

ΧΑΖΑΡΙΔΟΥ ΣΟΦΙΑ

**Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΕΞΑΙΤΙΑΣ
ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΙΞΗΣ ΜΕΓΑΛΩΝ ΟΔΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΙ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΟΥΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**ΥΠΕΥΘΥΝΟΙ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ:
ΒΟΥΒΑΛΙΔΗΣ Κ.
ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ Β.**

Θεσσαλονίκη 2008



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	2
3. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ	5
3.1 Εισαγωγή	5
3.2 Κατηγορίες κατολισθήσεων	7
3.3 Παράγοντες που προκαλούν κατολισθήσεις	15
3.4 Πετρώματα, εδαφικά υλικά και κατολισθήσεις	17
3.5 Γεωμορφολογική εκτίμηση της αστοχίας πρανούς	21
3.6 Αποτίμηση των κατολισθητικών καταστροφών και νομοθετικές αρχές	30
4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	32
4.1 Γενικά	32
4.2 Μορφολογία της περιοχής	34
4.3 Υπόγειο νερό	36
4.4 Λιθολογικοί σχηματισμοί	38
4.5 Γεωλογία και τεκτονική δομή	41
4.6 Τεχνικογεωλογικές ζώνες	43
5. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ	45
5.1 Αίτια της κατολίσθησης	45
5.2 Μηχανισμός της κατολίσθησης	46
5.3 Ποσοτικά στοιχεία της κατολίσθησης	47
5.4 Περιγραφή της κατολίσθησης	48
5.5 Απαιτούμενοι συντελεστές ασφάλειας ευστάθειας	55

6. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	56
6.1 Γενικά	56
6.2 Επιχώματα	58
6.2.1 Γενικά	58
6.2.2 Επίχωμα της υποπεριοχής B1	59
6.2.3 Επίχωμα της υποπεριοχής B2	60
6.3 Μπαρέτες ενίσχυσης της ευστάθειας των επιχωμάτων	61
6.4 Τοίχος αντιστήριξης	63
6.5 Έργα βαθιάς αποστράγγισης	64
6.5.1 Αποστραγγιστικά φρέατα	64
6.5.2 Αποστραγγιστικές σήραγγες	67
6.6 Έργα επιφανειακής αποστράγγισης	70
6.7 Προσωρινές εκσκαφές	71
6.8 Δίκτυο και πρόγραμμα παρακολούθησης	73
6.8.1 Κλισιόμετρα	73
6.8.2 Επιφανειακοί μάρτυρες	74
6.8.3 Πιεζόμετρα	75
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	78



Ευχαριστώ πολύ την κατασκευαστική εταιρεία ΑΚΤΩΡ Α.Τ.Ε., που με την πολύτιμη βοήθεια των ανθρώπων της, ολοκλήρωσα την έρευνα, για την επίδραση των κατολισθητικών φαινομένων στη διαμόρφωση του επιφανειακού ανάγλυφου, εξαιτίας της διάνοιξης της Εγνατίας Οδού στην περιοχή Μικρό και Μεγάλο Περιστέρι Ιωαννίνων, καθώς και τους τρόπους αντιμετώπισής τους.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω συγκεκριμένα τους εργοταξιάρχες, κυρίους Τσάκαλη Αναστάσιο και Δελαπόγλου Παντελή, για την οργανωτική υποστήριξη που μου προσέφεραν. Τους Γεωλόγους, κ. Παπαγιάννη Νικόλαο και κ. Χήρα Ναπολέον, για την μετάδοση των γνώσεών τους και για την παροχή απαραίτητων πληροφοριών, για την διεκπεραίωση της διπλωματικής μου εργασίας. Τον πολιτικό μηχανικό, κύριο Σεργάκη Γεώργιο, για την ξενάγηση στην ευρύτερη περιοχή των κατασκευαστικών έργων και για τον πολύτιμο χρόνο που μου αφιέρωσε και κυρίως τον πατέρα μου, Χαζαρίδη Μιχαήλ, εργοδηγό του έργου, για τις χρήσιμες συμβουλές του και την υποστήριξή του.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή Χρηστάρα Βασίλειο, για την επιστημονική καθοδήγησή του στο γεωτεχνικό μέρος της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή Βουβαλίδη Κωνσταντίνο, για την ανάθεση του συγκεκριμένου θέματος και για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

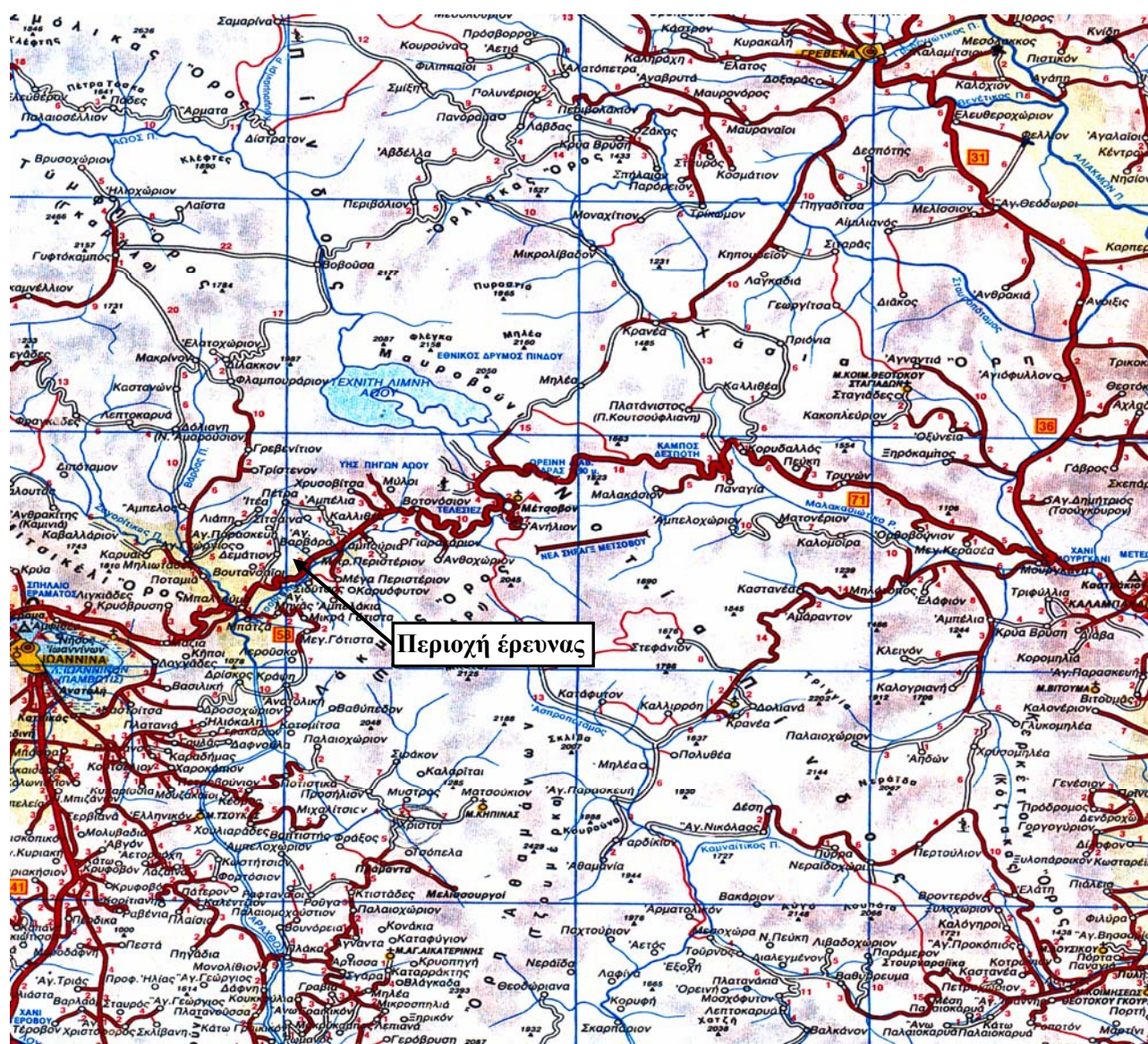
Τα τελευταία χρόνια κατασκευάζονται έργα μεγάλης κλίμακας, σε περιοχές με μέσο έως έντονο ανάγλυφο. Η επέμβαση των έργων αυτών, στο μορφολογικό ανάγλυφο είναι καθοριστική. Τα κατασκευαστικά έργα ενεργοποιούν διεργασίες μεταβολής του ανάγλυφου, με αποτέλεσμα είτε τη δημιουργία προβλημάτων, όπως για παράδειγμα αστοχίες ή μελέτες νέων χαράξεων, είτε τη διαμόρφωση νέου ανάγλυφου. Παράλληλα η εκτενής γεωλογική και γεωμορφολογική μελέτη των σχηματισμών δίνει νέα στοιχεία για τις δομές και τις ιδιότητες του ανάγλυφου.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιείται έρευνα σχετικά με την επίδραση των κατολισθητικών φαινομένων στη διαμόρφωση του επιφανειακού ανάγλυφου λόγω της διάνοιξης της Εγνατίας Οδού, στην περιοχή Περιστερίου Ιωαννίνων. Η διέλευση του οδικού άξονα από την συγκεκριμένη περιοχή αντιμετώπισε πολλά προβλήματα εξαιτίας των εκτεταμένων κατολισθητικών φαινομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των φαινομένων κατασκευάζονται συνδυαστικά μέτρα προστασίας, τα οποία κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής αυτής εργασίας, δεν έχουν ολοκληρωθεί για το υπό εξέλιξη έργο.

2. ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Γεωγραφικά η θέση της περιοχής έρευνας τοποθετείται δίπλα στο χωριό Μικρό Περιστέρι, το οποίο ανήκει στο νομό Ιωαννίνων και βρίσκεται 45 km ΒΑ της πόλης των Ιωαννίνων (χάρτης 1).

Στην περιοχή αυτή εντοπίζεται κατολίσθηση με πλάτος 670 m και μήκος από 400 m έως 540 m (φωτογραφία1). Τη χρονική στιγμή που πραγματοποιείται η έρευνα, επειδή δεν έχουν ολοκληρωθεί τα μέτρα προστασίας, η κατολίσθηση παραμένει ενεργή και η επιφάνεια ολισθαίνει 2 cm το χρόνο. Στις φωτογραφίες που ακολουθούν φαίνονται κάποιες καταστροφές που προκάλεσε η κατολίσθηση στην παλιά Εθνική Οδό.



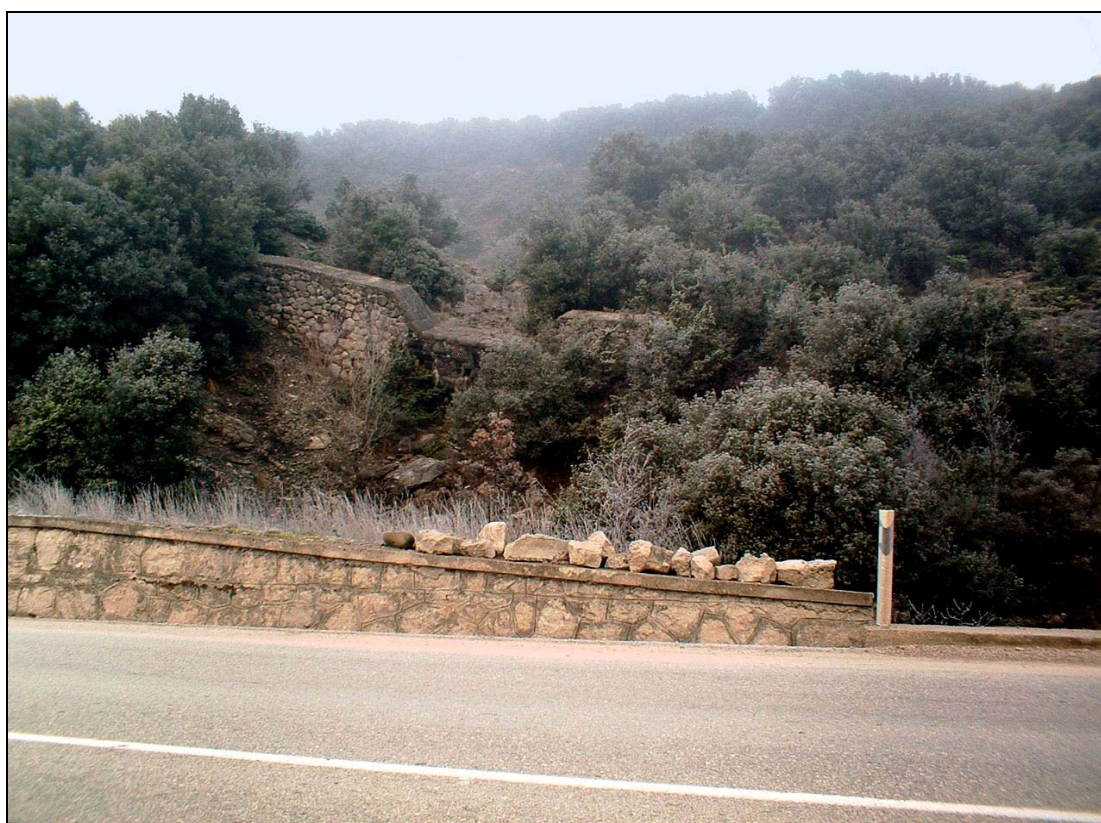
Χάρτης 1: Χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης

1. ΠΡΟΣ ΙΩΑΝΝΙΝΑ

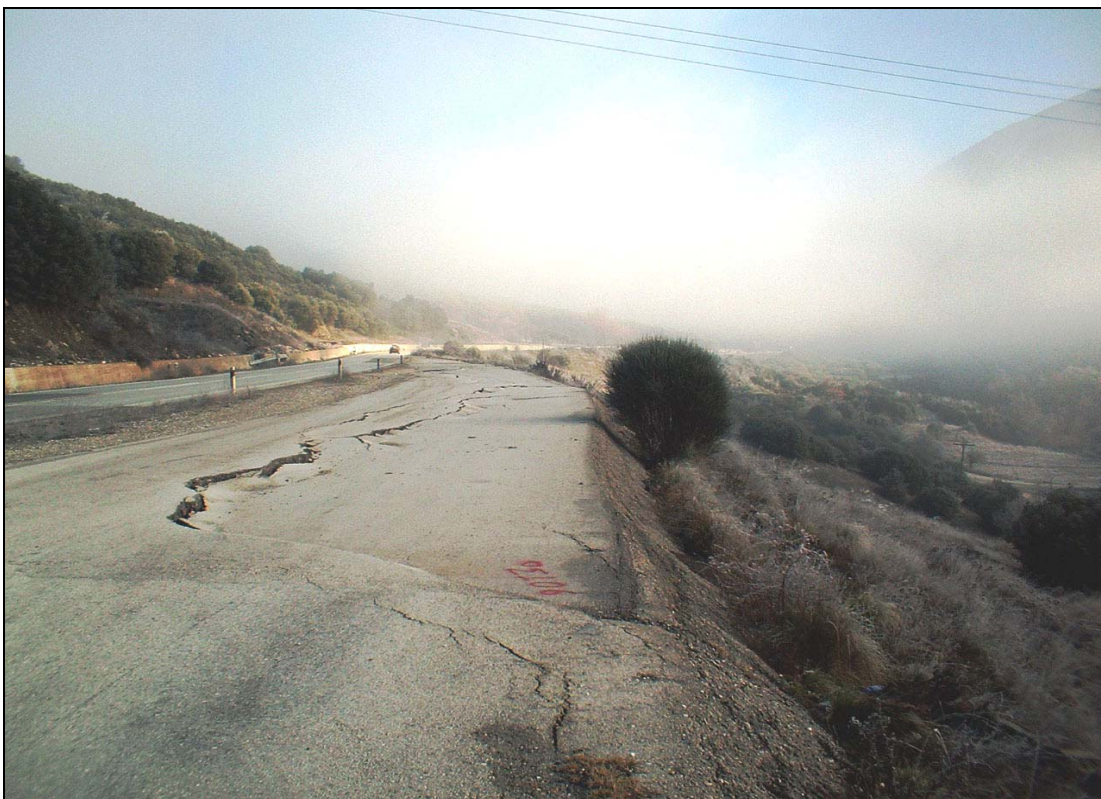
2. ΠΡΟΣ ΜΕΤΣΟΒΟ



Φωτογραφία 1: Πανοραμική άποψη της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται, η Εθνική οδός που διέρχεται από την περιοχή, η κοιλάδα του Μετσοβίτικου και η μορφολογία της περιοχής έρευνας.



Φωτογραφία 2: Μερική ανατροπή λιθόκτιστου τοίχου συγκράτησης φερτών υλικών, ανάντη ενός οχετού της Εθνικής Οδού που διέρχεται από την περιοχή.



Φωτογραφία 3,4: Ρωγμές στο οδόστρωμα και σε τοίχο αντιστήριξης της Εθνικής οδού που διέρχεται από την περιοχή

1. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

3.1 Εισαγωγή

Σχεδόν κάθε χρόνο μια μεγάλη καταστροφή προκαλείται παγκοσμίως από κατολίσθηση. Σε πολλές κατολισθήσεις οι θάνατοι ξεπερνούν τις εκατοντάδες και κάποιες φορές ανέρχονται σε χιλιάδες. Το 1985 η ηφαιστειακή δραστηριότητα στο Nevado del Ruiz (R.U. Cooke and J.C. Doorkamp, 1990) στην Κολομβία προκάλεσε τη γρήγορη τήξη του πάγου κοντά στην κορυφή του όρους που είχε ως αποτέλεσμα την μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων νερού στη πλαγιά του βουνού. Αυτό το νερό αναμίχθηκε με την ηφαιστειακή τέφρα και δημιούργησε ροή κορημάτων η οποία κάλυψε εξολοκλήρου την πόλη Armero προκαλώντας τον θάνατο περίπου 22000 ανθρώπων. Τέτοια δραματικά γεγονότα αποσπών την παγκόσμια προσοχή. Υπάρχουν εκατοντάδες μικρότερα, όχι τόσο γνωστά γεγονότα κατολισθήσεων τα οποία αποτελούν συνήθως μια διατάραξη αλλά μπορεί να έχουν κάποιο χρηματικό κόστος είτε με τη μορφή ζημιάς που προκαλούν είτε με τις εργασίες που ίσως χρειαστούν.

Η πιο γνωστή κατολίσθηση στον κόσμο είναι στο Saidmarreh, στα όρη Zagros του Ιράν, η οποία έγινε πριν 10.000 χρόνια. Αυτή είχε 15 km μήκος και έφτασε μέχρι και 20 km μακριά από την πηγή της (Watson and Wright, 1969). Αυτή η κατολίσθηση δεν ήταν καταστροφική παρόλο το μεγάλο της μέγεθος, γιατί δεν είχε επιπτώσεις. Όπως με όλα τα φυσικά φαινόμενα, μια κατολίσθηση χαρακτηρίζεται ως καταστροφική όταν επηρεάζει ανθρώπους και περιουσίες. Κατολισθήσεις σε ακατοίκητες περιοχές ή αρχαίες κατολισθήσεις έχουν μόνο ακαδημαϊκό ενδιαφέρον εκτός και αν κάποια κατασκευή ξαναενεργοποιήσει μια κατολίσθηση ή προκαλέσει μια καινούργια. Άξια αναφοράς ανάμεσα σε αυτές τις κατολισθήσεις είναι στο Vaiont Dam της Ιταλίας το 1963, στο οποίο σχηματίστηκε ένα κύμα μέσα στον υδάτινο όγκο τόσο μεγάλο ώστε να προκαλέσει την καταστροφή του φράγματος. Η πλημμύρα αυτή επέφερε του πνιγμό σε περισσότερους από 2000 ανθρώπους που βρίσκονταν στο διπλανό χωριό. Η κατολίσθηση αυτή προκλήθηκε από την απότομη πτώση της στάθμης του υδάτινου όγκου. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός υδροφόρου ορίζοντα μεταξύ των κεκλιμένων πλευρών, προκαλώντας αστάθεια στις κλιτύες (Kiersch, 1964).

Το κόστος σε οικονομικούς όρους που απορρέει από μια κατολίσθηση δεν είναι γνωστό. Στις Ηνωμένες Πολιτείες οι κατολισθήσεις εκτιμώνται ότι ξεπερνούν σε κόστος τα 1.000×10^6 \$ ετησίως ενώ ταυτόχρονα οι ετήσιες οικονομικές απώλειες στην Ιταλία υπολογίζονται σε $\$1.140 \times 10^6$ ετησίως (Arnould and Frey, 1977).

Οι αρχές έχουν λάβει μέτρα σε περιοχές όπου οι κατολισθήσεις έχουν αντίκτυπο σε ανθρώπους. Στην Βραζιλία παρατηρήθηκε ότι ο συνωστισμός σε πόλεις έχει προκαλέσει κατολισθήσεις σε σπίτια, τα οποία έχουν κατασκευαστεί στις ψηλότερες και στις πιο απότομες πλαγιές του Rio de Janeiro και ειδικότερα σε παλιές δασικές περιοχές οι οποίες απαλλοτριώθηκαν για την κατασκευή σπιτιών. Για την αποφυγή μιας τέτοιας εξάπλωσης πάρθηκαν κάποια νομοθετικά μέτρα. Ο δασικός νόμος του 1959 χαρακτήρισε ως παράνομες τις κατασκευαστικές εργασίες πάνω από κάποιο συγκεκριμένο υψόμετρο. Ένας δεύτερος νόμος ήταν "ο νόμος της άδειας οικοδομήσεως σε κεκλιμένα οικόπεδα", ψηφίστηκε το 1967 και απαγόρευε την κατασκευή σε απότομες κλιτύες ή σε οποιαδήποτε περιοχή όπου θα μπορούσε να υπάρχει αστάθεια. Ο νόμος αυτός απαιτούσε από τον κατασκευαστή να προσκομίσει απόδειξη της σταθερότητας του εδάφους πριν εκδοθεί η άδεια κατασκευής (Barata, 1969).

Σε άλλες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και της Δυτικής Ευρώπης οι επεκτάσεις γίνονται σύμφωνα με τους γεωλογικούς χάρτες, όπου είναι αποτυπωμένες οι επιφάνειες ολίσθησης με τις κλίσεις τους. Πριν από οποιαδήποτε κατασκευαστική εργασία πρέπει να μελετώνται οι κατολισθήσεις και η εν δυνάμει αστοχία του πρανούς.

Η μεγαλύτερη συμβολή που έγινε από γεωμορφολόγους στην έρευνα των κατολισθήσεων είναι η αναγνώριση του τρόπου με τον οποίο αστόχησαν τα πρανή, τι προκάλεσε την αστοχία και που αλλού θα μπορούσε να προκύψει η αστοχία.

Αυτή η πρόβλεψη είναι δύσκολη και μπορεί να προέλθει μόνο από σαφή κατανόηση της φύσης και των μηχανισμών ολίσθησεων που έχουν λάβει χώρα σε εκείνη την περιοχή. Οι γεωμορφολόγοι θα πρέπει να ερευνούν παλαιότερες και τωρινές κατολισθήσεις καθώς επίσης να χαρτογραφούν και να καταγράφουν όχι μόνο τις υπάρχουσες κατολισθήσεις, αλλά και τις επιτόπου παραμέτρους των κεκλιμένων επιφανειών, οι οποίες θα ορίσουν αν πρόκειται να υπάρξει περαιτέρω αστοχία.

3.2 Κατηγορίες κατολισθήσεων

1) Κατολισθήσεις των ανώτερων στρωμάτων (αυτόχθονοι σχηματισμοί πρανών, κώνοι κορρημάτων, υλικά αποσάθρωσης)

Οι κατολισθήσεις αυτές συμβαίνουν κυρίως εξαιτίας της βαρύτητας και δημιουργούνται με την επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στα επιφανειακά στρώματα.

Εξαιτίας της χημικής και μηχανικής αποσάθρωσης τα διάφορα θραύσματα των πετρωμάτων που βρίσκονται στις κεκλιμένες πλευρές των βράχων αποχωρίζονται και πέφτουν ως μεμονωμένοι βράχοι στη βάση του πρανούς. Αν συνεχιστεί αυτό το φαινόμενο τότε δημιουργούνται στη βάση αυτή του πρανούς χαλαροί σχηματισμοί τους οποίους ονομάζουμε **κώνους κορρημάτων** και οι οποίοι αποτελούνται από μικρά και μεγάλα τεμάχια πετρωμάτων. Η κλίση αυτών των σχηματισμών αντιστοιχεί προς την ικανότητα του υλικού να σταματάει στο πέτρωμα, η οποία πάλι εξαρτάται από την τραχύτητα και τη μορφή της επιφάνειας των τεμαχίων αυτών. Όσο χονδρότερα και τραχύτερα είναι αυτά τα κομμάτια τόσο καλύτερα σταματούν στις απόκρημνες κλιθείς.

Όταν στο πρανές των σχηματισμών αυτών δημιουργηθεί μια τομή π.χ. για την κατασκευή ενός δρόμου, τότε θα πρέπει να απομακρυνθεί ολόκληρο το στρώμα από τη βάση της οδού μέχρι το ανώτερο σημείο του κώνου κορρημάτων. Στην περίπτωση αυτή δε συνιστάται μια πρόσκαιρη ασφάλεια της κλιτύος με τη δημιουργία ενός τοιχείου, διότι το χαλαρό αυτό πέτρωμα δεν προσφέρει καμιά κατάλληλη υποδομή. Επιπλέον ο δρόμος στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται επικίνδυνος με κατολισθήσεις λίθων από τα πρανή και τα φαράγγια, από τα οποία έχουν δημιουργηθεί οι κώνοι αυτοί των κορρημάτων.

Η προοδευτική πτώση των στρωμάτων δημιουργείται με μετατόπιση των επιφανειακών στρωμάτων, των υλικών των πρανών και των σχηματισμών της αποσάθρωσης. Ανάμεσα στο κινούμενο στρώμα και στην επιφάνεια του στερεού υπόβαθρου ενεργεί η τριβή, η οποία ανακάμπτει τα διαβρωθέντα τμήματα των στρωμάτων του στερεού υπόβαθρου και μπορούν έτσι τα στρώματα να μεταφερθούν αρκετά μακριά. Τα παρασυρθέντα και διαταραγμένα πια στρώματα του βραχώδους υπόβαθρου γίνονται συστατικά των αποθέσεων των κλιτύων, το πάχος των οποίων με τον τρόπο αυτό αυξάνεται σημαντικά.

Οι μετακινήσεις αυτές των επιφανειακών στρωμάτων είναι αρκετά διαδεδομένες και παρουσιάζονται στις κλιτείς τόσο των διαφόρων σχιστόλιθων, λεπτοστρωματοδών ψαμμιτών ή ασβεστόλιθων, όσο και στις αντίστοιχες κλιτείς γνευσίων, γρανιτών, χαλαζιτών και σε διάφορα άλλα στερεά πετρώματα.

Κατά την διάνοιξη μιας τάφρου για τη θεμελίωση μιας κατασκευής ή για τη διάνοιξη μιας οδού, είναι δυνατόν κάτω από αυτά τα επιφανειακά στρώματα να αποκαλυφθούν παλαιότερες επιφάνειες κατολισθήσεων, οι οποίες μπορούν να ενεργοποιηθούν και να προκαλέσουν νέες κατολισθήσεις των υπερκείμενων επιφανειακών στρωμάτων.

2) Κατολισθήσεις που οφείλονται στη μεταβολή της συνεκτικότητας του πετρώματος

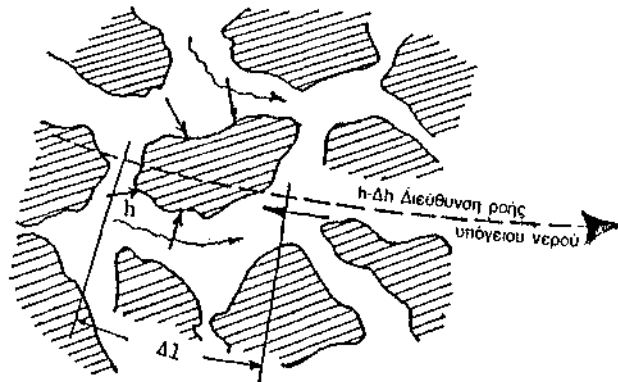
Ρέουσες άμμοι: Με τον όρο αυτό δεν εννοούμε καμιά ιδιαίτερη μορφή πετρώματος, επειδή κάθε χαλαρό πέτρωμα κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να μεταβεί στη ρευστή κατάσταση. Όταν δοθούν αυτές οι προϋποθέσεις, τότε μπορούμε να διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις, κατά τις οποίες εξετάζεται η ρέουσα άμμος από τεχνικής πλευράς:

ι. Η κίνηση του εδάφους δημιουργείται από τις δυνάμεις που αναπτύσσονται από τη ροή του νερού μέσα στην άμμο. Όταν το νερό εισέρχεται στην άμμο θα πρέπει να υπερνικήσει την αντίσταση που αναπτύσσεται στα κενά ανάμεσα στους κόκκους. Έτσι ελαττώνεται το πιεζομετρικό ύψος του νερού κατά Δh (Σχ. 3.1) και η διαφορά της πίεσης μεταφέρεται στους κόκκους της άμμου. Όταν ο δρόμος κατά τη διεύθυνση ροής ανέρχεται σε Δl (cm) και η απώλεια πίεσης στις πιεζομετρικές στάθμες Δh (cm), τότε η μονάδα όγκου του εδάφους υφίσταται μία πίεση ροής $u = i \cdot \gamma_w$, όπου

$i = \Delta h / \Delta l$ είναι η υδραυλική κλίση κατά τη διεύθυνση ροής. Από το γεγονός αυτό βγαίνει το συμπέρασμα, πως η δύναμη της ροής του νερού σε άμμους γίνεται τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά της στάθμης του νερού σε μικρή απόσταση.

Σε χονδρούς άμμους και χαλίκια, όπου γενικά παρουσιάζεται μικρή υδραυλική κλίση, η πίεση ροής μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα, ενώ σε λιγότερο διαπερατά εδάφη, όπως λεπτοί άμμοι και πηλοί στα οποία δημιουργείται μεγάλη υδραυλική κλίση, η πίεση αυτή της ροής παίρνει μεγάλες τιμές. Ως εκ τούτου ο κίνδυνος ροής σ' αυτά τα εδάφη είναι πολύ μεγαλύτερος από ότι σε χονδρές άμμους, χαλίκια και κροκάλες. Εξαίρεση

στα παραπάνω αποτελεί μια ξαφνική πτώση της στάθμης του υπόγειου νερού, όπως π.χ. με την πτώση της στάθμης στη λεκάνη κατάκλισης ενός φράγματος.



Σχήμα 3.1: Δημιουργία ρέουσας άμμου εξαιτίας της εσωτερικής ροής του νερού.

ii. Μια ροή μπορεί επίσης να παρουσιαστεί σε άμμους που είναι κορεσμένες με νερό. Αν οι άμμοι αυτοί παρουσιάζουν ένα υψηλό πορώδες (μεγαλύτερο από αυτό που ονομάζουμε κρίσιμο πορώδες, περίπου 40%) και εκτεθούν σε μια ξαφνική ώθηση π.χ. εξαιτίας κραδασμών ή της ροής του νερού, τότε οι κόκκοι τους ανακατανέμονται, η μάζα τους γίνεται πυκνότερη και με τον τρόπο αυτό το πορώδες τους ελαττώνεται. Το πλεόνασμα νερού εξέρχεται από την άμμο. Επειδή όμως αυτό δε μπορεί να διαφύγει με μια μόνο φορά, οι κόκκοι δεν ανακατανέμονται ο ένας μετά τον άλλο. Έτσι δημιουργείται στο νερό των πόρων μια πίεση που ελαττώνει την τριβή ανάμεσα στους κόκκους και για βραχύ χρόνο η μάζα αυτή της άμμου μεταβαίνει στη ρευστή κατάσταση. Στην κατηγορία αυτή των κατολισθήσεων ανήκουν μερικές μετακινήσεις εδαφών κοντά στις ακτές της θάλασσας. Συχνότατα όμως οι κατολισθήσεις αυτές παρουσιάζονται σε τεχνητές πλαγιές, όπως σε αμμώδεις επιχωματώσεις κατά μήκος του δρόμου σε λεκάνες κατάκλισης φραγμάτων ή στις πλευρές χωμάτων φραγμάτων προς την πλευρά του νερού.

iii. Πολύ επικίνδυνες τέλος είναι άμμοι με μεγάλο πορώδες και κολλοειδές ενδιάμεσο υλικό ανάμεσα στους πόρους. Σε πλευρική καταπόνηση τους επέρχεται, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, καταστροφή της εσωτερικής τους δομής, το νερό όμως που πλεονάζει εξέρχεται από την άμμο πολύ αργά. Η κατάσταση ροής μιας τέτοιας άμμου δεν είναι μια κατάσταση περαστική, αλλά οι άμμοι αυτοί είναι στην κυριολεξία ρέουσες άμμοι σε μόνιμη βάση.

3) Κατολισθήσεις συνεκτικών εδαφών

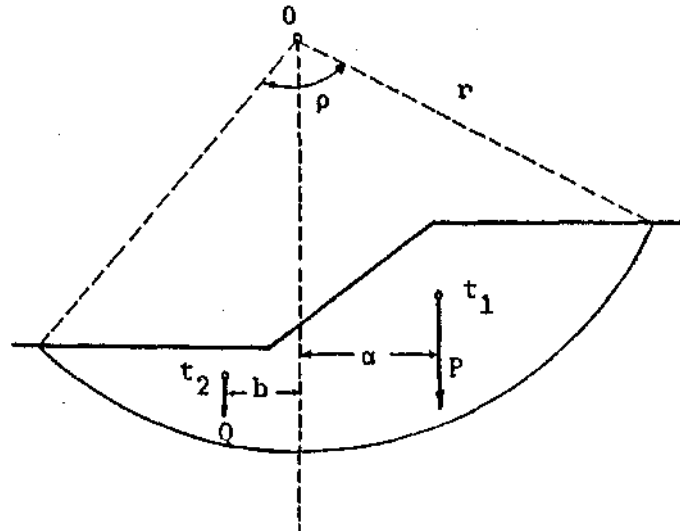
ι. Κατολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης

Σε συνεκτικά ομογενή πετρώματα δημιουργούνται κατά τη διαταραχή της ισορροπίας των πρανών, βαθιές κατολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών. Στην περίπτωση αυτή, σε διάκριση με αυτές που αναφέραμε μέχρι τώρα, παρουσιάζεται μια διαταραχή της ισορροπίας κυρίως με την αύξηση των δυνάμεων που προκαλούν μετακίνηση τεμαχίων (πλάγιες δυνάμεις = Scherkrafte) οι άλλοι παράγοντες εδώ παίζουν μικρότερο ρόλο. Η αύξηση αυτών των δυνάμεων μπορεί να προκληθεί είτε με σκάψιμο της βάσης της κλιτύς, είτε με τη διάβρωση της και πρόσθετη φόρτωση με νέα υλικά ή οικοδομές.

Στις περιπτώσεις αυτές η κατολίσθηση δεν παρουσιάζεται σε επιφάνειες που προϋπήρχαν, αλλά κατά μήκος νέων επιφανειών ολίσθησης, που πολλές φορές διαιρούν την ολισθαίνουσα μάζα σε περισσότερα επί μέρους τεμάχια. Συνήθως ολόκληρη η ολισθαίνουσα μάζα κινείται ως ενιαία μάζα κατά μήκος μιας ή περισσότερων επιφανειών ολίσθησης. Επειδή αυτές οι επιφάνειες ολίσθησης είναι καμπύλες, προκαλείται συνήθως μια κλίση της επιφάνειας της βάσης προς την αντίθετη διεύθυνση της κατολίσθησης. Αν έχουμε π.χ. ένα πέτρωμα με μικρή γωνία εσωτερικής τριβής, τότε η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται κάτω από τη βάση του πρανού. Μια όμοια περίπτωση παρουσιάζεται, όταν το πέτρωμα κάτω από τη βάση του πρανού δεν είναι παντού το ίδιο στερεό. Στη βάση αυτή του πρανού το πέτρωμα ωθείται προς τα πάνω, έτσι ώστε η πτώση της βάσης κατά μήκος της καμπύλης επιφάνειας ολίσθησης προκαλεί μια κύρτωση της βάσης του πρανού.

Η πορεία της κατολίσθησης σε συνεκτικά εδάφη κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης είναι χαρακτηριστικό πρόβλημα της στατικής ισορροπίας, οι προϋποθέσεις της οποίας ερμηνεύονται στο σχήμα 3.2. Δεχόμαστε ότι το τμήμα της κλιτύς που περιορίζεται μέσα στην κυρτή επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται στην κατάσταση της οριακής ισορροπίας. Για να απλοποιήσουμε τους υπολογισμούς προϋποθέτουμε ότι:

α) Να δεχτούμε την κίνηση αυτή ως ομαλή, η παραδοχή αυτή είναι τελείως σωστή αν το τμήμα της κλιτύς που κατολισθαίνει έχει μεγάλο πλάτος, έτσι ώστε η τριβή και στις δυο πλευρές της κατολίσθησης να μη λαμβάνεται υπόψη



Σχήμα 3.2: Συνθήκες ισορροπίας της κλιτύς σε κατολισθήσεις συνεκτικών εδαφών κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών.

β) Η επιφάνεια ολίσθησης είναι κυλινδρική και σε διατομή φαίνεται ως περιφέρεια κύκλου με ακτίνα r και κέντρο κύκλου το O .

γ) Η αντίσταση ολίσθησης του πετρώματος αντιστοιχεί ουσιαστικά στη συνοχή του. Για απλοποίηση δεχόμαστε, ότι η συνοχή του πετρώματος κατά μήκος όλης αυτής της επιφάνειας ολίσθησης παραμένει σταθερή.

Η κάθετη ευθεία που φέρνεται από το σημείο O διαιρεί την κατολίσθηση σε δυο τμήματα: δεξιά βρίσκεται το ενεργό τμήμα που προκαλεί την ολίσθηση του εδάφους και αριστερά το παθητικό τμήμα της κατολίσθησης που εμποδίζει την κίνηση του εδάφους.

Στο σχήμα 3.2 η ροπή στο σημείο O μπορεί να περιγραφεί ως εξής:

$$P \cdot a = Q \cdot b + c \cdot l \cdot r \quad (\text{σχέση 3.1})$$

Ο βαθμός ασφάλειας τότε δίνεται από τη σχέση:

$$n = c \cdot l \cdot r / P \cdot a - Q \cdot b \quad (\text{σχέση 3.2})$$

όπου:

P : το βάρος του ενεργού τεμαχίου που εφαρμόζεται στο κέντρο βάρους t_1 .

Q : το βάρος του παθητικού τεμαχίου που εφαρμόζεται στο κέντρο βάρους t_2 .

a = ο βραχίονας της δύναμης P .

b = ο βραχίονας της δύναμης Q .

l = το μήκος της τομής της επιφάνειας ολίσθησης: $l = r \cdot \pi \cdot r / 180$

c = η αντίσταση ολίσθησης ανά μονάδα της επιφάνειας ολίσθησης που αντιστοιχεί στη συνοχή του πετρώματος.

r = η ακτίνα της κυλινδρικής επιφάνειας ολίσθησης.

Η αύξηση της τιμής του P , δηλαδή η αύξηση του βάρους του δεξιού τεμάχους εξαιτίας μιας πρόσθετης επιφόρτωσης, οδηγεί σε μια ελάττωση της σταθερότητας της κλιτύος, ενώ μια αύξηση του βάρους στο αριστερό τέμαχος αυξάνει το βαθμό ασφάλειας των πρανών, όπως φαίνεται και από τη σχέση 3.2. Η τιμή της έκφρασης ($c \cdot l \cdot r$) είναι μεταβλητή, όταν μεταβάλλεται η αντοχή, δηλαδή η συνοχή του πετρώματος. Αν αυξάνει η υγρασία του εδάφους, τότε ελαττώνεται η συνοχή του και στη συνέχεια η τιμή του γινόμενου $c \cdot l \cdot r$. Πρακτικά, το φαινόμενο αυτό σε μεγάλες αργιλικές μάζες, εμφανίζεται ύστερα από πολύ χρόνο. Ως εκ τούτου μπορούμε κατά τον υπολογισμό της ασφάλειας των πρανών να πάρουμε σαν τιμή συνοχής (c) την τιμή αυτή της συνοχής του πετρώματος που έχουμε υπολογίσει στο εργαστήριο.

Πολυάριθμες κατολισθήσεις που παρουσιάζονται στις ακτές της θάλασσας ή στις όχθες ποταμών ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία. Ένα τυπικό παράδειγμα αποτελεί η γνωστή κατολίσθηση στο Folkestone στις νότιες ακτές της Αγγλίας.

ii. Κατολισθήσεις κατά μήκος προχαραγμένων επιφανειών

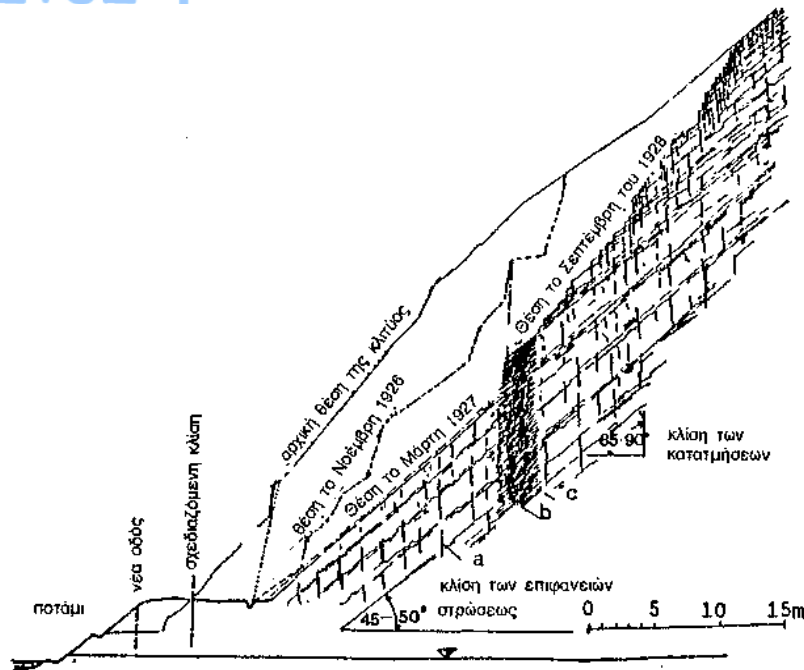
α) Κατολισθήσεις κατά μήκος των επιφανειών στρώσης:

Οι κατολισθήσεις αυτές παρουσιάζονται όταν η κλίση των επιφανειών στρώσης έχει την ίδια διεύθυνση με την κλίση της κλιτύος και όταν η βάση αυτής της κλιτύος έχει διαβρωθεί ή έχει τεχνητώς αποκοπεί. Σε πετρώματα με επίπεδες και λείες επιφάνειες στρώσης, η κλίση αυτών των επιφανειών παριστάνει συνήθως και τη μέγιστη κλίση κατά την οποία η κλιτύς αυτή εξακολουθεί να παραμένει σταθερή. Όταν τα στρώματα στο κάτω μέρος της κλιτύος ξεπλένονται και αφαιρούνται, ή αφαιρούνται επίσης τεχνητώς εξαιτίας διαφόρων κατασκευών, τότε αυτά κρατούνται στη θέση τους μόνο με τη δύναμη της τριβής. Ο συντελεστής τριβής είναι τόσο μεγαλύτερος, όσο τραχύτερες και ανεπίπεδες είναι οι επιφάνειες στρώσης.

Η τριβή όμως εξαιτίας της ατμοσφαιρικών επιδράσεων, του παγετού και της τήξης του νερού μερικές φορές και εξαιτίας της υδροστατικής πίεσης του νερού των κατατμήσεων ελαττώνεται, οπότε το έδαφος αρχίζει και κατολισθαίνει.

Κατολισθήσεις κατά μήκος επιφανειών στρώσης παρουσιάζονται κυρίως σε περιοχές φλύσχη, όπου αυτές δεν εξαρτώνται μόνο από την ποιότητα των πετρωμάτων, αλλά κυρίως από την κατάσταση της μορφολογικής εξέλιξης της βραχώμαζας. Τέτοιες περιοχές στην Ελλάδα παρουσιάζονται ακριβώς στην περιοχή της Πίνδου. Τα ρυάκια και τα ποτάμια της Πίνδου παρουσιάζουν συνήθως μια μεγάλη κλίση, έτσι ώστε αυτά κόβουν και απογυμνώνουν γρήγορα τα μαλακά πετρώματα του βραχώδους υπόβαθρου. Η εμβάθυνση των κοιλάδων στην περιοχή της Πίνδου προχωρεί τόσο γρήγορα, έτσι ώστε η κλίση της βραχώμαζας δε μπορεί να παρακολουθήσει τη διαβρωτική δράση των ρευμάτων (ποταμών και ρυακιών). Έτσι δημιουργούνται κλιτείς με απότομη κλίση, η οποία συνήθως είναι μεγαλύτερη από την κλίση των στρωμάτων. Αν οι κλιτείς των στρωμάτων διευθύνονται προς την πλευρά της κοιλάδας, τότε το γεγονός αυτό αποτελεί ευνοϊκή προϋπόθεση για τη δημιουργία κατολισθήσεων κατά μήκος των επιφανειών στρώσης.

Μια κατολίσθηση κατά μήκος επιφανειών στρώσης δημιουργείται συχνά όταν μεταβληθούν τεχνητά οι φυσικές συνθήκες της κλιτύος. Κατά την κατασκευή μιας οδού διαταράσσεται σε ορισμένες τομές η ισορροπία των πρανών που είναι περισσότερο απότομα. Στο σχήμα 3.3 παριστάνεται η εγκάρσια τομή μιας κλιτύος, κατά την οποία παρατηρείται κατολίσθηση κατά μήκος των επιφανειών στρώσης του πετρώματος. Η ροπή του πετρώματος προς κατολίσθηση αυξάνεται σε αυτήν την περίπτωση, όταν έχουμε επίσης αυξημένη καταταμητικότητα της βραχώμαζας. Στην περίπτωση αυτή το σχεδιάγραμμα της χάραξης του δρόμου δεν έλαβε υπόψη τη γεωλογική και τεκτονική δομή της βραχώμαζας στην περιοχή αυτή. Τα έξοδα για τη σταθεροποίηση αυτού του δρόμου είναι πάρα πολλά και επαναλαμβάνονται συνεχώς κάθε χρόνο.



Σχήμα 3.3: Κατολίσθηση του αλγογκικού αργιλλικού σχιστόλιθου πάνω σε επιφάνειες στρώσης, που προκλήθηκαν κατά τη διάνοιξη ενός νέου δρόμου, a = αλγογκικός αργιλλικός σχιστόλιθος, b = φλέβα διάβαση, c = αργιλλικός σχιστόλιθος με μεταμόρφωση επαφής (Zaruba, 1961).

β) Κατολισθήσεις κατά μήκος κατατμήσεων και άλλων τεκτονικών επιφανειών:

Παρόμοιες κινήσεις του εδάφους, όπως αυτές που γίνονται κατά μήκος των επιφανειών στρώσης παρουσιάζονται τότε, όταν οι κύριες διαχωριστικές επιφάνειες του πετρώματος, κατατμήσεις και ρήγματα, έχουν διεύθυνση κλίσης όμοια με τη διεύθυνση κλίσης των πρανών.

Κατολισθήσεις αυτής της μορφής παρουσιάζονται σε νέες, τεκτονικά ισχυρά καταπονημένες περιοχές με έντονο ανάγλυφο, ιδιαίτερα όμως κατατομές που έχουν προκληθεί τεχνητά.

Ιδιαίτερα επικίνδυνες είναι ισχυρά μυλωνιτιωμένες ζώνες, που η γωνία τριβής τους μπορεί να είναι πολύ μικρή.

3.3 Παράγοντες που προκαλούν κατολισθήσεις

Για το μηχανικό γεωλόγο έχει μεγάλη σημασία να μπορέσει να διαγνώσει τις αιτίες που μπορούν να επιφέρουν μια κατολίσθηση και ενδεχόμενα να προτείνει ή να προβεί σε διάφορα μέτρα προστασίας και απότρεψης αυτών των φαινομένων. Οι παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν μια κατολίσθηση είναι (Δημόπουλος, 1986):

1. Μεταβολή της κλίσης ή του ύψους ενός πρανούς: Αυτή μπορεί να προκληθεί με έκπλυση και αφαίρεση υλικών από τη βάση του πρανούς εξαιτίας φαινομένων διάβρωσης ή με τη δράση ηπειρογενετικών τεκτονικών κινήσεων. Τεχνητώς αυτές μπορούν να προκληθούν με εκχωμάτωση της βάσης του πρανούς ή με διάφορες άλλες κατασκευαστικές εργασίες (μεταλλεία κ.λπ.). Μια τέτοια αύξηση της κλίσης επιφέρει μεταβολή στην ισορροπία των τάσεων του πετρώματος και προκαλεί αύξηση των δυνάμεων που προκαλούν μετατόπιση τεμαχίων.

2. Μεταβολή του βάρους του πετρώματος: Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκληθεί εξαιτίας διαφόρων φαινομένων αποσάθρωσης και μεταβολές της περιεκτικότητας σε νερό των διαφόρων συνεκτικών πετρωμάτων. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται καινούργιες κατατμήσεις, η συνοχή του πετρώματος ελαττώνεται και τα διάφορα φαινόμενα απογύμνωσης επιταχύνονται.

3. Ξαφνική πρόσθετη επιφόρτιση: Αυτή προκαλεί μια αύξηση της δύναμης μετατόπισης τεμαχίων και αύξηση της τάσης του νερού στους πόρους συνεκτικών εδαφών, οπότε ελαττώνεται η γωνία εσωτερικής τριβής.

4. Δονήσεις: Σε σεισμογενείς περιοχές δημιουργούνται εξαιτίας των σεισμών διάφοροι κραδασμοί και ταλαντώσεις των πετρωμάτων με διαφορετική συχνότητα. Ανάλογες δράσεις μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις με μεγάλη περιεκτικότητα εκρηκτικών και μηχανές επίσης που προκαλούν κραδασμούς. Σε κάθε πέτρωμα δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο εφήμερες μεταβολές των τάσεων, που διακόπτουν την ισορροπία των πρανών.

5. Μεταβολή της περιεκτικότητας νερού των πετρωμάτων: Το νερό της βροχής και του χιονιού εισέρχεται στις κατατμήσεις, όπου δημιουργείται μια υδροστατική πίεση και στα χαλαρά πετρώματα αυξάνεται η υδροστατική πίεση των πόρων.

Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συνοχή του πετρώματος και η εσωτερική τριβή.

Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου τα αργιλλικά πετρώματα συμπυκνώνονται, δημιουργούνται βαθιές ρωγμές, ελαττώνεται η συνοχή του πετρώματος στα πρηνή και επιτυγχάνεται έτσι μια είσοδος νερού στα αργιλλικά πετρώματα.

6. *Ταχείες μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού:* Αυτές δίνουν αφορμή να μεγαλώσουν οι κόκκοι, ιδιαίτερα σε λεπτούς άμμους και πηλούς. Η ξαφνική άνοδος της υδροστατικής πίεσης των πόρων μπορεί να προκαλέσει μια απότομη ροή του πετρώματος.

7. *Το υπόγειο νερό:*

α) Το υπόγειο νερό που κινείται επιφέρει πάνω στα τεμαχίδια του εδάφους μια πίεση. Εξαιτίας αυτής της πίεσης ελαττώνεται η σταθερότητα του πρηνούς.

β) Το υπόγειο νερό μπορεί να παρασύρει το ευδιάλυτο συνδετικό υλικό των πετρωμάτων. Το φαινόμενο αυτό ελαττώνει την εσωτερική σύνδεση των μορίων και τη συνοχή και κατεβάζει το συντελεστή της εσωτερικής τριβής.

γ) Η υπό πίεση στάθμη του υπόγειου νερού επιδρά στα αδιαπέρατα στρώματα του πρηνούς ως άνωση.

δ) Επιπλέον το δραστικό υπόγειο νερό (εμπλουτισμένο με HCO_3) μπορεί να προκαλέσει διάλυση του συνδετικού υλικού ή τμημάτων των στερεών πετρωμάτων ή να μεταβάλει τέλος την στερεότητα τους.

8. *Η επίδραση του παγετού:* Με τον παγετό μεγαλώνει ο όγκος του υπόγειου νερού μέσα στις κατατμήσεις. Οι παλιές κατατμήσεις μεγεθύνονται και δημιουργούνται καινούργιες. Στα κατατμημένα πλέον πετρώματα ελαττώνεται η συνοχή τους.

9. *Η αποσάθρωση:* Η μηχανική και χημική αποσάθρωση ελαττώνουν συνεχώς τη συνοχή του πετρώματος. Σε μερικές περιπτώσεις κατολισθήσεων φαίνονται καθαρά ίχνη, έτσι ώστε, να θεωρούνται ως ένας παραπάνω παράγοντας των χημικών μεταβολών του πετρώματος που προκαλούνται από το νερό που εισέρχεται από τα γειτονικά χημικώς ενεργά πετρώματα.

10. *Μεταβολή της βλάστησης:* Σε περιοχές όπου παρατηρείται μεταβολή της βλάστησης των πρηνών από διάφορες αιτίες (πυρκαγιές), προκαλείται ελάττωση της συνοχής των πρηνών, καθότι οι ρίζες προκαλούν σταθεροποίηση του εδάφους.

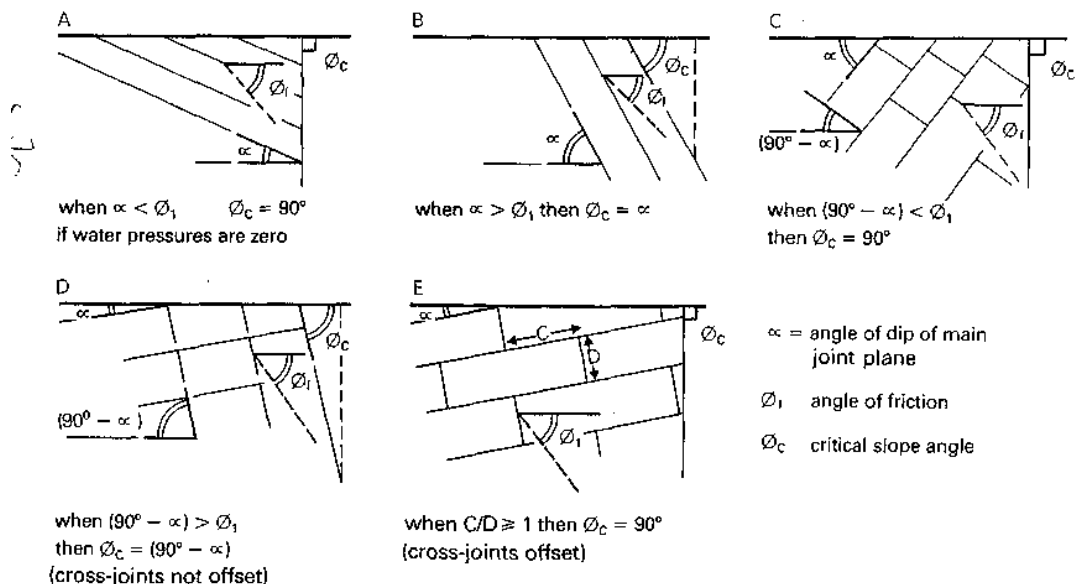
3.4 Πετρώματα, εδαφικά υλικά και κατολισθήσεις

Τα στρώματα τα οποία αποτελούνται από συμπαγές πέτρωμα δεν έχουν την ίδια τάση σε κατολίσθηση με τα λιγότερο συνεκτικά στρώματα ή τα εδαφικά καλύμματα.

a. Υλικά υποβάθρου

Κατολίσθηση σε μη αποσαθρωμένο υπόβαθρο δεν προκαλείται από την έλλειψη κάποιας εξωτερικής δύναμης στο πέτρωμα, αλλά από την παρουσία εσωτερικής αδυναμίας όπως για παράδειγμα επιφάνεια διάκλασης ή ρήγμα. Όποια και αν είναι η αιτία της αστοχίας του υποβάθρου, η πραγματική επιφάνεια ολίσθησης θα οριστεί κυρίως από τη θέση των αδύνατων ζωνών (διάκλαση).

Ένας σημαντικός έλεγχος για την αστάθεια του υποβάθρου είναι ο υπολογισμός της γωνίας που σχηματίζεται όταν η κύρια διάκλαση τέμνει την επιφάνεια του εδάφους. Κάποια παραδείγματα παρουσιάζονται στο σχήμα 3.4 και δείχνουν πόσο σημαντική είναι η σχέση μεταξύ της γωνίας εσωτερικής τριβής κατά μήκος της επιφάνειας διάκλασης (ϕ_f) και της κλίσης της διάκλασης (α). Αν $\alpha < \phi_f$ τότε το πρηνές μπορεί να έχει μέχρι και 90° γωνία (σχήμα 3.4), αλλά αν $\alpha > \phi_f$ τότε η βαρύτητα θα προκαλέσει ολίσθηση κατά μήκος της επιφάνειας διάκλασης.



Σχήμα 3.4: Κάποιες πιθανές σχέσεις μεταξύ επιφανειών διάκλασης στο υπόβαθρο και ευστάθειας πρηνούς

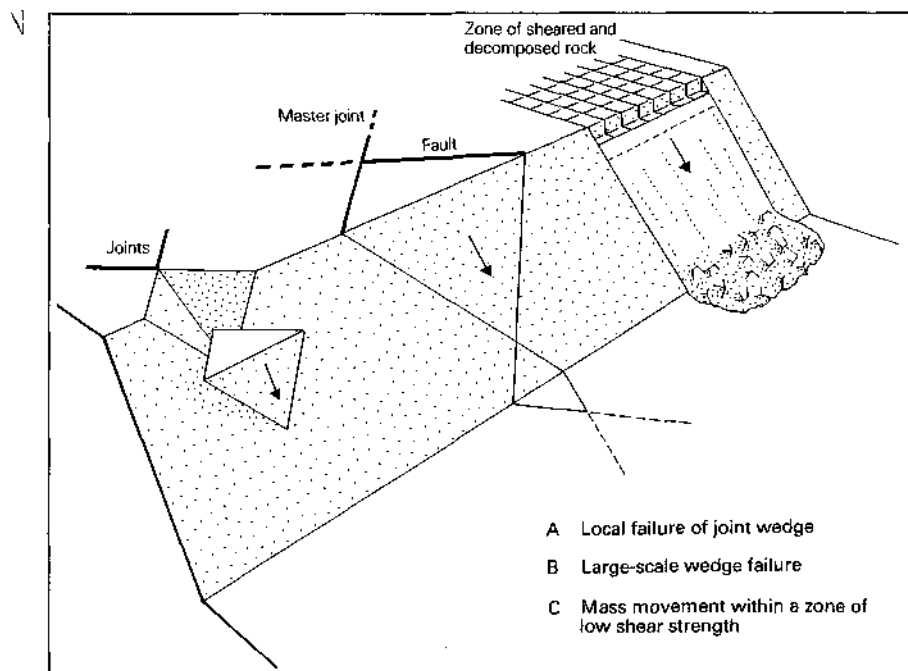
Η γωνία εσωτερικής τριβής ορίζεται από έναν αριθμό με διαφορετικά χαρακτηριστικά κατά μήκος της ασυνέχειας. Άλλες ιδιότητες που συνεισφέρουν, περιλαμβάνουν τη συνέχεια της διάκλασης μέσα σε μία βραχόμαζα, τη τραχύτητα της επιφάνειας διάκλασης και τον κυματισμό τους. Σε κάποιες περιπτώσεις ο πιο σημαντικός έλεγχος της ευστάθειας του υποβάθρου δεν είναι τόσο οι διακλάσεις από μόνες τους, αλλά τα προϊόντα της αποσάθρωσης. Αυτό το επιπρόσθετο υλικό μπορεί να ξεχωρίζει δύο επιφάνειες βραχόμαζας μεταξύ τους και τότε η ευστάθεια του πρανούς θα εξαρτάται από τη διατμητική αντοχή αυτών των υλικών. Ανάλογα με την παρουσία του υλικού πλήρωσης στην αστοχία, είναι πιθανές τέσσερις περιπτώσεις (Piteau, 1970):

- i. Το επίπεδο ολίσθησης περνάει εξολοκλήρου από το υλικό πλήρωσης και η διατμητική αντοχή εξαρτάται μόνο από αυτό.
- ii. Το επίπεδο ολίσθησης περνάει εν μέρει από το υλικό πλήρωσης και η διατμητική αντοχή είναι ένα άθροισμα του υλικού πλήρωσης και της επιφάνειας διάκλασης.
- iii. Το υλικό πλήρωσης είναι πολύ λεπτό και μόνο οριακά τροποποιεί τη διατμητική αντίσταση της επιφάνειας διάκλασης.
- iv. Δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης επομένως η διατμητική αντοχή εξαρτάται από την επιφάνεια διάκλασης.

Ο προσανατολισμός της διάκλασης είναι σημαντικός για την δίοδο του νερού μέσα στο υπόβαθρο. Η κυκλοφορία του νερού σχετίζεται με την απόσταση μεταξύ των διακλάσεων. Συνήθως είναι δύσκολο να αναγνωριστεί η υπόγεια συνέχεια των διακλάσεων. Το υπόβαθρο περιέχει συνήθως διακλάσεις, οι οποίες έχουν διαφορετικές κατευθύνσεις δίνοντας προκαθορισμένη διεύθυνση στην κίνηση του νερού και έτσι παρουσιάζονται ανισότροπες και μη ομογενείς ιδιότητες ροής.

Η διατμητική αντοχή μιας επιφάνειας διάκλασης σχετίζεται με την ορυκτολογική σύσταση του υποβάθρου. Για παράδειγμα ο χαλαζίας και ο ασβεστίτης αυξάνουν την αντίστασή τους στην ολίσθηση όταν βραχούν, ενώ οι ταλκικοί σχηματισμοί έχουν μικρότερη αντίσταση στην ολίσθηση όταν είναι βρεγμένοι. Η αποσάθρωση μεταξύ επιφανειών διάκλασης μπορεί να έχει σημαντικά αποτελέσματα. Ο μοντμοριλονίτης έχει μικρή διατμητική αντοχή και διογκώνεται όταν βραχεί. Τα διαλυτά ορυκτά όπως η γύψος, ο ασβεστόλιθος και ο δολομίτης μπορούν να διαλυθούν και να προκαλέσουν μείωση της διατμητικής αντίστασης καθώς απομακρύνονται από την επιφάνεια διάκλασης (Piteau 1970), ενώ προκαλούν αύξηση της διατμητικής αντοχής με την απόθεσή τους μεταξύ δύο διακλάσεων.

Στο σχήμα 3.5 αποτυπώνονται τρεις κατηγορίες αστοχίας βραχώδους πρανούς. Οι κατηγορίες αυτές αποδεικνύουν ότι οι διακλάσεις (ή κάθε άλλη φυσική ασυνέχεια) επηρεάζουν το σχήμα και των δύο αστοχιών, τοπικά στην περίπτωση Α και σε μεγάλη κλίμακα στην περίπτωση Β. Αν η απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών είναι μικρή επιτρέπεται η βαθιά αποσάθρωση του υποβάθρου, μειώνοντας την αρχική αντοχή του. Κάποιες ζώνες έχουν σημαντική επιρροή στην κυκλοφορία του υπόγειου ύδατος (περίπτωση C).



Όταν πρόκειται να πραγματοποιηθεί μια εργασία, όπως μια εκσκαφή, είναι σημαντικός ο διαχωρισμός μεταξύ ‘βραχυπρόθεσμων’, ‘ενδιάμεσων’ και ‘μακροπρόθεσμων’ αστοχιών. Βραχυπρόθεσμες αστοχίες λαμβάνουν χώρα μετά την εκσκαφή και πριν την αλλαγή της περιεκτικότητας του νερού. Ενδιάμεσες και μακροπρόθεσμες αστοχίες παρουσιάζονται εκτενώς σαν αποτέλεσμα της πάχυνσης που ακολουθεί μετά την εκσκαφή. Εξαιτίας της μικρής διαπερατότητας των περισσότερων αργιλικών εδαφών, η πάχυνσή τους είναι μια αργή διαδικασία και μπορεί να διαρκέσει ακόμα και 70 χρόνια. Κατά την πάχυνση, αυξάνεται η περιεκτικότητα του νερού με αποτέλεσμα τη μείωση της διατμητικής αντοχής.

Αν η ολίσθηση παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια της πάχυνσης τότε εντάσσεται στην κατηγορία της ‘ενδιάμεσης αστοχίας’. Αν όμως παρουσιαστεί κοντά στο τέλος της

διαδικασίας πάχυνσης εντάσσεται στις 'μακροπρόθεσμες αστοχίες'. Εργαστηριακές μετρήσεις της διατμητικής αντοχής των υλικών σε μια τέτοια κατάσταση, υπερεκτιμούν την πραγματική τιμή της διατμητικής αντοχής. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός, ότι το μικρό εργαστηριακό δοκίμιο δεν αντιπροσωπεύει τα φυσικά αίτια της αστοχίας του πρανούς.

b. Εδαφικά υλικά

Η διατμητική αντοχή ενός υλικού είναι η μέγιστη διαθέσιμη αντίσταση που έχει για να κινηθεί. Αυτή η διατμητική αντοχή αποτελεί μια συνάρτηση της τριβής που αναπτύσσεται μεταξύ των κόκκων και αυξάνεται με την αύξηση της συνεκτικότητας των εδαφών.

- Σε συνεκτικά εδαφικά υλικά χωρίς συνοχή, όπως είναι η άμμος ισχύει:

$$S = \sigma' \tan \phi'$$

- Σε υπερσυνεκτικά εδαφικά υλικά με συνοχή ισχύει:

$$S = c' + \sigma' \tan \phi'$$

Όπου: S : η διατμητική αντοχή στην εν δυνάμει επιφάνεια ολίσθησης

σ' : η πίεση που μεταδίδεται μεταξύ των κόκκων

c' : συνοχή

ϕ' : η γωνία της διατμητικής αντίστασης

Στην πράξη, σε όλα τα φυσικά πρανή υπάρχει μια μεγάλη απόκλιση στις ιδιότητες των εδαφικών υλικών, εξασφαλίζοντας σε κάθε πρανές τη δυνατότητα να δίνει διαφορετικές τιμές στο συντελεστή ασφαλείας (F_s). Οι τιμές αυτές κυμαίνονται από πολύ κάτω του 1 μέχρι πολύ πάνω του 1.

3.5 Γεωμορφολογική εκτίμηση της αστοχίας πρανούς

Η βασική συνεισφορά της γεωμορφολογίας στην εκτίμηση της αστοχίας πρανούς είναι:

- i. Η κατανόηση της εξελικτικής ιστορίας μιας υπό μελέτη περιοχής.
- ii. Η αναγνώριση της κατολίσθησης.
- iii. Ο καθορισμός δυνητικά ασταθών περιοχών με διάφορες μεθόδους.

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με τους παραπάνω τρεις παράγοντες

α. Η σχέση της γεωμορφολογικής ιστορίας

Γενικά τα πρανή που έχουν προδιάθεση σε κατολίσθηση, έχουν απομείνει σε αυτό το στάδιο από παλαιότερες επιρροές πάνω σε αυτά. Αυτές οι επιρροές μπορεί να είναι νέες σε ηλικία, αλλά για να γίνει κατανοητή η δυναμική συμπεριφορά ενός πρανούς απαιτείται η κατανόηση της ιστορίας του. Για παράδειγμα, είναι πολύ σημαντικό να αναγνωρίζονται περιοχές παλαιότερων απότομων πρανών από παγετώδη διάβρωση, όπου στη συνέχεια μπορεί να ακολουθεί παγετώδη απόθεση, όπως στην περίπτωση των κατολισθήσεων στην Washington τον Αύγουστο του 1953. Αυτό μπορεί να αποδείξει και να εξηγήσει γιατί έλαβε χώρα η κατολίσθηση. Κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου, ένας παγετώνας 'έκοψε' ένα απότομο πρανές από κατακερματισμένο γραουβάκη. Τότε ξεκίνησε η κατολίσθηση, ο πόδας της οποίας αφαιρέθηκε από μία επανεμφάνιση του παγετού μέσα στο Πλειστόκαινο. Με την επόμενη και τελική επανεμφάνιση του πάγου η ολίσθηση ήταν εν μέρει καλυμμένη και στηριζότανε από ένα στρώμα τιλλίτη πάχους 3m. Το αποτέλεσμα ήταν να παραμείνει σταθερό το πρανές μέχρι που οι εκσκαφές στον πόδα της κατολίσθησης, για την κατασκευή δρόμου, αφαίρεσαν αρκετό από το υλικό σταθεροποίησης. Η επαναδραστηριοποίηση της αστάθειας προκάλεσε σημαντικές καταστροφές στο κατασκευαστικό έργο.

Μετά από μια παγετώδη ενέργεια μπορεί να προκληθεί ροή εδάφους από την εποχιακή τήξη του νερού και τον κορεσμό των επιφανειακών στρωμάτων κορημάτων που προκαλούν ολίσθηση. Η ολίσθηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με έναν από τους τρεις παρακάτω τρόπους:

1. Με παχύρρευστη ροή, όταν το εδαφικό υλικό είναι πολύ βρεγμένο.
2. Με ολίσθηση πάνω σε διατμητική επιφάνεια
3. Με την μορφή πάγου, όπου οι μετακινήσεις φέρουν στο κάτω μέρος του πρανούς ερπυσμούς από άγνωστα υλικά και μπορεί να ενεργήσουν και σε πρανή με κλίση 2° .

Η ευστάθεια του πρανούς επαναφέρεται όταν το παγετώδες κλίμα αντικαθίσταται από θερμότερο, με λιγότερο ακραίες συνθήκες, και καθώς ο πόδας της ροής του εδάφους αποτίθεται πάνω στον πόδα του πρανούς. Ενεργοποίηση της ολίσθησης μπορεί να πραγματοποιηθεί αν εκσκαφές μειώσουν την στήριξη στον πόδα του πρανούς ή αν ασκηθεί βάρος στο πρανές, αυξάνοντας την πίεση που ασκείται πάνω στο εδαφικό υλικό.

Για την αξιολόγηση μιας περιοχής στην οποία πρόκειται να κατασκευαστεί ένα έργο, είναι υποχρεωτικό να δοθεί βαρύτητα στην αναγνώριση όχι μόνο των τωρινών κατολισθήσεων, αλλά και των ασταθειών που έχουν λάβει χώρα παλαιότερα. Στην περίπτωση αυτή, η κατανόηση της αστοχίας του πρανούς θα επέλθει από την εκτίμηση της γεωμορφολογικής ιστορίας της περιοχής.

β. Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά δυνητικά κατολισθητικών πρανών

Πρανή που έχουν προδιάθεση σε κατολίσθηση κατέχουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω: απότομα πρανή συγκεντρωμένο νερό, πάχος, πολύ αποσαθρωμένο εδαφικό κάλυμμα, πρανές το οποίο έχει αποκοπεί στη βάση του, μη συνεκτικά εδάφη που βρίσκονται κάτω από πιο συνεκτικά. Τέλος, αν η περιοχή είναι εκτεθειμένη σε δυνατές βροχοπτώσεις ή σε σεισμικές δονήσεις, τότε είναι μεγαλύτερη η δυναμική της κατολίσθησης.

Αυξάνουσας σημασίας είναι ο ρόλος της ανθρώπινης δραστηριότητας. Τέτοιες δραστηριότητες είναι είτε η εκσκαφή στον πόδα του πρανούς, που θα έχει σαν αποτέλεσμα όχι μόνο τη δημιουργία απότομου πρανούς αλλά και την μετακίνηση της βασικής στήριξης, είτε η μεταφορά μεγάλης ποσότητας νερού μέσα στο πρανές. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά, είτε φυσικά, είτε σαν αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας, μπορούν να συνδεθούν με τους παράγοντες που επηρεάζουν την διατμητική αντίσταση και την διατμητική τάση, μέσω των οποίων μπορεί να γίνει αντιληπτός ο ρόλος της αστοχίας του πρανούς.

Στα κατασκευαστικά έργα ένας σημαντικός γεωμορφολογικός στόχος είναι η αναγνώριση και η καταγραφή της κατολισθημένης περιοχής. Στις τεχνικές που αναφέρονται παρακάτω απαιτείται η αναγνώριση και η καταγραφή των βασικών χαρακτηριστικών του πρανούς που κατολισθαίνει.

Σε κάποιες περιπτώσεις τοπικοί παράγοντες μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικοί και ένας καταρτισμένος γεωμορφολόγος θα αναγνωρίσει τη σημασία τους.

γ. Αναγνωρίζοντας περιοχές κατολίσθησης

Το σημείο εκκίνησης για την αναγνώριση μιας κατολίσθησης είναι η καταγραφή (σημειώνοντας πάνω σε ένα χάρτη) της θέσης και του χαρακτήρα όλων των υπάρχουσών κατολισθήσεων. Αυτό επιτυγχάνει δύο πράγματα: I) δείχνει τη θέση ενεργοποίησης των κατολισθήσεων και II) επιτρέπει τις επιφάνειες που έχουν ήδη αστοχήσει να ερευνηθούν, έτσι ώστε να ανακαλυφθούν τα αίτια της κατολίσθησης στη συγκεκριμένη επιφάνεια. Η έρευνα μεταφέρεται σε θέσεις με παρόμοιες ιδιότητες, οι οποίες για οποιοδήποτε λόγο δεν έχουν αστοχήσει ακόμα. Ο στόχος είναι η αναγνώριση αυτών των θέσεων κοντά στην περιοχή της ολίσθησης (σε μηχανικούς όρους οι κλίσεις αυτές έχουν συντελεστή ασφάλειας περίπου 1).

Για να βοηθήσουν αυτό το σκοπό αναπτύχθηκαν διάφορες τεχνικές (Schuster and Krizek, 1978) και (Hansen, 1984a, b). Οι πιο σημαντικές παρουσιάζονται παρακάτω:

- Proforma λίστα ελέγχου: Στις περιπτώσεις που είναι διαθέσιμες επαρκής πηγές πληροφοριών (αυτές περιλαμβάνουν τοπογραφικούς, χάρτες, αεροφωτογραφίες, γεωλογικούς χάρτες) μπορεί να είναι χρήσιμη μια proforma λίστα ελέγχου. Αυτό επιτρέπει μια συστηματική μελέτη, στην οποία οι βασικοί παράγοντες της κάθε περιοχής, που είναι γνωστοί, να σχετίζονται με την κατολίσθηση. Με προσεκτική έρευνα της κατάστασης του ανάγλυφου, της αποστράγγισης, του υπόβαθρου, του εδαφικού καλύμματος, της περίπτωσης μια σεισμικής δόνησης (ως αποτέλεσμα παλαιότερων διαδικασιών) και της ανθρώπινης επέμβασης, μπορεί να οριστεί η πιθανότητα κατολίσθησης.

Δεν είναι ρεαλιστικό να παρέχουμε σε μία τέτοια λίστα ελέγχου απόλυτες τιμές για κάθε μία κατηγορία, γιατί κάθε τιμή εξαρτάται από τις τοπικές συνθήκες. Ένα πρανές με κλίση 9° σε αργιλικά εδάφη μπορεί να είναι δυνητικά ασταθές, ενώ ένα πρανές με κλίση τρεις φορές μεγαλύτερη σε ένα πιο συνεκτικό υλικό μπορεί να είναι πολύ σταθερό.

Σε πολλές περιπτώσεις, όπως στην έρευνα του ανάγλυφου, της αποστράγγισης, της δομής, της λιθολογίας και της έρευνας για ενδείξεις από παλαιότερες συνθήκες αστάθειας, μπορούμε να συλλέξουμε πολλές πληροφορίες από την μελέτη αεροφωτογραφιών.

Με αυτόν τον τρόπο γλιτώνουμε πολύτιμο χρόνο, όχι μόνο επειδή λαμβάνουμε απευθείας πληροφορίες, αλλά και από την άμεση αναγνώριση των περιοχών.

- **Ανάγλυφο:** Όσο πιο απότομο είναι ένα πρηνές τόσο πιο ασταθές είναι. Τα απότομα πρηνή τείνουν να παρουσιάζονται σε περιοχές βαθιών κοιλάδων, καθώς και σε βραχώδεις πλαγιές, οι οποίες είναι δυνητικές περιοχές βραχοπτώσεων. Μπορούμε να αναγνωρίσουμε τα απότομα πρηνή από χάρτες, μαζί με μετρήσεις του ανάγλυφου, παρόλο που τέτοιες πηγές πληροφοριών, όπως είναι οι χάρτες, μπορεί να αποδειχθούν αναξιόπιστες. Παρόλα αυτά είναι χρήσιμος ένας γενικός οδηγός για να καθορίσουμε την απότομη κλίση των στρωμάτων, σε κλίμακα από τους χάρτες, όπως παρέχονται από τους Thrower και Cooke (1968). Μια γρήγορη αποτίμηση της μέσης απότομης κλίσης του πρηνούς μπορεί να επιτευχθεί από τη μέτρηση σε μία κοιλάδα του πλάτους (w) και του βάθους (d) αφού ισχύει: $\tan D/0,5 w = \theta$ όπου θ : η μέση γωνία της κλίσης του πρηνούς.

Είναι σημαντική η καταγραφή της μεγάλης διαφοράς μεταξύ των παρακείμενων κοιλάδων, γιατί μία από τις πιθανές περιοχές για κατολίσθηση είναι το χαμηλότερο σημείο, μεταξύ υψηλότερου και χαμηλότερου ρέματος. Η διαρροή του υπόγειου ύδατος, μπορεί να εμφανιστεί πλευρικά, διαμέσου μικρών φλεβών, ειδικά αν το υπόβαθρο είναι κατακερματισμένο ή περιέχει διακλάσεις.

- **Αποστράγγιση:** Υψηλές αποστραγγιστικές πυκνότητες είναι δείγμα διαπερατών στρώσεων, συχνών βροχοπτώσεων και μικρής βλάστησης. Όλα τα παραπάνω έχουν τη τάση να αυξάνουν την πιθανότητα μετακίνησης του εδάφους. Αντίστοιχα, απότομα ποτάμια με διαβάθμιση συνήθως δηλώνουν μια φάση ενεργής και γρήγορης διάνοιξης, εκτός και αν το ποτάμι βρίσκεται σε σταθερή κατάσταση. Πτώσεις βράχων και κατολισθήσεις πρηνών μπορεί να προκληθούν άμεσα από μια τέτοια τομή, αλλά μπορεί επίσης να εμφανιστούν από την αποκοπή ενός ρέματος.

Για την εύρεση περιοχών διαρροής συμβάλλει η αναγνώριση κάποιων χαρακτηριστικών, όπως ζώνες υγρού εδάφους, αρχή μικρών καναλιών ή καταστροφή των υπόγειων φλεβών. Σε αργιλικά εδάφη δεν είναι συνηθισμένη η ύπαρξη νερού στην επιφάνεια, γιατί ο ρυθμός κατείσδυσης είναι μεγαλύτερος από το ρυθμό απορροής του νερού στο πρηνές.

Η πίεση του υπόγειου ύδατος είναι υπεύθυνη για πολλά προβλήματα ευστάθειας πρηνούς. Αυτή συνήθως μετριέται με πιεζόμετρα (Lambe and Whitman, 1979), στα οποία η πιεζομετρική επιφάνεια του νερού καθορίζεται με τη χρήση υπολογισμών ευστάθειας.

• Υπόβαθρο: Η πυκνότητα των διακλάσεων ή η πυκνότητα άλλων ασυνεχειών του πετρώματος καθορίζει το μέγεθος των τεμαχών που θα αστοχήσουν. Οι διευθύνσεις και οι κλίσεις των διακλάσεων καθορίζουν τον προσανατολισμό και την μεγάλη κλίση των στρωμάτων του υπεδάφους, που έχουν άμεση σχέση με την ευστάθεια του πρανούς. Κανονικά οι τιμές αυτές θα πρέπει να λαμβάνονται με επιτόπου μετρήσεις στο ύπαιθρο, αλλά μερικές φορές παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες για τις πραγματικές συνθήκες, από αεροφωτογραφίες. Οι αποστάσεις μεταξύ των διακλάσεων μας επιτρέπουν μια επιτόπου προσέγγιση για τη δομή του εδάφους, η οποία όμως θα διαφέρει από τα γειτονικά τμήματα. Μέθοδοι για υπαίθρια περιγραφή των διακλάσεων, περιγράφονται από τους Piteau, (1970) και Terzaghi (1965). Άλλες σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να συλλεχθούν στο ύπαιθρο περιλαμβάνουν τη λιθολογία του υποβάθρου, τη συνεκτικότητα, τη συμπιεστική αντοχή και το βαθμό αποσάθρωσης των στρωμάτων. Η συμπιεστική αντοχή είναι το φορτίο ανά μονάδα επιφάνειας κάτω από την οποία τα πετρώματα αστοχούν από διάτμηση ή διάσπαση. Αν τα υποκείμενα στρώματα αργιλικών εδαφών είναι πιο συνεκτικά, τότε όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος των αργιλικών εδαφών που είναι εκτεθειμένα, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα να εμφανιστεί αστάθεια.

• Εδαφικό κάλυμμα: Η επιφάνεια που αποτελείται από εδαφικά υλικά ή η θέση εμφάνισης μη συνεκτικών στρωμάτων, όπως τα αργιλικά, ωθούνται σε συνθήκες ευστάθειας. Η απότομη κλίση στρωμάτων ενός πρανούς αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την πρόβλεψη πιθανής κατολίσθησης. Ωστόσο είναι καθοριστική η σχέση μεταξύ των στρωμάτων, των ποταμών, της αποστράγγισης των πρανών και του ανθρώπινου παράγοντα. Η τάση των υλικών στην αστοχία στηρίζεται μερικώς στην φυσική τους κατάσταση, η οποία κατά ένα μεγάλο ποσοστό καθορίζει τη διατμητική τους αντοχή. Ανάλογες ιδιότητες διαθέτουν η συνεκτικότητα του εδάφους, η δομή του, η συνοχή του, το σχήμα των κόκκων, η σχετική πυκνότητα, η διαπερατότητα, το πορώδες των κόκκων και η αναλογία των διάκενων σε συνεκτικά εδάφη. Σε μηχανικούς όρους θα πρέπει να είναι γνωστά τα όρια Atterberg.

Τα όρια αυτά, βασίζονται στη διαπίστωση ότι τα λεπτόκοκκα εδάφη μπορούν να βρίσκονται σε μία από τις τέσσερις καταστάσεις, ανάλογα με την περιεκτικότητα του νερού. Ένα εδαφικό υλικό είναι συμπαγές όταν είναι στεγνό, αλλά με την προσθήκη νερού το υλικό αυτό μεταπίπτει σε μία ημισυμπαγή, πλαστική και ρευστή κατάσταση.

Η περιεκτικότητα του νερού στο στάδιο που το εδαφικό υλικό περνάει από το ημισυμπαγές στάδιο στο πλαστικό ονομάζεται πλαστικό όριο, ενώ όταν βρίσκεται μεταξύ πλαστικής και ρευστής κατάστασης ορίζεται ως ρευστό όριο.

$$L_I = W_n - PL / LL - PL$$

Όπου:

W_n : η φυσική περιεκτικότητα νερού

PL: πλαστικό όριο

LL: ρευστό όριο

L_I : η περιεκτικότητα νερού του εδαφικού υλικού κατά το όριο ροής

- Σεισμός: Υπάρχουν περισσότερες πιθανότητες δημιουργίας κατολισθήσεων σε μια ζώνη γήινης δόνησης.

- Κληρονομιά από το παρελθόν: Αποδείξεις από παλαιότερες εδαφικές μετακινήσεις, όπως ροή εδάφους και παλαιότερες κατολισθήσεις, υποδηλώνουν την πιθανότητα επανεμφάνισης αστοχίας του πρανούς. Για την μείωση της πιθανότητας ολίσθησης, θα πρέπει να αποφευχθεί η φόρτιση της κεφαλής του πρανούς και η αφαίρεση της στήριξης στον πόδα του πρανούς. Αν μία κατασκευή πρόκειται να 'κόψει' κατά μήκος μια παλιά κατολίσθηση, τότε θα πρέπει να γίνει μια προσεκτική ανάλυση ευστάθειας του πρανούς και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Σε περιοχές όπου έχει λάβει χώρα βαθιά αποσάθρωση στο εδαφικό υλικό υπάρχει προδιάθεση για ολίσθηση, ειδικά αν πρόκειται για απότομες κλιτύες ή αν η περιοχή έχει υποστεί αποψίλωση. Καταγεγραμμένες γεωτρήσεις ή πλεονεκτικές τομές, μπορεί να αποτελούν τις μοναδικές πηγές πληροφοριών για τη θέση και το βάθος αποσαθρωμένων υλικών.

- Κλίμα: Όταν το νερό διεισδύει γρήγορα στο εδαφικό σώμα (από την εμφάνιση καταιγίδας ή από την τήξη χιονιού) υπάρχει η τάση να αναπτύσσεται υψηλή υδροστατική πίεση και στη συνέχεια να ακολουθεί η αστοχία του πρανούς.

• Ανθρώπινη παρέμβαση:

1) Η proforma λίστα ελέγχου, που αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να χρησιμοποιηθεί τοπικά. Δεν επιχειρεί να δώσει γενικές πληροφορίες, παρά μόνο για τη συγκεκριμένη περιοχή που πραγματοποιείται. Αυτό μπορεί να μην είναι αρκετό για κάποιες μελέτες και ενδεχομένως να μην εκπληρώνει επαρκώς τις ανάγκες της χαρτογράφησης, που απαιτεί συγκεκριμένες πληροφορίες για την κατολίσθηση, όπως την κλίση του πρανούς. Η συγκεκριμένη λίστα είναι κατάλληλη για την καταγραφή των πληροφοριών σε μία βάση δεδομένων.

2) Συλλογή πληροφοριών σε βάση συντεταγμένων. Θεωρητικά είναι δυνατή η τοποθέτηση των συντεταγμένων πάνω σε ένα τοπογραφικό χάρτη της περιοχής και η καταγραφή των ιδιοτήτων που υπάρχουν στην proforma. Όμως μια τέτοια εργασία δεν είναι πρακτική, ειδικά για ένα κατασκευαστικό έργο, στο οποίο δεν υπάρχει διαθέσιμος χρόνος. Αυτή η προσέγγιση απευθύνεται στη συλλογή πληροφοριών για συγκεκριμένες παραμέτρους. Στην πράξη αυτές οι παράμετροι διαφοροποιούνται από περιοχή σε περιοχή, αλλά η έρευνα μας έχει αποδείξει ότι είναι εφικτή η πρόβλεψη με μεγάλη ακρίβεια, με την χρησιμοποίηση σχετικά λίγων παραμέτρων.

Στην Καλιφόρνια (Bradd et al., 1972) και στην Calabria της Ιταλίας (Lucini, 1973) μία συνδυαστική ανάλυση του πρανούς και του υπεδάφους έδωσαν μία καλή βάση για την αναγνώριση των δυνητικών περιοχών κατολίσθησης.

3) Χαρτογράφηση κατολίσθησης. Τέτοιοι χάρτες κατασκευάζονται σε ποικίλες κλίμακες. Κάποια παραδείγματα δίνονται στον πίνακα 3.1

Χώρα	Κλίμακα του χάρτη	Λεπτομέρειες	Πηγή
Τσεχοσλοβακία	1:100000	Βασισμένο σε 1200 περιπτώσεις. Η καταγραφή έγινε 1962-3	Nemcok και Rybar (1980)
USA(Καλιφόρνια)	1:24000	Μία από πολλούς διαφορετικούς τύπους	Cambell (1980)
Ουαλία	1:50000	579 κατολισθήσεις	Conway (1980)
Ιταλία	1:400000	κατολίσθηση μεγάλου βάθους	Sorrison-Valvo (1984)

Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρέχει ένα μέρος μόνο της πραγματικότητας, όμως με τη χαρτογράφηση των συγκεκριμένων ορίων της κατολίσθησης λαμβάνουμε μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα αυτής.

Μια τέτοια χαρτογράφηση μπορεί να συμπεριλάβει και την κατηγοριοποίηση του τύπου της κατολίσθησης. Η χαρτογράφηση γίνεται συνήθως με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών, ενώ στη συνέχεια ακολουθεί επιτόπου έρευνα του εδάφους.

1) Γεωμορφολογική χαρτογράφηση. Στου γεωμορφολογικούς χάρτες δεν είναι καταγεγραμμένη η παρούσα κατάσταση και ο χαρακτήρας της κατολίσθησης, όπως θα ήταν αναμενόμενο.

Στην περίπτωση κατασκευής γεωμορφολογικών χαρτών, οι οποίοι είναι μέρος μιας μελέτης για κατολίσθησεις, πολλές από τις πληροφορίες σχετίζονται με την παρουσία των κατολίσθησεων ή απεικονίζουν τα χαρακτηριστικά των κατολίσθησεων. Οι γεωμορφολογικοί χάρτες αποτελούν τη βάση για την κατασκευή χαρτών που απεικονίζουν κινδύνους, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται και οι κατολίσθησεις.

2) Χάρτες κατολισθητικών κινδύνων. Στον πίνακα 3.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται μία τυπική κατηγοριοποίηση των πρηνών, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά σταθερότητας τους.

Κατηγορία I	Πρηνή με ενεργές κατολίσθησεις. Η μετακίνηση μπορεί να είναι συνεχόμενη ή εποχιακή.
Κατηγορία II	Πρηνή τα οποία έχουν υποστεί νέα ή επαναδραστηριοποιημένη κατολισθητική ενέργεια. Η επανεμφάνιση έγινε σε διάστημα μικρότερο από 5 χρόνια.
Κατηγορία III	Πρηνή τα οποία έχουν υποστεί νέα ή επαναδραστηριοποιημένη κατολισθητική ενέργεια. Η επανεμφάνιση έγινε σε διάστημα μεγαλύτερο από 5 χρόνια.
Κατηγορία IV	Πρηνή τα οποία έχουν μαρτυρίες από παλαιότερες κατολισθητικές ενέργειες, αλλά η προηγούμενη μετακίνηση δεν έχει υπερβεί τα 100 χρόνια. Υποκατηγορία IVa: Είναι ευδιάκριτη η διαβρωτική μορφή. Υποκατηγορία IVb: Από κατολισθητικές αποθέσεις υποδεικνύεται παλαιότερη δραστηριότητα.
Κατηγορία V	Πρηνή τα οποία δεν έχουν μαρτυρίες από παλαιότερη κατολισθητική ενέργεια, αλλά είναι πιθανό να δημιουργηθεί κατολίσθηση στο μέλλον.
Κατηγορία VI	Πρηνή τα οποία δεν έχουν μαρτυρίες από παλαιότερη κατολισθητική ενέργεια και αναλογικά με άλλα πρηνή αυτό φαίνεται μόνιμο.

Ένας χάρτης κατολισθητικών κινδύνων παρουσιάζει τις πιθανότητες που υπάρχουν να αστοχήσει ένα πρανές. Κάτι τέτοιο παρουσιάζει μεγάλη δυσκολία και ευθύνη. Ένας τέτοιος χάρτης μπορεί να γίνει η βάση για την κατασκευή ενός έργου, καθώς και να οδηγήσει σε δαπανηρές αποφάσεις. Για παράδειγμα, μια λάθος κρίση η οποία υποστηρίζει ότι ένα πρανές είναι έτοιμο να αστοχήσει, μπορεί να οδηγήσει σε άσκοπες γεωτεχνικές έρευνες του υπεδάφους. Επίσης, ένα λάθος μπορεί να δώσει στο μηχανικό μια εσφαλμένη εκτίμηση, για την ευστάθεια του πρανούς και την ασφάλεια, και να οδηγήσει σε καταστροφή της κατασκευής. Τέτοιοι χάρτες απαιτούν τεράστια προσοχή και θα πρέπει να κατασκευάζονται από έμπειρους επιστήμονες, στην γεωμορφολογική ανάλυση και στα δυνητικά σε ολίσθηση πρανή.

Ένας γεωμορφολογικός χάρτης βασίζεται στην αναγνώριση της αστάθειας των πρανών, όταν αυτή είναι δυνατή. Ωστόσο μια τέτοια αναγνώριση είναι αναπόφευκτα βασισμένη στην ανθρώπινη κρίση. Οι συγκεκριμένοι χάρτες δίνουν μια εικόνα των δυναμικών ιδιοτήτων της κατολίσθησης (διάβρωση, υπάρχουσες κατολισθήσεις, μορφή των απότομων πρανών).

Ο Carrara (1984) αναγνώρισε στην έρευνά του, τους σκοπούς και τις μεθόδους χαρτογράφησης των κατολισθητικών κινδύνων, στην οποία δεν υπάρχει σταθερή προσέγγιση. Έχουν αναπτυχτεί διαφορετικές μέθοδοι για να ταιριάζουν σε συγκεκριμένες περιοχές. Σε κάποιες περιπτώσεις έγιναν προσπάθειες να οριστεί ένας δείκτης κινδύνου με ποσοτικές τιμές, που να αντιστοιχεί σε συγκεκριμένες κλιτύες. Σε άλλες περιπτώσεις ακολουθήθηκε στατιστική προσέγγιση, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η επιρροή κάθε ενός παράγοντα που καθορίζει την κατολίσθηση, δημιουργώντας με αυτόν τον τρόπο ένα πραγματικό ή δυνητικό κίνδυνο.

Η πιο πετυχημένη προσέγγιση περιγράφεται από τον Bradd (1972) από την μελέτη ευστάθειας πρανών, στο San Mateo Country στην Καλιφόρνια. Στη μελέτη αυτή, χρησιμοποιήθηκε σειρά χαρτών και ποσοτικών τεχνικών όπως φαίνεται παρακάτω:

1. Μέτρηση της επιφάνειας του κάθε πετρώματος
2. Μέτρηση της επιφάνειας κατολίσθησης, για να καταγραφεί η ολίσθηση σε χάρτη και στη συνέχεια σε γεωλογικό χάρτη.
3. Κατηγοριοποίηση των διάφορων τύπων πετρωμάτων, από αυτό που έχει το μεγαλύτερο ποσοστό πιθανοτήτων να ολισθήσει προς αυτό που έχει το μικρότερο ποσοστό.

4. Κατασκευή ενός χάρτη απότομων πρανών και ενός χάρτη κατολισθήσεων, για να οριστεί η σχέση μεταξύ τους.

5. Κατηγοριοποίηση των κινδύνων με βάση τους γεωλογικούς όρους και την απότομη κλίση των στρωμάτων του πρανούς.

Όλες οι προβλέψεις των κινδύνων μιας κατολίσθησης, θα πρέπει να επαναληφθούν αν υπάρχει κάποια μεταβολή στη διεύθυνση του εδάφους. Σε πολλές περιοχές του κόσμου η ανθρώπινη παρέμβαση μπορεί να μεταβάλλει τη δυναμική μιας κατολίσθησης. Τέτοιες ανθρώπινες παρεμβάσεις συνήθως έχουν σαν αποτέλεσμα τη γρηγορότερη εξέλιξη της κατολίσθησης σε σχέση με τις φυσικές αλλαγές.

3.6 Αποτίμηση κατολισθητικών κινδύνων και νομοθετικές αντιδράσεις

Ανμία περιοχή είναι δυνητικά ενεργή σε κατολίσθηση είναι πιθανές διάφορες αντιδράσεις. Σε περιοχές όπου ήδη λαμβάνουν χώρα κατολισθήσεις, μερικές φορές συνιστώνται διορθωτικά έργα, τα οποία μπορεί να μειώσουν τον κίνδυνο αστοχίας του πρανούς. Σε τέτοιες περιοχές απαιτείται: i. η επιδιόρθωση των καταστροφών που προκαλούνται από τις κατολισθήσεις, ii. Η παρεμπόδιση από την νομοθεσία της απερίσκεπτης χρήσεις των πρανών (δυνητικά ενεργά σε κατολίσθηση).

Οι καταστροφές αυτές μπορεί να επιδιορθώνονται: i. ατομικά, ii. από κάποιο αρωγό αποκατάστασης ή iii. από ειδικά ταμεία που επιδιορθώνουν τέτοιες καταστροφές.

Ο πολιτικός προγραμματισμός κάθε χώρας, ενδιαφέρεται για την μελλοντική ανάπτυξη αυτής και αν ληφθούν υπόψη οι κατολισθητικές ενέργειες, τότε πρέπει να στηρίζεται σε μελέτες κατολισθήσεων. Τέτοιος πολιτικός προγραμματισμός υπάρχει για παράδειγμα στο Los Angeles, όπου εγκρίνονται ολοένα και πιο αυστηροί νόμοι, δεδομένου ότι οι πρώτοι έλεγχοι εισήχθησαν τον Οκτώβριο του 1952 (Fleming et al., 1979). Αυτοί οι έλεγχοι περιλαμβάνουν τις απαραίτητες γεωλογικές (συμπεριλαμβάνονται και γεωμορφολογικές) και εφαρμοσμένης μηχανικής μελέτες, για την ενσωμάτωση στο σχέδιο, στην κατασκευή, στην τελική επιθεώρηση και στην πιστοποίηση της χρήσης, μιας νέας περιοχής.

Στο San Mateo της Καλιφόρνια χρησιμοποιούνται χάρτες κατολισθητικών κινδύνων, για να καθορίσουν την πυκνότητα των κατοικιών που επιτρέπεται να κατασκευάζονται, σε διαφορετικές ζώνες της χρήσης του εδάφους (Atwater 1978).

Οι αναλύσεις κατολισθητικών τάσεων δια μέσου γεωμορφολογικών και γεωλογικών ερευνών, χρησιμοποιούνται για να καθιερώσουν τις κατηγορίες σταθερότητας που χαρτογραφούνται. Μπορούν επίσης να διεξαχθούν και συμπληρωματικές γεωτεχνικές έρευνες.

Μια απόφαση που θέτει μια περιοχή σε κατάσταση οριακής ισορροπίας, λαμβάνεται είτε για να προειδοποιήσει το κοινό (συμπεριλαμβανομένης της πρόθεσης των αγοραστών και των οικοδόμων), είτε για να περιορίσει την ανάπτυξη στο πλαίσιο του νόμου της τοπικής κυβέρνησης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην απαγόρευση της οικοδόμησης. Ο σκοπός σε κάθε μία περίπτωση είναι να ελεγχθεί η ανάπτυξη στις περιοχές που θεωρούνται επικίνδυνες και με αυτόν τον τρόπο να προστατευθεί το τοπίο και να αποτραπούν οι καταστροφές.

Όλες οι παραπάνω ανησυχίες μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα πρόγραμμα 'ζώνωσης του κινδύνου', που οδηγεί στην κατάλληλη πολιτική δράση από τους αρμόδιους ή από την κυβέρνηση. Το κύριο πρόβλημα εντοπίζεται στη μεταφορά της ενημέρωσης ενός κατολισθητικού κινδύνου, από τον γεωμορφολόγο στον αρμόδιο για το σχεδιασμό και στο νομοθέτη.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

4.1 Γενικά

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελείται από τους σχηματισμούς της Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης και τους σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου, οι οποίοι βρίσκονται επωθημένοι επί των φλυσχικών σχηματισμών της Ιονίου. Ειδικότερα, η επώθηση των Πινδικών σχηματισμών επάνω στους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου, αποτελεί το σημαντικότερο γεγονός που χαρακτηρίζει τη γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής. Το όριο της παραπάνω επώθησης βρίσκεται περιμετρικά της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε η περιοχή μελέτης να αποτελεί ένα «τεκτονικό παράθυρο».

Η Πινδική γεωτεκτονική ζώνη, η οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω, περιβάλλει την περιοχή μελέτης, αποτελείται από τον σχηματισμό του φλύσχη και μια μεγάλη ποικιλία ασβεστολιθικών και κερατολιθικών σχηματισμών και συνοδεύεται από μαγματικά (ανδεσιτικά και σπηλιτικά) πετρώματα (Μουντράκης, 1982). Η ηλικία των παραπάνω σχηματισμών, είναι Τριτογενής έως Τριαδική.

Η Ιόνιος γεωτεκτονική ζώνη, η οποία συναντάται στην περιοχή μελέτης κάτω από το κάλυμμα των εδαφικών υλικών, αποτελείται από τους Ηωκαινικής – Ολιγοκαινικής ηλικίας φλυσχικούς σχηματισμούς. Ο φλυσχικός σχηματισμός της περιοχής αποτελεί τη μετάβαση μεταξύ του Ιονίου φλύσχη και του φλύσχη της γεωτεκτονικής ζώνης Γαβρόβου. Η διαπίστωση αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι ο φλυσχικός σχηματισμός της περιοχής περιέχει φακούς κροκαλοπαγών με κροκάλες από τα πετρώματα της Πινδικής γεωτεκτονικής ζώνης, γεγονός που χαρακτηρίζει το φλύσχη του Γαβρόβου.

Η κοιλάδα του Μετσοβίτικου ποταμού, ο οποίος διαρρέει την ευρύτερη περιοχή μελέτης, αποτελεί το σημαντικότερο μορφογενετικό γεγονός της περιοχής. Η μακρόχρονη κατά βάθος διάβρωση του ποταμού είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός έντονου μορφολογικού ανάγλυφου στις κλιτύς και τη δημιουργία ευρείας έκτασης επιπεδώσεων στο χώρο της ευρύτερης κοίτης του ποταμού από τη μερική απόθεση των φερτών υλών.

The figure consists of two vertically stacked maps of the same geographical area in Greece. The upper map is a standard topographic map featuring brown contour lines indicating elevation, blue lines for rivers and streams, and black dots representing settlements. Key labels include 'ΧΡΥΣΟΒΙΤΖΑ' at the top center, 'ΠΟΥΡΗ' at the top left, and 'ΜΕΓΛΗ ΡΑΧΙΑ' running diagonally across the left side. Other visible place names are 'ΠΕΤΡΑ', 'ΜΑΛΤΣΑ', 'ΛΙΜΝΗ', 'Πουρνάρα', 'Ταερβέλια', 'Καλόγρη', 'Μεταφρίκας Η.', 'Τούρος', 'Κεραμύρι', 'ΒΟΤΟΝΟΣΙΟΝ', 'ΤΖΕΠΡΙΣ', 'ΒΛΑΣΑΓΚΟΣ', 'ΣΙΣΤΙΝΑ', 'Αγ. Νικόλαος', 'Αγ. Παράσκενη', 'Αγ. Δημήτριος', 'Αγ. Αποστόλοι', 'Αγ. Τσιρόκια', 'Αγ. Μαρία', 'Αγ. Βασίλειος', 'ΔΕΜΑΤΙΟΝ', 'Πλάκα', 'ΨΩΝΙ', 'Ιτιά', 'Ρίζα', 'ΑΡΚΟΥΒΙΤΣΙ', 'ΠΑΝΑΓΙΑ', 'Σολέτσα', 'Προφ.', '911', '770', '945', '965', '985'. The lower map is a geological map of the same area, overlaid on the topographic features. It uses color-coded regions to represent different geological formations: pinkish-red areas labeled 'Ts' and 'Ks', light blue areas labeled 'J-K1', and green areas labeled 'Fi'. Specific geological sites are highlighted with red outlines and labels like 'ΜΙΚΡΟΝ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΝ', 'ΜΕΓΛΗ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΝ', 'Μικρά Λιβάδι', 'Μπαράκι', 'Μηλιάς', 'Παλιόχωρι', 'Κοκκινός', 'Πυλοκάστα', 'Αλκωνος', 'Ταοση', 'Παναγία', 'Αγ. Γεωργιος', 'Αγ. Δημήτριος', 'Μπαγαμπάνι', 'Αγ. Παράσκενη', 'Ασπρή Πλάκα', 'Μπούρια', 'Σαλαώρα', 'Γερακάροι', 'Πο. Ηλίας', 'ΑΝΘ...', 'Πο. Έλε...', 'Ασπρά Λιθάριά', 'Πατούμα', 'Καλόγηρος', 'Στύλα', '2103', '903', '908', '988', '1047', '1542', '1173', '1185', '1175', '1120', '769', '598', '593', '583', '584', '585', '586', '587', '588', '589', '590', '591', '592', '593', '594', '595', '596', '597', '598', '599', '600', '601', '602', '603', '604', '605', '606', '607', '608', '609', '610', '611', '612', '613', '614', '615', '616', '617', '618', '619', '620', '621', '622', '623', '624', '625', '626', '627', '628', '629', '630', '631', '632', '633', '634', '635', '636', '637', '638', '639', '640', '641', '642', '643', '644', '645', '646', '647', '648', '649', '650', '651', '652', '653', '654', '655', '656', '657', '658', '659', '660', '661', '662', '663', '664', '665', '666', '667', '668', '669', '670', '671', '672', '673', '674', '675', '676', '677', '678', '679', '680', '681', '682', '683', '684', '685', '686', '687', '688', '689', '690', '691', '692', '693', '694', '695', '696', '697', '698', '699', '700', '701', '702', '703', '704', '705', '706', '707', '708', '709', '710', '711', '712', '713', '714', '715', '716', '717', '718', '719', '720', '721', '722', '723', '724', '725', '726', '727', '728', '729', '730', '731', '732', '733', '734', '735', '736', '737', '738', '739', '740', '741', '742', '743', '744', '745', '746', '747', '748', '749', '750', '751', '752', '753', '754', '755', '756', '757', '758', '759', '760', '761', '762', '763', '764', '765', '766', '767', '768', '769', '770', '771', '772', '773', '774', '775', '776', '777', '778', '779', '780', '781', '782', '783', '784', '785', '786', '787', '788', '789', '790', '791', '792', '793', '794', '795', '796', '797', '798', '799', '800', '801', '802', '803', '804', '805', '806', '807', '808', '809', '810', '811', '812', '813', '814', '815', '816', '817', '818', '819', '820', '821', '822', '823', '824', '825', '826', '827', '828', '829', '830', '831', '832', '833', '834', '835', '836', '837', '838', '839', '840', '841', '842', '843', '844', '845', '846', '847', '848', '849', '850', '851', '852', '853', '854', '855', '856', '857', '858', '859', '860', '861', '862', '863', '864', '865', '866', '867', '868', '869', '870', '871', '872', '873', '874', '875', '876', '877', '878', '879', '880', '881', '882', '883', '884', '885', '886', '887', '888', '889', '890', '891', '892', '893', '894', '895', '896', '897', '898', '899', '900', '901', '902', '903', '904', '905', '906', '907', '908', '909', '910', '911', '912', '913', '914', '915', '916', '917', '918', '919', '920', '921', '922', '923', '924', '925', '926', '927', '928', '929', '930', '931', '932', '933', '934', '935', '936', '937', '938', '939', '940', '941', '942', '943', '944', '945', '946', '947', '948', '949', '950', '951', '952', '953', '954', '955', '956', '957', '958', '959', '960', '961', '962', '963', '964', '965', '966', '967', '968', '969', '970', '971', '972', '973', '974', '975', '976', '977', '978', '979', '980', '981', '982', '983', '984', '985', '986', '987', '988', '989', '990', '991', '992', '993', '994', '995', '996', '997', '998', '999', '1000'.

33

4.2 Μορφολογία της περιοχής

Ο Μετσοβίτικος ποταμός με διεύθυνση ροής από Δ έως ΝΔ προς Α έως ΒΑ αποτελεί τον κύριο μορφογενετικό παράγοντα της ευρύτερης περιοχής. Η κοιλάδα του ποταμού, ακολουθώντας, κατά το νεανικό στάδιο, τις τεκτονικές διαρρήξεις της περιοχής, χαρακτηρίζεται σήμερα από σχετικά έντονο μαιανδρισμό με μεγάλες ακτίνες καμπυλότητας.

Κατά τη μακρόχρονη διαβρωτική διεργασία του Μετσοβίτικου ποταμού δημιουργήθηκε στην περιοχή μια βαθιά κοιλάδα με απότομα έως απόκρημνα πρηνή (κατά θέσεις), γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη ασταθειών στις κλιτύες και την τροφοδοσία του ποταμού με μεγάλες ποσότητες φερτών υλών. Στο ώριμο στάδιο του ποταμού που ακολούθησε και εξελίσσεται μέχρι σήμερα, τα φαινόμενα διάβρωσης έχουν περιορισθεί στο πλέον 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 κατάντη τα υλικά των παλαιότερων αποθέσεων του.

Ένα πυκνό σύστημα από μικρά ρέματα, τα οποία εκβάλλουν στον ποταμό Μετσοβίτικο, συμπληρώνουν το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. Τα διαβρωτικά φαινόμενα είναι έντονα σε όλα τα ρέματα της περιοχής, με αποτέλεσμα το σχηματισμό σχετικά εκτεταμένων αποθέσεων, υπό μορφή δέλτα, στις περιοχές των εκβολών τους.

Ειδικότερα η ερευνώμενη περιοχή μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω τρεις μορφολογικές ενότητες:

- **Η πρώτη μορφολογική ενότητα (I)**, η οποία εντοπίζεται κατά μήκος της κοίτης του Μετσοβίτικου ποταμού, χαρακτηρίζεται από πολύ ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο, με κλίση φυσικού εδάφους $\leq 5^\circ$.
- **Η δεύτερη μορφολογική ενότητα (II)**, συναντάται στην ευρύτερη περιοχή όπου συναντώνται τα φαινόμενα αστάθειας. Κύριο μορφολογικό χαρακτηριστικό της περιοχής αυτής είναι η συνεχής και ακανόνιστη εναλλαγή περιοχών με ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο (υποενότητα IIα, μέση κλίση φυσικού εδάφους $5-10^\circ$) και περιοχών με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο (υποενότητα IIβ, μέση κλίση φυσικού εδάφους $10-20^\circ$). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αναπτυγμένο μόνο στην υποενότητα IIβ και αποτελείται από μικρά αβαθή ρέματα, το ίχνος των οποίων εμφανίζεται όταν

προσεγγίσουν την υποενότητα Ια, όπου το υδρογραφικό δίκτυο δεν παρουσιάζει περαιτέρω ανάπτυξη.

- Η τρίτη μορφολογική ενότητα (ΙΙΙ), χαρακτηρίζεται από σχετικά έντονο μορφολογικό ανάγλυφο με μέση κλίση φυσικού εδάφους $\geq 20^\circ$. Η ενότητα αυτή συναντάται περιμετρικά της ασταθούς μάζας. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αραιό, παρουσιάζει όμως σαφή ανάπτυξη.



Χάρτης 3: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής

4.3. Υπόγειο νερό

Σε ότι αφορά το καθεστώς των υπογείων υδάτων στην περιοχή της κατολίσθησης, αυτό προσδιορίστηκε με βάση τις μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά την εκτέλεση των γεωτρητικών εργασιών, αλλά και τις ενδείξεις των οργάνων παρακολούθησης της στάθμης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα, (πιεζόμετρα απλού τύπου και τύπου Casagrande) λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα τις δυσμενέστερες των περιπτώσεων.

Σε γενικές γραμμές το βάθος εμφάνισης του υπογείου υδροφόρου ορίζοντα από την επιφάνεια του εδάφους, κυμαίνεται από 5m περίπου στο κατώτερο τμήμα του πρανούς έως 7m περίπου στα ανώτερα τμήματα.

Οι υψηλότερες στάθμες στις πιεζομετρικές γεωτρήσεις παρατηρούνται τους μήνες Φεβρουάριο έως και Ιούνιο, αναλόγως της διάρκειας των βροχοπτώσεων, δηλαδή κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά την υγρή περίοδο.

Το μεγαλύτερο ύψος βροχής παρατηρείται το χρονικό διάστημα Οκτώβριο έως Μάιο, ενώ το ετήσιο ύψος βροχής παρουσιάζει μια διακύμανση από 775 έως 1560 χιλιοστά περίπου. Ως μέσο ετήσιο ύψος βροχής μπορεί να θεωρηθεί η τιμή των 1100 χιλιοστών, που θεωρείται υψηλό και βρίσκεται σε συμφωνία με τη γεωγραφική θέση του έργου. Έτσι αναμένεται σημαντικά υψηλή τροφοδοσία από την επιφάνεια λόγω των υψηλών βροχοπτώσεων.

Η περιοχή έρευνας τροφοδοτείται επίσης και με νερά από ανάντη, όπου η στάθμη του υποβάθρου κατά το μήνα Μάρτιο βρέθηκε σχεδόν στην επιφάνεια, σε βάθος 0,56μ.

Από την αξιολόγηση των στοιχείων, φαίνεται ότι στο υπόβαθρο αντιστοιχεί μια ενιαία πιεζομετρική επιφάνεια, οι στάθμες της οποίας βρίσκονται μέσα στα διαταραγμένα υλικά.

Οι βραχώδεις σχηματισμοί του υποβάθρου χαρακτηρίζονται από ημιπερατοί έως αδιαπέρατοι σχηματισμοί. Η διακίνηση του υπόγειου νερού μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος του σχηματισμού και γίνεται κυρίως μέσω των ψαμμιτών ή των κροκαλοπαγών. Αντίθετα, η παρεμβολή ιλυολιθικών στρώσεων (αδιαπέρατος σχηματισμός) δημιουργεί τοπικά εκτροπή ή ανάσχεση της υπόγειας ροής. Η κυκλοφορία πάντως του νερού στο υπόβαθρο διευκολύνεται σημαντικά από τις ασυνέχειες και τα πιθανολογούμενα ρήγματα που διελαύνουν τους σχηματισμούς του.

Ανεξάρτητα από το βαθμό περατότητας, στην επαφή των σχηματισμών του υποβάθρου με τα υπερκείμενα χαλαρά και διαταραγμένα υλικά δημιουργείται κυκλοφορία νερού όπως παρατηρήθηκε στο πραινές της παλαιάς Εθνικής Οδού Ιωαννίνων-Τρικάλων.

Η στάθμη που παρατηρείται στα χαλαρά και διαταραγμένα υλικά, φαίνεται ότι δεν αποτελεί ενιαίο ορίζοντα, αλλά τοπικούς που μπορεί να συνδέονται ανάλογα με το βάθος και το πάχος των αδρομερών παρεμβολών. Εντούτοις στις αναλύσεις ευστάθειας για την ανάγκη απλούστευσης της προσομοίωσης των συνθηκών ελήφθη συντηρητικά ενιαία υψηλή πιεζομετρική στάθμη μέσα στα διαταραγμένα υλικά ως περιβάλλουσα των οριζόντων αυτών.

Το αυξημένο ποσοστό λεπτοκόκκων, στα διαταραγμένα υλικά, εμποδίζει την κίνηση του υπογείου νερού, ενώ το ασυνεχές της μάζας τους (ύπαρξη ογκολιθικών και βραχωδών τεμαχίων) καθώς και η παρουσία στρώσεων πιο αδρομερών υλικών, ευνοεί την κατείσδυση και κίνηση του υπόγειου νερού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το διηθημένο νερό να συγκεντρώνεται σε διάφορες θέσεις και να δημιουργεί απομονωμένες υπόγειες υδροφορίες, οι οποίες εκφορτίζονται περιοδικά κατά θέσεις, είτε παραμένουν με εγκλωβισμένο νερό που αυξάνει την πίεση πόρων του σχηματισμού και συνεπώς δυνητικά την αστάθεια.

Σύμφωνα με τις επιτόπου παρατηρήσεις προέκυψε ότι τα διαταραγμένα υλικά είναι κατά θέσεις κορεσμένα καθ' όλη τη διάρκεια της υγρής περιόδου, αφού παρατηρούνται επιφανειακές συγκεντρώσεις νερού σε επίπεδες περιοχές εντός των χαλαρών υλικών.

Βάσει όμως της γεωλογικής μελέτης οι επιφανειακές εκδηλώσεις ύδατος ομαδοποιούνται σε δύο διακριτές ζώνες:

- Στο επίπεδο των ισοϋψών 590÷595m. Η ζώνη αυτή σχετίζεται με την παρουσία κροκαλοπαγούς στο σχηματισμό του φλύσχη (υπόβαθρο) καθώς και πιθανού ρήγματος και είναι πιθανή τροφοδοσία των διαταραγμένων υλικών με νερά από το υπόβαθρο.
- Στο επίπεδο των ισοϋψών 560÷565m. Η ζώνη αυτή φαίνεται ότι εκφορτίζει τη μάζα των χαλαρών και διαταραγμένων υλικών, από την περιοχή της χάραξης μέχρι το Μετσοβίτικο ποταμό (επίπεδο 590÷595m έως επίπεδο 560÷565m).

Η συμβολή του υπόγειου ύδατος στα κατολισθητικά φαινόμενα της περιοχής είναι καθοριστική.

4.4 Λιθολογικοί σχηματισμοί

Από τα στοιχεία της επιφανειακής γεωλογικής χαρτογράφησης και τα αποτελέσματα των γεωερευνητικών εργασιών, προκύπτει ότι η υπό μελέτη περιοχή αποτελείται από τους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης. Οι φλυσχικοί σχηματισμοί της ζώνης της Πίνδου συναντώνται στο υψηλότερο τμήμα της περιοχής μελέτης. Οι φλυσχικοί σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης καλύπτονται σε πολύ μεγάλη έκταση από τα κατολισθημένα υλικά, τα υλικά των πλευρικών κορημάτων – αποσαθρωμάτων και από τις σύγχρονες ή παλαιότερες ποτάμιες αποθέσεις στην ευρύτερη περιοχή της κοίτης του Μετσοβίτικου και στις κοίτες / εκβολές των πλευρικών ρεμάτων. Το εδαφικό κάλυμμα της περιοχής συμπληρώνεται από τα προϊόντα εκσκαφής τα οποία έχουν αποθεθεί, κατά θέσεις, στο πρυνές της υφιστάμενης Εθνικής Οδού.

Αναλυτικά:

(i) Τα προϊόντα εκσκαφής της Εθνικής Οδού, τα οποία αποτελούνται από τα επιφανειακά εδαφικά υλικά και από τα υλικά των φλυσχικών σχηματισμών της περιοχής, καλύπτουν τα ελεύθερα τμήματα της κλιτύς από το επίπεδο της Εθνικής Οδού μέχρι την κοίτη του Μετσοβίτικου.

(ii) Οι σύγχρονες και παλαιότερες αποθέσεις του Μετσοβίτικου ποταμού αποτελούνται από αργιλώδεις άμμους και κροκάλες από ασβεστολιθικά, ψαμμιτικά και κερατολιθικά πετρώματα. Το πάχος των αποθέσεως αυτών, σύμφωνα με τα ευρήματα των ερευνητικών γεωτρήσεων που διανοίχτηκαν στην περιοχή, φθάνει τα 28,90m. Στις περιοχές των εκβολών των μεγάλων πλευρικών ρεμάτων στα υλικά αυτά επικρατεί η λεπτο- μεσοκλαστική φάση, χωρίς κάποια ιδιαίτερη διαζώνωση.

Οι σύγχρονες και κυρίως οι παλαιότερες αποθέσεις του Μετσοβίτικου ποταμού και των μεγάλων πλευρικών ρεμάτων καλύπτουν την περιοχή της ευρύτερης κοίτης του ποταμού.

(iii) Τα πλευρικά κορήματα / αποσαθρώματα και τα υλικά παλαιότερων αποθέσεων, τα οποία καλύπτουν τμήματα των κλιτύων, αποτελούνται από εδαφικά υλικά και τεμάχια φλυσχικών, κυρίως ψαμμιτικών και κροκαλοπαγών σχηματισμών. Το πάχος των παραπάνω υλικών, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις υπαίθρου και τα ευρήματα των ερευνητικών γεωτρήσεων που διανοίχτηκαν στην περιοχή, κυμαίνεται

από 1,00 έως 5,00m. Στην περιοχή των εδαφικών ασταθειών η διάκριση των υλικών αυτών από τα υλικά κατολίσθησης δεν είναι σαφής.

(iv) **Τα υλικά κατολίσθησης.** Τα κατολισθημένα υλικά αποτελούνται 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 οι οποίοι προέρχονται είτε από καταπτώσεις που έχουν λάβει χώρα στον ασβεστολιθικό όγκο που συναντάται στο δυτικό τμήμα της περιοχής έρευνας είτε από κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν λάβει χώρα στο νότιο αντέρεισμα. Πολύ συχνά συναντώνται μάζες έντονα διατμημένου ιλυόλιθου ερυθρού ή/και γκρι χρώματος, οι οποίες προέρχονται από τους επωθημένους φλυσχικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου. Το πάχος των υλικών αυτών ποικίλει από θέση σε θέση .

(v) **Τα υλικά της σύμμεικτης φάσης,** το οποία εντοπίζονται στην περιοχή της συμβολής του Μετσοβίτικου ποταμού με τους πλευρικούς κλάδους, αποτελούνται από αργιλοαμμώδη υλικά, κροκάλες, χάλικες και γωνιώδη τεμάχια βράχου.

(vi) **Οι φλυσχικοί σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης,** οι οποίοι αποτελούν τον σχηματισμό του υποβάθρου, δομούνται από εναλλαγές ψαμμιτών και κροκαλοπαγών με ενστρώσεις ιλυολίθων, οι οποίοι εμφανίζονται τοπικά έντονα διατμημένοι.

Ειδικότερα:

- Τα κροκαλοπαγή, τα οποία είναι παχυστρωματώδη έως μαζικά, έχουν ιλυοαμμώδες υλικό μάζας και είναι πολύμεικτα, συναντώνται είτε ως μία ενιαία ζώνη στο δυτικό περιθώριο της περιοχής μελέτης είτε με την μορφή ενστρώσεων στην υπόλοιπη περιοχή. Η βραχομάζα εμφανίζεται, σύμφωνα με τις παρατηρήσεις υπαίθρου και τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα, έντονα κερματισμένη, αποσαθρωμένη και αποδομημένη στην επιφανειακή ζώνη χαλάρωσης για μήκος ίσο με 40,00m περίπου. Κάτω από τα υλικά αυτά παρατηρείται σαφής βελτίωση των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Στις ερευνητικές γεωτρήσεις τα κροκαλοπαγή, τα οποία εμφανίζονται κάτω από τα χαλαρά ή έντονα διαρηγμένα υλικά, είναι υγιή, μέτρια κερματισμένα με ενστρώσεις ψαμμίτη.

- Οι ψαμμίτες είναι χόνδρο- έως μεσόκοκκοι με ενστρώσεις είτε ιλυολιθικού υλικού (το οποίο εμφανίζεται τοπικά έντονα διατμημένο) είτε με αραιές ενστρώσεις κροκαλοπαγούς. Επισημαίνεται ότι μέσα στην ψαμμιτική μάζα εμφανίζονται

διάσπαρτες κροκάλες ή/και χάλικες. Η βραχομάζα εμφανίζεται μέτρια έως έντονα κερματισμένη από την ανάπτυξη των επιφανειών στρώσης με κλίση 20-30° και την ανάπτυξη των επιφανειών διάκλασης.

- Οι ιλυόλιθοι έως ψαμμούχοι ιλυόλιθοι έχουν μικρή γενικά ανάπτυξη. Αυτοί εμφανίζονται σε ενστρώσεις μέσα στους ψαμμίτες ή στα κροκαλοπαγή.



Φωτογραφία 5: Οι κροκαλοπαγείς σχηματισμοί της Ιονίου ζώνης στο χαμηλότερο ΝΔ/κό τμήμα της περιοχής.

(vii) **Οι φλυσχικοί σχηματισμοί της Πίνδου**, οι οποίοι συναντώνται στο υψηλότερο τμήμα του αντερείσματος, αποτελούνται από εναλλαγές ψαμμιτών και ιλυολίθων ερυθρού ή/και γκρι χρώματος με ενστρώσεις κροκαλοπαγών. Οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται έντονα καταπονημένοι με συχνές ζώνες διάτμησης, κερματισμένοι και αποσαθρωμένοι. Η έντονη αυτή διάτμηση είναι αποτέλεσμα των επωθητικών κινήσεων που έχουν λάβει χώρα στην περιοχή.



Φωτογραφία 6: Οι επωθημένοι πινδικοί σχηματισμοί στο υψηλότερο τμήμα της περιοχής.

4.5 Γεωλογική και τεκτονική δομή

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης καλύπτεται από τα υλικά των εδαφικών ασταθειών. Έτσι οι εκτιμήσεις αναφορικά με τη γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής μελέτης, βασίζεται στα στοιχεία που ήταν δυνατό να συλλεχθούν από τις περιοχές όπου οι βραχώδεις φλυσχικοί σχηματισμοί του υποβάθρου εμφανίζονται ακάλυπτοι είτε στην επιφάνεια του φυσικού εδάφους είτε στα πρανή των τοπικών προσπελάσεων δυτικά, βόρεια και ανατολικά της περιοχής μελέτης.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης μπορεί να διαιρεθεί σε δύο υποπεριοχές που έχουν διαφορετική γεωτεκτονική προέλευση. Ειδικότερα, η κεντρική περιοχή από την κοίτη του Μετσοβίτικου ποταμού και μέχρι το υψόμετρο περίπου 680-700m δομείται από τους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης επί των οποίων έχουν αναπτυχθεί τα

κατολισθητικά φαινόμενα ενώ η υψηλότερη περιοχή (άνω του υψομέτρου 680-700m) δομείται, όπως έχει ήδη αναφερθεί, από τους επωθημένους Πινδικούς σχηματισμούς.

Στο δυτικό όριο της περιοχής Β εμφανίζεται ένας μεγάλος ασβεστολιθικός όγκος στο άνω τμήμα του οποίου διακρίνεται η ζώνη μετάβασης προς τον φλύσχη αποτελούμενη από έντονα πτυχωμένο ψαμμίτη / ιλυόλιθο. Όλος αυτός ο ασβεστολιθικός όγκος εντάσσεται στην ζώνη της Πίνδου. Στο υψηλότερο τμήμα του πρανούς διακρίνεται ένας δεύτερος ασβεστολιθικός όγκος ο οποίος αποτελεί τεκτονικό ράκος από τη μεγάλη επώθηση.

Ο προσδιορισμός των τεκτονικών στοιχείων των φλυσχικών σχηματισμών υπήρξε ιδιαίτερα δύσκολος καθώς η περιοχή καλύπτεται από μεγάλης έκτασης και πάχους χαλαρά υλικά. Από τις μετρήσεις που έγιναν στις περιορισμένες αυτές εμφανίσεις βράχου προκύπτει ότι οι φλυσχικοί σχηματισμοί έχουν γενική διεύθυνση από ΒΔ-ΝΑ έως ΒΑ-ΝΔ. Η διεύθυνση βύθισης κυμαίνεται από ΒΑ έως ΒΔ. Η γωνία κλίσης είναι γενικά μικρή (20-40°) και τοπικά μόνο γίνεται μεγαλύτερη (έως 85°). Από την χωρική ανάπτυξη των επιφανειών στρώσης που προσδιορίστηκαν στους φλυσχικούς σχηματισμούς, φαίνεται ότι η υποκείμενη βραχομάζα είναι πτυχωμένη. Η γενική διεύθυνση των αξόνων πτύχωσης είναι σχεδόν Β-Ν. Στον γεωλογικό χάρτη που συντάχθηκε κατά μήκος του άξονα της οδού, απεικονίζονται όλες οι μετρήσεις επιφανειών στρώσης και διάκλασης που προσδιορίστηκαν στην περιοχή.

Ιδιαίτερα δύσκολος υπήρξε και ο προσδιορισμός μεγάλων τεκτονικών δομών καθώς η ευρύτερη περιοχή μελέτης καλύπτεται από τα υλικά των κατολισθήσεων και τα πλευρικά κορήματα αποσαθρώματα. Η υποκείμενη φλυσχική βραχομάζα εμφανίζεται μόνο τοπικά και σε μικρή έκταση.

Κύρια τεκτονική δομή της περιοχής μελέτης αποτελεί η επώθηση του Πινδικού φλύσχη επί των φλυσχικών σχηματισμών της Ιονίου Ζώνης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί το όριο της επώθησης αυτής βρίσκεται περιμετρικά της περιοχής μελέτης έτσι ώστε η περιοχή αυτή να αποτελεί ένα τεκτονικό παράθυρο.

Στην ευρύτερη περιοχή δεν εντοπίζεται νεοτεκτονική δραστηριότητα.

4.6. Τεχνικογεωλογικές ζώνες

Τα υλικά που συναντώνται στην περιοχή έρευνας είναι δυνατό να διαχωριστούν σε τρεις μεγάλες ενότητες υλικών, τα κυριότερα χαρακτηριστικά των οποίων είναι:

(i) Τεχνικογεωλογική ζώνη I

Στη ζώνη αυτή, η οποία καλύπτει την ευρύτερη περιοχή μελέτης, εντάσσονται τα χαλαρά υλικά κατολίσθησης και τα υλικά της παλαιάς ποτάμιας αναβαθμίδας, τα οποία εντοπίστηκαν στο δυτικό άκρο της περιοχής. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από:

- αργιλοϊλυώδη υλικά, καστανού έως γκρι χρώματος, με διάσπαρτες κροκάλες, χάλικες και τεμάχια ψαμμίτη.
- ογκόλιθους ασβεστολίθων κερματισμένους, με ζώνες από αργιλοϊλυώδη υλικά. Οι ασβεστολιθικοί ογκόλιθοι εντοπίστηκαν στο χαμηλότερο τμήμα του δεξιού, κατά την ροή, αντερείσματος καθώς και στο αριστερό, κατά την ροή, αντέρεισμα.
- υλικά παλαιάς αναβαθμίδας τα οποία αποτελούνται από κροκάλες, χάλικες και ασβεστολιθικούς ογκόλιθους. Τα υλικά αυτά έχουν μέσο πάχος της τάξης των 4,00m. Επισημαίνεται ότι η κατάταξη των υλικών αυτών ως υλικά παλαιάς αναβαθμίδας δεν ήταν απόλυτα σαφής από την παρατήρηση των πυρήνων των ερευνητικών γεωτρήσεων, καθώς είναι δυνατό αυτά να προέρχονται από ένα έντονα αποσαθρωμένο και αποδομημένο λόγω των κατολισθητικών κινήσεων, κροκαλοπαγές. Τα κριτήρια για τον χαρακτηρισμό των υλικών αυτών ως υλικά παλαιάς αναβαθμίδας είναι τα εξής:

- η μορφολογία της ευρύτερης περιοχής υποδεικνύει ότι έχουν λάβει χώρα κατολισθητικές κινήσεις οι οποίες είχαν ως αποτέλεσμα την αλλαγή της ροής του Μετσοβίτικου ποταμού.
- κατά τη διάτρηση των ερευνητικών γεωτρήσεων της περιοχής παρατηρήθηκε απότομη πτώση στάθμης μόλις συναντήθηκαν τα υλικά αυτά και σταθεροποίηση της στάθμης αυτής περίπου στο επίπεδο της στάθμης του ποταμού.

Πρόσθετα αναφέρεται ότι στην παρακείμενη περιοχή του Ανθοχωρίου έχει επίσης εντοπιστεί αντίστοιχη παλαιά αναβαθμίδα κάτω από τα υλικά της κατολίσθησης.

- υλικά ποτάμιας αναβαθμίδας της ευρύτερης κοίτης του Μετσοβίτικου ποταμού. Τα υλικά αυτά αποτελούνται από κροκάλες, χάλικες και ασβεστολιθικούς ογκόλιθους σε αμμοϊλυώδες έως αργιλοϊλυώδες υλικό μάζας.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μετακινήσεις αυτές έχουν καταγραφεί εντός των υλικών της ζώνης αυτής είτε στην διεπιφάνεια των ζωνών I και II.

(ii) Τεχνικογεωλογική ζώνη II

Η ζώνη αυτή, η οποία εντοπίζεται αμέσως κάτω από τα υλικά της ζώνης I, περιλαμβάνει έντονα διατμημένους έως αργιλοποιημένους ιλυόλιθους, γκρι και ερυθρού χρώματος, με διάσπαρτες κροκάλες, χάλικες και τεμάχια ψαμμίτη. Η αρχική δομή της φλυσχικής βραχομάζας διακρίνεται μόνο τοπικά.

Η έντονη διάτμηση και αργιλοποίηση των σχηματισμών αυτών εκτιμάται ότι οφείλεται αφενός μεν στην τεκτονική καταπόνηση που έχουν υποστεί οι σχηματισμοί κατά την μεγάλη επώθηση των Πινδικών σχηματισμών επί των σχηματισμών της Ιονίου ζώνης, αφετέρου δε στην χαλάρωση που έχουν υποστεί από τις κατολισθητικές κινήσεις που έχουν συμβεί κατά το παρελθόν. Σε κάθε περίπτωση τα υλικά αυτά θα πρέπει να θεωρούνται ως «εν δυνάμει» ασταθή υλικά.

Έχουν καταγραφεί επίπεδα κίνησης είτε εντός των υλικών της ζώνης II είτε στην διεπιφάνεια των ζωνών II και III.

(iii) Τεχνικογεωλογική ζώνη III

Η ζώνη αυτή η οποία εντοπίζεται είτε κάτω από τα υλικά της ζώνης I είτε κάτω από τα υλικά της ζώνης II, περιλαμβάνει το υποκείμενο βραχώδες υπόβαθρο το οποίο αποτελείται από τους φλυσχικούς σχηματισμούς της ζώνης της Πίνδου στις υψηλότερες περιοχές και από τους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης στο κεντρικό και χαμηλότερο τμήμα.

5. ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ

5.1 Αίτια της κατολίσθησης

Ως αίτια των κατολισθητικών φαινομένων που συνέβησαν και συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή θεωρούνται:

α) η αρχικά έντονη τεκτονική καταπόνηση των φλυσχικών σχηματισμών στην βόρεια πλευρά του Μετσοβίτικου ποταμού και των φλυσχικών-ασβεστολιθικών σχηματισμών στη νότια πλευρά του. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών της περιοχής, η οποία οφείλεται στην επίδραση της μεγάλης επώθησης των Πινδικών σχηματισμών επάνω στους υποκείμενους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης, προκάλεσε την έντονη διάτμηση-αργιλοποίηση των φλυσχικών σχηματισμών και τον έντονο κατακερματισμό των ασβεστολιθικών σχηματισμών που συμμετείχαν στην τεκτονική αυτή κίνηση.

β) η παρουσία του Μετσοβίτικου ποταμού ο οποίος, με γενική διεύθυνση ροής από ανατολικά προς δυτικά, διαρρέει την περιοχή και διαβρώνει, με ποικίλο ρυθμό, τα αντερείσματα της κοιλάδας. Ο γρήγορος ρυθμός διάβρωσης, ο οποίος, σύμφωνα με όλες τις ενδείξεις, έχει λάβει χώρα αρκετές φορές σε παλαιότερες περιόδους και συνεχίζει να συμβαίνει και σήμερα, προκάλεσε κατά το παρελθόν εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή. Τα κατολισθητικά αυτά φαινόμενα που συνέβησαν άλλοτε στο βόρειο και άλλοτε στο νότιο αντέρεισμα του Μετσοβίτικου ποταμού, είχαν ως αποτέλεσμα την προσωρινή έμφραξη της κοιλάδας του ποταμού ή τη μετατόπιση της κοίτης του και την κάλυψη, κατά περιοχές, των ποτάμιων αποθέσεων από τα υλικά των κατολισθήσεων.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που βοηθά στην ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων και μαζί με τα διαβρωτικά φαινόμενα, που συμβαίνουν στην περιοχή, προσδιορίζουν κυρίως τον ρυθμό της μετακίνησης, είναι η υψηλή υδροφορία της περιοχής. Η στάθμη του νερού βρίσκεται σε βάθος από 3,00 έως 6,00m στο υψηλότερο και στο μεσαίο τμήμα και σε βάθος από 6,00 έως 17,00m στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής.

Αναφορικά με τους μηχανισμούς που λειτούργησαν και τις επιφάνειες που χρησιμοποιήθηκαν κατά την ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων, εκτιμάται ότι, κατά τις αρχικές κατολισθητικές κινήσεις, ως επιφάνειες ολίσθησης χρησιμοποιήθηκαν οι διεπιφάνειες μεταξύ των επιφανειακών εδαφικών υλικών και των υποκείμενων φλυσχικών σχηματισμών. Οι επιφάνειες αυτές έχουν κλίσεις από 20° έως 25° στο υψηλότερο τμήμα, από 10° έως 15° στο μεσαίο τμήμα και από 05° έως 12° στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής. Οι επιφάνειες ολίσθησης βρίσκονται :

α) στην διεπιφάνεια των ζωνών I και II ή III στο υψηλότερο τμήμα και σε όλη την υπό μελέτη περιοχή

β) εντός των υλικών της ζώνης II είτε στην διεπιφάνεια των ζωνών I και III στο μεσαίο τμήμα της περιοχής . Ειδικότερα στο δυτικό και κεντρικό τμήμα της οι επιφάνειες ολίσθησης εντοπίζονται εντός των υλικών της ζώνης II ενώ στο ανατολικό όριο της περιοχής έρευνας αυτές εντοπίζονται στην διεπιφάνεια των ζωνών I και III.

γ) τέλος, στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής όλες οι επιφάνειες ολίσθησης εντοπίζονται μέσα στα υλικά της ζώνης I.

Οι επιφάνειες στρώσης, οι οποίες αποτελούν τις κυρίαρχες επιφάνειες διαχωρισμού των φλυσχικών σχηματισμών της περιοχής, έχουν βύθιση προς το εσωτερικό του αντερείσματος και για το λόγο αυτό, δε συμμετέχουν στην ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων.

Το βάθος των επιφανειών ολίσθησης μεγαλώνει από το υψηλότερο προς το μεσαίο και προς το χαμηλότερο τμήμα του αντερείσματος, ενώ συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο με τις γωνίες κλίσης των επιφανειών ολίσθησης. Τα δύο αυτά στοιχεία συμφωνούν απόλυτα με την μορφολογία της περιοχής και τις κλίσεις του φυσικού εδάφους στο υψηλότερο, μεσαίο και χαμηλότερο τμήμα της περιοχής, όπως επίσης συμφωνούν και με τη χρονική ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων, τα οποία εκδηλώθηκαν αρχικά στο χαμηλότερο τμήμα και προοδευτικά επεκτάθηκαν προς το υψηλότερο τμήμα του αντερείσματος. Τα φαινόμενα αυτά λειτουργούν και σήμερα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά με σαφώς μικρότερους ρυθμούς.

5.3 Ποσοτικά στοιχεία της κατολίσθησης

Αναφορικά με τα ποσοτικά στοιχεία των κατολισθητικών φαινομένων που συνέβησαν και συμβαίνουν στην περιοχή σημειώνουμε τα παρακάτω:

α) τα κατολισθητικά φαινόμενα εκτείνονται από την κοίτη του Μετσοβίτικου ποταμού (υψόμετρο +565m στο δυτικό και +590m στο ανατολικό άκρο) μέχρι το υψόμετρο των +724m στο υψηλότερο δυτικό τμήμα και +740m στο υψηλότερο ανατολικό τμήμα. Σύμφωνα με τα στοιχεία αυτά, η υψομετρική διαφορά μεταξύ του χαμηλότερου και του υψηλότερου σημείου των κατολισθητικών φαινομένων είναι της τάξης των 159m στο δυτικό τμήμα και της τάξης των 150m στο ανατολικό τμήμα της κεντρικής περιοχής,

β) το εμβαδόν της κατολισθημένης κεντρικής περιοχής ανέρχεται σε 300.000m²,

γ) το μέσο πάχος των εδαφικών υλικών και των υποκείμενων διατμημένων – αργιλοποιημένων φλυσχικών σχηματισμών είναι της τάξης των 16,00m στο υψηλότερο τμήμα, της τάξης των 24,00m στο μεσαίο τμήμα και της τάξης των 38,00m 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 28,00m.

Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία ο όγκος των κατολισθημένων και των εν δυνάμει κατολισθήσιμων υλικών στην κεντρική περιοχή, ανέρχεται σε $8,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ (επιφάνεια = $300.000 \text{ m}^2 \times \text{μέσο πάχος υλικών} = 28\text{m}$).

5.4 Περιγραφή κατολίσθησης

Η ερευνώμενη περιοχή αναφέρεται από την Εγνατία Οδό, για πρακτικούς λόγους, ως 'περιοχή Β'. Στην περιοχή αυτή υπάρχει κατολίσθηση, που εκδηλώνεται με επιφανειακές μετακινήσεις και μετακινήσεις στα κλισιόμετρα των γεωτρήσεων καθώς επίσης και από τους επιφανειακούς μάρτυρες που έχουν εγκατασταθεί.

Η κατολίσθηση αυτή είναι ενεργή, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, πριν την ολοκλήρωση των μέτρων αντιμετώπισής της και παρατηρείται ολίσθηση κατά 2 cm το χρόνο.

Η κατολίσθηση αυτή σε ολόκληρη την περιοχή Β έχει πλάτος (παράλληλα στον άξονα της Εγνατίας Οδού) 670 m και μήκος (επί της διεύθυνσης κίνησης, πρακτικά κάθετη στο πρηνές και τον άξονα της Εγνατίας οδού) από 400 m έως 540 m. Η επιφάνεια ολίσθησης βρίσκεται σε μέγιστο βάθος περί τα 37-40 m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η παραποτάμια ζώνη του βόρειου πρηνούς επηρεάζεται από την ευρύτερη ανάντη περιοχή, για την οποία υπάρχουν ενδείξεις ότι μπορεί να υφίσταται ευρύτερη αστάθεια, λόγω της παρουσίας μεγάλου πάχους χαλαρών και προβληματικών σχηματισμών, που αποτελούνται κυρίως από προϊόντα κατολισθήσεων ευρείας κλίμακας, η οποία συμφωνεί με τη διαπίστωση των μελετών, δηλαδή ότι στα βόρεια πρηνή του π. Μετσοβίτικου εντοπίζονται ασταθή εδάφη (παλαιές κατολισθήσεις). Ωστόσο η αστάθεια στα νότια πρηνή είναι πολύ μεγαλύτερη και συνεπώς τα διαθέσιμα στοιχεία συμφωνούν με τη διέλευση της Εγνατίας Οδού από τα βόρεια πρηνή.

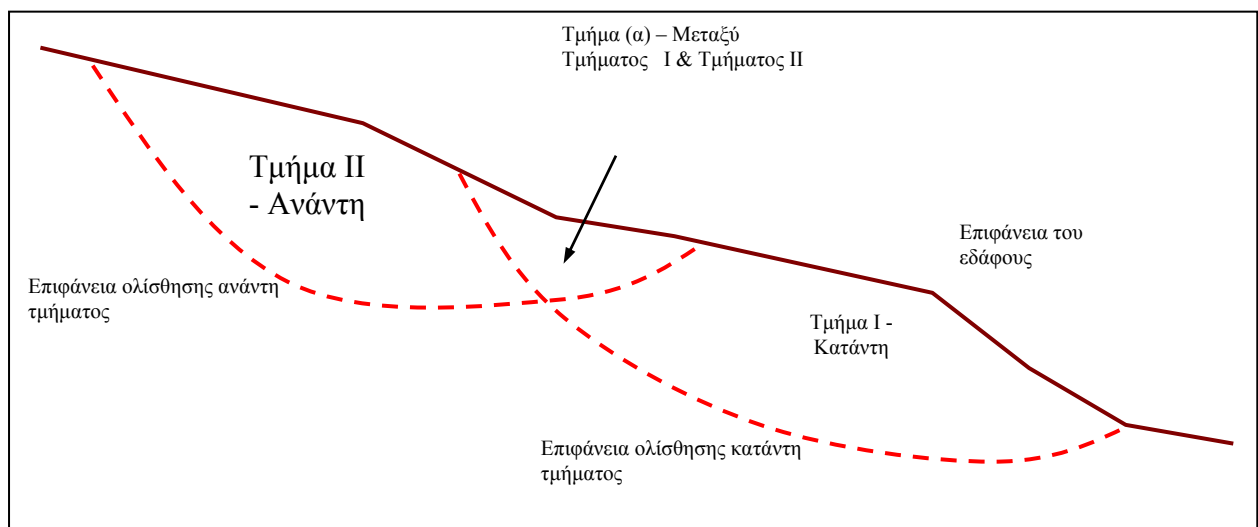
Τα υλικά κατολίσθησης αποτελούνται από άργιλο-ιλυώδη έως άμμο-ιλυώδη υλικά, με διάσπαρτες κροκάλες, χάλικες και γωνιώδη τεμάχια ψαμμιτικής κυρίως σύστασης και λιγότερο ασβεστολιθικής. Τοπικά συναντώνται διάσπαρτοι ογκόλιθοι ασβεστολίθου οι οποίοι προέρχονται είτε από καταπτώσεις που έχουν λάβει χώρα στον ασβεστολιθικό όγκο που συναντάται στο δυτικό τμήμα της περιοχής Β είτε από κατολισθητικά φαινόμενα που έχουν λάβει χώρα στο νότιο αντέρεισμα. Πολύ συχνά συναντώνται μάζες έντονα διατμημένου ιλυόλιθου ερυθρού ή/και γκρι χρώματος, οι οποίες προέρχονται από τους επωθημένους φλυσχικούς σχηματισμούς της ζώνης Πίνδου.

Τα κατολισθητικά φαινόμενα στην περιοχή είναι διαδοχικά υψομετρικά και πιθανόν και πλευρικά. Όλα τα στοιχεία οδηγούν στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει μία ενιαία επιφάνεια ολίσθησης που να είναι και ταυτόχρονα κινηματικά δυνατή. Αντίθετα διαφαίνεται η ύπαρξη μίας επιφάνειας 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 μίας δεύτερης επιφάνειας ολίσθησης στο ανάντη τμήμα τους πρανούς με «φρύδι» περί την θέση της οδού προς Πρινότοπα και «πόδα» περί την υφιστάμενη Εθνική Οδό (χωρίς πάλι σαφείς ενδείξεις στην επιφάνεια).

Η μορφή αυτή των εκτιμώμενων επιφανειών ολίσθησης ενέχει αρκετά περιθώρια αμφιβολιών σε ότι αφορά την περιοχή όπου τμήμα της ανάντη επιφάνειας ολίσθησης διέρχεται από τμήμα της κατάντη κατολίσθησης, αλλά είναι συμβατή με την εκτιμώμενη εξέλιξη των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή, όπως προκύπτει από τα γεωλογικά στοιχεία, την 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.

Στο Σχήμα 5.1 φαίνονται οι δύο επιφάνειες ολίσθησης (μία στο ανάντη και μία στο κατάντη). Η επιβεβαιωμένη παρουσία τέτοιων μηχανισμών ολίσθησης υπαγορεύει τον συνδυασμό των αναλύσεων ευστάθειας στα κατάντη και ανάντη τμήματα.

Σχήμα 5.1: Διαδικασία συνδυασμού αναλύσεων ευστάθειας



Τα συμπεράσματα που αφορούν τις συνθήκες ευστάθειας που επικρατούν στην υπό μελέτη περιοχή είναι:

(i) Η ευρύτερη περιοχή B χαρακτηρίζεται ως μία περιοχή με εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα που συνέβησαν σε παλαιότερες περιόδους και συνεχίζουν να συμβαίνουν, τόσο στο βόρειο όσο και στο νότιο αντέρεισμα του Μετσοβίτικου ποταμού.

(ii) Ειδικότερα, η περιοχή, η οποία βρίσκεται στο βόρειο αντέρεισμα του Μετσοβίτικου ποταμού, διακρίνεται :

- **στο δυτικό περιθώριο της B** όπου αναπτύσσεται μία σχετικά στενότερη μορφολογική βάση αποτελούμενη από τους σχηματισμούς της επωθημένης Πινδικής ζώνης στην χαμηλότερη περιοχή και τους σχηματισμούς της Ιόνιας στην χαμηλότερη περιοχή.

Στην περιοχή αυτή δεν εντοπίστηκαν επιφανειακές ενδείξεις αναφορικά με παλαιότερα ή νεότερα κατολισθητικά φαινόμενα. Επίσης δεν τίθεται πρόβλημα εδαφικών ασταθειών στο υπόψη τμήμα, όπως συμπερασματικά προκύπτει από τη συμπεριφορά της βραχομάζας και του μετώπου εισόδου της σήραγγας προσπέλασης προς το σταθμό παραγωγής. Εξαίρεση στην περιοχή αυτή αποτελεί μια μικρή περιοχή στην οποία καταγράφεται επιφανειακή μετατόπιση 11 mm.

Για τον λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμη η εγκατάσταση οργάνων παρατήρησης και η συστηματική παρακολούθηση αυτών στα πλαίσια των ερευνητικών γεωτρήσεων.

- **στο κεντρικό τμήμα της περιοχής B**, η οποία εκτείνεται από την κοίτη του Μετσοβίτικου (υψόμετρο +565m έως +590m) μέχρι το υψόμετρο +724m έως 740m, έχουν αναπτυχθεί και βρίσκονται σε εξέλιξη κατολισθητικά φαινόμενα σε σημαντικά βάθη. Η περιοχή αυτή παρουσιάζει χαρακτηριστική κλιμακωτή μορφολογία αποτελούμενη από συχνές εναλλαγές τμημάτων με ήπιο και απότομο ανάγλυφο. Χαρακτηρίζεται επίσης από την παρουσία μεγάλου έως πολύ μεγάλου πάχους εδαφικών υλικών, τα οποία προέκυψαν από τα παλαιότερα και τα νεότερα κατολισθητικά φαινόμενα που συνέβησαν στην περιοχή. Η υδροφορία των σχηματισμών της περιοχής είναι υψηλή έως πολύ υψηλή.

Γεωλογικά η περιοχή δομείται από τα υλικά κατολίσθησης (υλικά ζώνης Ι), από έντονα διατμημένους και αργιλοποιημένους ιλυόλιθους, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως "εν δυνάμει" κατολισθήσιμα υλικά (υλικά ζώνης ΙΙ) και από τους υποκείμενους, μη μετακινημένους βραχώδεις σχηματισμούς (υλικά ζώνης ΙΙΙ). Ιδιαίτερη αναφορά θα πρέπει να γίνει στην παρουσία μίας ζώνης από κροκάλες, η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύει παλαιά κοίτη ή έντονα αποσαθρωμένο και αποδομημένο κροκαλοπαγές. Η ζώνη αυτή εντοπίστηκε στο χαμηλότερο τμήμα του πρανούς, πολύ κοντά στο Μετσοβίτικο ποταμό.

Η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται - συνήθως - εντός των υλικών της ζώνης Ι είτε στην διεπιφάνεια των ζωνών Ι και ΙΙ. Εξαίρεση παρατηρείται στο χαμηλότερο τμήμα του αντερείσματος όπου, μετά την διάτρηση της ζώνης των κροκαλών, η στάθμη που καταγράφεται στις ερευνητικές γεωτρήσεις βρίσκεται λίγο ψηλότερα από την στάθμη του ποταμού.

Στην περιοχή αυτή βρίσκονται σε εξέλιξη κατολισθητικά φαινόμενα με τάση σταδιακής εξέλιξης με το βάθος αλλά και οριζοντιογραφικά προς το υψηλότερο τμήμα του πρανούς. Οι επιφανειακές ολισθήσεις έχουν κλίσεις από 12-14° στο μεσαίο τμήμα και 10-13° στο χαμηλότερο τμήμα. Το μέγεθος της κίνησης που έχει καταγραφεί κυμαίνεται από 1.5 mm έως 10.00 mm, σε ορισμένα όμως σημεία η μετακίνηση είναι της τάξης των 19.98 mm και φτάνει μέχρι και τα 28.40 mm.

Η διεύθυνση κίνησης είναι κατά κύριο λόγο προς ΝΝΑ έως ΝΑ με τοπικές μόνο εξαιρέσεις.

Από την αξιολόγηση των επιφανειακών μαρτύρων που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή συμπεραίνουμε ότι υπάρχει σε εξέλιξη μία, ερπυστικού χαρακτήρα, κίνηση των επιφανειακών εδαφικών μαζών.

Λόγω της έκτασης των κατολισθητικών φαινομένων κρίνεται σκόπιμη η ακριβής οριοθέτηση των φαινομένων αυτών και η συνέχιση των μετρήσεων των κλισιομέτρων και των πιεζομέτρων που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή.



Φωτογραφία 7: Επιφανειακά εδαφικά υλικά που καλύπτουν τα υψηλότερα τμήματα της κεντρικής περιοχής.

- στα ανατολικό περιθώριο της περιοχής Β αναπτύσσεται μία υποτυπώδης μορφολογική ράχη όπου το πάχος των κατολισθητικών υλικών είναι μικρότερο. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται κατολισθητικά φαινόμενα σε μικρότερο βάθος και με μικρότερη ένταση, συγκριτικά με την κεντρική περιοχή. Αυτή η μορφολογική ράχη διαχωρίζει την κεντρική κατολισθημένη περιοχή από την επίσης κατολισθημένη περιοχή που βρίσκεται ανατολικά της ράχης. Τα κατολισθητικά φαινόμενα τα οποία συνέβησαν και συνεχίζουν να συμβαίνουν στην δυτική και στην ανατολική περιοχή αυτής της ράχης προκάλεσαν τη βαθειά χαλάρωση των σχηματισμών και δημιούργησαν τις προϋποθέσεις για την ανάπτυξη, και στην περιοχή αυτή, κατολισθητικών φαινομένων.

Επειδή η περιοχή αυτή θεωρείται ότι βρίσκεται σε οριακή ισορροπία, καθώς εντοπίζεται μεταξύ δύο κατολισθημένων περιοχών, κρίνεται σκόπιμη η συνέχιση των μετρήσεων των κλισιομέτρων και των πιεζομέτρων που έχουν τοποθετηθεί στην περιοχή.



Φωτογραφία 8: Επιφανειακά εδαφικά υλικά που καλύπτουν τα μεσαία τμήματα της ανατολικής περιοχής.

(iii) Η περιοχή του νοτίου αντερείσματος του Μετσοβίτικου ποταμού καλύπτεται από υλικά κατολισθήσεων αποτελούμενα από ασβεστολιθικούς ογκόλιθους, τεμάχια φλύσχη και λεπτοκλαστικά υλικά.



Φωτογραφία 9: Η κοίτη και τα αντερείσματα του Μετσοβίτικου στη ΝΔ/κή περιοχή, καλύπτονται από ασβεστολιθικούς ογκόλιθους που προέρχονται από κατολισθητικά φαινόμενα που συνέβησαν στην περιοχή του νότιου αντερείσματος του ποταμού. Τα υλικά αυτά έφραζα, προσωρινά, την κοίτη του Μετσοβίτικου.

5.5. Απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας ευστάθειας

Πριν την έναρξη κατασκευής μέτρων αντιμετώπισης της κατολίσθησης, τα οποία δεν έχουν ολοκληρωθεί, ο συντελεστής ασφαλείας ήτανε λίγο μικρότερος από 1.0 (0.998) γενικής ευστάθειας για συνήθεις συνθήκες φορτίσεως και ίσος με 0.7 για συνθήκες φορτίσεως με σεισμό.

Για τα πρανή επιχωμάτων, ο επιθυμητός συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 1.3 για μακροπρόθεσμες συνθήκες φορτίσεως και μεγαλύτερος του 1.0 για συνθήκες φορτίσεως με σεισμό.

Για την αστάθεια εδαφών λόγω κατολισθήσεων ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 1.4 για συνήθεις συνθήκες φορτίσεως και μεγαλύτερος του 1.0 για συνθήκες φορτίσεως με σεισμό. Σύμφωνα με την οδηγία που δόθηκε από την ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε. ο αποδεκτός συντελεστής ασφαλείας γενικής ευστάθειας για συνήθεις συνθήκες φορτίσεως είναι ίσος με 1.30 και 0.90 για φόρτιση με σεισμό.

Οι παραπάνω συντελεστές ασφαλείας έχουν νόημα για την συνολική ευστάθεια καθώς και την ευστάθεια του κατάντη τμήματος της κατολίσθησης. Με την κατασκευή των έργων σταθεροποίησης του ανάντη τμήματος δεν επιδιώκεται η επίτευξη κάποιας ποσοστιαίας αύξησης του συντελεστή ασφαλείας, αλλά η μείωση, έως μηδενισμού, της πίεσης των πόρων και κατά συνέπεια η αύξηση της διατμητικής αντοχής στην επιφάνεια ολίσθησης. Η αντίστοιχη αύξηση των ενεργών τάσεων έχει ως απώτερο σκοπό την μείωση των μεταβιβαζόμενων δυνάμεων στο κατάντη τμήμα.

6. ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

6.1 Γενικά

Η περιοχή Β για πρακτικούς λόγους διακρίνεται από την Εγνατία Οδό, σε δύο τμήματα:

- Υποπεριοχή Β1
- Υποπεριοχή Β2

Από την συναξιολόγηση του συνόλου των γεωλογικών και γεωτεχνικών εργασιών που έχουν εκπονηθεί στην περιοχή αναφορικά με τα εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα που εκδηλώνονται, τόσο στην περιοχή του βορείου αντερείσματος του Μετσοβίτικου, όπου τοποθετείται η Εγνατία Οδός, όσο και στην περιοχή του νοτίου αντερείσματος, προτείνονται τα παρακάτω έργα σταθεροποίησης της κατολίσθησης στη Περιοχή Β :

1. Βαθιές στραγγίσεις που επιτυγχάνονται με την κατασκευή μίας αποστραγγιστικής σήραγγας και αποστραγγιστικών φρεάτων. Η σήραγγα κατασκευάζεται στο ανάντη τμήμα της κατολίσθησης και εκτείνεται στο μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής Β. Τα στραγγιστικά φρέατα κατασκευάζονται στο κατάντη τμήμα της κατολίσθησης στην Υποπεριοχή Β1, όπου βρέθηκε η θαμμένη παλαιά ποτάμια αναβαθμίδα του Ποταμού Μετσοβίτικου.

2. Έργα επιφανειακής αποστράγγισης που περιλαμβάνουν την κατασκευή επιφανειακής αποστραγγιστικής τάφρου περιμετρικά του ορίου της κατολίσθησης στο ανάντη τμήμα.

3. Σταθεροποιητικό επίχωμα στον πόδα της κατολίσθησης στην Υποπεριοχή Β1. Πρόκειται για το μεγιστοποιημένο επίχωμα (οπλισμένο στη μία διεύθυνση) επί του οποίου διέρχεται στη συνέχεια η Εγνατία Οδός από την περιοχή.

4. Σταθεροποιητικό επίχωμα στον πόδα της κατολίσθησης στην Υποπεριοχή Β2. Πρόκειται για το μεγιστοποιημένο επίχωμα επί του οποίου διέρχεται η Εγνατία Οδός από την περιοχή.

5. Οπλισμένο επιχώμα στην Υποπεριοχή B2 από το οποίο διέρχεται η Εγνατία Οδός, το οποίο λόγω του περιορισμένου όγκου του έχει μετριασμένη σταθεροποιητική δράση.

6. Μπαρέτες ενίσχυσης της εξωτερικής ευστάθειας του οπλισμένου επιχώματος της Υποπεριοχής B2, οι οποίες συμβάλλουν και στην ενίσχυση της γενικής ευστάθειας της κατολίσθησης.

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

7. Κατασκευή μπαρετών ενίσχυσης της εξωτερικής ευστάθειας του οπλισμένου επιχώματος της Υποπεριοχής B1 κάτω από την βάση του οπλισμένου επιχώματος και επιπλέον σε δύο σειρές πίσω από αυτό.

8. Κατασκευή τοίχου αντιστήριξης για την διαμόρφωση του πόδα του επιχώματος στην Υποπεριοχή B1 και του πόδα του επιχώματος στην Υποπεριοχή B2 . Ο τοίχος εδράζεται επί πασσάλων.

9. Μέτρα προσωρινής αντιστήριξης των πρανών της εκσκαφής, για την δημιουργία του δαπέδου κατασκευής του οπλισμένου επιχώματος στην Υποπεριοχή B1 και για την δημιουργία του δαπέδου κατασκευής του τοίχου ποδός και του οπλισμένου επιχώματος στην Υποπεριοχή B2.

Στις παραγράφους που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά τα προαναφερθέντα έργα.

6.2 Επιχώματα

6.2.1 Γενικά

Για την αποτελεσματική ενίσχυση της ευστάθειας της περιοχής και την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων στο χαμηλότερο, προς την κοίτη του ποταμού, αντέρεισμα, απαιτείται η κατασκευή εκτεταμένων επιχωμάτων σε όλο το μήκος της οδού. Εκτός από τους γεωμετρικούς και υδραυλικούς περιορισμούς για τον σχεδιασμό των επιχωμάτων, έπρεπε να ληφθούν υπόψη ορισμένες επιπλέον παράμετροι. Οι παράμετροι αυτές ήταν:

- Ο όγκος δρα ως αντίβαρο για την κατολίσθηση του επιχώματος και για το λόγο αυτό θα πρέπει να είναι κατά το δυνατό μεγιστοποιημένος.
- Το οπλισμένο τμήμα του επιχώματος θα πρέπει να εκτείνεται σε μήκος τόσο όσο είναι απολύτως απαραίτητο, έτσι ώστε να περιοριστεί η έκταση των αναγκαίων αποσταθεροποιητικών εργασιών (εκσκαφών) για την κατασκευή του.
- Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατό να αποφευχθούν μεγάλες εκσκαφές ή αποσταθεροποιητικές εργασίες κατά την διάρκεια της κατασκευής του οπλισμένου επιχώματος, τότε θα πρέπει να κατασκευαστούν προσωρινά μέτρα αντιστήριξης για να εξασφαλιστεί η προσωρινή ευστάθεια (γενική και τοπική).
- Το οπλισμένο επίχωμα κατασκευάζεται με την κατάλληλη κλίση και από υλικά τέτοια ώστε να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας για τα πρανή του επιχώματος καθαυτά (εσωτερική ευστάθεια) αλλά και για το σύνολό του (εξωτερική ευστάθεια) λαμβάνοντας υπόψη τα υποκείμενα υλικά κατολίσθησης και την υφιστάμενη επιφάνεια ολίσθησης.
- Αν λόγω της ύπαρξης της επιφάνειας ολίσθησης δεν είναι δυνατό να εξασφαλιστεί η εξωτερική ευστάθεια του επιχώματος, τότε εξετάζονται συμπληρωματικά έργα σταθεροποίησης του επιχώματος προς εξασφάλιση των προβλεπόμενων συντελεστών ασφαλείας.
- Το άοπλο επίχωμα πρέπει να έχει ύψος και κλίση πρανών τέτοια ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από προϊόντα εκσκαφών στο ίδιο το τμήμα ή σε παρακείμενα τμήματα της Εγνατίας Οδού χωρίς απαιτήσεις σε επίλεκτο υλικό που θα αύξαναν το κόστος κατασκευής. Ταυτόχρονα πρέπει να εξασφαλίζονται οι απαιτούμενοι συντελεστές ασφαλείας για την ευστάθεια του ίδιου του επιχώματος.

6.2.2 Επίχωμα Υποπεριοχής B1

Η Εγνατία Οδός θα διέλθει κατά μήκος ολόκληρης της Υποπεριοχής B1 επί επιχώματος εκτός από ένα μικρό τμήμα απ' όπου ο αριστερός κλάδος της οδού θα διέλθει δια μικρού ορύγματος. Στο μεγαλύτερο τμήμα της Υποπεριοχής B1 κατασκευάζεται κοινό επίχωμα. Εκτός από μία μικρή περιοχή στην οποία λόγω της μορφολογίας του εδάφους, της μικρής απόστασης μεταξύ του άξονα της Εγνατίας Οδού και της βόρειας όχθης του Ποταμού Μετσοβίτικου, αλλά και του μεγάλου ύψους του επιχώματος δεν υπήρχε η δυνατότητα κατασκευής απλού επιχώματος, με αποτέλεσμα το κύριο τμήμα του επιχώματος να κατασκευαστεί οπλισμένο με διεύθυνση κλίσης πρανών κάθετη στο άξονα της οδού κατολίσθησης.

Για την κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος δημιουργείται σταδιακά δάπεδο εργασίας συνολικού μήκους περίπου 100m (παράλληλα με το άξονα της Εγνατίας Οδού) και πλάτους περίπου 23m. Για την κατασκευή του δαπέδου πραγματοποιούνται προσωρινές εκσκαφές, σε στάδια και επιχώσεις μετά την αφαίρεση των φυτικών γαιών αλλά και τυχόν φακών πολύ χαλαρού υλικού στην επιφάνεια των φυσικών πρανών. Για την ενίσχυση της ευστάθειας του οπλισμένου επιχώματος κατασκευάζονται στη βάση του μπαρέτες από οπλισμένο σκυρόδεμα καθ' όλο το μήκος του.

Οι οπλισμοί του επιχώματος της Υποπεριοχής B1 διατάσσονται ως εξής:

- i. Στα ανώτερα 5.0m από τη στέψη προβλέπεται η τοποθέτηση δέκα στρώσεων οπλισμού (γεώπλεγμα) σε αποστάσεις ανά 0.5m,
 - ii. στο μεσαίο τμήμα του επιχώματος από 5.0m έως 16.0m από την στέψη προβλέπεται η τοποθέτηση είκοσι επτά στρώσεων οπλισμού ανά 0.4m, ενώ
 - iii. στα κατώτερα τμήματα θα τοποθετηθούν στρώσεις οπλισμών ανά 0.3m.
- Ενδιάμεσα του κύριου οπλισμού θα τοποθετείται δευτερεύων οπλισμός με αντοχή και στις δύο διευθύνσεις τουλάχιστον 20kN/m.



***Φωτογραφία 10:** Οπλισμένο επίχωμα στην υποπεριοχή B2*

6.2.3 Επίχωμα Υποπεριοχής B2

Η Εγνατία Οδός θα διέλθει κατά μήκος ολόκληρης της Υποπεριοχής B2 επί επιχώματος (κοινό και οπλισμένο).

Για την κατασκευή του οπλισμένου επιχώματος δημιουργείται δάπεδο εργασίας συνολικού μήκους περίπου 100m (παράλληλα με το άξονα της Εγνατίας Οδού) και πλάτους περίπου 20m. Για την κατασκευή του δαπέδου πραγματοποιούνται προσωρινές εκσκαφές, μετά την αφαίρεση των φυτικών γαιών αλλά και τυχόν φακών πολύ χαλαρού υλικού στην επιφάνεια των φυσικών πρανών, ενώ το υπόλοιπο δάπεδο δημιουργείται μετά την κατασκευή του τοίχου ποδός και την επίχωση πίσω από αυτόν. Για την ενίσχυση της ευστάθειας του οπλισμένου επιχώματος κατασκευάζονται στη βάση του μπαρέτες από οπλισμένο σκυρόδεμα καθ' όλο το μήκος του.

Οι οπλισμοί του επιχώματος της Υποπεριοχής B2 διατάσσονται ως εξής:

1. στα ανώτερα 7.0m από τη στέψη προβλέπεται η τοποθέτηση δεκαεπτά στρώσεων οπλισμού ανά 0.5m, με εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού τουλάχιστον 21.5kN/m (γεώπλεγμα),
2. στο κατώτερο τμήμα θα τοποθετηθούν ανά 0.5m με εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού τουλάχιστον 45kN/m.

Ενδιάμεσα του κύριου οπλισμού θα τοποθετείται καθ' όλο το ύψος του δευτερεύων οπλισμός με εφελκυστική αντοχή και στις δύο διευθύνσεις τουλάχιστον 20kN/m (γεώπλεγμα).

6.3 Μπαρέτες ενίσχυσης της ευστάθειας των επιχωμάτων

Τελικώς η επίτευξη του απαιτούμενου συντελεστή ασφαλείας επιτυγχάνεται με την κατασκευή μπαρετών σε δύο σειρές, που τοποθετούνται σε διεύθυνση παράλληλη με τον άξονα της Εγνατίας Οδού. Η απόσταση μεταξύ τους είναι περίπου 13m και επιμηκύνονται μία παρά μία οι ανώτερες στρώσεις οπλισμών του επιχώματος, περίπου μέχρι το βάθος που απαντάται το φυσικό έδαφος. Επίσης μπαρέτες κατασκευάζονται και κατά μήκος του οπλισμένου επιχώματος, κάτω από τη βάση του. Οι μπαρέτες αυτές τοποθετούνται σε αξονικές αποστάσεις 4m, προκειμένου να αποφευχθεί η διαρροή του εδάφους ανάμεσα τους, διατάσσονται κάθετα στην κλίση των πρανών (παράλληλα στη διεύθυνση της κίνησης) και κατασκευάζονται σε όλο το μήκος του οπλισμένου επιχώματος. Λόγω του μεγάλου βάθους της επιφάνειας ολίσθησης, σε αυτή την περιοχή οι μπαρέτες δεν διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης.

Μπαρέτες ενίσχυσης της ευστάθειας των οπλισμένων επιχωμάτων κατασκευάζονται στις Υποπεριοχές B1 και B2 καθώς και σε μέρος του κοινού επιχώματος της Υποπεριοχής B2. Στην υποπεριοχή B1 κατασκευάζονται 23 μπαρέτες στη βάση του οπλισμένου επιχώματος σε όλο το μήκος του (Σειρά 1) καθώς και σε δύο σειρές (Σειρά 2 με 14 μπαρέτες και Σειρά 3 με 10 μπαρέτες) πίσω από αυτό. Στην Υποπεριοχή B2 κατασκευάζονται 40 μπαρέτες σε μία σειρά (σειρά 4) στη βάση του επιχώματος. Οι μπαρέτες κατασκευάζονται σε αξονικές αποστάσεις 4m και έχουν

πλάτος 1.2m. Το βάθος των μπαρετών της Σειράς 1 είναι 16m, της Σειράς 2 είναι 23m, της Σειράς 3 είναι 26m και της Σειράς 4 είναι 20m. Ο συνολικός αριθμός των μπαρετών είναι 87 με συνολικό βάθος 1750m.

Οι μπαρέτες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Λόγω των χαρακτηριστικών του εδάφους στην περιοχή, κάποιο σημαντικό ποσοστό των μπαρετών αναμένεται να μην μπορεί να κατασκευαστεί με την συμβατική μέθοδο και έτσι η μπαρέτα θα κατασκευάζεται ως αλληλοτεμνόμενοι πάσσαλοι που συνδέονται μεταξύ τους με κεφαλόδεσμο. Οι πάσσαλοι αυτοί είναι διαμέτρου 1.2m με 5 πασσάλους να αντιστοιχούν σε μία μπαρέτα.



Φωτογραφία 11: Τοίχος αντιστήριξης και μπαρέτες

6.4 Τοίχος Αντιστήριξης

Για την διαμόρφωση του πόδα του επιχώματος στην Υποπεριοχή B1 και του επιχώματος στην Υποπεριοχή B2 είναι απαραίτητη η κατασκευή τοίχου αντιστήριξης, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε παρέμβαση στην κοίτη του Ποταμού Μετσοβίτικου καθώς και εμπλοκή με τα έργα της ΔΕΗ, που εκπονούνται στην περιοχή (στην πλευρά του κοινού επιχώματος στην Υποπεριοχή B1). Το μήκος εφαρμογής του τοίχου αντιστήριξης στην Υποπεριοχή B1 είναι 100m (55m κατά μήκος του πόδα του οπλισμένου επιχώματος και 45m κατά μήκος του κοινού επιχώματος) και 150m στην Υποπεριοχή B2.

Ο τοίχος αυτός έχει μέγιστο ελεύθερο ύψος περί τα 6m (μέγιστο συνολικό ύψος 8m) και κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα C20/25 με οπλισμό από χάλυβα κατηγορίας S500 και εδράζεται επί πασσάλων διαμέτρου Φ80.

Οι πάσσαλοι κατασκευάζονται σε δύο σειρές, με αξονικές αποστάσεις κατά μήκος του τοίχου αντιστήριξης 3.5m και μεταξύ τους 1.8m.

Στην Υποπεριοχή B1, για την κατασκευή των πασσάλων θεμελίωσης του τοίχου αντιστήριξης, ανοίγεται με μηχανικό εκσκαφέα, εκσκαφή βάθους 1.50 m από το φυσικό έδαφος και πλάτους 4.0 m. Στον πυθμένα της εκσκαφής κατασκευάζονται οι πάσσαλοι και μετά την κατασκευή τους διευρύνεται το δάπεδο εργασίας στα 8.0m. Το δάπεδο διαστρώνεται με σκυρόδεμα, πάχους 10 cm, επί του οποίου σκυροδετείται ο τοίχος αντιστήριξης. Η βάση του τοίχου έχει πλάτος 7.55 m και το συνολικό ύψος του κατακόρυφου στοιχείου είναι 6.65m με κατακόρυφη εσωτερική παρειά και κεκλιμένη εξωτερική, πάχος στη στέψη 0.40 m και στη βάση 1.35m. Στην μπροστινή πλευρά του τοίχου απομένει τμήμα πλάτους 1.20 m και στην πίσω τμήμα πλάτους 5.00 m. Οι αρμοί του τοίχου διαμορφώνονται κάθε 10m.

Στη στέψη του τοίχου τοποθετείται στρώση συμπυκνωμένου υλικού τύπου 3Α πάχους 30 cm με κλίση 2% προς τα μέσα (προς την στραγγιστήρια τάφρο που τοποθετείται στον πόδα του επιχώματος).

Στην πίσω πλευρά του τοίχου γίνεται επανεπίχωση με συμπυκνωμένο κοκκώδες υλικό. Μπροστά από τον τοίχο, στην Υποπεριοχή B1 γίνεται απλή επανεπίχωση ενώ στην Υποπεριοχή B2, που ο τοίχος βρίσκεται πολύ κοντά στην κοίτη του Ποταμού Μετσοβίτικου τοποθετείται ειδική υδραυλική προστασία.

6.5 Έργα βαθιάς αποστράγγισης

6.5.1 Αποστραγγιστικά φρέατα

Διαπιστώθηκε ότι εντός της μάζας των υλικών της κατολίσθησης στην Υποπεριοχή B1 υπάρχει χαρακτηριστική κατανομή πιέσεων πόρων υλικών χαμηλής διαπερατότητας που αποστραγγίζονται από τα πιο διαπερατά υλικά της υποκείμενης θαμμένης ποτάμιας αναβαθμίδας, που εντοπίστηκε στα πλαίσια της γεωτεχνικής έρευνας που έχει πραγματοποιηθεί. Επίσης διαπιστώθηκε ότι υπάρχει πρακτικά ταύτιση της πιεζομετρικής γραμμής της διαπερατής στρώσης και της στάθμης του ποταμού Μετσοβίτικου. Η γνώση αυτής της πληροφορίας σε συνδυασμό με την γνώση των υψηλότερων τιμών πίεσης πόρων, αμέσως υψηλότερα της διεπιφάνειας υλικών κατολίσθησης-διαπερατών υλικών, αποτελεί το κύριο στοιχείο έτσι ώστε να μπορούν συμπεριληφθούν στα μέτρα σταθεροποίησης της κατολίσθησης κατακόρυφα φρέατα αποστράγγισης, που θα υποβιβάζουν την τιμή της πίεσης πόρων στην υπερκείμενη επιφάνεια ολίσθησης, στην τιμή της πίεσης των διαπερατών υλικών που βρίσκονται αμέσως χαμηλότερα.



Φωτογραφία 12: Αποστραγγιστικό φρεάτιο που στραγγίζει στην ποτάμια αναβαθμίδα

Τα αποστραγγιστικά φρέατα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Τα αποστραγγιστικά φρέατα που στραγγίζουν στην ποτάμια αναβαθμίδα
 - ii. Τα αποστραγγιστικά φρέατα που στραγγίζουν στις αποστραγγιστικές σήραγγες
- i. Τα αποστραγγιστικά φρέατα που στραγγίζουν στην ποτάμια αναβαθμίδα

Αποτελούν αποστραγγιστικά φρέατα μεγάλης διαμέτρου, που διαπερνούν τα υλικά κατολίσθησης και φτάνουν μέχρι την αναβαθμίδα. Διατάσσονται σε μία σειρά που βρίσκεται σε απόσταση μεταξύ 20 και 30m από τον άξονα της Εγνατίας Οδού και περιλαμβάνει τα φρέατα ΦΡ1 έως ΦΡ39. Τα φρέατα αυτά κατασκευάζονται αρχικά σε αξονικές αποστάσεις 12m και στη συνέχεια αφού διαπιστωθεί η λειτουργικότητά τους πυκνώνονται ανά 4m.

Υπάρχει επίσης και η σειρά των φρεάτων ΦΡ40 έως ΦΡ47 που διανοίγονται κατά μήκος της δεξιάς οριογραμμής της Εγνατίας Οδού και τέλος υπάρχει και η σειρά των αποστραγγιστικών φρεάτων ΦΡ48 έως ΦΡ61 που διανοίγονται από το δάπεδο κατασκευής του οπλισμένου επιχώματος. Τα φρέατα ΦΡ39 έως ΦΡ61 διανοίγονται σε αξονικές αποστάσεις 3.0m. Το μήκος των φρεάτων θα είναι τέτοιο ώστε να εξασφαλίζεται η διεύθυνσή τους κατά 3 m εντός των αμμοχάλικων της ποτάμιας αναβαθμίδας.

Τα φρέατα αυτά θα έχουν διάμετρο 1 m, η οποία μπορεί να μειώνεται προοδευτικά με το βάθος, αν είναι εφικτό κατασκευαστικά, ανάλογα με τις συνθήκες διάτρησης με ελάχιστη τιμή διαμέτρου 0.50m. Εντός των φρεάτων τοποθετείται χαλύβδινος σωλήνας διαμέτρου 20 cm ταπωμένος στον πυθμένα του. Είναι διάτρητος σε όλο του το μήκος με εξαίρεση το ανώτερο 1 m. Το κενό μεταξύ του σωλήνα και της οπής γεμίζεται με υλικό στραγγιστηρίου. Το υλικό αυτό θα έχει κόκκους ελάχιστης διαμέτρου 5 mm και μέγιστης 10 mm.

Όλα τα φρέατα κατασκευάζονται προ του επιχώματος και σε θέσεις που τελικά θα καλυφθούν από αυτό. Προκειμένου να είναι προσβάσιμες οι κεφαλές τους για λόγους συντήρησης, αυτές θα πρέπει να ανυψώνονται ταυτόχρονα με την κατασκευή του επιχώματος όπου αυτό είναι άοπλο.

Ειδικά για τα φρέατα ΦΡ40 έως ΦΡ61 δεν θα γίνει επέκταση της κεφαλής τους αφού από πάνω τους κατασκευάζεται οπλισμένο επίχωμα.

Η επέκταση θα γίνεται ως εξής:

Στα άνω 3m των φρεάτων θα τοποθετηθεί χαλύβδινος περιφραγματικός σωλήνας, με κοχλιωτό το ανώτερο τμήμα των 30cm, το οποίο θα εξέρχεται από το έδαφος. Σε αυτό θα προσαρμύζονται στελέχη με εσωτερική κοχλίωση, αντίστοιχου μήκους για επέκταση του σωλήνα μέχρι τη στέψη του επιχώματος. Η ίδια λεπτομέρεια ισχύει και για το ανώτερο τμήμα του εσωτερικού σωλήνα. Ο σωλήνας των φρεάτων προεκτείνεται 0.50 m από την τελική επιφάνεια του εδάφους και στην κορυφή του έχει χαλύβδινο καπάκι με λουκέτο. Το άνω τμήμα των φρεάτων σφραγίζεται με γεωύφασμα (200 g/m^2) και στρώση αόπλου σκυροδέματος πάχους 0.20 m.

Η εκτίμηση για το συνολικό μήκος των αποστραγγιστικών φρεάτων είναι 2350 m 39 φρέατα μέσου εκτιμώμενου μήκους 39 m (Φ1 έως Φ39) και 22 φρέατα μέσου εκτιμώμενου μήκους 35m (Φ40 έως Φ61) με τις απαιτούμενες στρογγυλοποιήσεις.

Η προσωρινή σωλήνωση κατά την διάτρηση θα εκτείνεται σε όσο μήκος απαιτηθεί, ώστε η διανοιγόμενη οπή να μην φράσσεται από προϊόντα καταπτώσεων από τα τοιχώματά της. Η οπή θα καθαριστεί επιμελώς πριν την τοποθέτηση του σωλήνα του φρέατος και του περιβάλλοντος υλικού φίλτρου. Εάν η οπή του φρέατος φράσσεται από προϊόντα καταπτώσεων από τα τοιχώματα της οπής, που ενδέχεται να εμποδίσουν την τοποθέτηση του εσωτερικού χαλύβδινου σωλήνα μέχρι τον πυθμένα, τότε θα πρέπει η διάτρηση να προχωράει επαρκώς κάτω από το προδιαγεγραμμένο βάθος, έτσι ώστε τυχόν καταπτώσεις να μην εμποδίσουν την τοποθέτηση του σωλήνα μέχρι το προβλεπόμενο σημείο. Το άνοιγμα των οπών ή εγχοπών του σωλήνα θα είναι μικρότερο από 0.5 mm. Το κάτω άκρο του θα είναι επιμελημένα σφραγισμένο στεγανά με ειδικό πώμα.

Μετά την διάνοιξη των φρεάτων και την επιβεβαιωμένη διείσδυσή τους για επαρκές μήκος εντός της ποτάμιας αναβαθμίδας, θα διοχετεύεται εντός του σωλήνα νερό υπό πίεση για απόπλυση λεπτοκόκκων και παρακολούθηση της ταχύτητας απώλειάς του εντός της αναβαθμίδας.

Για τουλάχιστον 2 μήνες πριν τη διάνοιξη των φρεάτων θα διανοιχτούν οι μη δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, για την τοποθέτηση των πιεζομέτρων τύπου Casagrande. Εφόσον οι στάθμες εντός των οργάνων αυτών σταθεροποιηθούν στο χρονικό αυτό διάστημα, τότε πλέον θα διανοιχθούν τα φρέατα, αλλιώς η διάνοιξή τους θα καθυστερήσει μέχρι την σταθεροποίηση της πίεσης στα πιεζόμετρα αυτά.

Στο κατάντη τμήμα δεν μπορεί να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι απαιτήσεις, οι σήραγγες να μην διέρχονται μέσα από τα υλικά κατολίσθησης και να βρίσκονται υψηλότερα από την στάθμη του Μετσοβίτικου. Στην αρχή μελετήθηκε η λύση κατασκευής αποστραγγιστικής σήραγγας για το κατάντη τμήμα, η οποία όμως θα έπρεπε να διανοιχθεί εντός των υλικών κατολίσθησης και να διαπερνά σε κάποιο σημείο την επιφάνεια ολίσθησης, κάτι τέτοιο όμως είναι πολύ επικίνδυνο για την ευστάθεια της σήραγγας. Έτσι η λύση αυτή για την αποστράγγιση του κατάντη τμήματος αντικαταστάθηκε, από την κατασκευή κατακόρυφων αποστραγγιστικών φρεάτων, που διαπερνούν τα υλικά κατολίσθησης φτάνοντας ως την αναβαθμίδα.

Διανοίγεται λοιπόν μία αποστραγγιστική σήραγγα διαμέτρου 3.0m στο ανάντη τμήμα της κατολίσθησης. Η σήραγγα αυτή έχει μήκος 650m και κατά μήκος κλίση 7.5%, 4.25 και 2.25% με στόμιο σε στάθμη +587.9m και βρίσκεται στο ανάντη τμήμα της κατολίσθησης.

Το εσωτερικό τελικό πλάτος της σήραγγας δεν θα είναι μικρότερο των 2.70m στο κέντρο ή 2.50m στη βάση και το ύψος της δεν θα είναι μικρότερο από 2.50m στον άξονα, έτσι ώστε να διευκολυνθούν οι εργασίες εκσκαφής, αποκομιδής προϊόντων ελέγχου νερών, κατασκευής προσωρινής υποστύλωσης και μόνιμης επένδυσης καθώς και κάθε συμπληρωματική εργασία για την ασφαλή ολοκλήρωσή της. Η σήραγγα θα πρέπει επίσης να είναι επισκέψιμη για να μπορούν να γίνουν από το εσωτερικό της αποστραγγιστικές γεωτρήσεις, σε αξονικές αποστάσεις 4m για την αποστράγγιση του περιβάλλοντος εδάφους.

Οι γεωτρήσεις θα διανοιχθούν στον θόλο ακτινικά, θα είναι διαμέτρου 76mm και μήκους 20.0. έκαστη. Στο εσωτερικό τους θα τοποθετηθεί πλαστικός διάτρητος σωλήνας ελάχιστης εσωτερικής διαμέτρου 50mm.

Η αποτελεσματικότητα της λύσης μπορεί να ελεγχθεί από μετρήσεις πιεζομέτρων και κλισιομέτρων της περιοχής. Επίσης προβλέπεται κατά μήκος των σηράγγων να διανοιγούν, όπου κρίνεται κατά την κατασκευή, ανακουφιστικές οπές, μήκους περί τα 3.0m εκτιμώμενες κατά μέσο όρο μια οπή ανά 4.0m μήκους σήραγγας.



Φωτογραφία 13: Αποστραγγιστική σήραγγα στο ανάντη τμήμα της κατολίσθησης

Κατά τη διάνοιξη της αποστραγγιστικής σήραγγας αναμένεται να συναντηθούν οι εξής σχηματισμοί:

- 227m μέσα στο αποσαθρωμένο υπόβαθρο του φλύσχη της Ιόνιας ζώνης (γκριζοπράσινος έως τεφρός ιλυόλιθος ισχυρά αποσαθρωμένος, με ψαμμιτικούς ορίζοντες πολύ αποσαθρωμένους. Επίσης σε μικρό ποσοστό παρεμβάλλονται στρώσεις αργίλου με άμμο και χαλίκια). Η κατηγορία του σχηματισμού είναι V.
- 423m μέσα στο υπόβαθρο του φλύσχη της Ιόνιας ζώνης (ιλυολιθικός με μικρή συμμετοχή ψαμμιτών, κροκαλοπαγών και λατυποπαγών). Η κατηγορία του πετρώματος είναι III.

Η κατάταξη με τα μήκη παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

ΣΗΡΑΓΓΑ	ΜΗΚΟΣ(m)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
1	423	III
	227	V

6.6 Έργα επιφανειακής αποστράγγισης

Όπως προέκυψε από την γενική εικόνα της περιοχής και τις επισκέψεις μας επιτόπου, υπάρχει ανάγκη συλλογής των επιφανειακών υδάτων στην περιοχή της κατολίσθησης και διευθέτησής τους εκτός αυτής. Κύριος σκοπός των τάφρων είναι η πρόληψη της έντονης κατείσδυσης νερού στα χαμηλότερα και πλέον ευάλωτα τμήματα των φυσικών πρανών, που έχουν μορφωθεί από παλιές κατολισθήσεις.

Ανάντη του ορίου της κατολίσθησης και περιμετρικά αυτού θα κατασκευαστεί επιφανειακή αποστραγγιστική τάφος, όφρυος τραπεζοειδούς διατομής, κατά μήκος του ανάντη ορίου της υφιστάμενης επαρχιακής οδού προς Πρινότοπα για την συλλογή και αποστράγγιση των επιφανειακών υδάτων, προς φυσικό αποδέκτη στα δυτικά της Περιοχής Β. Η τάφος αυτή θα είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Ο οπλισμός της περιλαμβάνει απλώς ένα δομικό πλέγμα T131 και κάθε 10.0m θα διακόπτεται για παρεμβολή αρμού παραλαβής παραμορφώσεων (εντός του οποίου θα τοποθετείται στεγανωτικό υλικό). Για την εξομάλυνση των απότομων αλλαγών στην κλίση και των μικρών ακτινών καμπυλότητας θα κατασκευαστούν 20 τεχνικά.

Ανάντη του επιχώματος θα χρησιμοποιηθεί η τάφος ανάντη της Εθνικής Οδού Ιωαννίνων-Μετσόβου για την συλλογή και αποστράγγιση επιφανειακών υδάτων. Τα όμβρια της μικρής λεκάνης μεταξύ Εθνικής Οδού και ανάντη ορίου Εγνατίας Οδού θα συλλέγονται από την τάφο. Προς εξασφάλιση της δυνατότητας απορροής των ομβρίων επί της στέγης του επιχώματος προς την τάφο αυτή, η στέγη θα έχει εγκάρσια κλίση 6% προς την Εγνατία Οδό και κατά μήκος κλίση ίδια με αυτή της Εγνατίας Οδού. Τάφροι αποστράγγισης επιφανειακών υδάτων θα κατασκευαστούν επίσης κατά μήκος του αναβαθμού των επιχωμάτων καθώς και στον πόδα αυτού. Κατά την διάρκεια της ζωής του έργου θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα για τον καθαρισμό τους σε περίπτωση πλήρωσης αυτών, από υλικά των ανάντη πρανών.

Σημειώνεται ότι πρέπει να αποκλειστεί η διέλευση οχετού μέσα από τα οπλισμένα επιχώματα για να αποφευχθεί συμπίκνωση του οχετού με τις στρώσεις οπλισμού.

6.7 Προσωρινές εκσκαφές

Οι προσωρινές εκσκαφές θα πραγματοποιηθούν με κλίση 2:3 στην περιοχή κατασκευής του οπλισμένου επιχώματος της Υποπεριοχής B1, για την διαμόρφωση του δαπέδου κατασκευής του επιχώματος και των μπαρετών καθώς και στην περιοχή κατασκευής του επιχώματος της Υποπεριοχής B2, για την διαμόρφωση του δαπέδου κατασκευής του επιχώματος και κυρίως του τοίχου ποδός. Η κλίση των εκσκαφών διασφαλίζει ικανοποιητική ευστάθεια των πρανών στην προσωρινή κατάσταση, σε θέσεις που το ύψος των πρανών δεν ξεπερνά τα 6m. Σε μεγάλο τμήμα της προσωρινής εκσκαφής παρόλο που ο όγκος των υλικών που απομακρύνονται έχει ελαχιστοποιηθεί, προκύπτει ύψος πρανούς εκσκαφής τοπικά μέχρι και 12m. Επιπλέον, μεγάλο ύψος εκσκαφής προκύπτει και στις δύο υποπεριοχές, ακριβώς σε περιοχές όπου υπάρχει οχετός (ρέμα) και επομένως αναμένεται να αποκαλυφθεί μεγάλος όγκος χαλαρών φερτών υλικών επιρρεπών σε επιφανειακές αστοχίες. Ειδικότερα στην Υποπεριοχή B2 δίπλα από την υφιστάμενη Εθνική Οδό και παράλληλα με αυτή έχει καταγραφεί εμφανής ρωγμή τοπικής αστοχίας, με τον πόδα της να εκτείνεται μέχρι την κοίτη του ποταμού Μετσοβίτικου στην περιοχή όπου θα πραγματοποιηθούν οι εκσκαφές.

Για την αποφυγή τοπικών αστοχιών θα τοποθετηθούν ήλοι (μήκους 8 m σε κάνναβο 2.5 m x 2.5m με κλίση 20° προς τα κάτω) και ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα πάχους 20 cm (40 kg/m^3 χαλύβδινες ίνες).

Σε ότι αφορά τη διάνοιξη της προσωρινής εκσκαφής, αυτή θα γίνεται σε βήματα των 5 m ύψους (τρία βήματα εκσκαφής) και μόνο αφού ολοκληρώνεται η διάνοιξη της εκσκαφής που αφορά στο βήμα σε όλο το μήκος της εκσκαφής και τοποθετούνται και όλα τα μέτρα προσωρινής υποστήριξης (ινοπλισμένο εκτοξευόμενο σκυρόδεμα και ήλοι), τότε μόνο θα προχωράει το επόμενο βήμα της εκσκαφής.

Με την πρόοδο της εκσκαφής, όπου εντοπίζονται σφήνες ή κομμάτια βράχων που ξεχωρίζουν από την υπόλοιπη μάζα που αποκαλύπτεται με την εκσκαφή και δεν ηλώνονται από τον κάνναβο των ήλων, είτε θα αφαιρούνται (ακόμα και αν αυτό μεταφράζεται σε μικρή υπερεκσκαφή ως προς την κλίση του προσωρινού πρανούς), είτε αν η υπερεκσκαφή υπολογίζεται αρκετά μεγάλη (σε βάθος μεγαλύτερο του 1 m από την προδιαγεγραμμένη επιφάνεια του προσωρινού πρανούς), η σφήνα ή ο βράχος θα ηλώνονται με ξεχωριστό ήλο εκτός του γεωμετρικά προδιαγεγραμμένου καννάβου.

Όπου είτε για τον παραπάνω λόγο, είτε από λάθος χειριστών χωματουργικών μηχανημάτων ή τυχαία αποκόλληση τεμάχους ή τεμαχών βράχου, παρατηρηθεί υπερεκσκαφή, θα πρέπει να υπάρχει στο εργοτάξιο ετοιμότητα εφαρμογής ινοπλισμένου εκτοξευόμενου σκυροδέματος στην άμεση περιοχή της αποκόλλησης. Ταυτόχρονα από τα δάπεδα της προσωρινής εκσκαφής διανοίγονται οριζόντιες στραγγιστικές γεωτρήσεις ανά 3m, μήκους 20m, σε στάθμη 1.0m ψηλότερα από το δάπεδο εκσκαφής, με κλίση 5° προς τα πάνω με τις οποίες επιδιώκεται η εκτόνωση των πιέσεων πόρων, στην άμεση περιοχή της εκσκαφής. Συνολικά διανοίγονται 40 γεωτρήσεις στην Υποπεροχή B1 και 72 στην Υποπεριοχή B2. Τέλος συνιστάται στο εργοτάξιο να έχει προβλεφθεί η δυνατότητα, εντελώς περιορισμένης χρήσης, προσωρινών προεντεταμένων αγκυρώσεων αν απαιτηθεί τοπικά.

Οι εργασίες θα πρέπει να προγραμματιστούν έτσι ώστε οι εκσκαφές να πραγματοποιηθούν σε ξηρή περίοδο (κατά προτίμηση μεταξύ των μηνών Ιουλίου και Οκτωβρίου).



Φωτογραφία 14: Προσωρινή εκσκαφή

6.8 Δίκτυο και πρόγραμμα παρακολούθησης

6.8.1 Κλισιόμετρα

Κατά τη διάρκεια της κατασκευής των επιχωμάτων της περιοχής Β θα συνεχίζονται οι μετρήσεις σε όλα τα κλισιόμετρα των γεωτρήσεων που δεν έχουν καταστραφεί από τα υλοποιούμενα έργα, με ρυθμό μετρήσεων τουλάχιστον μία ανά δύο μήνες ή όπως επιβάλλουν σημαντικά στάδια της κατασκευής.



Φωτογραφία 15: Κλισιόμετρο(μπλε) και πιεζόμετρο(κόκκινο)

6.8.2 Επιφανειακοί μάρτυρες

Στην περιοχή υπάρχουν ήδη εγκατεστημένοι μάρτυρες παρακολούθησης επιφανειακών μετακινήσεων. Η συνέχιση της παρακολούθησης των μαρτύρων αυτών κρίνεται επιβεβλημένη. Επειδή ωστόσο το δίκτυό τους είναι αραιό, για τις ανάγκες παρακολούθησης των επιφανειακών μετακινήσεων στο στάδιο της κατασκευής των έργων, θα πρέπει να εγκατασταθούν επιπλέον επιφανειακοί μάρτυρες για την δημιουργία ενός δικτύου της κατάλληλης πυκνότητας, για την παρακολούθηση των επιφανειακών μετακινήσεων κατά την διάρκεια της κατασκευής. Ενδεικτικές θέσεις εγκατάστασης επιφανειακών μαρτύρων είναι όλες οι ακμές των αναβαθμών ανά 30 – 40 m. Ο αριθμός τους δεν θα είναι σε καμία περίπτωση μικρότερος από 200 σε διάφορες διατομές κατά μήκος του άξονα. Προφανώς μάρτυρες θα υπάρχουν εγκατεστημένοι σε όλα τα στάδια κατασκευής και μάρτυρες που καταστρέφονται σε κάποιο στάδιο κατασκευής θα αντικαθίστανται στο επόμενο στάδιο, για συνέχιση της παρακολούθησης.

Λόγω των μετακινήσεων στην περιοχή έργου αλλά και των ακόμα εντονότερων μετακινήσεων στην νότια όχθη του Μετσοβίτικου, η οποία κατά τα άλλα προσφέρεται για την τοπογραφική παρακολούθηση του έργου στη βόρεια όχθη, οι θέσεις παρακολούθησης θα επιλέγονται με κριτήριο την σταθερότητα τους. Εάν δεν μπορούν να βρεθούν τέτοιες θέσεις, τότε οι θέσεις παρακολούθησης θα παρακολουθούνται και οι ίδιες με τον ίδιο ρυθμό λήψης μετρήσεων όπως και στους επιφανειακούς μάρτυρες, από άλλο σταθερό σημείο ή ελλείψει τέτοιου μέσω οργάνων GPS της απαιτούμενης ακρίβειας για το σκοπό αυτό.



Φωτογραφία 16:
Επιφανειακός μάρτυρας

6.8.3 Πιεζόμετρα

Η επιβεβαίωση της αποδοτικότητας των αποστραγγιστικών σηράγγων καθώς και των αποστραγγιστικών φρεάτων είναι κρίσιμης σημασίας. Για το σκοπό αυτό θα διανοιχθούν συνολικά 16 μη δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για την τοποθέτηση πιεζομέτρων τύπου Casagrande, για την παρακολούθηση των αποστραγγιστικών σηράγγων και 15 μη δειγματοληπτικές γεωτρήσεις για την τοποθέτηση πιεζομέτρων τύπου Casagrande, για την παρακολούθηση των αποστραγγιστικών φρεάτων.

Όλα τα πιεζόμετρα παρακολούθησης θα τοποθετηθούν επαρκές χρονικό διάστημα, πριν από την διάνοιξη των φρεάτων, ώστε να έχουν σταθεροποιηθεί οι στάθμες τους κατά τον χρόνο διάνοιξης των φρεάτων (ο χρόνος αυτός θα είναι το ελάχιστο 2 μήνες). Σε καμία περίπτωση οι γεωτρήσεις τοποθέτησης των πιεζομέτρων δεν θα διαπεράσουν την ποτάμια αναβαθμίδα.

Στο διάστημα αυτό των δύο μηνών οι μετρήσεις των πιεζομέτρων θα λαμβάνονται σε ημερήσια βάση για τις πρώτες 5 ημέρες, κάθε 5 ημέρες για τις επόμενες 20 ημέρες μέχρι τον 1^ο μήνα και για τον δεύτερο μήνα κάθε 10 ημέρες.

Μετά την διάνοιξη των φρεάτων όλα τα πιεζόμετρα θα παρακολουθούνται λαμβάνοντας μετρήσεις σε αυτά τουλάχιστον μία φορά το μήνα.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης αποτελείται από τους σχηματισμούς της Ιονίου γεωτεκτονικής ζώνης και τους σχηματισμούς της γεωτεκτονικής ζώνης της Πίνδου, οι οποίοι βρίσκονται επωθημένοι επί των φλυσχικών σχηματισμών της Ιονίου. Ειδικότερα, η επώθηση των Πινδικών σχηματισμών επάνω στους φλυσχικούς σχηματισμούς της Ιονίου, αποτελεί το σημαντικότερο γεγονός που χαρακτηρίζει τη γεωλογική και τεκτονική δομή της περιοχής. Το όριο της παραπάνω επώθησης βρίσκεται περιμετρικά της περιοχής μελέτης, έτσι ώστε η περιοχή μελέτης να αποτελεί ένα «τεκτονικό παράθυρο».

Η κοιλάδα του Μετσοβίτικου ποταμού, ο οποίος διαρρέει την ευρύτερη περιοχή μελέτης, αποτελεί το σημαντικότερο μορφογενετικό γεγονός της περιοχής. Η μακρόχρονη κατά βάθος διάβρωση του ποταμού είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία τριών μορφολογικών ενοτήτων: α) πολύ ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο, β) εναλλαγές περιοχών με ήπιο μορφολογικό ανάγλυφο και περιοχών με έντονο μορφολογικό ανάγλυφο και γ) σχετικά έντονο μορφολογικό ανάγλυφο.

Η έντονη τεκτονική καταπόνηση των σχηματισμών της περιοχής, σε συνδυασμό με την παρουσία του Μετσοβίτικου ποταμού, ο οποίος διαρρέει την περιοχή από ανατολικά προς δυτικά και διαβρώνει τις κλιτύες της κοιλάδας, δημιουργώντας απότομα έως απόκρημνα πρηνή, αποτελούν τα αίτια των κατολισθητικών φαινομένων στην ευρύτερη περιοχή. Η έντονη τεκτονική καταπόνηση των φλυσχικών σχηματισμών στην βόρεια πλευρά του Μετσοβίτικου ποταμού και των φλυσχικών – ασβεστολιθικών σχηματισμών στη νότια πλευρά του, η οποία οφείλεται στην επίδραση της μεγάλης επώθησης των Πινδικών σχηματισμών επάνω στους υποκείμενους σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης, προκάλεσε την έντονη διάτμηση – αργιλοποίηση των φλυσχικών σχηματισμών και τον έντονο κατακερματισμό των ασβεστολιθικών σχηματισμών που συμμετείχαν στην τεκτονική αυτή κίνηση.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που βοηθά στην ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων και μαζί με τα διαβρωτικά φαινόμενα, που συμβαίνουν στην περιοχή, προσδιορίζουν κυρίως τον ρυθμό της μετακίνησης, είναι η υψηλή υδροφορία της περιοχής. Η στάθμη του νερού βρίσκεται σε βάθος από 3,00 έως 6,00m στο υψηλότερο και στο μεσαίο τμήμα και σε βάθος από 6,00 έως 17,00m στο χαμηλότερο τμήμα της περιοχής.

Τα εκτεταμένα κατολισθητικά φαινόμενα, επηρεάζουν τη μορφολογία της ευρύτερης περιοχής προκαλώντας: α) καθίζηση της παλιάς Εθνικής Οδού και β) τη σύγκλιση της κοίτης του ποταμού από τα κατολισθέντα υλικά.

Κατά τις αρχικές κατολισθητικές κινήσεις, ως επιφάνειες ολίσθησης χρησιμοποιήθηκαν οι διεπιφάνειες μεταξύ των επιφανειακών εδαφικών υλικών και των υποκείμενων φλυσχικών σχηματισμών.

Το βάθος των επιφανειών ολίσθησης μεγαλώνει από το υψηλότερο προς το μεσαίο και προς το χαμηλότερο τμήμα του αντερείσματος, ενώ συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο με τις γωνίες κλίσης των επιφανειών ολίσθησης. Τα δύο αυτά στοιχεία συμφωνούν απόλυτα με την μορφολογία της περιοχής και τις κλίσεις του φυσικού εδάφους στο υψηλότερο, μεσαίο και χαμηλότερο τμήμα της περιοχής, όπως επίσης συμφωνούν και με τη χρονική ανάπτυξη των κατολισθητικών φαινομένων, τα οποία εκδηλώθηκαν αρχικά στο χαμηλότερο τμήμα και προοδευτικά επεκτάθηκαν προς το υψηλότερο τμήμα του αντερείσματος. Τα φαινόμενα αυτά λειτουργούν και σήμερα με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αλλά με σαφώς μικρότερους ρυθμούς.

Το εμβαδόν της κατολισθημένης κεντρικής περιοχής ανέρχεται σε 300.000m^2 και ο όγκος των κατολισθημένων και των εν δυνάμει κατολισθήσιμων υλικών στη συγκεκριμένη περιοχή, ανέρχεται σε $8,4 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Για την αντιμετώπιση των κατολισθητικών φαινομένων στην περιοχή έρευνας, περιοχή Β, η οποία ολισθαίνει κατά 2 cm το χρόνο, κατασκευάζονται συνδυαστικά μέτρα προστασίας, για την επίτευξη της γενικής ευστάθειας. Τα μέτρα αντιμετώπισης της κατολίσθησης έχουν σκοπό την σταθεροποίηση και την αποστράγγιση στην ανάντη και κατάντη κατολίσθηση.

Η σταθεροποίηση των πρανών επιτυγχάνεται με την κατασκευή, επιχωμάτων (κοινά και οπλισμένα) τα οποία ενισχύονται με μπαρέτες, τοίχου αντιστήριξης και προσωρινών εκσκαφών.

Η αποστράγγιση στην ανάντη και κατάντη κατολίσθηση, επιτυγχάνεται με έργα βαθιάς αποστράγγισης (αποστραγγιστική σήραγγα και αποστραγγιστικά φρέατα) και με έργα επιφανειακής αποστράγγισης (επιφανειακή αποστραγγιστική τάφρο).

8. Βιβλιογραφία

- ARNOULD, M., and FREY, P. 1977, 'Analyse detaillee des reponses a l' enquete internationale sur les glissements de terrain' (UNESCO, Paris).
- ATWATER, B., 1978, 'Central San Mateo County, California: Land use controls arising from erosion of sea cliffs, landsliding and fault movement', in G. D. Robinson and A. M. Spieker (eds.), 'Nature to be Commanded', US Geol. Surv. Prof. Paper, 950, 11-20.
- BARATA, F. E., 1969, 'Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro', Proc. 7th Inter. Conf. Soil Mech. and Foundn. Eng. (Mexico), 2, 507-16.
- BRABB, E. E., PAMPEYAN, E. H., and BONILLA, M. G., 1972, 'Landslide susceptibility in San Mateo County, California', US Geol.Surv. Misc. Field Studies Map, MF 360 (scale 1:62 500).
- CARRARA, A., 1984, 'Landslide hazard mapping: aims and methods', in J.-C. Flageollet (eds.), 'Mouvements de Terrains', Serie Documents du BRGM, 83, 141-51.
- CAVOUNIDIS, S., 1987, 'On the ratio of factors of safety in slope stability analyses', Geotechnique, Vol 37, No. 2.
- COOKE, R. U., and DOORNKAMP, J. C., 1990, Geomorphology in environmental management, Second Edition, Clarendon Press Oxford.
- FLEMING, R. W., VARNES, D. J. and SCHUSTER, R. L., 1979, 'Landslide hazards and their reduction', Am. Planning Assoc. J. 45, 428-39.
- HANSEN, M. J., 1984α, 'Strategies for classification of landslides', in D.B. Prior (eds.) Slope Instability (Wiley, Chichester), 1-25.
- JAKY, J., 1984, 'Pressure in soils', Proc. Second ICSMFE, Vol. 1, pp. 103-107.
- JANBU N., 1957, 'Stability Analysis of Slopes with dimensionless parameters', Harvard University, Soil Mechanics Series, No.46.

- KIERSCH, G. A., 1964, 'Vaiont Reservoir Disaster', Civ. Eng. 34, 32-9.
- LAMBE, T. W. and WHITMAN, R. V., 1979, Soil Mechanics (Wiley, New York).
- LUCINI, P., 1973, 'The potential landslides forecasting of the "Argille Varicolori Seagliose" complex in IGM 174 SE Map, Savignano di Puglia (Compania)', Geol. Appl. e Idrogeol. 8, 311-16.
- MARINOS, P., - HOEK, E., 2000, 'Estimating the geotechnical properties of heterogenous rock masses such as flysch', Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Vol.60 No 2.
- PITEAU, D. R., 1970, 'Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock', in P. W. J. van Rensburg (ed.), Planning Open Pit Mines (S. Afr. Inst. Mining and Metalurgy, Johannesburg), 33-53.
- SCHUSTER, R. L., 1978, 'Introduction', in R. L. Schuster and R. J. Krizek (eds.) Landslides: Analysis and Control, Transport Research Board Special Report, 176 (Nat. Acad. Sciences, Washington, DC), 1-10.
- TERZAGHI, R. D. 1965, 'Sources of error in joint surveys', Geotechnique, 15, 287-304.
- WATSON, R. A., 1969, 'Explanation and prediction in geology', J. Geol. 77, 488-94.
- and WRIGHT, H. E., jun. 1969, 'The Saidmarreh Landslide, Iran', Geol. Son. Am. Spec. Paper, 123, 115-39.
- ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ. Χ., 1986, 'Τεχνική Γεωλογία', Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ. Χ., 1992, 'Γεωλογία της Ελλάδας' Αθήνα.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. Μ., 1982, 'Μαθήματα Γεωλογίας της Ελλάδας', University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. Ι., 1986, 'Γεωλογία της Ελλάδας', Αθήνα.

- ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε., Τμήμα 2.4. Ποταμός Άραχθος – Περιστέρι, Έκθεση αποτελεσμάτων γεωτεχνικών ερευνών. Ανάδοχος εκτελεστής γεωτεχνικής έρευνας: Εδαφος Ε.Π.Ε, μελετητής: ΠΡΙΣΜΑ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΑΤΕ, Γ. ΓΙΑΝΝΑΤΟΣ, Δ. ΒΑΙΝΑΛΗΣ, Κ. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ
- ΠΑΝΤΕΛΙΔΗΣ, Π. Ι., ΚΑΒΟΥΝΙΔΗΣ, Σ. Κ., 1997, 'Αναλύσεις Ευστάθειας Κατολίσθησης Μαλακάσας', 3^ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τόμος 1.
- Οριστική Γεωλογική και Γεωτεχνική Αξιολόγηση της Περιοχής Β, Έκδοση 2005
- ΠΡΙΣΜΑ Α.Τ.Ε., Προμελέτη Οδοποιίας Παραποτάμιας Όδευσης, 2002
- Η «Έκθεση Εκτίμησης Έργου» (22/12/2003) στα πλαίσια των εντολών της παρούσας σύμβασης.
- Nickol and Partner GmbH, 'Έκθεση Αποτελεσμάτων της Γεωτεχνικής Έρευνας', Τμήμα 2.4 της Εγνατίας Οδού (7/2004) της.
- AUBOUIN, I., ZACHOS, K., 1959, Φύλλο Μετσόβου, 1:50.000, ΙΓΜΕ.
- AUBOUIN, I., ZACHOS, K., 1961, Φύλλο Πράμαντα, 1:50.000, ΙΓΜΕ.