένες εδαφικές μάζες

Η συγκεκριμένη ενότητα αποτελεί δευτερογενή λιθολογικό σχηματισμό, η οποία δημιουργήθηκε από κατολισθήσεις και ερπυσμούς των παραπάνω λιθολογικών ενότητων, αποτελούμενη από αναμοχλευμένο αργιλικό υλικό, με εγκλωβισμένους ογκολίθους ιλυολίθων και ψαμμιτών. Σε πολλές περιπτώσεις οι ογκολίθοι απαντώνται σε μεγάλες ποσότητες και εμφανίζονται ως «βράχια» στην επιφάνεια. Το πάχος των μετακινούμενων εδαφικών μαζών κυμαίνεται από 1 m-6 m (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

στ) Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις

Πρόκειται για χαλαρά υλικά, αποτελούμενα από αμμοχάλικα, κροκάλες ψαμμιτικής, ασβεστολιθικής και οφιολιθικής σύστασης. Έχουν χαμηλή συνοχή, είναι υδροπερατά και γενικότερα ακατάλληλα για θεμελίωση. Εντοπίζονται κυρίως στην κοίτη του Μετσοβίτικου ποταμού.

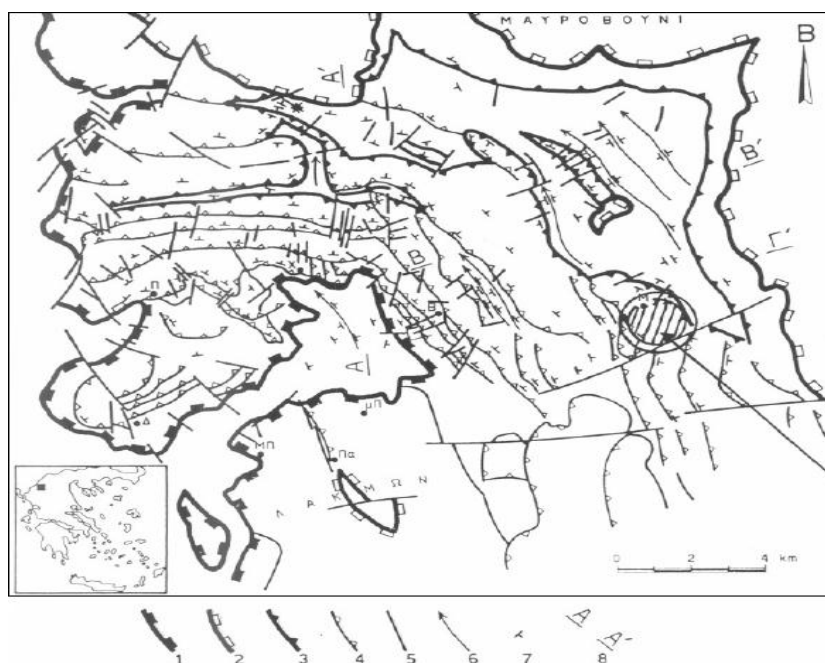
ζ) Μανδύας αποσαθρωμένων πετρωμάτων

Πρόκειται για ένα δευτερογενή γεωλογικό σχηματισμό που περιέχει κυρίως αμμοϊλύ και μικρά ποσοστά αργίλου. Θραύσματα αργιλικού σχιστολίθου, ευμεγέθεις κροκάλες και ολισθόλους ψαμμίτη, που έχουν μεταφερθεί από μεγαλύτερα υψόμετρα, έχουν εισχωρήσει εντός των χαλαρών υλικών του μανδύα αποσάθρωσης. Είναι χαμηλής συνεκτικότητας, με πτωχές γεωμηχανικές ιδιότητες και μέση έως υψηλή υδροπερατότητα. Όταν ο σχηματισμός προέρχεται από αποσάθρωση ψαμμιτικών πετρωμάτων, αυξάνεται η περιεκτικότητα ψαμμιτικού υλικού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η γωνία εσωτερικής τριβής του σχηματισμού. Ο μανδύας αποσάθρωσης, σε περιπτώσεις αποσάθρωσης αργιλικού σχιστολίθου ή εναλλαγών λεπτοστρωματώδους ψαμμίτη και αργιλικού σχιστολίθου, εξαιτίας της μεγαλύτερης ιδιότητας του υλικού αυτού στη διάβρωση, αποκτά το μεγαλύτερο πάχος του, περίπου 8 m (Βότσογλου, 2003). Εμφανίζεται κυρίως στη βάση του πρανούς, άνω του Μετσοβίτικου ποταμού, καθώς και σε σημεία ομαλότερης κλίσης. Εξαιτίας της θέσης

του, δέχεται επιφανειακά και υπόγεια νερά της πόλης του Μετσόβου, με αποτέλεσμα τη συνεχή διαβροχή του και εξαιτίας της κοκκώδους σύστασης του, διαλύονται και μετακινούνται τα κοκκώδη αυτά υλικά, οδηγώντας στην έντονη διάβρωση του.

3.5 Τεκτονικά χαρακτηριστικά

Τεκτονικά, η ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου χαρακτηρίζεται από αλληπάλληλες και παράλληλες λεπιώσεις (Σχήμα 3.3). Πρόκειται δηλαδή, για διαδοχικές επαναλήψεις στρωμάτων, που σχηματίζονται εξαιτίας της ανελαστικής τους συμπεριφοράς, κατά την πτύχωση π.χ. στρώματα ψαμμιτών. Τα ρήγματα λεπιώσεων (εφιπτεύσεις), δημιουργούνται παράλληλα προς τη διεύθυνση των επιπέδων των πτυχών, με διεύθυνση Β/ΒΔ-N/NΔ, ενώ τα στρώματα του φλύσχη κλίνουν προς Β/ΒΑ. Νότια του Μετσόβου, τα ανθρακικά πετρώματα και οι ερυθρωποί και πράσινοι ραδιολαρίτες, σχηματίζουν αντίκλινα και σύγκλινα, ίδιας διεύθυνσης αξόνων. Ένα εκτεταμένο τεκτονικό κάλυμμα, πολλών δεκάδων χιλιομέτρων, σχηματίζεται από την επώθηση των οφιολιθικών πετρωμάτων της Υποπελαγονικής ζώνης, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, πάνω στα στρώματα κυρίως του φλύσχη της ζώνης Πίνδου, η οποία είναι επωθημένη στο φλύσχη της Ιονίου ζώνης (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).



Σχήμα 3.3: Τεκτονικός χάρτης περιοχών Μετσόβου-Ανατολικού Ζαγορίου, όπου: 1. επώθηση ζώνης Πίνδου, 2. επώθηση οφιολίθων, 3. επώθηση ομάδας Πολιτών, 4. εφιπτευση, 5. ρήγματα κανονικά και οριζόντιας μετατόπισης, 6. άξονες μεγαπτυχών, 7. κλίση και παράταξη στρωμάτων και 8. θέσεις τομών (Δημαράς, 2007).

3.6 Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά

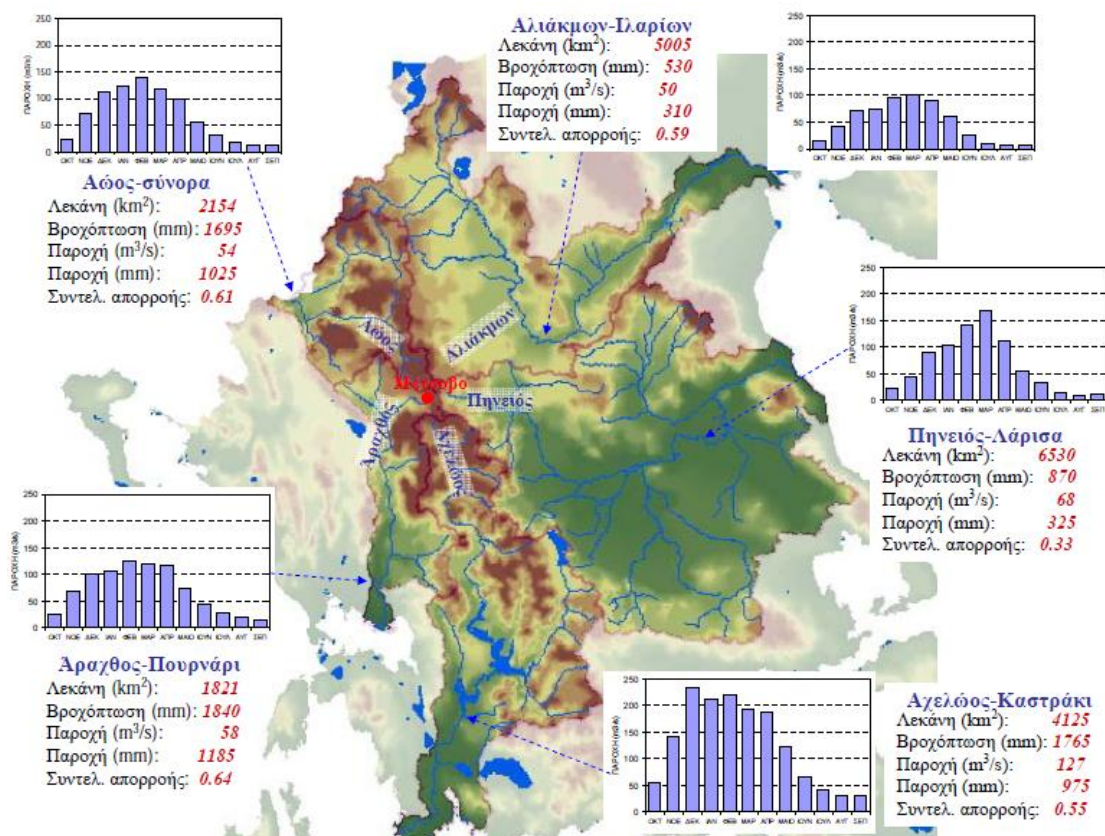
3.6.1 Υδατικοί πόροι

Η ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου αποτελεί έναν από τους κυριότερους υδροκρίτες του ελληνικού χώρου, όπου συναντώνται οι πέντε κυριότερες υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας, του Αράχθου, του Πηνειού, του Αχελώου, του Αλιάκμονα και του Αώου (Σχήμα 3.4). Έτσι δικαιολογημένα, το Μέτσοβο αποτελεί την «υδρολογική καρδιά» της Ελλάδας, καθώς κατατάσσεται στις πλουσιότερες παγκοσμίως υδρολογικές λεκάνες, από πλευράς υδατικού δυναμικού ανά μονάδα επιφάνειας. Παρ' όλα αυτά, διαπιστώνονται στατιστικά, σημαντικές πτωτικές τάσεις στους όγκους απορροής, τα τελευταία 45 έτη. Τα σημαντικότερα υδατορεύματα της περιοχής, είναι ο Μετσοβίτικος και ο Αώος ποταμός.

Χαρακτηριστικό του Μετσοβίτικου ποταμού, είναι η κατά βάθος διάβρωση και η παρουσία απότομων κλίσεων κλιτύων. Έχει μόνιμη ροή όλη τη διάρκεια του έτους, αποστραγγίζει την ευρύτερη περιοχή και γενικά τόσο οι επιφανειακές απορροές, όσο και τα υπόγεια ύδατα κατευθύνονται προς αυτόν. Πλήθος χειμάρρων και ρεμάτων, με γενικά απότομες κλίσεις κλιτύων και στενές κοίτες, εμφανίζονται στην περιοχή, όπως έχει αναφερθεί.

Στα βορειοδυτικά της περιοχής συναντάται η Τεχνητή Λίμνη Πηγών Αώου. Η λίμνη που προκύπτει από το φράγμα Αώου, έχει επιφάνεια 11.500 στρέμματα και βάση της χωρητικότητας στην ανώτατη στάθμη πλημμύρας, εκταμιεύει $260 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Δήμος Μετσόβου, 2006). Το χωμάτινο φράγμα του Αώου, κατασκευάστηκε και λειτουργεί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μέσω αυτού εκτρέπεται ποσότητα νερού στον Αραχθο.

Ο ποταμός Αώος πηγάζει από την Τεχνητή Λίμνη, με κατεύθυνση απορροής N-BA/B-BΔ, έχει μήκος 70 km στη διαδρομή του στο ελληνικό έδαφος και εκβάλλει στην Αδριατική θάλασσα στην Αλβανία. Η συνολική λεκάνη τροφοδοσίας του, στο Ελληνικό έδαφος είναι 2.150 km^2 . Η ευρύτερη υδρολογική λεκάνη του Αώου περιλαμβάνει τις τρεις υπολεκάνες των ποταμών Σαραντάπορου, Αώου και Βοϊδομάτη. Οι τρεις ποταμοί, ακολουθούν αρχικά διαφορετικές διαδρομές και τελικά κατευθύνονται στην πεδιάδα Κόνιτσας-Μελισσόπετρας, στον κυρίως Αώο ποταμό, ο οποίος συνεχίζει να κατευθύνεται στην Αλβανία. Η μέση ετήσια παροχή του Αώου είναι $3,53 \text{ m}^3/\text{s}$ στις πηγές και $26,61 \text{ m}^3/\text{s}$ στην Κόνιτσα (Δασαρχείο Μετσόβου, 2001).



Σχήμα 3.4: Οι πέντε κυριότερες υδρολογικές λεκάνες της Ελλάδας γύρω από το Μέτσοβο (Μαμάσης, 2009).

3.6.2 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Όπως έχει αναφερθεί, η περιοχή του Μετσόβου δομείται ουσιαστικά από το φλύσχη (ψαμμιτικός-πηλιτικός) και το μανδύα αποσάθρωσης του. Ο ψαμμίτης του φλύσχη, εμφανίζεται μερικώς κατακερματισμένος και θεωρείται υδροπερατός σχηματισμός, καθώς εμφανίζεται με πρωτογενές και δευτερογενές πορώδες. Οι αργιλικοί σχιστόλιθοι και οι ιλυόλιθοι είναι λεπτόκοκκοι σχηματισμοί, γενικά αδιαπέρατοι και λιγότερο κερματισμένοι από το φλύσχη, εξαιτίας της μεγαλύτερης πλαστικότητάς τους, με αποτέλεσμα να κάμπτονται και όχι να θραύονται.

Εκεί όπου ο ψαμμίτης εμφανίζεται με μεγάλο πάχος ή το υλικό είναι κατακερματισμένο, σχηματίζονται εποχικοί υδροφόροι ορίζοντες. Πρόκειται για ορίζοντες μικρής δυναμικότητας, που τροφοδοτούνται από τα επιφανειακά νερά και καταλήγουν σε χαμηλότερα υψόμετρα, με τη μορφή πηγών μικρής παροχής εντός του μανδύα αποσάθρωσης (Βότσογλου, 2003). Αυτές οι πηγές, δημιουργούνται εξαιτίας της ύπαρξης ενός υπερκείμενου διαπερατού σχηματισμού, του ψαμμίτη και ενός υποκείμενου αδιαπέρατου, του αργιλικού σχιστολίθου και εμφανίζονται κυρίως

στη βάση του πρανούς. Επίσης, σημαντικά υδροφόρα εμφανίζονται και τα κορήματα, που καλύπτουν μεγάλη έκταση στις περιοχές του φλύσχη, στις πηγές Αώου, στα δυτικά πρανή του Μαυροβουνίου.

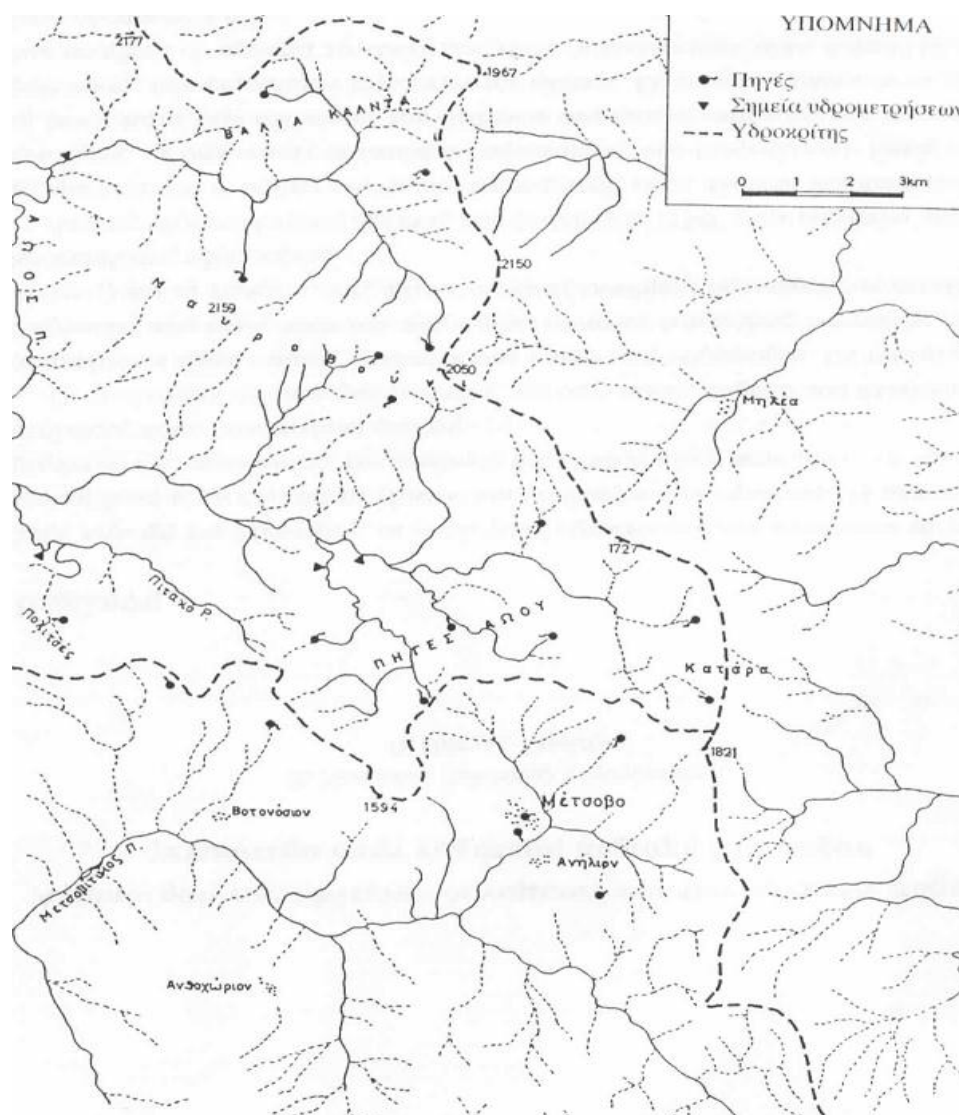
Το έντονο γεωμορφολογικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου και τα έντονα καιρικά φαινόμενα, κυρίως τους χειμερινούς μήνες (υψηλό ετήσιο ύψος βροχής 2.000 mm, ισχυρές χιονοπτώσεις), σε συνδυασμό με το υδατοστεγανό φλυσχικό υπόβαθρο (φλύσχη και οφιόλιθοι), δημιουργούν τις αναγκαίες συνθήκες εκδήλωσης της έντονης επιφανειακής ροής, καθώς και της υψηλής στάθμης του ελεύθερου υπογείου υδροφόρου ορίζοντα.

Η έντονη τεκτονική καταπόνηση των πετρωμάτων του οφιολιθικού συμπλέγματος (κυρίως περιδοτιτών), σε συνδυασμό με την αποσάθρωση και τη διάβρωση, δημιούργησαν στα ανώτερα τμήματα ένα δευτερογενές πορώδες, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη σημαντικών υδροφόρων οριζόντων. Αυτοί οι υδροφόροι, εμφανίζονται με τη μορφή μικροπηγών στις περιοχές Κατάρα, Μαυροβούνι και Βάλια Κάλντα. Η υδροπερατότητα των περιδοτιτών διαπιστώθηκε από γεωτρήσεις, που έγιναν κατά την κατασκευή του φράγματος Μετσόβου, όπου παρατηρήθηκαν σημαντικές παροχές νερού (Νικολάου και Πάσχος, 1998).

Η ύπαρξη υπογείων υδροφόρων, μικρού βάθους, στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής, οφείλεται στο γεγονός ότι, στην περιοχή δε συναντώνται ανθρακικοί σχηματισμοί, στους οποίους η καρστικοποίηση, σε μεγάλα βάθη να ευνοεί την ανάπτυξη βαθιών καρστικών υδροφόρων οριζόντων. Στην τροφοδοσία των υπογείων υδροφορέων, συμβάλλουν σημαντικά τα κατακρημνίσματα που προέρχονται από χιόνι. Το στρώμα χιονιού επικάθεται στο έδαφος, εξασφαλίζοντας μόνιμη τροφοδοσία των υπογείων υδροφόρων, για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αντίθετα, τα κατακρημνίσματα της βροχής, ευνοούν την επιφανειακή απορροή.

Οι λιθολογικοί σχηματισμοί της περιοχής, η πλούσια βλάστηση και ο παχύς εδαφικός μανδύας που αναπτύσσεται στην περιοχή, συμβάλλουν στη ρύθμιση της απορροής των επιμέρους λεκανών Αώου και Βάλια Κάλντας και κατά τις ξηρές περιόδους. Πλήθος μικροπηγών στη Βάλια Κάλντα, στο Μαυροβούνι και στις Πολιτσές, είναι πηγές του εδαφικού μανδύα. Το υδρογεωλογικό καθεστώς της περιοχής μεταβλήθηκε από τη δημιουργία της τεχνητής λίμνης. Για την περίοδο 1988-1992, η μέση ετήσια παροχή των κυριότερων υδρορεμάτων της περιοχής πηγών Αώου είναι: για τη Βάλια Κάλντα $0,477 \text{ m}^3/\text{sec}$, για το ρέμα Ποτόκι $0,725 \text{ m}^3/\text{sec}$ και

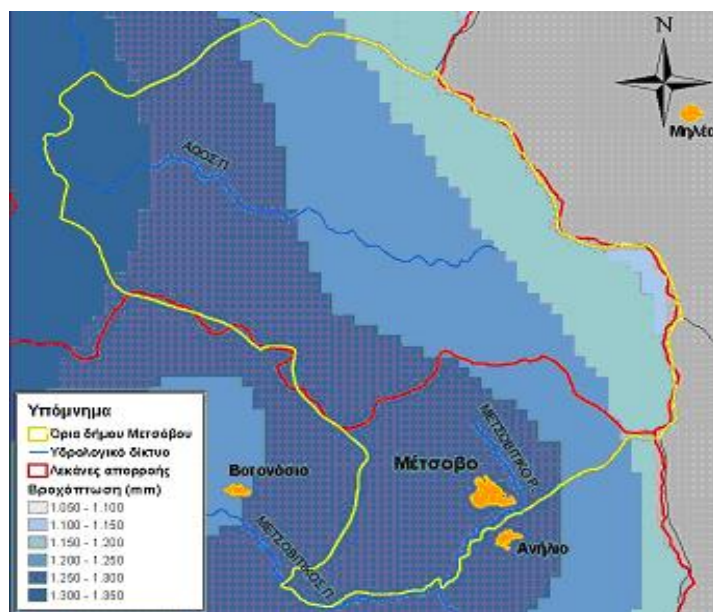
για το Πιτακόρεμα $0,067 \text{ m}^3/\text{sec}$, με μέση ετήσια θερμοκρασία νερού $10,9^\circ\text{C}$, $11,7^\circ\text{C}$ και $8,5^\circ\text{C}$, αντίστοιχα (Σχήμα 3.5) (Νικολάου και Πάσχος, 1998).



Σχήμα 3.5: Υδρογραφικό δίκτυο περιοχής Μετσόβου (Νικολάου και Πάσχος, 1998).

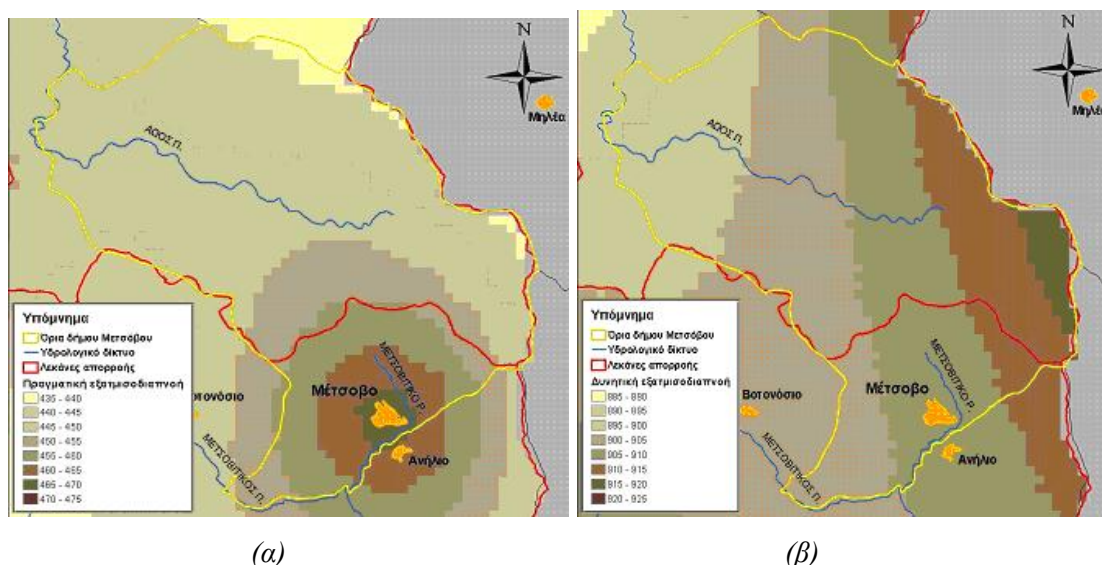
3.6.3 Υδρολογικές μεταβλητές

Οι τιμές της κατακρήμνισης στο Δήμο Μετσόβου, από τα δυτικά προς τα ανατολικά, κυμαίνονται από 1.350 mm έως 1.050 mm (Σχήμα 3.6) και η τιμή της κατακρήμνισης δυτικά του Δήμου ξεπερνάει την τιμή της μέσης ετήσιας κατακρήμνισης του υδατικού διαμερίσματος της Ηπείρου, η οποία είναι της τάξης των 1.300 mm (Μιμίκου, 2007).



Σχήμα 3.6: Κατανομή της κατακρήμνισης στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).

Η σημαντική υδρολογική απώλεια τόσο από τους επιφανειακούς, όσο και από τις ανώτερες εδαφικές στρώσεις, αντιστοιχεί στην πραγματική εξατμισοδιαπνοή, της οποίας οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ των 475 mm και 435 mm (Σχήμα 3.7 (α)). Παρουσιάζεται με ομόκεντρους κύκλους, με τις τιμές να μειώνονται από το κέντρο του Μετσόβου προς την περιφέρεια (Σχήμα 3.7 (α)). Αντίθετα, η δυνητική εξατμισοδιαπνοή αυξάνεται από τα ανατολικά προς τα δυτικά του Δήμου, με αντίθετη κατανομή αυτή της κατακρήμνισης (Σχήμα 3.7 (β)).

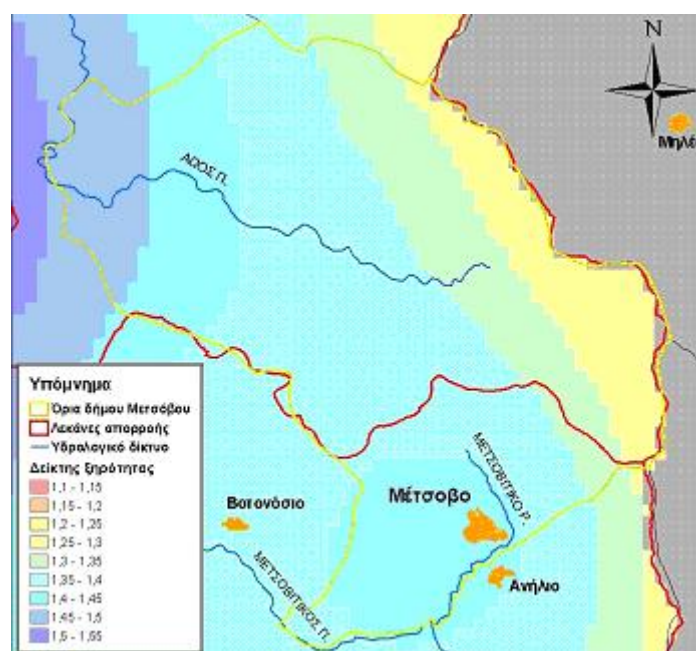


Σχήμα 3.7: (α) Κατανομή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής και (β) της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).

Επίσης, ο δείκτης ξηρότητας αποτελεί ένα σημαντικό υδρολογικό δείκτη και ισούται με το λόγο της συνολικής κατακρήμνισης προς τη δυνητική εξατμισοδιαπνοή. Σύμφωνα με τις τιμές του δείκτη ξηρότητας (Μιμίκου, 2007), οι περιοχές διακρίνονται σε:

- < 0,20 → ξηρές περιοχές
- < 0,49 → σχεδόν ξηρές περιοχές
- < 0,74 → σχεδόν υγρές περιοχές
- > 0,75 → υγρές περιοχές

Οι τιμές του δείκτη ξηρότητας για την περιοχή του Μετσόβου, κυμαίνονται από 1,1 και 1,55. Ιδιαίτερα αυξημένος παρουσιάζεται ο δείκτης ξηρότητας κοντά στα όρια της πόλης του Μετσόβου, ενώ μειώνεται προς τα ανατολικά τμήματα (Σχήμα 3.8).



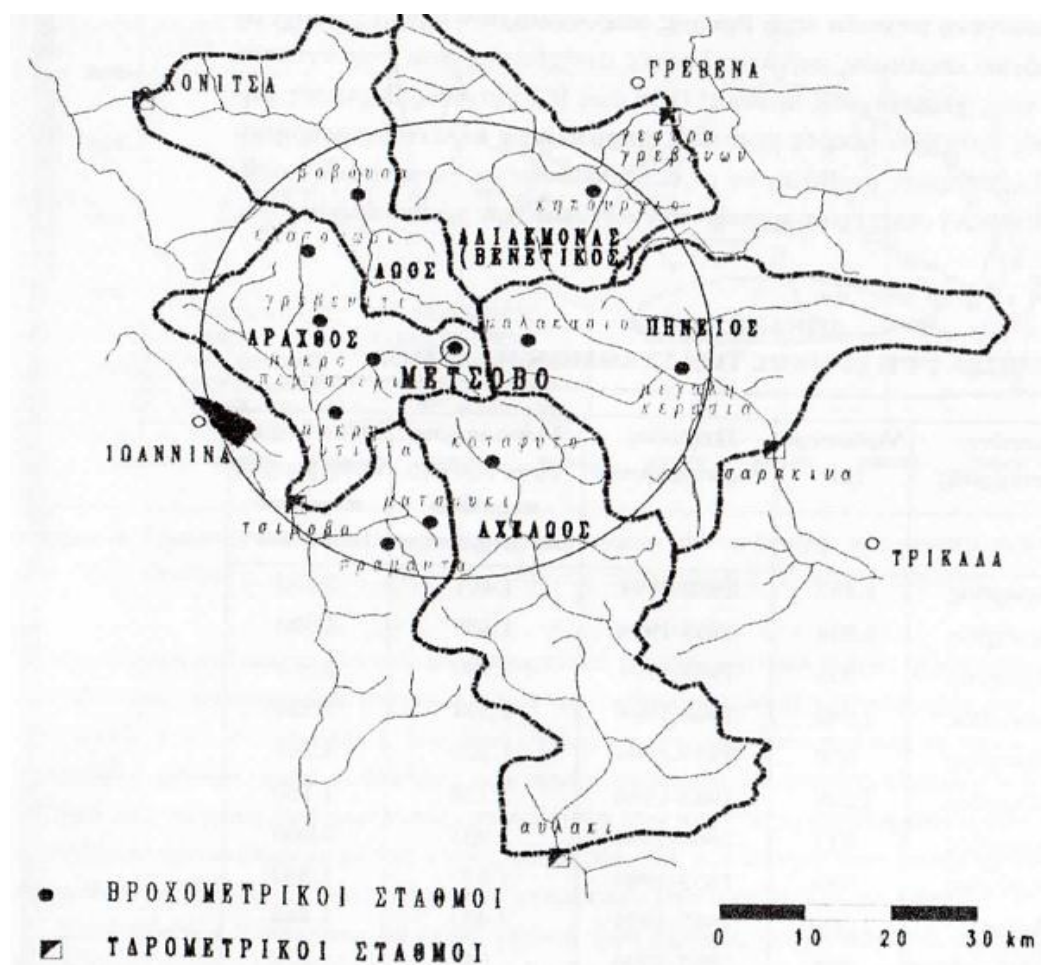
Σχήμα 3.8: Κατανομή του δείκτη ξηρότητας στο Δήμο Μετσόβου (Μιμίκου, 2007).

3.6.4 Υδρομετεωρολογικές συνθήκες

Το κλίμα επιδρά σημαντικά στις συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή μελέτης. Η βροχόπτωση στην Ελλάδα, επηρεάζεται σημαντικά από την οροσειρά της Πίνδου, που διασχίζει τη χώρα από βορειοδυτικά προς νότια, με αποτέλεσμα στις ορεινές περιοχές της Δυτικής Ελλάδας, η μέση ετήσια βροχόπτωση να ξεπερνά τα 1.500 mm, σε αντίθεση με τα ανατολικά τμήματα της χώρας, όπου η μέση ετήσια βροχόπτωση μπορεί να σημειωθεί και κάτω από τα 400 mm (Μιμίκου, 2007).

Έτσι, το Μέτσοβο, λόγω της γεωγραφικής του θέσης, χαρακτηρίζεται από μεγάλο ύψος κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι, χαλάζι), μέσω των οποίων αποσαθρώνονται οι βραχώδεις σχηματισμοί και επηρεάζεται η ευστάθεια των εδαφικών σχηματισμών. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής της περιοχής, ακτίνας 30 km γύρω από το Μέτσοβο, προέκυψε στα 1.350 mm. Νότια του Μετσόβου, σημειώνονται τα μεγαλύτερα ύψη βροχής, ενώ βόρεια και κοντά στο Μέτσοβο τα ύψη βροχής είναι από 1.400-1.500 mm (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 1998).

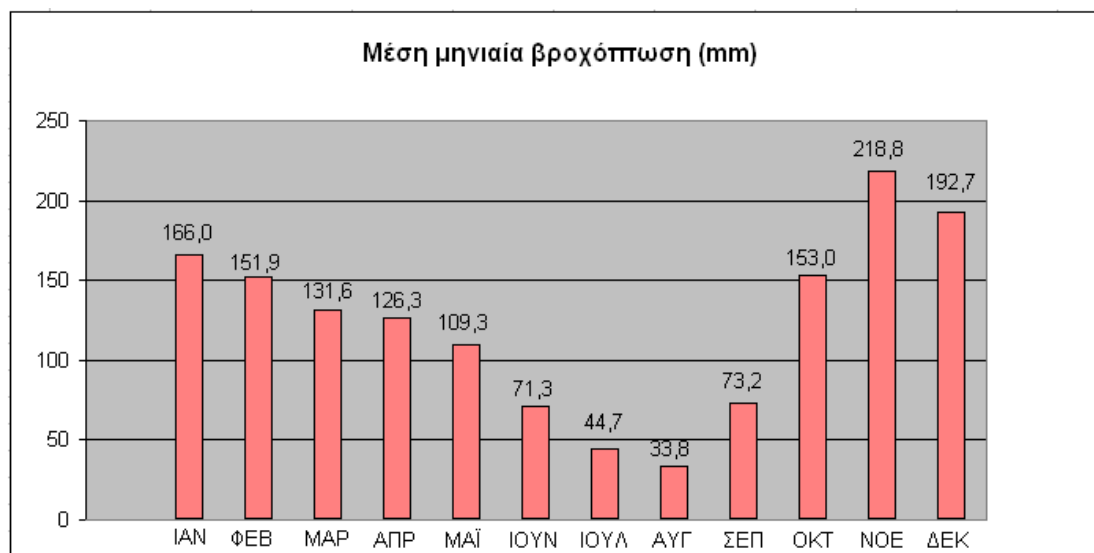
Για την εκτίμηση της ποσότητας των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και των θερμοκρασιών του αέρος της περιοχής του Μετσόβου, χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα από δώδεκα βροχομετρικούς σταθμούς (Σχήμα 3.9), ακτίνας 30 km γύρω από το Μέτσοβο (Πίνακας 3.1). Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα μέσα ύψη βροχής και οι μέσες τιμές θερμοκρασίας για την περιοχή του Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009.



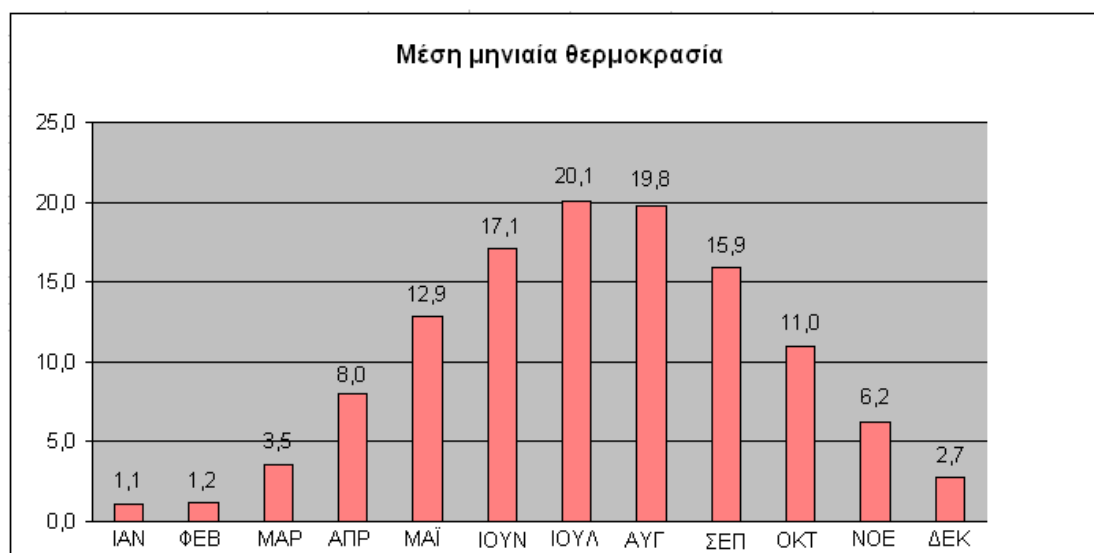
Σχήμα 3.9: Υδρομετρικοί και βροχομετρικοί σταθμοί (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 1998).

Πίνακας 3.1: Μέσα ύψη βροχής και μέσες τιμές θερμοκρασίας για την περιοχή του Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΟΣ
Ύψος βροχής (mm)	166,0	151,9	131,6	126,3	109,3	71,3	44,7	33,8	73,2	153,0	218,8	192,7	1472,6
Θερμοκρασία (°C)	1,1	1,2	3,5	8,0	12,9	17,1	20,1	19,8	15,9	11,0	6,2	2,7	



Διάγραμμα 3.1: Κατανομή μέσης μηνιαίας τιμής ύψους ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στην περιοχή Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009, από δώδεκα βροχομετρικούς σταθμούς.



Διάγραμμα 3.2: Κατανομή μέσης μηνιαίας τιμής θερμοκρασιών στην περιοχή Μετσόβου, την περίοδο 1961-2009.

Από τον παραπάνω πίνακα και τα διαγράμματα, που παρουσιάζουν γραφικά την ετήσια πορεία των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων και των θερμοκρασιών, παρατηρείται ότι:

- ✓ Το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων στην περιοχή του Μετσόβου για την περίοδο 1961-2009 είναι 1472,6 mm. Το 39% αυτού, συγκεντρώνεται τους μήνες Νοέμβριο (218,8 mm), Δεκέμβριο (192,7 mm) και Ιανουάριο (166,0 mm).
- ✓ Σε ετήσια βάση, το μεγαλύτερο ποσοστό των βροχοπτώσεων παρατηρείται από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο, όπου σημειώνεται το 91,3% των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
- ✓ Η μέση τιμή της μηνιαίας θερμοκρασίας στη διάρκεια του έτους, είναι αντίθετη από αυτή των κατακρημνισμάτων. Οι μέγιστες θερμοκρασίες παρατηρούνται τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, 20,1°C και 19,8°C αντίστοιχα, ενώ το Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο παρατηρούνται οι χαμηλότερες θερμοκρασίες, 2,7°C και 1,1°C αντίστοιχα.

3.7 Υδραυλικά έργα

Όλα τα ρέματα-χειμάρροι της περιοχής που διαπερνάνε τον οικισμό του Μετσόβου, διοχετεύονται με κατάλληλα αντιπλημμυρικά έργα στο Μετσοβίτικο ποταμό και τα οποία είναι:

● Δίκτυο ύδρευσης

Όσο αναφορά το εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης, το Μέτσοβο καλύπτει τις ανάγκες του από διάφορες υδρευτικές πηγές πόσιμου νερού βόρεια του Δήμου, όπως αυτές της Σιάφκας, Γούβες, Άσπρα Λιθάρια, Παπαγιώργη, Χάτος, Μαυροβουνίου, Φίλιου, Κουιτοκάλη, Τσερνίτση, Μπερμίτσου, Κίσσα, Φλόκα, Πλατείας, Βλάχας κ.α. (Σχήμα 3.10), οι οποίες είναι συνεχούς ροής και έχουν αθροιστική παροχή περίπου 60-150 m³/hr. Αυτές συνδέονται με αγωγούς μεταφοράς, οι οποίοι καταλήγουν σε τρεις δεξαμενές συγκέντρωσης νερού, τη δεξαμενή Περιτώρας, Πολυτσώρας, Τσιμπίδι και την κεντρική δεξαμενή αποθήκευσης και τροφοδοσίας του εσωτερικού δικτύου του Μετσόβου (Σχήμα 3.10).

Η παροχή προς την κεντρική δεξαμενή είναι περίπου 250 m³/hr. Μέρος της παροχής αυτής, περίπου 100 m³/hr, διατίθενται για τις υδρευτικές ανάγκες του Μετσόβου και για την παροχή νερού στις 25 παραδοσιακές βρύσες του οικισμού.

Προβλήματα στο εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης, τα οποία αναμένονται να λυθούν με την κατασκευή των έργων αναβάθμισης του δικτύου (νέα υδατοδεξαμενή, νέος πρόσθετος αγωγός πρασαγωγής πόσιμου νερού), παρουσιάζονται από τις μικρής χωρητικότητας δεξαμενές αρχικής αποθήκευσης, που έχουν ως αποτέλεσμα υπερχειλίσεις, απώλειες νερού και ανεπαρκής παροχρητευτικότητα, ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες, λόγω μικρών παροχών και διατομών αγωγών.

Το υφιστάμενο εσωτερικό δίκτυο ύδρευσης του οικισμού, έχει κατασκευαστεί από αμιαντο-τσιμεντοσωλήνες. Εξαιτίας της παλαιότητας του, παρατηρείται μεγάλο ποσοστό διαρροών και συχνές θραύσεις των αγωγών του εσωτερικού δικτύου, με αποτέλεσμα συχνές διακοπές στην υδροδότηση και σημαντικές εδαφικές αστοχίες. Ο αμίαντος, από τον οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί του δικτύου ύδρευσης, μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του νερού, καθώς έχει χαρακτηριστεί επίσημα ως επικίνδυνο για την υγεία υλικό, αφού κατατάσσεται στην πρώτη κατηγορία καρκινογόνων υλικών (Π.Δ. υπ' αριθ. 70α /1988 και κοινοτική οδηγία 670/548 του 1991). Εξαιτίας των παραπάνω, έχει προταθεί η αντικατάσταση του συνόλου των αμιαντο-τσιμεντοσωλήνων, με αγωγούς από σκληρό πολυαιθυλενίου (HDPE) 3^{ης} γενιάς.

Όπως έχει είδη αναφερθεί, ο οικισμός υδροδοτείται από τέσσερις δεξαμενές, οι τρεις βρίσκονται εντός του οικισμού και συγκεκριμένα στην περιοχή του Αγίου Γεωργίου, της Αγίας Τριάδας και στην παλαιά Εθνική Οδό, χωρητικότητας 88 m³, 250 m³ και 300 m³ αντίστοιχα (Δήμος Μετσόβου, 2010). Η τέταρτη βρίσκεται εκτός του οικισμού, στην περιοχή Τζιαν λα Πούλιου, χωρητικότητας 72 m³ (Εικόνα 3.5).



Σχήμα 3.10: Εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης Μετσόβου. Παρατηρούνται οι δεξαμενές υδροδότησης.



Εικόνα 3.5: Δεξαμενές υδροδότησης του οικισμού του Μετσόβου.

Επειδή ο οικισμός του Μετσόβου έχει μεγάλες υψομετρικές διακυμάνσεις, έχει προταθεί ο διαχωρισμός του δικτύου σε ζώνες, ώστε να τροφοδοτούνται όλες οι περιοχές με τις επιθυμητές πιέσεις. Η μέγιστη επιτρεπόμενη στατική πίεση, ισούται με 65 m και η ελάχιστη απαιτούμενη πίεση λειτουργίας, στο υψόμετρο του εδάφους, ισούται με 13 m. Οι απώλειες του δικτύου υπολογίζονται σε 15% της μέσης ημερήσιας παροχής ($998\text{m}^3/\text{d}$). Αν ληφθούν υπ' όψη οι απώλειες εντός των αγωγών και η μεταβολή της στάθμης ύδατος εντός των δεξαμενών, προκύπτει ένα διαθέσιμο πιεζομετρικό φορτίο της τάξης των 48-49 m. Επίσης, η υψομετρική διαφορά του χαμηλότερου από το υψηλότερο σημείο του οικισμού, είναι περίπου 252 m, επομένως θα χρειαστεί να χωριστεί το εσωτερικό δίκτυο σε έξι ζώνες (Δήμος Μετσόβου, 2010).

Όσο αναφορά μικρότερους οικισμούς του Δήμου και συγκεκριμένα το Ανήλιο και το Βοτονόσι, παρουσιάζονται επίσης έντονα προβλήματα στο δίκτυο ύδρευσης. Ειδικά σε αυτούς τους οικισμούς, το εσωτερικό και εξωτερικό δίκτυο ύδρευσης είναι πεπαλαιωμένο, με αποτέλεσμα τη χαμηλή αξιοπιστία λειτουργίας του δικτύου ύδρευσης και την ανεπάρκεια παροχής. Για το Δημοτικό Διαμέρισμα Ανηλίου, έχει δημοπρατηθεί έργο βελτίωσης του εσωτερικού δικτύου ύδρευσης και έχει ολοκληρωθεί μελέτη ενίσχυσης-επέκτασης της πηγής ύδρευσης, λόγω προβλημάτων επάρκειας νερού. Στο Δημοτικό Διαμέρισμα Βοτονοσίου, προγραμματίζεται η κατασκευή δεξαμενής ύδρευσης. Για την καλύτερη άρδευση των λίγων καλλιεργειών,

έχουν κατασκευαστεί τσιμεντένιοι υδραύλακες στην περιοχή του Βοτονοσίου και του Ανθοχωρίου.

● *Δίκτυο αποχέτευσης*

Το δίκτυο αποχέτευσης του οικισμού Μετσόβου είναι παντοροϊκό, αποτελείται από πλακοσκεπή τσιμέντο, είναι διάτρητο με πολλές διαρροές-εισροές, αφού είναι 40 ετών, με συνεχείς ανακαινίσεις. Το δίκτυο αποτελείται από 8 παράλληλους κεντρικούς αγωγούς (Α1-Α8, Σχήμα 3.11), που καταλήγουν σε μία συλλεκτήρια τάφρο (Κεντρικός Συλλεκτήριος Αγωγός, Α_κ, Σχήμα 3.11), από όπου τα νερά αποχέτευσης οδηγούνται με φυσική ροή ή με βοήθεια αντλιοστασίου, στην Εγκατάσταση Επεξεργασίας Λυμάτων (ΕΕΛ) του Μετσόβου.

Το δίκτυο αποχέτευσης εκτός από τα αστικά απόβλητα του οικισμού (με μέση ημερήσια παροχή λυμάτων, 100 m³/h), συλλέγει επίσης τα νερά που προκύπτουν από την υπερχειλίση της κεντρικής δεξαμενής ύδρευσης, μαζί με τις υψηλές απορροές από τις παραδοσιακές βρύσες (μέση ετήσια παροχή κρηνών, 150 m³/h). Η τελική παροχή που οδηγείται στην Ε.Ε.Λ. του οικισμού, είναι υπερβολικά υψηλή και πολλές φορές άνω της παροχής σχεδιασμού της Ε.Ε.Λ. Είναι απαραίτητο να γίνει χωριστικό δίκτυο στο Δήμο Μετσόβου, για να αντιμετωπιστούν οι υψηλές παροχές των πηγαίων υδάτων, που οδηγούνται άσκοπα στην Ε.Ε.Λ. και προκαλούν υπερφόρτωση. Έχουν γίνει διορθωτικές κινήσεις από τις Υπηρεσίες του Δήμου, με αποτέλεσμα 18 από τις 25 βρύσες να χύνονται στο Μετσοβίτικο Ποταμό αντί στην Ε.Ε.Λ. (παράκαμψη υδάτων κρηνών Π1-Π9, Σχήμα 3.11). Επίσης, έχει κατασκευαστεί εντός του οικισμού του Μετσόβου, στην περιοχή Σούη, αντλιοστάσιο σε περίπτωση υπερχειλίσης, εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων νερού (Α_{ΣΟΥΗ}, Σχήμα 3.11).

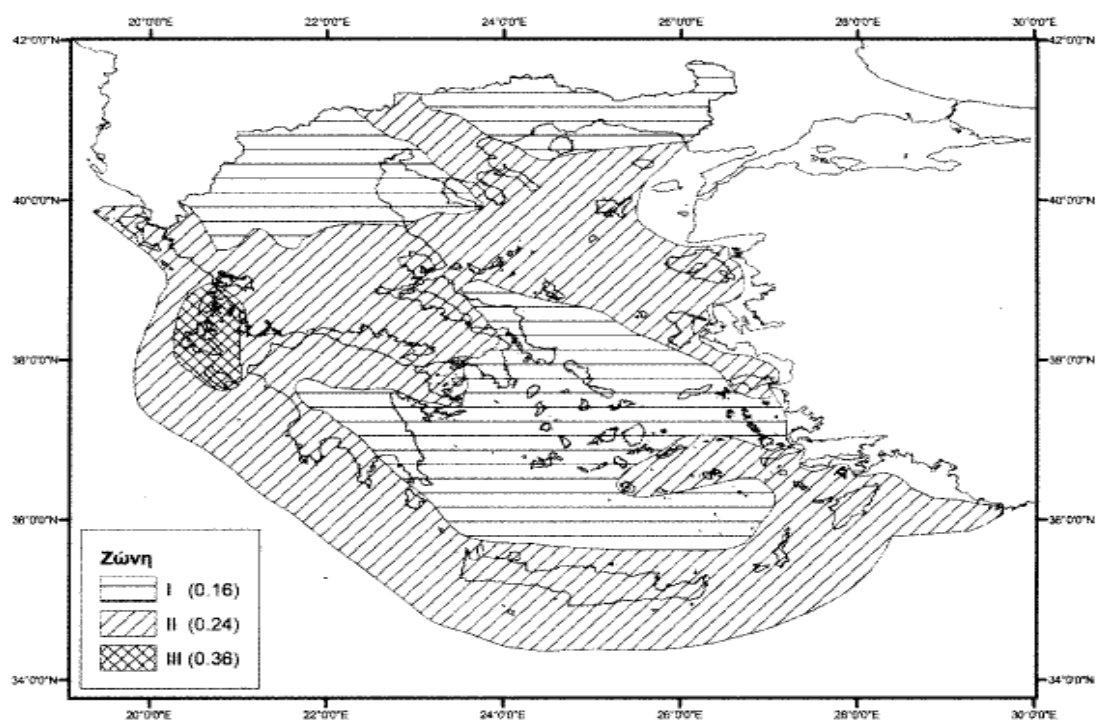
Το δίκτυο αποχέτευσης του Τοπικού Διαμερίσματος Αηγλίου, είναι κυρίως χωριστικό και μερικώς παντοροϊκό. Σε εξέλιξη βρίσκονται εργασίες μετατροπής του σε χωριστικό. Το υπάρχον δίκτυο περιλαμβάνει παλαιό και νέο δίκτυο σε αναλογία περίπου 60:40.



Σχήμα 3.11: Χάρτης του οικισμού του Μετσόβου. Παρατηρείται η ροή του νερού στον οικισμό.

3.8 Στοιχεία σεισμικότητας

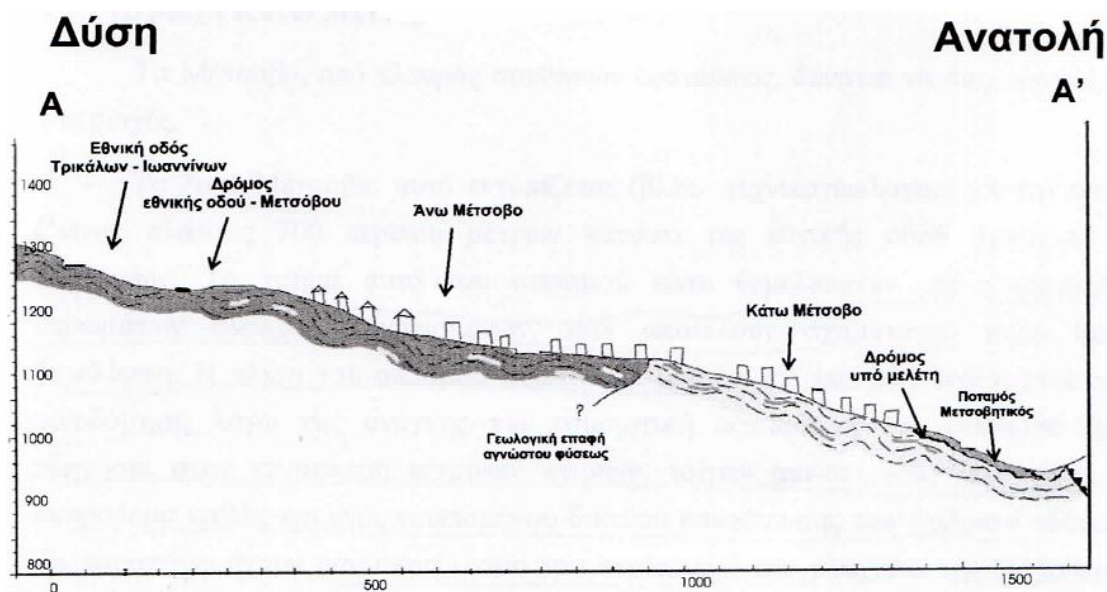
Η σεισμική δράση στην περιοχή του Μετσόβου δεν είναι έντονη και εντάσσεται στο καθεστώς εφελκυστικών τάσεων που επικρατεί στο Αιγαίο. Όμως το Μέτσοβο, πλήττεται από σεισμικές δονήσεις, οι εστίες των οποίων βρίσκονται σε γειτονικές περιοχές, όπως τα Ιωάννινα, τα Γρεβενά, η Άρτα κ.α. Από δεδομένα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Αστεροσκοπείου των Αθηνών, έχουν συμβεί στην περιοχή μελέτης, από 1000 έως το 2003, σε ακτίνα 100 km γύρω από την περιοχή, 96 σεισμοί μεγέθους μεγαλύτερου των 5,5 Rixter. Βάση των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες έχει χωριστεί ο ελληνικός χώρος (Σχήμα 3.12), η ευρύτερη περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη II, με τιμή εδαφικής επιτάχυνσης 0,24.



Σχήμα 3.12: Οι τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίστηκε ο ελληνικός χώρος.

3.9 Εδαφικές αστοχίες

Το Μέτσοβο από πλευράς συνθηκών ευστάθειας διακρίνεται στο Κάτω Μέτσοβο, το οποίο περιλαμβάνει τις συνοικίες του Αγίου Δημητρίου, του Αγίου Χαραλάμπου και του Αγίου Νικολάου και στο Άνω Μέτσοβο, το οποίο εκτείνεται από το κέντρο του Μετσόβου έως την παλαιά Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Τρικάλων (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.13: Σχηματική γεωλογική τομή της περιοχής Μετσόβου (Βότσογλου, 2003).

Στην εδαφική αστάθεια, εκτός από τη λιθολογική δομή της περιοχής και τις κλίσεις του εδάφους, συμβάλουν σημαντικά τα επιφανειακά και τα υπόγεια νερά, δηλαδή α) τα νερά της βροχής που εισχωρούν στον αποσαθρωμένο μανδύα, β) τα υπόγεια νερά που ρέουν στο υπέδαφος προκαλώντας μόνιμη διαπότιση του και γ) τα νερά που ρέουν από τις πηγές σε μη επενδεδυμένους αγωγούς.

Το Ανω Μέτσοβο, είναι θεμελιωμένο σε ψαμμίτικα στρώματα, ελαφρά κερματισμένα, που αποτελούν σχετικά καλό σχηματισμό για θεμελίωση. Ο οικισμός έχει οικοδομηθεί με την κατασκευή πέτρινων κτηρίων, τοίχων αντιστήριξης από πέτρα, καθώς έχει κατασκευαστεί και ένα εκτεταμένο δίκτυο αποχέτευσης των όμβριων υδάτων, με αποτέλεσμα να περιορισθεί η διάβρωση των υποκείμενων σχηματισμών, εξαιτίας της μικρότερης έκθεσης τους στα επιφανειακά νερά και στους παράγοντες αποσάθρωσης.

Οι σημαντικότερες αστοχίες εδαφών παρατηρούνται στα ανατολικά, (βορειοανατολικά, ανατολικά, νοτιοανατολικά) και στα νότια τμήματα του Μετσόβου (Κάτω Μέτσοβο) μέχρι το Μετσοβίτικο Ρέμα (Ρεματιά Μπαρούτι), όπου η υπόγεια και επιφανειακή ροή των υδάτων καταλήγει εκεί. Το πρηνές έχει κλίση περίπου από 30° - 60° , ενώ ο σχηματισμός θεμελίωσης είναι αργιλικός σχιστόλιθος με ενστρώσεις ψαμμίτη. Σε αυτά τα τμήματα, επικρατούν τα αργιλικά και μαργαϊκά υλικά, τόσο ως μετακινημένες εδαφικές μάζες, όσο και ως μητρικό πέτρωμα και προκαλούν κατολισθήσεις εξαιτίας της υδροπερατότητας, της πλαστικότητας και της μικρής γωνίας εσωτερικής τριβής τους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα κατολίσθησης, αποτελεί η κατολίσθηση του 1997, 300 m βορειοανατολικά του οινοποιείου Μετσόβου, σε ιλυοαργιλικό φλύσχη. Μετά από κάποια εκσκαφή στην περιοχή, παρατηρήθηκαν κλιμακωτές θραύσεις στο έδαφος, βάθους 3 m περίπου, όπου οι εδαφικές μάζες μετακινήθηκαν προς τα κατάντη της περιοχής (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

Επίσης, όταν εξαπλώθηκε ο οικισμός του Μετσόβου προς τα ανατολικά, βορειοανατολικά, σημαντικός αριθμός κατολισθήσεων εκδηλώθηκε, χωρίς βέβαια να ληφθεί υπ' όψη από τους κατοίκους και τους μηχανικούς, οι οποίοι συνέχισαν τη δόμηση της περιοχής. Αποτέλεσμα αυτού, η κατασκευή ορισμένων κτηρίων να είναι προβληματική και σε μερικές θέσεις και αδύνατη. Μαρτυρίες κατοίκων αναφέρουν ότι, η συγκεκριμένη περιοχή έχει δημιουργηθεί από παλαιότερη κατολίσθηση και συγκεκριμένα το πλάτωμα της σημερινής συνοικίας του Αγίου Γεωργίου (ΝΑ) έχει προέλθει από την περιοχή Τζάνε λα Πούλιου (ΒΑ).

Μικροκατολισθήσεις με τη μορφή εδαφικών θραύσεων, δημιουργήθηκαν επίσης, με τη διάνοιξη του δρόμου για την κατασκευή του κεντρικού αγωγού αποχέτευσης, οι οποίες μπορούν να εξελιχθούν σε μεγαλύτερες, εξαιτίας των υψηλών πρηνών (κλίσεως έως και 50° και ύψους 8 m) και της τεκτονικής καταπόνησης του πετρώματος. Αυτά τα πρηνή βρίσκονται εντός του μανδύα αποσάθρωσης του φλύσχη, όπου στη συγκεκριμένη θέση, αποτελείται από ογκόλιθους ψαμμιτών, προερχόμενους από παλαιότερες κατολισθήσεις. Από τις σημαντικές ποσότητες νερού που ρέουν προς τα κατάντη, σχηματίζονται μικρές πηγές στο δρόμο αυτό, οι οποίες μπορούν να κατεισδύσουν στο υπέδαφος.

Μελλοντική κατολίσθηση μπορεί να εκδηλωθεί πάνω από τις εγκαταστάσεις του βιολογικού καθαρισμού. Σε αυτή τη θέση είχε εκδηλωθεί παλαιότερα πεταλοειδούς μορφής κατολίσθηση, μήκους 200 m (Βότσογλου, 2003), από την οποία σχηματίστηκαν υψηλά πρηνή σε ασταθές αργιλικό σχιστόλιθο.

Νοτιοανατολικά η πόλη του Μετσόβου αποτελείται από παλιά μετακινούμενους ογκολίθους ιλυολίθων και ψαμμιτών, στους οποίους παρεμβάλλονται λεπτομερή υλικά σχιστοφυών αργίλων, μαργών και θραυσμάτων ιλυολίθων. Παρά τη φαινομενική σταθερότητα και την κατασκευή κατοικιών στην περιοχή (π.χ. εκκλησία Αγίου Δημητρίου), έχουν παρουσιαστεί επιφανειακές διαρρήξεις. Τόσο η υπόγεια ροή που αποπλάινει το λεπτόκοκκο υλικό και δημιουργεί τα σπηλαιώδη κενά, όσο και ο ερπυσμός των εδαφικών μαζών, που μπορεί να προέρχεται από σεισμικές δονήσεις, οδηγούν σε βλάβες κτηρίων, αφού οι ογκόλιθοι

που βρίσκονται κάτω από την οικοδομή δρουν ανεξάρτητα (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

Στην εκκλησία του Αγίου Χαραλάμπου, κοντά στο οστεοφυλάκιο, είχε εκδηλωθεί κατολίσθηση πριν 60 χρόνια. Σήμερα, μετά από επί τόπου έρευνα στην περιοχή, παρατηρούνται εδαφικές αστοχίες στο δημοτικό δρόμο, ανάντη από το οστεοφυλάκιο, οι οποίες έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε δύο κατοικίες, ενώ δε λείπουν και οι μικρορωγμές σε οικίες και στα πρανή της περιοχής.

Νοτιοδυτικά του Μετσόβου, εκεί όπου συνδέεται το Μέτσοβο με το Ανήλιο, είχε εκδηλωθεί σημαντική κατολίσθηση στους παχυστρωματώδεις ιλυολίθους, εξαιτίας της διάνοιξης του δρόμου, στην οποία συνέβαλε σημαντικά και η μεγάλη κλίση του πρανούς. Μεγάλες ποσότητες υλικών εκσκαφών από τη διάνοιξη, αποτέθηκαν στις πλαγιές, όπου σε περίοδο έντονων βροχοπτώσεων ή και σεισμού, θα προκαλέσουν μεγάλη κατολίσθηση. Αστάθειες παρατηρούνται και σήμερα, καθώς και ρωγμές και μετακινήσεις στα γύρω πρανή, π.χ. στο Γινιέτσι (αμπελώνας Κατώγι) (Εικόνα 3.6).



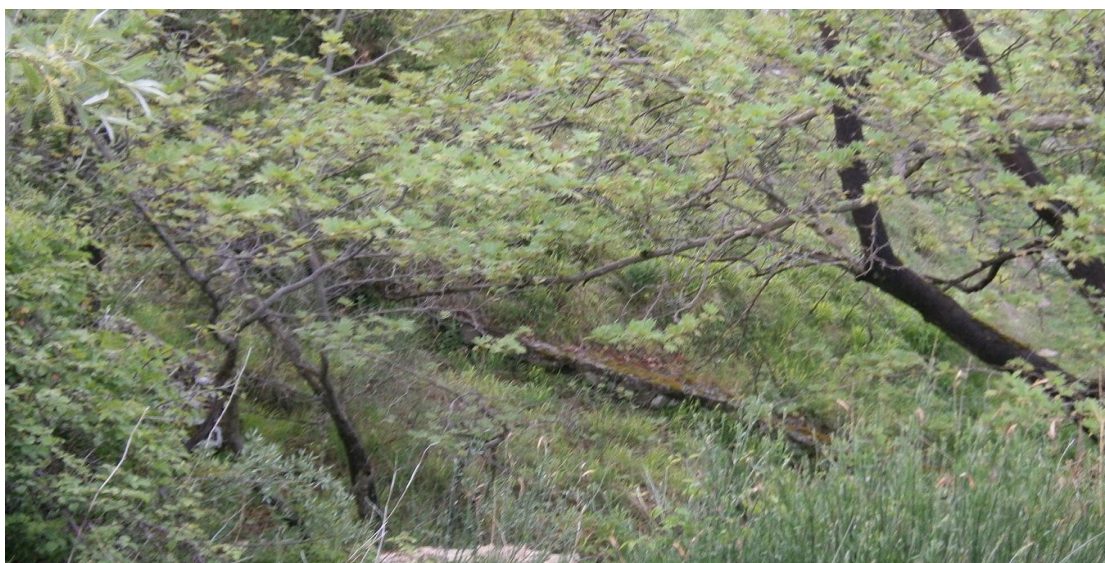
Εικόνα 3.6: Εδαφικές αστοχίες στη βάση του πρανούς του Μετσόβου στον αμπελώνα Κατώγι.

Συνθήκες παλαιότερων μετακινήσεων και μικροκατολισθήσεων παρατηρούνται σχεδόν σε όλο τον οικισμό του Μετσόβου. Παραδείγματα επίσης αποτελούν, τα ρήγματα εφελκυσμού σε αργιλοσχιστολιθικό υλικό, νοτιοανατολικά του νεκροταφείου των Αγίων Αποστόλων, καθώς και κοντά στο Μετσόβιο Διεπιστημονικό Κέντρο (ΜΕ.Κ.Δ.Ε.), όπου παρατηρούνται μεγάλοι ογκόλιθοι

προερχόμενοι από παλαιότερες κατολισθήσεις. Ένδειξη μεταπτώσεων στο ΜΕ.Κ.Δ.Ε., αλλά και γενικότερα στην ευρύτερη περιοχή, αποτελεί η εμφάνιση του ψαμμίτη σε στρώσεις, ενώ δεν παρατηρείται υπερκείμενο υλικό (π.χ. αργιλικό υλικό) (Εικόνα 3.7). Αυτό συμβαίνει, γιατί ο ψαμμίτης είναι πιο ανθεκτικός στην αποσάθρωση-διάβρωση από το αργιλικό υλικό, στο οποίο εισχωρεί το νερό δημιουργώντας επιφάνειες ολίσθησης. Σημαντική ένδειξη μετακινήσεων αποτελεί και η αλλαγή κλίσης των δέντρων και των φυτών (Εικόνα 3.8). Στις μάζες που έχουν μετακινηθεί παρατηρούνται λακκούβες, από τις οποίες εισχωρεί το νερό στο έδαφος, συμβάλλοντας έτσι στη δημιουργία νέων κατολισθήσεων.



Εικόνα 3.7: Αποψη ψαμμιτικών στρώσεων, δίπλα στο ΜΕΚΔΕ, που ξεχωρίζουν εξαιτίας της αυξημένης αντοχής τους στη διάβρωση.



Εικόνα 3.8: Αλλαγή κλίσεως δέντρων εξαιτίας των ερπυστικών κινήσεων δίπλα στο ΜΕΚΔΕ.

Σήμερα, σημαντικές εδαφικές αστοχίες σημειώθηκαν, στην περιοχή του Αγίου Χαραλάμπου, του Αγίου Δημητρίου, όπου ένα παλιό ρήγμα ενεργοποιήθηκε, με αποτέλεσμα 9 σπίτια στις πιο πάνω περιοχές, να εμφανίζουν ρωγμές στην τοιχοποιία ή οριζόντιες ρωγματώσεις στο έδαφος και θεωρούνται πλέον ακατάλληλα για να κατοικηθούν. Επίσης, μεγάλης έκτασης κατολίσθησης έγινε ανάντη της παλιάς Εθνικής Οδού Ιωαννίνων-Τρικάλων, καθώς και μεταξύ της παλιάς Εθνικής Οδού και του δρόμου εισόδου προς το Μέτσοβο (Νοέμβριος 2010).

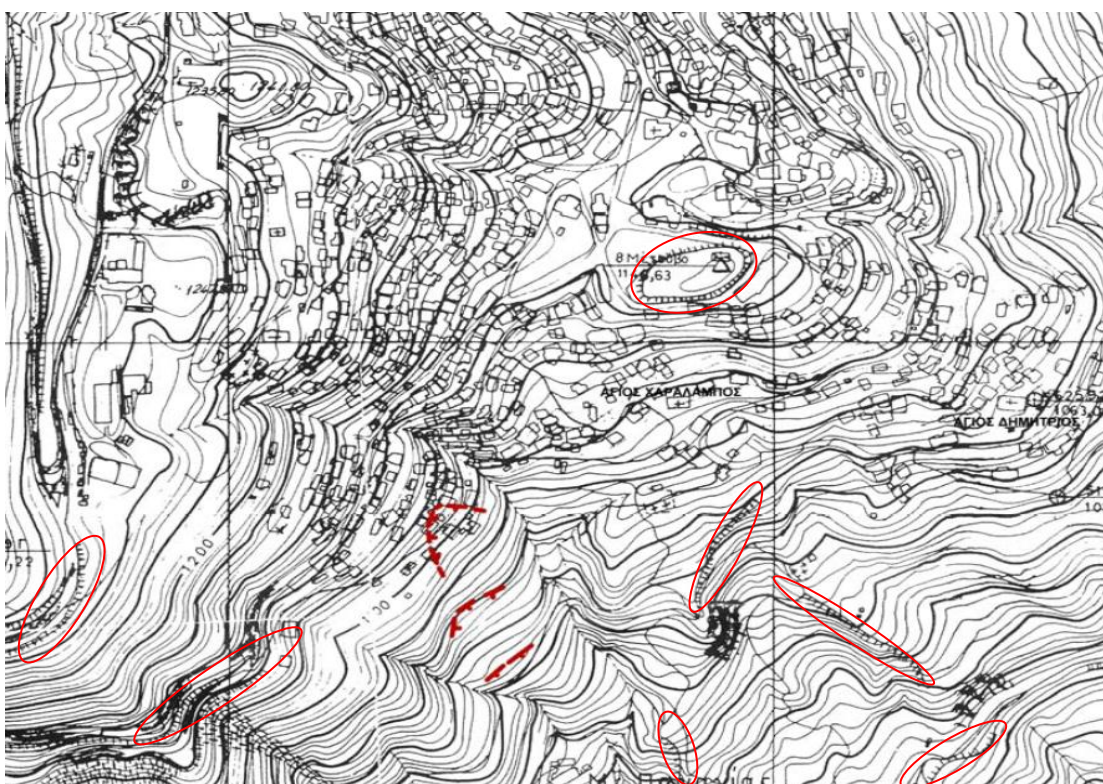
3.9.1 Συνοικία Αγίου Χαραλάμπου

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, όπως έχει αναφερθεί, αποτελείται από το σχηματισμό του φλύσχη, πάνω στον οποίο έχει δημιουργηθεί εδαφικός μανδύας, μανδύας αποσάθρωσης και σχηματισμός που έχει προέλθει από φαινόμενα ερπυσμών και κατολισθήσεων, αποτελούμενος από αναμοχλευθέντα υλικά ψαμμιτικών ογκολίθων, εντός ιλυολιθικών μαζών. Στα ανώτερα τμήματα, παρατηρούνται ολισθήσεις συμπαγών ψαμμιτικών οριζόντων, πάνω σε ιλυολιθικές στρώσεις. Επιπλέον, στο φλυσχικό υπόβαθρο αναπτύσσεται υδροφορία, στην επαφή των ψαμμιτικών στρώσεων με τις υποκείμενες αργιλοπηλιτικές στρώσεις.

Οι επιφανειακοί σχηματισμοί (εδαφικός μανδύας, μανδύας αποσάθρωσης, υλικά κατολισθήσεων) έχουν πάχος από 1-6 m (Πάσχος και Νικολάου, 2010) και απαντώνται στο πρυνές δυτικά του Μετσοβίτικου Ποταμού μέχρι τα όρια του οικισμού. Πρόκειται για ένα υδροπερατό σχηματισμό με «φτωχά» γεωμηχανικά χαρακτηριστικά. Δέχεται σημαντικές ποσότητες επιφανειακών και υπογείων υδάτων από τις ανάντη περιοχές και ιδιαίτερα τις χειμερινές περιόδους διαβρέχεται μόνιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής του και την εκδήλωση αστοχιών.

Η συγκεκριμένη κατολίσθηση εκδηλώθηκε πάνω σε υλικά του μανδύα αποσάθρωσης στα όρια του οικισμού (Σχήμα 3.13). Προκλήθηκε εξαιτίας α) της λιθολογίας του εδάφους θεμελίωσης, β) του απότομου πρυνούς, γ) της υπόγειας υδροφορίας και των επιφανειακών απορροών στην ασταθή περιοχή. Η μετακίνηση δημιούργησε ζημιές σε κατοικίες, με σοβαρότερη αυτή στην οικία του κυρίου Μπάου Σταύρου, παλαιού τύπου κατασκευή (Εικόνα 3.9), καθώς επίσης και στην οικία του κ. Πυξομάτη (Εικόνα 3.10). Επιπλέον, εδαφικές ρωγμές στη συνοικία του Αγίου Χαραλάμπου, συναντώνται στο δημοτικό δρόμο (Εικόνα 3.11), οι οποίες επεκτείνονται τόσο σε κατοικίες, όσο και στο αδόμητο πρυνές κατάντη των

κατοικιών (Εικόνα 3.12). Η συνεχής εικόνα των εναλλαγών, ίσιων επιπέδων και γκρεμών (μορφή σκαλοπατιών) που παρατηρείται στην περιοχή, αποτελεί ένδειξη παλαιότερων κατολισθήσεων (Εικόνα 3.13).



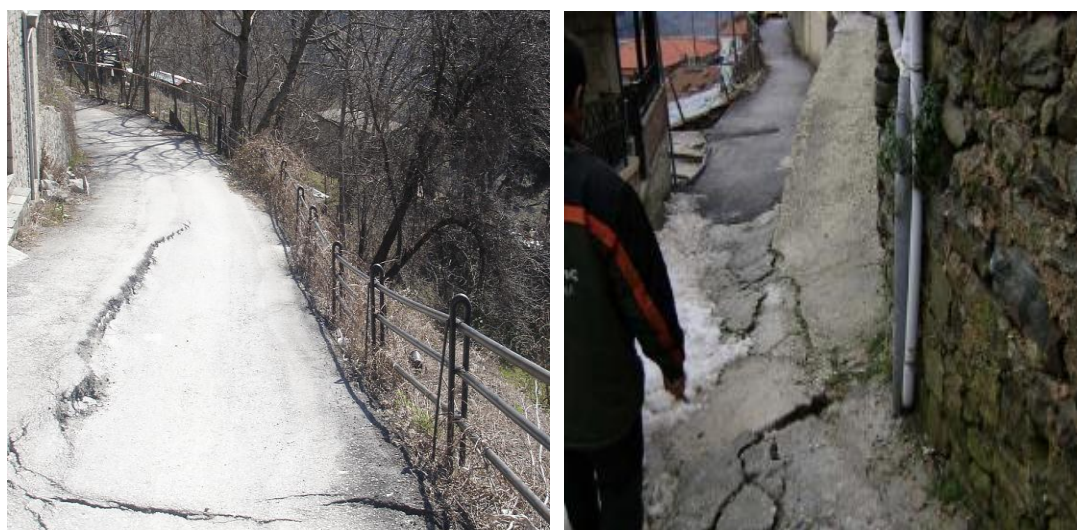
Σχήμα 3.14: Χάρτης μερικών εδαφικών αστοχιών στη συνοικία του Αγίου Χαράλαμπος και στο αδόμητο πρηνές (κόκκινο χρώμα) (Τμήμα του Τεχνικογεωλογικού χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε., του Δ.Δ. Μετσόβου, κλίμακας 1:5.000).



Εικόνα 3.9: Ρωγμές, σπασίματα που έχουν προκληθεί στην τοιχοποιία της οικίας του κ. Σ. Μπάου.



Εικόνα 3.10: Ρωγμές στην τοιχοποιία της οικίας κ. Πυξομάτη.



Εικόνα 3.11: Εδαφική αστοχία στο δημοτικό δρόμο, διακρίνεται η ρωγμή στο οδόστρωμα.



Εικόνα 3.12: Αστοχίες στο αδόμητο πρανές, σε εδαφικά υλικά, στον αγροτικό δρόμο προς Ι.Μ. Παναγίας κατάντη της κατολίσθησης.



Εικόνα 3.13: Άποψη του πρανούς. Η κατολίσθηση σημειώθηκε στα όρια του οικισμού. Στο πρανές παρατηρούνται υψίπεδα (σκαλοπάτια) που αποτελούν ένδειξη παλαιότερων κατολισθήσεων.

3.9.2 Συνοικία Αγίου Δημητρίου

Εδαφικά υλικά και αποσαθρωμένος μανδύας μετακινήθηκαν πάνω σε ψαμμιτικό και ιλυολιθικό υπόβαθρο, με αποτέλεσμα να εκδηλωθεί νέα κατολίσθηση στη συνοικία του Αγίου Δημητρίου. Η πλούσια υδροφορία, οι διάσπαρτες πηγές συνέβαλαν στη μετακίνηση. Σημαντικά επηρεάστηκε η οικία Πάφη (Εικόνα 3.14), η

οικία Γ. Μπάου (Εικόνα 3.15 (α)), το ξυλουργικό εργαστήριο του κ. Παΐλα (Εικόνα 3.15 (β)), καθώς επίσης δημιουργήθηκαν ρωγμές στο οδόστρωμα (Εικόνα 3.16) και στον τοίχο αντιστήριξης του δρόμου, από τον οποίο διέρχεται ο αγωγός ομβρίων και λυμάτων. Μικρορωγμές εμφανίζονται σε σημαντικό αριθμό κατοικιών, καθώς και στην εκκλησία του Αγίου Δημητρίου. Αξίζει να σημειωθεί ότι, η οικία που συνορεύει με την οικία Πάφη, δεν έχει υποστεί προς το παρόν ζημιές, εκτός από κάποιες μικρές ρωγμές στην τοιχοποιία της.

Με μία επίσκεψη στην περιοχή, παρατηρεί κανείς την ύπαρξη πολλών παλιών σπιτιών, κατασκευασμένων από λάσπη και άργιλο, χωρίς τον απαιτούμενο σιδηρό οπλισμό, τα οποία έχουν υποστεί διαφορετική καθίζηση, αναμενόμενο κάτω από τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.

Η έλλειψη οπών αποστράγγισης στους τοίχους αντιστήριξης στην περιοχή, είναι εμφανής και εκεί όπου υπάρχουν, είναι φραγμένες από μάζα, αφού δεν υπάρχει προφανώς φιλτροχάλικο για να συγκρατεί τα στερεά και να επιτρέπει τη ροή του νερού. Έτσι, τα νερά κατεισδύουν, μετατρέπονται σε υπόγεια νερά, ευνοώντας τους ερπυσμούς και τις μετακινήσεις του εδάφους.

Από την εμφάνιση διάσπαρτων ψαμμιτικών ογκολίθων, αντί των χαρακτηριστικών στρώσεων του υγειούς πετρώματος, στην περιοχή, συμπεραίνεται ότι ο οικισμός έχει χτιστεί πάνω σε παλαιότερη κατολίσθηση. Αυτό επαληθεύεται από μαρτυρίες κατοίκων, που υποστηρίζουν ότι παλαιότερα στην περιοχή του Αγίου Νικολάου και γενικότερα νοτιοανατολικά και βορειοανατολικά του Μετσόβου, δεν κατασκευάζονταν σπίτια, εξαιτίας της ακαταλληλότητας του εδάφους, της παρουσίας μεγάλων ποσοτήτων ανεξέλεγκτων νερών και εξαιτίας των παλαιότερων μετακινήσεων. Αυτούς τους αυτονόητους παράγοντες, όχι μόνο δεν έλαβαν υπ' όψη οι μετέπειτα γενιές, αντίθετα κατασκεύασαν και συνεχίζουν να κατασκευάζουν μεγάλα και πολυόροφα οικοδομήματα, χωρίς κάποια γεωτεχνική-υδρολογική μελέτη και χωρίς τους κατάλληλους τύπους θεμελίωσης, στα ιλυολιθικά στρώματα και στο ευαίσθητο αργιλοσχιστολιθικό υλικό.



Εικόνα 3.14: Ρωγμές, σπασίματα στην οικία Πάφη, στους τοίχους αντιστήριξης, καθώς και ρωγή στην τοιχοποιία του διπλανού σπιτιού. Στις ανοιχτές ρωγμές του τοίχου αντιστήριξης από μπετόν, δεν παρατηρήθηκε επαρκής σιδηρός οπλισμός. Οι οπές του τοίχου αντιστήριξης από λιθοδομή πρέπει να καθαριστούν για καλύτερη αποστράγγιση.



(α)



(β)

Εικόνα 3.15: (α) Ρωγμές στην οικία του κ. Γ. Μπάου και σπασίματα στην κολώνα και (β) σπασίματα στο ξυλουργικό εργοστάσιου του κ. Παΐλα. Η ρωγή από το δρόμο έχει επεκταθεί στην οικοδομή.



Εικόνα 3.16: Ρωγμές και σπασίματα στο οδόστρωμα, κοντά στη βρύση Παφλιβάρου στον Άγιο Δημήτριο.

Για την παρακολούθηση των παραμορφώσεων και των κατολισθητικών φαινομένων και για τον προσδιορισμό της στάθμης του υπογείου νερού και τον έλεγχο της χρονικής μεταβολής αυτής, διατρήθηκαν στην περιοχή του Κάτω Μετσόβου γεωτρήσεις από την Εγνατία Οδό, σε βάθη έως και 50 m. Οι γεωτρήσεις εκτελέστηκαν στις θέσεις, όπου παρατηρήθηκαν ρωγματώσεις δηλαδή, στον Άγιο Νικόλαο (πάνω από το χωράφι του κ. Ζαρκάδη), στη βρύση Παφλιβάρου, κάτω από την οικία του κ. Πάφη, σε βάθος 50 m, στον Άγιο Δημήτριο, πάνω στο δημοτικό δρόμο και στην περιοχή του Αγίου Χαραλάμπου εκτελέστηκαν δύο γεωτρήσεις κοντά στην οικία Πυξομάτη.

3.9.3 Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης στις συνοικίες του Αγίου Χαραλάμπου και Αγίου Δημητρίου

Για να αποτραπούν στο μέλλον οι εδαφικές αστοχίες στην περιοχή, χρειάζεται άμεσα, να αποστραγγιστούν τα νερά, επιφανειακά και υπόγεια, που μπορεί να προέρχονται από τις παραδοσιακές βρύσες του Μετσόβου, από μικροπηγές, από όμβρια ύδατα, από διαρροές του δικτύου ύδρευσης, αποχέτευσης, σε ποσοστό 30%-50% και να οδηγηθούν με ασφάλεια στο ποτάμι. Η μόνιμη διαπότιση του εδάφους από ανεξέλεγκτη ροή νερού, μπορεί να οδηγήσει στην κατάρρευση κτηρίου. Η αποστράγγιση μπορεί να γίνει τόσο σε ιδιωτική, όσο και σε δημοτική βάση. Ο κάθε πολίτης θα πρέπει να παρακολουθεί τις τυχόν διαρροές που μπορούν να εμφανιστούν

στην κατοικία του, καθώς και τις υδρορροές του σπιτιού του, αφού και η κάθε σταγόνα βροχής που πέφτει στο έδαφος δρα αρνητικά με την πάροδο του χρόνου.

Μεγάλα αποστραγγιστικά έργα όπως, τάφροι, σήραγγες αποστράγγισης κ.α., που θα ξεκινούν από την παλαιά Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Τρικάλων, περιμετρικά του οικισμού και θα καταλήγουν στο ποτάμι, δεν αποτελούν άμεση λύση αποκατάστασης των ευαίσθητων περιοχών. Η κατασκευή τους απαιτεί τεχνικογεωλογική μελέτη και από άποψη κόστους, είναι εξαιρετικά μεγάλο. Όμως, μία ολοκληρωμένη τεχνικογεωλογική-υδρολογική μελέτης της περιοχής θα πρέπει να γίνει, για την αποφυγή μελλοντικών κατολισθήσεων.

Για άμεση αποστράγγιση με μικρότερο κόστος και χωρίς επιπλέον επιβαρύνσεις του εδάφους, θα πρέπει τα αυλάκια του οικισμού να καθαρίζονται, εξαιτίας του ότι φράζονται συνεχώς, καθώς και τα ρέματα της περιοχής πρέπει να καθαριστούν-εκχωματιστούν, μιας και πολλές φορές αποτελούν χώρους απόθεσης σκουπιδιών, εμποδίζοντας τη ροή του νερού προς τον κεντρικό συλλεκτήριο αγωγό.

Τα νερά, π.χ. βροχής, αναβλύσματα βρυσών, θα πρέπει να συγκεντρωθούν και να οδηγηθούν σε επενδεδυμένους αγωγούς και σωλήνες, έτσι ώστε να μην εισχωρούν στις ρωγμές του εδάφους, καθώς επίσης θα πρέπει και να καλυφθούν αυτές οι ρωγμές, ώστε να εμποδίζουν την κατείσδυση του.

Η αντικατάσταση του δικτύου ύδρευσης-αποχεύτευσης, αν και αποτελεί έργο υψηλού κόστους, πρέπει να γίνει άμεσα, επειδή εξαιτίας της παλαιότητας του το ποσοστό διαρροών είναι μεγάλο (20%-50%), αυξάνοντας έτσι την ποσότητα των ανεξέλεγκτων υπογείων νερών. Έτσι, θα μειωθεί η υπόγεια ροή και θα αυξηθεί η αντοχή των πετρωμάτων κάτω από τα κτήρια, μιας και θα διαποτίζονται λιγότερο.

Γενικά η συλλογή και απομάκρυνση όλων των επιφανειακών υδάτων που ρέουν στην περιοχή που ολίσθησε, μπορεί να γίνει με επιφανειακά στραγγιστήρια, κατασκευασμένα παράλληλα στο φρύδι του πρανούς ή πάνω στη μάζα που ολισθαίνει.

Για την άντληση των υπογείων νερών μπορούν να διανοιχτούν φρέατα (ή γεωτρήσεις) με στόχο την ταπείνωση της στάθμης τους. Επίσης, σημαντική είναι η εκμετάλλευση των πηγαδιών που υπάρχουν στην περιοχή, συγκεκριμένα στη θέση κάτω από το καμπαναριό και στον Άγιο Αντώνιο και των φυσικών πηγών, από όπου θα αντλούνται τα νερά και θα οδηγούνται στα ρέματα της περιοχής ή θα συλλέγονται για άλλες χρήσεις π.χ. παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ακόμη, μπορούν να κατασκευαστούν κύριες και δευτερεύουσες αποστραγγιστικές στοές στην ολισθαίνουσα μάζα, για τη συλλογή των υπογείων υδάτων (φυσική ροή).

Τοίχοι αντιστήριξης πρέπει να κατασκευαστούν, κατάντη του δημοτικού δρόμου του Αγίου Χαραλάμπου, κάτω από το εργοστάσιο Παΐλα και του Αγίου Δημητρίου, κάτω από την οικία Πάφη, αφού πρώτα γίνει τεχνικογεωλογική μελέτη, ώστε να θεμελιωθούν οι τοίχοι στο υγιές υπόβαθρο, καθώς και να προσδιοριστεί ο τύπος της αντιστήριξης. Με την κατασκευή τοίχων, θα συγκρατηθούν τα εδαφικά υλικά που έχουν μετακινηθεί από μεγαλύτερα υψόμετρα προς τα κατάντη και με τη συσσώρευση τους πίσω από τους τοίχους, θα σχηματίσουν αναβαθμούς, μειώνοντας τοπικά την κλίση του πρανούς. Το μήκος των τοίχων θα πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε να αντιστηρίζει όχι μόνο τις οικίες Παΐλα και Πάφη στην κάθε περιοχή, αλλά και τις διπλανές τους οικίες. Τόσο το αδόμητο ελεύθερο πρανές κατάντη των κατοικιών, όσο και οι στενοί δρόμοι του οικισμού, δυσχεραίνουν τις προσπελάσεις, οι οποίες θα διευκόλυναν την κατασκευή αντιστηρίξεων. Η προσπέλαση όμως, θα απαιτήσει νέα διάνοιξη, που δεν είναι επιθυμητή. Επιπλέον, πίσω από κάθε τοίχο θα πρέπει να επιτευχθεί αποστράγγιση.

Επίσης, στο ρέμα του Αγίου Χαραλάμπου, παρατηρούνται διαβρώσεις, αστοχίες και ερπυσμοί, των εδαφικών υλικών στα πρανή, επειδή τα επιφανειακά νερά καταλήγουν εκεί, για αυτό η κατασκευή τοίχου από συρματοκιβώτια, όπου θα επιτρέπει την ελεύθερη αποστράγγιση, θα ενισχύσει την ευστάθεια στη θέση αυτή. Γενικά, θα πρέπει να εγκιβωτιστούν όλα τα ρέματα στον οικισμό του Μετσόβου, για τη μείωση της διάβρωσης του μανδύα αποσάθρωσης εξαιτίας των μεγάλων ποσοτήτων νερού που δέχεται, ιδιαίτερα τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων.

Στο μη δομημένο πρανές κατάντη των οικιών, μέχρι τον Ιερό Ναό του Αγίου Νικολάου και τις εγκαταστάσεις του βιολογικού σταθμού, για την ενίσχυση της ευστάθειας, θα πρέπει να αποκατασταθούν οι αναβαθμοί που είχαν κατασκευαστεί παλαιότερα από λιθοδομή, με συρματοκιβώτια και να κατασκευαστούν αυλάκια για γρήγορη επιφανειακή αποστράγγιση.

Στη βάση κάθε πέτρινου τοίχου θα πρέπει να κατασκευαστούν τσιμεντένια αυλάκια, στα οποία θα συγκεντρώνονται τα κατερχόμενα νερά και θα οδηγούνται με ένα κοινό δίκτυο αποστράγγισης στο Μετσοβίτικο ποταμό, μειώνοντας έτσι τη ποσότητα νερού που κατεισδύει.

Σύμφωνα με τους Πάσχο Π. και Νικολάου Ν. του ΙΓΜΕ, στη συνοικία του Αγίου Χαράλαμπου, θα πρέπει για την καλή αποστράγγιση των νερών του υδροφόρου, που αναπτύσσεται στα εδαφικά υλικά, κυρίως την υγρή περίοδο, να κατασκευαστεί στραγγιστήριο, κατά μήκος του δρόμου προς τον Άγιο Χαράλαμπο και σε μήκος 50 m, από το οποίο θα οδηγούνται τα νερά στον αγωγό ομβρίων, που διέρχεται από το χώρο. Το βάθος του στραγγιστηρίου θα είναι όσο το πάχος των χαλαρών εδαφικών υλικών. Επίσης, κατάντη των οικιών και σε μήκος 100 m περίπου, να κατασκευαστεί τοίχος αντιστήριξης, θεμελιωμένος στο υγιές υπόβαθρο (Σχήμα 3.15). Στη συνοικία του Αγίου Δημητρίου, προτείνουν την κατασκευή τοίχου αντιστήριξης από πασσαλότοιχο, σε μήκος 70 m και συλλογή των νερών των πηγών.

Όσο αναφορά τον τρόπο θεμελίωσης για την καλή ποιότητα της κατασκευής, σύμφωνα με τους Φυτρολάκη και Αντωνίου, το οικοδόμημα θα πρέπει να εδράζεται σε πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Αρχικά γίνεται εκσκαφή, οριζοντιώνεται η θέση θεμελίωσης και απομακρύνονται όλα τα υλικά εκσκαφής, ώστε να αφαιρείται επιφανειακά ένα μέρος των μαλακών υλικών, σχιστοφυών αργίλων και μαργών. Έτσι, θα αποκαλυφθούν οι παχυστρωματώδεις ιλυόλιθοι, που αποτελούν το βραχώδες πέτρωμα και απομακρύνοντας με νερό υψηλής πίεσης τα αργιλικά υλικά, εδράζεται η πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με αυτήν την πλάκα ενσωματώνονται τα στρώματα των ιλυολίθων, τα πέδιλα δεν εδράζονται σε διαφορετικά κεκλιμένα στρώματα και τα φορτία του οικοδομήματος κατανέμονται ομοιόμορφα. Επίσης, αντί της πλάκας, μπορούν να κατασκευαστούν ενισχυμένοι συνδετήριοι πεδιλοδοκοί (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998).

Για την αποφόρτιση της περιοχής, σημαντική είναι η χρησιμοποίηση ελαφρών δομικών υλικών (π.χ. αλφαμπλόκ) για την εσωτερική τοιχοποιία των σπιτιών, καθώς και η κατεδάφιση παλαιών εγκαταλελειμμένων σπιτιών, μαντρών και γενικά οποιουδήποτε οικοδομήματος που δεν αξιοποιείται. Θα πρέπει να μην επεκταθεί άλλο το σχέδιο πόλεως και να μη δίνονται πλέον άδειες για οικοδόμηση πολυώροφων κτηρίων.

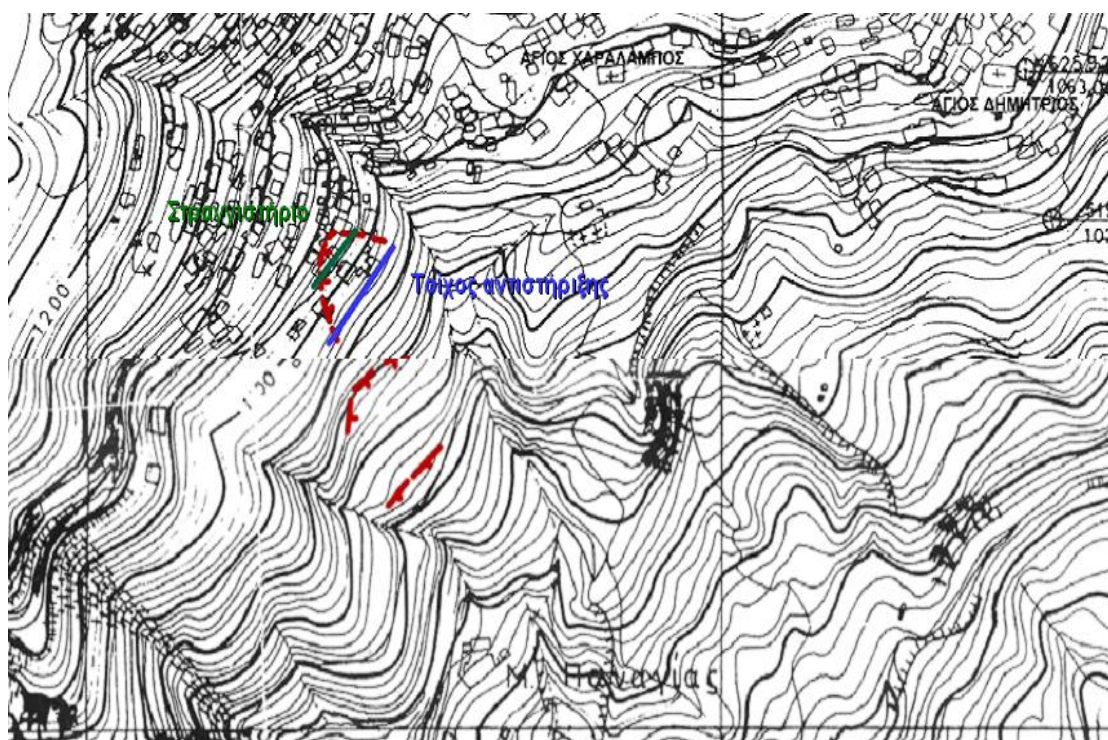
Επίσης, η εμφύτευση υδρόφιλων και γρήγορα αναπτυσσόμενων φυτών, αφού προσδιορισθεί η επιφάνεια ολίσθησης, στο πρηνές κατάντη των οικιών του Αγίου Χαράλαμπου, στο αδόμητο πρηνές προς τον Άγιο Νικόλαο, θα ενισχύσει την ευστάθεια της περιοχής.

Για την ενίσχυση της ευστάθειας του εδάφους, θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα αντιδιαβρωτικά μέτρα για τις μικρές καλλιέργειες (κήπους) που υπάρχουν

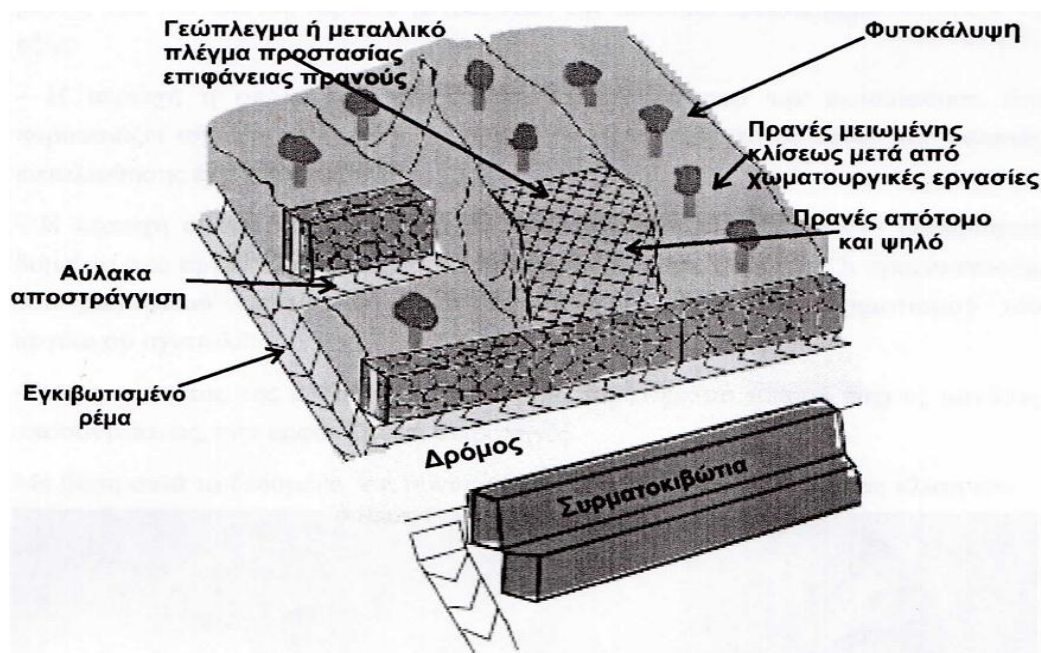
στις ευαίσθητες αυτές περιοχές, π.χ. τσιμεντένιοι υδράυλακες, που θα οδηγούν τα νερά των καλλιεργειών στους φυσικούς αποδέκτες.

Με τη μείωση της κλίσης και του ύψους των πρανών στον κάτω οικισμό του Μετσόβου, θα μπορέσουν να αποφευχθούν, κατά ένα βαθμό, νέες μετακινήσεις.

Επίσης, η συνέχιση της γεωτεχνικής έρευνας της Εγνατίας Οδού είναι αναγκαία για την παρακολούθηση των μετακινήσεων και της στάθμης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, στις θέσεις που έχουν αναφερθεί, καθώς θα πρέπει να καθοριστούν και νέες θέσεις γεωτρήσεων, για πιο ολοκληρωμένη μελέτη των ευαίσθητων περιοχών.



Σχήμα 3.15: Προτεινόμενα μέτρα αποκατάστασης στη θέση της πρόσφατης κατολίσθησης (Νικολάου και Πάσχος, 2010).



Σχήμα 3.16: Σχηματική απεικόνιση μέτρων αντιστήριξης-αναχαίτισης της διάβρωσης στο Κάτω Μέτσοβο (Βότσογλου, 2003).

Χαρακτηριστική κατολίσθηση σε μεγάλης κλίσης πρανές, στο Άνω Μέτσοβο εκδηλώθηκε στο κτηριακό συγκρότημα Αδερφών Τσομπίκου.

3.9.4 Κτηριακό συγκρότημα Αδερφών Τσομπίκου

Το κτηριακό συγκρότημα Αδερφών Τσομπίκου βρίσκεται κατάντη πευκόφυτης περιοχής και δεν υπάρχουν άλλες κατοικίες. Ανάντη από το κτηριακό συγκρότημα εκδηλώθηκε κατολίσθηση, σε πρανές μεγάλης κλίσης, με μετακινούμενα υλικά, εδαφικό μανδύα και επιχώματα (παλιά λατομικά υλικά) (Εικόνα 3.17). Σε αυτή την περιοχή, παρατηρούνται εδαφικές ρωγμές (Εικόνα 3.18), οριζόντιες και κατακόρυφες μετακινήσεις και παραμορφώσεις δέντρων. Το 2006, είχε συμβεί ξανά κατολίσθηση ανάντη του κτηριακού συγκροτήματος, η οποία αντιμετωπίστηκε μερικώς με συνδυασμένη αντιστήριξη από οπλισμένο σκυρόδεμα και σαρζανέτια στον πόδα της (Πάσχος, 2008) (Εικόνα 3.19).



Εικόνα 3.17: Άποψη της κατολίσθησης ανάντη του συγκροτήματος Τσομπίκου. Τα μετακινούμενα υλικά κατευθύνονται προς το συγκρότημα.



Εικόνα 3.18: Εδαφικές ρωγμές στην πευκόφυτη πλαγιά ανάντη του συγκροτήματος.



Εικόνα 3.19: Συνδυασμένη αντιστήριξη από οπλισμένο σκυρόδεμα και συρματοκιβώτια στον πόδα της κατολίσθησης.

Οι βαθιές εκσκαφές που έγιναν για τη θεμελίωση του οικοδομήματος στο ασταθές περιβάλλον, καθώς επίσης η διάνοιξη του παλιού μονοπατιού για τη μετακίνηση τροχοφόρων, χωρίς την κατασκευή της απαιτούμενη αντιστήριξης στο πρανές, προκάλεσαν νέες κατολισθήσεις, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα το συγκρότημα. Σε αυτό το δρόμο, μετά από έντονες βροχοπτώσεις κατέληξε όλη η ανάντη του απορροή και οδηγήθηκε προς το οικοδομικό συγκρότημα.

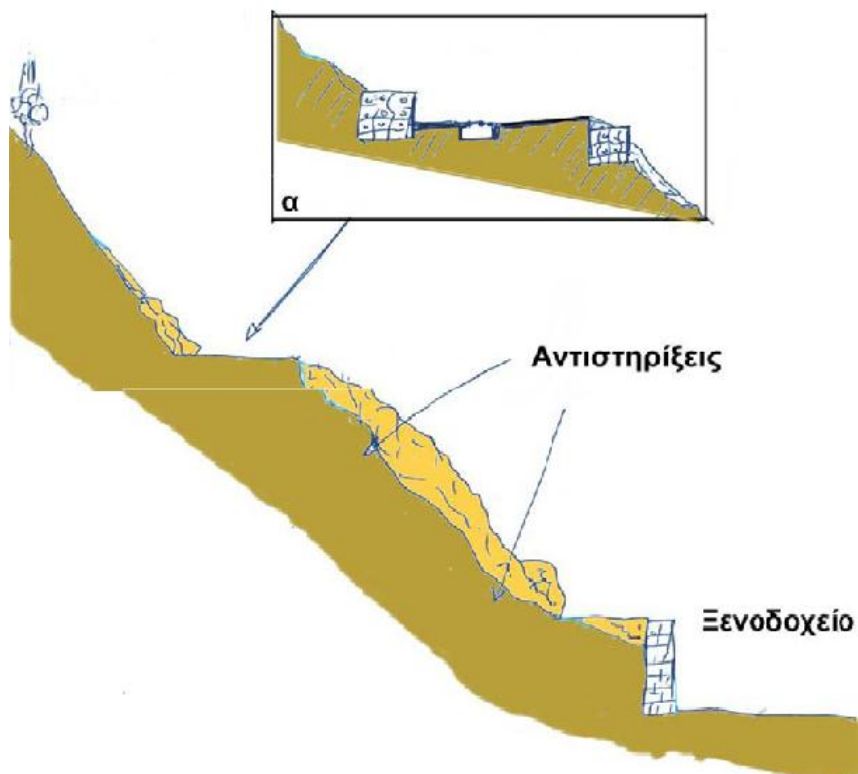
Τα μετακινούμενα υλικά, ασύνδετα υλικά αργίλων και ψαμμιτικών λατύπων, παρέσυραν την υπάρχουσα αντιστήριξη από λιθοδομή και κατέληξαν στο φέροντα οργανισμό του κτηρίου. Ο μανδύας που ολίσθησε είχε πάχος από 2-5 m και μεταβλητή υδροφορία (Πάσχος, 2006). Τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, η συνοχή των υλικών του μανδύα μειώνεται εξαιτίας της παρουσίας νερού, τα οποία υλικά, παρά το πυκνό ριζικό σύστημα μετακινούνται προς χαμηλότερα σημεία, εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους. Το μήκος της ολίσθησης ήταν 15 μέτρα περίπου (Πάσχος, 2008).

Στα πρανή ανάντη του κτηρίου είχαν διαμορφωθεί αναβαθμοί με λιθόκτιστες αντιστήριξεις, οι οποίες απέτρεψαν την επέκταση των κατολισθητικών φαινομένων, σε αντίθεση με το τμήμα που αστόχησε όπου δεν υπήρχε αντιστήριξη.

Οι παράγοντες που συντέλεσαν στη δημιουργία της κατολίθησης είναι α) η μεγάλη κλίση του πρανούς, β) τα χαλαρά υλικά της λιθολογικής δομής του, γ) η υποσκαφή στη βάση του πρανούς για την κατασκευή του κτηρίου και δ) η συγκέντρωση νερών από τις έντονες βροχοπτώσεις.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα στην ανάντη πευκόφυτη περιοχή βρίσκονται σε αρχικό στάδιο, εκδηλώνονται σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων και η άμεση αντιμετώπιση τους μπορεί να είναι αποτελεσματική.

Για την αντιμετώπιση αυτών των κατολισθητικών φαινομένων, εκτός από τους είδη υπάρχοντες τοίχους αντιστήριξης, από δύσκαμπτο τοίχιο από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατασκευάστηκε το 2010, αντιστήριξη από συρματοκιβώτια ανάντη του συγκροτήματος, στη βάση του πρανούς (Σχήμα 3.17 και Εικόνα 3.20).



Σχήμα 3.17: Σχηματική τομή του πρανούς ανάντη του συγκροτήματος με τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης των αστοχιών (Πάσχος, 2008).



Εικόνα 3.20: Συνδυασμένη άποψη τοίχων αντιστήριξης και συρματοκιβωτίων για την ενίσχυση του πόδα της κατολίσθησης και του πρανού. Παρατηρείται θραύση στον τοίχο αντιστήριξης, εξαιτίας των μετακινήσεων που εκδηλώθηκαν το 2010, καθώς και πτώσεις δέντρων.

3.9.5 Θέση μεταξύ του Εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων και του δρόμου εισόδου προς Μέτσοβο

Όπως έχει αναφερθεί, μεταξύ του παλιού Εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων και του δρόμου εισόδου προς το Μέτσοβο, η περιοχή καλύπτεται από παλαιές και νέες μετακινημένες εδαφικές μάζες, οι οποίες σε μερικές θέσεις έχουν μεγάλο πάχος, αποτελώντας έτσι κίνδυνο για τις κατοικίες που είναι χτισμένες στη δυτική πλευρά του δρόμου (π.χ. οικογένεια Τσιρογιάννη), καθώς και για το κτήριο του παγοδρομίου που βρίσκεται κατάντη της κατολισθημένης περιοχής. Η εδαφική αυτή μάζα, βούλιαξε-μετακινήθηκε το Νοέμβριο του 2010 (Εικόνα 3.21), σε κεκλιμένο επίπεδο των παχυστρωματωδών ιλυολίθων, κλίσης ομόρροπης προς τη φυσική κλιτύ, όπου μεγάλες ποσότητες λασποροών κατευθύνθηκαν προς την οικοδομή του κ. Τσιρογιάννη, χωρίς να προκαλέσουν ιδιαίτερες ζημιές, καθώς και προς το παγοδρόμιο, όπου τα υλικά που μετακινήθηκαν κάλυψαν μέρος των κερκίδων του.

Στον Εθνικό δρόμο ανάντη του παγοδρομίου, πάνω από τις κερκίδες έχει κατασκευαστεί τοίχος αντιστήριξης με αγκύρια (Εικόνα 3.22). Από τη μετακίνηση των αγκυρώσεων του τοίχου, συμπεραίνεται ότι εκδηλώνονται ερπυσμοί και μετακινήσεις στην περιοχή. Ένδειξη μετακινήσεων αποτελούν και οι ανοιχτές ρωγμές των τοίχων αντιστήριξης ανάντη του δρόμου, καθώς και οι κλίσεις των σημάτων σήμανσης.

Μεγάλη ρωγμή και σπασίματα εξαιτίας αυτής της μετακίνησης, παρατηρήθηκαν στον παλιό Εθνικό δρόμο (Εικόνα 3.23). Οι ανοιχτές ρωγμές που υπάρχουν παράλληλα προς το οδόστρωμα (Εικόνα 3.24), βορειότερα αυτής της θέσης, αποτελούν ένδειξη μελλοντικής μετακίνησης και συγκεκριμένα πιθανής ανατροπής τους.



Εικόνα 3.21: Παλαιές και νέες μετακινημένες εδαφικές μάζες, κατάντη του Εθνικού δρόμου, όπου σε μερικές θέσεις έχουν μεγάλο πάχος αποτελώντας κίνδυνο για τις κατοικίες που είναι χτισμένες στη δυτική πλευρά του δρόμου (οικία Τσιρογιάννη) και το παγοδρόμιο.



Εικόνα 3.22: Τοίχος αντιστήριξης με αγκύρια ανάντη του παγοδρομίου και κατάντη του Εθνικού δρόμου.



Εικόνα 3.23: Ρωγμές στο οδόστρωμα του Εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων. Απαιτούνται συρματοκιβώτια κατάντη του δρόμου για τη συγκράτησή του.



Εικόνα 3.24: Αποψη ανοιχτών ρωγμών παράλληλες προς το οδόστρωμα, βορειότερα από τη θέση κατολίσθησης.

3.9.6 Θέση ανάντη του Εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων

Επιπλέον, κατά μήκος του εθνικού δρόμου και κυρίως πάνω από το δρόμο (θέση Τελεφερίκ) εκδηλώθηκε κατολίσθηση το Νοέμβριο του 2010 (Εικόνα 3.25). Παλαιότερα, είχαν κατολισθήσει υλικά και ισορρόπησαν οριακά στη θέση που βρίσκονται σήμερα, καλύπτοντας τα στρώματα των παχυστρωματωδών ιλυολίθων. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από μεγάλα θραύσματα ιλυολίθων και ογκολίθους ψαμμιτών (αναμοχλευμένο υλικό) (Εικόνα 3.26). Τα κατολισθημένα υλικά πέρασαν το δρόμο χωρίς ευτυχώς, να προκαλέσουν ζημιές στα κατάντη οικοδομήματα, π.χ. κολυμβητήριο, Κέντρο Υγείας, ΜΕΚΔΕ, Πυροσβεστική, Κέντρο Περιβάλλοντος, ή και ανθρώπινα θύματα. Πρόκειται για μία ενεργή κατολίσθηση, αφού παρατηρήθηκε, σε χρονικό διάστημα δύο μηνών περίπου, μικρή μετακίνηση των κατολισθημένων υλικών προς το δρόμο, τα οποία δεν έχουν απομακρυνθεί από εκεί. Η διαμονή, για μεγάλο χρονικό διάστημα, αυτών των υλικών στη συγκεκριμένη θέση, φορτίζει επιπρόσθετα την περιοχή και ενδεχομένως μπορεί να συντελέσει σε νέα κατολίσθηση.



Εικόνα 3.25: Άποψη της κατολίσθησης ανάντη του εθνικού δρόμου Ιωαννίνων-Τρικάλων.



Εικόνα 3.26: Άποψη κατολίσθησης που εκδηλώθηκε ανάντη του εθνικού δρόμου. Τα μετακινούμενα υλικά κατέληξαν στον εθνικό δρόμο. Διακρίνεται η πτώση μεγάλων δέντρων και ογκόλιθοι ψαμμιτών.

3.9.7 Θέση κατάντη του εθνικού δρόμου (Ρέμα ντι Ροάτε)

Τέλος κατά μήκος του εθνικού δρόμου (μεταξύ Προφήτη Ηλία-Τελεφερίκ) και συγκεκριμένα κάτω από το δρόμο (Ρέμα ντι Ροάτε), το Νοέμβριο του 2010 εδαφικές, αργιλικές μάζες μετακινήθηκαν σε κεκλιμένο επίπεδο, διέτρεξαν το ρέμα,

πέρασαν το δρόμο και κατέληξαν ανατολικά, νοτιοανατολικά του Μετσόβου (Εικόνα 3.27). Λασποροές κατέληξαν στην οικία Τσουτσοπλίδη (Εικόνα 3.28), σε συνεργείο αυτοκινήτων και αλλού.

Η αποκατάσταση των κατολισθητικών φαινομένων, που εκδηλώθηκαν στον παλιό Εθνικό δρόμο και κατόντη αυτού και η αποφυγή νέων, πρέπει να γίνει άμεσα, εξαιτίας των εγκαταστάσεων που υπάρχουν κατόντη του δρόμου, οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Απαραίτητη είναι η απομάκρυνση των μεγάλων βράχων (ογκόλιθοι ψαμμιτών), η ομαλοποίηση του πρανούς, η κατασκευή τοίχων αντιστήριξης που θα εδράζονται στα αυτόχθονα στρώματα και η κατευθυνόμενη ροή των νερών.



(α)



(β)

Εικόνα 3.27: (α) Άποψη κατολίσθησης. (β) Λασποροές οι οποίες οδηγούνται προς Α (ΝΑ) του Μετσόβου.



Εικόνα 3.28: Άποψη λασποροών Α (ΝΑ) του Μετσόβου (Βρύση Καϊλή), κατευθύνονται στην οικία και στο δρόμο.

3.9.8 Περιοχή Ανηλίου

Χαρακτηριστική κατολισθημένη περιοχή, παλαιότερων και πρόσφατων μετακινήσεων, όπως έχει αναφερθεί, αποτελεί και ο οικισμός του Ανηλίου. Από τις κατολισθήσεις που εκδηλώθηκαν το 2010, προκλήθηκαν σημαντικές ζημιές στην οικία και στο ξυλουργικό εργοστάσιο του κ. Κωσταμένα, που πρόκειται για ένα σχετικά νέο οικοδόμημα (Εικόνα 3.29), καθώς και στο εργοστάσιο κυψελών του κ. Αγγέλη (Εικόνα 3.30), όπου ο έλεγχος των μετακινήσεων αυτών των κτισμάτων, γίνεται με τζαμάκια. Ένδειξη ερπυστικών κινήσεων αποτελεί και η αλλαγή κλίσεως των δέντρων-φυτών στην περιοχή (Εικόνα 3.31). Η οικία του κ. Κωσταμένα δεν κατοικείται πλέον, θα πρέπει να εγκαταλειφθεί άμεσα και το ξυλουργικό εργοστάσιο του κ. Αγγέλη, εξαιτίας των μεγάλων ανοιχτών ρωγμών που παρατηρήθηκαν στην τοιχοποιία και των εδαφικών θραυσμάτων.

Παρατηρώντας τον οικισμό του Ανηλίου από το Μέτσοβο, διακρίνονται απότομα πρανή, όπου έχουν εκδηλωθεί παλαιότερα κατολισθήσεις και αλλαγή κλίσεως δέντρων και φυτών.



(α)



(β)

Εικόνα 3.29: (α) Σπασίματα και ρωγμές στην οικία κ. Κωσταμένα. (β) Ρωγματώσεις στο ξυλουργικό εργοστάσιου του κ. Κωσταμένα.

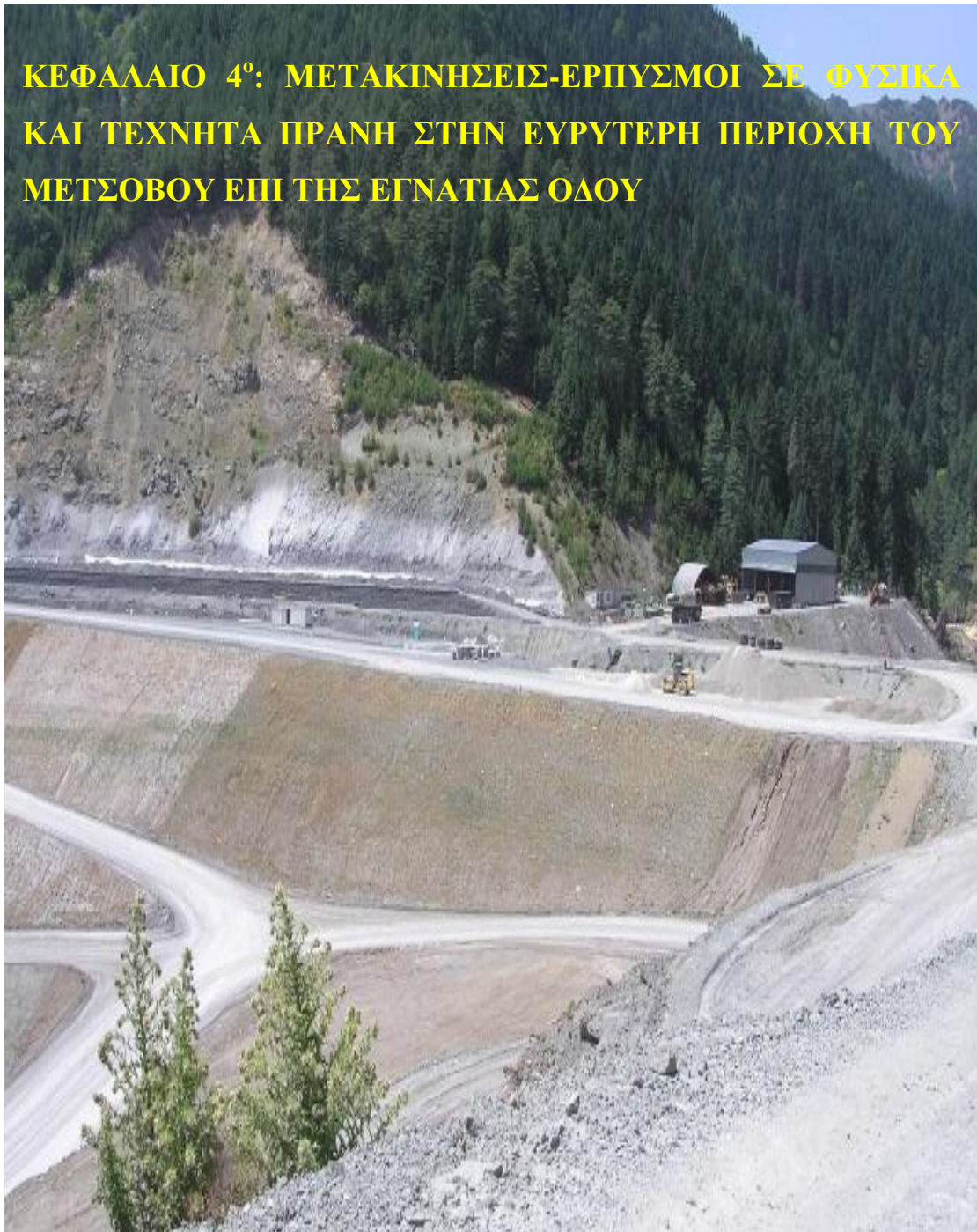


Εικόνα 3.30: Ξυλουργικό εργοστάσιο κ. Αγγέλη. Παρατηρούνται ρωγμές στο οδόστρωμα, στην τοιχοποιία και στο κτήριο.



Εικόνα 3.31: Αλλαγή κλίσεως των δέντρων, όπου προκλήθηκε εξαιτίας ερπυσμών και μετακινήσεων.

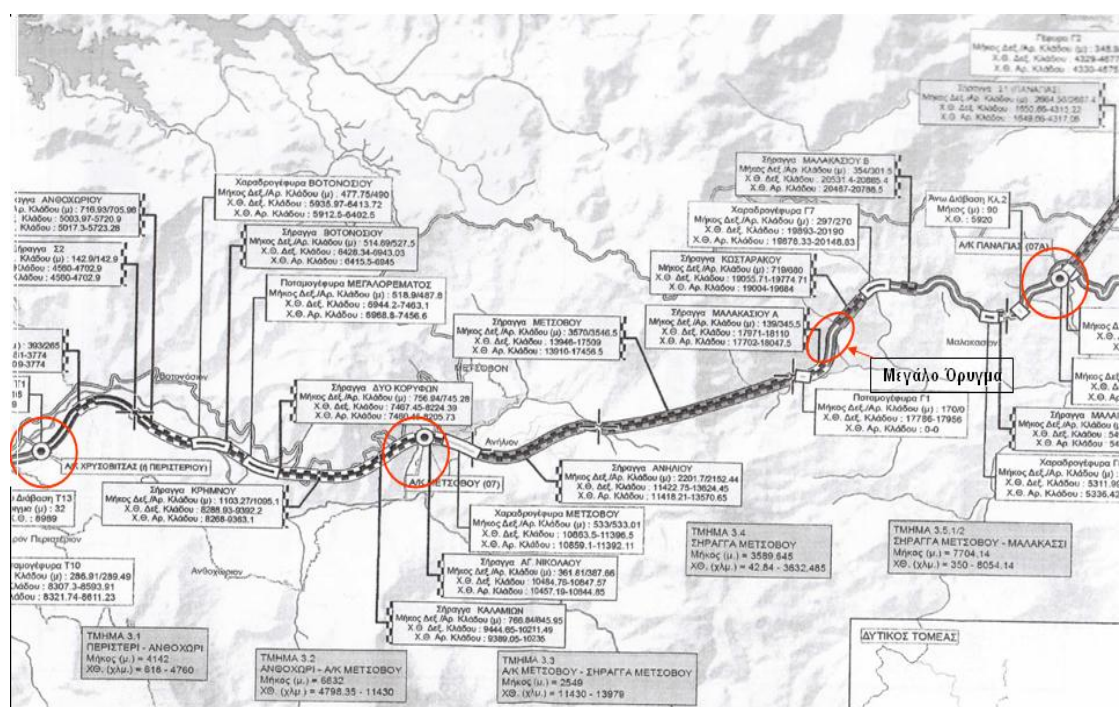
**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ-ΕΡΠΥΣΜΟΙ ΣΕ ΦΥΣΙΚΑ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ
ΜΕΤΣΟΒΟΥ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ**



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΕΙΣ-ΕΡΙΠΥΣΜΟΙ ΣΕ ΦΥΣΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΑ ΠΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΟΥ ΜΕΤΣΟΒΟΥ ΕΠΙ ΤΗΣ ΕΓΝΑΤΙΑΣ ΟΔΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά των κατολισθητικών φαινομένων και των ερπυστικών μετακινήσεων που έχουν εκδηλωθεί τόσο σε φυσικά πρνή, όσο και σε τεχνητά, κατά μήκος της διάνοιξης της Εγνατίας Οδού στις περιοχές Περιστερί, Μαλακάσι (Μεγάλο Ορυγμα), Παναγία (Σχήμα 4.1). Περιγράφονται οι μορφολογικές, γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές, καθώς επίσης και αποτελέσματα από ερευνητικές γεωτρήσεις που έχουν γίνει και στοιχεία που αφορούν τις συνθήκες ευστάθειας αυτών των περιοχών, προερχόμενα από κλισιόμετρα.



Σχήμα 4.1: Αποψη των περιοχών μελέτης στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, επί της Εγνατίας Οδού.

4.2 Περιοχή Β του Τμήματος 2.4 της Εγνατίας Οδού, «Ποταμός Άραχθος-Περιστέρι»

4.2.1 Γενικά

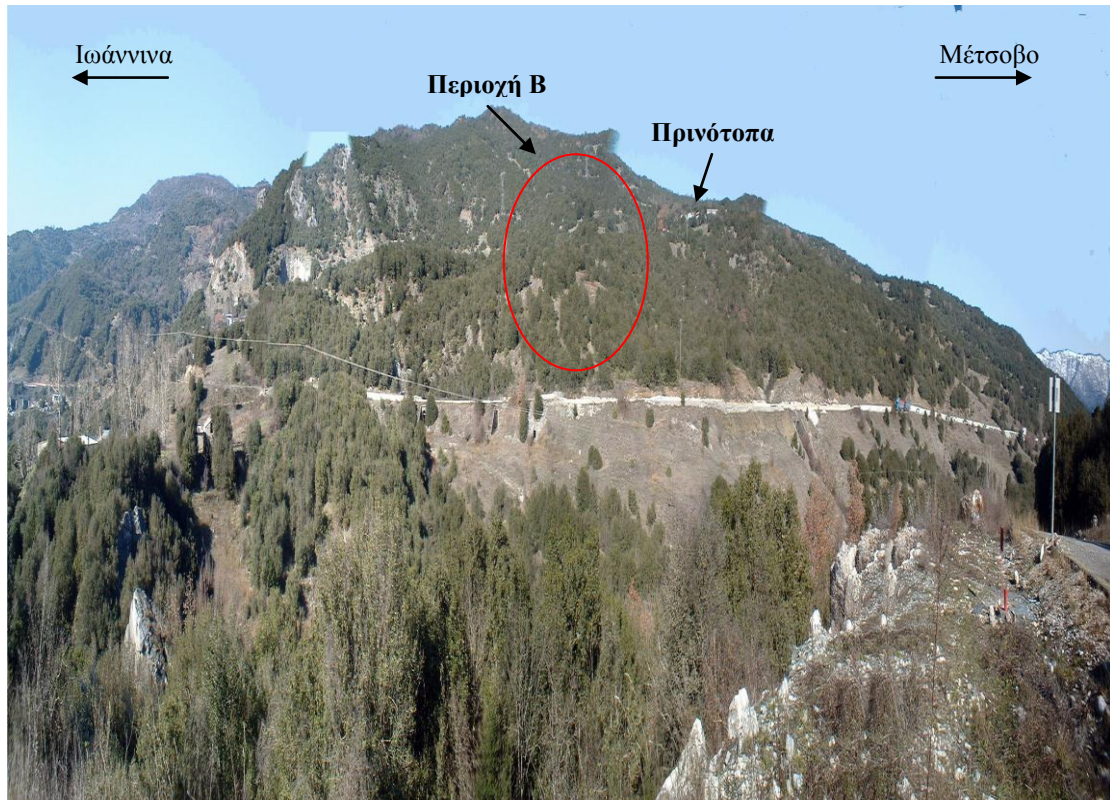
Το τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού (ποταμός Άραχθος-Περιστέρι, Χ.Θ. 6+380 έως Χ.Θ. 9+110), αποτελεί την ευρύτερη περιοχή μελέτης, αρχίζει αμέσως μετά τη γέφυρα της αρτηρίας στον ποταμό Άραχθο και τελειώνει στην αρχή του τμήματος 3.1 της Εγνατίας Οδού (Περιστέρι–Ανθοχώρι), με συνολικό μήκος 8.7 km. Κατά μήκος αυτού του τμήματος, η Εγνατία Οδός διέρχεται επί επιχωμάτων, οπλισμένων ή κοινών, ανάλογα της θέσης κατά μήκος της οδού. Το τμήμα έχει χωριστεί σε επιμέρους περιοχές (Α, Β (Β1, Β2), Γ (Γ1) και Δ), όμως η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώνεται στην περιοχή Β (Χ.Θ. 6+950 έως την Χ.Θ. 7+500), εξαιτίας των έντονων κατολισθητικών φαινομένων της (1 mm/ημέρα). Αυτή η περιοχή βρίσκεται περίπου 25 km δυτικά του Μετσόβου και εκτείνεται κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού Μετσοβίτικου, στη βόρεια όχθη του, κοντά στον οικισμό Πρινότοπα (Εικόνα 4.2).

Σκοπός της μελέτης του αναφερόμενου τμήματος, είναι η αξιολόγηση των γεωλογικών-γεωτεχνικών εργασιών του και συγκεκριμένα της περιοχής Β, για τη ζώνη διέλευσης του οδικού άξονα της Εγνατίας Οδού, από το βόρειο πρανάς του Μετσοβίτικου ποταμού.

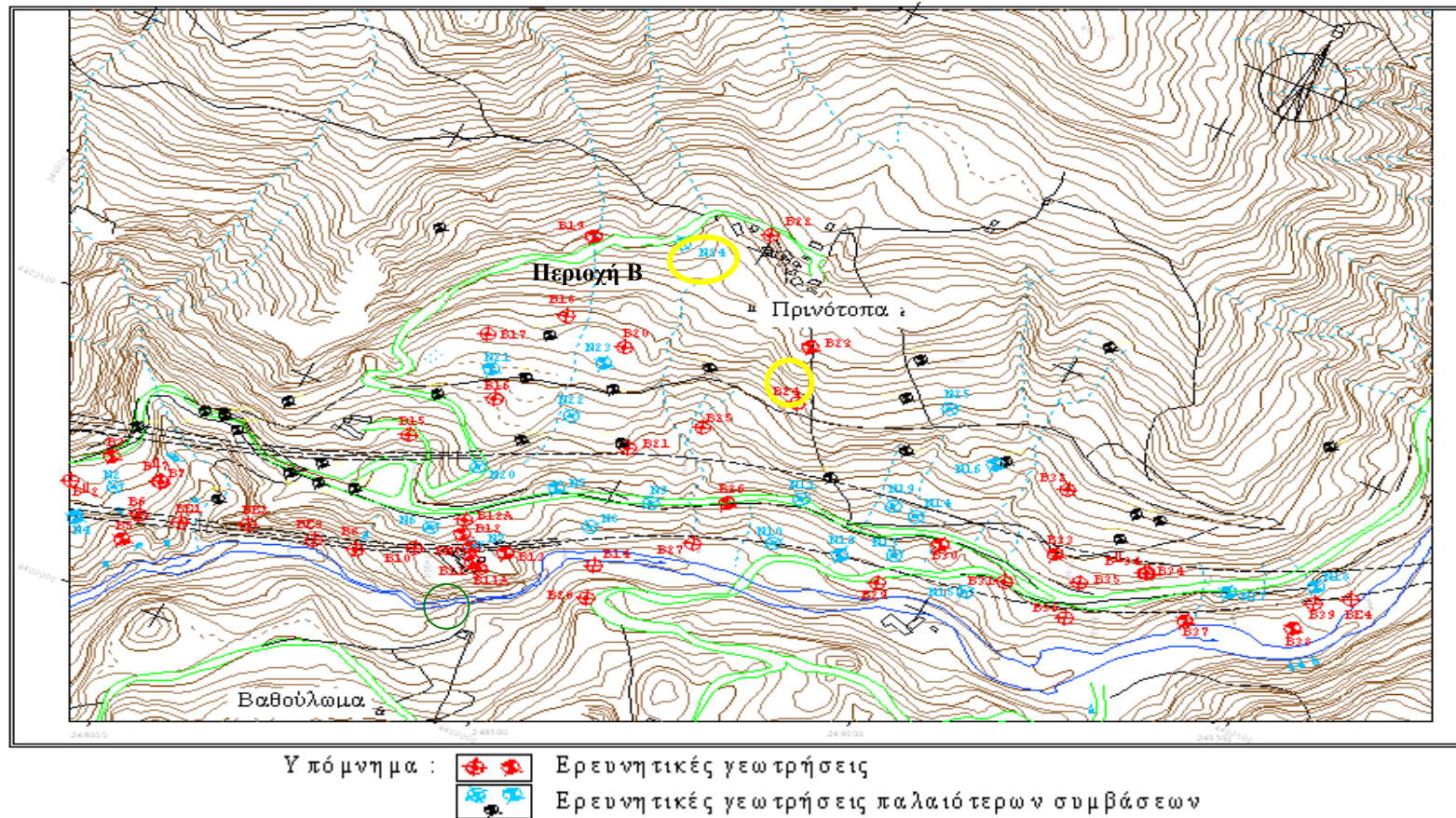
Για τη διερεύνηση των γεωλογικών και γεωτεχνικών συνθηκών που επικρατούν στην περιοχή μελέτης Β, διατρήθηκε σημαντικός αριθμός γεωτρήσεων (Σχήμα 4.1) το χρονικό διάστημα από 21/3/2004-3/6-2004. Σε σημαντικό αριθμό ερευνητικών γεωτρήσεων τοποθετήθηκαν: i) κλισιομετρικοί σωλήνες, για τον έλεγχο των συνθηκών ευστάθειας και τον προσδιορισμό των πιθανών επιφανειών ολίσθησης, ii) πιεζομετρικοί σωλήνες, για τον προσδιορισμό της στάθμης του υπογείου νερού και τον έλεγχο της χρονικής μεταβολής αυτής. Σε αντιπροσωπευτικά δείγματα των πυρήνων των ερευνητικών γεωτρήσεων, εκτελέστηκε σημαντικός αριθμός εργαστηριακών δοκιμών, για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών.

Εδαφικές αστάθειες του τμήματος είχαν ήδη εντοπισθεί από το 1998, τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο πρανάς της κοιλάδας του ποταμού Μετσοβίτικου. Το τμήμα δημοπρατήθηκε στα τέλη του 2001, ενώ παράλληλα υπήρχε σε εξέλιξη πρόγραμμα παρακολούθησης επιφανειακών και βαθιών μετακινήσεων στην περιοχή

της γέφυρας T9, όπου επισημάνθηκαν σοβαρά προβλήματα εδαφικών μετακινήσεων προς τον ποταμό Μετσοβίτικο. Συγκεκριμένα, καταγράφηκαν ερπυστικές μετακινήσεις προς τον ποταμό, της τάξης των 15-20 mm το χρόνο, σε βάθος 30 m (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003), στη θέση της γέφυρας T9. Συνεπώς, η περιοχή αυτή του έργου προέκυψε πολύ πιο προβληματική από ό,τι αναμενόταν.



Εικόνα 4.1: Άποψη της ευρύτερης περιοχής μελέτης και της περιοχής B, του Τμήματος 2.4 της Εγνατίας Οδού.



Σχήμα 4.2: Γεωερευνητικές εργασίες που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης. Διακρίνονται με κόκκινο χρώμα οι ερευνητικές εργασίες (B-) που εκτελέστηκαν το χρονικό διάστημα 21/3/2004-3/6/2004 και με μπλε οι ερευνητικές εργασίες (N-) που εκτελέστηκαν από τις 29/5/2002-22/6/2002. Σημειώνονται οι γεωτρήσεις N24 (28,40 mm/χρόνο), B24 (16,64 mm/χρόνο) του κεντρικού τμήματος, όπου παρουσιάζονται οι μεγαλύτερες μετακινήσεις. Επίσης με τη μαύρη γραμμή απεικονίζονται τα όρια της κατολίσθησης (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

4.2.2 Γεωμορφολογικές-γεωτεκτονικές συνθήκες

Ο Μετσοβίτικος ποταμός αποτελεί τον κύριο μορφογενετικό παράγοντα της ευρύτερης περιοχής, με διεύθυνση ροής από Δ έως ΝΔ προς Α έως ΒΑ. Η μακροχρόνια και έντονη διαβρωτική διεργασία του είχε ως αποτέλεσμα, τη δημιουργία μιας βαθιάς κοιλάδας με απότομα πρηνή στην περιοχή και κατ' επέκταση, την ανάπτυξη ασταθειών στα αντερείσματα της κοιλάδας και την απόθεση μεγάλων ποσοτήτων φερτών υλικών στο ποτάμι. Σήμερα, τα φαινόμενα διάβρωσης έχουν περιορισθεί κυρίως στο ανάντη τμήμα του ποταμού και σε ορισμένα άλλα τμήματα, όπου τα υλικά των παλαιότερων ασταθειών φθάνουν μέχρι τις όχθες του ποταμού. Στο υπόλοιπο τμήμα της κοιλάδας, ο Μετσοβίτικος ποταμός διαβρώνει και μεταφέρει προς τα κατόντη τα υλικά των παλαιότερων αποθέσεων του.

Το υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής συμπληρώνεται από ένα πυκνό σύστημα μικρών ρεμάτων, τα οποία εκβάλλουν στον ποταμό Μετσοβίτικο. Έντονα διαβρωτικά φαινόμενα εμφανίζονται σε όλα τα ρέματα της περιοχής.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης, αποτελείται από τους σχηματισμούς της Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης και τους σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου, οι οποίοι βρίσκονται επωθημένοι στους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου. Το όριο της επώθησης βρίσκεται περιμετρικά της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε η περιοχή μελέτης να αποτελεί ένα «τεκτονικό παράθυρο» (Σχήμα 4.3). Πρόκειται για το σημαντικότερο γεωλογικό και τεκτονικό γεγονός της περιοχής.

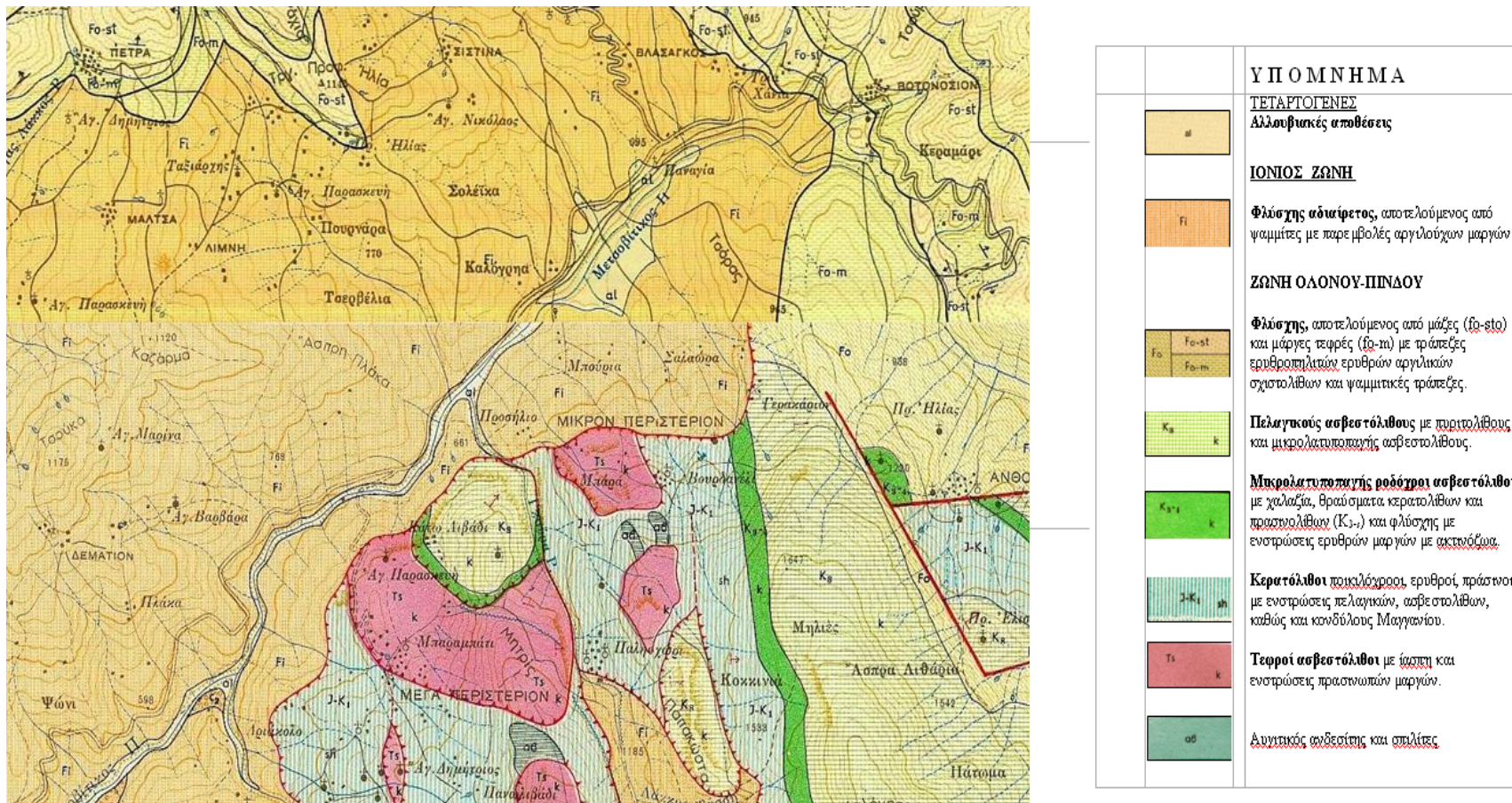
Επίσης, ένας μεγάλος ασβεστολιθικός όγκος παρατηρείται στο δυτικό όριο της περιοχής Β, στο άνω τμήμα του οποίου διακρίνεται η ζώνη μετάβασης προς τον φλύσχη, αποτελούμενη από έντονα πτυχωμένο ψαμμίτη και ιλυόλιθο. Αυτός ο ασβεστολιθικός όγκος ανήκει στη ζώνη της Πίνδου, ενώ στο υψηλότερο τμήμα του πρηνούς, διακρίνεται ένας δεύτερος ασβεστολιθικός όγκος, ο οποίος αποτελεί τεκτονικό ράκος εξαιτίας της μεγάλης επώθησης (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

Γενικά, η περιοχή καλύπτεται από μεγάλης έκτασης και πάχους χαλαρά υλικά. Από τις μετρήσεις που έγιναν στις περιορισμένες εμφανίσεις βράχου, προέκυψε ότι, οι φλυσχικοί σχηματισμοί έχουν γενική διεύθυνση από ΒΔ-ΝΑ έως ΒΑ-ΝΔ, η διεύθυνση βύθισης είναι από ΒΑ έως ΒΔ, η γωνία κλίσης είναι μικρή 20°-40° και τοπικά μόνο γίνεται μεγαλύτερη έως 85°. Επίσης, η υποκείμενη βραχώμαζα είναι πτυχωμένη, με γενική διεύθυνση των αξόνων πτύχωσης σχεδόν Β-Ν και εμφανίζεται μόνο τοπικά και σε μικρή έκταση (Σχήμα 4.3) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

Η γεωτεκτονική Ζώνη της Πίνδου, η οποία βρίσκεται στα υψηλότερα τμήματα της περιοχής μελέτης, αποτελείται από το γεωλογικό σχηματισμό του φλύσχη, από ασβεστολιθικούς και κερατολιθικούς σχηματισμούς και από μαγματικά (ανδεσιτικά και σπηλιτικά) πετρώματα. Η ηλικία αυτών των σχηματισμών, είναι Τριτογενής έως Τριαδική, σύμφωνα με τα στοιχεία των γεωλογικών χαρτών του ΓΜΕ.

Η Ιόνιος γεωτεκτονική ζώνη βρίσκεται στην περιοχή μελέτης κάτω από το κάλυμμα των εδαφικών υλικών και αποτελείται από τους Ηώκαινικής-Ολιγοκαινικής ηλικίας φλυσχικούς σχηματισμούς. Ο σχηματισμός του φλύσχη της περιοχής, αποτελείται από φακούς κροκαλοπαγών, με κροκάλες προερχόμενες από τα πετρώματα της Πινδικής γεωτεκτονικής ζώνης, γεγονός που δηλώνει τη μετάβαση του Ιονίου φλύσχη στο φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης Γαβρόβου (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

Οι φλυσχικοί σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης καλύπτονται στη μεγαλύτερη έκταση τους από τα υλικά κατολίσθησης, τα υλικά των πλευρικών αποσαθρωμάτων και από τις σύγχρονες-παλαιότερες ποτάμιες αποθέσεις της κοίτης του Μετσοβίτικου και τις κοίτες των πλευρικών ρεμάτων. Το εδαφικό κάλυμμα της περιοχής, συμπληρώνουν τα προϊόντα εκσκαφής, τα οποία έχουν αποτεθεί στο πρηνές της υφιστάμενης Εθνικής Οδού.



Σχήμα 4.3: Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης (Απόσπασμα από τους Γεωλογικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε., Φύλλα ΠΡΑΜΑΝΤΑ & ΜΕΤΣΟΒΟ, κλίμακα 1:50.000).

Συγκεκριμένα, οι λιθοστρωματογραφικοί χαρακτήρες της περιοχής μελέτης είναι οι ακόλουθοι:

α) Προϊόντα εκσκαφής της Εγνατίας Οδού:

Πρόκειται για τα επιφανειακά εδαφικά υλικά και τα υλικά των φλυσχικών σχηματισμών της περιοχής, τα οποία καλύπτουν τα ελεύθερα τμήματα του αντερείσματος, από το επίπεδο της Ε.Ο. μέχρι την κοίτη του Μετσοβίτικου.

β) Αποθέσεις (σύγχρονες και παλαιότερες) του Μετσοβίτικου ποταμού:

Αποτελούνται από αργιλώδεις άμμους και κροκάλες από ασβεστολιθικά, ψαμμιτικά και κερατολιθικά πετρώματα, πάχους 28,90 m (γεώτρηση Β14, Σχήμα 4.2) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Οι αποθέσεις του Μετσοβίτικου Ποταμού και των μεγάλων πλευρικών ρεμάτων καλύπτουν την περιοχή της ευρύτερης κοίτης του ποταμού.

γ) Πλευρικά κορήματα-αποσαθρώματα και υλικά παλαιότερων αποθέσεων:

Αποτελούνται από εδαφικά υλικά και τεμάχια φλυσχικών, κυρίως ψαμμιτικών και κροκαλοπαγών σχηματισμών, πάχους από 1,00 έως 5,00 m (Β-10, Β-11, Β-12, Β-11Α, Β-12Α, και Β-13, Σχήμα 4.2) και καλύπτουν τμήματα των αντερείσμάτων (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003) (Εικόνα 4.2). Τα υλικά αυτά δεν είναι εύκολο να διακριθούν από τα υλικά κατολίσθησης, στην περιοχή των εδαφικών ασταθειών.

δ) Υλικά κατολίσθησης:

Πρόκειται για υλικά ποικίλου πάχους, αποτελούμενα από άργιλο-ιλυώδη έως άμμο-ιλυώδη υλικά, με διάσπαρτες κροκάλες, χάλικες και γωνιώδη τεμάχια ψαμμιτικής κυρίως σύστασης και λιγότερο ασβεστολιθικής. Τοπικά συναντώνται διάσπαρτοι ογκόλιθοι ασβεστολίθου, προερχόμενοι είτε από καταπτώσεις που έχουν συμβεί στον ασβεστολιθικό όγκο του δυτικού τμήματος της περιοχή Β (περιοχή λατομείου), είτε από κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν συμβεί στο νότιο αντέρεισμα (Εικόνα 4.3 (β)). Εξαιτίας της επώθησης των φλυσχικών σχηματισμών της ζώνης Πίνδου, στους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης, συναντώνται έντονα διατμημένοι έως αργιλοποιημένοι ιλυόλιθοι, γκρι και ερυθρού χρώματος, με διάσπαρτες κροκάλες, χάλικες και τεμάχια ψαμμίτη.

ε) Φλυσχικοί σχηματισμοί της Ιονίου Ζώνης:

Αποτελούν το σχηματισμό του υποβάθρου, στον οποίο εντοπίζονται εναλλαγές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών, με ενστρώσεις ιλυολίθων.

Τα παχυστρωματώδη κροκαλοπαγή, με ιλυοαμμώδες υλικό μάζας, συναντώνται με τη μορφή ενιαίας ζώνης στο δυτικό περιθώριο της περιοχής μελέτης, και με τη μορφή ενστρώσεων στην υπόλοιπη περιοχή. Η βραχώμαζα, εμφανίζεται

έντονα κερματισμένη και αποσαθρωμένη στην επιφανειακή ζώνη χαλάρωσης, για μήκος ίσο με 40,00 m περίπου. Κάτω από τα υλικά αυτά παρατηρείται σαφής βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών (περιοχή σήραγγας εκτροπής Υδροηλεκτρικού Εργοστασίου (Υ.Η.Ε.) Μετσοβίτικου) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Τα κροκαλοπαγή, τα οποία εμφανίζονται κάτω από τα χαλαρά ή έντονα διατμημένα υλικά, είναι υγιή, μέτρια κερματισμένα με ενστρώσεις ψαμμίτη.

Οι ψαμμίτες είναι χονδρόκοκκοι έως μεσόκοκκοι, με ενστρώσεις είτε ιλυολιθικού υλικού, είτε με αραιές ενστρώσεις κροκαλοπαγούς. Διάσπαρτα μέσα στην ψαμμιτική μάζα, εμφανίζονται κροκάλες ή/και χάλικες. Η βραχόμαζα εμφανίζεται μέτρια έως έντονα κερματισμένη από την ανάπτυξη των επιφανειών στρώσης, με κλίση 20°-30° (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Οι ιλύολιθοι, ως ψαμμούχοι ιλύολιθοι, έχουν μικρή ανάπτυξη και εμφανίζονται μέσα στους ψαμμίτες ή στα κροκαλοπαγή.

στ) Φλυσχικοί σχηματισμοί της Ζώνης Πίνδου:

Αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων, ερυθρού ή/και γκρι χρώματος, με ενστρώσεις κροκαλοπαγών και συναντώνται στο υψηλότερο τμήμα του αντερείσματος (Εικόνα 4.4) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Οι σχηματισμοί αυτοί εξαιτίας των επωθητικών κινήσεων που έχουν συμβεί στην περιοχή, εμφανίζονται έντονα καταπονημένοι, με συχνές ζώνες διάτμησης, κερματισμένοι και αποσαθρωμένοι.



Εικόνα 4.2: Επιφανειακά εδαφικά υλικά που καλύπτουν τα υψηλότερα τμήματα της κεντρικής περιοχής.



(α)

(β)

Εικόνα 4.3: (α) Επιφανειακά εδαφικά υλικά που καλύπτουν τα μεσαία τμήματα της κεντρικής περιοχής και (β) η κοίτη του Μετσοβίτικου στη ΝΔ περιοχή, που καλύπτεται από ασβεστολιθικούς ογκόλιθους, προερχόμενους από κατολισθητικά φαινόμενα και οι οποίοι έφραζαν την κοίτη του.



(α)

(β)

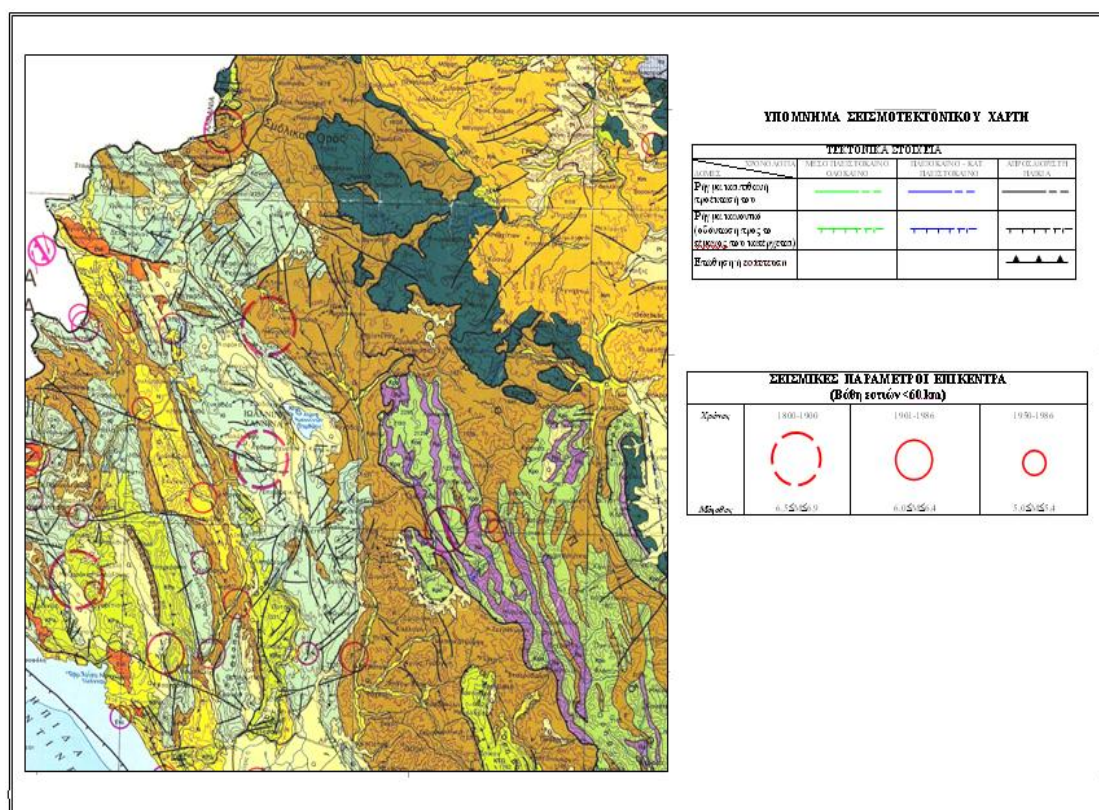
Εικόνα 4.4: (α) Οι επωθημένοι πινδικοί σχηματισμοί, στο υψηλότερο τμήμα της περιοχής και (β) οι κροκαλοπαγείς σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης, στο χαμηλότερο ΝΔ τμήμα της περιοχής, όπου διακρίνονται οι διευρυμένες, παρακατακόρυφες διακλάσεις τους.

4.2.3 Σεισμικότητα και σεισμική επικινδυνότητα

Στην περιοχή του έργου και για μία ακτίνα της τάξης των 15-20 km, δεν εμφανίζεται ιδιαίτερη σεισμικότητα, τόσο κατά το παρελθόν όσο και τα τελευταία χρόνια. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις μέχρι 100 km, η σεισμική δραστηριότητα επικεντρώνεται στην περιοχή των Ιωαννίνων, Κέρκυρας, Δέλβινου, Αργυρόκαστρου και Κοζάνης (Πίνακας 4.1, Σχήμα 4.4).

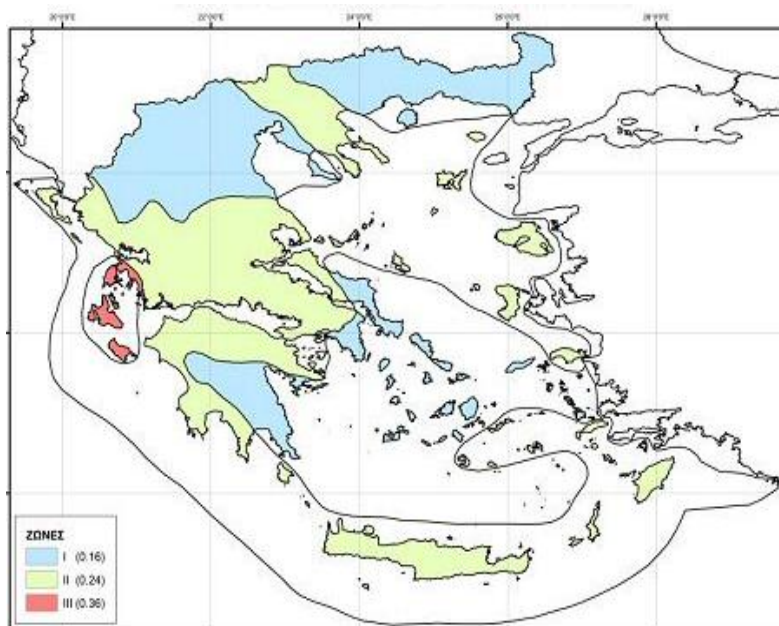
Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά των σημαντικότερων σεισμών με επίκεντρο την ευρύτερη περιοχή του έργου, μετά το 1900 και με μέγεθος σεισμού $M \geq 6.0$ της κλίμακας Richter (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).

Α/Α	Ημερομηνία	Γεωγραφικά στοιχεία	Μέγεθος Σεισμού	Ένταση στην περιοχή Επίκεντρου	Παρατηρήσεις	Σχετική θέση από περιοχή έργου
1	358 μ.Χ.	40.0°N-20.0°E	6.3	IX	Καταστροφικός στο Αργυρόκαστρο	80 km ΒΔ/κά
2	1674, Ιανουάριος 1	39.5°N-20.0°E	6.5	IX	Καταστροφικός στη Κέρκυρα	95 km Δ/κά
3	1740, Ιανουάριος	39.7°N-20.8°E	6.2	VIII :	Επίκεντρο τα Ιωάννινα	15 km ΝΔ/κά
4	1786, Φεβρουάριος 5	39.5°N-19.9°E	6.6	VIII :	Επίκεντρο στην Κέρκυρα	95 km Δ/κά
5	1813, Δεκέμβριος 10	39.6°N-20.6°E	6.2	IX :	Ιωάννινα (Εκκλησισχώρι)	20 km ΝΔ/κά
6	1823, Ιούνιος 19	39.5°N-20.3°E	6.4	IX :	Ιωάννινα (Σαγιάδα). Καταστράφηκαν 2000 σπίτια στην Ηπειρο.	20 km ΝΔ/κά
7	1854, Ιούλιος 30	39.8°N-20.1°E	6.3	IX	Καταστροφικός στο Δέλβινο	75 km ΒΔ/κά
8	1858, Απρίλιος 5	39.7°N-20.7°E	6.0	VIII :	Ο σεισμός ήταν καταστροφικός στα Ιωάννινα	20 km ΝΔ/κά
9	1858, Σεπτέμβριος 20	40.0°N-20.0°E	6.4	IX	Καταστροφικός στο Δέλβινο	75 km ΒΔ/κά
10	1867, Ιανουάριος 27	39.6°N-20.8°E	6.2	VIII :	Ο σεισμός ήταν καταστροφικός στα Ιωάννινα	20 km ΝΔ/κά
11	1897, Ιανουάριος 17	39.9°N-20.0°E	6.2	IX	Καταστροφικός στο Δέλβινο	75 km ΒΔ/κά
12	1919, Δεκέμβριος 22, 23-41	40.1°N-20.7°E	6.3	IX :	Επίκεντρο στο Λέσκοβιτς (Αλβανία)	50 km ΒΔ/κά
13	1920, Νοέμβριος 26, 08:51	40.3°N-20.0°E	6.3	X :	Καταστροφικός στο Τεπελένι	100 km ΒΔ/κά
14	1966, Φεβρουάριος 5	39.1°N-21.7°E	6.2	IX :	Επίκεντρο στη λίμνη Κρεμαστών	96 km ΝΑ/κά
15	1967, Μάιος 1	39.5°N-21.2°E	6.4	IX :	Σοβαρές βλάβες στο ν. Ιωαννίνων	40 km ΝΝΑ/κά
16	1995, Μάιος 13, 8:47	40.17°N-21.69°E	6.5	Στοιχεί από αρχείο ασπεροσκοπίου Αθηνών	Καταστροφικός στην Κοζάνη	50 km ΒΑ/κά



Σχήμα 4.4: Σεισμοτεκτονικός χάρτης και επίκεντρα ιστορικών σεισμικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή του έργου (IGME, Σεισμοτεκτονικός Χάρτης Ελλάδας, κλίμακας 1:500.000).

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό (Ε.Α.Κ.) 2004, η περιοχή του έργου ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας I, με επιτάχυνση $a=0,16 g$ (Σχήμα 4.5).



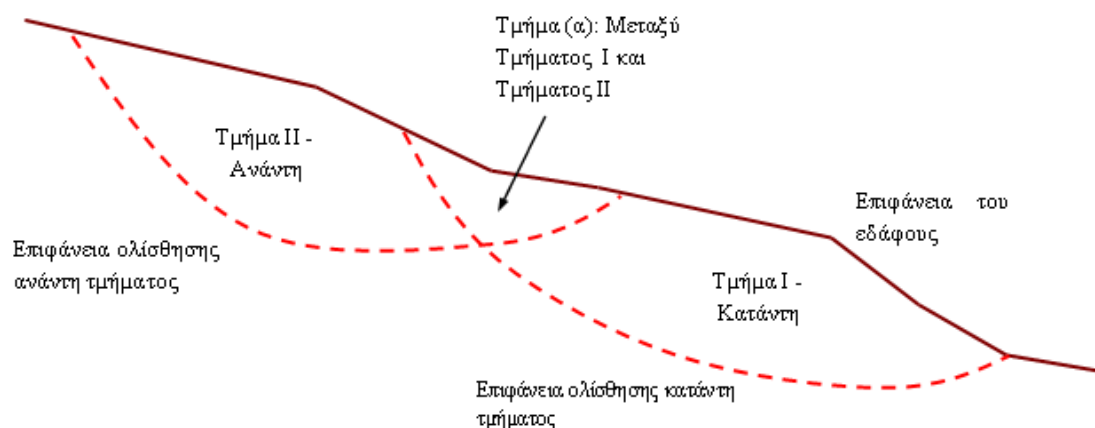
Σχήμα 4.5: Απεικόνιση των ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (III, II, I), στις οποίες έχει χωρισθεί ο ελληνικός χώρος σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2004.

4.2.4 Συνθήκες ευστάθειας

Η ευρύτερη περιοχή Β, αποτελεί μία περιοχή με εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα, που συνέβησαν παλαιότερα και συνεχίζουν να συμβαίνουν και σήμερα, τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο αντέρεισμα του Μετσοβίτικου ποταμού (γεώτρηση Β28, βάθος 33.5-34.0 m και πιθανά στο βάθος των 20.0 m, Σχήμα 4.2), το οποίο καλύπτεται από υλικά κατολισθήσεων, αποτελούμενα από ασβεστολιθικούς ογκολίθους, τεμάχη φλύσχη και λεπτοκλαστικά υλικά (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Η κατολίσθηση, εκδηλώνεται με επιφανειακές μετακινήσεις και μετακινήσεις στα κλισιόμετρα των γεωτρήσεων, είναι πλάτους 670 m (παράλληλα στον άξονα της Εγνατίας Οδού), μήκους από 400 m έως 540 m (επί της διεύθυνσης κίνησης, πρακτικά κάθετη στο πρανές και τον άξονα της Εγνατίας Οδού), με επιφάνεια ολίσθησης σε μέγιστο βάθος 37 m-40 m περίπου από την επιφάνεια του εδάφους (περιοχή Χ.Θ. 7+065) (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003).

Δεν έχει παρατηρηθεί μία ενιαία επιφάνεια ολίσθησης που να είναι και ταυτόχρονα κινηματικά δυνατή. Αντίθετα φαίνεται να υπάρχει μία επιφάνεια ολίσθησης στο κατάντη τμήμα, με πόδα στο ποτάμι και φρύδι πιθανόν ανάντη της

υφιστάμενης Εθνικής Οδού Ιωαννίνων-Μετσόβου (χωρίς όμως σαφείς ενδείξεις στην επιφάνεια του εδάφους σήμερα) και μία δεύτερη επιφάνεια ολίσθησης, στο ανάντη τμήμα τους πρανούς, με φρύδι στη θέση της οδού προς Πρινότοπα και πόδα στην υφιστάμενη Εθνική Οδό (χωρίς πάλι σαφείς ενδείξεις στην επιφάνεια). Φαίνεται ότι, τμήμα της ανάντη επιφάνειας ολίσθησης, διέρχεται από τμήμα της κατάντη κατολίσθησης, όμως συμβαδίζει με την εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή, σύμφωνα με τα γεωλογικά στοιχεία, τη μορφολογία του υποβάθρου και τις ενδείξεις κίνησης στα κλισιόμετρα, τα οποία επιβεβαιώνουν την οπισθοδρομική προς τα ανάντη φύση (retrogressive) της κατολίσθησης, με διαδοχικά τεμάχη που αποκόπτονται ξεκινώντας από τα κατάντη, με πόδα στον ποταμό και ακολουθούνται από άλλα τεμάχη ανάντη, που αρχίζουν την ολίσθησή τους μετά την ολίσθηση των πρώτων (Εμμανουηλίδης κ.α, 2003) (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6: Απεικόνιση των δύο επιφανειών ολίσθησης, στο κατάντη και στο ανάντη τμήμα της περιοχής Β (Μαυρομαμάτη και Σακελλαρίου, 2005).

Ειδικότερα, για την περιοχή Β, η οποία βρίσκεται στο βόρειο αντέρεισμα του Μετσοβίτικου ποταμού, έχουν προκύψει τα εξής:

- **Δυτικό περιθώριο της Β:** Αποτελείται από τους σχηματισμούς της επωθημένης Πινδικής ζώνης στην υψηλότερη περιοχή (υψόμετρο >665m) και τους σχηματισμούς της Ιόνιας στην χαμηλότερη περιοχή (υψόμετρο <665m). Σε αυτήν την περιοχή, δεν υπάρχουν επιφανειακές ενδείξεις για κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν συμβεί στο παρελθόν ή νεότερα. Στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής και εντός των κροκαλοπαγών σχηματισμών, έχουν διανοιχτεί όλα τα υπόγεια έργα της Δ.Ε.Η. και σύμφωνα με προφορικές μαρτυρίες των γεωλόγων της Δ.Ε.Η., δεν υπάρχουν προβλήματα εδαφικών ασταθειών στο υπόψη τμήμα. Όμως στην ευρύτερη περιοχή

του τμήματος αυτού, έχουν καταγραφεί σε μικρό βαθμό κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία μπορεί να έχουν επηρεάσει την υποκείμενη βραχώμαζα. Ένδειξη στην περιοχή, αποτελεί επιφανειακός μάρτυρας που έχει εγκατασταθεί και στον οποίο καταγράφεται επιφανειακή μετατόπιση 11 mm (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Για αυτόν το λόγο, πρέπει να εγκατασταθούν όργανα παρατήρησης, τα οποία θα ελέγχονται συστηματικά.

● **Κεντρικό τμήμα της περιοχής Β:** Σε αυτό το τμήμα έχουν εκδηλωθεί και βρίσκονται σε εξέλιξη κατολισθητικά φαινόμενα σε σημαντικά βάθη. Η περιοχή αυτή χαρακτηρίζεται από συχνές εναλλαγές τμημάτων, με ήπιο και απότομο ανάγλυφο. Συναντώνται, υλικά κατολίσθησης, έντονα διατμημένοι και αργιλοποιημένοι ιλύολίθοι, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως «εν δυνάμει» κατολισθήσιμα υλικά και οι υποκείμενοι, μη μετακινούμενοι βραχώδεις σχηματισμοί.

Η υδροφορία των σχηματισμών της περιοχής είναι υψηλή έως πολύ υψηλή. Η στάθμη του υπογείου νερού βρίσκεται συνήθως είτε εντός των υλικών της ζώνης κατολίσθησης, είτε στη διεπιφάνεια μεταξύ των ζωνών με τα υλικά κατολισθήσεων και της υποκείμενης αυτής, με τους έντονα αργιλοποιημένους ιλυολίθους. Στο χαμηλότερο τμήμα του αντερείσματος, μετά τη διάτρηση της ζώνης των κροκάλων, η στάθμη που καταγράφεται στις ερευνητικές γεωτρήσεις βρίσκεται λίγο ψηλότερα από τη στάθμη του ποταμού.

Από τις κλισιομετρικές μετρήσεις, καταγράφηκαν κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία εξελίχθηκαν σταδιακά με το βάθος αλλά και οριζοντιογραφικά, προς το ψηλότερο τμήμα του πρανούς. Οι επιφανειακές ολισθήσεις έχουν κλίσεις από 12^ο-14^ο στο μεσαίο τμήμα και 10^ο-13^ο στο χαμηλότερο τμήμα της κεντρικής περιοχής Β. Η κίνηση που έχει καταγραφεί είναι από 1.5 mm έως 10.00 mm το χρόνο, με εξαίρεση τις γεωτρήσεις N8, N24 (Σχήμα 4.1), όπου η μετακίνηση είναι της τάξης των 28.40 mm στο μεσαίο τμήμα, 19.98 mm στο χαμηλότερο τμήμα και τη γεώτρηση B-24 (Σχήμα 4.2), όπου η μετακίνηση είναι 16.64 mm. Η διεύθυνση κίνησης είναι κυρίως N-NA έως NA (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Από τους επιφανειακούς μάρτυρες που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή, φαίνεται να υπάρχει σε εξέλιξη μία ερπυστικού χαρακτήρα, κίνηση των επιφανειακών εδαφικών μαζών.

Όλα τα παραπάνω επιβεβαιώνονται από την παρουσία συχνών ρωγμών στους μικρού ύψους τοίχους αντιστήριξης (Εικόνα 4.5 (α)), καθώς και σε άλλα τεχνικά έργα της οδού (Εικόνα 4.5 (β)) και στην υφιστάμενη Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Καλαμπάκας

(Εικόνα 4.6). Παρατηρήθηκαν ρωγμές από 5 cm έως 10 cm στους αρμούς των τοίχων αντιστήριξης, από 30 cm έως 50 cm στους τοίχους των οχετών και από 5 cm έως 30 cm στο οδόστρωμα της Εθνικής Οδού. Παρόμοιες ρωγμές, παραμορφώσεις, θραύσεις, στην επιφάνεια του εδάφους, δεν έχουν παρουσιαστεί στην υψηλότερη περιοχή, εκτός από ορισμένα κτίσματα στην περιοχή του οικισμού Πρινότοπα (Εικόνα 4.7). Από τις ενδείξεις των κλισιομέτρων αλλά και των επιφανειακών μαρτύρων, προκύπτει ότι στην περιοχή αυτή βρίσκονται σε εξέλιξη κατολισθητικές ή/και ερπυστικές κινήσεις.

Εξαιτίας της εκδήλωσης των κατολισθητικών φαινομένων, αναγκαία είναι η οριοθέτηση των φαινομένων αυτών και η συνέχιση των κλισιομετρικών και των πιεζομετρικών μετρήσεων στην περιοχή.

● **Ανατολικό περιθώριο της περιοχής Β.** Εκτείνεται από τη χαμηλότερη περιοχή, (υψόμετρο +625 m), προς την περιοχή του οικισμού Πρινότοπα (με υψόμετρο +720 m έως 740 m) και προς την ακόμα υψηλότερη περιοχή με υψόμετρο +800 m. Αποτελείται από τους σχηματισμούς της επωθημένης Πινδικής ζώνης, στην ψηλότερη περιοχή (υψόμετρο >+740 m) και από τους σχηματισμούς της Ιόνιας ζώνης στη χαμηλότερη περιοχή (υψόμετρο <+740m). Η περιοχή αυτή, εντοπίζεται μεταξύ δύο κατολισθημένων περιοχών, της κεντρικής και της ανατολικότερης περιοχής (περιοχή Γ1), όπου βρίσκονται σε οριακή ισορροπία, η οποία με την πάροδο του χρόνου έχει διαταραχτεί, προκαλώντας ζημιές στην υπάρχουσα Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Μετσόβου. Η κατολίπηση της περιοχής Γ1, εκτείνεται σε μήκος περίπου 200 m παράλληλα με τη διεύθυνση κίνησής της και περίπου 250 m κάθετα σε αυτήν, με μέγιστα βάθη καταγραφόμενων μετακινήσεων της τάξης των 20 m (Καβουνίδης κ.ά., 2005).

Οι αδιατάραχτοι φλυσχικοί σχηματισμοί συναντώνται στα βάθη από 7,00 m έως 14,00 m στο υψηλότερο τμήμα (γεωτρήσεις B-24, B-23, Σχήμα 4.2), από 3,00 m έως 5,00 m στο μεσαίο τμήμα (γεωτρήσεις N11, MT10, Σχήμα 4.2) και στο βάθος των 13,00 m στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής (γεώτρηση N12, Σχήμα 4.2) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

Η υδροφορία των σχηματισμών της περιοχής είναι υψηλή και βρίσκεται σε βάθος από 3,00 m έως 6,00 m, στο υψηλότερο και στο μεσαίο τμήμα της περιοχής και σε βάθος 17,00 m στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

Συγκριτικά με την κεντρική περιοχή, αναπτύσσονται κατολισθητικά φαινόμενα σε μικρότερο βάθος και με μικρότερη ένταση.

Στην Περιοχή Β, παρατηρήθηκε ότι σε δύο γεωτρήσεις έχουν καταγραφεί κινήσεις εντός της ζώνης του υποκείμενου βραχώδους υποβάθρου (γεώτρηση N22, βάθος κίνησης 26,00 m και 29,00 m και B-8, βάθος κίνησης 31,50 m, Σχήμα 4.2) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003). Οι μετακινήσεις αυτές, αποτελούν ενδείξεις για πιθανή μετακίνηση μέσα στο «εκτιμώμενο» ως σταθερό υπόβαθρο, για αυτό είναι αναγκαία η συνέχιση των μετρήσεων για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Οι περισσότερες μετακινήσεις στην περιοχή Β, έχουν καταγραφεί εντός της ζώνης των έντονων διατμημένων-αργιλοποιημένων ιλυολίθων, καθώς και στη διεπιφάνεια αυτής της ζώνης με την υπερκείμενη της, η οποία αποτελείται από υλικά κατολισθήσεων και παλαιότερων αναβαθμίδων, υποβοηθούμενες από την παρουσία επιφανειακού και υπογείου νερού.



(α)

(β)

Εικόνα 4.5: (α) Ρωγμές σε τοίχους αντιστήριξης της Εθνικής οδού που διέρχεται από την περιοχή. (β) Επίσης, ένδειξη ερπυσμού αποτελεί το πόσο αποκλίνει η κλίση του σήματος.



(α)

(β)

Εικόνα 4.6: (α) Ρωγμές σε κτίσμα του οικισμού Πρινότοπα, στο υψηλότερο τμήμα της περιοχής και (β) σπασίματα στους περυγότοιχους ενός οχετού της Εθνικής Οδού που διέρχεται από την περιοχή.

4.2.5 Ποσοτικά στοιχεία των κατολισθήσεων

Το εμβαδόν της κατολισθημένης κεντρικής περιοχής ανέρχεται σε 300.000 m² και το μέσο πάχος των εδαφικών υλικών και των υποκείμενων διατμημένων-αργιλοποιημένων φλυσχικών σχηματισμών είναι 16,00 m στο υψηλότερο τμήμα, 24,00 m στο μεσαίο τμήμα και 38,00 m στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής. Το μέσο πάχος των παραπάνω υλικών, για όλη την έκταση της κατολισθημένης κεντρικής περιοχής, εκτιμήθηκε ότι είναι της τάξης των 28,00 m.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο όγκος των κατολισθημένων και των 'εν δυνάμει' κατολισθήσιμων υλικών στην κεντρική περιοχή, ανέρχεται σε $8,4 \times 10^6$ m³ (επιφάνεια=300.000 m² x μέσο πάχος υλικών=28 m) (Εμμανουηλίδης κ.α., 2003).

4.2.6 Μέτρα αντιμετώπισης της κατολίστεσης

Για την ασφαλή κατασκευή και λειτουργία της Εγνατίας Οδού, τα κύρια βελτιωτικά μέτρα που λήφθηκαν για την αύξηση του συντελεστή ασφάλειας της ευρύτερη περιοχή Β, είναι βαθιά αποστράγγιση, εφαρμογή πασσάλων και κατασκευή επιχωμάτων, από τα οποία διέρχεται η Εγνατία Οδός. Η κατασκευή εκτεταμένων επιχωμάτων σε όλο το μήκος της οδού, τα οποία ενισχύουν την ευστάθεια της περιοχής και δρουν ανασταλτικά στα κατολισθητικά φαινόμενα που εξελίσσονται στο χαμηλότερο, προς την κοίτη του ποταμού αντέρεισμα, ενίσχυσαν την ευστάθεια της περιοχής. Μεγιστοποιήθηκαν τα επιχώματα, ώστε να μεγιστοποιηθεί και η σταθεροποιητική τους δράση, με τις στέψεις των επιχωμάτων, να είναι ευρύτερες των απαιτήσεων κατασκευής του καταστρώματος της οδού. Τα μεγεθυμένα επιχώματα, αποτελούν σημαντικό σταθεροποιητικό μέτρο της κατολίστεσης (συμπεριλαμβάνοντας πασσάλους σταθεροποίησης), αλλά το κύριο μέτρο της, είναι η βαθιά αποστράγγιση (με αποστραγγιστικά φρέατα προς τη θαμμένη κοίτη του ποταμού Μετσοβίτικου, κάτω από τα υλικά κατολίστεσης και στραγγιστική σήραγγα ή διασυνδεδεμένα αποστραγγιστικά φρέατα). Συγκεκριμένα:

➔ Κατασκευάστηκε σταθεροποιητικό επίχωμα στον πόδα της κατολίστεσης (υποπεριοχή Β1, στο τμήμα από Χ.Θ. 6+850 έως 6+950) (Σχήμα 4.7, Εικόνα 4.7). Πρόκειται για το μεγιστοποιημένο επίχωμα (οπλισμένο στη μία διεύθυνση του), στο οποίο εδράζονται τα ανατολικά ακρόβαθρα των Γεφυρών Τ9 και Τ11, ύψους 16,5 m (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003) και επί του οποίου διέρχεται στη συνέχεια η Εγνατία Οδός από την περιοχή.

Για την κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος δημιουργήθηκε σταδιακά δάπεδο εργασίας, συνολικού μήκους περίπου 100 m, παράλληλα με το άξονα της Εγνατίας Οδού και πλάτους περίπου 23 m (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003). Για την κατασκευή του δαπέδου πραγματοποιήθηκαν εκσκαφές σε στάδια και επιχώσεις, αφού αφαιρέθηκαν φυτική γη και φακοί χαλαρών υλικών στην επιφάνεια των φυσικών πρανών.

Όσο αναφορά τον οπλισμό, στα ανώτερα 5,0 m από τη στέψη του επιχώματος, τοποθετήθηκαν 10 στρώσεις οπλισμού, σε αποστάσεις ανά 0,5 m, στο μεσαίο τμήμα του επιχώματος, σε απόσταση από 5,0 m-16,0 m από την στέψη, τοποθετήθηκαν 27 στρώσεις οπλισμού, ανά 0,4 m, ενώ στα κατώτερα τμήματα τοποθετήθηκε οπλισμός σε στρώσεις, ανά 0,3 m. Η αντοχή σχεδιασμού των οπλισμών του επιχώματος, είναι τουλάχιστον 57 kN/m (μονοαξονικό γεώπλεγμα με οριακή αντοχή $t_{ULT}=173$ kN/m ή ισοδύναμο). Ενδιάμεσα του κύριου οπλισμού τοποθετήθηκε δευτερεύων οπλισμός, με αντοχή και στις δύο διευθύνσεις τουλάχιστον 20 kN/m (διαξονικό γεώπλεγμα) (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003).

➤ Βαθιές μόνιμες στραγγίσεις της κατολισθημένης περιοχής και υποβιβασμός της στάθμης του υπογείου νερού, σε βάθη που δεν επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια, έχει επιτευχθεί με την κατασκευή δύο αποστραγγιστικών σηράγγων και αποστραγγιστικών φρεάτων. Η μία σήραγγα κατασκευάστηκε στο ανάντη τμήμα της κατολίσθησης και εκτείνεται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής Β. Έχει διάμετρο 3,0 m, μήκος 650 m και κατά μήκος κλίση 7.5%, 4.25% και 2.25% και έχει διανοιχθεί κυρίως εντός του βραχώδους υποβάθρου. Η δεύτερη σήραγγα κατασκευάστηκε στο κατάντη τμήμα της κατολίσθησης, μόνο στο μήκος που καταλαμβάνει η υποπεριοχή Β1, με διάμετρο 3,0 m, μήκος 313,2 m, κατά μήκος κλίσης 3.67% και 6.36% και έχει διανοιχθεί κυρίως εντός των υλικών κατολίσθησης (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003). Τα στραγγιστικά φρέατα κατασκευάστηκαν στο κατάντη τμήμα της κατολίσθησης (στην υποπεριοχή Β1), όπου βρέθηκε η θαμμένη παλαιά ποτάμια αναβαθμίδα του ποταμού Μετσοβίτικου.

Από το εσωτερικό των σηράγγων, έχουν διανοιχθεί ακτινικά στραγγιστικές γεωτρήσεις (διαμέτρου 76 mm και μήκους 20,0 mm) σε αξονικές αποστάσεις 4 m (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003), για την αποστράγγιση του περιβάλλοντος εδάφους.

➤ Για τη συλλογή και επιφανειακή αποστράγγιση, κατασκευάστηκε ανάντη του ορίου της κατολίσθησης, της υφιστάμενης επαρχιακής οδού προς Πρινότοπα και περιμετρικά αυτού, αποστραγγιστική τάφρος οφρύος, τραπεζοειδούς διατομής, όπου κατευθύνει το νερό προς το φυσικό αποδέκτη, στα δυτικά της περιοχής Β.

➤ Σταθεροποιητικό επίχωμα στον πόδα της κατολίσθησης της περιοχής Β (στην υποπεριοχή Β2 στο τμήμα από Χ.Θ. 7+300 έως 7+500) (Σχήμα 4.8, Εικόνα 4.8). Πρόκειται για το μεγιστοποιημένο επίχωμα επί του οποίου διέρχεται η Εγνατία Οδός από την περιοχή.

Για την κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος δημιουργήθηκε δάπεδο εργασίας, συνολικού μήκους περίπου 100 m (παράλληλα με το άξονα της Εγνατίας Οδού) και πλάτους περίπου 20 m. Για την κατασκευή του δαπέδου (μεταξύ των Χ.Θ. 7+120 έως 7+180), έγιναν εκσκαφές, απομακρύνθηκαν φυτική γη και τυχόν φακοί πολύ χαλαρού υλικού, από την επιφάνεια των φυσικών πρανών, ενώ το υπόλοιπο δάπεδο, δημιουργήθηκε μετά την κατασκευή του τοίχου ποδός και την επίχωση πίσω από αυτόν.

➤ Οπλισμένο επίχωμα στην υποπεριοχή Β2, από το οποίο διέρχεται η Εγνατία Οδός (στο τμήμα από Χ.Θ. 7+150 έως 7+320), το οποίο λόγω του περιορισμένου όγκου του, έχει μετριασμένη σταθεροποιητική δράση. Στην περιοχή μεταξύ Χ.Θ. 7+300 και 7+320, βρίσκεται η συναρμογή των δύο επιχωμάτων της υποπεριοχής Β2.

Επιπλέον έργα που δεν σχετίζονται άμεσα με την ενίσχυση της γενικής ευστάθειας της κατολίσθησης της περιοχής Β, αλλά με την διαμόρφωση και την ευστάθεια των επιχωμάτων, είναι τα ακόλουθα:

➤ Κατασκευή μπαρετών ενίσχυσης της εξωτερικής ευστάθειας των οπλισμένων επιχωμάτων, κάτω από τη βάση του οπλισμένου επιχώματος και πίσω από αυτό. Οι μπαρέτες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα, με τη μέθοδο κατασκευής διαφραγματικών τοίχων (εκσκαφή με μπόνα). Εξαιτίας των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή, κάποιο ποσοστό των μπαρετών δεν μπορούσε να κατασκευαστεί με τη συμβατική μέθοδο και έτσι η μπαρέτα κατασκευάστηκε ως αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κεφαλόδεσμο. Οι πάσσαλοι αυτοί είναι διαμέτρου 1,2 m, με 5 πασσάλους να αντιστοιχούν σε μία μπαρέτα (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003).

➤ Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης για την διαμόρφωση του πόδα του επιχώματος στην περιοχή των ανατολικών ακροβάθρων των γεφυρών Τ9 και Τ11

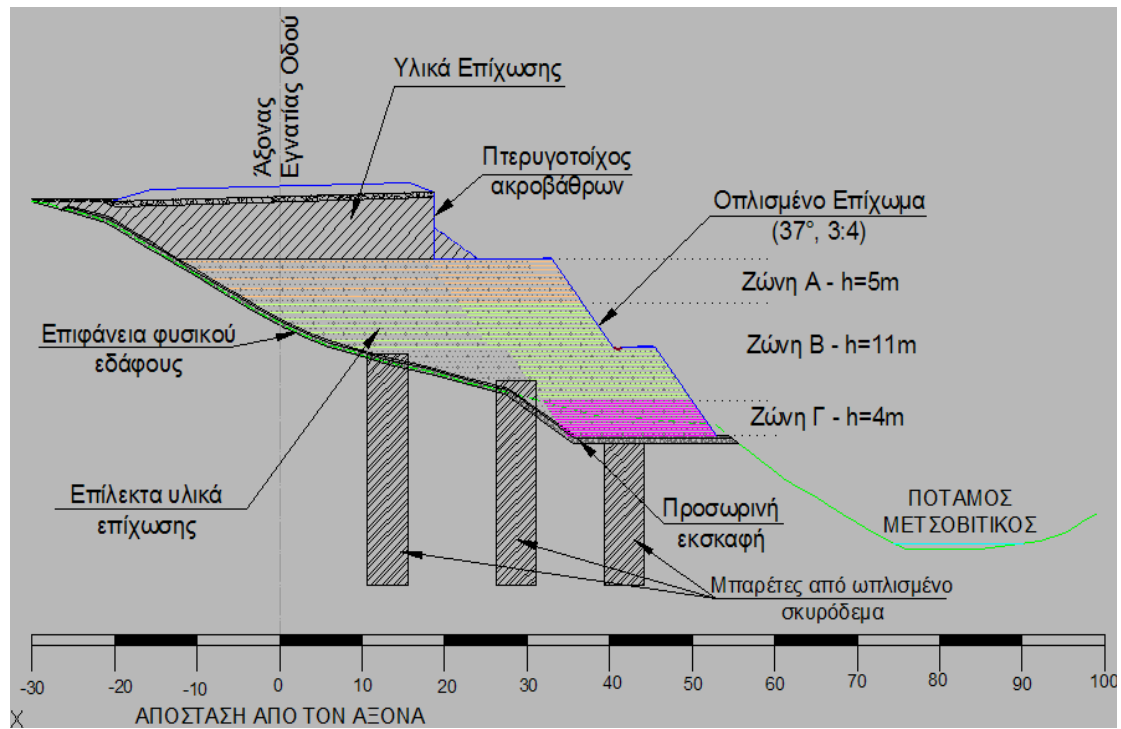
(υποπεριοχή B1) και του πόδα του επιχώματος στην υποπεριοχή B2 (από Χ.Θ. 7+150 έως 7+300).

Το μήκος εφαρμογής του τοίχου αντιστήριξης στην υποπεριοχή B1 είναι 100 m (55 m κατά μήκος του πόδα του οπλισμένου επιχώματος και 45 m κατά μήκος του κοινού επιχώματος) και 150 m στην υποπεριοχή B2. Ο τοίχος αυτός, έχει μέγιστο ελεύθερο ύψος 6 m περίπου και κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25, με οπλισμό από χάλυβα κατηγορίας S500 και εδράζεται επί πασσάλων διαμέτρου Φ80 (Μαυρομμάτη και Καβουνίδης, 2003). Οι πάσσαλοι συνδέονται με τον τοίχο, μέσω των κύριων οπλισμών.

Επίσης, μέτρο σταθεροποίησης της περιοχής αποτελεί και η ενίσχυση της αντιδιαβρωτικής προστασίας των αντερείσμάτων του ποταμού και η κατασκευή αναβαθμών συγκράτησης φερτών υλών, έτσι ώστε η κοίτη του Μετσοβίτικου ποταμού, από περιοχή έντονης διάβρωσης, να μετατραπεί σε περιοχή απόθεσης φερτών υλών, σε όλο το μήκος του πόδα της κατολισθημένης περιοχής.

Αναγκαία θεωρείται η συνέχιση των γεωλογικών και γεωτεχνικών εργασιών στην ευρύτερη περιοχή Β, κυρίως στην περιοχή του βόρειου αντερείσματος, από όπου διέρχεται η Εθνική Οδός και στην περιοχή του δεξιού αντερείσματος, εξαιτίας των έντονων κατολισθητικών φαινομένων.

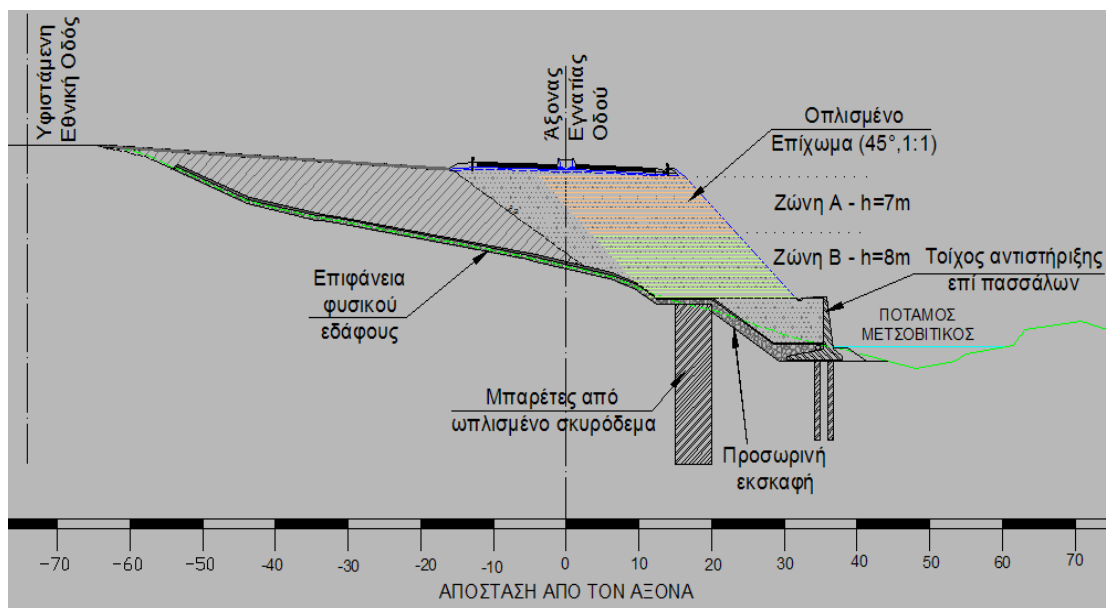
Για τη μεγιστοποίηση της σταθεροποίησης της ευρύτερης περιοχής μελέτης και ιδιαιτέρως της ασταθούς περιοχής Β, έχει προγραμματιστεί να κατασκευαστεί αποστραγγιστικός αγωγός (διαστάσεων 25 mx7 m περίπου και όγκου=500 m³), με τον οποίο θα συγκεντρωθούν και θα οδηγηθούν τα νερά στο Μετσοβίτικο ποταμό. Πρόκειται για ένα έργο υψηλού κόστους, περίπου 7 εκ. ευρώ, το οποίο ενδεχομένως να κατασκευαστεί εντός του 2011.



Σχήμα 4.7: Τυπική διατομή επιχώματος στην περιοχή του πόδα ολισθαίνουσας μάζας, στο τμήμα 2.4, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β1) (Φικίρης και Μαυρομάτη, 2007).



Εικόνα 4.7: Περιοχή κατασκευής του πόδα του οπλισμένου επιχώματος, στο τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β1). Τα υπάρχοντα έργα της ΔΕΗ και η παρουσία του ποταμού, περιορίζουν την κατασκευή του επιχώματος σε αυτή τη θέση.



Σχήμα 4.8: Τυπική διατομή επιχώματος στην περιοχή του πόδα ολισθαίνουσας μάζας, στο τμήμα 2.4, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β2) (Φικίρης και Μαυρομμάτη, 2007).



Εικόνα 4.8: Περιοχή κατασκευής του πόδα του οπλισμένου επιχώματος, στο τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού, στην περιοχή Β (υποπεριοχή Β2).

4.3 Τμήμα 3.1 της Εγνατίας Οδού, «Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι»

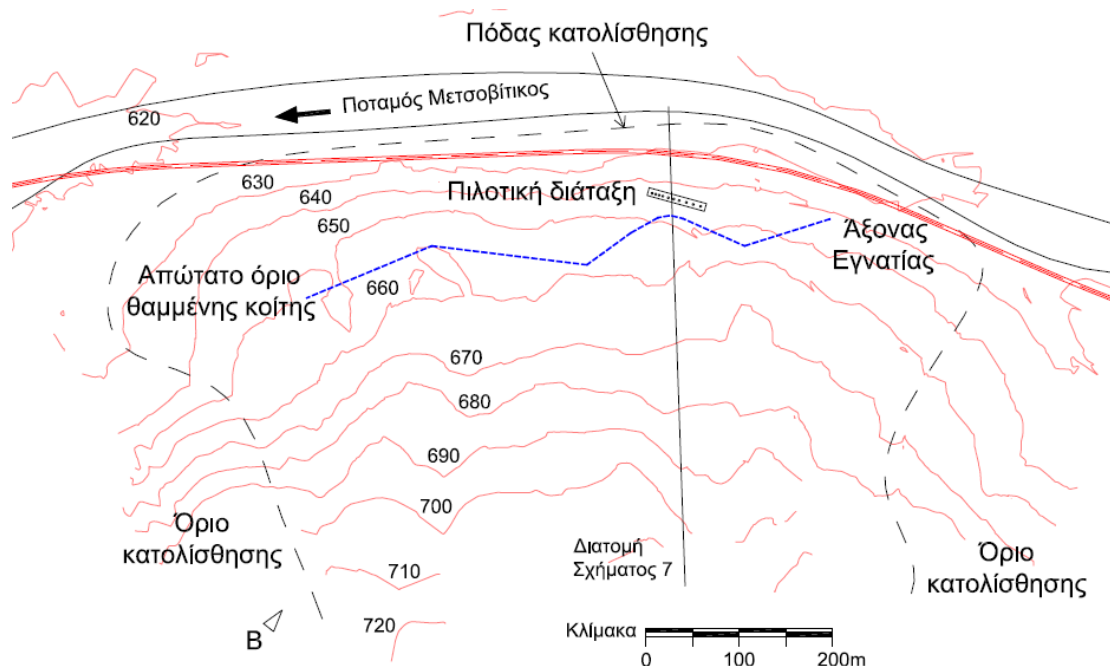
Το τμήμα 3.1 της Εγνατίας Οδού, μήκους 4.28 km, εκτείνεται κατά μήκος της κοιλάδας του ποταμού Μετσοβίτικου, στη νότια όχθη αυτού, μεταξύ των οικισμών Μ. Περιστερίου και Ανθοχωρίου και βρίσκεται περίπου 20 km δυτικά του Μετσόβου.

Διέρχεται από εκσκαφές και επανεπιχώσεις (400 m) και επί οπλισμένων επιχωμάτων (1.200 m) (Καβουνίδης κ.ά., 2005). Στο μέσο του τμήματος, συναντάται ο ανισόπεδος κόμβος της σύνδεσης της Εγνατίας Οδού, με την παλαιά Εθνική Οδό Ιωαννίνων-Μετσόβου. Το τμήμα έχει χωριστεί σε επιμέρους περιοχές (Α, Β, Γ, Δ), εξαιτίας των διαφορετικών γεωτεχνικών τους προβλημάτων.

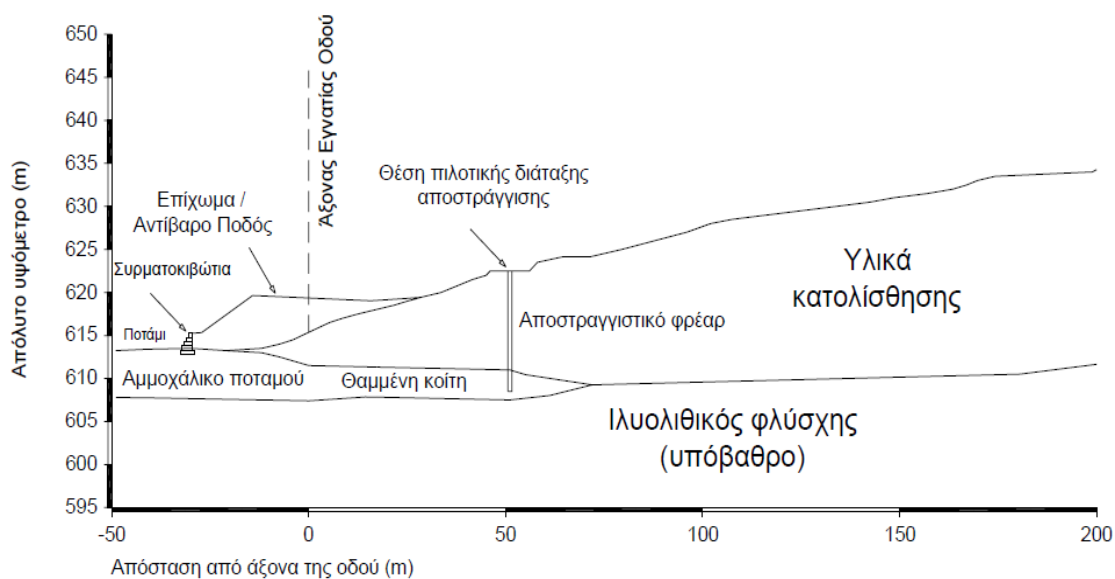
Μορφολογικά, η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονο και ορεινό ανάγλυφο και από την παρουσία του Μετσοβίτικου ποταμού (υψόμετρο από +620m έως +800m). Χαρακτηριστική, όπως έχει αναφερθεί παραπάνω στο τμήμα 2.4 της Ε.Ο., είναι η επώθηση του σχηματισμού της ζώνης Πίνδου, στους σχηματισμούς της Ιόνιας ζώνης, τέμνοντας τη χάραξη στη Χ.Θ. 4+800, ενώ όλη η χάραξη βρίσκεται κοντά στη ζώνη της επώθησης και επηρεάζεται από αυτήν.

Στην περιοχή Α, η οποία βρίσκεται στην αρχή του τμήματος, δεν έχουν εντοπιστεί ιδιαίτερα γεωτεχνικά προβλήματα, σε αντίθεση με την περιοχή Β, η οποία εκτείνεται αμέσως μετά (Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900). Στην περιοχή αυτή, έχει εκδηλωθεί μεγάλη κατολίσθηση, από τον πόδα της οποίας διέρχεται η Εγνατία Οδός. Ακολουθεί η περιοχή Γ (ανισόπεδος κόμβος, Μέτσοβο-Γιάννενα), που επίσης δεν έχουν εκδηλωθεί αστάθειες και τέλος συναντάται η περιοχή Δ (με τις υποπεριοχές Δ1, Δ2, Δ3 και Δ4), η οποία εκτείνεται μέχρι το τέλος του τμήματος, στη σήραγγα Ανθοχωρίου και στην οποία έχουν εντοπιστεί κατολισθητικά φαινόμενα (Καβουνίδης κ.ά., 2005).

Συγκεκριμένα, στην περιοχή Β (Σχήμα 4.9), τα υλικά κατολίσθησης υπέρκεινται του βραχώδους φλυσχικού υποβάθρου, εκτός από την περιοχή του ποδός, που υπέρκεινται παλαιάς ποτάμιας αναβαθμίδας του ποταμού Μετσοβίτικου. Οι μετακινήσεις καταγράφηκαν σε βάθη έως και 30 m (Σχήμα 4.10) (Καβουνίδης κ.ά., 2005) και η Εγνατία Οδός διέρχεται από τον πόδα της κατολίσθησης. Η κατολίσθηση αντιμετωπίστηκε με την κατασκευή αντιβάρου και αποστραγγιστικών φρεάτων, που διαπερνούν τα υλικά κατολίσθησης μέχρι την υποκείμενη ποτάμια αναβαθμίδα. Όπως στην περίπτωση της περιοχής Β, του τμήματος 2.4, έτσι και εδώ το επίχωμα στον πόδα μεγιστοποιήθηκε, για την εξασφάλιση της μέγιστης σταθεροποιητικής δράσης της κατολίσθησης.



Σχήμα 4.9: Οριζοντιογραφία της κατολίσθησης της περιοχής Β του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι - Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900) (Καβουνίδης κ.ά., 2005).



Σχήμα 4.10: Διατομή διά μέσω της κατολίσθησης της εριοχής Β (Χ.Θ. 1+100 έως Χ.Θ. 1+900) του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.ά., 2005).

Στην περιοχή Δ3, η κατολίσθηση εκδηλώθηκε κατάντη της χάραξης της Εγνατίας Οδού (μεταξύ των Χ.Θ. 4+440 και Χ.Θ. 4+620) (Σχήμα 4.11). Εκδηλώθηκε μετά την απόθεση των προϊόντων εκσκαφών στο φρύδι της, μέσα στον αποσαθρωμένο φλύσχη της περιοχής, πριν από 15 περίπου χρόνια. Το μήκος της ήταν

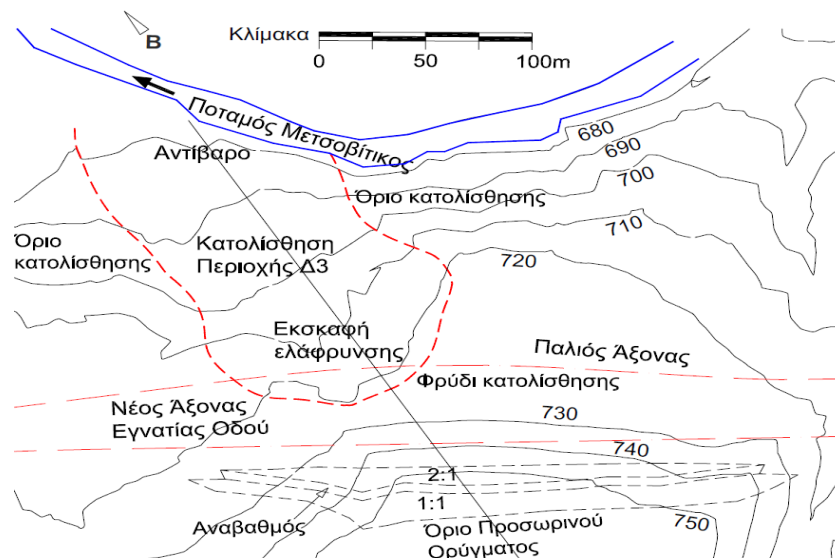
παράλληλο στην διεύθυνση κίνησης, περίπου 180 m, το πλάτος της ήταν 100 m και το μέγιστο βάθος που καταγράφηκαν οι μετακινήσεις ήταν 17 m (Σχήμα 4.12) (Καβουνίδης κ.ά., 2005). Το μέγεθος της κατολίσθησης ήταν τέτοιο, όπου η διέλευση της Εγνατίας Οδού μέσα από την μάζα της απαιτούσε πολύ δαπανηρά έργα σταθεροποίησης. Για αυτό μετατέθηκε η χάραξη του άξονα της Εγνατίας Οδού προς τα ανάντη, ώστε να μη διέρχεται μέσα από τα υλικά κατολίσθησης.

Εξαιτίας των μετακινήσεων στις παραπάνω περιοχές, κατασκευάστηκε υψηλό οπλισμένο επίχωμα (μεταξύ Χ.Θ. 3+830 και Χ.Θ. 4+050) και δύο τεχνικά δι' εκσκαφής και επανεπίχωσης (το 1^ο μεταξύ Χ.Θ. 3+505 και Χ.Θ. 3+770 και το 2^ο μεταξύ Χ.Θ. 4+560 και Χ.Θ. 4+705) (Καβουνίδης κ.ά., 2005). Σημαντικά ενισχύθηκε η ευστάθεια των υφιστάμενων πρανών, με την επένδυση τους από εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, καθώς και με την περιβαλλοντική αποκατάστασή τους.

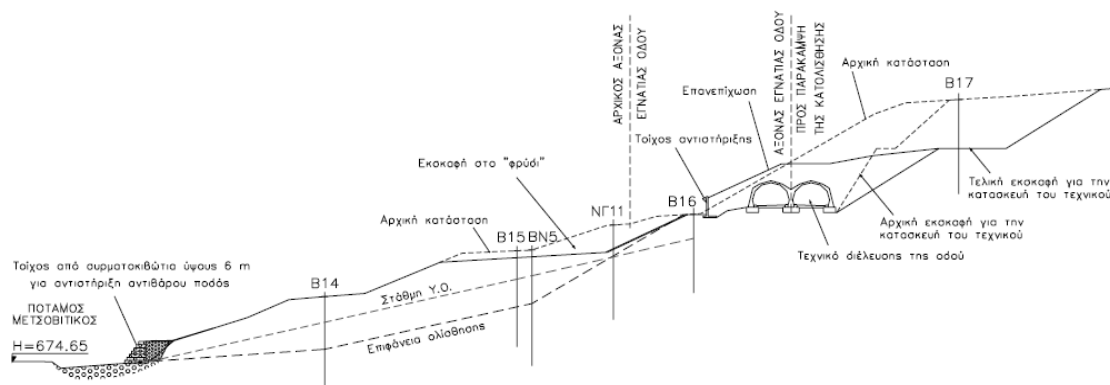
Συγκεκριμένα, κατασκευάστηκε αντίβαρο στο πόδι της κατολίσθησης, όγκου περίπου 35.000 m³ και έγινε εκσκαφή στο φρύδι, όγκου περίπου 20.000 m³. Το αντίβαρο «ποδός» έχει μέγιστο ύψος 16 m (με τον βραχότοιχο στον πόδα του), με πρανή κλίσης 1:2.5 και προστατεύεται από τη ροή του Μετσοβίτικου ποταμού με βραχότοιχο, ύψους 6 m. Η εκσκαφή στο φρύδι έγινε με κλίση 1:2, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η απομάκρυνση της επιφάνειας ολίσθησης από το υψόμετρο 709 m και πάνω (πρανές εκσκαφής μέγιστου ύψους 12 m) (Καβουνίδης κ.ά., 2005).

Τα παραπάνω μέτρα, κατασκευάστηκαν επιτυχώς, με αποφυγή φόρτισης ή αποφόρτισης παρακείμενων επισφαλών πρανών. Σημαντικά έργα για τη βελτίωση της περιοχής, αποτέλεσαν τα έργα συλλογής και επιτυχούς απομάκρυνσης των επιφανειακών υδάτων, από την περιοχή της κατολίσθησης.

Η κατολίσθηση της περιοχής Δ3 εντοπίστηκε έγκαιρα, με αποτέλεσμα το κόστος των έργων σταθεροποίησης της να ήταν χαμηλότερο, από το κόστος που θα προέκυπτε σε μη έγκαιρο εντοπισμό, καθώς επίσης και μετατοπίστηκε ο άξονας της Εγνατίας Οδού, έτσι ώστε να μη διέρχεται πια από το φρύδι της κατολίσθησης. Παρά την αλλαγή χάραξης, η Εγνατία Οδός συνέχιζε να επηρεάζεται από την κατολίσθηση, σε ελάχιστο βαθμό (Εικόνα 4.9).



Σχήμα 4.11: Οριζοντιογραφία της κατολίθησης της περιοχής Δ3 του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι) και του προσωρινού ορύγματος του τεχνικού δι' εκσκαφής και επανεπίκλισης (Σ2) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.ά., 2005).



Σχήμα 4.12: Διατομή διά μέσω της κατολίθησης της περιοχής Δ3 και του τεχνικού δι' εκσκαφής και επανεπίκλισης (Σ2) του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού (Καβουνίδης κ.ά., 2005).



Εικόνα 4.9: Φωτογραφία της κατολίθησης της Περιοχής Δ3 μετά τα έργα σταθεροποίησης και του κατασκευασμένου τεχνικού (Σ2) του τμήματος 3.1 (Μ. Περιστέρι-Ανθοχώρι) της Εγνατίας Οδού. Στο βάθος αριστερά διακρίνεται η είσοδος της σήραγγας Ανθοχωρίου.

4.4 Περιοχή Μεγάλου Ορύγματος (X.Θ. 18+470-X.Θ. 18+980, Δ70-Δ79)

4.4.1 Γενικά

Το Μεγάλο Όρυγμα ανήκει στο τμήμα 3.5.1 της Εγνατίας Οδού (έξοδος των σηράγγων Μαλακασίου Α έως την είσοδο Κωσταράκου, X.Θ. 18+140 έως X.Θ. 19+075) (Εικόνα 4.10) και μελετάται στην παρούσα εργασία εξαιτίας των τεχνικογεωλογικά προβληματικών περιοχών του, οι οποίες επηρέασαν σημαντικά την κατασκευή, την ασφάλεια και το κόστος κατασκευής των δύο κλάδων του αυτοκινητόδρομου. Συγκεκριμένα, με μελέτη του 2001 κατασκευάστηκε ο αριστερός κλάδος και μετέπειτα συντάχθηκε σχετική προμελέτη για την περιοχή μελέτης, με σκοπό τη διέλευση του δεξιού κλάδου του αυτοκινητόδρομου, μέσω της διανοιχθείσας σήραγγας Μαλακασίου Α (δεξιός κλάδος).

Πραγματοποιήθηκαν γεωτρήσεις, έγιναν ινκλινομετρικές μετρήσεις, τοποθετήθηκαν τοπογραφικά υπόβαθρα της Πλανητικής-Γεωγραφικής Υπηρεσίας, για την αποτύπωση της υφιστάμενης κατάστασης έως το χείλος του μεγάλου ορύγματος και του πόδα της επίχωσης, στην περιοχή εξόδου των σηράγγων Μαλακασίου Α, έως την είσοδο της σήραγγας Κωσταράκου.

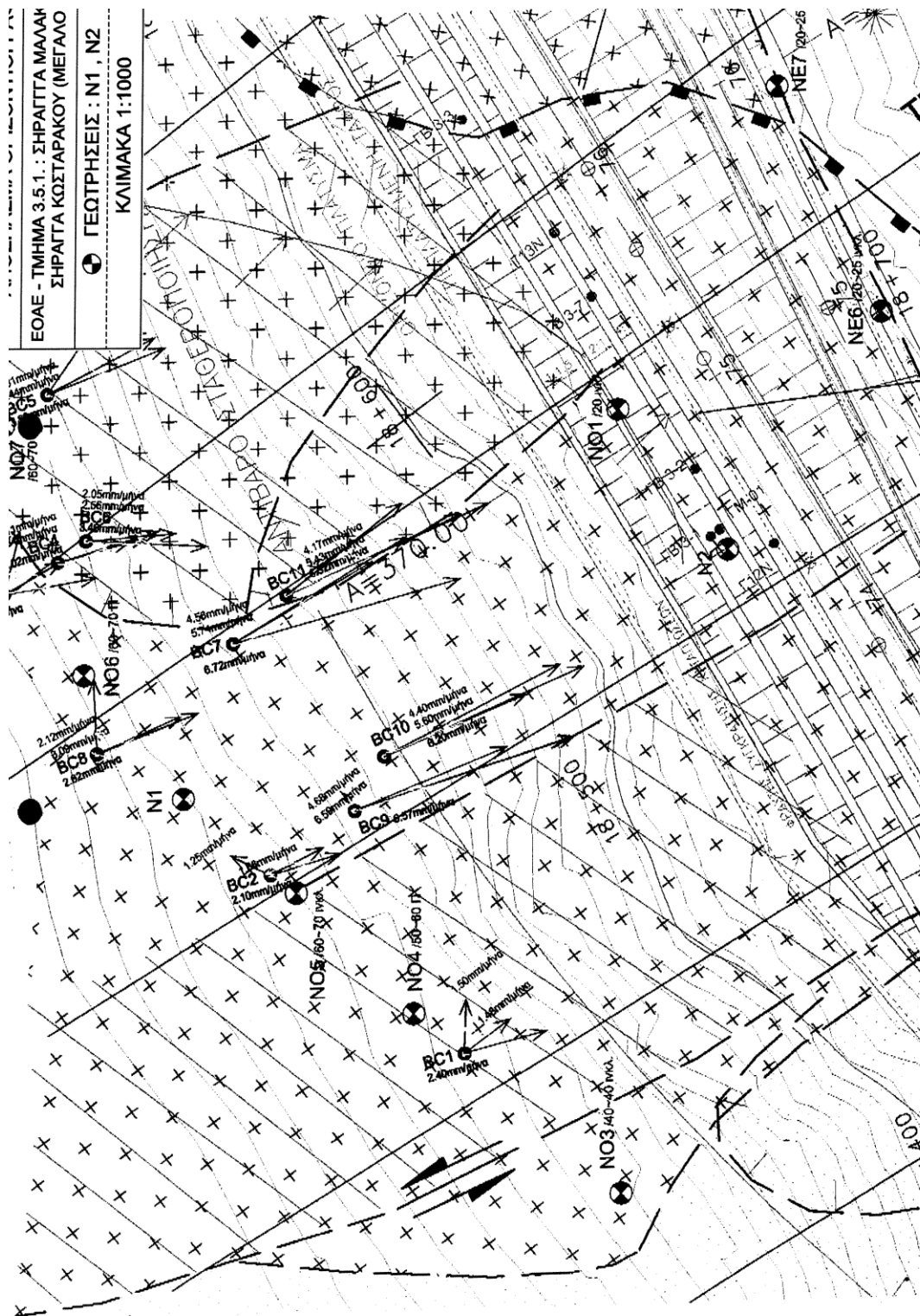
Συγκεκριμένα, διανοίχθηκαν συνολικά είκοσι οκτώ ερευνητικές γεωτρήσεις στο «επίχωμα» (έξοδος Μαλακασίου Α, δεξιός κλάδος), στο χείλος και στον πόδα του Μεγάλου Ορύγματος (σειρά γεωτρήσεων ΝΟ και Ν, Σχήμα 4.13), κατά μήκος του άξονα και δεξιά του δεξιού κλάδου (σειρά γεωτρήσεων ΝΕ, Σχήμα 4.13) και στον πόδα των επιχώσεων, στον υφιστάμενο δασικό δρόμο, οι οποίες έφθασαν σε ικανοποιητικά βάθη, έως και 100 m (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Επίσης, τοποθετήθηκαν πιεζόμετρα και ινκλινόμετρα για τη χρονική παρακολούθηση των πιθανών μετακινήσεων (Σχήμα 4.13).

Από τις παραπάνω γεωτρήσεις προέκυψε ότι, το υπέδαφος στον πόδα του ορύγματος παρουσιάζει συμπεριφορά συνεκτικού-μέσης πυκνότητας εδαφικού υλικού, μέχρι βάθη των 10 m ή 12 m και πολύ στιφρού-σκληρού-πυκνού εδαφικού υλικού βαθύτερα (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Οι εμφανίσεις της περιδοτιτικής βραχώμαζας στις γεωτρήσεις αυτές ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες, όπου δε τοπικά συναντήθηκε περιδοτιτής, η βραχώμαζα βρέθηκε σε κατάσταση έντονα αποσαθρωμένη-κατακερματισμένη. Η χαλαρή ζώνη εντοπίστηκε σε βάθη των 9 m-14 m, περιλαμβάνοντας αργιλώδη-χαλικώδη υλικά. Το βραχώδες σταθερό υπόβαθρο, περιδοτιτικής σύστασης, βρέθηκε σε βάθος 14 m (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Μείζον πρόβλημα της περιοχής του Μεγάλου Ορύγματος αποτελούσε η συνολική ευστάθειά του, η οποία λόγω του ιδιαίτερα μεγάλου ύψους του πρανούς, της τάξης των 90 m, της ιδιαίτερα πτωχής-εδαφοποιημένης ποιότητας της βραχώμαζας στο κεντρικό τμήμα του και της απότομης συνεχούς κλίσης του φυσικού εδάφους, ανάντη του χείλους του, σε συνδυασμό με την ύπαρξη υπογείων υδάτων, ήταν μάλλον οριακή. Σε όλα αυτά, προστέθηκαν και τα δυσμενή αποτελέσματα των μετρήσεων των μετακινήσεων, με αποτέλεσμα την εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων και αστοχιών.



Εικόνα 4.10: Πανοραμική άποψη του Μεγάλου Ορύγματος και της κατάντη περιοχής δεξιά του άξονα του έργου. Διακρίνονται τα ίχνη των εκδηλωμένων αστοχιών και των χαραδροδιαβρώσεων. Στην άνω φωτογραφία διακρίνεται η ανάντη του χείλους του ορύγματος ολισθημένη περιοχή.



Σχήμα 4.13: Τμήμα οριζοντιογραφίας του Μεγάλου Ορύγματος, όπου σημειώνονται οι θέσεις γεωτρήσεων (στον πόδα και στο χείλος του πρανούς) και τα όρια της κατολίθωσης με τις μαύρες διακεκομμένες γραμμές (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

4.4.2 Γεωμορφολογικές συνθήκες

Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο του μεγάλου ορύγματος είναι από τα χαρακτηριστικά του ορεινού τύπου, στο οποίο έχουν συμβάλλει καθοριστικά οι υπάρχουσες γεωλογικές και τεκτονικές συνθήκες.

Τόσο η ανάντη του χείλους του μεγάλου ορύγματος περιοχή, όσο και η κατάντη των έργων περιοχή, χαρακτηρίζεται από έντονες εγκάρσιες κλίσεις (25° - 36°) του φυσικού εδάφους, ικανού μήκους (Νάσκος και Δημαράς, 2005), οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την ευστάθεια τόσο της ανάντη του χείλους του ορύγματος, όσο και της κατάντη των έργων περιοχής.

Στην περιοχή δεξιά του άξονα του αριστερού κλάδου και κατάντη του διαμορφωμένου καταστρώματος, δεν υπάρχει βλάστηση. Δεξιά του άξονα του δεξιού κλάδου και σε απόσταση από αυτόν 40 m έως 50 m (από Χ.Θ. 18+470 έως Χ.Θ. 18+720 περίπου, Νάσκος και Δημαράς, 2005), σταματάει το γυμνό φυσικό έδαφος και αρχίζει η έντονα φυτοκαλυμμένη περιοχή, με πυκνή δενδρώδη, υψηλή βλάστηση, με φυτική γη ικανού πάχους και το πλούσιο ριζικό σύστημα.

4.4.3 Γεωλογικές συνθήκες

Η ευρύτερη περιοχή του Μεγάλου Ορύγματος αποτελείται από τους παρακάτω γεωλογικούς σχηματισμούς, τόσο αριστερά όσο και δεξιά των αξόνων των κλάδων, οι οποίοι είναι:

○ Οφιόλιθοι

Στην οφιολιθική ακολουθία της βόρειας Πίνδου, απαντώνται βασικά και υπερβασικά πυριγενή πετρώματα, συνοδευόμενα από ιζήματα βαθιάς θάλασσας, τα οποία αποτελούνται από: α) βασικά οφιολιθικά μέλη (π.χ. γάββρους, διαβάσεις, σπιλιτοδολεριτικές λάβες και βασικά μικρολιθικά πετρώματα), β) υπερβασικά οφιολιθικά μέλη (όπως περιδοτίτες, σερπεντινωμένους περιδοτίτες, σερπεντινίτες, πυροξενίτες και σωσυριτικά πετρώματα) και γ) ιζήματα βαθιάς θάλασσας που συνοδεύουν και εμφανίζονται στα όρια των οφιολιθικών μαζών (όπως ερυθρούς-πράσινους ραδιολαριτικούς σχιστοκερατολίθους, ιλυολίθους και πηλίτες).

○ Οφιολιθικά μίγματα (οφιολιθικά melanges)

Προέρχονται είτε από τις επιπεύσεις-επωθήσεις, είτε από τη δράση των ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης, ή από το συνδυασμό και των δύο τεκτονικών παραμορφώσεων. Αποτελούνται από ασβεστολιθικά ατρακτοειδή ράκη, διαφόρων μεγεθών, τα οποία βρίσκονται στο οφιολιθικό υλικό. Το μέγεθος των ρακών ποικίλει,

έχουν ανώμαλες διεπιφάνειες επαφών και είναι τεκτονισμένα. Η διάταξη στο χώρο, της μυλωνιτοποιημένης και αργιλοποιημένης οφιολιθικής σερπεντινιακής μάζας, είναι τυχαία και αποτελεί και το συνδετικό (matrix) υλικό. Η εξαλλοίωση των τεμαχών της περιδοτιτικής βραχώμαζας είναι ζωνώδης, ενώ η οφιολιθική μάζα είναι εντονότατα σχιστοποιημένη και αργιλοποιημένη γύρω από τα ασβεστολιθικά ράκη, γεγονός που αποκαλύπτει την τεκτονική προέλευση του σχηματισμού (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

○ Πελαγικοί και τουρβιδιτικοί ανθρακικοί σχηματισμοί

Μαζί με τους οφιολίθους συναντώνται και μεγάλες εμφανίσεις ανθρακικών σχηματισμών, ηλικίας Άνω Ιουρασικού-Παλαιόκαινου, προερχόμενοι από την Υποπελαγονική ζώνη. Οι πιο συνηθισμένοι είναι: α) οι πελαγικοί ασβεστόλιθοι ηλικίας Άνω Ιουρασικού, υπόλευκου-γκρίζου χρώματος, οι οποίοι αποτελούν τις πολύ υγιείς και πολύ καλής ποιότητας βραχώμαζες, β) οι τουρβιδιτικοί σχηματισμοί του Κάτω Ιφητιδικού, αποτελούνται από μικρολατυπογείς ασβεστολίθους, ψαμμίτες, ιλυολίθους και πηλίτες ή λεπτοπλακώδεις ασβεστολίθους ηλικίας Κάτω Κρητιδικού και γ) οι κλαστικοί τουρβιδίτες και τα πελαγικά ιζήματα του Παλαιόκαινου-Ηώκαινου, που είναι ουσιαστικά η μετάβαση προς τον φλύσχη της Πινδικής ζώνης. Αυτοί συναντώνται ως υπερκείμενοι σχηματισμοί ή εντός των οφιολίθων, με τη μορφή τεκτονικών ρακών ή ολισθολίθων, καθώς και με τη μορφή επίσης τεκτονικών λεπιών (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

○ Τεκτονικός σχηματισμός (tectonic formation)

Είναι κυρίως φλυσχικής λιθολογικής προέλευσης και δομής και βρίσκεται κάτω από τις οφιολιθικές μάζες. Μοιάζει με τα οφιολιθικά μίγματα, εμφανίζει χαοτική δομή, από ιλυολιθική κυρίως μάζα, με τεμάχια οφιολίθων και κρυσταλλικών ασβεστολίθων, τα οποία οριοθετούνται από ρηξιγενείς διατμητικές επιφάνειες. Συναντάται με μαύρα χρώματα του ιλυολίθου και λείες-στιλπνές διεπιφάνειες των κατατμήσεων και των ρηξιγενών δομών (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Εντός αυτού του σχηματισμού βρίσκονται συμπαγείς μαξιλαροειδείς λάβες, οφιολιθικά λατυποπαγή, περιδοτιτικά-σερπεντινιακά σώματα, ατρακτοειδείς ασβεστόλιθοι, ψαμμίτες και κοκκινο-πρασινοςχιστόλιθοι. Εξαιτίας των συνθηκών της ολικής διατμητικής παραμόρφωσης, τα πρωτογενή στοιχεία του σχηματισμού (στρωσιγενή επίπεδα) έχουν πλήρως καταστραφεί.

○ Τεταρτογενείς-Ολοκαινικές αποθέσεις

Αυτοί οι βραχώδεις λιθολογικοί σχηματισμοί, υπόκεινται από τις Τεταρτογενείς-Ολοκαινικές εδαφικές αποθέσεις, οι οποίες αποτελούνται από ποταμοχειμμάριες, από πλευρικές αργιλικές, κορηματικές αποθέσεις, από μανδύες αποσάθρωσης, από πλευρικές αποθέσεις χαλικωδών αργίλων και από τα πλέον σύγχρονα γεωυλικά που δημιουργούν τους ριπιδιακούς κώνους και τα κατολισθημένα υλικά.

Όσο αναφορά, συγκεκριμένα τη γεωλογική δομή του τμήματος του Μεγάλου Ορύγματος ισχύουν τα ακόλουθα:

- Η περιοχή του μεγάλου ορύγματος δομείται αποκλειστικά από περιδοτίτες, με τοπικές μαγματικές διαφοροποιήσεις, προς γαββρικούς συνήθως σχηματισμούς (Εικόνα 4.12).
- Κατά μήκος του πόδα του μεγάλου ορύγματος (περί την Χ.Θ. 18+600, αριστερός κλάδος) και στην βόρεια απόληξή του, συναντώνται οι σερπεντινίτες και τα οφιολιθικά μίγματα, με τα ανθρακικά συνήθως πελαγικά ιζήματα, συνοδά ιζήματα (Νάσκος και Δημαράς, 2005) (Εικόνα 4.13).
- Το υπόβαθρο κατά μήκος του κατασκευασμένου παλαιού αριστερού κλάδου και του διαμορφωμένου καταστρώματος (από Χ.Θ. 18+335 έως Χ.Θ. 18+575 περίπου), αποτελούν οι περιδοτίτες, ενώ από Χ.Θ. 18+575 έως και τη σήραγγα Κωσταράκου, εμφανίζονται σερπεντινίτες και τα οφιολιθικά μίγματα, με τις εμφανίσεις των συνοδών ιζημάτων (Νάσκος και Δημαράς, 2005) (Εικόνες 4.14 και 4.15).
- Κατά μήκος περίπου του άξονα του δεξιού κλάδου (από Χ.Θ. 18+470 έως Χ.Θ. 18+655 περίπου), η περιοχή δομείται από περιδοτίτες.
- Το υπόβαθρο κατά μήκος του παλαιού δασικού δρόμου, δομείται από σερπεντινίτες, με τις τοπικές περιορισμένου πάχους, εμφανίσεις των συνοδών ιζημάτων (Νάσκος και Δημαράς, 2005).



Εικόνα 4.12: Άποψη της βασικής οφιολιθικής βραχώμαζας, αριστερά του αριστερού κλάδου, όπου διακρίνονται η καλή ποιότητα της βραχώμαζας και τα ίχνη των εκδηλωμένων δομικών αστοχιών.



Εικόνα 4.13: Άποψη του Μεγάλου Ορύγματος, όπου διακρίνονται στον πόδα του πρανούς υπερβασικοί σχηματισμοί, αποτελούμενοι από οφιολιθικά μίγματα με ράκη ασβεστολίθων και σερπεντινίτες σε εναλλαγές.



Εικόνα 4.14: Άποψη της περιοχής του Μεγάλου Ορύγματος (Χ.Θ. 18+500 έως 18+630). Διακρίνεται η βραχώμαζα στον πόδα του πρανούς, οι εδαφικές μάζες ανάντη και οι ριπιδιακοί κώνοι.



Εικόνα 4.15: Άποψη αργιλοποιημένης ζώνης μεγάλου πάχους. Διακρίνονται έντονες αστάθειες, ίχνη εδαφικών αστοχιών και πτώσεις δέντρων.

4.4.4 Τεκτονικές συνθήκες

Τα τεκτονικά γεγονότα της ευρύτερης αλλά και της υπόψη περιοχής, οφείλονται στην πρόσφατη γεωλογική περίοδο του Τριτογενούς-Τεταρτογενούς. Συνέβησαν μετά την Αλπική παραμόρφωση, με την παροξυσμική περίοδο του Ανώτερου Ηωκαίνου, η οποία προκάλεσε την πτύχωση και την λεπίωση των σχηματισμών της ζώνης της Πίνδου (Σχήμα 4.14). Αναπτύχθηκαν μεγάλες ρηξιγενείς δομές, ικανού εύρους, οι οποίες διέκοψαν τη συνέχεια των σχηματισμών και επηρέασαν τη μηχανική συμπεριφορά τους.

Ένα από τα κυριότερα τεκτονικά στοιχεία της περιοχής, είναι η επώθηση των οφιολίθων στο φλύσχη. Οι επωθητικές κινήσεις οδήγησαν στην έντονη παραμόρφωση των οφιολιθικών μαζών, όσο και στην ανάπτυξη μεγάλων διεπιφανειών ολίσθησης, ιδίως στη βόρεια περιοχή του ορύγματος. Αυτή η τεκτονική διεπιφάνεια επαφής, είναι ιδιαίτερα μεγάλους μήκους, με διεύθυνση κλίσης Δ-ΝΔ και γωνία 10°-20° (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Εκατέρωθεν και κάτω από τη διεπιφάνεια, έχει αναπτυχθεί τόσο ο τεκτονικός σχηματισμός, όσο και σε πολλές περιπτώσεις, τα οφιολιθικά μίγματα, όπως προαναφέρθηκε.

Δύο νεότερα συμπίεστικά γεγονότα, Μέσο-Άνω Μειοκαινικής ηλικίας, οδήγησαν στην έντονη παραμόρφωση και στη λεπίωση των οφιολιθικών μαζών. Κατά το πρώτο συμπίεστικό γεγονός σχηματίστηκαν θλιπτικές δομές ΒΔ-ΝΑ, καθώς και μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης που διασχίζουν τις οφιολιθικές μάζες (Εικόνα 4.16), με διευθύνσεις Α-ΒΑ/Δ-ΝΔ και Β-ΒΔ/Ν-ΝΑ. Σε αυτά οφείλεται ο σχηματισμός των τεκτονικών ζωνών έντονης καταπόνησης και εξαλλοίωσης των

πετρωμάτων, καθώς και η δημιουργία κατακλαστικών και μυλωνιτοποιημένων ζωνών. Το δεύτερο συμπιεστικό γεγονός προκάλεσε ρήγματα με διευθύνσεις προσανατολισμού A-NA/Δ-BΔ και B-BA/N-NΔ (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Την τριτογενή θλιπτική παραμόρφωση, ακολούθησε η εφελκυστική θραυσιγενής παραμόρφωση, δημιουργώντας τη σημερινή πολύπλοκη τεκτονική δομή.

Επιπλέον, νεότερες ηλικιακά δομές έχουν σχηματιστεί στο εσωτερικό των οφιολιθικών μαζών. Πρόκειται για επιφάνειες ανάστροφων ρηγμάτων, μικρής κλίσης, διεύθυνσης BΔ-NA, που δημιουργούν καθρέπτες στα υφιστάμενα πρανή και λειτουργούν ως επιφάνειες ολίσθησης (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Ένα πυκνό πλέγμα τεκτονικών ασυνεχειών, όπως διαρρήξεις-κατατμήσεις, μικρότερες διατμητικές ζώνες, οι οποίες συμπληρώνουν την τεκτονική εικόνα και την συνολική παραμόρφωση που έχει υποστεί η βραχόμαζα, προήλθαν από την παραμόρφωση των βραχωδών σχηματισμών.

Σημαντικότερα ρήγματα, θεωρούνται αυτά με διευθύνσεις προσανατολισμού A-Δ, οριζόντιας μετατόπισης και κανονικά ρήγματα, αφού σε αυτά οφείλονται οι εκτεταμένες διατμητικές ζώνες, οι κατακλαστίτες και οι μυλωνιτοποιήσεις και αυτά με διευθύνσεις προσανατολισμού B-N, οριζόντιας μετατόπισης, κανονικά ρήγματα και διαρρήξεις και με κλίσεις (βυθίσεις) γενικά A έως A-NA ή A-BA, αφού εξαιτίας αυτών έχουν προέλθει οι επίπεδες δομικές αστοχίες (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Επίσης οι διεπιφάνειες των παλιών ρηξιγενών (εφελκυστικών) επαφών (των υπερβασικών οφιολίθων, περιδοτιτών-σερπεντινιτών), έχουν γενικά διευθύνσεις προσανατολισμού B-N έως B-BA/N-NΔ και μέγιστες κλίσεις (βυθίσεις), Δ έως Δ-BΔ (συνήθως με μικρές γωνίες), αντίρροπες στις φυσικές κλίσεις, συμβάλλοντας σταθεροποιητικά στις γενικότερες συνθήκες ευστάθειας. Εμφανίζονται στο τμήμα από Χ.Θ. 18+640 περίπου έως και το τέλος του ορύγματος και στον πόδα. Το ορατό μήκος τους είναι 200 m και επεκτείνονται τόσο στην κατάντη περιοχή, όσο και στους βαθύτερους ορίζοντες στην περιοχή, κάτω από τον αριστερό κλάδο (Νάσκος και Δημαράς, 2005).



Εικόνα 4.16: Ρήγμα οριζόντιας μετατόπισης, μεγάλου μήκους.

4.4.5 Ποιότητα βραχώμαζας

Η βραχώμαζα των οφιολίθων είναι ποιοτικά υποβαθμισμένη στο σύνολό της (Εικόνα 4.17). Όπου η περιδοτική βραχώμαζα διατηρεί τη δομή και τον ιστό της, χαρακτηρίζεται μέτρια έως πολύ φτωχή και το μήκος της είναι 200 m έως 250 m, χωρίς να σημαίνει ότι συνεχίζει και στα ενδότερα της βραχώμαζας του πρανούς (Δημαράς, 2005).

Το υπόλοιπο πρανές, αποτελείται ουσιαστικά από εδαφικά γεωϋλικά, προερχόμενα από τους κατακερματισμούς, τις εδαφοποιήσεις, τις αργιλοποιήσεις-εξαλλιώσεις και τις ισχυρές αποσαθρώσεις της βραχώμαζας, αλλά και από εδαφικά υλικά των υφιστάμενων αναβαθμίδων.

Από τους κατακερματισμούς (θραύσεις) δημιουργήθηκαν ικανού πάχους ζώνες, αποτελούμενες από κατακλαστικά υλικά (διαφόρων μεγεθών), με τη μορφή τεκτονικών λατυποπαγών, τα οποία περιέχουν σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων υλικών.

Οι εκτεταμένες αργιλοποιήσεις συνδυάζονται με τα υπερβασικά οφιολιθικά κυρίως πετρώματα, τις τεκτονικές δράσεις και τις εξαλλιώσεις που αυτά έχουν υποστεί.



Εικόνα 4.17: Άποψη της κερματισμένης-σχιστοποιημένης-αποσαθρωμένης υπερβασικής οφιολιθικής βραχώμαζας.

4.4.6 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Δύο ρέματα, διασχίζουν εγκάρσια την περιοχή, με διευθύνσεις ΒΔ-ΝΑ και Α-Δ (Νάσκος και Δημαράς, 2005), εξασφαλίζοντας την επιφανειακή απορροή και τη φυσική αποστράγγιση της. Η διάνοιξη των δύο σηράγγων Μαλακασίου Α, συντέλεσε στην αλλαγή της κοίτης και της περιοχή του υδρορέματος (Χ.Θ. 18+150 περίπου).

Στην περιοχή του Μεγάλου Ορύγματος, μεταξύ των ρεμάτων δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές πηγαίες αποφορτίσεις, όπου κατά τη διάρκεια εκσκαφής του ορύγματος, η παροχή του νερού ήταν μεγάλη και η οποία με την πάροδο του χρόνου εξαφανίστηκε (στέρεψε) ή αποφορτίστηκε σε βαθύτερους ορίζοντες, εξαιτίας της αλλαγής της γεωμετρίας του φυσικού πρανούς.

Στον πόδα του μεγάλου ορύγματος (από Χ.Θ. 18+560 έως Χ.Θ. 18+630), είχε εντοπιστεί ο υψηλά ευρισκόμενος ελεύθερος υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας, καθώς και έντονες υγρασίες στα χαμηλότερα σημεία του πρανούς (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Η κατάντη περιοχή, εξαιτίας της θέσης της, δέχεται συνεχώς τα επιφανειακά νερά, προερχόμενα από την ανάντη της στέψης του ορύγματος περιοχή. Η κίνηση του νερού προς τα κατάντη, ευνοείται από τη γεωμετρία του πρανούς, από τα υλικά μεταβλητού βαθμού διαπερατότητας, από τις μεγάλου μήκους ρηξιγενείς γραμμές, από τις κατακερματισμένες υπερβασικές βραχώμαζες, εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους που αναπτύσσεται, μέσω των τεκτονικών ασυνεχειών κ.α.

Από τις πιεζομετρικές μετρήσεις της περιοχής, παρατηρήθηκε ότι το ελάχιστο βάθος της στάθμης των υπογείων νερών ήταν της τάξης των 9,0 m και το μέγιστο της τάξης των 21,50 m. Η κλίση της πιεζομετρικής γραμμής ήταν της τάξης των 5° και τοπικά οριζόντια (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

4.4.7 Σεισμολογικά στοιχεία

Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από μέσης έντασης σεισμικότητα. Οι σημαντικότεροι σεισμοί που αναφέρονται στην υπάρχουσα βιβλιογραφία, με επίκεντρα στην ευρύτερη περιοχή του έργου και σε ακτίνα ≤ 50 km, με μέγεθος $\geq 6,0$ βαθμών της κλίμακας Richter, δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.2).

Πίνακας 4.2: Σημαντικότεροι σεισμοί, με επίκεντρα στην ευρύτερη περιοχή του έργου, ακτίνας ≤ 50 km και μέγεθος $\geq 6,0$ βαθμών της κλίμακας Richter (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).

1	1621	Φεβρουάριος 24, 39,4° N, 22,0° E, M=6,2 VII, Μετέωρα
2	1661	Μάρτιος 31, 39,4° N, 22,1° E, M=6,1 VII, Μετέωρα
3	1674	Ιανουάριος 26, 39,4° N, 22,9° E, M=6,2 VII, Μετέωρα
4	1735	Σεπτέμβριος 1, 39,5° N, 21,8° E, M=6,5 VII, Μετέωρα
5	1740	Ιανουάριος 1, 39,7° N, 20,8° E, M=6,2 VIII, Μετέωρα
6	1787	Ιούνιος 19, 39,5° N, 21,9° E, M=6,0 VII, Μετέωρα
7	1823	Ιούνιος 19, 39,5° N, 20,3° E, M=6,4 IX, Σαγιάδα
8	1858	Απρίλιος 5, 39,7° N, 20,7° E, M=6,0 VIII, Ιωάννινα
9	1867	Ιανουάριος 27, 39,6° N, 20,8° E, M=6,2 VIII, Ιωάννινα
10	1895	Μάιος 14, 39,4° N, 20,5° E, M=6,2 VIII, Μαργαρίτι Θεσπρωτίας
11	1898	Ιούλιος 31, 39,6° N, 20,7° E, M=6,3 VIII, Ιωάννινα
12	1995	Μάιος 13, M=6,65, Χρώμιο-Βάρη Καταστρεπτικός στους νομούς Γρεβενών και Κοζάνης

Σύμφωνα με το σεισμοτεκτονικό χάρτη του ΙΓΜΕ (κλίμακα 1:500.000) (Σχήμα 4.14), η περιοχή του έργου επηρεάζεται από επιφανειακούς, κυρίως σεισμούς, οι οποίοι οφείλονται αφενός μεν στο συμπιεστικό πεδίο τάσεων που δημιουργείται κατά μήκος των ακτών της Αλβανίας και της Δυτικής Ελλάδας, αφετέρου δε στο εφελκυστικό πεδίο τάσεων που αναπτύσσεται στα ηπειρωτικά.

Όσο αναφορά τη σεισμική επικινδυνότητα για την ευρύτερη περιοχή του έργου, το αναμενόμενο πιθανό μέγιστο μέγεθος είναι 6,6 έως 7,0 βαθμών της κλίμακας Richter, με μέγιστη επιτάχυνση $a=0,16g$, κατατασσόμενη κατά τον Ε.Α.Κ. 2.000 σε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II.

τουλάχιστον 100 m (μετρούμενο από το χείλος εκσκαφής του ορύγματος) και η διεύθυνση της ολίσθησης ήταν περίπου 100° δεξιόστροφα ως προς τον βορρά, κάθετα σχεδόν προς την χάραξη του αυτοκινητόδρομου, που διασχίζει την ασταθή αυτή μάζα (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Ο συνολικός όγκος των κατολισθαίνοντων γεωϋλικών ήταν 12.550.000 m³ τουλάχιστον (30×106 τόνοι ασταθούς-ολισθαίνοντος υλικού) (Δημαράς κ.α, 2006), δηλαδή πρόκειται για μία πολύ μεγάλου μεγέθους κατολίσθηση.

Η καταγραφείσα μέγιστη ταχύτητα οριζόντιας μετακίνησης (άνοιξη 2005) ήταν 13 mm/μήνα τουλάχιστον. Από την αρχή εκσκαφής του Μ. Ορύγματος (πριν από 15 έτη), η συνολική αθροιστική οριζόντια κατολισθητική μετακίνηση υπερέβαινε το 1,0 m. Μικρότερη είναι η κατακόρυφη συνιστώσα της μετακίνησης (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Στο πρानές είχαν δημιουργηθεί παλαιότερα αλλά και μετέπειτα θραύσεις, οι οποίες κατέστρεψαν τις αρχικές διαμορφωμένες αναβαθμίδες, και τις αρχικές κλίσης εκσκαφής, σε μέση κλίση των 40° (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Η περιοχή ανάντη του χείλους χαρακτηρίζεται από έντονη και συνεχή εγκάρσια κλίση και από μανδύα αποσάθρωσης, ο οποίος δεν είναι εμφανής. Η έντονη αυτή κλίση, η υποβαθμισμένη ποιότητα γεωϋλικών και τα όμβρια ύδατα, συντέλεσαν στην εκδήλωση ασταθειών και κατολισθήσεων μεγάλου μήκους. Συγκεκριμένα, στην ανάντη περιοχή του χείλους του ορύγματος, δημιουργήθηκαν επιμήκεις θραύσεις μεγάλου μήκους, παράλληλες στο φρύδι του πρானούς (Εικόνα 4.18). Πρόκειται για εφελκυστικές ρωγμές, γενικά ανοικτές ($\cong 0,50$ m) (Νάσκος και Δημαράς, 2005) ή και για μεταπτώσεις (steps) προς το κατάντη τμήμα του πρானούς.

Εκδηλωμένες δομικές αστοχίες, τόσο επίπεδης όσο και σφηνοειδούς μορφής, προερχόμενες από ομόρροπες ρηξιγενείς ασυνέχειες ή από συνδυασμό αυτών, παρατηρήθηκαν στην παρειά του πρானούς του ορύγματος, στα τμήματα της βραχόμαζας που διατηρούσαν την δομή και τον ιστό τους (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Στην περιοχή Χ.Θ. 18+550 (Χ.Θ. 18+512÷Χ.Θ. 18+580) και στον πόδα του πρானούς, είχε εκδηλωθεί παλαιότερα κατολίσθηση, μικρού βάθους, η οποία αναθόλωσε τα υλικά του οδοστρώματος. Το ίχνος της αστοχίας διακρινόταν στο κατάστρωμα, ήταν μικρής έκτασης και κυκλικής έως τριγωνικής μορφής (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Συχνό φαινόμενο, ήταν επίσης η πτώση βράχων προς τη ζώνης διέλευσης του αριστερού κλάδου, κατακερματισμένοι συνήθως σε μικρότερα τεμάχια, λόγω της πτωχής ποιότητας της βραχώμαζας.

Στην περιοχή δεξιά του άξονα του αριστερού κλάδου (υφιστάμενος παλαιός εργοταξιακός δρόμος και κατάντη περιοχή), δεν παρατηρήθηκαν ορατές μετακινήσεις ή τοπικές αστάθειες. Στο τέλος όμως της περιοχής του Μεγάλου Ορύγματος και δεξιά του άξονα, εμφανίστηκαν ρωγμές (θραύσεις) παράλληλες στο φρύδι, μικρού ύψους πτώσεις, στις ικανού πάχους τεχνητές επιχώσεις και στον υποκείμενο μανδύα αποσάθρωσης.

Εκτός της βαθιάς κατολίσθησης στο κεντρικό τμήμα του Μεγάλου Ορύγματος, κατολισθήσεις και αστάθειες στο πρηνές εκσκαφής, παρατηρήθηκαν στο κεντρικό και στο βόρειο (προς Κωσταράκου) τμήμα. Στο νότιο τμήμα, παρά το μεγάλο ύψος των 60 m του πρηνούς, εξαιτίας της συμπαγούς περιδοτιτικής βραχώμαζας δημιουργήθηκαν αποδεκτές συνθήκες ευστάθειας (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Προβλήματα στο νότιο αυτό τμήμα, προήλθαν από επιφανειακής αποκόλλησης βραχοτεμάχων, τα οποία οδηγούν σε περιορισμένη εκδήλωση σφηνοειδών τοπικών κατολισθήσεων. Η βραχοπαγίδα με τοίχο προστασίας και η τοποθέτηση ελεύθερων δικτύων συρματοπλέγματος (κατόπιν καθαρισμού του πρηνούς), αποτελούν μέτρα προστασίας του αυτοκινητόδρομου, στο νότιο ευσταθές τμήμα του πρηνούς του Μεγάλου Ορύγματος.

Οι επιφανειακές κατολισθήσεις στο κεντρικό και το βόρειο τμήμα και λαμβάνοντας υπόψη και το μεγάλο μήκος και ύψος του πρηνούς του ορύγματος μέχρι το χείλος (90 m-100 m), δημιουργούσαν επικίνδυνα προβλήματα στην κυκλοφορία του αυτοκινητόδρομου. Οι αστάθειες αυτές αντιμετωπίστηκαν με την κατασκευή του ανάντη σταθεροποιητικού αντιβάρου (A2), που αναλύεται στη συνέχεια.

Το διάστημα παρακολούθησης από 21/9/1999 έως 9/6/2000, παρατηρήθηκαν μικρομετακινήσεις κατά την διεύθυνση του πρηνούς του ορύγματος, μεγέθους 1 cm-2 cm (και έως 3 cm-4 cm). Στις 4/6/2003, επαναλήφθηκαν οι μετρήσεις και έδειξαν μία συστηματική μετακίνηση (κατά την διεύθυνση του πρηνούς), όλων των σημείων κατά 9 cm έως 30 cm (Νάσκος και Δημαράς, 2005).

Συγκεκριμένα, οι μάρτυρες που είχαν τοποθετηθεί στην περιοχή ανάντη του χείλους, έδειξαν μετακινήσεις 9 cm έως 16 cm, ενώ οι μάρτυρες που βρίσκονταν κατάντη του χείλους, έδειξαν μετακινήσεις 28 cm-30 cm, σε σχέση με την αρχική μέτρηση της 21/09/1999. Διαπιστώθηκε λοιπόν, μία συνολική μετακίνηση του

πρανούς, ανεξαρτήτως των τοπικών ασταθειών, σε χρόνο 8 περίπου ετών μετά την αρχική διάνοιξη του ορύγματος (Νάσκος και Δημαράς, 2005). Νέες μετρήσεις έγιναν στις 30/9/2003 και επαλήθευσαν το παραπάνω συμπέρασμα.

Συμπερασματικά, μετακίνηση είχε εκδηλωθεί στην περιοχή της ζώνης χείλους του πρανούς, με μέσο ρυθμό (ταχύτητα μετακίνησης) της τάξης των 2-3 mm/μήνα (προφανώς μεγαλύτερη τους χειμερινούς μήνες και ίσως και μηδενική το θέρος). Από τις μετρήσεις που λήφθηκαν από όλους τους μάρτυρες, η αστάθεια ήταν έντονη τουλάχιστον στην ζώνη αμέσως ανάντη του χείλους, όπου ήταν εγκαταστημένοι οι μάρτυρες και δεν επρόκειτο για τοπικές αστάθειες χείλους.

Από το σύνολο των γεωλογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών συνθηκών και από τις μετρήσεις των μαρτύρων, φαίνεται ότι το πρόβλημα είναι η συνολική ευστάθεια της περιοχής του Μεγάλου Ορύγματος (από την ανάντη του χείλους ζώνη έως τον πόδα τουλάχιστον), χωρίς να αποκλείεται και το ενδεχόμενο της ερπυστικής μετακίνησης. Πιθανή είναι η εκδήλωση τέτοιων ερπυσμών, στους ανώτερους ορίζοντες (ενότητα οφιολίθων), οι οποίοι ερπυσμοί προέρχονται τόσο από ομόρροπες ασυνέχειες προς την κλίση του πρανούς, όσο και από εδαφικά γεωυλικά.

Βάση όλων των παραπάνω, το πρόβλημα οφείλεται στις δυνητικής πολυγωνικής μορφής επιφάνειες ολίσθησης, που εκδηλώνονται από τη ζώνη ανάντη του χείλους, με έξοδο κυρίως στην περιοχή του ποδός του Μεγάλου Ορύγματος, εξαιτίας των επιφανειακών τοπικών ασταθειών, είτε λόγω τοπικών επιφανειακών κατολισθήσεων στο πρανές και στο χείλος, είτε λόγω δυνητικών δομικών κατολισθήσεων, βραχοπτώσεων κ.λ.π., τα οποία εξελίσσονται σχεδόν καθημερινά.

Η συμπεριφορά του Μεγάλου Ορύγματος ως προς τις συνθήκες ευστάθειάς του και παρά τις γενικότερες ευμενείς στρωματογραφικές συνθήκες στον πόδα του και στα κατάντη, εξαρτάται από τις συνθήκες κορεσμού, τις πιέσεις πόρων των αργιλοποιημένων ζωνών και τις πιθανές δυναμικές φορτίσεις (σεισμό), λαμβάνοντας υπ' όψη την πτωχή ποιότητα βραχώμαζας, όπου σε ένα πολύ μεγάλο ποσοστό είναι πλήρως εδαφοποιημένη, καθώς και τα δυσμενή δεδομένα της περιοχής (πολύ μεγάλο ύψος ορύγματος, απότομη κλίση πρανών, κ.α).



Εικόνα 4.18: Ανοιχτές εφελκυστικές ρωγμές και επιμήκεις θραύσεις μεγάλου μήκους, στις τεχνητές επιχώσεις, κατά μήκος του χείλους του ορύγματος.

4.4.9 Έργα σταθεροποίησης

Βασικό σταθεροποιητικό έργο της ασταθούς περιοχής του Μεγάλου Ορύγματος αποτελεί, το κατόντη του δεξιού κλάδου, μεγάλο επίχωμα-αντίβαρο Α1, εκτεινόμενο από Χ.Θ. 18+400 έως Χ.Θ. 19+050 περίπου και το ανάντη, του αριστερού κλάδου, οπλισμένο επίχωμα-αντίβαρο Α2, μεταξύ των Χ.Θ. 18+287 και Χ.Θ. 18+857 (Δημαράς κ.α., 2006).

Συγκεκριμένα:

➤ Κατόντη μεγάλο επίχωμα-αντίβαρο Α1

Το αντίβαρο Α1, διαχωρίζεται στο κάτω τμήμα (πόδι), ύψους 50 m-55 m, με κλίση πρανούς 1:1,75 και στο άνω τμήμα, με μέγιστο ύψος 100 m περίπου (νότιο υψηλότερο σημείο Χ.Θ. 18+430, στην περιοχή κατολίσθησης) και ελάχιστο 30 m περίπου (προς είσοδο της αριστερής σήραγγας Κωσταράκου), με κλίση πρανούς 1:2,5 (Δημαράς κ.α., 2006).

Οι εκσκαφές και τα έργα θεμελίωσης του που πραγματοποιήθηκαν είναι τα εξής: Αρχικά έγινε επιφανειακός καθαρισμός των φυτικών και ακατάλληλων υλικών, των επιφανειών των φυσικών πρανών που καλύφθηκαν μετ' έπειτα από το επίχωμα, αφού προηγήθηκε η κοπή των δένδρων. Στην υφιστάμενη κοίτη του ρέματος, απομακρύνθηκαν τα ακατάλληλα φερτά υλικά και ακολούθησε διάστρωση

διαχωριστικού γεωϋφάσματος και επίχωση με καθαρό κοκκώδες θραυστό υλικό (NEΠ4, Παράρτημα)¹, σε ύψος μεταξύ 2 m και 5m περίπου, από το βαθύ σημείο της κοίτης.

Για τη διευκόλυνση της απορροής των ομβρίων, κατά την κατασκευή, τοποθετήθηκε διάτρητος τσιμεντοσωλήνας (Φ600 mm), συγκεκριμένα στο κάτω μέρος της επίχωσης, σε ύψος 0,50 m-1,50 m από το βαθύ σημείο, μετά τη διάστρωση κοκκώδους θραυστού υλικού (NEΠ4, Παράρτημα) (Δημαράς κ.α., 2006). Επίσης, τοποθετήθηκε διαχωριστικό γεωϋφασμα στο άνω τμήμα της ζώνης αυτού του υλικού, εντός της βαθιάς κοίτης.

Έπειτα ακολούθησε η τμηματική αφαίρεση των παλαιών επιχώσεων, του δεξιού τμήματος της υφιστάμενης διάνοιξης, σε βάθη λίγων μέτρων έως 10 m-12 m, στο βόρειο τμήμα (Δημαράς κ.α., 2006). Τα υλικά αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μεγάλου επιχώματος, αφού απομακρύνθηκαν τα ακατάλληλα υλικά (φυτικά και οργανικοί αργιλικόι μανδύες αυξημένης πλαστικότητας), είτε σε χώρους οριστικής ή προσωρινής απόθεσης (π.χ. κεντρικός δανειοθάλαμος), είτε χρησιμοποιήθηκαν για την επένδυση του πρανούς του επιχώματος Α1.

Στη συνέχεια, εκσκάφτηκαν αναβαθμοί-βαθμίδες αγκύρωσης στα φυσικά πρανή, ύψους 1,0 m περίπου και κλίσης $\cong 2:1$, αναλόγως του εκσκαπόμενου υλικού, ώστε οι αναβαθμοί αγκύρωσης να είναι ευσταθείς (Δημαράς κ.α., 2006). Οι βαθμίδες κατασκευάστηκαν παράλληλα με την ανέγερση του σώματος του επιχώματος, για τη μακροχρόνια διατήρησή τους σε ακέραια κατάσταση, μιας και οι εκσκαφές γινόταν σε εδαφικά υλικά. Η διαμορφωμένη επιφάνεια έδρασης, διαστρώθηκε με διαχωριστικό γεωϋφασμα και ακολούθησε η επίχωση της με καθαρό κοκκώδες θραυστό υλικό NEΠ4 (Παράρτημα).

Το σώμα του κάτω τμήματος του μεγάλου επιχώματος, αποτελείται κυρίως από υλικό NEΠ1 (Παράρτημα), με μία εξωτερική ζώνη υλικού NEΠ2 (Παράρτημα) και υλικό NEΠ4 στη ζώνη βάσης. Εξαιτίας του μεγάλου ύψους του πρανούς του κάτω τμήματος του επιχώματος Α1, κατά την ανέγερσή του, επενδυόταν με φυτική γη πάχους 30 cm (Δημαράς κ.α., 2006). Κατά την ανέγερση του κάτω τμήματος του

¹ Τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά των υλικών NEΠ4, NEΠ3, NEΠ2, NEΠ1, ο τρόπος συμπίκνωσης τους, καθώς και οι σχετικοί ποιοτικοί έλεγχοι της καταλληλότητάς τους, παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α, σύμφωνα με δοκιμές που έχουν εκτελεστεί από την Εγνατία Οδό.

επιχώματος ή και πριν δημιουργηθεί το άνω τμήμα, κατασκευάστηκε ο στραγγιστικός οχετός Α2, καθώς και τα έργα της υδρομάστευσης-υδροληψίας.

Το άνω τμήμα του κατάντη μεγάλου επιχώματος Α1, αποτελείται από τρεις διαδοχικές κύριες ζώνες υλικών: πυρήνας με υλικά ΝΕΠ2 (Παράρτημα), ενδιάμεση ζώνη με υλικά ΝΕΠ1 (Παράρτημα) και εξωτερική ζώνη με υλικά Ε1-Ε4², με επιπλέον τη ζώνη θεμελίωσης με υλικό ΝΕΠ4 και την εξωτερική αντιδιαβρωτική προστασία με φυτική γη, πάχους 1,0 m στο άνω τμήμα του επιχώματος, που βρίσκεται κατάντη της πλάγιας οδού σύνδεσης (Δημαράς κ.α., 2006).

Τέλος, στη στέψη του Α1, κατασκευάστηκε μία ζώνη, μεταβλητού πάχους με κοκκώδη θραυστά υλικά ΝΕΠ3 (Παράρτημα), ενισχυμένη με γεωπλέγματα $T_{ult}=40/40kN/m$ (Δημαράς κ.α., 2006), για την προστασία του οδοστρώματος από καθιζήσεις. Το πλάτυσμα μεταξύ του δεξιού κλάδου του αυτοκινητόδρομου και του χείλους του επιχώματος έχει επενδυθεί με αργλικές στραγγιστικές στρώσεις και φυτική γη. Σε όλες τις επενδεδυμένες επιφάνειες με φυτική γη, έγινε φύτευση.



Εικόνα 4.19: Άποψη της περιοχής, δεξιά του δεξιού κλάδου. Παρατηρείται αριστερά το οπλισμένο επίχωμα, στο ρέμα κατάντη της εισόδου της σήραγγας Κωσταράκου, καθώς επίσης διακρίνονται και έντονες διαβρώσεις.

➤ Ανάντη οπλισμένο επίχωμα αντίβαρο Α2

Το ανάντη οπλισμένο επίχωμα-αντίβαρο Α2, έχει ύψος 30 m, απότομη κλίση πρανούς και στα άκρα του το ύψος μειώνεται σταδιακά (κατά 25% από την Χ.Θ. 18+736 έως

² Υλικά Ε1-Ε4: Πρόκειται για θραυστά υλικά που διαστρώνονται σε επιμέρους στρώσεις και συμπυκνώνονται με Βαθμό Συμπύκνωσης Β.Σ. $\geq 95\%$ κατά ΑΑSHO T180-D, σύμφωνα με την Εγνατία Οδό.

το πέρας στην Χ.Θ. 18+857), για τη διευκόλυνση της κατασκευής του (Δημαράς κ.α., 2006). Για την εσωτερική ευστάθεια του, τοποθετήθηκε στους αναβαθμούς απότομης κλίσης, γεωσυνθετικός οπλισμός (γεωπλέγματα), παρά την πλήρη επίχωση της στέψης του από προϊόντα κατολίσθησης.

Ο σταθεροποιητικός ρόλος του αντιβάρου, ενισχύθηκε από το γεωμετρικό του σχήμα, όπου αυξήθηκε ο όγκος επίχωσης και κατ' επέκταση η ενεργή αντιστηρικτική του ικανότητα, ενώ ταυτόχρονα το εύρος στέψης που δημιουργήθηκε, μπορεί να συγκρατήσει επ' αυτής, μελλοντικά προϊόντα τοπικών κατολισθήσεων και βραχοπτώσεων, από το ανάντη ασταθές τμήμα του ορύγματος, εξασφαλίζοντας την προστασία του αυτοκινητόδρομου.

Πριν από τις εργασίες κατασκευής που σχετίζονται με το αντίβαρο Α2, π.χ. η κατασκευή των αποστραγγιστικών οπών, του στραγγιστηρίου Α2, του οχετού Α2, της πίσω ζώνης έδρασης του αντιβάρου κ.α., λήφθηκαν προστατευτικά μέτρα ασφαλείας, όπως:

- Τοποθετήθηκε προσωρινά φράχτης συγκράτησης βραχοπτώσεων-μικροκατολισθήσεων στην παρειά του πρανούς εκσκαφής του Μεγάλου Ορύγματος, σε ύψος 25 m-30 m, ικανότητας 1000 KJ, αγκυρούμενος με τη βοήθεια γερανού, συρματόσχοινων και ηλώσεων (Δημαράς κ.α., 2006).
- Ισχυρά προστατευτικά αποσυναρμολογούμενα μεταλλικά πετάσματα προστασίας, τοποθετήθηκαν στις θέσεις διάτρησης αποστραγγιστικών οπών, καθώς και κατά την κατασκευή του στραγγιστηρίου Α2 και της βάσης του αποστραγγιστικού οχετού Α2 (διαστάσεων 2,50 mx2,00 m και πάχους τοιχωμάτων 0,80 m (Δημαράς κ.α., 2006).
- Πραγματοποιήθηκε τοπικός καθαρισμός ή και στερέωση των εμφανώς ασταθών τεμάχων που υπήρχαν στην παρειά και στην περιοχή κοντά στο χείλος του πρανούς, χειρωνακτικά ή και με ήπια χρήση εκρηκτικών. Όπου ο καθαρισμός ήταν μη αποτελεσματικός, η στερέωση των εμφανώς ασταθών βραχωδών εμφανίσεων, γινόταν με συρματοπλέγματα και ηλώσεις.

Η εκσκαφή του στραγγιστηρίου Α2, έγινε σε μικρό βάθος, μεταξύ του υφιστάμενου κεφαλόδεσμου (οι αναμονές οπλισμού των πασσάλων που τον διασχίζουν έπρεπε να καμφθούν και να ενσωματωθούν στο επίχωμα) και του πόδα του ορύγματος, μετά τον καθαρισμό και τη διαμόρφωση της επιφάνειας. Για την τοποθέτηση του στραγγιστηρίου σωλήνα και την επίχωση του, χρησιμοποιήθηκε

καθαρό θραυστό κοκκώδες υλικό ποιότητας ΝΕΠ4 (Παράρτημα) μέχρι τη στάθμη θεμελίωσης του στραγγιστικού οχετού Α2 (Εικόνα 4.20).

Πριν από την κατασκευή του αντιβάρου Α2, κατασκευάστηκαν δύο κάτω σειρές αποστραγγιστικών οπών, μήκους 60 m περίπου ανά 6m (η κάθε σειρά), υπό κλίση $\cong 5^\circ$ (η μία σειρά) και 10° (η δεύτερη σειρά). Τοποθετήθηκε διάτρητος σωλήνας PVC, 10 atm, διαμέτρου 50 mm, περιτυλιγμένος με γεωϋφασμα, εντός διατρήματος διαμέτρου 90mm τουλάχιστον (Δημαράς κ.α., 2006).

Επίσης, πριν την κατασκευή του αντιβάρου Α2, κατασκευάστηκαν ο στραγγιστήριος σωλήνας Α2 καθώς και αποστραγγιστικός οχετός Α2.

Το σώμα του επιχώματος, κατασκευάστηκε με κοκκώδη θραυστά υλικά ΝΕΠ3 (Παράρτημα) (οπλισμένο τμήμα) και κοκκώδη υλικά ΝΕΠ2 (Παράρτημα) (ανάντη άοπλο τμήμα). Στη βάση του χρησιμοποιήθηκαν κοκκώδη καθαρά θραυστά υλικά ΝΕΠ4.

Τα ήπιας κλίσης άοπλα πρανή του επιχώματος Α2, καθώς και οι επιφάνειες της άνω βαθμίδας και της στέψης (τμήμα πλατύσματος μεταξύ της τάφρου και του πρανούς του ορύγματος), επενδύθηκαν με φυτική γη για προστασία από διάβρωση (Εικόνα 4.21). Η φυτική γη διαστρώθηκε σε πάχος 30 cm και συμπίεζονταν ελαφρά με στατικά μέσα.

Η μπροστινή ζώνη (προς το χείλος) της στέψης του Α2, επενδύθηκε επίσης με δύο σφραγιστικές αργλικές στρώσεις, συνολικού πάχους $2*20=40$ cm, (συμπυκνωμένες σε βαθμό συμπίκνωσης, $B\geq 90\%$ κατά AASHO T180-D) και έτσι διαμορφώθηκε η πεπλατυσμένη αβαθής τάφρος, με σκυρόδεμα C20/25, πάχους 0,15 m, ελαφρά οπλισμένο με δύο σειρές χαλύβδινων πλεγμάτων T196. Με σκυρόδεμα επενδύθηκε επίσης, η κάτω βαθμίδα που διαμορφώθηκε ως τάφρος ομβρίων (Δημαράς κ.α., 2006).

Φράχτης συγκράτησης-ανάσχεσης βραχοπτώσεων, τοποθετήθηκε αρχικά προσωρινά στο πρανές του ορύγματος και στη συνέχεια στερεώθηκε μόνιμα στη στέψη του τοιχίσκου στο χείλος του αντιβάρου Α2. Ο φράχτης είναι ύψους 3,0 m και ονομαστικής ικανότητας απορρόφησης ενέργειας 1000 KJ. Όλα τα μηχανικά μέρη του φράχτη που αποτελούνται από σύρμα, έχουν ενισχυμένη αντιδιαβρωτική προστασία για διάρκεια ζωής άνω των 80 ετών (κατά DIN 2078 & DIN 1142 (Δημαράς κ.α., 2006)).

Οι παρειές των οπλισμένων τμημάτων του ανάντη επιχώματος-αντιβάρου A2, επενδύθηκαν με συρματοκιβώτια (gambions), ύψους κιβωτίου 0,50 m, πλάτους 1,0 m και μήκους 2,0 m, με ένα εσωτερικό διάφραγμα. Το σύρμα του πλέγματος έχει διάμετρο τουλάχιστον 2,7 mm, αντοχή σε εφελκυσμό άνω των 350 MN/m², και διαθέτει αντισκωριακή προστασία με γαλβάνισμα ψευδαργύρου-αλουμινίου (95%Zn-5%Al κατά NFA 91-131, DIN 1548 και ASTM 856, με βάρος υλικού γαλβανίσματος τουλάχιστον 240 gr/m² επιφάνειας σύρματος). Το σύρμα επίσης διαθέτει προστατευτική επικάλυψη PVC για πληρέστερη προστασία. Το συρματοπλέγμα είναι διαστάσεων βρόγχου (6 cmx8 cm ή 8 cmx10 cm), διπλής στρέψης και οι ακμές των φατνών είναι ενισχυμένες με γαλβανισμένο σύρμα, διαμέτρου 3,4 mm τουλάχιστον (Δημαράς κ.α., 2006).

Οι φάτνες τοποθετούνται άδειες στη θέση τους και ενώνονται μεταξύ τους, κατά μήκος των ακμών, με γαλβανισμένο σύρμα από μαλακό χάλυβα, διαμέτρου 2,4 mm-3,0 mm, ίδιου βαθμού αντισκωριακής προστασίας, όπως το συρματοπλέγμα. Εσωτερικά οι φάτνες γεμίζουν με κοκκώδες υγιές σκληρό υλικό, διαμέτρου 8 cm-20 cm, (για βρόγχο 6 cmx8 cm) ή διαμέτρου 10 cm-20 cm (για βρόγχο 8 cmx10cm) (Δημαράς κ.α., 2006), με χειρονακτική τακτοποίηση, ώστε να αφήνεται ο μικρότερος δυνατός όγκος κενών και να εξασφαλίζεται σταθερή κατασκευή.

Γενικά, το αντίβαρο με οπλισμένο επίχωμα είναι μία εύκαμπτη κατασκευή με αυξημένη πλασιμότητα, παραλαμβάνει διαχρονικές ή και έκτακτες παραμορφώσεις δεκάδων εκατοστωμέτρων, χωρίς να μειώνεται η εσωτερική φέρουσα ικανότητά του, και η αντιστηρικτικής ικανότητάς του.

Εναλλακτικά το οπλισμένο αντίβαρο A2, θα μπορούσε να κατασκευαστεί με τη λύση οπλισμένης γης, δηλαδή με χαλύβδινους οπλισμούς και παρειά με προκατασκευασμένα στοιχεία πλακών σκυροδέματος, δεδομένου της ίδιας γεωμετρικής μορφής του αντιβάρου, ώστε να εξασφαλίζεται ίδια ή παρόμοια ενεργητική αντιστηρικτική ικανότητα.



Εικόνα 4.20: Βελτίωση του χείλους των τεχνητών επιχώσεων κατά μήκος του μεγάλου ορύγματος με χρήση γεώπανων. Κατόντη διακρίνονται οι έντονες διαβρώσεις και η φυτοκαλυμμένη περιοχή.



Εικόνα 4.21: Σωληνωτός οχετός (έξοδος) από τις υδραυλικές υποσκαφές στις τεχνητές επιχώσεις.

Άμεσα έργα κατασκευής

Ανεξάρτητα από τα στάδια κατασκευής των μόνιμων κύριων σταθεροποιητικών έργων, για τη μείωση εκδήλωσης μετακινήσεων του πρανούς, μέχρι την ολοκλήρωση των σταθεροποιητικών έργων και για τον καλύτερο έλεγχο της συμπεριφοράς της κατολίσθησης, πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες εργασίες:

α) Σφράγιση των υφιστάμενων εφελκυστικών ρηγμάτων-ρωγμών στην κορυφή της κατολισθαίνουσας περιοχής: Η σφράγιση των ρωγμών έγινε με επιτόπου

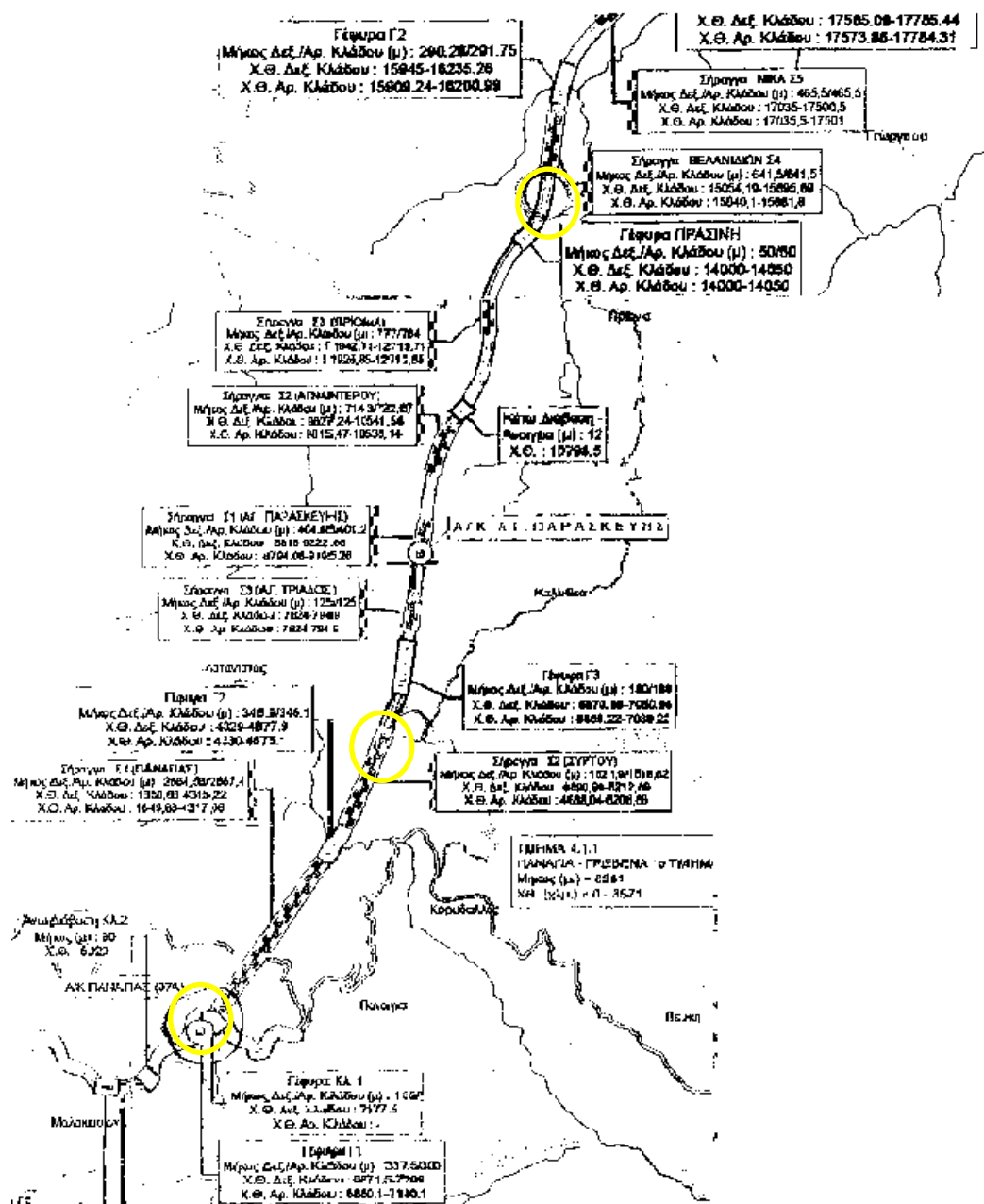
εκσκαφή και ανάμιξη με υδράσβεστο και τσιμέντο, όπου πληρώθηκαν και ελαφρώς συμυκνώθηκαν οι ρωγμές, αποτρέποντας την είσοδο ομβρίων.

β) Συστηματική παρακολούθηση των μετακινήσεων της ολισθαίνουσας περιοχής και των υπογείων υδάτων: Ακριβή συμπεράσματα για την εκτίμηση της επικινδυνότητας, της συμπεριφοράς της κατολίσθησης καθώς και της αποδοτικότητας των σταθεροποιητικών έργων (σύγκριση μετρήσεων πριν και μετά την εφαρμογή των έργων αυτών), προκύπτουν μόνο από τακτικές μετρήσεις, ανά μήνα τουλάχιστον, των εγκατεστημένων ινκλινομέτρων, πιεζομέτρων, των τοπογραφικών μαρτύρων, όπως και των μετρήσεων των μετακινήσεων σε σημεία στόχους επί του υφιστάμενου κεφαλόδεσμου. Η μη συστηματική λήψη μετρήσεων, στην προκειμένη περίπτωση, θα είχε σημαντικές αρνητικές συνέπειες, σε περίπτωση μίας ενδεχόμενης μεγάλης μετακίνησης της ολισθαίνουσας αυτής εδαφικής μάζας των 12.500.000 m³ (Δημαράς κ.α., 2006).

γ) Κατασκευή τάφρου οφρύος: Για τη συλλογή και διευθέτηση των ομβρίων, ώστε να μην εισέρχονται στο πρανές εκσκαφής του Μεγάλου Ορύγματος, ενισχύοντας τις διαβρώσεις και τις κατολισθήσεις, διαμορφώθηκε ως τάφος οφρύος, ο υπάρχων εργοταξιακός δρόμος, που διέρχεται ανάντη του χείλους εκσκαφής και ο οποίος διανοίχθηκε το καλοκαίρι του 2004 για τις ανάγκες των γεωτρήσεων. Το πλάτος του είναι 4,0 m-5,0 m και είναι προσπελάσιμος. Για τη μετατροπή του σε τάφος, αρκούσε η διαμόρφωση του και η επένδυσή του με σκυρόδεμα (π.χ. σκυρόδεμα C16/20, πάχους 20 cm, με διπλό χαλύβδινο πλέγμα T196 και αρμούς ανά 5 m-6 m πληρωμένους με υλικό σφράγισης) και η κατασκευή κρασπεδόρειθρου στο κατάντη άκρο του (Δημαράς κ.α., 2006).

4.5 Ανισόπεδος Κόμβος (Α/Κ) Παναγίας

Οι περιοχές ενδιαφέροντος στον Ανισόπεδο Κόμβο (Α/Κ) Παναγίας, όπου παρατηρήθηκαν κατολισθητικά φαινόμενα και ερπυστικές μετακινήσεις, τόσο σε τεχνητά, όσο και σε φυσικά πρανή, κατά μήκος της διάνοιξης της Εγνατίας Οδού, είναι επιγραμματικά, το τμήμα 4.1.1s της Εγνατίας Οδού, Γέφυρα (Γ1) δύο ανεξάρτητων κλάδων και Γέφυρα κλάδου εξόδου, το τμήμα 4.2.1.s, περιοχή επιχώματος Ε6 (Χ.Θ. 14+468 έως 14+929) και το τμήμα 4.1.1s-4.1.2s, περιοχή εξόδου των σηράγγων Συρτού (Χ.Θ. 6+160 και Χ.Θ. 6+330), οι οποίες αναλύονται παρακάτω (Σχήμα 4.15).



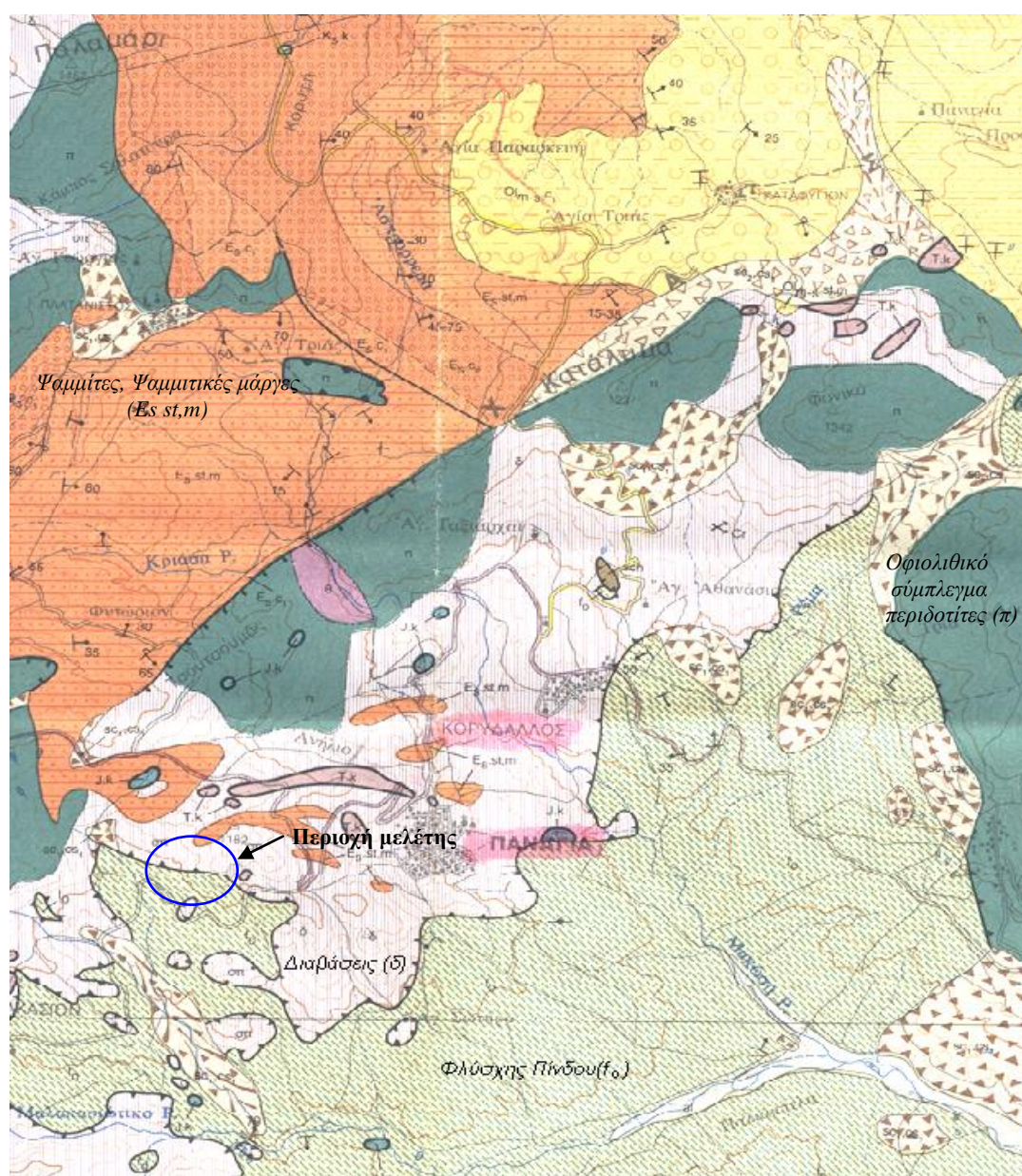
Σχήμα 4.15: Απεικόνιση του Ανισόπεδου Κόμβου (Α/Κ) Παναγίας. Σημειώνονται οι περιοχές μελέτης επί της Εγνατίας Οδού.

Στην ευρύτερη περιοχή μελέτης συναντώνται τρεις ενότητες αλπικών σχηματισμών, οι οποίοι αποτελούν τους βραχώδεις σχηματισμούς του υποβάθρου (Σχήμα 4.16) και είναι οι εξής:

- 1^η Ενότητα: Φλύσχης της ζώνης Πίνδου (Μαιστρίχτιο-Παλαιόκαινο).
- 2^η Ενότητα: Οφιόλιθοι της Βόρειας Πίνδου.
- 3^η Ενότητα: Πελαγικοί και Τουρβιδιτικοί σχηματισμοί ηλικίας Άνω Ιουρασικού- Παλαιοκαινού της Υποπελαγονικής.

Η παρούσα εικόνα της ευρύτερης περιοχής μελέτης, με τις έντονες πτυχώσεις και λεπιώσεις της ενότητας Πίνδου, οφείλεται σε μια σειρά συμπιεστικών και εφελκυστικών εναλλαγών. Ένα Ανω-ηοκαινικής ηλικίας συμπιεστικό και ένα ολιγοκαινικής εφελκυστικό («παράθυρα» Πινδικού φλύσχη), συντέλεσαν στην τεκτονική τοποθέτηση των οφιολιθικών σχηματισμών στο Πινδικό φλυσχικό κάλυμμα.

Αποτέλεσμα των παραπάνω γεγονότων, είναι ο τεμαχισμός του φλύσχη και ο σχηματισμός μιας χαοτικής δομής του, που οδηγεί με την παρουσία νερού και τις αυξημένες επιφορτίσεις, στην αποσάθρωση του και κατ'έκταση στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων.



Σχήμα 4.16: Απόσπασμα γεωλογικού χάρτη ΙΓΜΕ, κλίμακας 1:50.000.

4.6 Γέφυρα (Γ1) δύο ανεξάρτητων κλάδων και Γέφυρα κλάδου εξόδου, Α/Κ Παναγίας, τμήμα 4.1.1s Εγνατίας Οδού

4.6.1 Εισαγωγή-Θέση

Η περιοχή μελέτης ανήκει στον Α/Κ Παναγίας, του τμήματος 4.1.1s της Εγνατίας Οδού (Εικόνα 4.22). Συγκεκριμένα περιλαμβάνει: α) τη γέφυρα (Γ1) των δύο ανεξάρτητων κλάδων (δεξιού Χ.Θ. 6+872,7-7+207,8 και αριστερού Χ.Θ. 6+881,3-7+178,9), οι οποίοι εξυπηρετούν τις κινήσεις Μέτσοβο-Παναγία, Παναγία-Μέτσοβο, καθώς και β) τη γέφυρα κλάδου εξόδου (αρχή Χ.Θ. 0+51,32 και τέλος Χ.Θ. 0+183,31), με κατεύθυνση προς την Παναγία (Εικόνα 4.23).

Το μήκος της γέφυρας του αριστερού κλάδου της αρτηρίας είναι 300 m και αποτελείται από 8 ανοίγματα των 37,5 m. Η γέφυρα θεμελιώνεται με δύο ακρόβαθρα και επτά μεσόβαθρα. Η γέφυρα του δεξιού κλάδου της αρτηρίας, αποτελείται από εννέα ανοίγματα των 37,5 m, συνολικού μήκους 337,5 m και θεμελιώνεται με δύο ακρόβαθρα και οκτώ μεσόβαθρα. Η γέφυρα του κλάδου 1, έχει συνολικό μήκος 135,0 m με τέσσερα ανοίγματα των 30,0-37,5-37,5-30,0 m. Η αρχή της γέφυρας τοποθετείται στο μεσόβαθρο (Μ1κ, μεσόβαθρο Μ8 του δεξιού κλάδου, Σχήμα 4.18) και θεμελιώνεται με τρία μεσόβαθρα και ένα ακρόβαθρο (Σχήμα 4.17) (Αστερίου κ.α., 2005).

Για τις ανάγκες της κατασκευής του αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας Οδού στη συγκεκριμένη περιοχή, η αρχική χάραξη της οδού εγκαταλήφθηκε, εξαιτίας των κατολισθητικών και ερπυστικών φαινομένων και θεωρήθηκε ότι η κατασκευή και θεμελίωση της γέφυρας θα λειτουργήσει πιο αποτελεσματικά στην αντιμετώπιση των μετακινήσεων.

Πολλές γεωτρήσεις έχουν εκτελεστεί στη συγκεκριμένη περιοχή, στο χρονικό διάστημα από 20/08/2004 έως 22/07/2005, τόσο για τις ανάγκες της αρχικής χάραξης της Ε.Ο., όπου τελικά εγκαταλήφθηκε, όσο και της κατασκευής της γέφυρας που τελικά υιοθετήθηκε. Η παρακολούθηση των εδαφικών μετακινήσεων στην ευρύτερη περιοχή, καθώς και στη γέφυρα, έγινε με την τοποθέτηση κλισιομέτρων σε ορισμένες από τις γεωτρήσεις.

Χαρακτηριστικό στην περιοχή είναι, τα έντονα καιρικά φαινόμενα που έχουν οδηγήσει σε μέσο ετήσιο ύψος βροχής 1100-1300 mm (Βροχομετρικός χάρτης της Ελλάδας που συντάχθηκε με βάση στοιχεία της Δ.Ε.Η. για το 1950-1974).



Εικόνα 4.23: Άποψη της γέφυρας (Γ1) των δύο ανεξάρτητων κλάδων και της γέφυρας κλάδου εξόδου, με κατεύθυνση προς την Παναγία.

4.6.2 Γεωμορφολογία περιοχής μελέτης

Γενικά, το μορφολογικό ανάγλυφο της περιοχή μελέτης είναι ομαλό, λαμβάνοντας υπ' όψη όμως τα δύο ρέματα (Χ.Θ. 7+085 και Χ.Θ. 7+200), που βρίσκονται εγκάρσια προς τον άξονα της γέφυρας, διακρίνονται τρία τμήματα διαφορετικής γεωμορφολογικής εικόνας: α) το δυτικό τμήμα, με υπόβαθρο το σχηματισμό του φλύσχη και κλίσεις των 15° - 25° , β) το κεντρικό τμήμα που αναπτύσσεται σε εδαφικά υλικά οφιολιθικής σύστασης, με ήπιο ανάγλυφο, μικρές κλίσεις (10°) και ορατά ίχνη ερπυστικών φαινομένων, εδαφικών μετακινήσεων και ρωγμών και γ) το ανατολικό τμήμα, το οποίο αναπτύσσεται επίσης σε εδαφικά υλικά οφιολιθικής σύστασης, ενώ σημαντικό μέρος καταλαμβάνουν τα υλικά τεχνητών επιχώσεων, πάχους 10,0 m, δημιουργώντας έτσι κλίσεις των 20° - 30° , με ίχνη θραύσεων και εδαφικών μετακινήσεων (Αστερίου κ.α., 2005).

4.6.3 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

α) Περιοχή θεμελίωσης της γέφυρας από την αρχή έως και τη Χ.Θ. 7+025 περίπου του αριστερού κλάδου (Βάθρα Α0, Μ1, Μ2 και Μ3)

Σε αυτό το τμήμα συναντώνται εδαφικά υλικά φλυσχικής προέλευσης και το φλυσχικό υπόβαθρο. Όσο αναφορά τα επιφανειακά, εδαφικά υλικά, αποτελούνται από καστανές έως τεφροκάστανες αργίλους, πάχους 2,5-5,0 m περίπου, ή αργιλοϊλύες με άμμο, ενώ συχνή είναι η παρουσία χαλικιών ψαμμιτικής σύστασης

(Αστερίου κ.α., 2005). Στο σχηματισμό του φλύσχη, χαρακτηριστικές είναι οι εναλλαγές αργιλοϊλλολίθων και ψαμμιτών, σε κυμαινόμενες αναλογίες, π.χ. από αργιλοϊλλολίθους με λεπτές ενστρώσεις ή θραύσματα-λατύπες ψαμμίτη, έως ψαμμίτες με λεπτές ενστρώσεις αργιλοϊλλολίθου. Συχνά παρεμβάλλονται και στρώσεις αργίλου με ιλύ, με λίγα λεπτά χαλίκια ψαμμίτη και ιλλολίθου.

Οι επιφανειακές άργιλοι του μανδύα αποσάθρωσης, παρουσιάζουν μέτρια πλαστικότητα και μέση συνεκτικότητα, ενώ οι άργιλοι στα ανώτερα τμήματα και μέσα στη μάζα του φλύσχη, είναι μέτριας πλαστικότητας, στιφρές και τοπικά σκληρές. Ο φλύσχος παρουσιάζεται έντονα τεκτονισμένος. Χαρακτηρίζεται από σχιστοποίηση των αργιλοϊλλολίθων, από συνεχή παρουσία θραυσμάτων-λατύπων ψαμμίτη μέσα σε αργιλοϊλλολιθικά υλικά, καθώς και από πολυάριθμες ασυνέχειες (κυρίως διακλάσεις) στα ψαμμιτικά στρώματα (Αστερίου κ.α., 2005). Η αντοχή των φλυσχικών σχηματισμών, ανάλογα με το ποσοστό συμμετοχής του ψαμμίτη στην μάζα τους, κυμαίνεται κατά θέσεις. Η ποιότητα της βραχόμαζας του φλύσχη χαρακτηρίζεται από πτωχή στους αργιλοϊλλολιθικούς, έως μέτρια στους ψαμμιτικούς ορίζοντες.

Ο σχηματισμός του φλύσχη είναι ημιδιαπερατός σχηματισμούς, ενώ τα αργιλοϊλλολιθικά υλικά, είναι πρακτικά αδιαπέρατα. Στα ψαμμιτικά στρώματα, εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους τους, σχηματίζονται υδροφορίες, περιορισμένης έκτασης, υπό πίεση.

Από τις μετρήσεις στάθμης του νερού κατά μήκος της περιοχής θεμελίωσης της γέφυρας, παρατηρήθηκε διακύμανση στο βάθος από 0,80 m έως 4,15 m και τοπικά εμφανίστηκαν φαινόμενα αρτεσιανισμού. Κατάντη της επαρχιακής οδού του Μαλακασίου, η στάθμη του νερού μετρήθηκε στα 3,90 m (Αστερίου κ.α., 2005).

Γενικά, στο τμήμα αυτό, δεν παρατηρήθηκαν ιδιαίτερες αστάθειες του φυσικού πρανούς.

β) Περιοχή θεμελίωσης της γέφυρας (από Χ.Θ. 7+025 έως Χ.Θ. 7+150 περίπου) του αριστερού κλάδου

Εδαφικά υλικά οφιολιθικής κυρίως προέλευσης, το οφιολιθικό υπόβαθρο και το υποκείμενο φλυσχικό υπόβαθρο, δομούν αυτό το τμήμα. Τεχνικογεωλογικά, ο φλύσχος περιγράφεται παραπάνω.

Τα εδαφικά υλικά, αποτελούνται από υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των υποκείμενων οφιολιθικών πετρωμάτων, από προσχλωσιγενή υλικά προερχόμενα από

ερπυστικές-ολισθητικές κινήσεις, από τα παρακείμενα πρανή και από υλικά χειμαρρωδών αποθέσεων. Πρόκειται δηλαδή, για καστανέρυθρες και πρασινωπές αργίλους με ιλύ και άμμο, με χαλίκια λεπτά έως μέσα, οφιολιθικής κυρίως προέλευσης και αργιλώδης άμμος που εμφανίζεται κατά θέσεις. Στους οφιολιθικούς σχηματισμούς συναντώνται κυρίως περιδοτίτες και κατά θέσεις διαβάσεις, ανδεσίτες και σπιλίτες, ενώ χαρακτηριστική είναι η εμφάνιση γάββρων με την μορφή ασύνδετων χαλικιών. Οι άργιλοι που εμφανίζονται στα επιφανειακά υλικά, έχουν πάχος έως 7 m περίπου, είναι χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, μέσης συνεκτικότητας έως στιφρές (Αστερίου κ.α., 2005).

Τα οφιολιθικά πετρώματα, παρουσιάζονται μέτρια έως ισχυρά αποσαθρωμένα και εξαλλοιωμένα, με περιδοτιτική κυρίως σύστασης. Η ποιότητα της βραχώμαζας τους χαρακτηρίζεται από πολύ μικρή αντοχή.

Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής θεμελίωσης της γέφυρας, το ανάγλυφο είναι ομαλό, υπάρχουν όμως ενδείξεις τοπικών αναθολώσεων και ερπυστικών μετακινήσεων, από μετακινήσεις εδαφικών υλικών, με την μορφή αβαθών ερπυσμών και λασπορών. Κλισιομετρικές μετρήσεις στην περιοχή, έδειξαν κίνηση σε βάθος 7,50 m-8,00 m και 13,50 m-14,00 m (Αστερίου κ.α., 2005).

Εντός των οφιολιθικών πετρωμάτων χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη υδροφορίας, που εξαιτίας του δευτερογενούς πορώδους τους, κινείται το νερό, μέσω των διακλάσεων και των διαρρήξεων τους. Από μετρήσεις πιεζομέτρων παρατηρήθηκαν διακυμάνσεις της στάθμης του νερού στο συγκεκριμένο τμήμα. Κατά την διάρκεια των εργασιών, η στάθμη του νερού ήταν από 0,80 m-5,50 m, ενώ στην τελευταία μέτρηση των πιεζομέτρων (26/11/2004) η στάθμη ήταν 0,12 m. Επίσης, ανάντη της περιοχής θεμελίωσης της γέφυρας, η διακύμανση της στάθμης μετρήθηκε από 0,40 m έως 2,00 m, προφανώς σε άμεση συνάρτηση με το παρακείμενο ρέμα, ενώ σε διπλανή γεώτρηση, μετρήθηκε από 6,00 m έως 6,60 m (Αστερίου κ.α., 2005). Από τη διακύμανση της στάθμης του νερού, φαίνεται ότι στην περιοχή υπάρχουν ανεξάρτητοι υδροφόροι ορίζοντες, όπου η στάθμη τους αναμένεται να φτάσει την επιφάνεια του εδάφους, σε περίοδο βροχοπτώσεων.

γ) Περιοχή θεμελίωσης της γέφυρας (από Χ.Θ. 7+150 περίπου) του αριστερού κλάδου έως την είσοδο της σήραγγας

Αυτό το τμήμα, χαρακτηρίζεται από τεχνητές επιχώσεις, εδαφικά υλικά οφιολιθικής προέλευσης και το οφιολιθικό υπόβαθρο. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως και σε

αυτό το τμήμα τα υλικά των τεχνητών επιχώσεων έχουν οφιολιθική προέλευση. Τα εδαφικά υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των οφιολίθων, παρουσιάζονται με κλίσεις 15°-20°, ενώ τα προϊόντα των τεχνητών επιχώσεων έχουν κλίσεις 20°-25° (Αστερίου κ.α., 2005).

Οι υποκείμενοι οφιολιθικοί σχηματισμοί αποτελούνται από περιδοτίτες, διαβάσεις, ανδεσίτες, ενώ σε μικρότερο ποσοστό συναντώνται σπλίτες, αργιλιτωμένοι ανδεσίτες, κερατόλιθοι και γνευσιοσχιστόλιθοι. Η ποιότητα της βραχώμαζας ποικίλει, από πτωχή έως μέτρια προς το κεντρικό τμήμα της περιοχής θεμελίωσης της γέφυρας, ενώ μέτρια έως καλή παρουσιάζεται προς την είσοδο της σήραγγας Παναγίας. Η αντοχή των οφιολιθικών πετρωμάτων ποικίλει εξαιτίας της διαφορετικής ποιότητας της βραχώμαζας. Η ποιότητα της βραχώμαζας επηρεάζεται δυσμενώς από τοπικά φαινόμενα τεκτονισμού, τα οποία ενισχύονται από την εμφάνιση γνευσιοσχιστολίθων ή άλλων σχιστοποιημένων τύπων, καθώς και την παρουσία φακών του ενδιάμεσου τεκτονικού φλύσχη.

Στα οφιολιθικά πετρώματα χαρακτηριστικές είναι οι διακλάσεις, με επιφάνειες τραχείες, κυματοειδείς, κλειστές ή ανοιχτές έως 1,00 mm, με αργιλοαμμώδη υλικά πλήρωσης, κλίσεως από 0°-20° (υποοριζόντιες), 45°, 60°-70° και 80°-90° (παρακατακόρυφες). Στους περιδοτίτες όμως, οι διακλάσεις εμφανίζονται ελαφρά κυματοειδείς έως επίπεδες, ολισθηρές με σερπεντίνη και άλλα αργιλικά ορυκτά (Αστερίου κ.α., 2005).

Σε αυτό το τμήμα, παρατηρούνται ερπυστικές κινήσεις και λασποροές, οι οποίες συναντώνται πιο αυξημένες και στις τεχνητές επιχώσεις, με την παρουσία τοπικών θραύσεων. Μετρήσεις από κλισιόμετρα έδειξαν μετακίνηση στα 3,00 m. Συμπεραίνεται λοιπόν ότι, οι μετακινήσεις αυτές των εδαφικών υλικών, ενισχύονται από το πρόσθετο βάρος των όγκων των τεχνητών επιχώσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση των ωθήσεων γαιών στα βάθρα της γέφυρας.

Τα προϊόντα των τεχνητών επιχώσεων εμφανίζονται είτε ως αδιαπέρατα, είτε ως ημιδιαπερατά, ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύσταση και τον βαθμό συμπύκνωσής τους.

Οι στάθμες του υπογείου νερού κατά μήκος της περιοχής θεμελίωσης της γέφυρας, βρέθηκαν σε πολύ μικρά βάθη από την επιφάνεια (1,10 m-2,70 m). Αυτό πιθανόν οφείλεται στην κίνηση νερού προς τα κατάντη, κατά μήκος της ανώτερης επιφάνειας των βραχωδών σχηματισμών, όπου κατά τις υγρές περιόδους η στάθμη θα συναντηθεί σε μικρότερα βάθη από την επιφάνεια του εδάφους. Ανάντη της περιοχής,

οι στάθμες κυμάνθηκαν από επιφανειακές, με ασθενή αρτεσιανισμό έως τα 4,65 m (Αστερίου κ.α., 2005).

δ) Περιοχή θεμελίωσης της γέφυρας του κλάδου εξόδου προς Παναγία

Οι γεωλογικές-τεχνικογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή αυτή, είναι παρόμοιες με αυτές του προηγούμενου τμήματος (Χ.Θ. 7+150 του αριστερού κλάδου της γέφυρας έως την είσοδο σήραγγας), με τη μόνη διαφορά ότι στα 2/3 της περιοχής χάραξης του κλάδου, τα προϊόντα των τεχνητών επιχώσεων καλύπτουν τα εδαφικά υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των οφιολίθων. Όσο αναφορά την ποιότητα της βραχώμαζας κατά μήκος της χάραξης, χαρακτηρίζεται από μέτρια έως πτωχή (Αστερίου κ.α., 2005). Από άποψη αντοχής, τα πετρώματα χαρακτηρίζονται πολύ μικρής αντοχής έως σκληρά.

Οι αστάθειες των υπαρχόντων πρανών, τόσο αυτών που δομούνται από εδαφικά υλικά του μανδύα αποσάθρωσης των οφιολίθων, όσο και αυτών που δομούνται από τα υλικά των τεχνητών επιχώσεων, ισχύουν και σε αυτό το τμήμα. Χαρακτηριστικές είναι οι ερπυστικές κινήσεις και λασποροές.

Ανατολικά του ακροβάθρου Α5κ (Σχήμα 4.18) του κλάδου εξόδου (του μεταβατικού επιχώματος), εκδηλώθηκε μεγάλη κυκλική κατολίσθηση, μήκους 542 m περίπου, το όριο της οποίας βρισκόταν 70,00 m-80,00 m από το ακρόβαθρο και στο σημείο όπου ο κλάδος ενώνεται με την οδό Μαλακάσι-Παναγία.

Πρόκειται για παλαιά κατολίσθηση εκδηλωμένη σε στρώσεις του φλυσχικού σχηματισμού. Το ίχνος της ολίσθησης στην πλευρά του ακροβάθρου, καθορίστηκε από την επαφή μεταξύ οφιολιθικών σχηματισμών και φλυσχικών. Εσωτερικά αυτής της μεγάλης ολίσθησης, εμφανίστηκαν μικρότερες ολισθήσεις, ιδιαίτερα στο μέτωπο του πρανούς, από τις οποίες δημιουργήθηκαν τοπικές λασποροές ή μετακινήσεις χαλαρωμένων και ολισθημένων μαζών. Επιπλέον, εξαιτίας των μικρότερων ολισθήσεων, είχαν προκληθεί παλαιότερα αναθλώσεις του οδοστρώματος και θραύση του τεχνικού επιχώματος, στη Χ.Θ. 7+750. Από τις κλισιομετρικές μετρήσεις, ο κύκλος της ολίσθησης εντοπίστηκε σε βάθη 11,50 m και 18,00 m αντίστοιχα (Αστερίου κ.α., 2005). Αυτά τα κλισιόμετρα δεν ελέγχθηκαν από το τέλος του 1997 έως το 2004 περίπου. Η κατολίσθηση δείχνει να έχει έρθει σε κατάσταση ισορροπίας, χωρίς όμως να είναι προβλέψιμα τα αποτελέσματα μετά από ένα έντονο υδρολογικά έτος ή σε περίπτωση σεισμικής δόνησης.

Τοπικές αναθλώσεις και αναμίξεις υλικών, ως αποτέλεσμα επαναλαμβανόμενων ερπυσμών και λασποροών, απαντούν στην περιοχή ανάντη του υφιστάμενου αριστερού πρανούς της Εγνατίας Οδού, τόσο δυτικά όσο και ανατολικά του τεκτονικού ορίου οφιολίθων και φλύσχη. Το βάθος αυτών των μετακινήσεων, δεν έχει εκτιμηθεί εξαιτίας ελλιπών στοιχείων. Μπορεί να είναι αβαθή φαινόμενα, όμως από την άλλη μεριά, το απότομα αυξημένο πάχος των εδαφικών υλικών (10,40 m), θα μπορούσε να οφείλεται σε κίνηση σε βαθύτερα επίπεδα (Αστερίου κ.α., 2005).

Στην περιοχή έχει παρατηρηθεί πολύ υψηλής στάθμης υδροφόρος (0,80 m- 2,70 m). Γενικότερα, οι στάθμες του νερού κατά μήκος του κλάδου εξόδου κυμαίνονται από επιφανειακές, με φαινόμενα ασθενούς αρτεσιανισμού έως 2,70 m (Αστερίου κ.α., 2005).

Σήμερα, παρατηρούνται διαβρώσεις, ρωγματώσεις στο φρύδι του πρανούς (Εικόνα 4.24), στην περιοχή ανάντη του υφιστάμενου αριστερού πρανούς της Εγνατίας Οδού. Αυτές αποτελούν ένδειξη νέων μελλοντικών μετακινήσεων, ιδιαίτερα σε χειμερινές περιόδους, ή μετά από τη δράση κάποιου σεισμού.



Εικόνα 4.24: Διαβρώσεις και μετακινήσεις στο φρύδι του πρανούς.

4.6.4 Σεισμικότητα

Σύμφωνα με τα στοιχεία του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού, η περιοχή μελέτης κατατάσσεται στην Κατηγορία I (Δήμος Μαλακασίου) με σεισμική επιτάχυνση εδάφους: $A=\alpha \cdot g$, όπου $\alpha=0,16$.

4.6.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τη θεμελίωση

Οι μέθοδοι θεμελίωσης των γεφυρών, των μεταβατικών επιχωμάτων και η διαμόρφωση των προσωρινών εκσκαφών, επηρεάστηκαν άμεσα από: α) τη γεωλογική δομή του υπεδάφους, β) την ύπαρξη υλικών τεχνητών επιχώσεων, γ) την υψηλή στάθμη υπογείου νερού, δ) καθώς και από τις ενδείξεις των ερπυστικών μετακινήσεων των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης.

Κατά μήκος των γεφυρών παρατηρήθηκαν γεωλογικοί σχηματισμοί μεταβαλλόμενης αντοχής και βαθμού αποσάθρωσης, επωθημενοί και έντονα τεκτονισμένοι, όπου καλύπτονται επιφανειακά από εδαφικές στρώσεις, χαμηλής αντοχής και μεγάλης παραμορφωσιμότητας.

Τα υλικά τεχνητών επιχώσεων που καλύπτουν την περιοχή και συγκεκριμένα τις θέσεις των ακροβάθρων A8, A9 και τον κλάδο 1 (Σχήμα 4.18), έχουν μεταβαλλόμενο πάχος και χαλαρή δομή, ενώ με το βάρος τους προκαλούν επιπλέον φορτίσεις και ενεργοποιούν ολισθήσεις στον υποκείμενο μανδύα αποσάθρωσης (Αστερίου κ.α., 2005).

Στους σχηματισμούς της περιοχής, σχηματίζονται ανεξάρτητοι υδροφόροι ορίζοντες, ελεύθεροι ή υπό πίεση, όπου η στάθμη τους συμπίπτει με τη φυσική επιφάνεια του εδάφους ή εμφανίζεται αρτεσιανισμός.

Από τις κλισιομετρικές μετρήσεις, έχουν προκύψει μετακινήσεις διαφόρων βαθμών, μικρού αλλά εξελισσόμενου φαινομένου, που συμπίπτουν με ζώνες εδαφικών υλικών χαμηλής διατμητικής αντοχής. Χαρακτηριστικό αποτελούν οι ερπυστικές μετακινήσεις των υλικών του μανδύα αποσάθρωσης των οφιολίθων, που καλύπτουν τα 2/3 περίπου της περιοχής των γεφυρών, όχι μόνον σε μικρό βάθος (1,00 m-3,00 m) αλλά και σε μεγαλύτερο (Αστερίου κ.α., 2005).

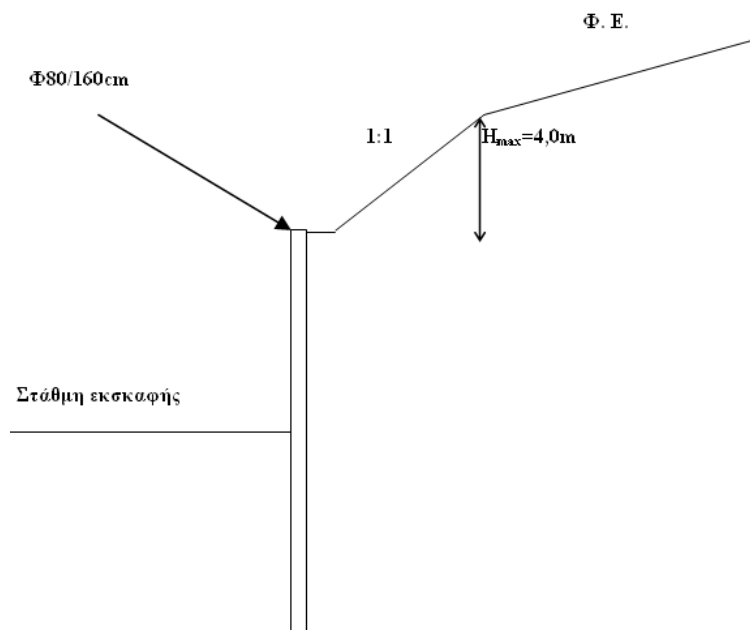
4.6.6 Μέτρα αποκατάστασης αστοχιών-Θεμελίωση γεφυρών

Η ενίσχυση της ευστάθειας στην περιοχή της γέφυρας έγινε ως εξής:

- Για την ασφαλή μεταφορά των φορτίων της γέφυρας σε στρώσεις υλικών υψηλής αντοχής, θεμελιώθηκαν τα ακρόβαθρα A0 και τα μεσόβαθρα M1, M2, M3 (Σχήμα 4.17), με πασσάλους, στη στρώση από αργιλοίλυ με άμμο και χάλικες ή λατύπες ψαμμιτικής σύστασης, πρόκειται για υλικά, σκληρού εδάφους έως μαλακού βράχου ή στη στρώση εναλλαγών ψαμμιτών και αργιλοίλυολίθων με επικράτηση των ψαμμιτών (Αστερίου κ.α., 2005).

- Τα ακρόβαθρα A8 και A9 (Σχήμα 4.18) θεμελιώθηκαν με πασσάλους στις στρώσεις της βραχώμαζας (με αντοχή άρρηκτης βραχώμαζας $\sigma=10$ MPa) (Αστερίου κ.α., 2005), αφού αφαιρέθηκαν όλα τα υλικά των τεχνητών επιχώσεων και του μανδύα αποσάθρωσης των οφιολίθων. Η συγκεκριμένη λύση ήταν πιο συμφέρουσα, σε αντίθεση με την επιφανειακή θεμελίωση, που θα ήταν αποδεκτή με κριτήρια μόνον εδαφοτεχνικά, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος των φορτίων (μεγάλες ωθήσεις γαιών, προβλήματα ολίσθησης και ανατροπής ακροβάθρων και απαίτηση μεγάλων διαστάσεων κάτοψης αυτών).
- Η θεμελίωση των υπολοίπων μεσοβάθρων της γέφυρας και του κλάδου, έγινε με φρέατα που εδράζονται μέσα στις στρώσεις του ημιβραχώδους-βραχώδους υποβάθρου (στρώσεις αργιλοϊλύ με άμμο και χάλικες ή λατύπες ψαμμιτικής σύστασης, εναλλαγές ψαμμιτών και αργιλοϊλυολίθων με επικράτηση των ψαμμιτών). Τα προφρέατα κατασκευάστηκαν με πασσάλους σε επαφή.
- Το ακρόβαθρο A5κ του κλάδου 1 (Σχήμα 4.18), θεμελιώθηκε με πασσάλους μέσα στη στρώση του ημιβραχώδους-βραχώδους υποβάθρου (Αστερίου κ.α., 2005).

Στην περιοχή των βάθρων (A0, M1, M2, M3) (Σχήμα 4.17), για τη μείωση του όγκου των εκσκαφών, για την κατασκευή των οκτώ 8 βάθρων (αριστερού και δεξιού κλάδου) και τη μικρότερη δυνατή διατάραξη του αναγλύφου από άποψη ευστάθειας, πραγματοποιήθηκαν προσωρινές εκσκαφές για την κατασκευή των πασσάλων και την σκυροδέτηση των κεφαλόδεσμων για ύψος πρανούς έως 4,00 m, με κλίση 1:1 (Σχήμα 4.17) και για μεγαλύτερα ύψη, κατασκευάστηκαν πασσαλότοιχοι με ενδιάμεσο αναβαθμό, πλάτους 2,0 m, χωρίς αγκύρωση. Ο συντελεστής ασφάλειας υπολογίστηκε ίσος με 1,42, σε περίπτωση απουσίας σεισμού και 1,34 σε περίπτωση σεισμού (Αστερίου κ.α., 2005).



Σχήμα 4.17: Σκαρίφημα που παρουσιάζει τη λύση θεμελίωσης των γεφυρών, στην περιοχή των βάθρων A0, M1, M2, M3 (για ύψος πρανούς έως 4,00 m και κλίση 1:1) (Αστερίου κ.α., 2005).

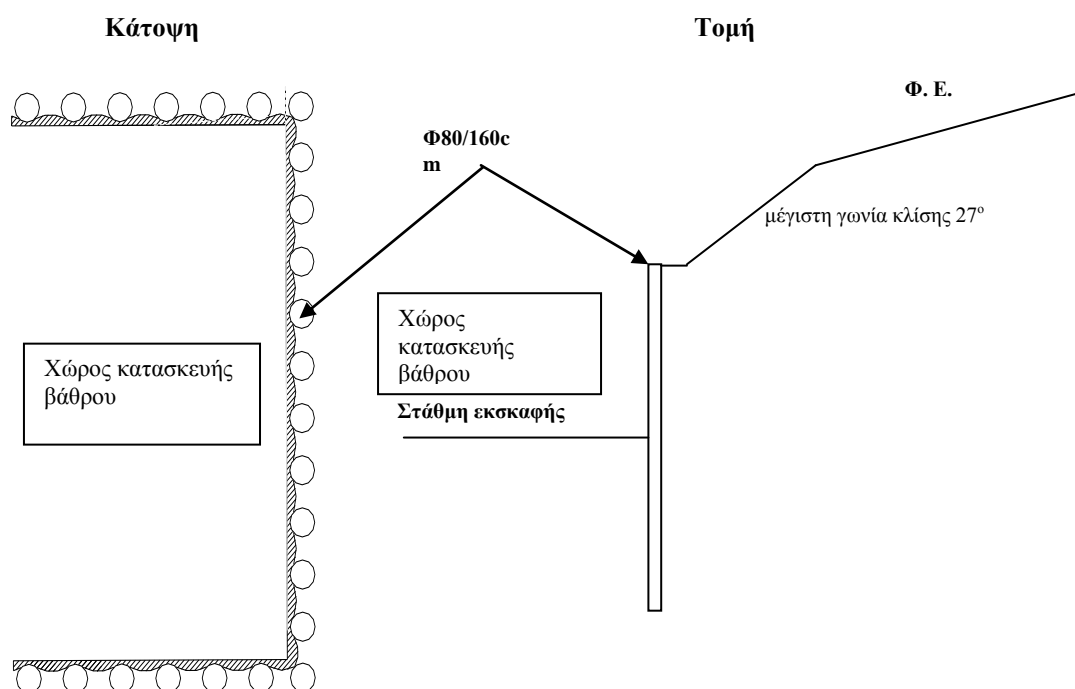
Στις περιοχές των μεσοβάθρων (M4, M5, M6, M7, M8, M1κ, M2κ, M3κ, M4κ) (Σχήμα 4.18) έγιναν προσωρινές εκσκαφές, μέσου ύψους 3,00 m. Τα μεσόβαθρα M4, M5, M6, M7δ (Σχήμα 4.18) διαμορφώθηκαν με ανοιχτές εκσκαφές με κλίση 1:2 μέχρι τη κεφαλή των φρεατοθεμελίων, για πρανές ύψους 3,00 m. Ο συντελεστής ασφάλειας υπολογίστηκε ίσος με 1,21, σε περίπτωση απουσίας σεισμού και 1,17 σε περίπτωση σεισμού (Αστερίου κ.α., 2005).

Στις περιοχές των ακροβάθρων (A8, A9, A5κ), έγιναν προσωρινές εκσκαφές μεγίστου ύψους 5,85 m. Εξαιτίας των τεχνητών επιχωματώσεων και των υλικών χαμηλών διατμητικών χαρακτηριστικών (αργιλοίλυωδών άμμων με χάλικες) που εκσκάφθηκαν, στα οποία παρατηρήθηκαν μετακινήσεις και αναθολώσεις, για να μην διαταραχθεί η ευστάθεια της ευρύτερης περιοχής (αποθεσιοθάλαμοι-υπάρχουσα οδός), προτάθηκε χρήση πασσαλότοιγων, με διαμόρφωση του πρανούς πάνω από την κεφαλή τους, με μέγιστη γωνία κλίσης 27°, όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί (Σχήμα 4.18) (Αστερίου κ.α., 2005).

Επειδή το υλικό έδρασης αποτελείται από υλικά των τεχνητών επιχώσεων και των στρώσεων αργιλοίλυωδών άμμων με χάλικες, χαμηλών διατμητικών χαρακτηριστικών, υψηλή και μεταβαλλόμενη συμπίεστικότητα σε έκταση και βάθος, όπως έχει αναφερθεί, για τη βελτίωση του χρησιμοποιήθηκαν χαλικοπασσάλοι. Έτσι,

αποστραγγίζεται γρηγορότερα η περιοχή, αυξάνεται η διατμητική αντοχή των υλικών έδρασης και μειώνονται οι αναμενόμενες καθιζήσεις.

Η μέθοδος αυτή, κρίθηκε η πλέον ενδεδειγμένη, έναντι της πλήρους αφαίρεσης των στρώσεων των τεχνητών επιχώσεων και των αργιλοίλυωδών άμμων με χάλικες, εξαιτίας του ότι αποφεύγονται εκσκαφές μεγάλου βάθους, σε περιοχή όπου ο υπόγειος ορίζοντα βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και όπου έχουν ήδη παρουσιαστεί μετακινήσεις και εκτεταμένες αστάθειες.



Σχήμα 4.18: Σκαρίφημα που παρουσιάζει τη λύση θεμελίωσης των γεφυρών στις περιοχές των μεσόβαθρων M4, M5, M6, M7, M8, M1κ, M2κ, M3κ, M4κ και των ακροβάθρων A8, A9, A5κ (για μέγιστη γωνία κλίσης 27^ο) (Αστερίου κ.α., 2005).

4.6.7 Εδαφικές αστοχίες σε τεχνητά πρανή κατά μήκος της Εγνατίας Οδού Μαλακάσι-Παναγία

Κατά την διάνοιξη της Ε.Ο. προ εικοσαετίας περίπου, στο τμήμα Μαλακάσι-Παναγία, παρατηρήθηκαν και κατολισθήσεις πρανών ορυγμάτων:

α. Ορυγμα από Χ.Θ. 6+822 έως Χ.Θ. 7+050

Σε αυτό το τμήμα, παλαιότερα είχε παρατηρηθεί κυκλικής μορφής αστοχία (από Χ.Θ. 6+875 έως Χ.Θ. 6+980 περίπου), συγκεκριμένα προκλήθηκε ολίσθηση στους φλυσχικούς σχηματισμούς, με σημαντικές ζημιές και στην τότε διαμορφωμένη

Ε.Ο. στον πόδα (αναθόλωση). Τοποθετήθηκε ύστερα από γεωτεχνική μελέτη στην περιοχή, κλισιόμετρο και βρέθηκε ότι η επιφάνεια ολίσθησης στον πόδα, βρίσκεται σε βάθος 5,0 m περίπου (Αστερίου κ.α., 2005). Για την αποκατάσταση αυτού του τμήματος, χρησιμοποιήθηκαν πρόσθετα σταθεροποιητικά μέτρα στον πόδα της ολίσθησης, συγκεκριμένα κατασκευάστηκε πασσαλοστοιχία με κεφαλόδεσμο και σταθεροποιητικό αντίβαρο στην εξωτερική παρειά του πασσαλότοιχου. Αυτά τα μέτρα, επεκτάθηκαν και εκτός των ορίων της κατολίσθησης, σε μήκος περίπου 28 m (Αστερίου κ.α., 2005). Έπειτα δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα αστοχιών στην περιοχή του πόδα, αλλά παρατηρήθηκαν αστοχίες από το παλιό αρχικό ίχνος προς τα ανάντη.

β. Ορυγμα από Χ.Θ. 7+070 έως Χ.Θ. 7+220

Κατά την κατασκευή του συγκεκριμένου επιχώματος, εκδηλώθηκαν κυκλικές θραύσεις στην στέψη του επιχώματος. Σε αυτό συντέλεσαν, ο αρκετά μεγάλου πάχους (6,0 m) εδαφικός οφιολιθικός μανδύας αποσάθρωσης, στον οποίο επικρατούσε άργιλος με χάλικες και άμμο, μέσης συνεκτικότητας και μέσης έως υψηλής πλαστικότητας, καθώς και η υψηλή στάθμη των υπογείων υδάτων (βάθους 2,00 m περίπου). Η επιφάνεια ολίσθησης παρατηρήθηκε στην επαφή μανδύα και οφιολιθικού μίγματος (Αστερίου κ.α., 2005).

Για την ενίσχυση της ευστάθειας του επιχώματος, κατασκευάστηκε πασσαλοστοιχία στον πόδα του επιχώματος, μήκους 100 m, με κεφαλόδεσμο. Η πασσαλοστοιχία επεκτάθηκε έως και την έξοδο του υφιστάμενου κιβωτοειδούς οχετού (4,00 m x 4,00 m), όπου οι συνθήκες έδρασης του οχετού δεν ήταν ανθεκτικές και είχαν παρουσιαστεί ρωγμές (Αστερίου κ.α., 2005). Μετά την ενίσχυση του και του οχετού, δεν παρατηρήθηκαν νέες ρωγματώσεις, ούτε επεκτάθηκαν παλαιότερες.

γ. Ορυγμα από Χ.Θ. 7+263 έως Χ.Θ. 7+335

Οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες στην περιοχή, είναι δυσμενείς, εξαιτίας του ικανού πάχους εδαφικού μανδύα και του πλήρως κορεσμένου και αργιλοποιημένου υποβάθρου, στα κατάντη. Στη διάρκεια κατασκευής και μετακατασκευής αυτού του επιχώματος, είχαν εκδηλωθεί κυκλικές θραύσεις και λασποροές στους μανδύες αποσάθρωσης, οι οποίοι υπέρκεινται των οφιολιθικών μιγμάτων. Το όριο της ενεργού ολίσθησης, ήταν πολυσχιδές και στο χείλος του είχαν παρατηρηθεί πτώσεις τεμάχων. Η κατάσταση παραμένει σταθερά, όσον αφορά στα όρια των ανάντη κυκλικών θραύσεων, για αρκετό χρονικό διάστημα, έως σήμερα. Σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, στον πόδα παρατηρούνται έντονες λασποροές και αποφορτίσεις

υπογείων νερών. Η κίνηση των υπογείων νερών πραγματοποιείται στην επιφάνεια μεταξύ του υποκείμενου οφιολιθικού μίγματος, στα κατάντη και των βασικών οφιολίθων με ραδιολερίτες, προς τα ανάντη και του υπερκείμενου εδαφικού μανδύα αποσάθρωσης. Στον πόδα του ορύγματος έχουν αποθεθεί ριπιδιακοί κώνοι, λεπτόκοκκων υλικών από τις λασποροές, που επαναδραστηριοποιούνται κατά τη χειμερινή περίοδο.

4.7 Περιοχή Επιχώματος E6 (Χ.Θ. 14+468 έως 14+929)

4.7.1 Γενικά

Η περιοχή μελέτης αναφέρεται στο τμήμα 4.2.1s της Εγνατίας Οδού, του Α/Κ Παναγίας, στην είσοδο της Σήραγγας Βελανιδιών και συγκεκριμένα αφορά το χαμηλό κυκλοφορούμενο τμήμα του επιχώματος E6 (μεταξύ των διατομών 288 και 301). Στο υπό μελέτη τμήμα, ο αυτοκινητόδρομος διέρχεται από το χαμηλό επίχωμα, ύψους 8,0-10,2 m, στο δεξιό πρανές και ύψους 1,4-2,3 m στο αριστερό πρανές (Εικόνα 4.24). Το χαμηλό επίχωμα προηγείται του υψηλού επιχώματος E6 (μέγιστο ύψος 22,5 m στην διατομή 304, Εικόνα 4.25), διασχίζοντας έδαφος ήπιας εγκάρσιας κλίσης περίπου 12% ($\beta=7^\circ$) (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Στη συγκεκριμένη θέση συναντάται ο μανδύας αποσάθρωσης αργιλοϊλυώδους σύστασης, του βαθύτερα μολαστικού ιλυολιθικού υποβάθρου, το οποίο αποτελείται στην ευρύτερη περιοχή από γκρίζους ιλυολίθους, ερυθροϊδούς χρώματος ιλυολίθους-αργιλολίθους και ενστρώσεις ψαμμιτών ή και κροκαλοπαγών.

Γενικά, παλαιότερα αλλά και πιο πρόσφατα, βάση μελετών, δεν είχαν παρατηρηθεί ενδείξεις δυνητικής αστάθειας του εδάφους, καθώς χαρακτηριστική είναι και η ήπια κλίση του εδάφους (ύψος επιχώματος 10 m) που δεν παραπέμπει σε φαινόμενα αστάθειας.

Στις αρχές του 2010, παρατηρήθηκαν φαινόμενα αστάθειας στο συγκεκριμένο τμήμα, τα οποία εξελίχθηκαν σε βαθιά κατολίσθηση του υπεδάφους που μετακίνησε το επίχωμα και τους κλάδους του αυτοκινητόδρομου, σε μήκος 215 m (Νάσκος, Σαϊβανίδου, 2010).



Εικόνα 4.24: Άποψη χαμηλού επιχώματος Ε6 αριστερά του αριστερού κλάδου της Ε.Ο. Σημειώνονται ο βράχος (όριο μεταξύ υψηλού και χαμηλού επιχώματος) που λειτουργεί σταθεροποιητικά στο επίχωμα και οι ρωγμές-σπασίματα που έχουν προκληθεί στο επίχωμα.



Εικόνα 4.25: Άποψη υψηλού επιχώματος Ε6 κατάντη του δεξιού κλάδου της Ε.Ο. Παρατηρούνται αστοχίες στο σώμα του επιχώματος, αγωγός εκτόνωσης του νερού από το επίχωμα και έντονη υγρασία.

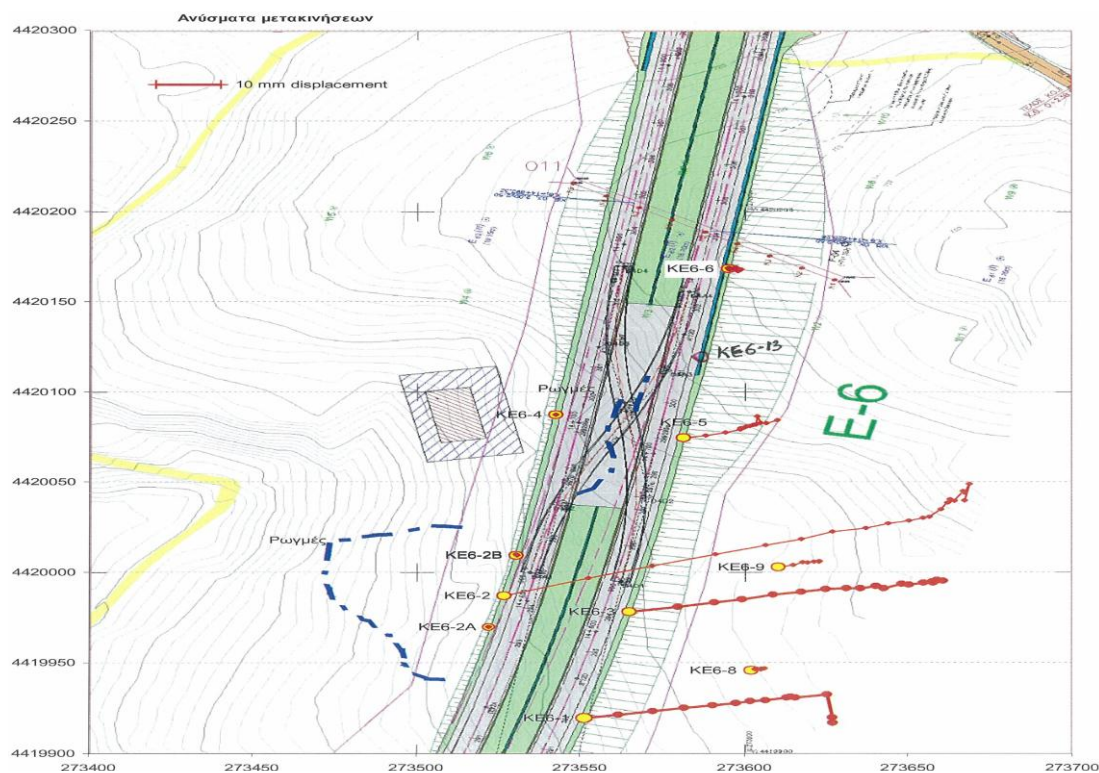
4.7.2 Στοιχεία γεωτρήσεων

Οι ερευνητικές γεωτρήσεις που έγιναν στην ασταθή περιοχή (Πίνακας 4.3) σε συνδυασμό με την εγκατάσταση ινκλινομετρικών οργάνων (Σχήμα 4.19), είχαν ως στόχο την εξασφάλιση συνθηκών ευστάθειας των κλάδων της Εγνατίας Οδού και την αντιμετώπιση των περαιτέρω κατολισθητικών φαινομένων.

Πίνακας 4.3: Γεωτρήσεις που έχουν εκτελεσθεί στην περιοχή κατολίθησης του χαμηλού τμήματος του επιχώματος Ε6 (Νάσκος, Σαϊβανίδου, 2010).

Όνομασία γεώτρησης	X	Y	Z	Βάθος (m)	Όργανο	Υ.Υ.Ο. (κατά τη διάτρηση)	Εκτέλεση
ΚΕ6-1	273551,66	4419919,35	741,68	23,40	Κλισιόμετρο	8,40	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-2	273526,98	4419986,77	739,13	19,00	Κλισιόμετρο	6,90	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-2A	273522,27	4419969,59	739,70	17,80	Κλισιόμετρο	8,00	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-2B	273530,35	273530,35	738,11	20,00	Κλισιόμετρο		ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-3	273565,18	4419977,97	739,43	31,30	Κλισιόμετρο	15,20	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-4	273542,81	4420087,07	735,02	17,00	Κλισιόμετρο	5,40	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-5	273581,58	4420074,24	735,24	27,00	Κλισιόμετρο	7,00	ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ
ΚΕ6-7	273551,52	4419996,69	737,81	23,40	-	7,20	ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ
ΚΕ6-8	273602,05	4419945,60	728,47	32,00	Κλισιόμετρο	2,80	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-9	273610,51	4420002,61	728,03	38,50	Κλισιόμετρο	1,05	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΚΕ6-12	273763,52	4420076,58	689,55	14,50	Κλισιόμετρο	6,50	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΓΠ1	273461,08	4419918,81	745,16	12,00	-	2,90	ΛΟΥΚΑΤΟΣ
ΓΠ2	273487,15	4420009,87	740,66	12,00	-	0,00	ΛΟΥΚΑΤΟΣ

Σημείωση: Τα αναγραφόμενα βάθη υπογείων υδάτων προέρχονται από πρωινές μετρήσεις στάθμης κατά τη διάτρηση.



Σχήμα 4.19: Αποψη του Επιχώματος Ε6. Απεικονίζονται τα ανύσματα των μετακινήσεων, σημειώνονται οι θέσεις των γεωτρήσεων και οι εδαφικές ρωγμές (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα βάθη που εντοπίστηκαν τα υπόγεια νερά στις γεωτρήσεις που έγιναν. Συγκεκριμένα, στις γεωτρήσεις ΚΕ6-8, ΚΕ6-9, ΓΠ1 και ΓΠ2 (Πίνακας 4.3), οι οποίες διατρήθηκαν από το έδαφος, παρατηρείται ότι η φυσική στάθμη των υπογείων υδάτων βρίσκεται υψηλά, σε βάθη 1-3 m από την επιφάνεια του εδάφους. Σε αυτές αναμένονται εποχιακές διακυμάνσεις εξαιτίας του ορεινού αναγλύφου και των χιονοπτώσεων.

Από τις γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στην επιφάνεια του επιχώματος και από στοιχεία που προέκυψαν κατά την διάτρηση των φρεάτων άντλησης, παρατηρήθηκαν σε μεγάλα βάθη από το φυσικό έδαφος στάθμες υπογείων υδάτων, εξαιρώντας τις γεωτρήσεις που διατρήθηκαν πριν τη διάτρηση των φρεάτων, όπου οι στάθμες ήταν στο ύψος της βάσης του επιχώματος περίπου. Αυτό οφείλεται είτε στη χαλάρωση του εδάφους μετά την κατολίπιση, είτε στη λειτουργία των φρεάτων άντλησης, όπου οι αντλήσεις γίνονταν συνήθως αυθημερόν με τη διαδοχική κατασκευή κάθε φρέατος.

4.7.3 Στρωματογραφία εδάφους

Από τις γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης του επιχώματος Ε6 συναντώνται τέσσερις ζώνες γεωυλικών:

α) Υλικά σώματος επιχώματος:

Πρόκειται για ιλυοαμμώδη έως αργιλοαμμώδη προϊόντα εκσκαφής του έργου, με χάλικες, που προέρχονται από τη διάνοιξη της σήραγγας Βελανιδιών και από εκσκαφή γειτονικού ορύγματος. Κυρίως προέρχονται από εκσκαφές ιλυολίθων, συναντώνται όμως και ψαμμιτικοί χάλικες. Έχουν καστανότεφρο-καστανοπράσινο χρώμα, χαμηλή πλαστικότητα και μέση συνεκτικότητα έως στιφρή.

Από πλευράς χαρακτηριστικών διατμητικής αντοχής, αυτά τα υλικά παρουσιάζουν υψηλή συνοχή $c=18$ kPa και χαμηλή γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=22^\circ$ (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

β) Αργιλικές ζώνες κάτω από την έδραση του επιχώματος και βαθύτερα:

Από τις γεωτρήσεις που έγιναν στο επίχωμα, προέκυψε αυτή η ζώνη, αποτελούμενη από καστανέρυθρου χρώματος, στιφρή άργιλο, σε μεγάλα πάχη, από 2-8 m περίπου κάτω από την έδραση του επιχώματος.

Αυτή η επιφανειακή ζώνη θα έπρεπε να είχε μειωθεί σε πλάτος, αφού εξαιτίας αυτής προκλήθηκε ο κίνδυνος ολίσθησης, εξαιτίας των χαμηλών χαρακτηριστικών

διατμητικής αντοχής της (δεν θα έπρεπε δηλαδή να συναντηθεί στις γεωτρήσεις ΚΕ6-1, ΚΕ6-Ε, ΚΕ6-5, ΚΕ6-7, Πίνακας 4.3).

γ) Ζώνη MIX:

Πρόκειται για τη ζώνη εναλλαγών των γεωϋλικών: αργιλώδεις-χαλικώδεις άμμοι τεφροπράσινου χρώματος, σκληρές άργιλοι με άμμο και κροκαλοπαγή. Στα βαθύτερα σημεία αυτής της ζώνης συναντάται και η βαθύτερη αργιλική πλαστική ζώνη. Η ζώνη MIX παρεμβάλλεται μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους (ή της αργιλικής ζώνης) και του βραχώδους ιλυολιθικού υποβάθρου (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010). Βρίσκεται σε πάχος λίγων μέτρων αριστερά του αριστερού κλάδου και αναπτύσσεται σε μεγάλα πάχη προς την κατάντη περιοχή (Εικόνα 4.26).

δ) Ζώνη υποβάθρου:

Αποτελεί το βραχώδες υπόβαθρο της περιοχής στο οποίο συναντώνται ερυθροί ιλυόλιθοι-αργιλόλιθοι μέτρια κερματισμένοι και ελαφρώς αποσαθρωμένοι. Συναντώνται σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.



Εικόνα 4.26: Άποψη των ζωνών εναλλαγής των γεωϋλικών του επιχώματος: αργιλοϊλυώδεις-χαλικώδεις άμμοι, σκληρές άργιλοι με άμμο και κροκαλοπαγή.

4.7.4 Μετρήσεις ινκλινομέτρων και μαρτύρων καθίζησης

Στις αρχές του 2010, στο χαμηλό τμήμα του Ε6, παρατηρήθηκαν παραμορφώσεις στο κατάστρωμα του δρόμου, στο δεξιό κλάδο (Δ291 και Δ292) και

στον αριστερό κλάδο, οι οποίες σε σύντομο χρονικό διάστημα επεκτάθηκαν ως εφελκυστική ρωγμή στο φυσικό πρανές, απόστασης 65 m περίπου ανάντη του άξονα του αριστερού κλάδου, ως έντονα διατμητική κίνηση, η οποία τέμνει το οδόστρωμα (στη Δ297) και ως παράλληλες ρωγμές στην κεντρική νησίδα (στις Δ297 και Δ300, (Σχήμα 4.19) (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Οι οριζόντιες μετακινήσεις στο οδόστρωμα και των δύο κλάδων, σύμφωνα και με τις τοπογραφικές μετρήσεις είναι περίπου 30 cm και οι βυθίσεις πέρασαν τα 20-30 cm περίπου (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

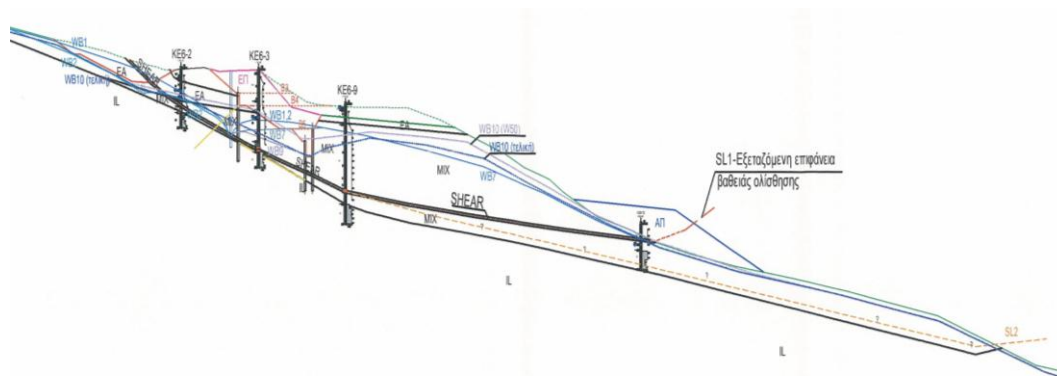
Ο δεξιός κλάδος έχει υποστεί μεγαλύτερες μετακινήσεις και μέχρι σήμερα οι συνθήκες ευστάθειας του είναι οριακές, υποδεέστερες από τα επίπεδα ασφάλειας των κανονισμών (παρά της ανάντη τάφρου) και υφίσταται γεωτεχνική αστοχία του επιχώματος, η οποία άμεσα πρέπει να αντιμετωπιστεί.

Η επιφάνεια ολίσθησης πιθανόν προϋπήρχε, σε λανθάνουσα κατάσταση, με χαρακτηριστικά διατμητικής αντοχής ενδιάμεσα ως προς τις κανονικές τιμές και ενεργοποιήθηκε όταν υπόγεια νερά διαπότισαν το υπέδαφος και σημαντικό μέρος του επιχώματος, όπου σε αυτό συνέβαλλε ότι και η κεντρική νησίδα δεν ήταν στεγανοποιημένη. Η εκτόνωση του νερού από το επίχωμα ήταν δύσκολη, τόσο εξαιτίας της έλλειψης στραγγιστικής ζώνης στο επίχωμα, όσο και εξαιτίας του αργλικού εδάφους στην περιοχή, όπου απορροφά το νερό, διογκώνεται και οδηγεί στη καθίζηση του.

Μετά την εκδήλωση των κατολισθητικών φαινομένων εγκαταστάθηκαν ινκλινόμετρα σε μερικές από τις ερευνητικές γεωτρήσεις, καθώς επίσης εγκαταστάθηκαν και 27 μάρτυρες καθίζησης.

Οι μετρήσεις των ινκλινομέτρων (ΚΕ6-1 έως ΚΕ6-5, ΚΕ6-8 και ΚΕ6-9) έδειξαν ολίσθηση του υπεδάφους, λοξής διεύθυνσης 65° ως προς τον άξονα του αυτοκινητόδρομου (Σχήμα 4.19, Σχήμα 4.20), σε βάθος 27 m περίπου από το δεξιό έρεισμα (Δ294 και Δ298) και 15 m περίπου από το αριστερό έρεισμα (Δ294 και Δ296) (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Η κατολισθαίνουσα μάζα, μαζί με τις τιμές παραμέτρων των γεωυλικών απεικονίζεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Υλικό	Τιμές παραμέτρων γεωλιθικών			
	γ (kN/m ³)	ϕ' (Deg)	c' (kPa)	ϕ'_r (Deg)
TEP - Αρλοσουλφιού-πυριτωδών υλικά επιφανούς με γράνκο	21,1	22,0	18,0	-
EA - Μήσης υψηλής πλαστικότητας πολύ σπέρσι άσπρος έως με το βάθος αμυδρός γροθιάς σκληρή άσπρος γροθιάς - μέσης πλαστικότητας	20,0	19,0	30,0	$\phi'_r = 13,0$
MIX - Ζώνη μετών υλικών (μήσης πυκνότερος υλοαργιλωδής - γροθιάς άσπρος, αποσπασματικά έως υψηλή κρυσταλλινή γροθιάς - μέσης πλαστικότητας αμυδρός πολύ σπέρσις - σκλήρος περίπου Εαβ	21,0	30,0	12,0	-
SHEAR - Ζώνη ολίσθησης εντός πολύ σπέρσις - σκλήρος άσπρος, αμυδρός άσπρος μέσης πλαστικότητας Εα	20,5	-	-	$\phi'_r = 14,0 - 13,5$
IL - Καταρτινός αργιλωδής (Ε και παραρτινός υλικός) IL, μέτρο - σπέρσις αποσπασματική, λίγο - μέτρο κρυσταλλικός	24,8	28,0	50,0	
ETP - Αμμογροθιά υλικό νέου επιφανούς E1-E4	21,0	30,0	0,00	-
AT1 - Απόβλατος προϊόντων εκσκαρών σε χρονική κατάσταση	18,0	25,0	5,0	-

Σχήμα 4.20: Απεικόνιση της κατάστασης μετά την εκδήλωση της ολίσθησης λαμβάνοντας υπ' όψη: τη γεωμετρία, τη βαθιά επιφάνεια ολίσθησης, τα γεωυλικά, τα υπόγεια νερά, καθώς και τα στοιχεία ενίσχυσης (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Η κατολίσθηση εξελίχθηκε στην αρχή των μετρήσεων (25/2/10) με υψηλό ρυθμό 14 mm/μήνα, ενώ μετά τις 12/3/10 παρατηρήθηκε αισθητή μείωση σε 1 mm/μήνα ή 2,5 mm/μήνα (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Η μείωση αυτή οφείλεται στην κατασκευή των 20 αποστραγγιστικών φρεάτων στο χρονικό διάστημα από 5/3-13/3. Συγκεκριμένα για την ευστάθεια της περιοχής ως **άμεσα μέτρα** λήφθηκαν:

- Εκσκαφές αποφόρτισης της ανάντη περιοχής και κατασκευή βαθιάς αποστραγγιστικής τάφρου. Οι εργασίες ξεκίνησαν τέλη Φεβρουαρίου και τελείωσαν μέσα Μαΐου.

- Κατασκευή 20 φρεάτων άντλησης (5/3-13/3), για να διατηρούν χαμηλή τη στάθμη των υπόγειων νερών, δυναμικότητας άντλησης $Q \geq 10 \text{ m}^3/\text{h}$. Συναντούν το βραχώδες υπόβαθρο σε βάθος περίπου 18-24 m και εισχωρούν σε αυτό 4 m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

➤ Επίστρωση της κεντρικής νησίδας με αδιαπέρατη μεμβράνη (εκτός του τμήματος κατασκευής των φρεάτων άντλησης), αντί των σκύρων υλικών που αποτελούνταν και από τα οποία εισχωρούσε το νερό του καταστρώματος του δρόμου στο επίχωμα.

Τα παραπάνω άμεσα μέτρα που λήφθηκαν, ιδιαίτερα τα φρέατα άντλησης, βοήθησαν στην άμεση σταθεροποίηση και στο να μη διακοπή η κυκλοφορία του αυτοκινητόδρομου.

Εντός του Μαΐου, η μέση συνολική σταθεροποιημένη παροχή άντλησης ήταν 5-10 m³/h. Σε περιόδους βροχοπτώσεων, παράδειγμα το Μάρτιο, η παροχή άντλησης είναι αυξημένη έως και 30 m³/h (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Εξαιτίας της ταπείνωσης των υπογείων υδάτων λόγω αντλήσεων και της πρόσθετης σταθεροποίησης του υπεδάφους και εξαιτίας του φορτίου του επιχώματος, στην ανάντη οριογραμμή οι καθιζήσεις ήταν 2 cm, βάση των μαρτύρων καθίζησης, ενώ στην κατάντη 3 cm-4 cm (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Στο υψηλό τμήμα του επιχώματος Ε6, παρατηρήθηκαν ερπυστικά φαινόμενα στη θέση θεμελίωσης του, τα οποία συνεχίζονται να εμφανίζονται (Νοέμβριος, 2010). Αυτό πιθανόν οφείλεται σε κατασκευαστικό λάθος του αυτοκινητόδρομου (δεξιού κλάδου) πάνω σε αργιλώδες έδαφος, με αποτέλεσμα τη διόγκωση του αργιλικού εδάφους και την καθίζηση της περιοχής, κατάντη του αυτοκινητόδρομου.

Τα ινκλινόμετρα στην πλειοψηφία τους δείχνουν ρυθμούς οριζόντιας μετακίνησης λιγότερο από 1 mm/μήνα στην κεντρική περιοχή (ΚΕ6-3, Πίνακας 4.3) και λιγότερο από 2,5 mm/μήνα στην ακραία περιοχή συναρμογής με το υψηλό τμήμα του επιχώματος (ΚΕ6-5, Πίνακας 4.3), το οποίο παρουσιάζει αστάθεια λόγω ολίσθησης στη βάση του (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Από τα άμεσα μέτρα που λήφθηκαν για την ευστάθεια της περιοχής, η κατολίσθηση έχει σταθεροποιηθεί προσωρινά, με μικρή τιμή συντελεστή ασφάλειας πολύ κοντά στη μονάδα, γεγονός που δείχνει την ύπαρξη αργών ενεργών μετακινήσεων ερπυστικού τύπου π.χ. παρουσία ρωγμών στο οδόστρωμα (Εικόνα 4.27), στο επίχωμα (Εικόνα 4.28) το χρονικό διάστημα Οκτώβρη-Δεκέμβρη του 2010.



Εικόνα 4.27: Μετακινήσεις στο οδόστρωμα του δεξιού κλάδου (περίπου 30 cm και βυθίσεις 20-30 cm περίπου) και ρωγμές στην κεντρική νησίδα (Οκτώβριος, 2010).



Εικόνα 4.28: Άποψη του επιχώματος κατάντη του δεξιού κλάδου του αυτοκινητόδρομου, όπου παρατηρείται αστοχία.



Εικόνα 4.29: Άποψη επιχώματος κατάντη του δεξιού κλάδου. Διακρίνονται θραύσεις, διαβρώσεις, στη βάση του επιχώματος, εξαιτίας του νερού που έχει εγκλωβιστεί στα αργιλικά υλικά.

4.7.5 Χαρακτηριστικά της κατολίσθησης

Από τη στρωματογραφία της περιοχής μελέτης, τις τοπογραφικές αποτυπώσεις των ρωγμών, τις γεωλογικές έρευνες της κατάντη περιοχής του αυτοκινητόδρομου και των ινκλινομετρικών μετρήσεων, προέκυψαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατολισθαίνουσας μάζας: α) μήκος ολίσθησης 340 m (ενδεχομένως και 560 m), β) πλάτος 220 m, γ) μέγιστο βάθος 15 m στην ανάντη αριστερή οριογραμμή του δρόμου και 27 m στην κατάντη δεξιά οριογραμμή του δρόμου, δ) εμβαδόν επιφάνειας 63.000 m² και ε) όγκος υλικών ολίσθησης 1.100.000 m³ (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Γενικά τα παραπάνω στοιχεία καλύπτουν το άνω τμήμα της ολίσθησης, σε αντίθεση με το κατάντη τμήμα, όπου τα πλευρικά όρια και ο πόδας αυτής έχουν προκύψει βάση στρωματογραφίας και των αναλύσεων ευστάθειας.

Έχει αποκαλυφθεί ερυθροϊώδη σκληρή άργιλος μέχρι τα 8,3 m και ερυθροϊώδης υγής ιλυόλιθος σε μεγαλύτερα βάθη, κεντρικά του επιχώματος (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010). Η ολίσθηση μπορεί να εκτίνεται μέχρι το κατάντη ρέμα (επιφάνεια SL2, Σχήμα 4.20).

4.7.6 Έργα ενίσχυσης

Για την αποκατάσταση της κατολίσθησης του επιχώματος Ε6 κατασκευάστηκαν τρεις σειρές φρεατοπασσάλων, βαθιάς μόνιμης στράγγισης, καθώς και ένα σταθεροποιητικό αντίβαρο σε απόσταση 250 m περίπου (Νάσκος, Σαϊβανίδου, 2010), κατάντη του αυτοκινητόδρομου, αποτελούμενο από τα προϊόντα των εκσκαφών (Εικόνα 4.30). Γενικά, οι φρεατοπάσσαλοι λειτουργούν ως κατακόρυφες ηλώσεις σε κάμψη-διάτμηση, χωρίς εφελκυσμό, λαμβάνοντας υπ' όψη τη θραύση του περιβάλλοντος εδάφους ανάμεσα από τους πασσάλους.

Κατά την κατασκευή του έργου άμεσα μέτρα αναχαίτισης της κατολίσθησης αποτελούν τα φρέατα άντλησης (Εικόνα 4.31), όπως έχει αναφερθεί, τα οποία καλό είναι να διατηρηθούν και κατά το τελικό στάδιο όπου η άντληση διακόπτεται.

Η διάνοιξη προσωρινών οδών προσπέλασης προς τον πόδα του επιχώματος, καθώς και ο καθαρισμός της περιοχής που αποτέθηκαν τα προϊόντα εκσκαφών σε χώρο κατάντη του έργου, αποτέλεσαν αρχικές προπαρασκευαστικές εργασίες.

Τα παραπάνω έργα ενίσχυσης κατασκευάστηκαν κατά μήκος του δεξιού κλάδου και του δεξιού πρானούς του επιχώματος.

Συγκεκριμένα, στο δεξιό κλάδο έγινε τμηματική εκσκαφή σε βάθος μέχρι 5 m από το οδόστρωμα, όπου διαμορφώθηκε το πρώτο προσωρινό δάπεδο εργασίας κατασκευής των φρεατοπασσάλων της πρώτης σειράς (Σ1Π), διαμέτρου $D=1,20$ m, κατασκευασμένων από σκυρόδεμα C30/37. Τα φρέατα άντλησης λειτουργούσαν διαρκώς κατά την εκσκαφή. Βασική προϋπόθεση ήταν η εισχώρηση της αιχμής των πασσάλων 5 m περίπου, εντός του βραχώδους, ιλυολιθικού κυρίως υπεδάφους, η οροφή του οποίου εντοπίστηκε κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Σε βάθος μέχρι 4 m από τις κεφαλές των πασσάλων (Σ1Π), πραγματοποιήθηκε επιπλέον εκσκαφή και κατασκευάστηκαν οι προβλεπόμενες αγκυρώσεις. Η εκσκαφή ήταν τμηματική, μικρού μετώπου μέχρι 15 m. Αρχικά κατασκευάζονταν τα αγκύρια στους πασσάλους του προηγούμενου μετώπου και έπειτα συνεχιζόταν η εκσκαφή. Τα προεντεταμένα αγκύρια της Σ1Π, κατασκευάστηκαν μέσω των κορμών των πασσάλων με κλίση 35° ως προς την οριζόντια διεύθυνση (Σχήμα 4.20). Η διάμετρος του διατρήματος ήταν 130 mm και το πακτωμένο μήκος του εντός του ιλυολιθικού υποβάθρου 9,00 m, ώστε να εξασφαλίζεται το απαιτούμενο φορτίο λειτουργίας $E_k=700$ kN (αντίσταση σχεδιασμού χαλύβδινων τενόντων τουλάχιστον 980 kN). Όλα τα αγκύρια θα προεντείνονται μετά την τοποθέτησή τους σε φορτίο επιβεβαίωσης 980 kN και οι κεφαλές τους θα σφηνώνονται σε φορτίο 500 kN (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010). Το επίπεδο της δεύτερης (Σ2Π) και της τρίτης σειράς (Σ3Π) φρεατοπασσάλων δημιουργήθηκε από την εκσκαφή του εδάφους κάτω από την έδραση του επιχώματος και της κατάντη περιοχής του και βρίσκεται τουλάχιστον 1 m υψηλότερα της κεφαλής των πασσάλων Σ3Π (Νάσκος, Σαϊβανίδου, 2010). Οι φρεατοπάσσαλοι πρέπει να κατασκευάζονται από το δάπεδο που έχει ορισθεί και όχι από βαθύτερα επίπεδα. Τα υλικά αυτής της εκσκαφής και γενικότερα όλων των εκσκαφών που είχαν πραγματοποιηθεί αποτίθονταν μόνιμα στον κατάντη αποθεσιοθάλαμο-αντίβαρο, σύμφωνα με τις Οδηγίες Σύνταξης Μελετών Έργων Οδοποιίας της Εγνατία Οδού Α.Ε. (Ε.Ο.Α.Ε.).

Για την τοποθέτηση στραγγιστηρίου (κατάντη στραγγιστική τάφρος) κατά την κατασκευή μεταξύ των πασσαλοσειρών, εφαρμόστηκε αντικριστή προσωρινή αντιστήριξη μεταξύ των ζευγών των πασσάλων Σ2Π, Σ3Π, με χαλύβδινες αντηρίδες, οι οποίες μετά την επανεπίχωση κάθε τμήματος αφαιρούνταν για να ξανά χρησιμοποιηθούν.

Παρά τη λειτουργία των υπάρχοντων προσωρινών αποστραγγιστικών φρεάτων, κατά τη βαθιά εκσκαφή του στραγγιστηρίου μπορεί να συναντηθούν υπόγεια νερά, τα οποία θα πρέπει να απομακρυνθούν με προσωρινές αντλήσεις ή δια φυσικής απορροής. Μετά την ολοκλήρωση κάθε υποτμήματος αυτής της βαθιάς εκσκαφής, τοποθετήθηκε το γεωϋφασμα στραγγιστηρίου, το αμμοχάλικο στραγγιστηρίων εντός του γεωϋφάσματος, καθώς και ο διάτρητος στραγγιστήριος τσιμεντοσωλήνας Φ400 mm. Φρέατα ελέγχου και συντήρησης υπάρχουν ανά 20 m-30 m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010), τα οποία φθάνουν έως την επιφάνεια της τελικής διαμόρφωσης.

Το κάτω τμήμα της βάσης του επιχώματος κατασκευάστηκε με θραυστά καθαρά λατομικά υλικά, μετά την τοποθέτηση διαχωριστικού γεωϋφάσματος, βάρους 285 gr/m². Πρόκειται για την εξυγιαντική-στραγγιστική ζώνη βάσης του επιχώματος από θραυστά σκύρα διαβάθμισης 12-125 mm, γωνίας εσωτερικής τριβής $\phi \geq 36^{\circ}$, με δείκτη Los Angeles $\leq 50\%$ (AASHO T-96), σε στρώσεις πάχους 30 cm. Στην ενδιάμεση ζώνη, πάχους 1,5 m, τοποθετήθηκαν τρεις σειρές μονοαξονικών γεωπλεγμάτων αντοχής $T_{ult}=200$ kN/m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010).

Μετά την κατασκευή της αποστραγγιστικής βάσης, διακόπηκαν οι προσωρινές αντλήσεις, απομακρύνθηκαν οι αντλίες από τα φρέατα, ενώ τα φρέατα παρέμειναν.

Μετά την ολοκλήρωση του κατάντη αποθεσιοθαλάμου-αντιβάρου, ακολούθησε η κατασκευή του σώματος του επιχώματος, με συνήθη κοκκώδη καθαρά υλικά (E1 έως E4)³, σε στρώσεις 30 cm. Στη στέψη του επιχώματος κατασκευάστηκε στρώση έδρασης του οδοστρώματος, πάχους 0,60 m, από θραυστά υλικά E4 (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2010). Η κεντρική νησίδα έπρεπε να καλυφθεί με αργιλικό υλικό για την πλήρη σφράγιση της επιφάνειας της.

Οι επιφάνειες των πρανών, του πόδα του επιχώματος καθώς και η έκταση που εκσκάφτηκε στα κατάντη τμήματα, επενδύθηκαν με στρώση φυτικής γης, πάχους 30 cm. Απαραίτητος είναι ο προσδιορισμός της κατάλληλης φύτευσης ή εναλλακτικά κάλυψη με βιοδιασπώμενα πλέγματα και υδροσπορά. Κατασκευάστηκε η οδοστρωσία και γενικά οι εργασίες οδοποιίας του δεξιού κλάδου (στηθαία, δίκτυα κτλ.) και τέλος δόθηκε σε κυκλοφορία ο δεξιός κλάδος του αυτοκινητόδρομου.

³ Υλικά E1-E4: Πρόκειται για θραυστά υλικά που διαστρώνονται σε επιμέρους στρώσεις και συμπυκνώνονται με Βαθμό Συμπύκνωσης Β.Σ. $\geq 95\%$ κατά AASHO T180-D.



Εικόνα 4.30: Άποψη του σταθεροποιητικού επιχώματος κατάντη του αυτοκινητόδρομου και κατασκευή φρεατοπασσάλων για την ενίσχυση της ευστάθειας της κατολίθησης.



Εικόνα 4.31: Λειτουργία φρεάτων άντλησης για τη διατήρηση χαμηλής στάθμης των υπογείων νερών.

4.8 Περιοχή εξόδου σηράγγων Συρτού

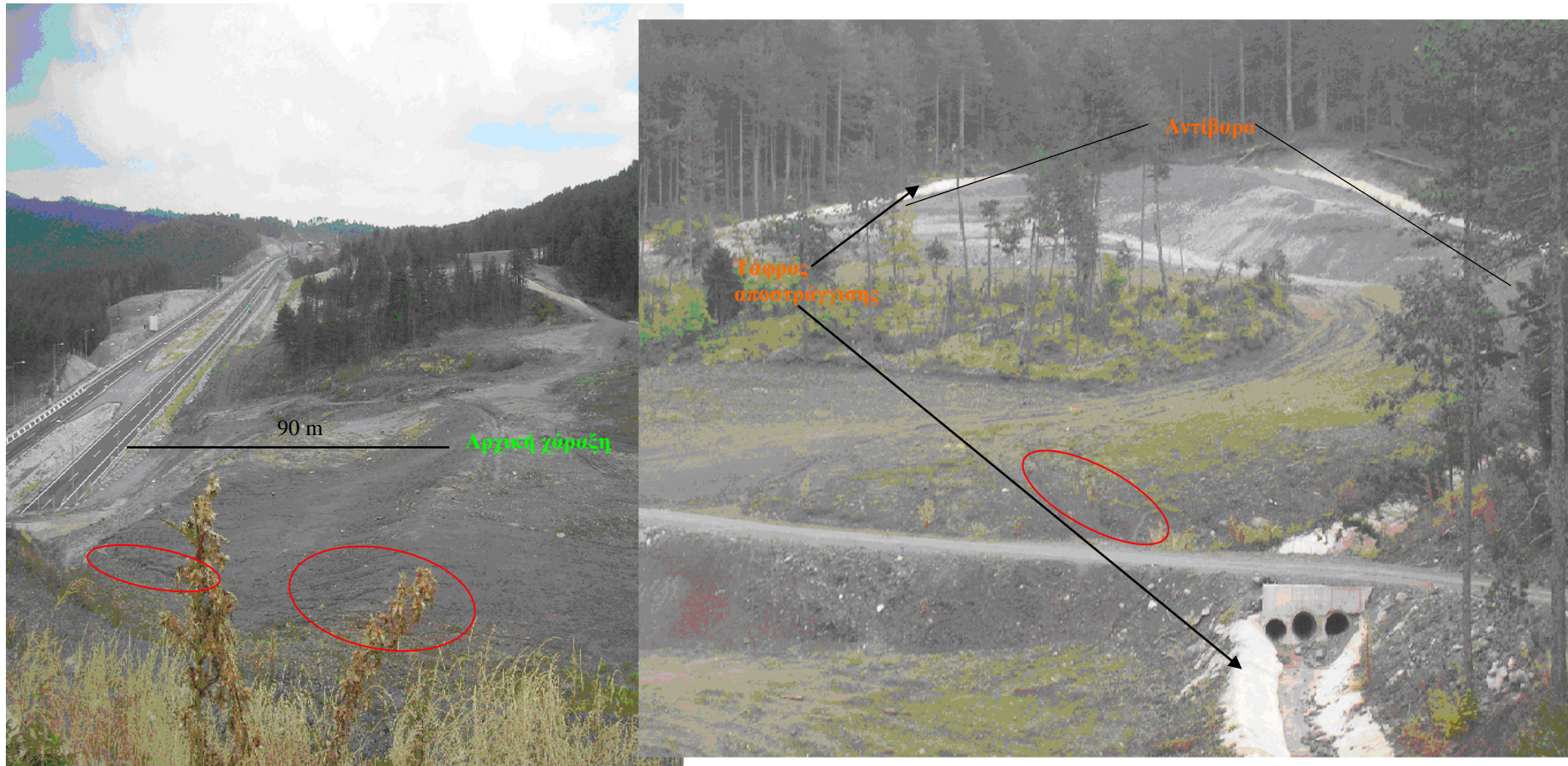
4.8.1 Γενικά

Η περιοχή της σήραγγας Συρτού, Χ.Θ. 6+160 και Χ.Θ. 6+330 (έξοδος σηράγγων Συρτού), ανήκει στο τμήμα 4.1.1 s-4.1.2s, Παναγία-Γρεβενά της Εγνατίας Οδού. Αντικείμενο μελέτης της περιοχής αποτελεί η γεωτεχνική αξιολόγηση και η σταθεροποίηση της κατολίσθησης που είχε εκδηλωθεί στην περιοχή, για την ασφαλή διέλευση του αυτοκινητόδρομου. Το φθινόπωρο του 2005, είχαν πραγματοποιηθεί εργασίες για την κατασκευή της οδού, στη συνέχεια εξαιτίας των έντονων καιρικών φαινομένων κατά τη χειμερινή περίοδο, καθώς και μετά την τήξη του χιονιού (Φεβρουάριος 2006), διαπιστώθηκε εκτεταμένη ενεργή κατολίσθηση ανάντη των μετώπων της σήραγγας. Έτσι μετά από γεωτεχνική έρευνα το Σεπτέμβριο του 2006, αποφασίστηκε η μετατόπιση της χάραξης του αυτοκινητόδρομου περίπου 90 m δυτικότερα της αρχικής χάραξης (Εικόνα 4.32). Έτσι η διάνοιξη των μετώπων των σηράγγων ήταν πιο ασφαλής και μειώθηκαν οι εκσκαφές των εκτεταμένων ορυγμάτων κατά τη διάρκεια της χάραξης, συμβάλλοντας θετικά στις δυσμενείς συνθήκες ευστάθειας της περιοχής.

4.8.2 Τεκτονικά στοιχεία

Το κύριο τεκτονικό στοιχείο στην περιοχή της σήραγγας Συρτού, είναι η επώθηση των οφιολίθων στις μολάσσειες και η δημιουργία του κροκαλοπαγούς, εξαιτίας αυτής της επώθησης. Εκτός του σχηματισμού του λατυποπαγούς (breccia) στους οφιολίθους, η επώθηση προκάλεσε και ανασήκωση των μολασσών ή ενδεχομένως και αναστροφή της κλίσης αυτών κοντά στην επαφή. Έτσι, παρά τις ήπιες-παραοριζόντιες κλίσεις που παρουσιάζουν οι μολάσσειες, στην περιοχή μετρήθηκαν κλίσεις 40° έως 60° (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).

Οι υπόλοιπες τεκτονικές γραμμές που παρουσιάζονται στην έξοδο της σήραγγας, διαχωρίζοντας την επαφή των ιλυολίθων-ψαμμιτών με το κροκαλοπαγές των μολασσών, καθώς και το μεικτό σχηματισμό των ερυθρών ιλυολίθων με τα οφιολιθικά «ράκη», είναι δευτερεύουσας σημασίας. Τα επιφανειακά ίχνη των ρηγμάτων έχουν σκεπασθεί από τις μαλακές αποθέσεις των αποσαθρωμάτων.



Εικόνα 4.32: Άποψη εξόδων σηράγγων Συρτού. Παρατηρείται η τελική χάραξη του αυτοκινητόδρομου 90 m δυτικότερα της αρχικής, η κατασκευή σταθεροποιητικού αντιβάρου και αποστραγγιστικής τάφρου, καθώς και οι ρωγμές που έχουν εμφανιστεί στην περιοχή.

4.8.3 Γεωλογικά στοιχεία

Η περιοχή μελέτης αποτελείται από μολασικούς σχηματισμούς, επιφανειακά αυτών βρίσκεται μανδύας κορηματικών υλικών και αποσαθρωμάτων (3 m-4 m) (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007), ή η συνεκτική, μέτρια πλαστική, κόκκινη άργιλος, μορφής των εντελώς αποσαθρωμένων ιλυολίθων. Κάτω από τα παραπάνω επιφανειακά καλύμματα, επικρατεί ο σχηματισμός των ερυθρών-μαύρων ιλυολίθων, με παρεμβολές κροκαλοπαγών, όγκων σπηλιτών και περιδοτιτών. Στα κροκαλοπαγή της μολαστικής σειράς εμφανίζονται μικρές ενστρώσεις ιλυολίθων, οι οποίοι αποσαθρώνονται, κερματίζονται στις ζώνες ενδιαστρώσεων, όπως και μερικά σπηλιτικά σώματα. Το κροκαλοπαγές είναι συνεκτικό, με τοπικό κερματισμό και με μερική ή έντονη αποσάθρωση των ιλυολίθων, ανάλογα με την ποσότητα νερού που κυκλοφορεί και γενικά παρουσιάζει ανομοιομορφία στη μάζα του συγκριτικά με τους υπολοίπους σχηματισμούς των μολασσών.

Η μορφολογία της περιοχής έχει κλίσεις 25-30% (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007) και το έδαφος αποτελείται από τρεις βασικές ενότητες γεωυλικών:

- Τεχνητές επιχώσεις: Πρόκειται για επιφανειακά υλικά, προερχόμενα κυρίως από την εκσκαφή των σηράγγων Συρτού και τη διευθέτηση του ρέματος, που διέρχεται μπροστά από τα μέτωπα. Αποτελούνται από αργιλώδη-αργιλοϊλύδη γεωυλικά, με μικρό ποσοστό άμμου ή χαλίκων, καφέ-ερυθροϊώδους χρώματος, εξαιτίας κυρίως των εκσκαφών των ερυθροϊώδων ιλυολίθων. Είναι ασυμπύκνωτα, με κυμαινόμενο πάχος.
- Ερυθροί-ερυθροϊώδεις ιλυόλιθοι: Πρόκειται για ερυθροϊώδεις ημιβραχώδεις ιλυολίθους με προσμίξεις τεφρών πράσινων ιλυολίθων και συμπαγείς όταν εμφανίζονται στην υγρή τους μορφή. Στη μάζα τους παρατηρούνται με τη μορφή φακοειδών ενστρώσεων, αμμοχάλικα ή ελαφρώς διαγενεμένα κροκαλοπαγή. Εμφανίζονται στην περιοχή με μέγιστο πάχος 20 m περίπου και μέγιστο πάχος της στρώσης των αμμοχαλίκων 4m περίπου (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).
- Εναλλαγές ιλυολίθων-ψαμμιτών: Πρόκειται για ιλυολίθους με ενστρώσεις ψαμμιτών, τεφροπράσινου ή ανοιχτού υποπράσινου χρώματος (ιλυολιθικό περιβάλλον ιζηματογένεσης). Εμφανίζονται ως συμπαγή και ενιαία βραχώμαζα, συνήθως υγρή και με ευδιάκριτη μορφή. Στην περιοχή το μέγιστο πάχος του σχηματισμού είναι της τάξης των 27m, ενώ το ελάχιστο της τάξης του 1m περίπου (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).

- Κροκαλοπαγή βάσης: Πρόκειται για βραχώδη σχηματισμό, αποτελούμενο από τα υψηλής διαγένεσης κροκαλοπαγή, τα οποία χαρακτηρίζονται ως πολύμεικτα και πολυγενή, εξαιτίας της ποικίλης διαμέτρου και ορυκτολογικής σύστασης των χαλίκων και κροκάλων. Το πάχος τους στην περιοχή μελέτης είναι ικανό και μεγαλύτερο των 40 m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).

4.8.4 Υδρολογικά στοιχεία

Θέσεις με λιμνάζοντα νερά παρατηρήθηκαν επιφανειακά και εντός του περιγράμματος της ολίσθησης, προερχόμενα από επιφανειακές απορροές ή υπόγειες αποφορτίσεις. Κυρίως στο κεντρικό τμήμα, ανάντη του ορίου της θραύσης παρατηρήθηκαν σημαντικές επιφανειακές ροές, δημιουργώντας ικανής έκτασης λιμνάζοντα νερά και λασποροές διάβρωσης. Από μεταγενέστερες γεωτρήσεις, εντοπίστηκαν υπόγεια νερά σε βάθη από 2,5 m-3,5 m, με ελάχιστο βάθος 0,8 m από την επιφάνεια. Οι στάθμες αυτές μετρήθηκαν μετά την κατολίσθηση, για αυτό θεωρούνται «χαμηλές». Έτσι η πιεζομετρική γραμμή βρίσκεται σε μικρά βάθη από την επιφάνεια του εδάφους (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).

Εξαιτίας της ικανής σε έκταση λεκάνης απορροής ανάντη της θραύσης (σημαντικές τροφοδοτήσεις από επιφανειακά ή υπόγεια νερά), την υψηλή στάθμη του υπογείου ορίζοντα, καθώς και τα επιφανειακά υλικά (λεπτόκοκκα, χαμηλής διαπερατότητας), δημιουργούνται δυσμενείς συνθήκες πιέσεων πόρων του νερού και επιπρόσθετων φορτίσεων.

Αρχικά η αποστράγγιση της περιοχής κατολίσθησης γινόταν μέσω των τριών υφιστάμενων ρεμάτων, τα οποία διέρχονταν από τα δύο όρια της θραύσης και την κεντρική περιοχή. Συγκεκριμένα στους οφιολίθους στις ζώνες κερματισμού τους, κυκλοφορεί νερό που αποσαθρώνει γειτονικά τμήματα του πετρώματος σχηματίζοντας «υδροφόρες ζώνες». Στους μολασσικούς σχηματισμούς μπορεί να αναπτύσσεται τοπικά επικρεμάμενος ορίζοντας. Επίσης υδροφορία αναπτύσσεται στα πλέον αδρόκοκκα μέλη της ακολουθίας (ψαμμίτες-κροκαλοπαγή) (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007). Τα τοποθετημένα πιεζόμετρα έδειξαν στάθμες νερού υψηλές προς την έξοδο της σήραγγας. Γενικά δεν υπάρχει αναλογία του βάθους της στάθμης με το ανάγλυφο του εδάφους, ακριβώς γιατί δεν υπάρχει ενιαίος υδροφόρος ορίζοντας, αλλά μόνο επικρεμάμενοι. Στους οφιολίθους, οι χαμηλές στάθμες νερού δείχνουν τη μεγαλύτερη γενικά περατότητα τους (δευτερογενές πορώδες), ενώ σημαντική βύθιση

του νερού παρατηρήθηκε στην περιοχή της επώθησης των οφιολίθων στους μολασσοειδείς σχηματισμούς.

Συγκεκριμένα, στην επαφή του μαλακού εδαφικού καλύμματος και των ερυθρών ιλυολίθων, η στάθμη του νερού βρέθηκε πολύ κοντά στην επιφάνεια. Αυτό ήταν αναμενόμενο εξαιτίας της μηδενικής σχεδόν περατότητας που εμφανίζουν οι ερυθροί ιλυόλιθοι, όπως έδειξαν και οι σχετικές δοκιμές (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007). Αυτό βέβαια δεν αποκλείει σε αυτό το σχηματισμό κάποια εισροή νερού κατά τη διάτρηση, σε ζώνες κροκαλοπαγών ή διάτμησης, όμως τα διαστήματα των ζωνών θα είναι πολύ αραιά και οι ποσότητες πολύ μικρές. Το κροκαλοπαγές έχει μεγαλύτερη περατότητα, ιδιαίτερα σε κερματισμένες ζώνες, όμως η μικρή του παρουσία ανάντη της σήραγγας δε δημιουργεί διαφορετικές υδρολογικές συνθήκες από αυτές των ερυθρών ιλυολίθων.

4.8.5 Συνθήκες κατολίσθησης

Η κατολίσθηση που εκδηλώθηκε αρχικά είχε απιδοειδή μορφή, δηλαδή διευρυμένη στα ανάντη και στενότερη στα κατάντη, με διαστάσεις μήκους (μεγάλος άξονας) x πλάτους (μικρός άξονας), 235/250 mx150 m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007). Η επιφάνεια ολίσθησης διατρέχει τους ερυθροϊώδεις ιλυολίθους και τα εδαφικά υλικά, βρίσκεται στην διεπιφάνεια επαφής των ερυθροϊωδών ιλυολίθων και των υποκείμενων εναλλαγών των ιλυολίθων και ψαμμιτών. Η κατολίσθηση οφείλεται σε αποσαθρωμένους, κερματισμένους μαλασσοειδείς σχηματισμούς.

Οι ερπυστικές κινήσεις συνεχίζονται μέχρι σήμερα, απόδειξη αποτελούν οι ρωγμές στο αντίβαρο που εμφανίστηκαν σε διάστημα τριών ετών (Εικόνα 4.33).

Γενικά, η παρακολούθηση των ολισθητικών ερπυστικών μετακινήσεων γίνεται με την τοποθέτηση επιφανειακών τοπογραφικών μαρτύρων, καθώς και των ινκλινομέτρων. Το ίδιο ισχύει και για την παρακολούθηση των μετακινήσεων στο αντίβαρο. Οι μετρήσεις γίνονται ανά μήνα και τουλάχιστον δύο φορές το χρόνο, σε περιπτώσεις ενδείξεων μετακινήσεων.



Εικόνα 4.33: Ρωγμές που παρατηρήθηκαν στο αντίβαρο, τον Οκτώβριο του 2010.

4.8.6 Μέτρα σταθεροποίησης

Για να σταθεροποιηθεί οριστικά η κατολίσθηση πλευρικά του δεξιού κλάδου του αυτοκινητόδρομου της Εγνατίας Οδού, στην περιοχή εξόδου της σήραγγας Συρτού έγιναν τα ακόλουθα έργα:

- Κατασκευάστηκε επενδεδυμένη περιμετρική τάφρος (Εικόνα 4.32), σε υγιή περιβάλλον, ανάντη του περιγράμματος (χειλούς) της κατολίσθησης, για τη συλλογή των ομβρίων, στην περιοχή του προκληθέντος ρήγματος.
- Έγινε εκτροπή του παράπλευρου ρέματος, με κατασκευή επενδεδυμένης ορθογωνικής τάφρου, με πλάτος πυθμένα 2 m και με ύψος των πλευρικών τοιχείων 1,5 m (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).
- Πραγματοποιήθηκαν εκσκαφές καθαρισμού, μεταξύ του πόδα της κατολίσθησης και μέχρι την περιοχή δεξιά του δεξιού κλάδου της νέας χάραξης.
- Τοποθέτηθηκε διαχωριστό γεώφασμα, κατασκευάστηκε στραγγιστήριο (τσιμεντοσωλήνα Φ600 mm) στο βαθύτερο σημείο, με κλίση προς τον κιβωτοειδή οχετό και στραγγιστικός τάπητας κάτω από την έδραση του αντιβάρου, στον προαναφερθέντα χώρο (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).
- Κατασκευάστηκε μόνιμο επίχωμα (αντίβαρο) για την ενίσχυση της ευστάθειας, στην περιοχή του πόδα της υφιστάμενης κατολίσθησης και του δεξιού κλάδου της νέας χάραξης του αυτοκινητόδρομου (Εικόνα 4.32). Για την κατασκευή του χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλα υλικά λατομείου E1-E4, διατμητικής αντοχής $f' \geq 300$, $c' \geq 5$ kN/m² και υγρού φαινομένου βάρους $\gamma \geq 19$ kN/m³, σε στρώσεις

πάχους 0.30-0.50 m, ανάλογα της σύστασης του υλικού, ώστε να επιτυγχάνεται βαθμός συμπύκνωσης Β.Σ.≥90% (Νάσκος και Σαϊβανίδου, 2007).

● Τέλος διαμορφώθηκαν οι τελικές επιφάνειες και καλύφθηκαν με φυτική γη (αντίβαρο), ή με στραγγιστική στρώση και φυτική γη (χώρος κατολίσθησης ανάντη του αντιβάρου).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το φαινόμενο των κατολισθήσεων δεν μπορεί να θεωρηθεί μονοσήμαντο. Συνδέεται άμεσα, με την παρουσία επιφανειακών ή/και υπογείων νερών, με τις γεωλογικές συνθήκες, τις κλιματικές διεργασίες, τις ακραίες ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (υψηλές βροχοπτώσεις, παρατεταμένες χιονοπτώσεις, μεγάλη διάρκεια παγετού) και τις ανθρώπινες δραστηριότητες, κάθε περιοχής.

Γενικά τα κατολισθητικά φαινόμενα των περιοχών μελέτης (Μέτσοβο και ευρύτερη περιοχή Μετσόβου, Περιστέρι, Ανήλιο, Μαλακάσι, Παναγία), σχετίζονται με την παρουσία του τεκτονισμένου και αποσαθρωμένου φλύσχη (χαοτικής δομής), των οφιολίθων και των αργιλικών εδαφών, σε συνδυασμό με τις δυσμενείς υδρολογικές συνθήκες που επικρατούν στο Μέτσοβο και στην ευρύτερη περιοχή του.

Κύρια αίτια κατολισθήσεων στο Μέτσοβο, αποτελούν από γεωλογική άποψη, ο σχηματισμός του φλύσχη (ψαμμιτικής-πηλιτικής φάσης), ο μανδύας αποσάθρωσης του και οι ποταμοχειμνιάρειες αποθέσεις.

Ο φλύσχος χαρακτηρίζεται για την ετερογένεια του, το βαθμό τεκτονισμού του και το πόσο ευαίσθητος είναι στην διάβρωση. Από την έντονη καταπόνηση που έχει υποστεί (παρουσία ρηγμάτων, λεπιώσεων κ.α.) και εξαιτίας της επώθησης σε αυτόν, των οφιολιθικών σερπεντινωμένων πετρωμάτων, αποσαθρώνεται και διαβρώνεται εύκολα, με αποτέλεσμα τον σχηματισμό ζωνών χαμηλής διατμητικής αντοχής (μανδύας αποσάθρωσης) σημαντικού πάχους.

Το φλυσχικό υπόβαθρο της περιοχής Μετσόβου αποτελείται από στρώσεις ψαμμιτών, ιλυολίθων, μαργών, με ποσοστά κυμαινόμενα κατά θέσεις. Οι ψαμμίτες είναι έντονα κερματισμένοι και οι ιλυόλιθοι έντονα πτυχωμένοι, εξαιτίας του τεκτονισμού που έχει υποστεί ο σχηματισμός.

Τα αργιλικά ορυκτά που παρεμβάλλονται μεταξύ των ψαμμιτικών στρωμάτων, σε συνδυασμό με τη διαπότιση τους (διόγκωση αργίλου), ιδιαίτερα τις περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, δημιουργούν δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης και γενικότερα προβλήματα εδαφικών αστοχιών, τόσο στα φυσικά πρανή, όσο και στα τεχνητά πρανή των δρόμων και των εκσκαφών.

Συγκεκριμένα, η παρουσία νερού, οδηγεί σε αύξηση του ύψους των πρανών, του φαινομένου ειδικού βάρους των υλικών του πρανούς, της ανώσεως που εξασκείται από τα υπόγεια νερά, της πίεσεως του νερού των πόρων, ενώ προκαλεί

μείωση της συνοχής, της γωνίας εσωτερικής τριβής, τόσο των υλικών που συνθέτουν το πρανές, όσο και της τριβής μεταξύ των υλικών της κλιτύς και του υποβάθρου.

Η εκδήλωση της κατολίσθησης ενισχύεται σημαντικά από τις μεγάλες κλίσεις των πρανών της περιοχής, από τα στρώματα των ψαμμιτών που κλίνουν ομόρροπα με τα πρανή στην περιοχή και από την έντονη παρουσία επιφανειακών και υπογείων νερών, που μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων. Συγκεκριμένα, τα αργιλικά, μαργαϊκά πετρώματα που παρεμβάλλονται μεταξύ των στρώσεων του φλύσχη, δημιουργούν δυνητικές επιφάνειες ολίσθησης. Απορροφούν μεγάλες ποσότητες νερού, με αποτέλεσμα να μειώνεται η γωνία εσωτερικής τριβής του, η συνοχή τους και κατ' επέκταση η διατμητική αντοχή τους, διογκώνονται, αυξάνεται το βάρος τους, η πλαστικότητα τους, η πίεση των πόρων τους, ενισχύοντας έτσι την ολίσθηση. Αποτέλεσμα αυτών των μεταβολών των πετρωμάτων, είναι η εκδήλωση ερπυστικών κινήσεων, μετακινήσεων, με ζημιές σε κτήρια και δρόμους, στρεβλώσεις σε μάντρες, με σημαντικές επιπτώσεις στην κατασκευή-θεμελίωση των κτισμάτων στην περιοχή, καθώς και με τη διαμόρφωση πρανών μεγαλύτερων κλίσεων. Τα προβλήματα αυτών των εδαφικών αστοχιών, παρατηρούνται τόσο στα φυσικά πρανή, όσο και στα τεχνητά πρανή των δρόμων και των εκσκαφών του οικισμού.

Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στο υδάτινο δυναμικό της περιοχής, στα επιφανειακά και υπόγεια νερά, στην συγκέντρωσή τους και στην ασφαλή μεταφορά τους με τεχνικά έργα, στους φυσικούς αποδέκτες, ενισχύοντας την ευστάθεια στην περιοχή.

Οι ανθρώπινες παρεμβάσεις, όπως διανοίξεις δρόμων και διαπλατύνσεις παλαιότερων, η συνέχιση επέκτασης του οικισμού σε ευαίσθητες περιοχές, με κατασκευή μεγάλων, πολυώροφων οικοδομημάτων, χωρίς την ύπαρξη τεχνικογεωλογικών, υδρολογικών μελετών της περιοχής, καθώς και οι κραδασμοί που προκαλούνται από το μεγάλο αριθμό αυτοκινήτων, ιδιαίτερα τη χειμερινή περίοδο, συντελούν στις εδαφικές αστάθειες.

Το σύστημα ύδρευσης-αποχέτευσης είναι πολύ παλιό και κατασκευασμένο από σιδερένιους σωλήνες. Μετά το πέρας τόσων χρόνων σίγουρα υπάρχουν διαρροές του δικτύου, οι οποίες θα πρέπει να ελέγχονται συνεχώς.

Έχουν διανοιχτεί δρόμοι, χωρίς τις απαραίτητες προδιαγραφές και χωρίς τον απαιτούμενο σιδηρό οπλισμό.

Η ελεύθερη ροή των νερών προς τα κατάντη τμήματα του οικισμού και όχι προς το ποτάμι, ενισχύει με επιπλέον φορτίσεις τους οικισμούς του κάτω Μετσόβου.

Εμποτίζεται ο εδαφικός μανδύας, μειώνεται η γωνία εσωτερικής τριβής τους και εκδηλώνονται αστοχίες.

Θα πρέπει να ληφθούν από το Δήμο, τη Περιφέρεια, άμεσα μέτρα για την αποκατάσταση-αναχαίτηση των κατολισθητικών φαινομένων, καθώς θα πρέπει και να βρεθούν οι οικονομικοί πόροι που είναι αναγκαίοι. Τα σύνθετα γεωτεχνικά έργα απαιτούν τεχνικογεωλογικές μελέτες που είναι χρονοβόρες και κοστίζουν, αλλά πρέπει να εκπονηθούν για το μέλλον. Προτείνονται αρχικά τα λιγότερο δαπανηρά και άμεσα μέτρα αποκατάστασης, ενώ ακολουθούν και άλλα μέτρα, που πρέπει να ληφθούν και τα οποία έχουν αναφερθεί εκτενέστερα στην υποπαράγραφο (3.9.3) και είναι τα εξής:

- ✓ Αποστράγγιση επιφανειακών και υπογείων νερών (π.χ. τοποθέτηση γεωφύσσματος και αμμοχάλικου, κατασκευή αυλακιών, καθαρισμός-εκχωμάτωση-εγκιβωτισμός ρεμάτων, διάνοιξη οπών στους τοίχους αντιστήριξης κ.α.). Τα επιφανειακά νερά δεν πρέπει να κατεισδύουν και να μετατρέπονται σε υπόγεια, αλλά να οδηγούνται με ασφάλεια σε αγωγούς και έπειτα στο ποτάμι. Θα πρέπει να ελέγχονται οι διαρροές στο δίκτυο συνεχώς, π.χ. με την κατασκευή φρεάτων, με την εγκατάσταση παροχόμετρων στις πηγές εισόδου του νερού ύδρευσης, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το ποσοστό των διαρροών.
- ✓ Να μην επεκταθεί το σχέδιο πόλεως και να μη δίνονται πλέον άδειες για οικοδόμηση πολυώροφων κτηρίων.
- ✓ Χρήση ελαφρών δομικών υλικών (π.χ. αλφαμπλόκ) για την εσωτερική τοιχοποιία των σπιτιών.
- ✓ Αποφόρτιση της περιοχής με κατεδάφιση παλαιών εγκαταλελειμμένων σπιτιών, μαντρών και γενικά οποιουδήποτε οικοδομήματος που δεν αξιοποιείται.
- ✓ Έλεγχος μικρομετακινήσεων με πλακίδια από γυαλί, με επιμηκυνσιόμετρα, με μάρτυρες, όπου αποτελούν γρήγορες και οικονομικές μεθόδους.
- ✓ Απαγόρευση διέλευσης βαρέων οχημάτων ή μείωση της ταχύτητας τους.
- ✓ Να αποτυπωθούν σε χάρτες όλες οι θέσεις εμφάνισης των υπογείων νερών (π.χ. αντλήσεις).
- ✓ Εντοπισμός και καταγραφή των θέσεων των μετακινήσεων.
- ✓ Στα αργιλομαργαϊκά ή ψαμμιτομαργαϊκά στρώματα του φλύσχη, δε θα πρέπει να γίνονται κατασκευές, τεχνικά έργα, εξαιτίας των επιφανειών

ολίσθησης που δημιουργούνται με την παρουσία βροχοπτώσεων, ιδιαίτερα τους χειμερινούς μήνες.

- ✓ Θεμελίωση του σπιτιού σε έγχυτους πασσάλους στο υγιές πέτρωμα, αφού βρεθεί η επιφάνεια ολίσθησης, καθώς και επίσης το οικοδόμημα να κατασκευαστεί πάνω σε ενισχυμένη πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία δε θα εδράζεται πάνω σε κεκλιμένα διαφορετικά στρώματα (Φυτρολάκης και Αντωνίου, 1998). Επίσης, αντί της πλάκας μπορούν να κατασκευαστούν ενισχυμένοι συνδετήριοι πεδιλοδοκοί.
- ✓ Αποκατάσταση των παλιών λίθινων αναβαθμών από συρματοκιβώτια.
- ✓ Απομάκρυνση και μη χρησιμοποίηση υλικών που προκύπτουν από εκσκαφές, π.χ. διαπλατύνσεις δρόμων, εξαιτίας της μειωμένης συνοχής τους.
- ✓ Κατασκευή υδρομαστευτικών έργων, αντλήσεις υπογείων νερών (πηγάδια, φυσικές πηγές, γεωτρήσεις), όπου εντοπίζονται υπόγεια νερά στην επιφάνεια του εδάφους, έτσι ώστε να μην ξανά κατευθυνθούν προς το υπέδαφος.
- ✓ Φύτευση υδρόφιλων και γρήγορα αναπτυσσόμενων φυτών, αφού προσδιορισθεί η επιφάνεια ολίσθησης.
- ✓ Κατασκευή τοίχων αντιστήριξης, όπου απαιτείται, αφού πρώτα γίνει τεχνικογεωλογική μελέτη, για τη θεμελίωση τους στο υγιές υπόβαθρο, καθώς και για τον προσδιορισμό του τύπου της αντιστήριξης. Με την κατασκευή κάθε τοίχου αντιστήριξης θα πρέπει και να εξασφαλισθεί η αποστράγγιση πίσω από αυτόν.
- ✓ Ενίσχυση και εξυγίανση του εδάφους με ενέματα, αφού πρώτα γίνει τεχνικογεωλογική μελέτη, ώστε να εντοπιστούν οι θέσεις εκείνες όπου υπάρχουν πετρώματα που μπορούν να είναι αποδοτικές οι ενέσεις π.χ. στην περίπτωση αργίλου εξαιτίας της υδατοπερατότητας της, η ένεση δε θα είναι αποδοτική, καθώς μπορεί και να προκαλέσει επιπλέον φόρτιση στην ασταθή μάζα.
- ✓ Εκπρόκληση γεωτεχνικής και υδρολογικής μελέτης της περιοχής του Μετσόβου (υδρολιθολογική ταξινόμηση των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών), τόσο για την αντιμετώπιση των εκδηλωμένων κατολισθητικών φαινομένων, όσο και για την αποφυγή νέων.

Αναγκαία ενέργεια για το Δήμο και την Περιφέρεια είναι, η εύρεση κατοικίας και αποζημίωση των πληγέντων κατοίκων από τις κατολισθήσεις, όπου τα σπίτια τους θεωρούνται ακατοίκητα ή έχουν προσβληθεί σημαντικά.

Όσο αναφορά την ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου, κατά τη διάνοιξη της Εγνατίας Οδού, στις περιοχές μελέτης και όχι μόνο, παρατηρήθηκαν και συνεχίζονται να παρατηρούνται ερπυστικές μετακινήσεις, κατολισθήσεις πρανών, ορυγμάτων και θραύσεις επιχωμάτων, λόγω της διέλευσης του αυτοκινητόδρομου από ασταθή ή κατολισθημένα εδάφη. Οι μεγάλοι μεγέθους χωματουργικές εργασίες (π.χ. επιχωματώσεις, εκχωματώσεις) προκαλούν μεταβολές στη γεωμορφολογική δομή και στους υδατικούς πόρους αυτών των περιοχών. Δημιουργούνται προβλήματα στα τεχνικά έργα, εξαιτίας των ερπυστικών μετακινήσεων και των κατολισθητικών φαινομένων που έχουν εκδηλωθεί και σε μερικές θέσεις εξακολουθούν να εκδηλώνονται, μιας και η μελέτη κατασκευής του έργου προφανώς, δεν ενσωματώνεται με τα αποτελέσματα των τεχνικογεωλογικών, υδρολογικών και σεισμοτεκτονικών ερευνών, που πρέπει να έχουν διεξαχθεί για την κάθε περιοχή, έτσι ώστε να διασφαλίζεται έργο.

Οι μορφολογικές, γεωλογικές, τεκτονικές και υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές ενδιαφέροντος και τα αποτελεσμάτων των γεωερευνητικών γεωτρήσεων (κλισιόμετρα, μάρτυρες καθίζησης, πιεζόμετρα) και εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν, συντέλεσαν στη βελτιστοποίηση της χάραξης της Εγνατίας Οδού και στη μελέτη των μέτρων αποκατάστασης των συνθηκών ευστάθειας.

Τα περισσότερα προβλήματα αστάθειας που εντοπίστηκαν τόσο σε φυσικά όσο και σε τεχνητά πρανή, οφείλονται σε μεγάλο ύψους πρανή, στην ιδιαίτερα πτωχή-εδαφοποιημένη ποιότητα της βραχώμαζας και στην παρουσία υπογείων υδάτων, όπου η σχέση τους ήταν οριακή και προκάλεσε αστοχίες.

Τα επιφανειακά και υπόγεια νερά, απορροφούνται από τις ασταθείς μάζες, πληρώνουν τους πόρους αυτών των μαζών, αυξάνουν την πλαστικότητα των αργιλομαργαϊκών και ιλυομιγών σχηματισμών που συναντώνται στο φλύσχη αυτών των περιοχών, υποβοηθώντας έτσι την ολίσθηση.

Το μεγάλο πάχος εδαφικών γεωλικών, που προήλθαν από τους κατακερματισμούς, τις εδαφοποιήσεις, τις αργιλοποιήσεις-εξαλλοιώσεις και τις ισχυρές αποσαθρώσεις της βραχώμαζας, εξαιτίας ερπυστικών, ολισθητικών κινήσεων, σχηματίζουν ασταθείς ζώνες μεγάλου πάχους, δημιουργώντας αναθλώσεις και ερπυστικές μετακινήσεις και επιπλέον φορτίσεις στην κάθε περιοχή που συναντώνται.

Χαρακτηριστικό επίσης είναι το δευτερογενές πορώδους των οφιολιθικών πετρωμάτων, δηλαδή ο σχηματισμός υδροφορίας, όπου αυξάνονται τα υπόγεια νερά,

κινούνται μέσω των διακλάσεων και των διαρρήξεών τους και ενισχύουν τη χαλάρωση των πετρωμάτων και τις εδαφικές αστοχίες στις περιοχές μελέτης.

Διαβρώσεις, ρωγματώσεις, θραύσεις σε πρηνή των ευαίσθητων περιοχών της Εγνατίας Οδού, αποτελούν ένδειξη νέων μελλοντικών μετακινήσεων, ιδιαίτερα σε χειμερινές περιόδους, ή μετά από τη δράση κάποιου σεισμού.

Έτσι, σε αυτές τις περιοχές είναι απαραίτητη η μακροπρόθεσμη προληπτική παρακολούθηση των πρηνών, με την εγκατάσταση κλισιομέτρων, μαρτύρων καθίζησης, πιεζομέτρων κ.α., ώστε να ελέγχεται η συμπεριφορά τους, ιδιαίτερα κατά τις υγρές περιόδους και σε περιπτώσεις εξωτερικών φορτίσεων (π.χ. σεισμοί).

Για την ενίσχυση της σταθεροποίησης των ασταθών περιοχών μελέτης, κατά μήκος της Εγνατίας Οδού και την ασφαλή διέλευση του αυτοκινητόδρομου σε αυτές τις περιοχές, έγιναν τα εξής: α) βαθιά αποστράγγιση (π.χ. αποστραγγιστικές σήραγγες, αποστραγγιστικοί οχετοί, κατακόρυφα αποστραγγιστικά φρέατα, τάφροι οφρύος κ.α.), β) κατασκευάστηκαν επιχώματα, γ) χρησιμοποιήθηκαν πασσαλοτοιχίες, δ) κατασκευάστηκαν αναβαθμοί, ε) κατασκευάστηκαν τοίχοι αντιστήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα και από συρματοκιβώτια, στ) εφαρμόστηκαν στα πρηνή φράχτες συγκράτησης-ανάσχεσης βραχοπτώσεων (π.χ. στηθαία, δίκτυα), ζ) έγινε κατάλληλη φύτευση ή εναλλακτικά κάλυψη με βιοδιασπώμενα πλέγματα και υδροσπορά, για αποφυγή διαβρώσεων, κ.α.

Συμπερασματικά λοιπόν, το νερό διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων, επηρεάζοντας άμεσα τις κατασκευές και τα τεχνικά έργα. Τα μεγάλα ποσοστά βροχοπτώσεων οι αδιαπέρατοι γεωλογικοί σχηματισμοί, το μεγάλο υψόμετρο (μείωση θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής), ενισχύουν την επιφανειακή απορροή στις περιοχές μελέτης. Οι έντονες χιονοπτώσεις (π.χ. συσσώρευση χιονιού, πάγωμα εδάφους), η ανύψωση της στάθμης των υπογείων υδάτων (φυσική ή τεχνητή), η μεταβολή των υδατικών πόρων (π.χ. καταστροφή βλάστησης, διαρροές δικτύου αγωγών, δεξαμενών κ.α.), οι εξωτερικές φορτίσεις (π.χ. σεισμοί, δονήσεις, διαπλατύνσεις δρόμων, εκσκαφές, επιπλέον κατασκευές κ.α.) αποτελούν τις κύριες αιτίες που μπορούν να ενεργοποιήσουν παλαιότερες κατολισθήσεις ή να συμβάλλουν στην εκδήλωση νέων κατολισθητικών φαινομένων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Διεθνής Βιβλιογραφία**

1. Brunn J. (1956). Γεωλογικός χάρτης, 1:50.000, φύλλο Μέτσοβο, Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
2. Cruden D.M. (1991). *A Simple Definition of a Landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43, 27-29.
3. Craig R.F. (1984). *Soil Mechanics*. Van Nostrand Reinhold.
4. Goodma R.E. and Bray J.W. (1976). *Toppling of Rock Slopes*. Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes, Boulder, Colo. August 15-18, American Society of Civil Engineers, New York, 2, p. 201–234.
5. Hencher S. (1987). The Implication of Joints and Structures for Slope Stability. Chapter 5 of *Slope Stability-Geotechnical Engineering and Geomorphology*. Edited by M.G. Anderson and K.S. Richards.
6. Hoek E. and Bray J. (1981). *Rock Slope Engineering*. Revised third edition. The Institution of Mining and Metallurgy, London.
7. Hunt R. (198). *Geotechnical Engineering Investigation Manual*. McGraw-Hill, New York.
8. Hunt R. (1986). *Geotechnical Engineering Techniques and Practises*. New York.
9. Jaeger J.S. and Cook. (1979). *Fundamentals of Rock Mechanics*. Second edition, Chapman and Hall. London.
10. Monroe J.S. and Vicander R. (1989). *Physical Geology. Exploring the earth*. Wadsworth Publishing Company. U.S.A., pp. 648.

11. Schuster R.L. (1979). *Reservoir induced–Landslides*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 20, 8-15.
12. Skempton A.W. and Hutchinson J.N. (1969). *Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations*. Proc.,7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, p. 291-340.
13. Terzaghi K. (1950). *Mechanism of Landslides. In Application of Geology to Engineering Practice*. Geological Society of America, New York, 566.
14. Varnes D. (1978). *Slope Movement Types and Processes. Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report 176. Schutser R.L. and Krizek R.J. (Editors). National Academy of Science, Washington D.C.
15. Working Party on the World Landslide Inventory (WP/WLI), (1991). *A Suggested Method for a Landslide Summary*. Bulletin of the International Association Engineering Geology, 43, 101-110.
16. Working Party on the World Landslide Inventory (WP/WLI), (1994). International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory. *A suggested method for reporting landslides causes*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology.
17. Zaruba Q. and Mencl V. (1982). *Landslides and their control*. Second Edition. Developments in Geotechnical Engineering. Elsevier Scientific Publ. Co.
18. Zaruba Q. and Mencl V. (1969). *Landslides and their control*. First Edition. Elsevier Scientific Publ. Co.

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγιουτάντης Ζ. (2002). *Στοιχεία Γεωμηχανικής. Μηχανική Πετρωμάτων*. Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
2. Αστερίου Α., Δημακόπουλος Π., Αrber Π., Λεονταράκης Ν. και Πριάρη Χ. (2005). *Γεωτεχνική αξιολόγηση Γέφυρας δύο ανεξάρτητων κλάδων (Δεξιού Χ.Θ. 6+872,7-7+207,8, Αριστερού Χ.Θ. 6+881,3 - 7+178,9) και Γέφυρας Κλάδου Εξόδου (Αρχή Χ.Θ. 0+051,32 και Τέλος Χ.Θ. 0+183,31)*. Α.Δ.Φ. ΣΥΜΒΟΥΛΙΟ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ Ε.Π.Ε. Εγνατία Οδός.
3. Βαλαλάς Δ. (1979). *Αντιστηρίξεις και Θεμελιώσεις*. Θεσσαλονίκη.
4. Βαλιάντζα Ε., Αλιφραγκής Δ., Λέκκας Θ. και Τρούμπης Α. (2006). *Αποκατάσταση και Σταθεροποίηση Διαταραγμένων Εδαφών σε Πρανή Δημοσίων Έργων με Σπορές*. 5^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής και Γεωπεριβαλλοντικής Μηχανικής, ΤΕΕ. Μάιος, Ιούνιος, Ξάνθη.
5. Βότσογλου Ν. (2003). *Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή του Δ.Δ. Μετσόβου του νομού Ιωαννίνων*. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών. Αθήνα.
6. Δασαρχείο Μετσόβου (2001). *Έκθεση περί διευθετήσεως του χειμάρρου Μετσοβίτικου*. Μάρτιος, Μέτσοβο.
7. Δημαράς Κ. και Νάσκος Ν. (2005). *Οριστική Γεωλογική Μελέτη του Τμήματος 3.5.1 (Χ.Θ. 18+140 έως Χ.Θ. 19+075), Έξοδος Σηράγγων Μαλακασίου Α-Είσοδος Σήραγγας Κωσταράκου*. ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε. Εγνατία Οδός.
8. Δημαράς Κ., Σαϊβανίδου Π. και Νάσκος Ν. (2006). *Μελέτη έργων σταθεροποίησης στην περιοχή του Μεγάλου Ορύγματος*. Εγνατία Οδός.
9. Δημαράς Κ. (2007). *Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Μετσόβου*. Στάδιο Α΄. Τεύχος V3, Σχήματα. Περιφέρεια Ηπείρου, Δήμος Μετσόβου.

10. Δήμος Μετσόβου (2006). Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (ΓΠΣ) Δήμου Μετσόβου, του Νομού Ιωαννίνων. ΠΕΠ Ηπείρου 2000-2006.
11. Δήμος Μετσόβου (2010). Μελέτη Αντικατάστασης εσωτερικού δικτύου ύδρευσης του Δ.Δ. Μετσόβου. Περιφέρεια Ηπείρου, Νομός Ιωαννίνων.
12. Ε.Μ.Π. (2005). *Κατολισθήσεις-Ευστάθεια πρανών-Καθιζήσεις*. Τεχνική Γεωλογία Ι, Ηλεκτρονικές σημειώσεις, 6^η Διάλεξη, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων Μεταλλουργών, Αθήνα.
13. Εμμανουηλίδης Γ., Φώτη Σ., Καφέτσης Γ., Παπαγιάννης Ι. και Μποσινάκου Π. (2003). *Οριστική Γεωτεχνική-Γεωλογική Μελέτη παραποτάμιας χάραξης από Χ.Θ. 6+380 έως Χ.Θ. 9+110*. ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε.-ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ Ε.Π.Ε. Εγνατία Οδός. Ποταμός Άραχθος-Περιστέρι.
14. Ζούρος Ν. και Μουντράκης Δ. (1991). Η επώθηση της ζώνης της Πίνδου και η σχέση μεταξύ των εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών στην περιοχή Μετσόβου-Ανατολικού Ζαγορίου (ΒΔ Ελλάδα). Πρακτικά 5^{ου} Συνεδρίου ΕΓΕ.
15. Καββαδάς Μ. (2006). *Στοιχεία Εδαφομηχανικής*. Έκδοση Ε. Μ. Πολυτεχνείου, Έκδοση 13, Σεπτέμβριος. Ανακτήθηκε από: <http://users.ntua.gr/kavvadas/>, στις 10/11/2010.
16. Καβουνίδης Σ., Ντουνιάς Γ. και Μπαρδάνης Μ. (2005). *Χαράσσοντας οδούς μέσα από κατολισθήσεις*. ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. 2^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οδοποιίας, Μάιος, Βόλος. Ανακτήθηκε από: http://library.tee.gr/digital/m2070/m2070_kavounidis.pdf, στις 10/10/2010.
17. Καλλέργης Γ. και Κούκης Γ. (1985). Τεχνική Γεωλογία, ΟΕΔΒ, Αθήνα.
18. Καροτσιέρης Ζ. (1993). Στοιχεία μηχανικής πετρωμάτων και γεωτρήσεων. Εδαφομηχανική-Βραχομηχανική-Γεωτρήσεις. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών. Τμήμα Γεωλογίας. Τομέας Δυναμικής-Τεκτονικής-Εφαρμοσμένης Γεωλογίας.

19. Κούκης Γ. (1994). *Φαινόμενα αστάθειας στα πρανή-Τεχνικογεωλογική θεώρηση*. Ημερίδα: «Γεωλογία και φράγματα: Εμπειρίες από τον Ελληνικό χώρο». Αθήνα, σελ. 79-92.
20. Κούκης Γ. και Σαμπατακάκης Ν. (2007). *Γεωλογία τεχνικών έργων*. Αθήνα.
21. Κουμαντάκης Ι. (1984). ΚΕΦΑΛΑΙΑ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ. *Μέθοδοι Ερευνών Υπεδάφους, Κατολισθήσεις-Ευστάθεια Κλιτύων-Καθιζήσεις*. Αθήνα.
22. Μαμάσης Ν. (2009). *Μέτσοβο. Η υδρολογική καρδιά της Ελλάδας. Ατενίζοντας τα υδατικά προβλήματα από τον τόπο του υδάτινου πλούτου*. Φεβρουάριος, Μέτσοβο. Ανακτήθηκε από: <http://itia.ntua.gr/~nikos/metsovo/>
23. Μαμάσης Μ. και Κουτσογιάννης Δ. (1998). *Η υδρολογική καρδιά της Ελλάδας*. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο. Διεπιστημονική συμβολή στην ολοκληρωμένη απόδοση της φυσικής πραγματικότητας της επαρχίας Μετσόβου. Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ. Αθήνα.
24. Μαραγκός Χ. (2001). *Τεχνικά έργα υποδομής. Κατασκευές στην επιφάνεια του βράχου. Υπόγειες κατασκευές φράγματα*. Θεσσαλονίκη.
25. Μαυρομάτη Χ. Καβουνίδης Σ. (2003). *Έκθεση Εκτίμησης Έργου*. ΕΔΑΦΟΣ Ε.Π.Ε. Εγνατία Οδός. Ποταμός Άραχθος-Περιστέρι.
26. Μαυρομάτη Χ. και Σακελλαρίου Σ. (2005). *Γεωτεχνική Μελέτη Περιοχής Β (Χ.Θ. 6+950- Χ.Θ. 7+500)*. Εγνατία Οδός, Περιστέρι-Άραχθος.
27. Μαυρομάτη Χ. και Φικίρης Γ (2007). *Εμπειρίες από τη Μελέτη και Κατασκευή Υψηλών Οπλισμένων Επιχωμάτων Αυτοκινητοδρόμων, με Χρήση Γεωπλεγμάτων*. Ημερίδα: Γεωτεχνικές Εφαρμογές Γεωσυνθετικών Υλικών. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας. Ιανουάριος, Αθήνα. Ανακτήθηκε από: http://library.tee.gr/digital/m2185/m2185_fikiris1.pdf, στις 6/11/2010.

28. Μιμίκου Μ. (2007). *Εκτίμηση και Αξιοποίηση των Υδατικών Πόρων της Ηπείρου*. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο. Η ολοκληρωμένη ανάπτυξη της Ηπείρου. Τόμος Α', έκδοση ΜΕΚΔΕ/ΕΜΠ.
29. Μονόπωλης Δ. (1991). *Εφαρμοσμένη Γεωλογία*. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά.
30. Μπαντής Σ. (2010). Σημειώσεις παραδόσεων: *Διατμητική Αντοχή των Ασυνεχειών Βραχώμαζας*. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Γεωτεχνικής Μηχανικής. Ανακτήθηκε: http://users.auth.gr/~sbandis/ROCK_MECH_1/LECTURE%202.pdf, στις 2/2/2011.
31. Νάσκος Ν. και Σαϊβανίδου Π. (2007). *Οριστική μελέτη εφαρμογής σταθεροποίησης κατολισθητικής περιοχής εξόδου της σήραγγας Συρτού (Χ.Θ. 6+160-Χ.Θ. 6+330)*. ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε., Εγνατία Οδός.
32. Νάσκος Ν. και Σαϊβανίδου Π. (2010). *Οριστική μελέτη έργων αποκατάστασης κατολισθητικής χαμηλού τμήματος επιχώματος Ε6 (μεταξύ Διατομών 288 και 301)*. ΓΕΩΓΝΩΣΗ Α.Ε., Εγνατία Οδός.
33. Νικολάου Π. και Πάσχος Π. (1998). *Αξιοποίηση του υδάτινου δυναμικού και των ορυκτών πόρων γενικότερα στην ευρύτερη περιοχή του Μετσόβου*. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο για το Μέτσοβο. Διεπιστημονική συμβολή στην ολοκληρωμένη αντιμετώπιση προβλημάτων της επαρχίας Μετσόβου. Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΕΜΠ. Αθήνα.
34. Νικολάου Πάσχος, (2010). *Έκθεση τεχνικογεωλογικής αναγνώρισης των Κατολισθητικών Φαινομένων στο Δήμο Μετσόβου*. ΙΓΜΕ, Πρέβεζα.
35. Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ. (1989). *Οι Σεισμοί της Ελλάδας*. Θεσσαλονίκη.
36. Πάσχος Π. (2006). *Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης Κατολισθητικών Φαινομένων στις περιοχές των Δήμων Μαστοροχωρίων και Μετσόβου*. ΙΓΜΕ, Πρέβεζα.

37. Πάσχος Π. (2008). *Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης Κατολισθητικών Φαινομένων στο ξενοδοχειακό συγκρότημα Αδερφών Τσομπίκου στο Δήμο Μετσόβου*. ΙΓΜΕ, Πρέβεζα.
38. Πάσχος Π. και Νικολάου Ν. (2010). *Έκθεση Τεχνικογεωλογικής Αναγνώρισης Κατολισθητικών Φαινομένων στο Δήμο Μετσόβου*. ΙΓΜΕ, Πρέβεζα.
39. Ράσσιου Α. και Γρίβας Η. (1993). *Βασική γεωλογική χαρτογράφηση των περιδοτιών της Πίνδου*. ΙΓΜΕ.
40. Στειακάκης Ε. (2004). *Σημειώσεις Τεχνικής Γεωλογίας-Εδαφομηχανικής*. Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά.
41. Φυτρολάκης Ν. και Αντωνίου Μ. (1998). *Η Γεωλογία και τα Τεχνικογεωλογικά προβλήματα της ευρύτερης περιοχής του Μετσόβου*. Πρακτικά 1^{ου} Διεπιστημονικού Συνεδρίου του Ε.Μ.Π., Μέτσοβο.
42. <http://www.temkald.gr/ylikadimosionergon/gr/gabions/gabions.htm>. Προκατασκευασμένα Συρματοκιβώτια-Στρώμνες (Gabions-Reno Mattresses), ΤΕΜΚΑ, 10/1/2011.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής των επιχωμάτων Α1 και Α2 του Μεγάλου Ορύγματος, σύμφωνα με δοκιμές που διεξήχθησαν από την Εγνατία Οδό Α.Ε.

Ποιότητα - χαρακτηρισμός εδαφικού υλικού		Χαρακτηριστικά υλικού
ΝΕΠ 1	Κοκκώδη υλικά Νέας ειδικής ποιότητας 1	Μέγιστη διάμετρος κόκκου $D_{max}<100\chi\lambda\sigma$. Διερχόμενο από #No 200: <25%, διερχόμενο από #No 40: <50%, LL<35, PI<10. Περιεκτικότητα σε οργανικά: <2%. Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής / ενεργός συνοχή $\phi'/c'\geq 33^{\circ}/5$ (ή άλλα ζεύγη τιμών που να οδηγούν σε ισοδύναμη διατμητική αντοχή όπως $35^{\circ}/2kPa$ ή $32^{\circ}/6kPa$), μετρούμενα σε υλικό συμπυκνωμένο σε βαθμό 90%±93% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας κατά AASHTO T180-D.
ΝΕΠ 2	Κοκκώδη υλικά Νέας ειδικής ποιότητας 2	Μέγιστη διάμετρος κόκκου $D_{max}<80\chi\lambda\sigma$. Διερχόμενο από #No 200: <15%, διερχόμενο από #No 40: <30%, διερχόμενο από #No 10: <50%, διερχόμενο από #No 3/8: >10%, διερχόμενο από #No 3: >75%, δείκτης ομοιομορφίας $C_u>2$, LL<30, PI<6, περιεκτικότητα σε οργανικά: <1%. Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής / ενεργός συνοχή $\phi'/c'\geq 36^{\circ}/0$ (ή άλλα ζεύγη τιμών που να οδηγούν σε ισοδύναμη διατμητική αντοχή όπως $34^{\circ}/5kPa$), μετρούμενα σε υλικό συμπυκνωμένο σε βαθμό 90%±93% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας κατά AASHTO T180-D. Στην περίπτωση χρήσης του υλικού αυτού σε οπλισμένα τμήματα του επιχώματος, η απώλεια βάρους κατά την δοκιμή υγείας (AASHTO T-104) θα πρέπει να είναι μικρότερη του 15% μετά από 5 κύκλους υπό την επίδραση θειικού νατρίου (ή μικρότερη του 30% μετά από 4 κύκλους υπό την επίδραση θειικού μαγνησίου). Η φθορά σε τριβή και κρούση: <50% (δοκιμή Los Angeles, AASHTO T-96, A-500στρ). Σε περίπτωση χαλύβδινων οπλισμών, η ειδική αντίσταση του υλικού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 3.000ohm-cm κατά AASHTO T-288-91, ο δείκτης PH μεταξύ 5 και 10 κατά AASHTO T-289-91, η συγκέντρωση χλωριδίων: <100 PPM κατά AASHTO T-291-91, και η συγκέντρωση θειικών: <500PPM κατά AASHTO T-290-91.
ΝΕΠ 3	Κοκκώδη θραυστά υλικά Νέας ειδικής ποιότητας 3	Μέγιστη διάμετρος κόκκου $D_{max}<80\chi\lambda\sigma$. Διερχόμενο από #No 200: <10%, διερχόμενο από #No 40: <30%, διερχόμενο από #No 10: <50%, διερχόμενο από #No 3/8: >10%, διερχόμενο από #No 3: >75%, δείκτης ομοιομορφίας $C_u>4$ και $1<C_c<3$, γωνιώδες σχήμα κόκκων, προερχόμενο από θραύση υγιούς πετρώματος, LL<30, PI<6, περιεκτικότητα σε οργανικά: <1%. Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής / ενεργός συνοχή $\phi'/c'\geq 37^{\circ}/0$ (ή άλλα ζεύγη τιμών που να οδηγούν σε ισοδύναμη διατμητική αντοχή, π.χ. $34^{\circ}/9kPa$), μετρούμενα σε υλικό συμπυκνωμένο σε βαθμό 90%±93% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας κατά AASHTO T180-D. Στην περίπτωση χρήσης του υλικού αυτού σε οπλισμένα τμήματα του επιχώματος, η απώλεια βάρους κατά την δοκιμή υγείας (AASHTO T-104) θα πρέπει να είναι μικρότερη του 15% μετά από 5 κύκλους υπό την επίδραση θειικού νατρίου (ή μικρότερη του 30% μετά από 4 κύκλους υπό την επίδραση θειικού μαγνησίου). Η φθορά σε τριβή και κρούση: <50% (δοκιμή Los Angeles, AASHTO T-96, A-500στρ). Σε περίπτωση χαλύβδινων οπλισμών, η ειδική αντίσταση του υλικού θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 3.000ohm-cm κατά AASHTO T-288-91, ο δείκτης PH μεταξύ 5 και 10 κατά AASHTO T-289-91, η συγκέντρωση χλωριδίων: <100 PPM κατά AASHTO T-291-91, και η συγκέντρωση θειικών: <500PPM κατά AASHTO T-290-91.
ΝΕΠ 4	Κοκκώδη θραυστά καθαρά υλικά ανοικτού τύπου Νέας ειδικής ποιότητας 4	Μέγιστη διάμετρος κόκκου $D_{max}<75\chi\lambda\sigma$. Διερχόμενο από #No 200: <5%, διερχόμενο από #No 40: <5%, διερχόμενο από #No 10: <10%, διερχόμενο από #No 4: 15±80%, διερχόμενο από #No 3/8: 60±90%, διερχόμενο από #No 3: 100%, δείκτης ομοιομορφίας $C_u\leq 6$. LL, P I= 0 (μη πλαστικό), περιεκτικότητα σε οργανικά : =0 (≤0,5%) Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής / ενεργός συνοχή $\phi'/c'\geq 36^{\circ}/0$ σε υλικό συμπυκνωμένο σε βαθμό 95% της μέγιστης ξηράς πυκνότητας κατά AASHTO T180-D. Η απώλεια βάρους κατά τη δοκιμή υγείας (AASHTO T-104) να μην υπερβαίνει το 10% μετά από 5 κύκλους υπό την επίδραση θειικού νατρίου, η δε αντοχή σε τριβή και κρούση κατά τη δοκιμή Los Angeles (AASHTO T-96) να μην υπερβαίνει το 50% μετά από 500 περιστροφές.