

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας

ΔΗΜΗΤΡΑΚΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

«ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΗΝ
ΚΑΤΑΣΚΗΝΩΣΗ ΤΗΣ ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΗΣ ΑΔΕΛΦΟΤΗΤΑΣ “ΕΛΠΙΣ”
ΣΤΑ ΑΝΩ ΠΟΡΟΙΑ Ν.ΣΕΡΡΩΝ»

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
Στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΔΗΜΗΤΡΑΚΗ ΛΑΜΠΡΙΝΗ
Πτυχιούχος Γεωλόγος

«ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΗΝΩΣΗ
ΤΗΣ ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΗΣ ΑΔΕΛΦΟΤΗΤΑΣ “ΕΛΠΙΣ”
ΣΤΑ ΑΝΩ ΠΟΡΟΙΑ Ν.ΣΕΡΡΩΝ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών
στη Γεωλογία και Γεωπεριβάλλον με ειδίκευση στην
«Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»
Τομέας Γεωλογίας

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Καθηγητής Χρηστάρας Βασίλειος, Επιβλέπων
Επίκ. Καθηγητής Βουδούρης Κωνσταντίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής
Λέκτορας Μαρίνος Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

© Δημητράκη Λαμπρινή, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΗΝΩΣΗ
ΤΗΣ ΧΡΙΣΤΙΑΝΙΚΗΣ ΑΔΕΛΦΟΤΗΤΑΣ “ΕΛΠΙΣ”
ΣΤΑ ΑΝΩ ΠΟΡΟΙΑ Ν.ΣΕΡΡΩΝ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν την συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
-----------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ	3
2.Γενικά	3
2.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων	3
2.2 Μηχανισμοί αστοχίας των πρανών	10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ	19
3. Εισαγωγή	19
3.1 Μέθοδοι Ανάλυσης	19
3.2 Ιστορική Αναδρομή	21
3.3 Μέθοδοι της Οριακής Ισορροπίας	23
3.3.1 Μέθοδος Fellenius	25
3.3.2 Μέθοδος Bishop	27
3.3.3 Μέθοδος Janbu	29
3.3.4 Μέθοδος Spencer	30
3.3.5 Μέθοδος Morgenstern - Price	31
3.4 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου	32
3.5 Προσομοίωση του μοντέλου Slide	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ	36
4. Γενικά	36
4.1 Συνήθη Μέτρα Προστασίας	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΘΕΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	49
5.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	49

5.1.1 Εισαγωγή	49
5.1.2 Λιθοστρωματογραφία του κρυσταλλοσχιστώδους	50
5.1.3 Τεκτοορογενετική εξέλιξη	53
5.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	55
Φυσικογεωγραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης	55
5.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	59
5.3.1 Γενικά θερμοκρασιακά και βροχομετρικά χαρακτηριστικά του Νομού Σερρών	59
5.3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης	61
5.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	64
5.4.1 Σεισμικότητα του Ελλαδικού χώρου	64
5.4.2 Σεισμικότητα της στενής περιοχής μελέτης	66
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	72
6.1 Περιγραφή της κατολίσθησης	72
6.2 Ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς	76
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	
ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ	86
7. Προτάσεις βελτίωσης της ευστάθειας του πρανούς	86
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8	
ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	93
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, με ειδίκευση στην «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία». Η ανάθεσή της έγινε έπειτα από πρόταση του καθηγητή κ. Χρηστάρα Βασίλειου, ο οποίος ήταν ο κύριος επιβλέπων αυτής. Τα υπόλοιπα δύο μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής ήταν ο επικ. Καθηγητής κ. Βουδούρης Κωνσταντίνος και ο λέκτορας κ. Μαρίνος Βασίλειος.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρηστάρα Βασίλειο για την καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια πραγματοποίησης της εργασίας και για την προθυμία του να ανταποκριθεί στην ανάπτυξη συζητήσεων και προβληματισμών που δημιουργήθηκαν γύρω από το θέμα της διατριβής. Επιπλέον, θερμά ευχαριστώ τον Ομότιμο καθηγητή κ. Τσιραμπίδη Ανανία για τη συμβολή του στη διεκπεραίωση της διατριβής. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο για την πολύτιμη βοήθειά του. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επίκουρο καθηγητή κ. Βουδούρη Κωνσταντίνο και τον Λέκτορα κ. Μαρίνο Βασίλειο για τις επισημάνσεις τους στο τελικό κείμενο της διατριβής.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου, για την απεριόριστη αγάπη τους και την συμπαράστασή τους κατά το διάστημα πραγματοποίησης των σπουδών μου και ιδιαίτερα καθ' όλη τη διάρκεια υλοποίησης της διατριβής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να μελετηθεί η κατολίσθηση που πραγματοποιήθηκε στις αρχές Ιουνίου 2009 στο πρανές της εισόδου των κατασκηνωτικών εγκαταστάσεων «Ελπίς» στα Άνω Πορόια του Νομού Σερρών και να προταθούν μέτρα για την αντιμετώπιση αυτής. Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία γενική ανάλυση της ευστάθειας των πρανών με αναφορά στις κατολισθήσεις και στην ταξινόμησή τους. Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναφέρονται οι μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η ανάλυση της ευστάθειας ενός πρανούς. Στην τελευταία παράγραφο του κεφαλαίου αυτού, γίνεται ειδικότερη αναφορά για τον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου Slide v6.0, με το οποίο έγινε η προσομοίωση της κατολίσθησης στην περιοχή μελέτης. Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα μέτρα αντιμετώπισης τα οποία μπορούν να ληφθούν για την αποκατάσταση μιας κατολίσθησης σε ένα πρανές. Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφονται οι γεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης, οι μορφολογικές συνθήκες της περιοχής όπου εκτείνονται οι κατασκηνωτικές εγκαταστάσεις, τα κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής και η σεισμικότητά της. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται η κατολίσθηση που πραγματοποιήθηκε στο πρανές της εισόδου των κατασκηνωτικών εγκαταστάσεων και αναλύεται η ευστάθειά του, παρουσιάζοντας τα μοντέλα που προέκυψαν μέσω της χρήσης του ηλεκτρονικού προγράμματος Slide v6.0. Έπειτα, ακολουθεί η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που εξήχθησαν. Στο έκτο κεφάλαιο προτείνονται συγκεκριμένα μέτρα για τη βελτίωση της ευστάθειας του πρανούς και στο έβδομο κεφάλαιο εκτιμάται το κόστος για την αποκατάστασή του. Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα για την ευστάθεια του πρανούς και η βιβλιογραφία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι φυσικές καταστροφές έχουν απασχολήσει κατά καιρούς την ανθρωπότητα, προκαλώντας το ενδιαφέρον και αποτελώντας ένα από τα βασικότερα αντικείμενα μελέτης των γεωεπιστημόνων. Η γη μέσα από διάφορους μηχανισμούς διατηρεί την ισορροπία της και αναδιαμορφώνει τη μορφή της βιόσφαιρας, πολλές φορές επιδεικνύοντας τη δύναμή της, καθιστώντας τον άνθρωπο ανήμπορο να αντιδράσει.

Ένας από αυτούς τους δραστικούς μηχανισμούς αναδιαμόρφωσης του φλοιού της γης είναι οι κατολισθήσεις. Η κατολίσθηση σύμφωνα με τον Varnes (1978)* είναι η μετακίνηση των μαζών, η οποία περιλαμβάνει κάθε μετακίνηση τμήματος πρανούς που οφείλεται σε ολίσθηση, πτώση, ανατροπή, ροή και ερπυσμό, διαχωρίζοντας από την έννοια της κατολίσθησης την καθίζηση και την κατάρρευση. Ο ορισμός του Varnes είναι αυτός που έχει επικρατήσει από το 1978 έως και σήμερα. Οι κατολισθήσεις αποτελούν μία από τις ισχυρότερες δυνάμεις της γης. Κάθε χρόνο ισχυρά κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται παγκοσμίως, προκαλώντας καταστροφές τόσο υλικές όσο και ανθρώπινες με μεγάλο αριθμό ανθρώπων να βρίσκει τραγικό θάνατο. Ο απροειδοποίητος αυτός φυσικός κίνδυνος λαμβάνει χώρα απροειδοποίητα και μπορεί να επεκταθεί για πολλά χιλιόμετρα.

Η επιστημονική κοινότητα και συγκεκριμένα οι γεωλόγοι και οι μηχανικοί, λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους φυσικούς κινδύνους, απαιτείται από αυτούς ιδιαίτερη προσοχή όταν υπάρχει η πρόθεση για παρέμβαση στην επιφάνεια της γης. Επίσης, με την εξέλιξη της τεχνολογίας (προγράμματα ανάλυσης και ερμηνείας των κατολισθήσεων σε H/Y) και των μέτρων αντιμετώπισης των κατολισθήσεων, δίνεται μεγαλύτερη ευχέρεια στη μελέτη τους και την αναχαίτισή τους.

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης αναφέρεται στην κατολίσθηση του πρανούς στην είσοδο των κατασκηνωτικών εγκαταστάσεων της Χριστιανικής Αδελφότητας «Η Ελπίς», στα Άνω Πορόια του νομού Σερρών, που εκδηλώθηκε τέλη Μαΐου με αρχές Ιουνίου του 2009. Στα πρώτα κεφάλαια της εργασίας γίνεται μια γενική αναφορά στους μηχανισμούς αστοχίας των πρανών και στις μεθόδους ανάλυσης αυτών. Έπειτα, περιγράφεται η συγκεκριμένη κατολίσθηση στα Άνω Πορόια, η ανάλυση αυτής με το πρόγραμμα Slide v 6.0 καθώς και τα μέτρα που προτείνονται για την αντιμετώπισή της και η κοστολόγηση αυτών.

*David J.Varnes (1915-2002), από τους πιο γνωστούς παγκοσμίως τεχνικούς γεωλόγους της Αμερικής και αντιπρόσωπος των ομάδων της Βόρειας Αμερικής στην «Διεθνή ένωση για την τεχνική γεωλογία και το Περιβάλλον» (International Association for Engineering Geology and the Environment ή IAEG)

Τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν προκειμένου να διεκπεραιωθεί η παρούσα διατριβή είναι τα εξής: αρχικά απαραίτητη ήταν η αυτοψία στην περιοχή όπου εκδηλώθηκε η κατολίσθηση, με επί τόπου παρατήρηση του πρανούς και εκτίμηση της γενικότερης κατάστασης που επικρατούσε στον χώρο των κατασκευαστικών εγκαταστάσεων και στην ευρύτερη περιοχή. Επίσης, απαραίτητη ήταν η υπαίθρια εργασία για τη λήψη μετρήσεων με τη χρήση γεωλογικής πυξίδας στις επιφάνειες των ασυνεχειών του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου εκατέρωθεν της κατολίσθησης, για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού τους. Έπειτα, προσδιορίστηκαν οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή, με ένταξη της περιοχής στην γεωτεκτονική ζώνη όπου ανήκει. Διεξήχθη βιβλιογραφική έρευνα για τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και για τη σεισμική δραστηριότητα των Άνω Ποροίων και γενικότερα του νομού Σερρών, στον οποίο ανήκουν. Ακολούθησε η ανάλυση της ευστάθειας του συγκεκριμένου πρανούς, προσδιορίζοντας τον μηχανισμό αστοχίας του και τις μηχανικές παραμέτρους των γεωυλικών που συνθέτουν το πρανές. Τα δεδομένα αυτά εφαρμόστηκαν στο πρόγραμμα Slide v6.0, προκειμένου να γίνει μία back analysis, ώστε να προσδιοριστούν οι παράγοντες που οδήγησαν στην κατολίσθηση. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με πιθανά σενάρια που λήφθησαν υπόψη (καθώς κάποιο γεωτρητικό πρόγραμμα δεν έλαβε χώρα), ώστε να γίνουν έπειτα κάποιες προτάσεις για την αντιμετώπιση της κατολίσθησης αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΙΣ

2. Γενικά

Το ανάγλυφο της γήινης επιφάνειας, μεταβαλλόμενο και συχνά έντονο είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιων γεωλογικών διεργασιών ή και ανθρωπογενών επεμβάσεων και παραμένει γενικά σταθερό, εφόσον η διατμητική αντοχή των γεωυλικών είναι μεγαλύτερη από τις διατμητικές τάσεις που προκαλεί το βάρος τους ή άλλες φορτίσεις. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις στις οποίες από διάφορες αιτίες η ευστάθεια τοπικά ανατρέπεται και τότε τα πρηνή φυσικά ή τεχνητά κατολισθαίνουν προκαλώντας σοβαρές συνέπειες τόσο σε οικονομικό επίπεδο όσο και σε κοινωνικό. Οι αιτίες αυτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται αύξηση των τάσεων όπως η αύξηση του βάρους του εδάφους από την αύξηση της περιεκτικότητας του σε νερό, η προσθήκη φορτίων στην επιφάνεια από την κατασκευή κτιρίων, η δυσμενής τοπική αλλαγή γεωμετρικών χαρακτηριστικών από διάβρωση ή εκσκαφή. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει περιπτώσεις στις οποίες παρατηρείται μείωση της αντοχής όπως ύγρανση η οποία προκαλεί μείωση της συνοχής των συνεκτικών εδαφών, η αύξηση της πίεσης των πόρων, η εξασθένιση των διαγεννητικών δεσμών λόγω της επίδρασης της διάβρωσης από διάφορους κλιματικούς παράγοντες η μείωση της αντοχής ευαίσθητων συνεκτικών εδαφών. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η δυσμενής παρουσία και δράση του νερού αυξάνεται έπειτα από έντονες και μεγάλης διάρκειας βροχοπτώσεις με αποτέλεσμα τα πρηνή τα οποία μέχρι τότε βρίσκονταν σε οριακή ευστάθεια, η ισορροπία τους να κλονίζεται και έτσι να ενεργοποιούνται τα κατολισθητικά φαινόμενα.

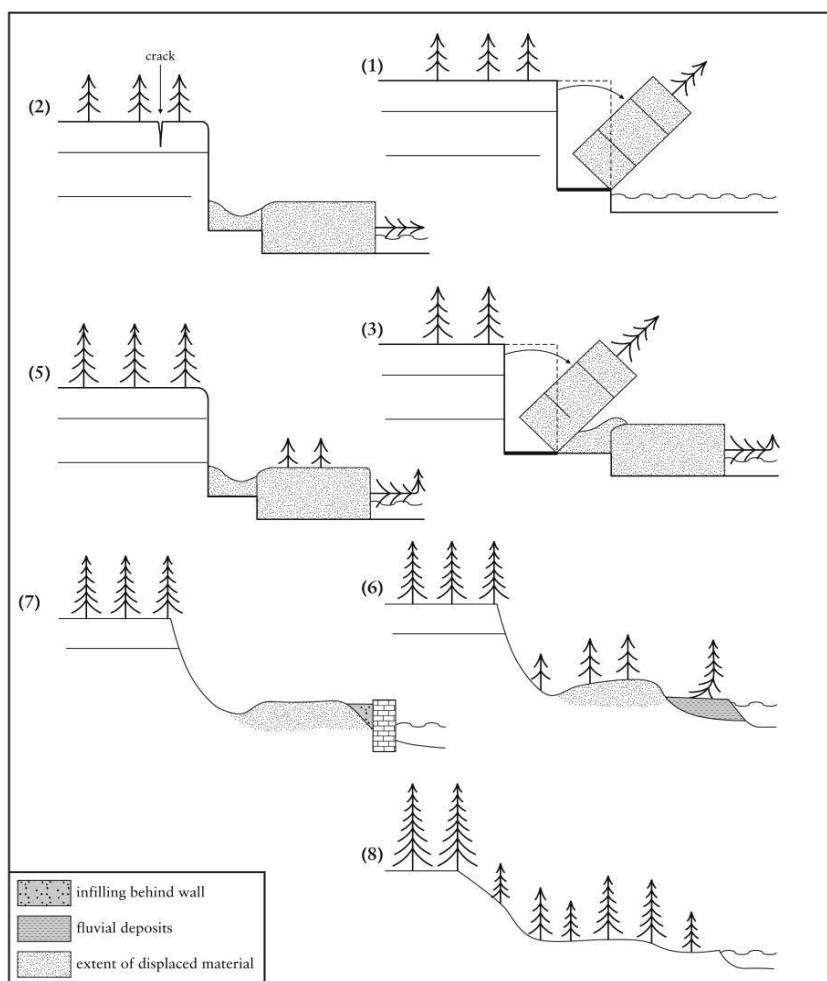
2.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων

Οι μορφές και τα χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία όπως επίσης και ο μηχανισμός ανάπτυξης τους είναι σύνθετος. Έτσι, για την απλούστευση της μελέτης τους (αναγνώριση και εκτίμηση της εξέλιξής τους) έχει προταθεί η διάκρισή τους σε κατηγορίες σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια για την κάθε μία.

- Η πρώτη κατηγοριοποίηση των κατολισθήσεων αναφέρεται στο πόσο είναι ενεργή. Η ταξινόμηση μιας κατολίσθησης ανάλογα με τη δραστηριότητά της είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αξιολόγηση των μελλοντικών γεγονότων και προτάθηκε από την Ομάδα Εργασίας της UNESCO για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory ή WP/WLI) το 1993. Οι συστάσεις της WP/WLI ορίζουν την έννοια της δραστηριότητας σε σχέση με τις χωρικές και χρονικές συνθήκες, καθορίζοντας την κατάσταση, την κατανομή και τη μορφή μιας κατολίσθησης. Ο πρώτος όρος, η κατάσταση της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, παρουσιάζει τις πληροφορίες σχετικά με τον χρόνο στον οποίο πραγματοποιήθηκε η μετακίνηση, επιτρέποντας τη διάθεση των πληροφοριών για τη μελλοντική εξέλιξη του φαινομένου. Έτσι, μια κατολίσθηση διακρίνεται σε (WP/WLI,1993):

- Ενεργή (active): Μία ενεργή κατολίσθηση κινείται αυτή την περίοδο
- Ανασταλμένη (suspended): Μία ανασταλμένη κατολίσθηση έχει κινηθεί μέσα στους τελευταίους 12 μήνες, αλλά δεν είναι ενεργή αυτή τη στιγμή
- Επανεργοποιημένη (reactivated): Μία επανεργοποιημένη κατολίσθηση ενεργοποιείται μετά από ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο είχε σταθεροποιηθεί
- Ανενεργή (inactivated): Μία ανενεργή κατολίσθηση δεν έχει κινηθεί μέσα στους τελευταίους 12 μήνες και μπορεί να διαιρεθεί σε τέσσερις καταστάσεις:
 - Σε ύπνωση (dormant): Είναι αυτή που μπορεί να επανεργοποιηθεί από τις αρχικές αιτίες τις ή από άλλες αιτίες.
 - Εγκαταλειμμένη (abandoned): Είναι μια ανενεργή κατολίσθηση που δεν επηρεάζεται πλέον από τις αρχικές αιτίες της.
 - Σταθεροποιημένη (stabilized): Μπορεί να προστατευθεί από τις αρχικές αιτίες της από τα επανορθωτικά μέτρα.

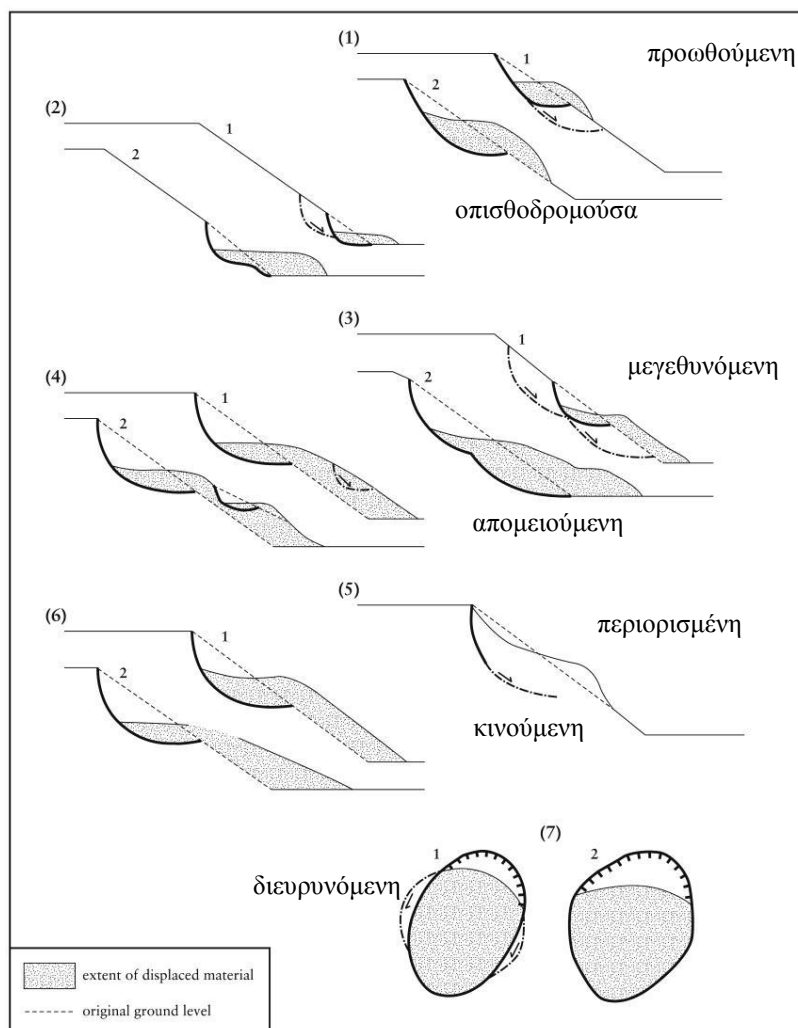
- Παλαιά – απολιθωμένη (relict): Αναπτύχθηκε κάτω από κλιματικές ή γεωμορφολογικές συνθήκες αρκετά διαφορετικές από εκείνες του παρόντος (σχήμα 2.1).



Σχ2.1 Ταξινόμηση με βάση τη δραστηριότητα της κατολίσθησης
 1)ενεργή, 2)ανασταλμένη, 3)επανεργοποιημένη, 4)ανενεργή,
 5)σε ύπνωση, 6)εγκαταλειμμένη, 7)σταθεροποιημένη, 8)παλαιά
 - απολιθωμένη, (Cooper, 2007).

Ο δεύτερος όρος, η κατανομή της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, περιγράφει με ένα γενικό τρόπο το πώς κινείται μια κατολίσθηση. Έτσι, υπάρχουν οι εξής κατολισθήσεις:

- Προωθούμενη (advancing): Σε μια προωθούμενη κατολίσθηση η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται στην κατεύθυνση της μετακίνησης.
- Οπισθοδρομούσα (retrogressive): Σε μια οπισθοδρομούσα κατολίσθηση η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται στην κατεύθυνση απέναντι από τη μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.
- Μεγεθυνόμενη (enlarging): Η επιφάνεια θραύσης της κατολίσθησης επεκτείνεται σε δύο ή περισσότερες κατευθύνσεις.
- Απομειούμενη (diminishing): Ο όγκος του μετατοπισμένου υλικού μειώνεται.
- Κινούμενη (moving): Σε μια κινούμενη κατολίσθηση το μετατοπισμένο υλικό συνεχίζει να κινείται χωρίς οποιαδήποτε ορατή αλλαγή στην επιφάνεια θραύσης και τον όγκο του μετατοπισμένου υλικού.
- Περιορισμένη (confined): Υπάρχει μια απότομη πλαγιά αλλά καμία επιφάνεια θραύσης ορατή στο πόδι της μετατοπισμένης μάζας.
- Διευρυνόμενη (widening): Η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται στη μία ή και στις δύο πλευρές της κατολίσθησης (σχήμα 2.1.1).

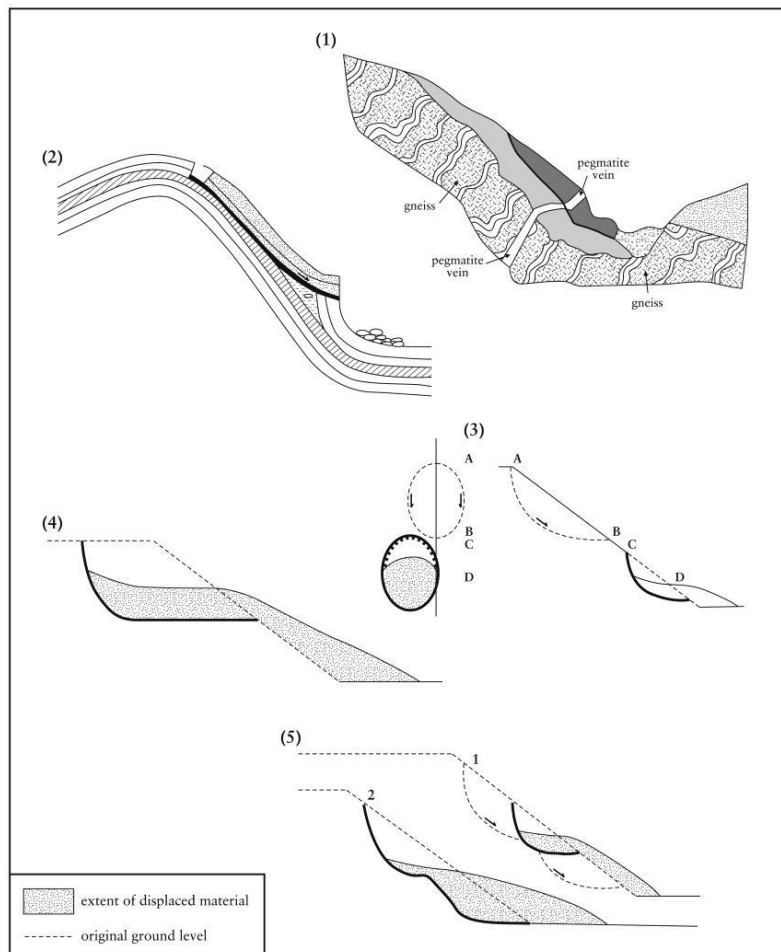


Σχ.2.1.1 Ταξινόμηση με βάση την κατανομή της δραστηριότητας της Κατολίσθησης (Cooper,2007).

Η μορφή της δραστηριότητας των κατολίσθησεων, τέλος, δείχνει τον τρόπο εκδήλωσης μιας κατολίσθησης. Με βάση αυτόν τον όρο οι κατολίσθησεις χωρίζονται σε (WP/WLI,1993):

- Σύνθετη (complex ή composite): Μία σύνθετη κατολίσθηση εκθέτει τουλάχιστον δύο τύπους μετακινήσεων (πτώση, ανατροπή, ολίσθηση, διάδοση και ροή) στη σειρά.
- Διαδοχική (successive): Μια διαδοχική κατολίσθηση είναι ο ίδιος τύπος με κοντινή, προηγούμενη κατολίσθηση, αλλά δεν μοιράζεται το μετατοπισμένο υλικό ή δεν σπάζει την επιφάνεια με αυτό.
- Απλή (single): Μια απλή κατολίσθηση είναι μια απλή μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.

- Πολλαπλή (multiple): Παρουσιάζει επαναλαμβανόμενη ανάπτυξη του ίδιου τύπου μετακίνησης (σχήμα 2.1.2).



Σχ.2.1.2 Ταξινόμηση με βάση τον τρόπο εκδήλωσης της κατολίσθησης
1)-2) σύνθετη, 3) διαδοχική, 4)απλή, 5)πολλαπλή (Cooper,2007).

- Μία δεύτερη κατάταξη αναφέρεται στη μορφή της κατολίσθησης. Γενικά, διακρίνονται τέσσερις βασικοί τύποι κατολισθήσεων: οι καταπτώσεις, οι περιστροφικές ολισθήσεις, οι επιμήκεις ολισθήσεις και οι εδαφικές ροές.
- Στους παρακάτω πίνακες δίνονται δύο ακόμα κατατάξεις των κατολισθήσεων με κριτήριο το μέγιστο βάθος της επιφάνειας ολίσθησης και την ταχύτητα της εξέλιξή της αντίστοιχα.

Πίνακας 2.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων με βάση το βάθος της ολίσθησης.
(Τσότσος Σ.,1991)

Τύπος Ολίσθήσεων	Μέγιστο Βάθος (D)
Επιφανειακές Ολίσθήσεις	< 1,5 m
Αβαθείς	1,5 – 5 m
Βαθείς	5 – 20 m
Πολύ βαθιές	> 20 m

Πίνακας 2.1.1 Ταξινόμηση κατολισθήσεων με βάση την ταχύτητα και τις πιθανές βλάβες που προκαλούν (Cruden and Varnes,1996)

Τύπος Ολίσθήσεων	Ταχύτητα	Πιθανές βλάβες
Εξαιρετικά ταχείες	> 3 m/sec	Καταστροφές κτηρίων λόγω πρόσκρουσης της μετακινούμενης μάζας, πολλοί θάνατοι, απίθανη η ύπαρξη επιζώντων.
Πολύ ταχείες	0,3 m/min – 3 m/sec	Μερικοί θάνατοι, περιορισμένος χρόνος για ασφαλή φυγή όλων των κατοίκων.
Ταχείες	1,6 m/ημ. – 0,3 m/min	Δυνατή η ασφαλής φυγή των κατοίκων. Σπίτια, εγκαταστάσεις και δίκτυα υποδομής με μεγάλες βλάβες ή κατεστραμμένα.
Μέσες	1,6 m/μην. – 1,6 m/ημέρα	Μερικές προσωρινές και ανθεκτικές εγκαταστάσεις είναι δυνατό να διατηρηθούν.
Αργές	1,6 m/ έτος – 1,6 m/ μήνα	Δυνατή η λήψη μέτρων προστασίας κατά την ενεργοποίηση. Μερικές φορές καλά σχεδιασμένες εγκαταστάσεις μπορεί να διατηρηθούν με κατάλληλη συντήρηση, αν δεν υπάρξει ξαφνική επιτάχυνση της μετακίνησης.
Πολύ αργές	0,06 m/ έτος – 1,6 m/έτος	Μερικές από τις μόνιμες κατασκευές παραμένουν ανέπαφες.
Εξαιρετικά αργές	< 0,06 m/έτος	Η μετακίνηση προσδιορίζεται μόνο με μετρήσεις από ειδικά όργανα λόγω του μικρού μεγέθους της. Οι κατασκευές δεν υφίστανται βλάβες, όταν λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα.

2.2 Μηχανισμοί αστοχίας των πρανών

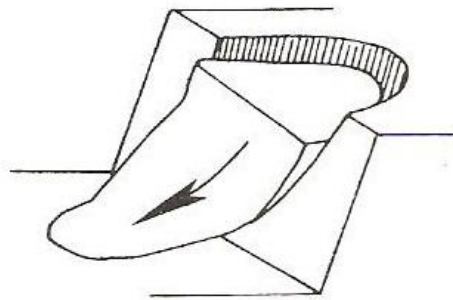
Πολλά πρανή παρουσιάζουν αργές και χρόνιες μετακινήσεις (ερπυσμός) επηρεαζόμενες εποχιακά με τη μεταβολή της υγρασίας ή της θερμοκρασία, οι οποίες δεν οφείλονται σε διατμητική θραύση και δεν αντιμετωπίζονται ως τυπικές κατολισθήσεις. Φαινομενικά αυτού του τύπου οι ολισθήσεις δεν διακρίνονται από τις αργού τύπου κατολισθήσεις και τις περισσότερες φορές περιορίζονται κοντά στην επιφάνεια. Η εξέλιξη αυτών των κατολισθήσεων δεν μπορεί να προβλεφθεί από την αρχή παρά μόνο παρουσιάζουν έναν αυξανόμενο ρυθμό και μεταπίπτουν σε τυπικές κατολισθήσεις. Η αύξηση του ρυθμού προμηνύει ότι επίκειται η κατολίσθηση και λίγα χρόνο πριν συμβεί, ο ρυθμός της κίνησης μπορεί να φτάσει ορισμένα εκατοστά ανά ημέρα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η κατολίσθηση του Vaiont κατά την οποία ενώ δύο χρόνια πριν από το γεγονός ο ρυθμός ήταν 20cm τον χρόνο την τελευταία εβδομάδα έφτασε τα 6cm την ημέρα.

Σύμφωνα με την επικρατούσα άποψη, η παρατήρηση σημαντικών πρόδρομων φαινομένων π.χ. ενός μέτρου συνολικά ή και μεγαλύτερων, υποδηλώνει ότι το πάχος της διαταραγμένης ζώνης είναι επίσης σημαντικό. Επιπλέον, το πάχος της ζώνης έχει σχέση και με τον τύπο του εδαφικού υλικού.

Διαφορετική είναι η προσέγγιση της ανάλυσης της ευστάθειας του πρανούς όταν πρόκειται για ένα εδαφικό πρανές από ένα βραχώδες. Στα βραχώδη πρανή η φυσική του κατάσταση παρουσιάζεται με ασυνέχειες οι οποίες λόγω της πολύ μικρής αντοχής τους, σε σχέση με την αντοχή του άρρηκτου βράχου, επεμβαίνουν δραστικά στο μηχανισμό ολίσθησης. Αν σε ένα φυσικό πρανές το οποίο χαρακτηρίζεται από μεγάλες διακλάσεις διαταραχτεί για οποιοδήποτε λόγο η ισορροπία, η ολίσθηση θα πραγματοποιηθεί πάνω σε αυτές. Προϋπόθεση είναι οι διακλάσεις να έχουν τέτοια διάταξη ώστε οι όγκοι που βρίσκονται πάνω τους να μπορούν να κινηθούν προς την ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς. Η μελέτη του μηχανισμού ολίσθησης και οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας του πρανούς που εφαρμόζονται, συνδέονται άμεσα με τη χωρική διάταξη των ασυνεχειών και της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς καθώς και με τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν τις ασυνέχειες.

Οι περιπτώσεις οι οποίες παρουσιάζονται ως προς τις μορφές αστοχίας των βραχωδών πρανών είναι οι παρακάτω:

- Πρανή όπου ο βράχος στο σύνολό του είναι κερματισμένος ή αντίθετα συμπαγής. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις το υλικό μπορεί πρακτικά να θεωρηθεί ισότροπο και αστοχεί κατά μήκος κυλινδρικής ή σφαιρικής επιφάνειας και ο έλεγχος γίνεται με τις μεθόδους της Εδαφομηχανικής. Συνηθέστερη είναι η κυκλική αστοχία του πρανούς (σχήμα 2.2)



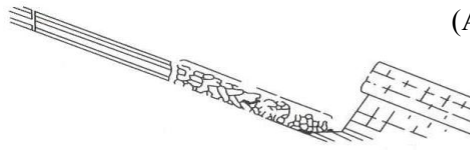
Σχ.2.2 Κυκλική αστοχία (Hoek, Bray, 1981)

- Ο βράχος χαρακτηρίζεται από μεγάλες ασυνέχειες (ρήγματα, ζώνες διαταραχής), οι οποίες μαζί με τις δύο επιφάνειες του πρανού, την ελεύθερη επιφάνεια του πρανού (όψη) και την πάνω επιφάνειά του (στέψη), σχηματίζουν μεγάλους πρισματικούς όγκους που μπορούν να ολισθήσουν μεμονωμένα προς την ελεύθερη επιφάνεια του πρανού. Ανάλογα με τον αριθμό και τη διάταξη των ασυνεχειών στο χώρο, η ολίσθηση θα πραγματοποιηθεί πάνω σε ένα επίπεδο (επίπεδη αστοχία σχήμα 2.2.1α) ή ταυτόχρονα πάνω σε περισσότερα επίπεδα ασυνεχειών (αστοχία σφήνας σχήμα 2.2.1β). Η διεύθυνση της ολίσθησης, η επιφάνεια ή οι επιφάνειες πάνω στις οποίες θα πραγματοποιηθεί καθώς και η απόδειξη αν η σφηνοειδής αυτή ολίσθηση είναι κινηματικά εφικτή, μπορούν να προσδιοριστούν με την προβολή αυτών στο δίκτυο Schmidt.

Σχ.2.2.1

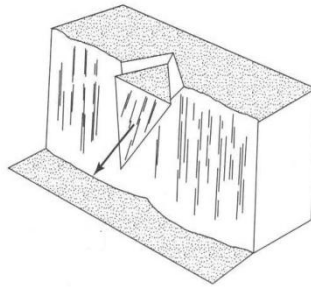
α) Επίπεδη αστοχία

(Από Κούκης – Σαμπατάκης,2007)

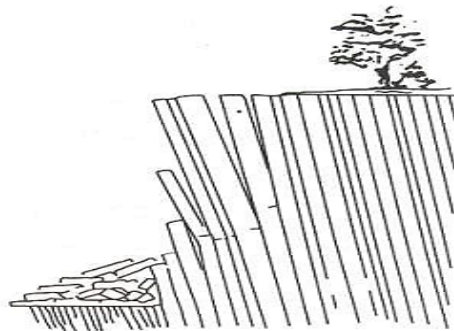


β) Σφηνοειδής αστοχία

(Από Κούκης – Σαμπατάκης,2007)

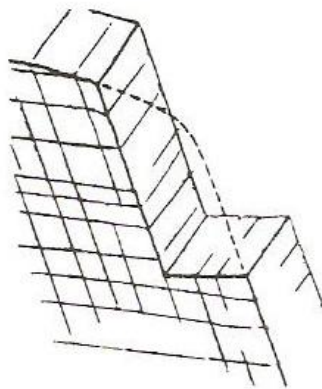


- Ο βράχος χαρακτηρίζεται από δέσμη πολύ απότομων έως κατακόρυφων μεγάλων διακλάσεων οι οποίες μορφώνουν υψίκορμα συμπαγή στοιχεία κατάτμησης. Αν αυτά αστοχήσουν σε κάποια θέση, για παράδειγμα εξαιτίας ισχυρών πλευρικών ωθήσεων, θα ανατραπούν (αστοχία με ανατροπή). Εφαρμόζονται ειδικές αναλύσεις οι οποίες προσαρμόζονται στην τεκτονική δομή και στα αίτια που προκαλούν την ανατροπή (σχήμα 2.2.2)



Σχ.2.2.2 : Μορφή αστοχίας με ανατροπή
(Από Κούκης – Σαμπατάκης,2007)

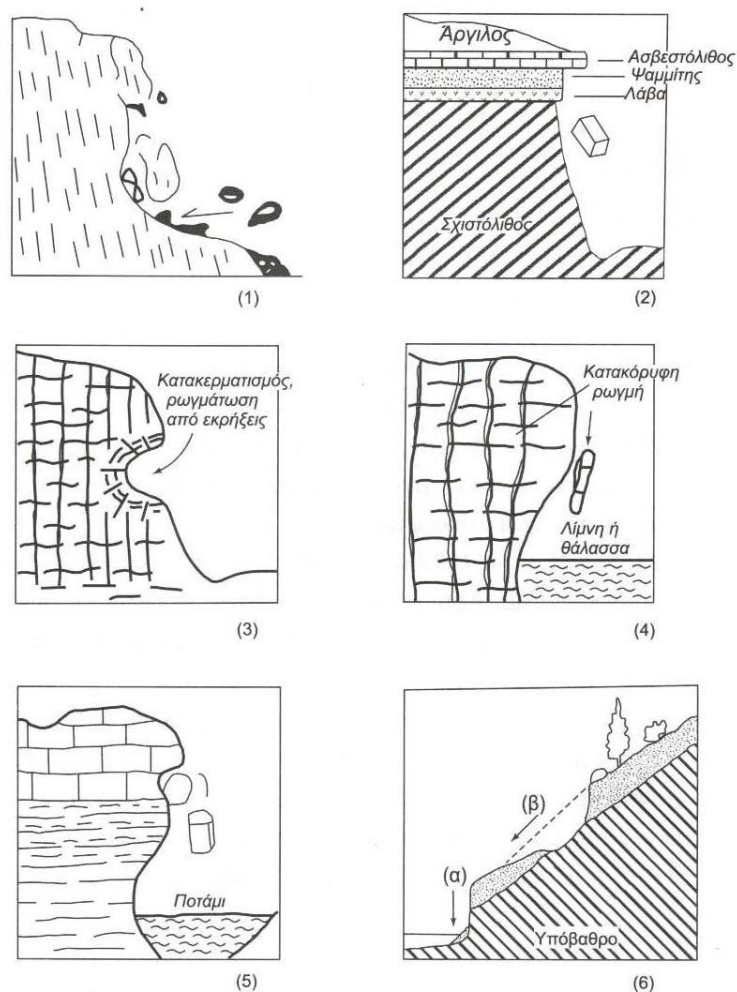
- Ο βράχος χαρακτηρίζεται από περισσότερες, μερικά μόνο αναπτυγμένες δέσμες μικρών διακλάσεων. Η επιφάνεια ολίσθησης θα σχηματιστεί ακολουθώντας εν μέρει μόνο τις υπάρχουσες διακλάσεις και εν μέρει με τη δημιουργία νέων θραύσεων. Η προσέγγισή της είναι δυνατή με μεθόδους αριθμητικής ανάλυσης ή με πιο απλοποιημένες μεθόδους που βασίζονται στη μελέτη της κρίσιμης διατομής με τη βοήθεια του δείκτη αντοχής R (Muller,1963) (σχήμα 2.2.3)



Σχ.2.2.3 Ο βράχος χαρακτηρίζεται από δέσμες διακλάσεων
(Από Κούκης – Σαμπατάκης,2007)

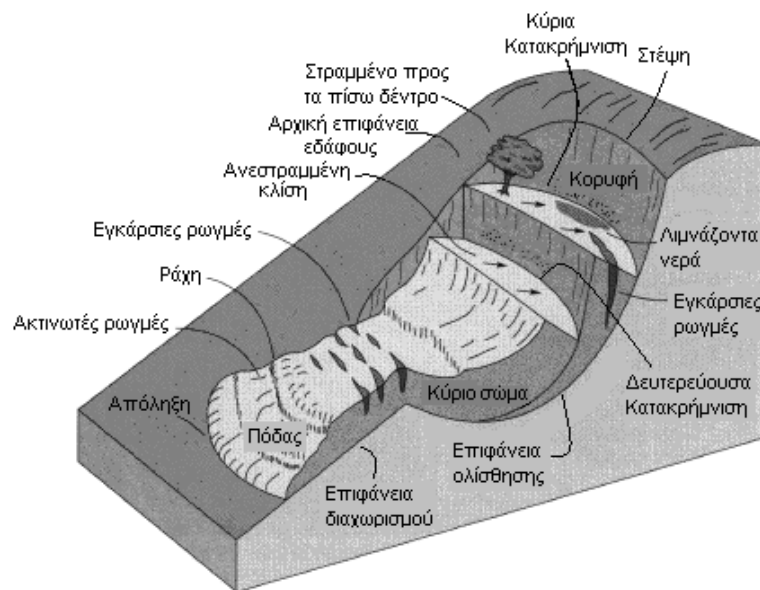
Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της ευστάθειας των εδαφικών πρανών που χρησιμοποιούνται στην Εδαφομηχανική, στηρίζονται στην παραδοχή ότι η ολίσθηση πραγματοποιείται πάνω σε κυλινδρική επιφάνεια. Οι συχνές κατολισθήσεις στους εδαφικούς σχηματισμούς έδωσαν την αφορμή να εξεταστεί με λεπτομέρεια ο μηχανισμός ολίσθησης και επέτρεψαν τον έλεγχο της ακρίβειας των μεθόδων ανάλυσης. Οι μηχανισμοί ολίσθησης σε εδαφικά πρανή είναι οι εξής :

- **Καταπτώσεις** οι οποίες παρατηρούνται τόσο στα εδαφικά όσο και στα βραχώδη πρανή. Στα εδαφικά πιο συνηθισμένη είναι η περίπτωση όπου μια στρώση υψηλής διαβρωσιμότητας να υπόκειται και να στηρίζει ανθεκτικότερα εδάφη όπως π.χ. η περίπτωση σε μία μη συνεκτική χαλαρή στρώση να στηρίζεται ένα υπερκείμενο υπερστερεοποιημένο και ανθεκτικό αργιλώδες αμμοχάλικο. Επίσης, συχνά συναντώνται πρανή υπερστερεοποιημένων αργίλων με υψηλές κλίσεις, στο φρύδι των οποίων έχουν αναπτυχθεί βαθιές κατακόρυφες ρωγμές, που μετά από βροχοπτώσεις πληρώνονται με νερά και τότε δέχονται επιπρόσθετα ισχυρές υδροστατικές πιέσεις (σχήμα 2.2.4).



Σχ.2.2.4: Καταπτώσεις βράχων, κορρημάτων και γαιών : 1) τυπική κατάπτωση βράχων (VARNES 1978) (2) κατάπτωση λόγω διαφορικής αποσάθρωσης (LETOURNEUR and MICHEL 1971), (3) λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, (4) λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το κύμα, (5) λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το ποτάμι (VARNES 1978), (6) (α) άμεση κατάπτωση γαιών- εδάφους ή (β) μετά από ολίσθηση (Από ΚΟΥΚΗΣ – ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ 2007).

- **Περιστροφικής μορφής** επιφάνειες ολίσθησης παρατηρούνται σε πολυκερματισμένα βραχώδη υλικά και ιδίως σε ομοιόμορφα αργιλικά ή πιο γενικά σε συνεκτικά υλικά. Στο σχήμα 2.2.5 δίνεται μια λεπτομερής εικόνα περιστροφικής κατολίσθησης. Οι Skempton και Hutchinson έχουν αναφέρει ότι οι επιφάνειες ολίσθησης είναι βαθιές και ο λόγος του βάθους προς το μήκος της ολισθαίνουσας περιοχής είναι μεταξύ 0,16 και 0,33 και ότι είναι η κλίση τόσο πιο μεγάλο γίνεται το βάθος D.



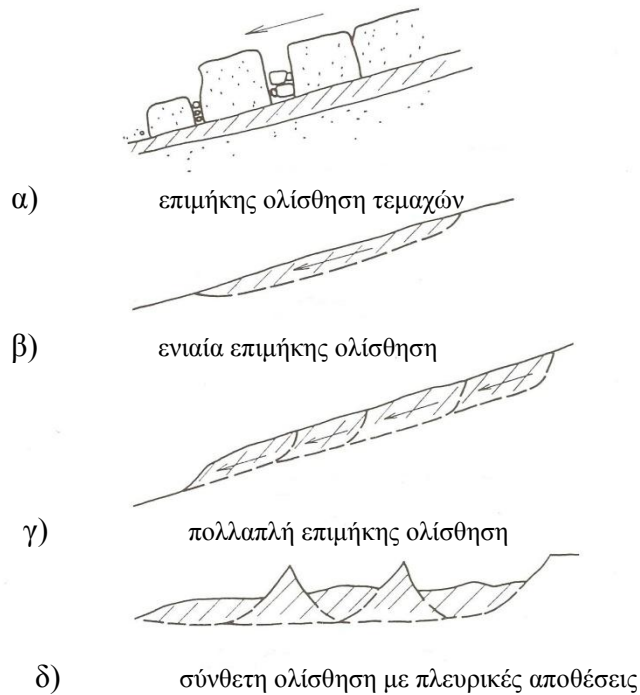
Σχ.2.2.5 : Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (Varnes, 1978),(Από Κούκης – Σαμπατάκης 2007).

- **Οι επιμήκεις ολισθήσεις** παρατηρούνται κατά μήκος ασθενών ή ολισθηρών διεπιφανειών, όταν η διεύθυνση τους είναι περίπου παράλληλη προς την ελεύθερη επιφάνεια. Μία συνηθισμένη στον Ελλαδικό χώρο περίπτωση, είναι τα πρηνή υπερστερεοποιημένων σκληρών σχισμωδών αργίλων, οι οποίες εμπεριέχουν λεπτές διαπερατές και υδροφόρες ενστρώσεις, στις οποίες εποχιακά αναπτύσσονται υψηλές πιέσεις του νερού. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο έχει ως αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των κατολισθητικών φαινομένων.

Μία σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ περιστροφικών και επιμήκων ολισθήσεων είναι ότι στις μεν πρώτες η κίνηση έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των δυνάμεων ολίσθησης και τη βελτίωση της ευστάθειας, ενώ στις μεν δεύτερες μετά την κίνηση το καθεστώς των δυνάμεων δεν διαφοροποιείται γεωμετρικά. Παρακάτω διαχωρίζονται τρεις επιμέρους ειδικές μορφές επιμήκων ολισθήσεων:

- **Επιμήκης ολίσθηση τεμαχών.** Το πρηνές αποτελείται από τεμάχη που χωρίζονται μεταξύ τους με αρμούς και ολισθαίνουν ανεξάρτητα κατά μήκος της αντίστοιχης επιφάνειας. Ολισθήσεις αυτού του τύπου ενεργοποιούνται συνήθως μετά από αργή διάβρωση ή υποσκαφή στον πόδα του πρηνούς (σχήμα 2.2.6 α).
- **Ενιαία επιμήκης ολίσθηση, συνήθως αβαθής.** Κατά τον Skempton ο λόγος D/L σπάνια είναι μεγαλύτερος του 0,10. Συνήθως παρατηρείται στην επιφάνεια έδρασης εξαλλοιωμένου αργιλικού μανδύα ή φερτών υλικών που επικάθονται στο υπόβαθρο και η διεπιφάνεια είναι περίπου παράλληλη προς την ελεύθερη επιφάνεια (σχήμα 2.2.6 β)
- **Πολλαπλή επιμήκης ολίσθηση.** Πολλές ενεργές κατολισθήσεις φυσικών πρηνών στον ελλαδικό χώρο μορφολογικά και φαινομενικά ανήκουν στην κατηγορία αυτή. Κατολισθήσεις αυτής της ειδικής μορφής παρατηρούνται, όταν συντρέχουν οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν για τις επιμήκεις ολισθήσεις, μαζί με τα ειδικά αίτια που αναφέρθηκαν στην κατηγορία των πολλαπλών περιστροφικών ολισθήσεων (σχήμα 2.2.6 γ).

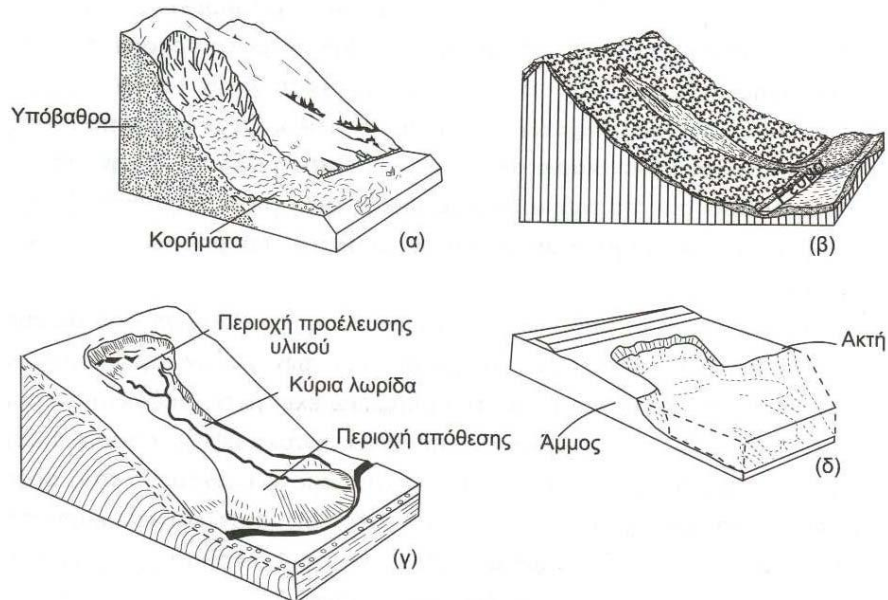
Η επαναδραστηριοποίηση και προς τα άνω επέκταση της ολίσθησης γίνεται συνήθως σε τμήματα μήκους μικρότερου από το μήκος της πρώτης ολίσθησης, συχνά μετά από ισχυρές βροχοπτώσεις ή στην αρχή της άνοιξης, την εποχή που λιώνουν τα χιόνια του χειμώνα.



Σχ.2.2.6 Μορφές επιμήκων ολισθήσεων
(Τσότσος Σ.,1991)

- **Οι ροές** αποτελούν ακόμη μία μορφή ολίσθησης του εδαφικού πρσανούς. Κοινό χαρακτηριστικό στους τύπους των ροών, είναι ότι η κινούμενη εδαφική μάζα παρουσιάζει την εικόνα θραυσμένου υλικού, η κίνηση μοιάζει περισσότερο ως ροή ενός πυκνού ιξώδους ρευστού και όχι ως ολίσθηση στερεού και είναι χαρακτηριστική η απουσία ρωγμών. Οι ροές διακρίνονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:
 - Οι ροές χονδρόκοκκων φερτών υλικών, συνήθως χωρίς κάποιο επιφανειακό φυτικό κάλυμμα, αποτελούν μία διαφορετική σύνθετη και συνήθως έντονη μορφή ροής. Η έναρξή τους συνδυάζεται με καταρρακτώδεις βροχές και πλημμύρες σε παλιές κοίτες χειμάρρων (σχήμα 2.2.7α,β).
 - Οι λασπορροές προκαλούνται από την κίνηση υδαρούς γεωυλικού, δίνοντας την εικόνα του ρευστού. Συνήθως παρουσιάζονται σε αργιλικούς σχηματισμούς, οι οποίοι εμπεριέχουν σε πυκνή διάταξη αμμώδεις ή ιλυοαμμώδεις ενστρώσεις, συνεχείς ή φακοειδείς, στις οποίες αναπτύσσεται υψηλή πίεση των πόρων και η οποία προκαλεί την ρευστοποίηση (σχήμα 2.2.7γ)
 - Εδαφικές ροές έχουν ονομασθεί από τους Skempton και Hutchinson οι σχετικά πιο αργές ροές πολυκερματισμένων μαλακών λεπτόκοκκων

γεωυλκών, όπως κάποιες φορές παρατηρούνται στον πόδα της κατολίσθησης. Οι εδαφικές ροές είναι μία ενδιάμεση κατάσταση μεταξύ επιμήκους ολίσθησης και λασπορροών (σχήμα 2.2.7δ).



Σχ.2.2.7: α) –β) Ροή κορημάτων, γ) Ροή γαιών, δ) Ροή άμμου – ιλύος
(Από Κούκης – Σαμπατάκης 2007)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ

3. Εισαγωγή

Η ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς γενικότερα, αλλά κι όπως απαιτείται στη συγκεκριμένη μελέτη του πρανού στα Άνω Πορόια πραγματοποιείται με σκοπό τον προσδιορισμό της ασφάλειας και του σχεδιασμού της λειτουργικότητάς του καθώς και για τον προσδιορισμό της κατάστασης ισορροπίας του πρανού. Η επιλογή της μεθόδου ανάλυσης εξαρτάται τόσο από τις συνθήκες που επικρατούν όσο και από τον μηχανισμό ολίσθησης. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την ανάλυση της ευστάθειας του πρανού, είτε βραχώδους είτε βραχώδους – εδαφικού, από τεχνικές οριακής ισορροπίας μέχρι τη χρήση των πεπερασμένων στοιχείων. Πριν 25 χρόνια οι υπολογισμοί για τον προσδιορισμό της ευστάθειας του πρανού γίνονταν είτε γραφικά είτε με τη χρήση υπολογιστή χεριού, με εξαίρεση αναπτυγμένες αναλύσεις που εμπεριείχαν την κρίσιμη επιφάνεια, με τη χρήση ρουτινών σε υπολογιστές και Fortran cards. Η πλειοψηφία των πρώτων προγραμμάτων μεθόδων ανάλυσης έκαναν χρήση πρώιμων software, τα οποία δεν ήταν ευρέως διαδεδομένα. Σε αντίθεση με τη σημερινή εποχή όπου οποιοσδήποτε έχει πια την πρόσβαση και τη δυνατότητα χρήσης ενός εξειδικευμένου προγράμματος στον προσωπικό του υπολογιστή. Μέσα λοιπόν από την κατανόηση του μηχανισμού ολίσθησης και την ανάλυση αυτού, μειώνεται αισθητά ο κίνδυνος επανάληψης μιας πιθανής μελλοντικής αστοχίας στο πρανές, λαμβάνοντας έπειτα τα απαραίτητα μέτρα αντιμετώπισης.

3.1 Μέθοδοι Ανάλυσης

Υπάρχουν πολλές και διαφορετικές μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας ενός πρανού. Οι μέθοδοι αυτές περιλαμβάνουν τις απλές μεθόδους ανάλυσης (conventional analysis procedures) και τις αριθμητικές μεθόδους ανάλυσης (special analysis procedures). Οι απλές μέθοδοι ανάλυσης (limit equilibrium) προσδιορίζουν την ισορροπία ενός γεωυλικού που κινείται υπό την επίδραση της βαρύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια του πρανού. Ουσιαστικά γίνεται μία σύγκριση μεταξύ των δυνάμεων που συγκρατούν την μάζα του υλικού και των δυνάμεων που τείνουν να προκαλέσουν την ολίσθηση. Στις μεθόδους αυτές γίνεται η παραδοχή ότι οι διατμητικές αντοχές των υλικών κατά μήκος της πιθανής επιφάνειας ολίσθησης διέπονται από το κριτήριο Mohr-Coulomb. Το ελεύθερο σώμα του γεωυλικού ορίζεται από την κάτω πλευρά από μία υποτιθέμενη ή γνωστή επιφάνεια ολίσθησης

και από την πάνω πλευρά από την επιφάνεια του πρανού. Σκοπός είναι ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος των δυνάμεων που συγκρατούν το υλικό προς τις δυνάμεις που τείνουν να προκαλέσουν την ολίσθηση, με αποτέλεσμα να προσδιορίζεται η δυσμενέστερη επιφάνεια ολίσθησης. Αν ο συντελεστής ασφαλείας είναι μεγαλύτερος του 1.0 τότε το πρανές χαρακτηρίζεται από ευστάθεια, ενώ αν είναι μικρότερος του 1.0 τότε το πρανές είναι ασταθές. Η πιο κοινή μέθοδος για τη μέθοδο της οριακής ισορροπίας είναι η μέθοδος των φετών. Σε αυτή τη μέθοδο η μάζα του υλικού που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια ολίσθησης χωρίζεται σε κάθετες φέτες, για το σκοπό της διευκόλυνσης στην ανάλυση.

Οι αριθμητικές διαδικασίες ανάλυσης περιλαμβάνουν: τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (finite element method), την three –dimensional (3-D), και την μέθοδο των πιθανοτήτων (probabilistic method). Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό τάσεων και παραμορφώσεων σε κατασκευές που εδράζονται στο έδαφος. Είναι χρήσιμη για την επίλυση των προβλημάτων που προκύπτουν από την απευθείας επίδραση εδάφους και κατασκευής. Μέσα από τους υπολογισμούς προκύπτει ο συντελεστής ασφαλείας.

Η 3-D μέθοδος ορίζει την επιφάνεια ολίσθησης σε τρεις διαστάσεις. Το ζήτημα που προκύπτει από αυτή τη μέθοδο είναι ότι οι περισσότερες επιφάνειες δεν ικανοποιούν τις συνθήκες ισορροπίας σε 3-D και υπάρχει έλλειψη μεθόδων προσδιορισμού της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης.

Η μέθοδος των πιθανοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρόσθετη μέθοδος στις απλές μεθόδους.

Σε αντίθεση, λοιπόν, με τις απλές υπολογιστικές μεθόδους, όπου το θεωρητικό υπόβαθρο περιορίζεται ουσιαστικά στη γενική διατύπωση της λύσης, στις αριθμητικές μεθόδους δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην ανάπτυξη ειδικών υπολογιστικών τεχνικών για την οργάνωση – διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων, έτσι ώστε να μειωθεί σε λογικά όρια ο απαιτούμενος υπολογιστικός χρόνος και να βελτιωθεί η ακρίβεια και η σταθερότητα των αναλύσεων. Για το λόγο αυτό κάθε μία από τις εν λόγω μεθόδους αποτελεί ουσιαστικά και ένα αυτόνομο γνωστικό κλάδο με εκτενέστατο θεωρητικό υπόβαθρο.

3.2 Ιστορική Αναδρομή

Από τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, η ευστάθεια των πρανών μελετάται συνήθως με τη χρήση των μεθόδων της οριακής ισορροπίας. Αποτέλεσμα των μεθόδων αυτών είναι ο προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή ασφαλείας για τη δυσμενέστερη επιφάνεια ολίσθησης, μέσα από τη χρήση μιας ή περισσότερων ισοτήτων. Οι μέθοδοι της οριακής ισορροπίας προσδιορίζουν την ισορροπία του γεωυλικού, του οποίου το κάτω όριο ορίζεται από την επιφάνεια ολίσθησης και το πάνω όριο από την ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς. Οι μέθοδοι της οριακής ισορροπίας βασίζονται στην τεχνική του χωρισμού σε φέτες (method of slices) της πιθανής μάζας του γεωυλικού που πρόκειται να ολισθήσει. Η τεχνική αυτή εισήχθη για πρώτη φορά τον 20^ο αιώνα. Το 1916 ο Petterson στη Σουηδία παρουσίασε την ανάλυση ευστάθειας μιας κυκλικής επιφάνειας και τη χώρισε σε φέτες. Μέσα στις επόμενες δεκαετίες, ο Fellenius (1936) εισήγαγε την Ordinary ή Swedish μέθοδο των φετών. Στα μέσα του 1950 οι Janbu και Bishop πραγματοποίησαν αναβαθμίσεις και βελτιώσεις στην μέθοδο. Η χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών το 1960 διευκόλυνε τη διαχείριση πιο πολύπλοκων δεδομένων σε σχέση με τη μέθοδο αυτή, οδηγώντας σε πιο αυστηρούς μαθηματικούς αλγόριθμους, όπως αυτοί που προτάθηκαν από τους Morgenstern και Price (1965) και από τον Spencer (1976). Ένας από τους λόγους που η μέθοδος της οριακής ισορροπίας υιοθετήθηκε περισσότερο ήταν η καινοτομία και ευχρηστία που προκύπτει από το διαχωρισμό ενός μεγάλου σώματος υλικού σε μικρότερα τμήματα (φέτες) .

Στη σημερινή εποχή, η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών (κατολισθητικά φαινόμενα) και όχι μόνο, είναι ένα διαδεδομένο ζήτημα στην γεωτεχνική μηχανική, προκαλώντας προφανώς για κάθε τεχνικό έργο ένα συγκεκριμένο ερώτημα- η επικείμενη κατασκευή θα παραμείνει σταθερή ή όχι; Τα διάφορα προγράμματα που έχουν αναπτυχθεί για τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές βασιζόμενα σε αυτήν την τεχνική, και η ευρύτητα στη διαθεσιμότητά τους, έχει καταστήσει την χρήση της μεθόδου της οριακής ισορροπίας ένα χρήσιμο εργαλείο στη γεωτεχνική μηχανική. Ακόμα μεγαλύτερος όγκος δεδομένων και πιο πολύπλοκος είναι δυνατόν να διαχειριστεί με τα software στους Η/Υ. Πολύπλοκη στρωματογραφία, συνθήκες με υψηλές πιέσεις πόρων, διάφορα μοντέλα με γραμμικές και μη γραμμικές διατμητικές αντοχές, ακόμα και επιφάνειες ολίσθησης με κάθε είδος σχήματος, διάφορα επιβαλλόμενα φορτία, μπορούν να εφαρμοστούν προκειμένου να δημιουργηθεί το

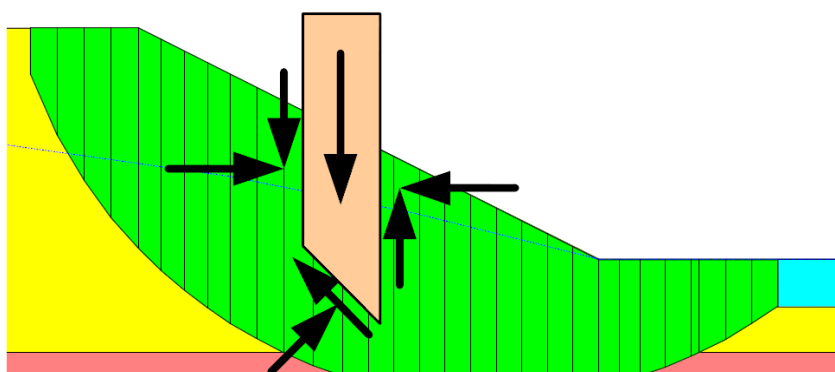
μοντέλο μέσα από το οποίο εξάγονται τα συμπεράσματα για το εκάστοτε σχέδιο (project).

Η ανάλυση πολύπλοκων περιπτώσεων κατολισθητικών φαινομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας την ολοένα αναπτυσσόμενη τεχνολογία μέσα από τους Η/Υ. Αν τα οφέλη από αυτή μεγιστοποιηθούν, τότε οι δυνατότητες σχεδιασμού θα μεγαλώσουν, βρίσκοντας τα δεδομένα καλύτερη ανταπόκριση σε αυτές τις βελτιώσεις. Πριν πολλές δεκαετίες οι μηχανικοί αποδέχτηκαν την ανάγκη που υπήρχε για χρήση των προγραμμάτων προκειμένου να γίνει πιο εύχρηστη η διαχείριση των δεδομένων, μέσω της δημιουργίας μοντέλων, που κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό μέσα από υπολογισμούς στο χέρι. Ανάλογη είναι και σήμερα η ανάγκη για περισσότερη ανάπτυξη πάνω σε αυτόν τον τομέα, με βελτιώσεις σε 3-D μοντέλα, όπου οι υπολογιστές σε κάποιους τομείς ακόμα δεν είναι επαρκείς. Μία τέτοια προσέγγιση έχει γίνει στην εξομοίωση εξόρυξης πετρελαϊκών αποθεμάτων.

Οι επόμενες δεκαετίες επιφυλάσσουν ακόμα μεγαλύτερες δυνατότητες στον εκσυγχρονισμό των δυνατοτήτων στην μοντελοποίηση πιθανών αστοχιών στα τεχνικά έργα, παρέχοντας μία ακόμα πιο κατανοητή βάση των υφιστάμενων κινδύνων. Η έλευση προγραμμάτων εικονικής πραγματικότητας θα δίνουν στον γεωτεχνικό την ευχέρεια να αποκομίζει αποτελέσματα με έναν πιο αποτελεσματικό και γραφικό τρόπο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ποσότητα-ποιότητα των δεδομένων και των εργαλείων διαχείρισης αυτών για κατασκευή μοντέλων, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην παροχή έγκυρων αποτελεσμάτων.

3.3 Μέθοδοι της Οριακής Ισορροπίας

Κατά την ανάλυση ολισθήσεων περιστροφικής μορφής απαιτείται η παραδοχή καμπύλων επιφανειών ολίσθησης περίπου όμοιου σχήματος. Οι προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση ξεκίνησαν από τον Hultin (1916) κατά τη μελέτη του για τη θραύση κρηπιδότοιχου στο λιμάνι του Gotenborg. Έπειτα, λοιπόν, από πολλά ερεθίσματα με καταστροφικές κατολισθήσεις, που έδειχναν να έχουν περίπου κυκλικές επιφάνειες, διαμορφώθηκαν στις επόμενες δεκαετίες διαδοχικές δημοσιεύσεις, η μέθοδος του κύκλου τριβής και η πρώτη μέθοδος με την τεχνική του χωρισμού σε φέτες (Fellenius, 1927, 1936). Οι μέθοδοι χωρισμού σε φέτες υπερέχουν της μεθόδου του κύκλου τριβής, γιατί επιτρέπουν να μελετηθεί σχετικά εύκολα η ευστάθεια ανομοιογενών πρανών αποτελούμενων από πολλές εδαφικές στρώσεις, αλλά και γιατί με κατάλληλη προσαρμογή της υπολογιστικής διαδικασίας παρέχουν τη δυνατότητα να εξετασθούν πιο σύνθετες επιφάνειες ολίσθησης. Έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές για την ανάλυση της μεθόδου του διαχωρισμού σε φέτες. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των μεθόδων, βασίζονται στις εξισώσεις που περιγράφουν την κάθε μία και τι ικανοποιείται μέσα από αυτές καθώς και τις δυνάμεις που περιλαμβάνονται σε κάθε φέτα (slice), όπως επίσης και τη σχέση μεταξύ των κανονικών και διατμητικών δυνάμεων. Στο (σχήμα 3.3) απεικονίζεται μία τυπική φέτα μιας ολισθαίνουσας μάζας και οι πιθανές δυνάμεις που επιδρούν πάνω σε αυτή. Οι κανονικές και διατμητικές δυνάμεις δρουν στη βάση της φέτας και στις πλευρικές επιφάνειες αυτής.



Σχ.3.3 Τυπική μορφή φέτας με την κατανομή των δυνάμεων σε αυτή στη μέθοδο των φετών. (Krahn, 2004)

Η μέθοδος του Fellenius ήταν η πρώτη μέθοδος που αναπτύχθηκε. Σε αυτή τη μέθοδο οι πλευρικές δυνάμεις θεωρούνται μηδενικές και αγνοούνται στην πολύ απλουστευμένη υπολογιστική διαδικασία. Αργότερα ο Bishop (1955) επινόησε ένα σχέδιο όπου περιλαμβάνονται οι κανονικές δυνάμεις αλλά αγνοούνται οι διατμητικές. Με αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνοντας τις κανονικές δυνάμεις η εξίσωση του συντελεστή ασφαλείας γίνεται μη γραμμική και έτσι απαιτούνταν μία επαναληπτική διαδικασία για να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφαλείας. Η μέθοδος Janbu είναι ίδια με αυτή του Bishop στο γεγονός ότι περιλαμβάνει τις κανονικές δυνάμεις αγνοώντας τις διατμητικές. Η διαφορά μεταξύ αυτών των δύο μεθόδων είναι ότι η μέθοδος Janbu ικανοποιεί μόνο την ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων. Αργότερα, η χρήση των υπολογιστών έδωσε τη δυνατότητα να γίνεται με μεγαλύτερη ευχέρεια ο υπολογισμός των δυνάμεων ισορροπίας και αυτό οδήγησε να επινοηθούν πιο «αυστηρές» μέθοδοι, που να ικανοποιούν όλες τις εξισώσεις της στατικής περιλαμβάνοντας όλες τις δυνάμεις. Δύο από αυτές τις μεθόδους είναι των Morgenstern – Price και η μέθοδος Spencer.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα οι παραπάνω μέθοδοι που χρησιμοποιούνται περισσότερο.

3.3.1 Μέθοδος Fellenius

Η μέθοδος Fellenius αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως κανονική, συμβατική, Σουηδική κ.α. Είναι η πρώτη μέθοδος των φετών και η απλότητα στη χρήση της έκανε δυνατό τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας κάνοντας υπολογισμούς στο χέρι. Σε αυτή τη μέθοδο όλες οι πλευρικές δυνάμεις αγνοούνται. Η δύναμη του βάρους της φέτας αναλύεται σε δυνάμεις παράλληλες και κάθετες στη βάση της φέτας. Η κάθετη δύναμη στη βάση είναι η κανονική δύναμη, η οποία χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής. Η συνιστώσα παράλληλη στη βάση είναι η δύναμη που τείνει να προκαλέσει την ολίσθηση. Ο συντελεστής ασφαλείας προκύπτει από το άθροισμα των δυνάμεων που αντιστέκονται στην κίνηση προς το άθροισμα των δυνάμεων που προκαλούν την ολίσθηση. Η εξίσωση αυτή είναι:

$$FS = \frac{\sum [c\beta + N \tan \phi]}{\sum W \sin \alpha} = \frac{\sum S_{\text{resistance}}}{\sum S_{\text{mobilized}}}$$

Όπου:

c = συνοχή

β = το μήκος της βάσης της φέτας

N = η κάθετη τάση ($W \cos \alpha$)

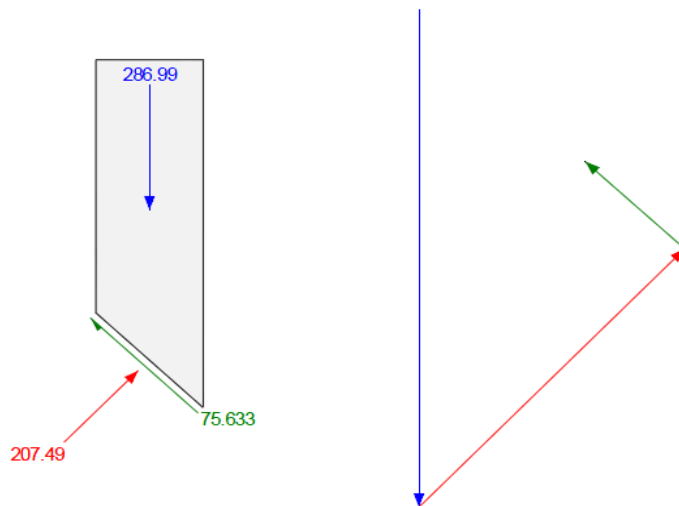
ϕ = γωνία τριβής

W = το βάρος της φέτας

α = η κλίση της φέτας

Το πιο ενδιαφέρον να τονιστεί σε αυτή τη μέθοδο είναι οι δυνάμεις στις φέτες και τα δυναμοπολύγωνα. Στο σχήμα (3.3.1) απεικονίζονται οι δυνάμεις στις φέτες και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο. Πρώτα από όλα σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν διατμητικές και κανονικές δυνάμεις. Δεύτερο η έλειψη για να κλείσει το πολύγωνο των δυνάμεων υποδεικνύει ότι οι φέτες δεν πληρούν τις συνθήκες ισορροπίας. Με την απουσία των κανονικών δυνάμεων δεν υπάρχει κάτι για να ισοσταθμίσει τις πλευρικές συνιστώσες της διατμητικής και κανονικής τάσης της βάσης.

Λόγω το ότι η μέθοδος αυτή αγνοεί τις συνθήκες ισορροπίας στο γενικό σύστημα, δίνει μη ρεαλιστικά αποτελέσματα του συντελεστή ασφαλείας. Σε σύγκριση με πιο «αυστηρές» μεθόδους είναι ιδιαίτερα συντηρητική και υποεκτιμά τον συντελεστή ασφαλείας 10 – 60%.



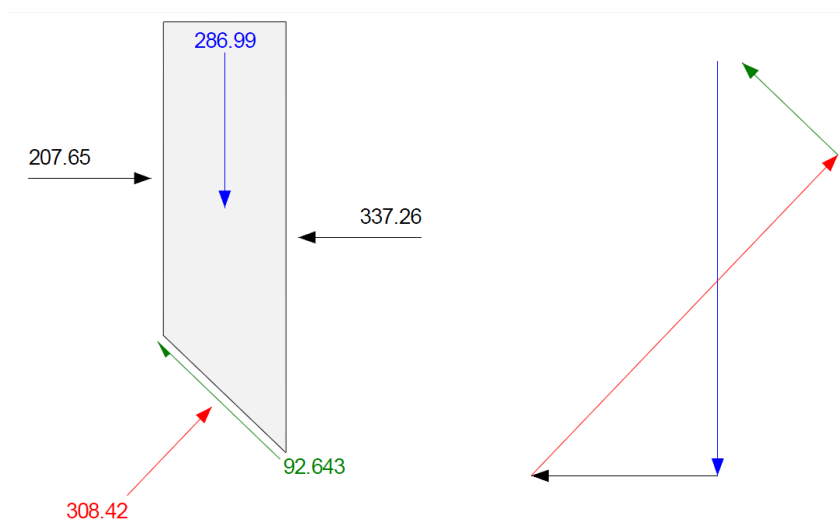
Σχ.3.3.1 Η κατανομή των δυνάμεων και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο στη μέθοδο Fellenius. (Krahn, 2004)

3.3.2 Μέθοδος Bishop

Το 1950 ο καθηγητής Bishop του Πανεπιστημίου Imperial στο Λονδίνο, επινόησε μία μέθοδο η οποία περιλάμβανε κανονικές τάσεις, αλλά αγνοούσε τις διατμητικές τάσεις. Ο Bishop ανέπτυξε μία εξίσωση για τις κανονικές τάσεις στη βάση της φέτας αθροίζοντας τις δυνάμεις της στην κάθετη διεύθυνση. Το αποτέλεσμα όμως είναι ότι η ισότητα για τον υπολογισμό του FS (Factor of Safety) είναι μη γραμμική (ο FS εμφανίζεται και στα δύο μέρη της εξίσωσης) και έτσι μία επαναληπτική διαδικασία είναι απαραίτητη, και απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο (αν και 2-3 επαναλήψεις είναι αρκετές συνήθως για να επιτευχθεί η σύγκλιση). Η εξίσωση Bishop με απουσία πίεσης πόρων είναι:

$$FS = \frac{\sum [(c\beta + W \tan \phi) + \{\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi / FS\}]}{\sum W \sin \alpha}$$

Αν εξεταστεί τώρα το δυναμοπολύγωνο για την ίδια φέτα όπως και στη μέθοδο Fellenius παραπάνω, παρατηρείται διαφορά. Το πολύγωνο κλείνει καλύτερα με την παρουσία των κανονικών δυνάμεων, η απουσία όμως των διατμητικών τάσεων υπάρχει (σχήμα 3.3.2). Θα πρέπει να επισημανθεί ότι και στη μέθοδο Bishop γίνεται δεκτή κυκλική επιφάνεια ολίσθησης και ότι όπως και στη μέθοδο Fellenius είναι απαραίτητο να αναζητηθεί και να προσδιοριστεί ο δυσμενέστερος κύκλος ολίσθησης με το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας μετά από μία σειρά επαναλαμβανόμενων υπολογισμών. Εν κατακλείδι, η μέθοδος Bishop περιλαμβάνει τις κανονικές τάσεις, αγνοεί όμως τις διατμητικές και δεν ικανοποιεί όμως πλήρως την ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων. Η σύγκρισή της με τις πιο αυστηρές μεθόδους (Spencer και Morgenstern-Price) είναι καλή.



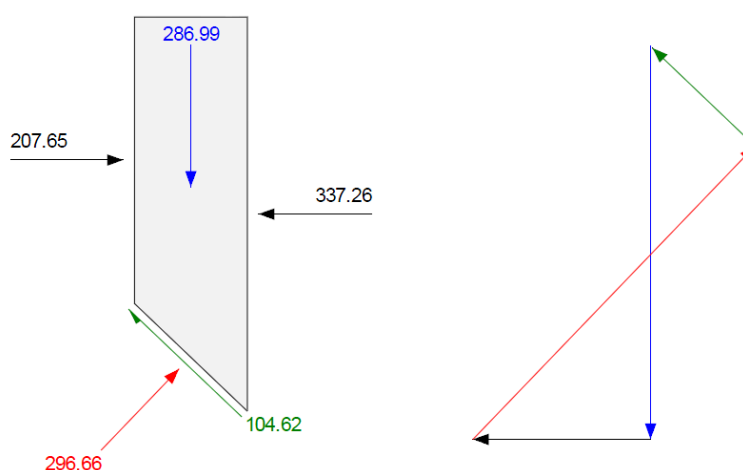
Σχ.3.3.2 Η κατανομή των δυνάμεων και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο στη μέθοδο Bishop. (Krahn, 2004)

3.3.3 Μέθοδος Janbu

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε πολύ αργότερα το 1973, μετά από διαπίστωση του καθηγητή N. Janbu ότι οι μέθοδοι για κυκλικές επιφάνειες αστοχίας δεν επαρκούν για την περίπτωση κατολισθήσεων με μεγάλο σχετικά μήκος. Η μέθοδος αυτή είναι ίδια με του Bishop με εξαίρεση ότι του Janbu ικανοποιεί την ισότητα των οριζόντιων δυνάμεων. Είναι μία ανάλογη υπολογιστική επαναληπτική διαδικασία.

Το σχήμα 3.3.3 δείχνει το δυναμοπολύγωνο της μεθόδου αυτής. Όπως παρατηρείται κλείνει καλύτερα από ότι της μεθόδου Bishop. Η μέθοδος Janbu δίνει F_s πολύ χαμηλότερο (1.16) ενώ του Bishop 1.36, αν και η ισορροπία σε αυτή τη μέθοδο είναι καλύτερη. Πολλοί γεωτεχνικοί για να αποφύγουν την υπερτίμηση του συντελεστή ασφαλείας (F_s), υποθέτουν ότι οι εσωτερικές δυνάμεις της φέτας είναι οριζόντιες. Η υπόθεση αυτή, όπου κατά την υφιστάμενη κατάσταση ικανοποιείται η ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων που ασκούνται στο πρίσμα αστοχίας και ότι οι πλευρικές δυνάμεις είναι ίσες, μπορεί να υποεκτιμήσει τον F_s . Αυτή όμως η «διόρθωση» με τη μέθοδο Janbu, χρειάζεται προσοχή, καθώς δεν έχει αποσαφηνιστεί επαρκώς.

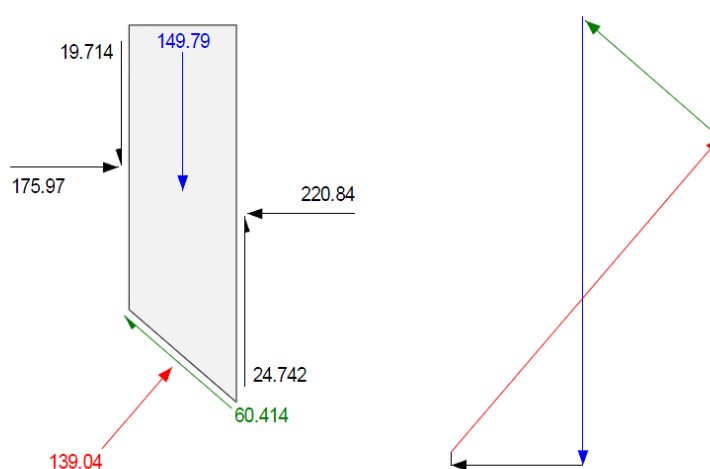
Συνοπτικά, η μέθοδος Janbu λαμβάνει υπόψη τις κανονικές τάσεις αλλά αγνοεί τις διατμητικές και ικανοποιεί την ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων θεωρώντας τις ίσες.



Σχ.3.3.3 Η κατανομή των δυνάμεων και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο στη μέθοδο Janbu. (Krahn, 2004)

3.3.4 Μέθοδος Spencer

Ο Spencer (1967) ανέπτυξε δύο ισότητες για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας η μία ικανοποιώντας την ισορροπία των δυνάμεων σε δυναμικές συνθήκες και η άλλη την ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων. Στη μέθοδο αυτή γίνεται η παραδοχή ότι οι πλευρικές δυνάμεις είναι παράλληλες, δηλαδή όλες οι πλευρικές δυνάμεις κλίνουν με την ίδια γωνία, λαμβάνοντας υπόψη διατμητικές και κανονικές δυνάμεις. Περεταίρω επιβεβαίωση της σχέσης μεταξύ των κανονικών και διατμητικών τάσεων δίνεται από το δυναμοπολύγωνο του σχήματος 3.3.4.



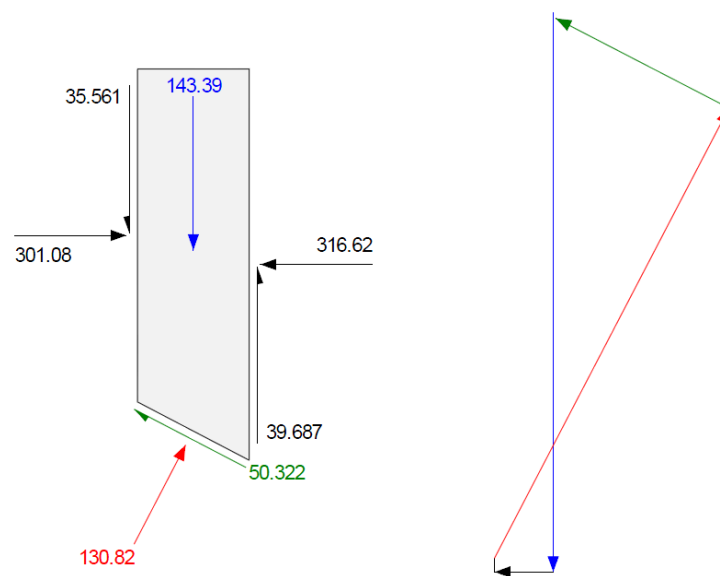
Σχ.3.3.4 Η κατανομή των δυνάμεων και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο στη μέθοδο Spencer. (Krahn, 2004)

Παρόλου που ο Spencer εισήγαγε τη μέθοδο για κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης το 1969 ο Wright έδειξε ότι η μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και σε μη κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης. Η μέθοδος Spencer θεωρείται ως μία από τις «αυστηρές» μεθόδους, που θα πρέπει να χρησιμοποιείται όπου μία ολοκληρωμένη στατική λύση είναι απαραίτητη να δοθεί. Επίσης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέθοδος επιβεβαίωσης σε τελικούς σχεδιασμούς, όπου έχει προηγηθεί η ανάλυση ευστάθειας με απλές μεθόδους (π.χ. Bishop, Janbu).

Συνοψίζοντας, η μέθοδος Spencer λαμβάνει υπόψη τις διατμητικές και κανονικές τάσεις, ικανοποιώντας τόσο σε συνθήκες στατικές όσο και σε δυναμικές.

3.3.5 Μέθοδος Morgenstern - Price

Οι Morgenstern και Price (1965) ανέπτυξαν μία μέθοδο όμοια με του Spencer, αλλά επιτρέπουν στον χρήστη τον προσδιορισμό λειτουργικοτήτων στις δυνάμεις της φέτας. Η μέθοδος αυτή θεωρείται, όπως και η μέθοδος Spencer, μία αυστηρή μέθοδος. Λαμβάνει υπόψη κανονικές και διατμητικές τάσεις, δίνοντας ένα πολύ ικανοποιητικό δυναμοπολύγωνο σχήμα 3.3.5, δίνοντας την ευχέρεια στον χρήστη για αλλαγή στην κλίση των πλευρικών δυνάμεων.



Σχ.3.3.5 Η κατανομή των δυνάμεων και το αντίστοιχο δυναμοπολύγωνο στη μέθοδο Morgenstern - Price. (Krahn, 2004)

3.4 Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου

Η μέθοδος της οριακής ισορροπίας για ανάλυση της ευστάθειας πρανών, παραμένει ένα εύχρηστο εργαλείο στα χέρια των γεωτεχνικών. Η πλήρης κατανόηση των παραμέτρων κάθε μεθόδου και των παραδοχών τους, οδηγεί σε σωστή λήψη συμπερασμάτων. Κάποιες από τις παραπάνω μεθόδους που αναλύθηκαν (π.χ. Spencer's, Morgenstern και Price) θεωρούνται «αυστηρές» μέθοδοι και δίνουν αξιόλογα αποτελέσματα στον τελικό σχεδιασμό. Κάποιες άλλες μέθοδοι όπως η Bishop και η Fellenius λόγω της απλότητάς τους στους υπολογισμούς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς τη χρήση υπολογιστή, όμως πρέπει να συνυπολογιστεί ο περιορισμός στις δυνάμεις που λαμβάνει η κάθε μία υπόψη. Πρακτικά, τα κριτήρια που θα πρέπει να απαντώνται για την τελική επιλογή της μεθόδου είναι η μέθοδος να ικανοποιεί τις εξισώσεις της στατικής και να λαμβάνει υπόψη τις κανονικές και τις διατμητικές τάσεις της ολισθαίνουσας μάζας. Ο πίνακας που ακολουθεί δίνει συνοπτικά κάποιες συγκριτικές ιδιότητες για κάθε μέθοδο.

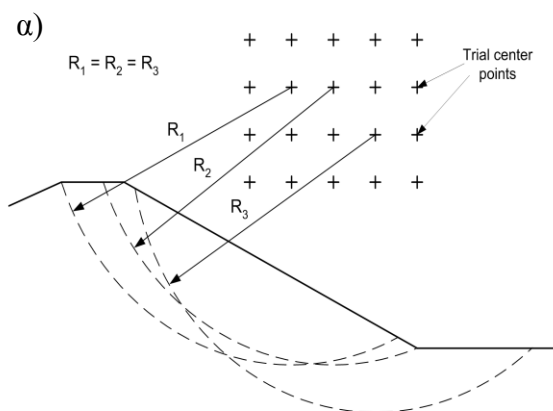
Πίνακας 3.4 Συγκριτικές ιδιότητες των μεθόδων της οριακής ισορροπίας.

Συγκριτικές Ιδιότητες των μεθόδων της Οριακής Ισορροπίας				
Ιδιότητες	Fellenius	Bishop	Spencer	Morgenstern & Price
Ακρίβεια		X	X	X
Κυκλική Επιφάνεια Ολίσθησης	X	X	X	X
Μη κυκλική Επιφάνεια Ολίσθησης			X	
Κατάλληλη για υπολογισμούς στο χέρι	X	X		

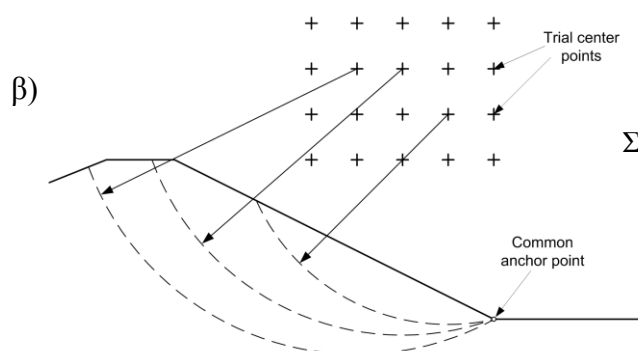
3.5 Προσομοίωση του μοντέλου Slide

Στη συγκεκριμένη εργασία έγινε χρήση του προγράμματος H/Y Slide v 6.0 , για την ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς, επιλέγοντας την κυκλική μορφή επιφάνειας ολίσθησης, λόγω της κατάστασης της ποιότητας του γεωυλικού (υλικά αποσάθρωσης), με φτωχά μηχανικά χαρακτηριστικά. Το Slide αποτελεί ένα πρόγραμμα για την αξιολόγηση του συντελεστή ασφαλείας (FS) για κυκλικές ή μη κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης σε εδαφικά ή βραχώδη γεωυλικά. Το πρόγραμμα αυτό εξυπηρετεί την ανάλυση ευστάθειας επιφανειών χρησιμοποιώντας την τεχνική των φετών με τις μεθόδους της οριακής ισορροπίας, με σκοπό την εύρεση της κρίσιμης επιφάνειας ολίσθησης, δηλαδή της επιφάνειας με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας, σε ένα δεδομένο πρανές.

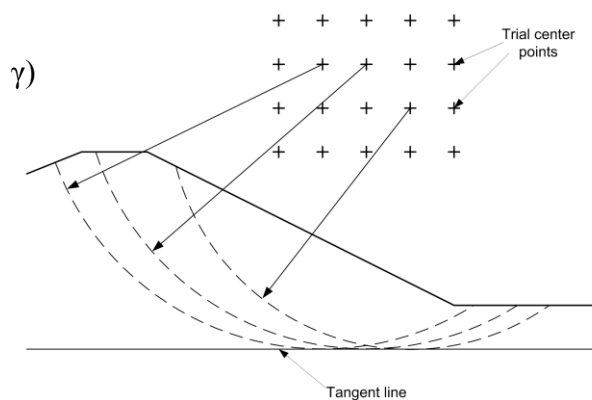
Οι κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης προσδιορίζονται με τη βοήθεια των μεθόδων της οριακής ισορροπίας, δίνοντας την πιθανή αυτή επιφάνεια ως τόξο ενός κύκλου. Το τόξο είναι ένα μέρος του κύκλου το οποίο κόβει το πρανές. Η κυκλική επιφάνεια ολίσθησης μπορεί να προσδιοριστεί από τη θέση του κέντρου του κύκλου και είτε από α) την ακτίνα β) ένα συγκεκριμένο σημείο από το οποίο πρέπει να περάσει ο κύκλος γ) μία ευθεία όπου η επιφάνεια ολίσθησης πρέπει να εφάπτεται. Αυτές οι περιπτώσεις απεικονίζονται στα σχήματα που ακολουθούν.



Σχ.3.5α Προσδιορισμός κυκλικών επιφανειών με σταθερή ακτίνα.
(Rocscience Inc,2004)



Σχ.3.5β Προσδιορισμός κυκλικών επιφανειών με σταθερό σημείο.
(Rocscience Inc,2004)

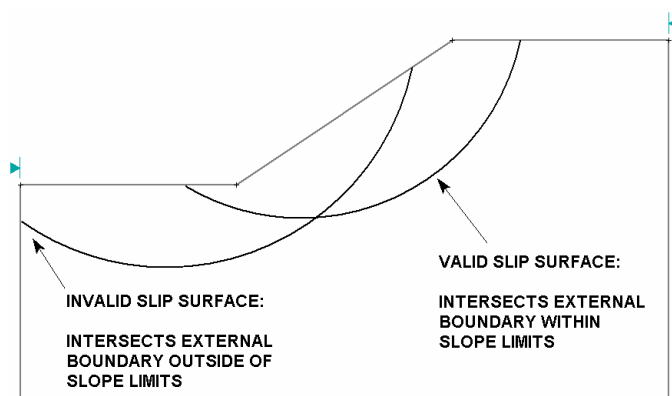


Σχ.3.5γ Προσδιορισμός κυκλικών επιφανειών με εφαπτόμενη ευθεία.

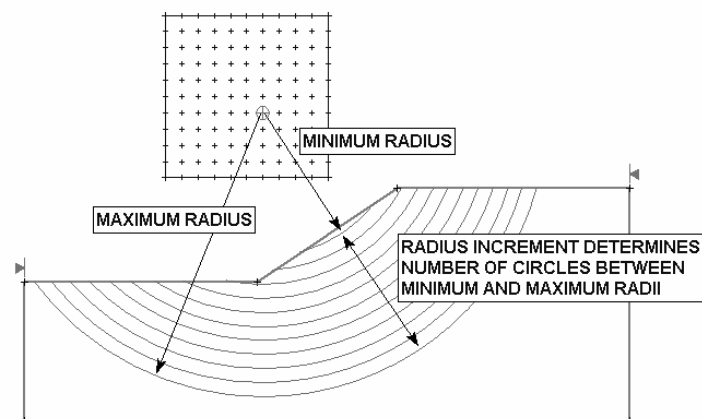
(Rocscience Inc,2004)

Όλες οι επιφάνειες ολίσθησης θα πρέπει να τέμνουν το εξωτερικό όριο του πρανούς, μέσα στα όρια που έχουν διευκρινιστεί (σχήμα 3.5.1). Οι κύκλοι που δημιουργούνται έχουν ως κέντρο ο κάθε ένας, ένα σημείο μέσα από τον κάνναβο που ορίζεται με συγκεκριμένες διαστάσεις. Από το σημείο αυτό ορίζονται κύκλοι με μέγιστη και ελάχιστη ακτίνα και ο αριθμός των κύκλων ορίζεται από τον αριθμό των διαστημάτων μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης ακτίνας του κύκλου για κάθε σημείο (σχ.2.5.2). Έτσι λοιπόν, ο αριθμός των κύκλων για κάθε σημείο μέσα στον κάνναβο είναι ο αριθμός των διαστημάτων (Radius Increment)+1. Οπότε, ο συνολικός αριθμός των επιφανειών ολίσθησης προκύπτει από την ισότητα:

Radius Increment + 1 * total of grid slip centers.



Σχ.3.5.1 Το εξωτερικό όριο ορίζει τις έγκυρες επιφάνειες ολίσθησης. (Rocscience Inc,2004)



Σχ.3.5.2 Ορισμός μέγιστου – ελάχιστου κύκλου ολίσθησης. (Rocscience Inc,2004)

Έπειτα από την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα τόσο του εξωτερικού ορίου του πρανούς, όσο και των μηχανικών ιδιοτήτων κάθε υλικού, το πρόγραμμα θα «τρέξει» τα δεδομένα αυτά, δίνοντας τους κύκλος ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας για κάθε κέντρο (σημείο) του καννάβου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

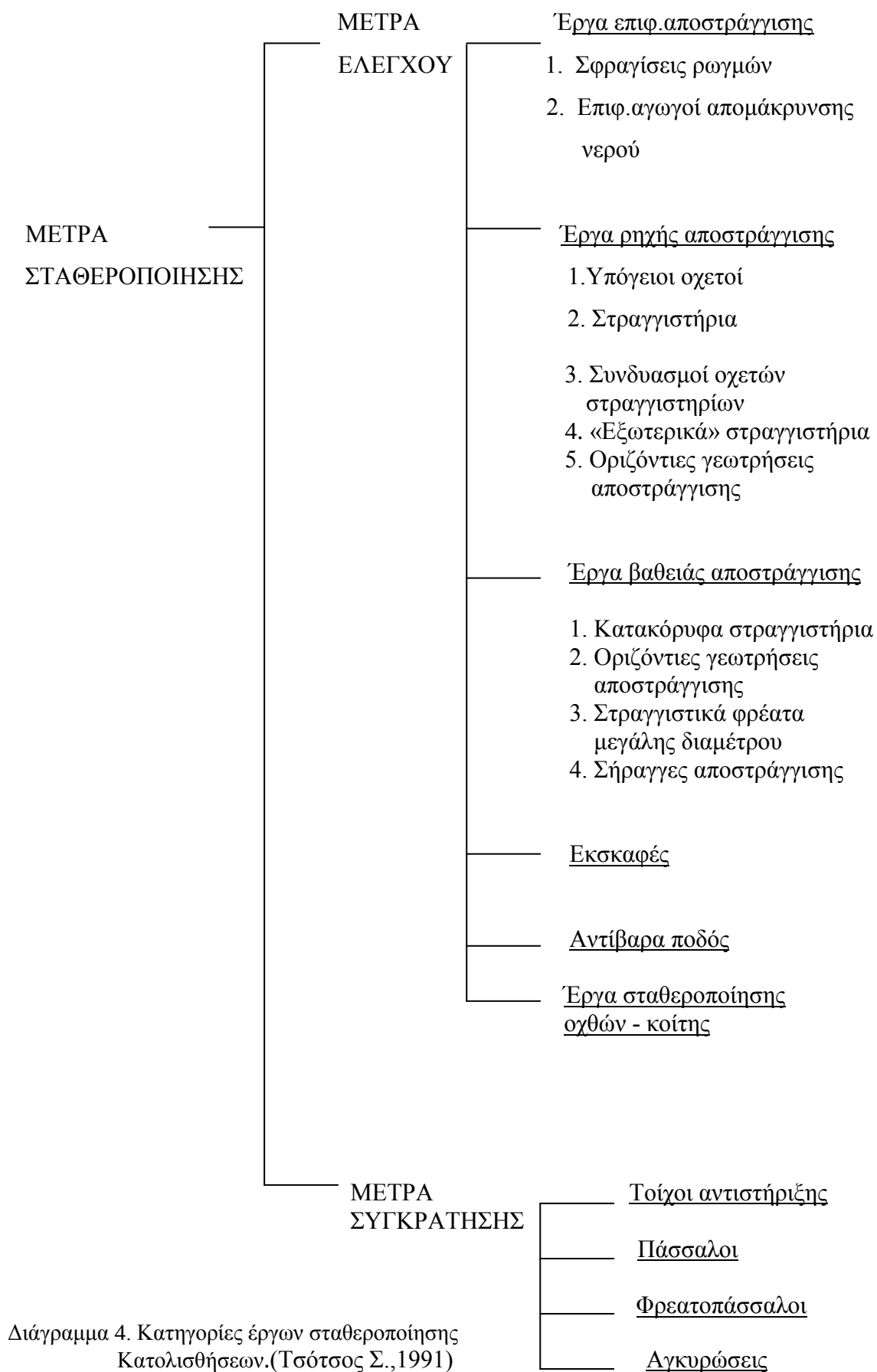
ΜΕΤΡΑ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ

4. Γενικά

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα σοβαρό γεωλογικό φαινόμενο στην Ελλάδα, λόγω της πολυσύνθετης γεωλογίας της έντονης τεκτονικής καταπόνησης και της μορφολογίας. Πολλοί είναι οι παράγοντες που υπεισέρχονται στην πρόκληση τέτοιων φαινομένων, όπως η κλίση του εδάφους, η μορφολογία, οι έντονες βροχοπτώσεις το είδος του γεωυλικού κ.α. Τα κατολισθητικά αυτά φαινόμενα πλήττουν πολλές περιοχές έχοντας καταστροφικές συνέπειες, θέτοντας σε κίνδυνο οικισμούς, οδικούς άξονες και απειλώντας ακόμα και τη ζωή ανθρώπων. Απαραίτητη, λοιπόν, κρίνεται η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση των κατολισθήσεων έχοντας ως κριτήριο πρωτίστως την πλήρη αποκατάσταση της πληγήςσας περιοχής, αλλά κάνοντας και μία οικονομικά συμφέρουσα επιλογή.

Γενικά, τα εφαρμοζόμενα μέτρα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: τα μέτρα ελέγχου και τα μέτρα συγκράτησης. Τα πρώτα έχουν ως στόχο την περιστολή και τον περιορισμό των αιτιών της κατολίσθησης, όπως το υπόγειο νερό ή τα γεωμετρικά δεδομένα, ενώ τα δεύτερα με την αντοχή τους ενισχύουν τις δυνάμεις συγκράτησης, άρα αυξάνουν τον συντελεστή ασφαλείας της ολισθαίνουσας μάζας. Ο σχεδιασμός των μέτρων αντιμετώπισης μιας κατολίσθησης, λαμβάνει σοβαρά υπόψη την ανάλυση των αιτιών της, για την μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας τους.

Στο διάγραμμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά ανά κατηγορία τα επιμέρους είδη των έργων σταθεροποίησης.



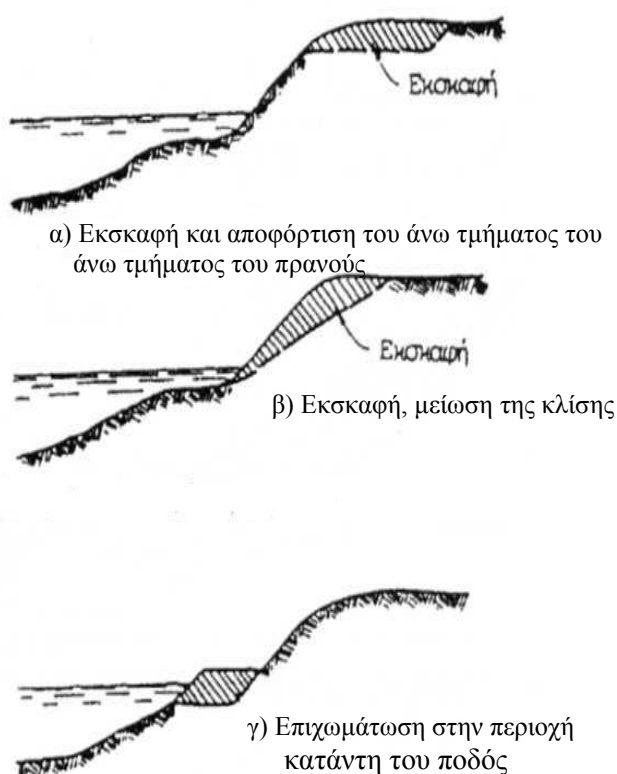
Διάγραμμα 4. Κατηγορίες έργων σταθεροποίησης Κατολισθήσεων.(Τσότσος Σ.,1991)

4.1 Συνήθη Μέτρα Προστασίας

Ι) Α) Αλλαγή της γεωμετρίας του πρανούς

Πρόκειται για μία σειρά μέτρων, τα οποία έχουν ως τελικό στόχο την ελάττωση της κλίσης του πρανούς. Στα μέτρα αυτά περιλαμβάνονται η απομάκρυνση ενός τμήματος της μάζας που μετακινήθηκε ή πρόκειται να μετακινηθεί και η δημιουργία αναβαθμίδων. Ο όγκος και η θέση του εκσκαπτόμενου τμήματος πρέπει να καθορίζονται με την ανάλυση ευστάθειας και το αποκαλυπτόμενο τμήμα να προστατεύεται από τη διάβρωση, με τη βοήθεια φύτευσης ειδικών φυτών.

Η **αποφόρτιση της κεφαλής** είναι συνήθως η πλέον αποτελεσματική μέθοδος και το κόστος της εξαρτάται από τη δυνατότητα πρόσβασης στο πρανές. Όταν μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα τα υλικά να ρίπτονται στον πόδα, τότε η διαδικασία είναι πιο πρόσφορη (σχήμα 4.1) Μία ελάττωση των μαζών που πρόκειται να κατολισθήσουν κατά 4% από την κεφαλή προς τον πόδα του πρανούς, προκαλεί μια αύξηση της σταθερότητας κατά 10% περίπου. Όμως, με την αποφόρτιση της κεφαλής θα πρέπει να μη διαταραχτεί η ισορροπία του πρανούς, γεγονός το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε χειροτέρευση του φαινομένου.



Σχ.4.1 Έργα εκσκαφών (Broms, 1969)

Για τα μεγάλης κλίσεως πρανή και όταν ο πόδας έχει αποκοπεί, κρίνεται απαραίτητη η **κατασκευή αναβαθμίδων** οριζόντιων ή με κλίση, στην επιφάνεια του πρανούς. Η διαμόρφωση αυτή θα πρέπει να συνδυάζεται απαραίτητα, όταν πρόκειται για κατολισθήσεις σε εδάφη, και με άλλα έργα, διότι η παρουσία τους μπορεί να προκαλέσει δυσμενή αποτελέσματα. Συγκεκριμένα θα πρέπει στα οριζόντια τμήματα των αναβαθμών να κατασκευάζονται παράλληλα και συλλεκτήριοι τάφροι επιφανειακών υδάτων, ενώ στα κεκλιμένα ή κατακόρυφα τμήματα των αναβαθμών θα πρέπει να υποστηρίζονται από πλέγματα οριζοντίων και κατακόρυφων πασσάλων. Η έκταση, το ύψος, η μείωση της κλίσης και ο λόγος του πλάτους των οριζόντιων και των κεκλιμένων ή κατακόρυφων τμημάτων των αναβαθμών, καθορίζεται στην κάθε περίπτωση κυρίως από το είδος του εδαφικού ή βραχώδους υλικού.

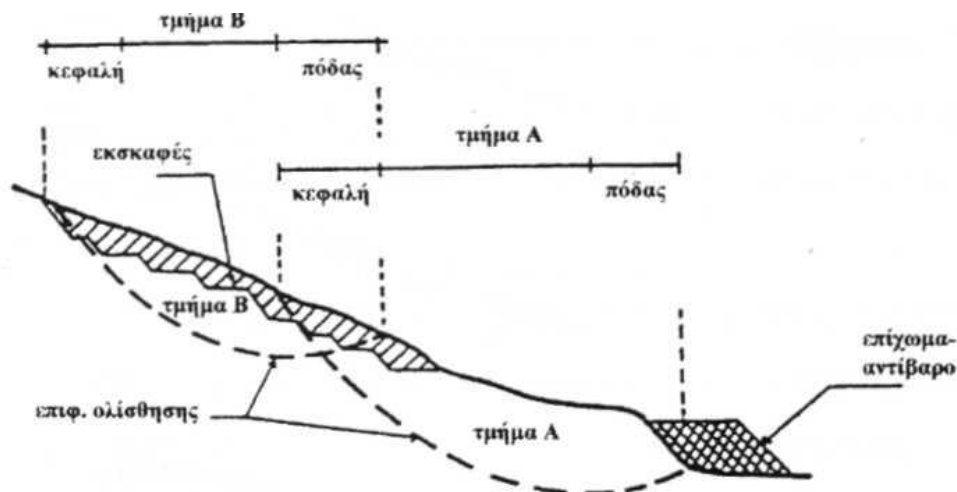
B) Κατασκευή αντίβαρου (Counterweight fill works)

Η κατασκευή επιχωμάτων - αντίβαρων στον πόδα μιας κατολίσθησης, αποσκοπεί στη σταθεροποίηση τη με την εξισορροπιστική δράση του φορτίου που εισάγει (σχήμα 4.1.1). Το ύψος των έργων επιχωμάτωσης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μην υπερβαίνει τη φέρουσα ικανότητα του υπεδάφους, ενώ το υλικό κατασκευής του αντίβαρου πρέπει να επιτρέπει την ομαλή αποστράγγιση του πρανούς. Συγκεκριμένα, στον πόδα της κατολισθαίνουσας μάζας τοποθετούνται μεγάλοι ογκόλιθοι, πιο συχνά συρματοκιβώτια με προϊόντα εκβραχισμού, τα οποία λόγω του βάρους τους εμποδίζουν τη μετακίνηση των μαζών. Πολλές φορές τα υλικά φόρτισης του πόδα της κατολίσθησης προέρχονται από την αφαίρεση των υλικών από την κεφαλή της ίδιας, ενώ η τοποθέτηση αδρομερών υλικών στον πόδα, έχει ως στόχο τη διαφυγή υπόγειου νερού από τη μάζα. Πρόκειται για μια συνήθη μέθοδο με μικρό κόστος που εφαρμόζεται κυρίως σε μικρές κατολισθήσεις, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος οδικών αρτηριών.

Στην κατασκευή απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή, διότι στη ζώνη του ποδός των κατολισθήσεων είναι πολύ συχνά έντονα κορεσμένη, διαταραγμένη και μαλακή. Έτσι, η ενδεχόμενη θραύση του εδάφους ή η γένεση πρόσθετων πιέσεων πόρων είναι πιθανό να δημιουργήσουν προβλήματα ευστάθειας. Αυτή η μέθοδος προτιμάται, αφού δύσκολες επεμβάσεις με λιθοδομές ή τσιμεντοδομές αποφεύγονται.

Γενικά, η φόρτιση του πόδα αποδεικνύεται αποτελεσματική όταν η κλίση του επιπέδου ολίσθησης στην κεφαλή όπου θα αφαιρεθεί το υλικό είναι μικρότερη από

40° και όταν τα στρώματα στα οποία εναποτίθεται το υλικό αποστραγγίζονται, διαφορετικά και το νέο αυτό υλικό θα αποτελέσει τμήμα της κατολίσθησης και θα συμβάλλει στην περαιτέρω ενεργοποίηση της.



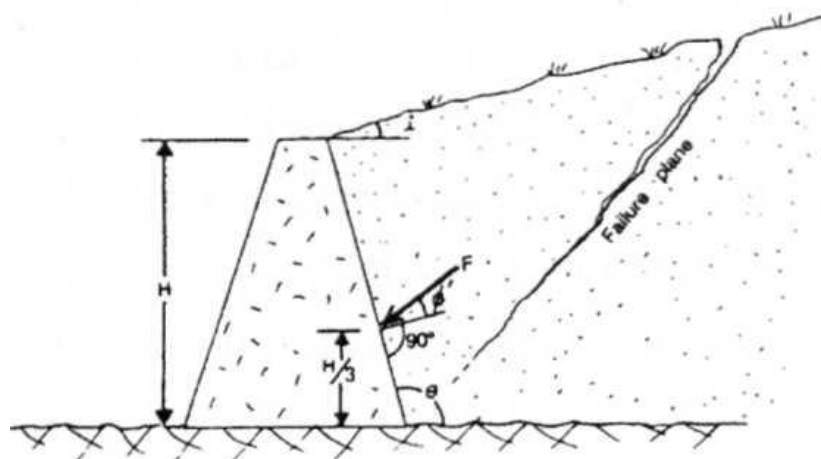
Σχ.4.1.1 Διάταξη συνδυασμένων έργων εκσκαφών και κατασκευής αντίβαρων.

Γ) Τοίχοι αντιστήριξης

Οι τοίχοι αντιστήριξης (retaining walls) είναι ένα σύνηθες μέτρο το οποίο λαμβάνεται κυρίως κατά μήκος του οδικού δικτύου και έχει ως στόχο τη στήριξη επιφανειακών εδαφικών και βραχωδών μαζών. Αν και εντάσσονται στα μέτρα συγκράτησης, οι τοίχοι αντιστήριξης δεν χρησιμοποιούνται παρά μόνο σε ελάχιστες περιπτώσεις πολύ μικρών κατολισθήσεων ή στην περίπτωση που δεν είναι δυνατόν να ληφθούν άλλα μέτρα (σχήμα 4.1.2). Πιο συχνά χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τις αγκυρώσεις. Είναι γενικά ισχυρές κατασκευές που δέχονται μεγάλα φορτία, γι' αυτό κρίνονται αντιοικονομικές και με συζητήσιμα αποτελέσματα.

Οι διαστάσεις τους, ο τρόπος και τα υλικά κατασκευής και γενικότερα η αντοχή τους έχει άμεση σχέση με τον όγκο, τη φύση και τη μορφολογία των μαζών που επιδιώκεται να υποστηριχτούν. Η θεμελίωση του τοίχου αντιστήριξης πρέπει να γίνεται οπωσδήποτε στο υγιές υπόβαθρο, ενώ θα πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια για την αποστράγγιση των ανάντη μαζών μέσα από πυκνό δίκτυο οπών. Οι υψηλοί και μεγάλοι τοίχοι είναι δαπανηροί και επομένως η στατική αυτών απαιτεί ειδική προσοχή. Υποβάλλονται σε μεγάλες οριζόντιες δυνάμεις για να επιτευχθεί η αύξηση της ευστάθειας του πρανούς ή για να αναχαιτιστούν και να σταθεροποιήσουν μεγάλες μάζες. Διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο κατασκευής τρεις τύποι τοίχων

αντιστήριξης: (i) οι άκαμπτοι με σκυρόδεμα, (ii) οι ημιάκαμπτοι με λιθοδομές και (iii) οι εύκαμπτοι με συρματοκιβώτια.



Σχ.4.1.2 Τοίχος αντιστήριξης

Δ) Προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα

Τα προστατευτικά συρμάτινα δίκτυα (wire mesh) τοποθετούνται κυρίως σε απότομα βραχώδη πρανή και κατά μήκος οδικών αρτηριών. Κατασκευάζονται από μεγάλης αντοχής σύρματα, έχουν ρομβοειδή πλέξη και στερεώνονται με χαλύβδινα καρφιά και οριζόντιους σωλήνες.

Η τοποθέτηση συρμάτινων δικτύων έχει ως στόχο τη συγκράτηση μικροτεμαχών τα οποία είναι δυνατό να καταπέσουν στο οδόστρωμα και να προκαλέσουν ατυχήματα. Το μέτρο συνδυάζεται με την κατασκευή τάφρων και τοίχων παγίδευσης καθώς και τοίχων συγκράτησης

Ε) Τοίχοι συγκράτησης

Οι τοίχοι συγκράτησης κατασκευάζονται κατά μήκος απότομων πρανών και έχουν ως σκοπό τη συγκράτηση των μετακινούμενων τμημάτων και την προστασία του πρανούς από την αποσάθρωση. Η κατασκευή τους αν και είναι δαπανηρή και συχνά υποδεικνύεται από την έλλειψη χώρου, για την ανάπτυξη άλλων έργων προστασίας από το πρανές και καθορίζεται σε κάθε μία περίπτωση από το είδος του πρανούς, το ύψος και τα φορτία που πρόκειται να δεχτεί. Συχνά οι τοίχοι συγκράτησης συνδυάζονται με αγκυρώσεις ή κοχλιώσεις και με κάλυψη της επιφάνειας του βράχου με σκυρόδεμα.

ΣΤ) Πάσσαλοι – Φρεατοπάσσαλοι

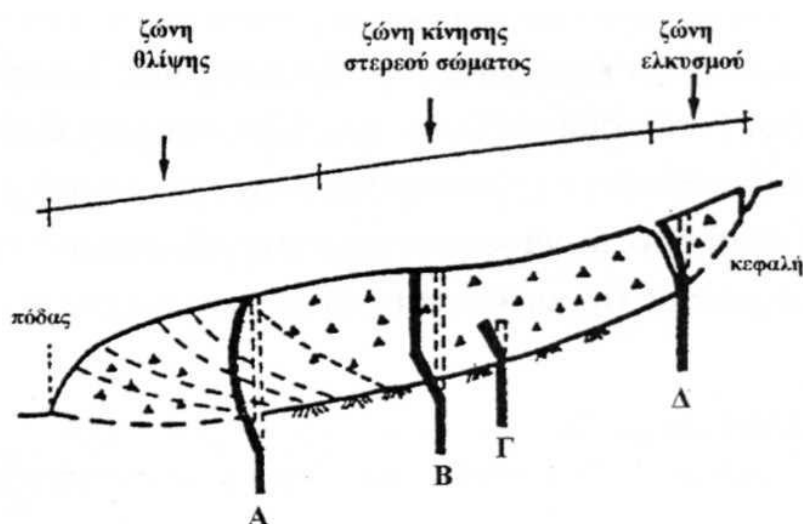
Η πασσάλωση είναι μια απλή μέθοδος αντιμετώπισης μετακινούμενων εδαφών και συνίσταται στην έμπηξη μέσα στο έδαφος κατακόρυφων πασσάλων σε μικρή απόσταση. Για καλύτερα αποτελέσματα η έμπηξη γίνεται σε όσο το δυνατό μεγαλύτερα βάθη, προκειμένου να στερεοποιηθούν στο σταθερό πέτρωμα κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης, ενώ για τη συγκράτηση μεγαλύτερων ποσοτήτων εδαφών στερεώνονται πάνω στους πασσάλους οριζόντιοι δοκοί, οι οποίοι καλύπτουν τη μεταξύ τους απόσταση. Γενικά πρόκειται για ένα μέτρο το οποίο μπορεί μόνο να αναχαιτίσει τη μετακίνηση των επιφανειακών μαζών και όχι για μέτρο συνολικής αντιμετώπισης του προβλήματος. Εφαρμόζεται κυρίως κατά μήκος οδικών αξόνων, όταν υπάρχει έλλειψη χώρου για την κατασκευή άλλων έργων αντιστήριξης.

Με την εξαίρεση των αβαθών κατολισθήσεων, οι δυνάμεις που ενεργοποιούν το πρυνές είναι πολύ μεγάλες και δεν είναι δυνατόν να αναχαιτισθούν από μια σειρά πασσάλων, καθώς παρατηρούνται κινήσεις του εδάφους ανάμεσα και γύρω από τους πασσάλους, ενώ συχνά αναπτύσσονται νέες επιφάνειες θραύσεις κάτω από το πυθμένα τους. Αβαθείς κατολισθήσεις, μπορεί να ελεγχθούν με πασσάλους, υπό την προϋπόθεση ότι θα έχουν αρκετά μεγάλη διάμετρο και θα οδηγηθούν αυτοί ικανοποιητικό βάθος για αρκετή ασφάλεια.

Η τοποθέτηση πασσάλων για την αναχαίτιση των κατολισθήσεων είναι μια μέθοδος ενίσχυσης των δυνάμεων που ανθίστανται στην ολίσθηση. Η βασική ιδέα της μεθόδου είναι απλή:

Οι πάσσαλοι διαπερνούν την μάζα της κατολίσθησης και πακτώνονται στο σταθερό υπόβαθρο, κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Η πολλαπλά μεγαλύτερη, σε σχέση με το έδαφος, ακαμψία τους και η σαφώς μεγαλύτερη αντοχή τους (καμπτική και διατμητική) βοηθούν τους πασσάλους να εκδηλώσουν την ευεργετική τους επίδραση στην ολισθαίνουσα μάζα. Αυτή η ευεργετική επίδραση εκδηλώνεται είτε με τη μορφή ωθήσεων που ασκεί ο πάσσαλος στην εδαφική μάζα που τον ωθεί, είτε με την μορφή αυξημένης τοπικά διατμητικής αντοχής κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης λόγω της ύπαρξης τώρα του υλικού του πασσάλου (φαινόμενο ήλωσης *dowelling effect*), είτε το συνηθέστερο με το συνδυασμό των δύο μορφών. Στο σχήμα 4.1.3 φαίνεται η απλοποιημένη τομή μιας τυπικής κατολίσθησης. Στη ζώνη θλίψης είναι φανερό ότι ο πάσσαλος συνεισφέρει στην ευστάθεια και με τους δύο τρόπους. Στη ζώνη «ολόσωμης» κίνησης, ο πάσσαλος εκμεταλλεύεται πλήρως το φαινόμενο ήλωσης (ήλωση δύο επιφανειών που ολισθαίνουν μεταξύ τους) και συνεισφέρει

ευεργετικά με την αυξημένη αντοχή του, ενώ στη ζώνη εφελκυσμού, ο πάσσαλος επιπονείται, όπως ακριβώς ένας τοίχος αντιστήριξης, συνεισφέροντας κυρίως με την ανάπτυξη ωθήσεων για την συγκράτηση της κεφαλής. Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό ότι ο τρόπος λειτουργίας των πασσάλων και κατά συνέπεια η αποτελεσματικότητά τους, εξαρτάται άμεσα από τη θέση του πασσάλου στην ολισθαίνουσα μάζα.



Σχ.4.1.3 Τρόποι λειτουργίας πασσάλων σε κατολίσθηση

Z) Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα

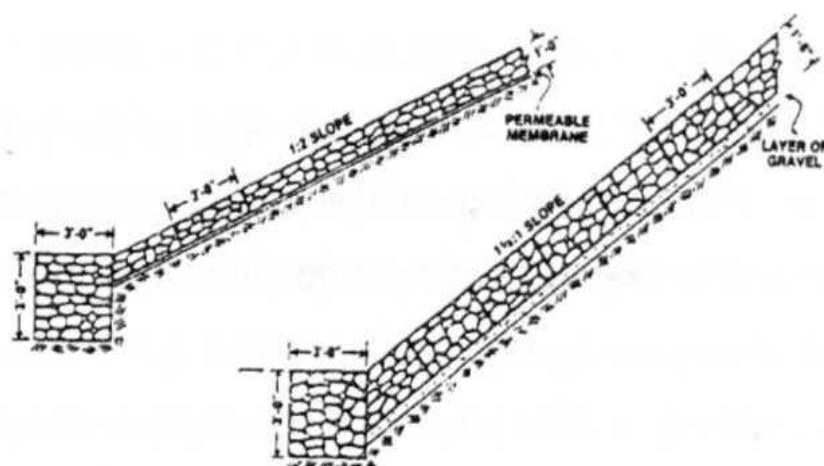
Πρόκειται για μέτρο που λαμβάνεται σε απότομα βραχώδη πρανή για τη συγκράτηση μικροτεμαχών που πρόκειται να αποσπαστούν και να καταπέσουν. Εκτός από τη συγκράτηση, η εκτόξευση σκυροδέματος (gunite-shotcrete) έχει σα στόχο επίσης και τη προφύλαξη των πετρωμάτων του πρανούς από τη δράση του μετεωρικού ύδατος το οποίο διεισδύει στη μάζα τους. Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα αποτελείται συνήθως από τσιμέντο, αμμοχάλικο, νερό και συγκεκριμένα χημικά υλικά (επιταχυντές).

Το μέτρο εφαρμόζεται ταυτόχρονα με την τοποθέτηση συρμάτων δικτύων συγκράτησης, με αγκυρώσεις και ηλώσεις. Το πάχος του σκυροδέματος είναι συνήθως 5-20 cm και στο κατώτερο τμήμα του πρανούς τοποθετούνται μικροί πλαστικοί σωλήνες αποστράγγισης για την έξοδο του νερού που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του. Τελευταία, για την κάλυψη απότομων βραχωδών πρανών χρησιμοποιείται μίγμα τσιμέντου και χημικών ενώσεων ή μόνο χημικές ενώσεις ανάλογα με τη μορφή του πρανούς, το είδος των πετρωμάτων του και τις κλιματικές

συνθήκες. Πρόκειται για μέτρο με μικρό σχετικά κόστος, για τη σταθεροποίηση τεχνητών βραχωδών πρανών κατά μήκος οδικών αρτηριών, σιδηροδρομικών γραμμών και σε περιοχές όπου υπάρχουν ή κατασκευάζονται μεγάλα τεχνικά έργα.

Η) Συρματοκιβώτια

Για την αύξηση της συνοχής χαλαρών πετρωμάτων και κυρίως για την προστασία αυτών από τη δράση διαβρωτικών -αποσθρωτικών παραγόντων, χρησιμοποιείται η τοποθέτηση συρματινών πλεγμάτων με χαλίκια (συρματοκιβώτιο - σαρζανέτι) κοντά στον δάκτυλο της ασταθούς μάζας (σχήμα 4.1.4) Πρόκειται για ένα ορθογώνιο καλάθι που χωρίζεται με εγκάρσια διαφράγματα σε μικρότερα ορθογώνια που γεμίζονται με πέτρες. Το καλάθι κατασκευάζεται από γαλβανισμένο χαλύβδινο δικτυωτό. Πρόκειται για εύκαμπτες και διαπερατές κατασκευές που τείνουν να παραμορφωθούν και όχι να σπάσουν από το βάρος των βράχων που φτάνουν σε αυτές.



Σχ.4.1.4 Η χρήση συρματοκιβωτίων για τη σταθεροποίηση και την επιφανειακή προστασία των πρανών.

Θ) Κοχλιώσεις

Η κοχλίωση γίνεται με μεταλλικά καρφιά, τα οποία τοποθετούνται μέσα σε διάτρητες μεταλλικές θήκες (τοποθέτηση με περιστροφή - βίδωμα), οι οποίες έχουν πρώτο- τοποθετηθεί μέσα σε οπές που έχουν ανοιχτεί στο πρανές. Για καλύτερα αποτελέσματα, οι μεταλλικές θήκες πριν τοποθετηθεί ο κοχλίας γεμίζονται από τσιμέντο, έτσι ώστε, όταν στη συνέχεια εισάγεται ο κοχλίας, το τσιμέντο να ωθείται δια μέσου των οπών στο περιβάλλον πέτρωμα, με αποτέλεσμα την καλύτερη συγκράτηση. Συνήθως εφαρμόζονται σε βραχώδη πρανή με πολλές ασυνέχειες, ενώ το μήκος του κάθε κοχλία μπορεί να φθάσει και τα 10 μέτρα.

Για την κατανομή της υποστήριξης των κοχλιώσεων σε μια μεγαλύτερη επιφάνεια του πρανούς και την ελαχιστοποίηση του αριθμού των απαιτούμενων κοχλιών χρησιμοποιείται η *αγκύρωση δοκών*. Οι δοκοί κατασκευάζονται είτε από σκυρόδεμα είτε από κοχλίες και τοποθετούνται με οποιοδήποτε προσανατολισμό σε σχέση με την επιφάνεια του βράχου. Ενδείκνυται η χρησιμοποίησή τους στις βαριές ασταθείς πλάκες βράχων και στις περιπτώσεις που απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή των σημειακών φορτίων των αγκυρώσεων ή κοχλιώσεων.

Οι κοχλιώσεις σε συνδυασμό με ήλωση μπορούν να στερεώσουν μικρούς βράχους όταν χρησιμοποιούνται με πρόσδεση συρματόσχοινων, να σταθεροποιήσουν ζώνες θραυσμένου πετρώματος όταν χρησιμοποιούνται με συρμάτινα δίχτυα και επικάλυψη με κονίαμα και αγκυρώνουν αντηρίδες και δοκούς. Αγκυρώνουν επίσης δικτυωτά ή μεταλλικά πλέγματα και καλώδια, πλέγματα παγίδευσης, συρματινούς τοίχους παγίδευσης, προβόλους κλπ.

Ι) Ηλώσεις

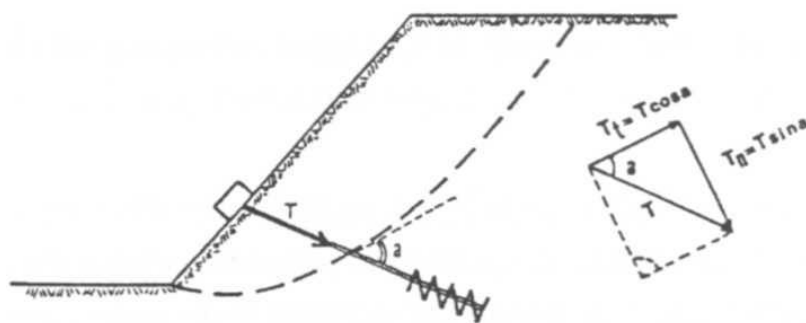
Η μέθοδος των ηλώσεων, που έχει μεγάλη εφαρμογή στην κατασκευή σπράγγων, χρησιμοποιείται επίσης για να εμποδίζει κινήσεις βραχωδών πρανών και πολλές φορές για να σταθεροποιεί κατολισθήσεις βράχων. Σήμερα εφαρμόζεται και στη σταθεροποίηση εδαφικών πρανών σε συνδυασμό με τοίχους αντιστήριξης.

Η ήλωση γίνεται με μεταλλικά καρφιά μήκους ως 5 μέτρα περίπου, τα οποία τσιμεντώνονται μέσα στη βραχομάζα αυξάνοντας τη διατμητική αντίσταση κατά μήκος των ασυνεχειών. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την υποστήριξη του πρανούς και για την πρόσδεση πάνω στα καρφιά συρματινών δικτύων και καλωδίων για την αύξηση της διατμητικής αντίστασης στο δάκτυλο και τις πλευρές των τοίχων συγκράτησης.

Κ) Αγκυρώσεις

Οι αγκυρώσεις (rockbolts) γίνονται εκεί όπου πρόκειται να συγκρατηθούν μεγάλου όγκου βραχώδεις μάζες. Η αγκύρωση πρέπει να γίνεται στο υγιές και σχετικά σταθερό πέτρωμα πέρα από την επιφάνεια θραύσης ή την αναμενόμενη επιφάνεια θραύσης, ενώ πολλές φορές γίνεται παράλληλα και χρήση ενέματος (υλικό πάκτωσης: τσιμεντοκονίαμα, ρητίνες), το οποίο δίνει καλύτερα αποτελέσματα λόγω του «δεσίματος» του αγκυρίου με το περιβάλλον πέτρωμα. Υπάρχουν πολλοί τύποι αγκυρίων όπως αγκύρια διαστελλόμενης κεφαλής, αγκύρια πάκτωσης, πακτωμένα αγκύρια καλωδίου και αγκύρια τριβής. Σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται συνδυασμός αγκυρώσεων, τοίχων από οπλισμένο σκυρόδεμα, πασσάλων, με αποτέλεσμα η παρεχόμενη προστασία να είναι αυξημένη.

Οι αγκυρώσεις κατασκευάζονται αφ'ενός μεν για να αυξήσουν την αντοχή κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης με την κάθετη συνιστώσα T_n της δύναμης αγκύρωσης T , αφ' ετέρου δε για να ελαττώσουν τις δυνάμεις ολίσθησης με την εφαπτομενική συνιστώσα T_t . Σήμερα εφαρμόζονται και στη σταθεροποίηση εδαφικών πρανών, σε συνδυασμό με τοίχους αντιστήριξης (σχήμα 4.1.5).



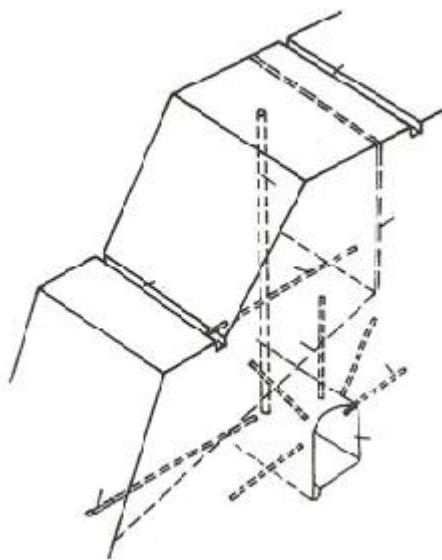
Σχ.4.1.5 Λειτουργία αγκυρώσεων ως σταθεροποιητικό μέσο

II) Αποστράγγιση του πρανούς

Τα μέτρα αποστράγγισης του πρανούς έχουν ως σκοπό να εμποδίσουν την ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων στην επιφάνεια ολίσθησης. Αν υπάρχουν εφελκυστικά ρήγματα, πιέσεις δε θα πρέπει να αναπτυχθούν πάνω σε αυτά. Ένα σύστημα αποστράγγισης είναι επιτυχημένο όταν είναι σε θέση:

- Να εμποδίζει να διεισδύουν επιφανειακά νερά μέσα στο πρανές, τα οποία θα μπορούσαν να διεισδύουν μέσα από ρωγμές ή μέσα από εφελκυστικό ρήγμα. Η συγκέντρωσή τους στο πρανές θα μπορούσε να οδηγήσει στην ανάπτυξη φρεατίου ορίζοντα ή να επιβαρύνει έναν ήδη υπάρχοντα.
- Να εκτονώνει τις υδροστατικές πιέσεις στις περιοχές του εφελκυστικού ρήγματος και της επιφάνειας ολίσθησης. Η εκτόνωση των πιέσεων μπορεί να γίνει μέσω γεωτρήσεων, οι οποίες κατασκευάζονται από τις ελεύθερες επιφάνειες του πρανούς ή μέσω αποστραγγιστικών στοών.

Το σχήμα 4.1.6 που ακολουθεί παρουσιάζει παραστατικά τα αποστραγγιστικά έργα που είναι δυνατό να γίνουν σε ένα πρανές.



Σχ.4.1.6 Μέτρα διευθέτησης της επιφανειακής απορροής και μέτρα εκτόνωσης της υδροστατικής πίεσης.(γεωτρήσεις για την εκτόνωση των πιέσεων και η αποστραγγιστική στοά στη βάση του τεχνητού πρανούς),(Hoek, Bray,1981)

A) Διευθέτηση της επιφανειακής απορροής

Επιτυγχάνει τη συλλογή κι απομάκρυνση των επιφανειακών υδάτων από δύο περιοχές: i) Από την περιοχή που βρίσκεται πίσω από το εφελκυστικό ρήγμα, ώστε να μην μπορούν τα νερά να φτάσουν σε αυτό και να διεισδύουν στο πρανές και ii) από την περιοχή που βρίσκεται ανάμεσα στην ακμή του πρανούς και στο εφελκυστικό ρήγμα. Στις δύο αυτές περιοχές κατασκευάζονται συλλεκτήριοι αύλακες με κλίση, ώστε το νερό να μπορεί να διαφεύγει εύκολα. Η περιοχή η οποία βρίσκεται ανάμεσα στην ακμή του πρανούς και του εφελκυστικού ρήγματος, ισοπεδώνεται με τέτοια κλίση ώστε να μη λιμνάζουν τα νερά. Η περιοχή αυτή μπορεί να επιστρωθεί με αδιαπέρατη εδαφική στρώση ή με γεωύφασμα. Αν το εφελκυστικό ρήγμα είναι ορατό και η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονες βροχοπτώσεις, τότε αυτό θα πρέπει να σφραγίζεται με αδιαπέρατο εδαφικό υλικό (άργιλο), ώστε να εμποδίζεται η είσοδος του νερού μέσα από αυτό.

B) Εκτόνωση των υδροστατικών πιέσεων

Έχουν ως σκοπό την εκτόνωση των υδροστατικών πιέσεων στο εφελκυστική ρωγμή και στην επιφάνεια ολίσθησης. Για την απομάκρυνση των υδάτων από τη ρωγμή, κατασκευάζονται από την όψη του πρανούς οριζόντιες γεωτρήσεις οι οποίες φτάνουν μέχρι τη ρωγμή. Οι γεωτρήσεις αυτές κατασκευάζονται στη βάση του πρανούς, ώστε η στάθμη του νερού στο ρήγμα να διατηρείται όσο το δυνατό χαμηλότερη. Για να αποστραγγιστεί το νερό από την επιφάνεια ολίσθησης κατασκευάζονται από την ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς κατακόρυφες γεωτρήσεις, οι οποίες εξοπλίζονται με υποβρύχιες αντλίες. Ο κάνναβος των γεωτρήσεων εξαρτάται από τη συναρμογή του γεωυλικού.

Όταν οι συνθήκες ευστάθειας είναι κρίσιμες, τότε η αποστράγγιση γίνεται μέσω αποστραγγιστικής στοάς. Η στοά κατασκευάζεται κατά μήκος του πρανούς και τοποθετείται κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης. Από το εσωτερικό της κατασκευάζονται, σε συμμετρική διάταξη, ακτινικές γεωτρήσεις στις οποίες τοποθετείται διάτρητος σωλήνας (σχήμα 3.1.6).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

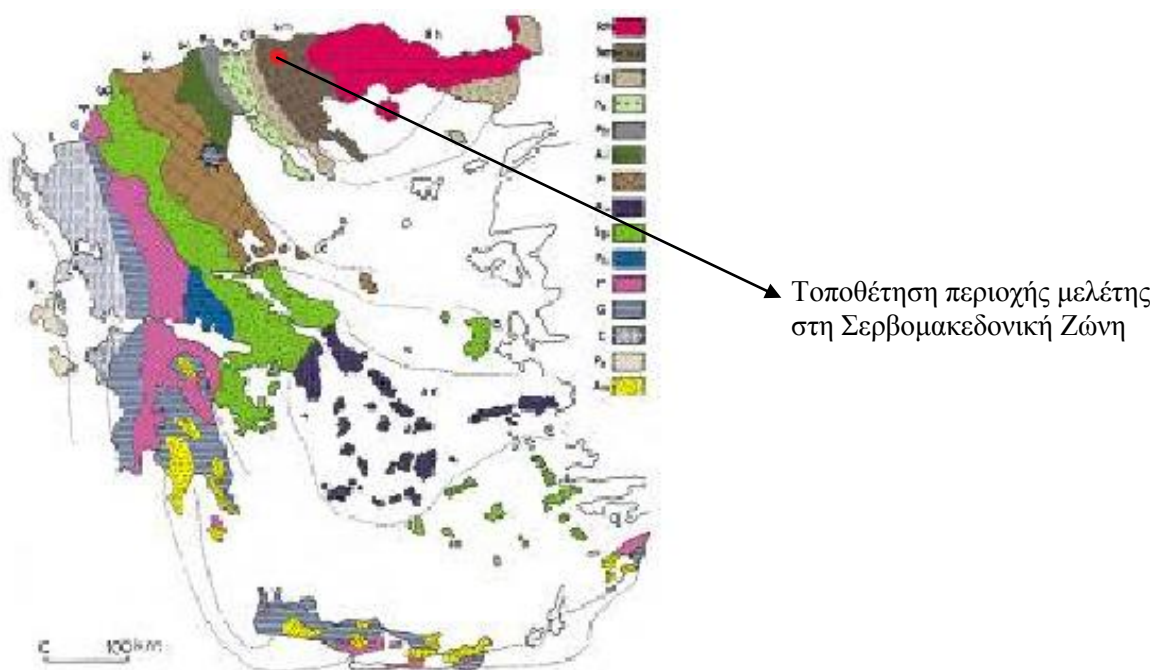
ΘΕΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

5.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.1.1 Εισαγωγή

Τα Άνω Πορρόια Σερρών, η περιοχή στην οποία βρίσκεται το πρυνές για το οποίο μελετάται η ευστάθεια, βρίσκεται ΒΔ της λίμνης Κερκίνης. Η περιοχή αυτή αποτελεί τμήμα της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία εκτείνεται Δυτικά του Στρυμόνα, από τα σύνορα μέχρι και τη Χαλκιδική.

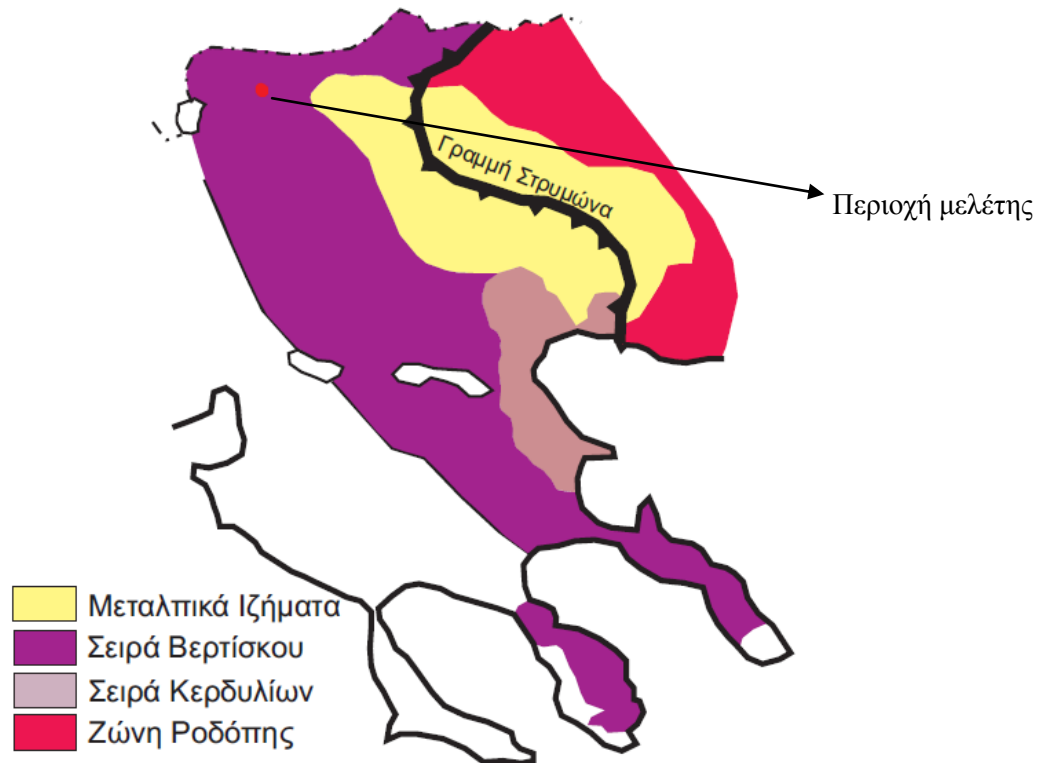
Η Σερβομακεδονική μάζα, σύμφωνα με τα μοντέλα των λιθοσφαιρικών πλακών που έχουν προταθεί μέχρι τώρα, θεωρείται ηπειρωτική μάζα, τμήμα της Λαυρασίας, μαζί με τη μάζα της Ρίλας – Ροδόπης. Η κοινή γεωτεκτονική τοποθέτηση των δύο μαζών στο περιθώριο της Λαυρασιατικής πλάκας έδωσε την ευκαιρία σε ορισμένους ερευνητές να διατυπώσουν την άποψη, ότι η Σερβομακεδονική αποτελεί μια ζώνη της ευρύτερης γεωτεκτονικής μονάδας της μάζας Ρίλα – Ροδόπης (χάρτης 5.1.1).



Χάρτης 5.1.1. Χάρτης γεωτεκτονικών ζωνών της Ελλάδας.
(Μουντράκης, 2010)

5.1.2. Λιθοστρωματογραφία του κρυσταλλοσχιστώδους

Το κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής διαιρείται σε δυο μεγάλες σειρές πετρωμάτων: την κατώτερη και αρχαιότερη σειρά των Κερδυλλίων και την ανώτερη(νεώτερη) σειρά του Βερτίσκου (σχήμα 5.1.2).



Σχ.5.1.2 Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής Ζώνης.
(Μουντράκης Δ.,2010)

Μεταξύ των δυο σειρών, σύμφωνα με τους ερευνητές που έκαναν την αρχική διαίρεση (Kockel & Walther 1968), υπάρχει συμφωνία και ομαλή μετάβαση της κατώτερης προς την ανώτερη. Φαίνεται όμως πιο πιθανό ότι ανάμεσα στις δυο σειρές - ενότητες υπάρχει τεκτονική επαφή, η φύση και η σημασία της οποίας δεν έχει ακόμη διευκρινισθεί.

α. Η σειρά των Κερδυλλίων

Καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμόνα και του Στρατωνίου, έχει συνολικό πάχος περίπου 3000 μέτρα και τα πετρώματα της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας και ίσως τους βαθύτερους ορίζοντες πετρωμάτων σ' όλη την Ελλάδα. Οι λιθολογικές φάσεις της σειράς από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους είναι οι εξής (Μουντράκης 2010):

1. Ανώτερο μάρμαρο, πάχους 30 έως 300 μέτρων, με παρεμβολές βιοτιτικών γνευσίων, βιοτιτικών - κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοτιτικών - ακτινολιθικών σχιστολίθων, και αμφιβολιτών
2. Βιοτιτικός ννεύσιος, πάχους 700 - 1000 μέτρων, με παρεμβολές βιοτιτικών - κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων.
3. Ενδιάμεσο μάρμαρο, πάχους 10-200 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.
4. Βιοτιτικός γνεύσιος, πάχους περίπου 1000 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπηριτικών πετρωμάτων.
5. Κατώτερο μάρμαρο, πάχους μέχρι 150 μέτρων.
6. Βιοτιτικός ννεύσιος, πάχους περίπου 700 μέτρων.

Κατά τον Δημητριάδη (1974), που μελέτησε τους ορίζοντες 4 - 6 της σειράς Κερδυλλίων, η γενική μεταμόρφωση των πετρωμάτων αυτών έγινε σε συνθήκες κορδιεριτικής - αμφιβολιτικής φάσης. Ειδικότερα οι βαθύτεροι ορίζοντες μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες σιλλιμανιτικής - κορδιεριτικής - καλιοαστριούχου - αλμανδινικής υπόφασης, που είναι η υψηλότερη υπόφαση της αμφιβολιτικής φάσης με συνθήκες θερμοκρασίας 670° - 680°C και πίεσης 3,5 Kbars. Στους ίδιους ορίζοντες διαπιστώθηκαν επίσης φαινόμενα ανάτηξης με σχηματισμό μιγματιτικών πετρωμάτων.

β. Η σειρά του Βερτίσκου

Βρίσκεται δυτικά της προηγούμενης σειράς, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι των συνόρων.

Συνίσταται από μια ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ιδίως ορίζοντες της επικρατούν οι μεταγάββροι - μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Συχνά επίσης παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα. Τα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες αλμανδινικής - αμφιβολιτικής φάσης.

γ. Συσχέτιση και ηλικίες των δυο σειρών

Η διάκριση των δυο σειρών στηρίχθηκε βασικά σε ορισμένες λιθολογικές διαφορές αυτών οι οποίες εντοπίζονται στα εξής:

- Ο βαθμός μεταμόρφωσης των πετρωμάτων θεωρήθηκε χαμηλότερος στη σειρά του Βερτίσκου κυρίως διότι παρατηρήθηκαν θέσεις με επίδραση πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.

- Στη σειρά των Κερδυλλίων μεγάλη είναι η παρουσία μαρμάρων συχνά σε ορίζοντες πολύ μεγάλου πάχους, σε αντίθεση με τη σειρά Βερτίσκου όπου η παρουσία των μαρμάρων είναι σπάνια και υπό μορφή λεπτών ενστρώσεων.

- Μέσα στα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου παρεμβάλλονται τεκτονικά σχιστοποιημένα σερπεντινικά σώματα που απουσιάζουν από τη σειρά Κερδυλλίων.

Παρ' όλες όμως τις διαφορές αυτές υπάρχουν και πολλές ομοιότητες μεταξύ τους, όπως είναι η παρουσία στις δυο σειρές των ίδιων λοιπών πετρωμάτων (γνευσίων και σχιστολίθων) καθώς και η παρουσία ίδιων τεκτονικών στοιχείων. Έτσι δεν μπορεί να αποκλεισθεί η πιθανότητα να πρόκειται για μια και μόνη, ενιαία μάζα κρυσταλλικών πετρωμάτων. Στο πνεύμα αυτό της ενιαίας μάζας τελευταία έγινε μια διαφορετική διαίρεση του ενιαίου κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής σε δύο ορίζοντες (Chatzidimitriadis et al in press):

- τον κατώτερο ορίζοντα των γνευσίων - μιγματιτών, και

- τον ανώτερο ορίζοντα των γνευσίων, σχιστολίθων, μαρμάρων και αμφιβολιτών.

Όσον αφορά τη μεταμορφική ιστορία της συνολικής κρυσταλλοσχιστώδους μάζας σήμερα πιστεύεται ότι δύο μεταμορφώσεις έχουν επιδράσει στα πετρώματα της:

- μια πρώτη μεταμόρφωση σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης που έλαβε χώρα στο

Παλαιozoικό (300 εκ. έτη), και μια δεύτερη ανάδρομη μεταμόρφωση σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης που χρονολογήθηκε με ραδιοχρονολογήσεις στο Κάτω - Μέσο Κρητιδικό (130 εκ. έτη).

Παρ' όλα αυτά, πολλές άλλες ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν για τη μεταμόρφωση έδωσαν ποικίλες ηλικίες (από Παλαιozoικές μέχρι Τριτογενείς) στα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας, γεγονός που εξηγείται σαν το αποτέλεσμα αναζωπυρώσεων που έλαβαν χώρα μετά την πρώτη κύρια μεταμόρφωση που πρέπει να ήταν παλιά, ίσως μάλιστα και Κατωπαλαιozoική όπως υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές. Φυσικά η απόθεση των αρχικών ιζημάτων, που στη συνέχεια έδωσαν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, μπορεί να ήταν ακόμη πιο παλιά πιθανόν και προκάμβρια.

5.1.3 Τεκτοορογενετική εξέλιξη

Η Σερβομακεδονική είναι μια μάζα κρυσταλλικών πετρωμάτων η οποία έχει υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι την τελική της διαμόρφωση. Η πρώτη κύρια τεκτονική δράση ήταν ασφαλώς προ-Ανω Παλαιozoική (τουλάχιστον προ-Πέρμιος) και σύμφωνα με τις απόψεις των Γιουγκοσλάβων γεωλόγων πρόκειται για μια προ-Κάμβριο ορογενετική περίοδο κατά την οποία μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής. Εντούτοις οι ραδιοχρονολογικές ενδείξεις που υπάρχουν στον Ελληνικό χώρο δείχνουν ότι η ορογενετική αυτή περίοδος πρέπει να είναι Ερκύνια, 300 εκ. ετών.

Κατά την ορογένεση αυτή δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές συμμεταμορφικές ως προς την πρώτη κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση, οι άξονες των οποίων έχουν γενική διεύθυνση και βύθιση προς Βορρά. Η δεύτερη ορογενετική περίοδος είναι Αλπική και τοποθετείται μεταξύ Ανωτέρου Ιουρασικού και Κάτω Κρητιδικού. Στην περίοδο αυτή έλαβε χώρα η δεύτερη ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση και η δεύτερη φάση πτυχώσεων που ήταν συμμεταμορφική και προκάλεσε πτυχές υποϊσοκλινείς οι άξονες των οποίων εμφανίζονται διεσπαρμένοι. Στην ίδια περίοδο εκδηλώθηκε και η τρίτη (Μεσοζωική) φάση μαγματισμού που δημιούργησε τους μεγάλους γρανιτικούς όγκους της μάζας. Μεταξύ Τέλους Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου έλαβαν χώρα οι τριτογενείς Αλπικές φάσεις πτυχώσεων οι οποίες δημιούργησαν λεπιώσεις των στρωμάτων, τοπικές και μεγάλες επωθήσεις, καθώς και μια αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό περιθώριο

της ζώνης που θα εξετασθεί στην επόμενη παράγραφο. Ανοιχτές πτυχές και πτυχές τύπου knick προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων Τριτογενών πτυχώσεων. Κατά πάσα πιθανότητα οι πτυχώσεις αυτές έγιναν σε τρεις διαδοχικές φάσεις: στο Τέλος Κρητιδικού, στο Πριαμόνιο του Άνω Ηωκαίνου και στο Ολιγόκαινο. Δεν έχουν ακόμη διευκρινισθεί οι δομές της κάθε μιας φάσης και η ακριβής χρονική διαδοχή τους στο χώρο της Σερβομακεδονικής.

5.2 ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Φυσικογεωγραφικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Τα Άνω Πορόια ανήκουν στον νομό Σερρών και συγκεκριμένα στον δήμο Σιντικής, της δημοτικής ενότητας Κερκίνης. Εκτείνονται στο δυτικό άκρο του νομού, στα σύνορα με τον νομό Κιλκίς (χάρτης 5.2). Ο νομός Σερρών χαρακτηρίζεται ως το δεύτερο από πλευράς καλλιεργούμενων εκτάσεων, μετά το νομό Λάρισας, καθώς το 48% της συνολικής έκτασης του νομού είναι πεδινό. Η Σερραϊκή πεδιάδα περικλείεται από τις οροσειρές Κερκίνης βορειοδυτικά, Μαυροβουνίου-Βερτίσκου δυτικά, Κερδυλλίων νοτιοδυτικά, από την οροσειρά του Παγγαίου νοτιοανατολικά και ανατολικά από τις οροσειρές Μενοικίου-Βροντούς. Μορφολογικά η πεδινή έκταση μπορεί να χωριστεί σε τρεις μικρότερες πεδιάδες, του Σιδηροκάστρου, των Σερρών και της Νέας Ζίχνης.

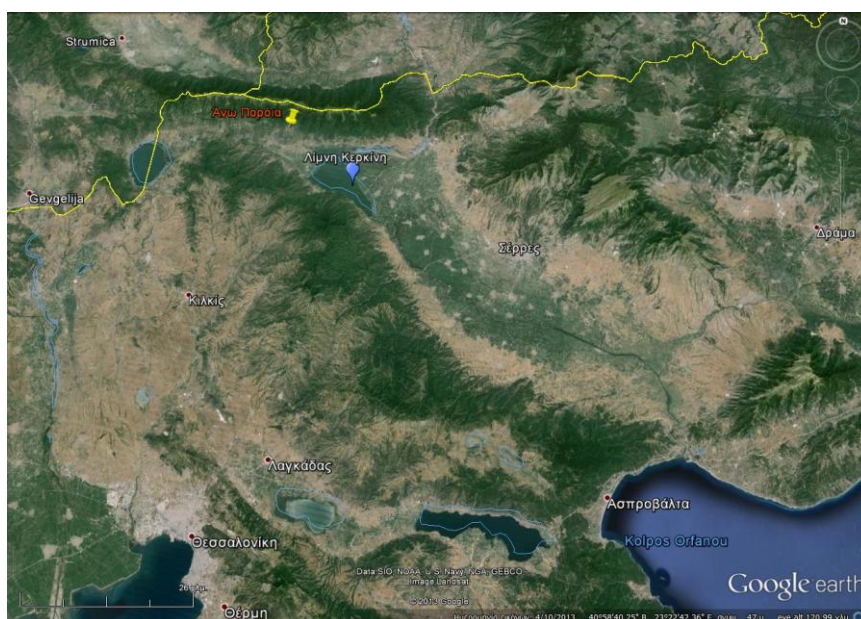
Πλούσιο είναι το υδρογραφικό δίκτυο του νομού. Διασχίζεται από τον ποταμό Στρυμόνα, που πηγάζει από τη Βουλγαρία, με διεύθυνση βορειοδυτικά-νοτιοανατολικά, και πηγάζει στον Στρυμονικό κόλπο, με κυριότερο παραπόταμο τον Αγγίτη, ο οποίος εκτείνεται στο ανατολικό τμήμα του νομού.



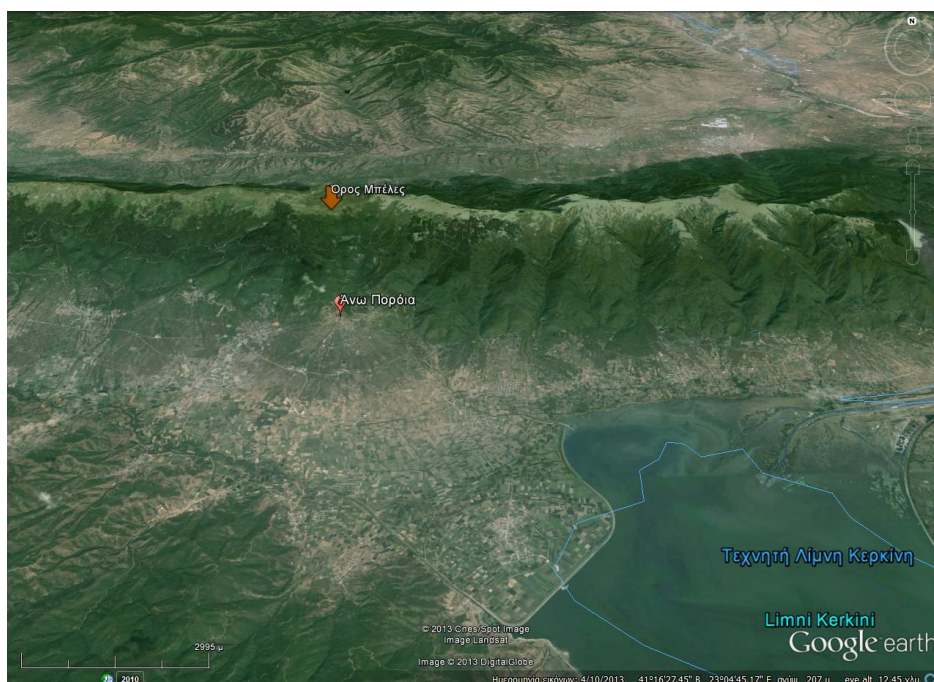
Χάρτης 5.2 Δορυφορικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του νομού Σερρών (με πλαίσιο σημειώνεται ο νομός Σερρών). Στο βορειοδυτικό τμήμα του πλαισίου διακρίνεται η λίμνη Κερκίνη, ενώ στο κέντρο του πλαισίου με πράσινο χρώμα απεικονίζεται η πεδιάδα του ποταμού Στρυμόνα. (maps.entercity.gr)

Ο οικισμός των Άνω Ποροίων είναι κτισμένος στα βορειοδυτικά της λίμνης Κερκίνης στους πρόποδες του όρους Μπέλες (εικ. 5.2.1), σε υψόμετρο 385 μέτρων, μέσα σε ένα δάσος από υπεραιώνόβια πλατάνια και κατοικούνται σύμφωνα με την απογραφή του 2011 από 970 κατοίκους. Η λίμνη Κερκίνη είναι μια τεχνητή λίμνη που δημιουργήθηκε το 1932 (με την κατασκευή του φράγματος) για τη διαχείριση των υδάτων του ποταμού Στρυμόνα. Συγκεκριμένα, σκοπός ήταν η προσπάθεια δημιουργίας αποθέματος νερού, ώστε να μην επηρεάζεται η άρδευση των καλλιεργειών σε περιόδους όπου η στάθμη του ποταμού έπεφτε επικίνδυνα. Η χωρητικότητα της λίμνης ξεπερνάει τα 300.000.000 m³ και η επιφάνειά της κυμαίνεται εποχικά από 54.000 έως και 72.000 στρέμματα. Πρόκειται για τον σημαντικότερο υδροβιότοπο της περιοχής, ο οποίος μάλιστα προστατεύεται, εκτός από το ελληνικό νομικό πλαίσιο και από τις διεθνείς συνθήκες, όπως η συνθήκη Ramsar που αφορά διεθνούς ενδιαφέροντος υγρά τοπία, αλλά και η συνθήκη Σ.Π.Π. η οποία αφορά Σημαντικές Περιοχές για Πουλιά.

Το όρος Μπέλες βρίσκεται ακριβώς πάνω στη συνοριακή γραμμή που διαχωρίζει την επικράτεια της Ελλάδας από αυτήν της F.Y.R.O.M και ανατολικότερα της Βουλγαρίας. Πρόκειται για ένα επιβλητικό βουνό με έντονη μορφολογία, με πλούσιο δάσος στις απότομες πλαγιές του, με άφθονες χαραδρώσεις, από όπου ξεκινούν πολλά μικρά ρέματα.



Εικ.5.2.1: Ο οικισμός των Άνω Ποροίων στα ΒΔ της λίμνης Κερκίνης.



Εικ.5.2.2: Το όρος Μπέλες και τα Άνω Πορόια στους πρόποδες του όρους .

Αξιοσημείωτη είναι η βλάστηση στην ευρύτερη περιοχή των Άνω Ποροίων, ανάλογα με τη μορφολογία του ανάγλυφου και του υψομέτρου. Λειμώνες εμφανίζονται κατά μήκος των ποταμών αλλά και στην περιοχή της Κερκίνης, καταλήγοντας στα δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων στα ορεινά προς το όρος Μπέλες. Διάφορα είδη δασών αναπτύσσονται, όπως είδη δρυός σε χαμηλά και μεσαία υψόμετρα, καθώς και φυτείες δασικής πεύκης και οξιάς στα μεγαλύτερα υψόμετρα.

Η κατασκήνωση όπου εκδηλώθηκε η κατολίσθηση στο πρανές της εισόδου της, εκτείνεται λίγο έξω από τον οικισμό βορειοδυτικά των Άνω Ποροίων. Όπως παρατηρείται από την δορυφορική εικόνα αλλά και από την αεροφωτογραφία (εικ.5.2.3), ο χώρος της κατασκήνωσης βρίσκεται μέσα σε ένα κοίλωμα πάνω στη ράχη του βουνού. Πιθανότατα το κοίλωμα αυτό είναι συνέπεια μιας παλιότερης κατολίσθησης, δικαιολογώντας τη μεγάλη παρουσία εδαφικού υλικού (υλικό αποσάθρωσης με μεγάλη παρουσία αργίλου) με όγκους μαρμαρυγιακού σχιστολίθου να βρίσκονται μέσα σε αυτό το οποίο επικάθεται πάνω στο μητρικό πέτρωμα του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου. Η πρόσφατη κατολίσθηση εκδηλώθηκε στο ανατολικό όριο της ευρύτερης παλιότερης κατολίσθησης, δίνοντας την κυκλική ολίσθηση μέσα στο εδαφικό υλικό.



Εικ.5.2.3: Ο χώρος της κατασκήνωσης που εκτείνεται μέσα στην ευρύτερη παλιότερη κατολίσθηση. Επίσης, σημειώνεται η κατολίσθηση του πρανούς στην είσοδο της κατασκήνωσης. Με γραμμές περικλείεται ο χώρος της παλιότερης κατολίσθησης. Η κάτω δεξιά φωτογραφία απεικονίζει την κατολίσθηση του πρανούς.

5.3 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.3.1. Γενικά θερμοκρασιακά και βροχομετρικά χαρακτηριστικά του νομού

Σερρών.

Στον ελλαδικό χώρο η κατανομή και η πορεία του υετού εμφανίζει πολλές ιδιομορφίες και παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον. Ο υετός δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στον ευρύτερο ελλαδικό χώρο, αλλά διαφοροποιείται από περιοχή σε περιοχή. Οι διαφοροποιήσεις αυτές που παρουσιάζει η κατανομή και η πορεία του υετού στην Ελλάδα οφείλονται σε πολλούς παράγοντες, με κυριότερους τη γεωμορφολογία της χώρας (ανάγλυφο, εναλλαγές ορεινών – πεδινών εκτάσεων), τις μεγάλες υψομετρικές διαφορές και την εναλλαγή της ξηράς με τη θάλασσα, την ύπαρξη τοπικών ανέμων, τις ατμοσφαιρικές διαταράξεις.

Στο νομό Σερρών το κλίμα παρουσιάζει διαφοροποιήσεις, εξαιτίας κυρίως των γεωμορφολογικών του χαρακτηριστικών. Διακρίνονται δύο κλιματικές ζώνες: α) η ζώνη του βόρειου τμήματος (στην οποία ανήκει η περιοχή μελέτης, τα Άνω Πορόια) και β) η ζώνη του νότιου και νοτιοανατολικού τμήματος του νομού. Η πρώτη χαρακτηρίζεται από δριμείς χειμώνες, αυξημένο ύψος βροχοπτώσεων και αραιή βλάστηση. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κατεβαίνει κάτω από τους 15 °C τον Οκτώβριο για να ανέβει ξανά τον Μάιο. Χαρακτηριστική είναι επίσης η συχνή εμφάνιση παγετού. Οι ψυχρότεροι μήνες της ορεινής αυτής ζώνης είναι ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

Η δεύτερη πεδινή κλιματική ζώνη χαρακτηρίζεται από χαμηλότερα ύψη βροχής σε σχέση με την πρώτη (οι οποίες κυμαίνονται από 500–600 mm) ενώ οι χειμώνες είναι σχετικά ήπιοι. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία τον Νοέμβριο είναι χαμηλότερη των 15 °C, ενώ παράλληλα εμφανίζονται φαινόμενα παγετού από τις αρχές κιόλας του μήνα. Ψυχρότερος μήνας θεωρείται ο Ιανουάριος, ενώ θερμότεροι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος.

Στον νομό Σερρών είναι εγκατεστημένοι μετεωρολογικοί σταθμοί τόσο δημόσιοι που ανήκουν στο Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ), στο Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών όσο και ιδιωτικοί. Ενδεικτικά στον πίνακα 5.3.1 αναφέρονται κάποιοι σταθμοί με τη γεωγραφική τους θέση, το υψόμετρο και τον φορέα διαχείρισής τους.

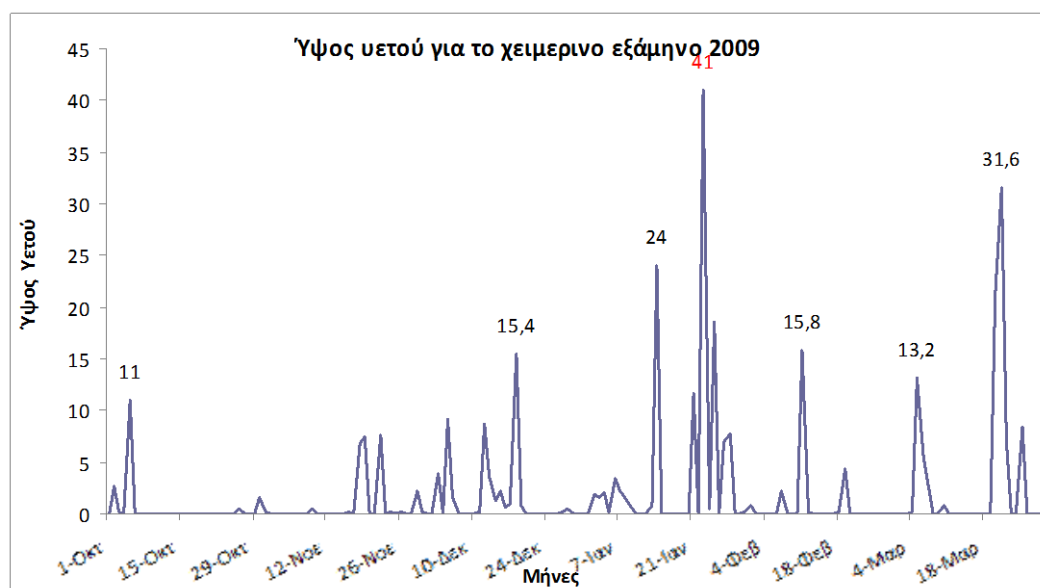
Πίνακας 5.3.1: Χαρακτηριστικά των βροχομετρικών σταθμών του νομού Σερρών

Σταθμός	Γεωγραφική θέση		Υψόμετρο (m)	Φορέας
	Γεωγραφικό Πλάτος (φ)	Γεωγραφικό Μήκος (λ)		
Αχλαδοχώρι	41.19	23.33	500	ΥΠΕΚΑ
Άνω Πορόια	41.17	23.02	394	ΥΠΕΚΑ
Αλιστράτη	41.04	23.58	300	ΥΠΕΚΑ
Κερκίνη	41.08	23.14	50	Ε.Α.Α
Λαϊλιάς (ορεινό καταφύγιο)	41.26	23.59	1515	Ε.Α.Α
Νιγρίτα	40.55	23.30	110	ΥΠΕΚΑ
Πρώτη Σερρών	40.94	24.00	325	Ι.Μ.Σ
Ορεινή	41.12	23.36	745	ΥΠΕΚΑ
Σέρρες	41.05	23.34	35	Ε.Α.Α

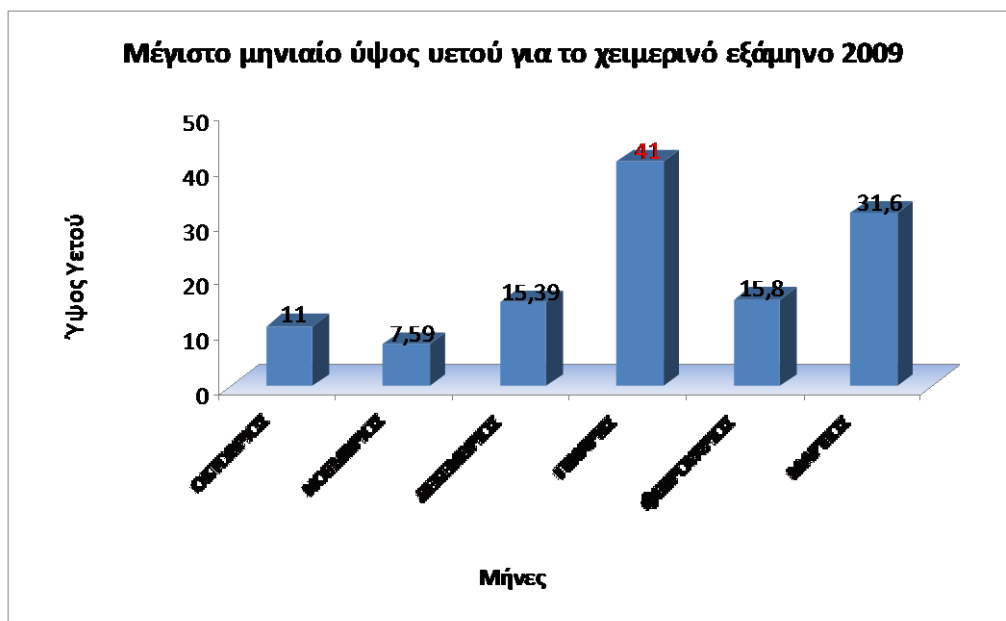
5.3.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Από τους μετεωρολογικούς σταθμούς που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, ο σταθμός των Ποροίων του οποίου τα δεδομένα ενδιαφέρουν την παρούσα εργασία για το διάστημα Ιουνίου του 2009 (περίοδος εκδήλωσης της κατολίσθησης στην κατασκήνωση), διαπιστώνεται ότι η λειτουργία του παύει το 2003. Ο αμέσως πιο κοντινός σταθμός είναι αυτός της Κερκίνης, που απέχει 9 km από τα Ποροία. Εντούτοις, βρίσκεται σε υψόμετρο μόλις 50m, ενώ η περιοχή ενδιαφέροντος (περιοχή μελέτης του πρανούς) στα 400 m, με αποτέλεσμα τα δεδομένα αυτά να παρουσιάζουν μικρότερα χιλιοστά υετού. Η διαφορά, δηλαδή, θα έγκειται στον αριθμό των χιλιοστών μεταξύ της Κερκίνης και των Ποροίων, όπου στην Κερκίνη θα είναι σαφώς μικρότερος. Όμως, η ένδειξη του γεγονότος των επεισοδίων βροχής, υψηλότερων χιλιοστών βροχής την περίοδο εκδήλωσης της κατολίσθησης σε σχέση με τους προηγούμενους μήνες, είναι εμφανής. Τα δεδομένα πάρθηκαν από το www.meteo.gr/data search και ύστερα έγινε η στατιστική τους επεξεργασία, όπως παρουσιάζονται παρακάτω.

Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η διακύμανση του ύψους του υετού για το χειμερινό και θερινό εξάμηνο του 2009. Στα διαγράμματα 5.3.2, 5.3.3 απεικονίζεται η μεταβολή του υετού για το χειμερινό εξάμηνο (Οκτώβρης – Μάρτιος), σημειώνοντας το μέγιστο ύψος τον Γενάρη στα 41mm.

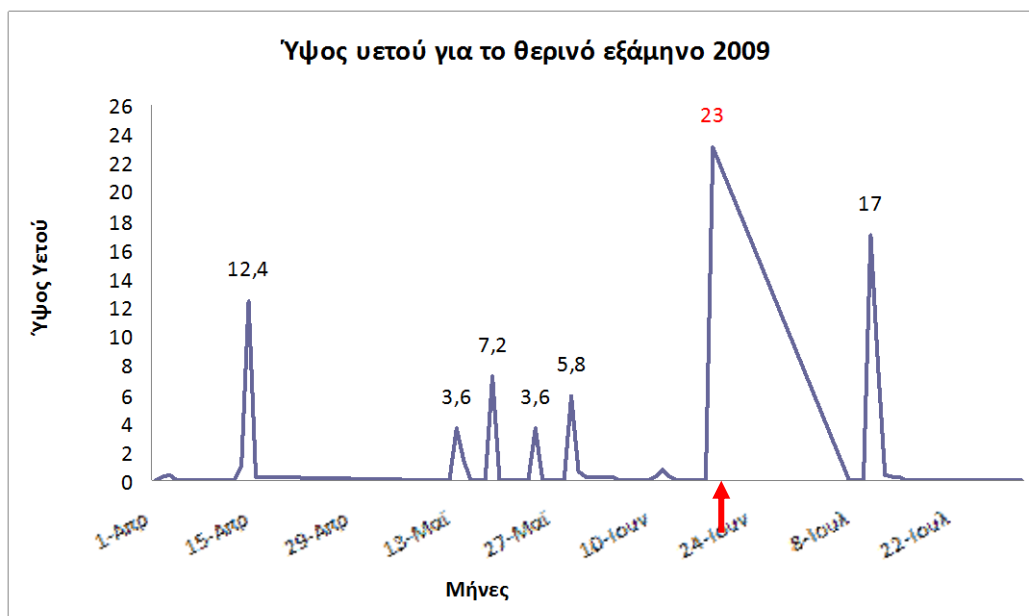


Διάγραμμα 5.3.2 Διακύμανση του υετού για το χειμερινό εξάμηνο 2009, στο σταθμό της Κερκίνης.

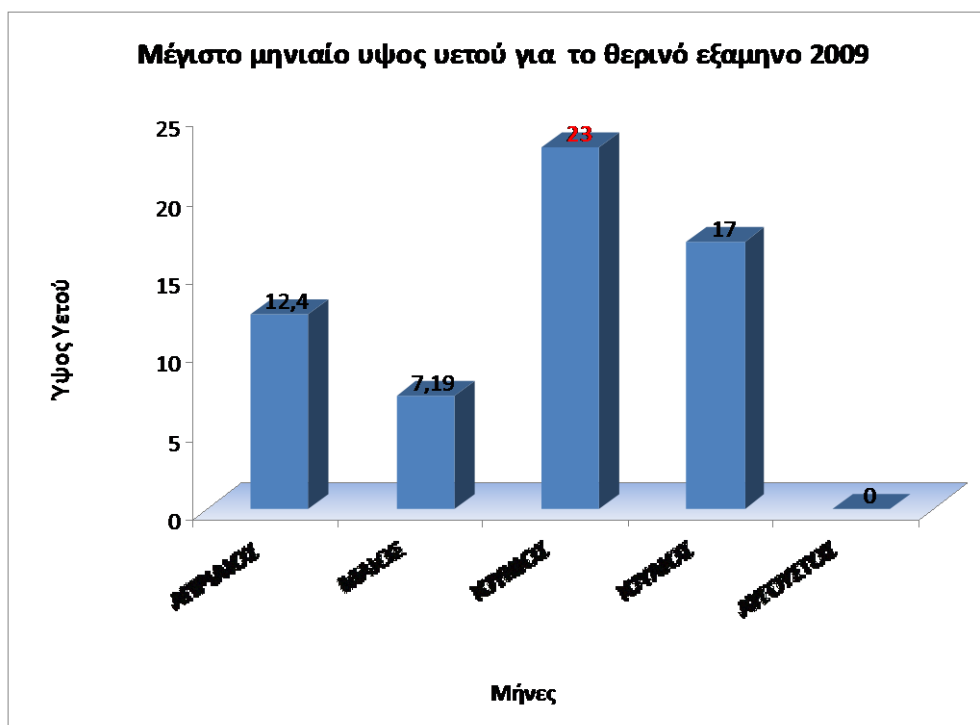


Διάγραμμα 5.3.3 Μέγιστο μηνιαίο ύψος υετού για το χειμερινό εξάμηνο 2009, στο σταθμό της Κερκίνης.

Ενώ στα διαγράμματα 5.3.4, 5.3.5 παρουσιάζεται αντίστοιχα, η διακύμανση του υετού για το θερινό εξάμηνο (Απρίλιος – Σεπτέμβρης), σημειώνοντας τα μέγιστα χιλιοστά τον Ιούνιο στα 23mm (περίοδος εκδήλωσης της κατολίσθησης στο πρανές της εισόδου της κατασκήνωσης).



Διάγραμμα 5.3.4 Διακύμανση του υετού για το θερινό εξάμηνο 2009, στο σταθμό της Κερκίνης. (Με κόκκινο βέλος σημειώνεται η περίοδος εκδήλωσης της κατολίσθησης).



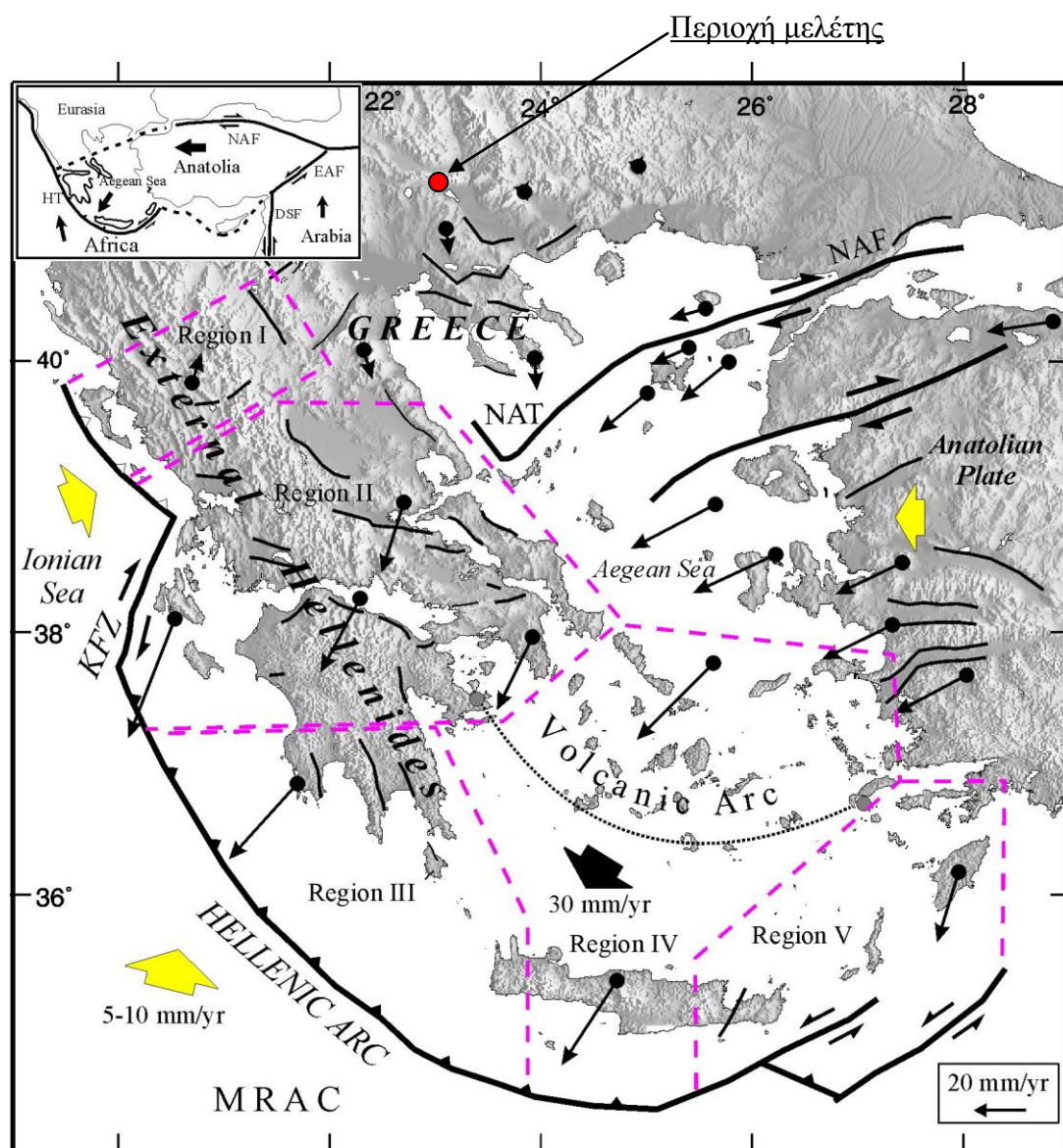
Διάγραμμα 5.3.5 Μέγιστο μηνιαίο ύψος υετού για το θερινό εξάμηνο 2009, στο σταθμό της Κερκίνης.

5.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

5.4.1 Σεισμικότητα του Ελλαδικού χώρου

Η Ελληνική χερσόνησος χαρακτηρίζεται από την υψηλότερη σεισμικότητα ανάμεσα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η σεισμικότητα αυτή οφείλεται στη θέση της ελληνικής χερσονήσου στο νότιο άκρο της Ευρωπαϊκής πλάκας, όπου και γίνεται η καταβύθιση της Αφρικανικής λιθόσφαιρας κάτω από την Ευρωπαϊκή πλάκα. Επιπλέον η Ελλάδα επηρεάζεται και από την πλευρική διαφυγή του λιθοσφαιρικού τεμάχους της Ανατόλιας προς τα ΝΔ. Οι κινήσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα να δημιουργείται μια πολύπλοκη γεωλογική εικόνα. Η χώρα μας διασχίζεται από πολλά ενεργά ρήγματα, στη δράση των οποίων τα τελευταία 1- 2 εκατομμύρια χρόνια οφείλονται κυρίως η διαμόρφωση και η ομορφιά του ελληνικού τοπίου, τα γεωθερμικά πεδία, οι σεισμοί (χάρτης 5.4.1).

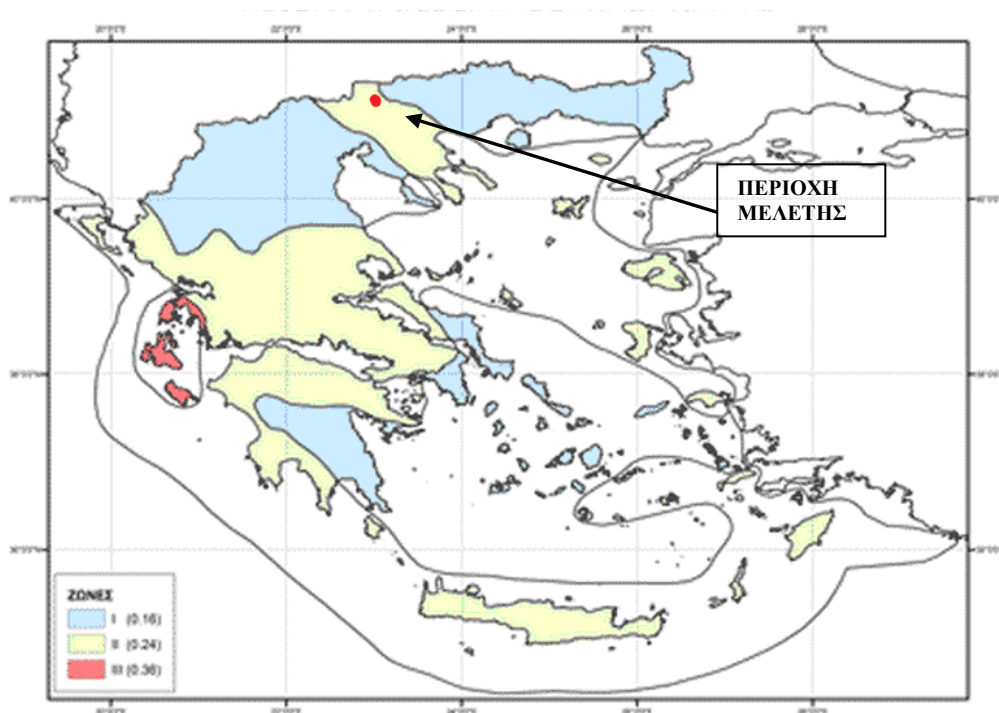
Η καταβύθιση της Αφρικανικής πλάκας δημιουργεί το ελληνικό τόξο, το οποίο είναι μια πολύπλοκη γεωλογική δομή. Η πολυπλοκότητά του οφείλεται στο ότι από βορειοδυτικά προς τα νοτιοανατολικά περιλαμβάνει ηπειρωτική σύγκρουση έως καταβύθιση ωκεάνιου φλοιού. Επίσης, αλλαγές παρατηρούνται και στην κλίση της καταβυθιζόμενης Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Αιγιακή πλάκα. Το ελληνικό τόξο μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του από τις ακτές της Δυτικής Ελλάδας προς την Νότιο Πελοπόννησο και προς τη Ρόδο. Οι αλλαγές που προαναφέρθηκαν εκφράζονται από την κινηματική των ρηγμάτων όπως αυτή καταγράφεται τόσο κατά μήκος του ελληνικού τόξου όσο και κάθετα ως προς αυτό. Η κινηματική των ρηγμάτων συντελεί στην εκδήλωση ισχυρών σεισμών που σχετίζονται με τρεις τύπους ρηγμάτων τα κανονικά στην ηπειρωτική Ελλάδα και οριζόντιας μετατόπισης ή ανάστροφα στο θαλάσσιο χώρο.



Χάρτης 5.4.1 . Χάρτης της Ελλάδας με τα κύρια τεκτονικά χαρακτηριστικά κατά μήκος του ελληνικού τόξου και τις ενεργές δομές στον Αιγαίο χώρο. Οι μέσες τιμές των οριζόντιων ταχυτήτων από GPS για την Αιγαϊκή πλάκα δίνονται με βέλη σε σχέση με την σταθερή Ευρασιατική πλάκα. Τα πολύγωνα περιλαμβάνουν τις διαφορετικές δομικές επαρχίες που παρουσιάζουν χαρακτηριστική παραμόρφωση. KfZ= Ρήγμα μετασχηματισμού της Κεφαλονιάς NAF= Ρήγμα μετασχηματισμού της Βόρειας Ανατολίας EAF= ανατολικό ρήγμα της Ανατολίας DSF= Ρήγμα της Νεκρά Θάλασσας NAT= Τάφος Βορείου Αιγαίου MRAC= Πρίσμα προσαύξησης της Μεσογειακής ράχης HT= Ελληνική Δίαυλος Στο ένθετο σχήμα (πάνω αριστερή γωνία) περιλαμβάνεται η θέση της Ελλάδας στην Ανατολική Μεσόγειο σε σχέση με τις λιθοσφαιρικές πλάκες. (από Kokkalas et al.2006, GSA Special Paper).

5.4.2 Σεισμικότητα της στενής περιοχής μελέτης

Η ενεργός τεκτονική και η πιθανότητα εκδήλωσης ενός γεωλογικού φαινομένου και ιδιαίτερα ενός σεισμού με έμφαση στις πρωτογενείς και δευτερογενείς επιπτώσεις του σε μία μικρή ή μεγάλη περιοχή, αποτελεί ένα βασικό στοιχείο στη μελέτη ευστάθειας του πρανούς. Στόχος είναι η πρόληψη των αστοχιών με τη λήψη κατάλληλων μέτρων και των επικείμενων καταστροφών, που είναι δυνατό να επιφέρει μία καταστροφή, όπως είναι η κατολίσθηση. Σύμφωνα με το χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, όπως αυτός τροποποιήθηκε μαζί με τις σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β'/12-08-03) και έχει τεθεί σε ισχύ από 01.01.2004, όλες οι περιοχές της Ελλάδας χωρίστηκαν σε 3 ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας, όπου η κάθε μία χαρακτηρίζεται από την αντίστοιχη επιτάχυνση σχεδιασμού. Ο σχετικός χάρτης, με τις τρεις κατηγορίες ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III) δίνεται παρακάτω μαζί με τις αντίστοιχες σεισμικές επιταχύνσεις (χάρτης 5.4.2).



Χάρτης 5.4.2: Οι τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας (I, II, III) στις οποίες χωρίστηκε ο Ελληνικός χώρος σύμφωνα με το νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Πάνω στο χάρτη σημειώνεται η περιοχή μελέτης. (ΕΑΚ 2003)

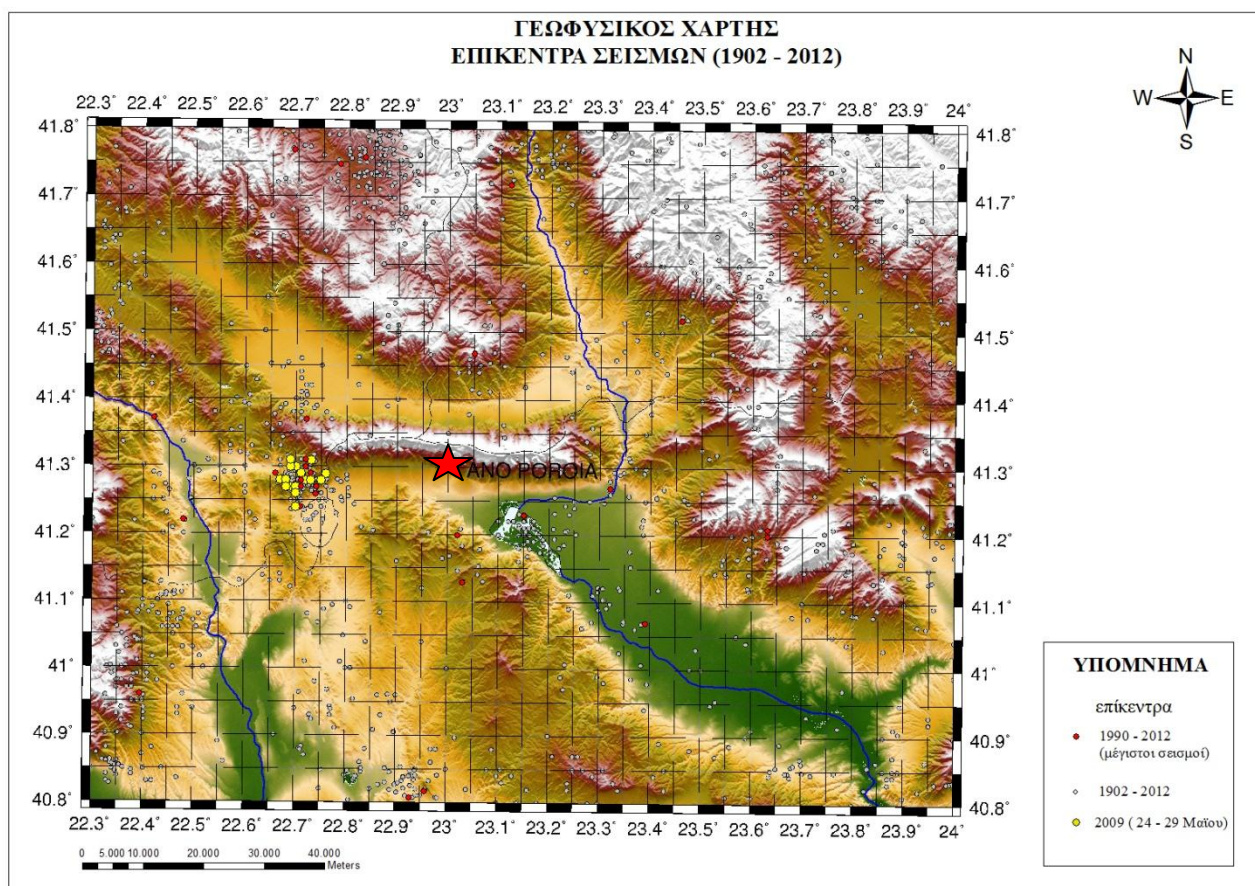
Η σεισμικότητα του νομού Σερρών η μεγαλύτερη έκτασή του, συγκρινόμενη με την εξαιρετικά μεγάλη σεισμικότητα άλλων ελληνικών περιοχών κατατάσσεται στη ζώνη χαμηλής σεισμικής επικινδυνότητας (Ζώνη Ι σύμφωνα με τον νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας). Εάν όμως συγκριθεί με τα δεδομένα του ευρύτερου Ευρωπαϊκού χώρου και εντασσόμενος στο σεισμοτεκτονικό περιβάλλον του Ελλαδικού χώρου, τότε θα πρέπει να καταταχθεί ανάμεσα στις σεισμικά ενεργείς περιφέρειες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό πιστοποιείται από ιστορικά δεδομένα και ενδεικτικά αναφέρεται ο σεισμός της 5^{ης} Μαΐου 1829 με μέγεθος $M = 7.3$ που ισοπέδωσε την Δράμα και είχε ένταση στην περιοχή Σερρών πάνω από 8, τον σεισμό της Κρέσνας (Βουλγαρία) της 4^{ης} Απριλίου 1904 μεγέθους $M = 7.7$ και έντασης πάνω από 7, τον σεισμό της Ιερισσού 26^{ης} Σεπτεμβρίου 1932 μεγέθους $M = 7.0$ και έντασης πάνω από 5, αλλά και τον σεισμό του Στίβου (Θεσσαλονίκης) της 20^{ης} Ιουνίου 1978 μεγέθους $M = 6.5$ και έντασης πάνω από 5. Μία σχετική μελέτη σεισμικότητας και σεισμικής επικινδυνότητας του νέου Νομαρχιακού νοσοκομείου Σερρών (Παπαζάχος & συνεργάτες, 1996), έδειξε ότι η ευρύτερη περιοχή μπορεί να αναμένει ένα σεισμό με μέγεθος πάνω από $M = 6.0$ με μέση περίοδο επανάλληψης κάθε 100-150 χρόνια (περιοχή Κερκίνης) ή 150-200 χρόνια (πόλη Σερρών)

Ο οικισμός των Άνω Ποροίων, ανήκει στο Νομό Σερρών και συγκεκριμένα βρίσκεται Βορειοδυτικά της λίμνης Κερκίνης. Η περιοχή αυτή όπως παρουσιάζεται στον χάρτη του ΕΑΚ ανήκει στη ζώνη ΙΙ ($\alpha = 0.24g$). Από ιστορική καταγραφή της σεισμικής δραστηριότητας του Νομού Σερρών, προκύπτει ότι ο νομός δεν αποτέλεσε στο παρελθόν εστία σεισμού μεγαλύτερου των 6 βαθμών της κλίμακας ρίχτερ. Ωστόσο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω αρκετά μεγάλοι σεισμοί εκδηλώθηκαν κατά καιρούς στις περιβάλλουσες περιοχές και ιδιαίτερα στους νομούς Θεσσαλονίκης, Χαλκιδικής, Δράμας, Πέλλας καθώς και στη Βουλγαρία. Στον πίνακα που ακολουθεί (πιν.4.4.2) παρουσιάζεται η καταγραφή των σεισμών για το διάστημα 1990 – 2012 (μέγιστος σεισμός κάθε έτους) σε ακτίνα μέχρι 50 km γύρω από τα Άνω Ποροία, με έμφαση όμως τον Μάιο του 2009 (δίνοντας τον μέγιστο σεισμό και τις μετασεισμικές ακολουθίες), την περίοδο δηλαδή που εκδηλώθηκε η κατολίσθηση στο πρανές της εισόδου στην Χριστιανική Κατασκήνωση «Ελπίς». Επίσης, ακολουθεί γεωφυσικός χάρτης όπου προβάλλονται τα επίκεντρα από το 1902 μέχρι το 2012 (χάρτης 5.4.2.1).

Πίνακας 5.4.2 Μέγιστοι σεισμοί ανά έτος, σε ακτίνα μέχρι 50 km από τον οικισμό των Άνω Ποροίων. Με κόκκινο σημειώνεται ο σεισμός που έλαβε χώρα την περίοδο εκδήλωσης της κατολίστησης και έπειτα ακολουθούν οι μετασεισμοί.

Έτος	Ημερομηνία	Γεωγραφική Θέση		Μέγεθος της κλίμακας Ρίχτερ
		Γεωγραφικό Πλάτος (φ)	Γεωγραφικό Μήκος (λ)	
1990	31/01	41.37	22.72	4.8
1991	25/10	41.27	23.32	4.6
1992	25/01	41.77	22.69	4.4
1993	16/12	41.47	23.05	4.7
1994	9/12	41.52	23.46	3.7
1995	5/01	40.82	22.96	4.4
1996	12/04	40.96	22.40	3.7
1997	13/05	41.20	23.63	4.1
1998	8/04	41.24	22.71	3.9
1999	7/09	41.23	23.15	3.7
2000	22/08	41.20	23.25	3.9
2001	28/05	41.75	22.78	3.5
2002	31/07	41.20	23.02	4.3
2003	9/11	41.72	23.12	4.1
2004	3/01	41.07	23.39	4.2
2005	20/04	40.81	22.93	4.2
2006	3/10	41.22	22.48	4.3
2007	4/08	41.21	23.63	3.8
2008	16/05	41.76	22.83	3.8
2009	24/05	41.30	22.72	5.1
2009	24/05	41.29	22.71	4.4
2009	24/05	41.28	22.67	3.1
2009	24/05	41.27	22.69	3.3
2009	24/05	41.24	22.70	3.1
2009	24/05	41.24	22.70	3.4
2009	24/05	41.28	22.72	3.4
2009	24/05	41.30	22.70	3.2

2009	24/05	41.30	22.69	3.2
2009	24/05	41.29	22.76	3.6
2009	24/05	41.28	22.73	4.8
2009	24/05	41.28	22.75	3.6
2009	24/05	41.28	22.68	3.7
2009	24/05	41.31	22.73	3.4
2009	24/05	41.27	22.70	3.1
2009	24/05	41.31	22.69	3.0
2009	24/05	41.26	22.70	3.3
2009	25/05	41.27	22.68	4.0
2009	26/05	41.27	22.71	3.2
2009	27/05	41.28	22.71	3.1
2009	27/05	41.29	22.66	3.0
2009	29/05	41.27	22.74	3.0
2009	1/06	41.26	22.74	4.3
2009	2/06	41.31	22.72	3.1
2010	15/06	41.13	23.03	3.8
2011	7/10	41.29	22.73	3.5
2012	27/08	41.37	22.42	3.4



Χάρτης 5.4.2.1: Γεωφυσικός χάρτης με τα επίκεντρα των σεισμών από το 1902 μέχρι το 2012, σε ακτίνα μέχρι 50km από τον οικισμό των Άνω Ποροΐων (ο χρονολογικός διαχωρισμός των επικέντρων και η αποτύπωση αυτών στον γεωφυσικό χάρτη έγινε με χρήση ArcGis). Με αστερίσκο επισημαίνεται το σημείο εκδήλωσης της κατολίσθησης

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η περιοχή των Σερρών και ειδικότερα η περιοχή μελέτης τα Άνω Ποροΐα δεν έχουν γίνει κατά το παρελθόν εστία πρόκλησης μεγάλων σεισμών, πάνω από 6 βαθμούς της κλίμακας ρίχτερ. Ωστόσο, σε γειτονικές περιοχές έχουν προκληθεί αξιοσημείωτοι (μεγαλύτεροι των 6.5 ρίχτερ) σεισμοί με καταστροφικές συνέπειες. Από τον πίνακα που παρατέθηκε παραπάνω για το διάστημα 1990 – 2012 η σεισμική δραστηριότητα ήταν μεγέθους με μέσο όρο των μέγιστων σεισμών 4.1 ρίχτερ και όπως φαίνεται από την προβολή των επικέντρων στον χάρτη 6.1.1 η εστία αυτής της σεισμικής δραστηριότητας ως επί των πλείστων ήταν η περιοχή της λίμνης Δοϊράνης, στα σύνορα με την Π.Γ.Δ.Μ. Στις 24 Μαΐου 2009 προκλήθηκε ο μεγαλύτερος σεισμός στα τελευταία 22 χρόνια με μέγεθος 5.1 ρίχτερ, με επίκεντρο 24km δυτικά των Άνω Ποροΐων, βόρεια της λίμνης Δοϊράνης στα σύνορα με τα Σκόπια. Τις επόμενες μέρες ακολούθησε έντονη μετασεισμική

δραστηριότητα δίνοντας δονήσεις μέχρι 4.8 ρίχτερ, ακολουθώντας έπειτα μια φθίνουσα πορεία.

Από τον χάρτη 5.4.2.2 που απεικονίζει τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελλαδικού χώρου, γίνεται αντιληπτή η σύνδεση των σεισμικών δραστηριοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, με τα αντίστοιχα ρήγματα.



Χάρτης 5.4.2.2: Χάρτης με τα μεγάλα ενεργά ρήγματα του Βόρειου Ελλαδικού χώρου και τις διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων που υπολογίστηκαν από σεισμολογικά δεδομένα (πράσινα βέλη), και από τεκτονικές μετρήσεις (μαύρα βέλη),(Παυλίδης Σ., 2003). Με αστερίσκο σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Αυτή η περίοδος προκαλεί έντονο ενδιαφέρον, καθώς το διάστημα που ακολούθησε προκλήθηκε η κατολίσθηση στο πρανές στην είσοδο της κατασκήνωσης, επιτείνοντας δηλαδή το πρόβλημα για την περίπτωση του υφιστάμενου πρανούς, το οποίο βρισκόταν ήδη σε οριακή κατάσταση ισορροπίας.

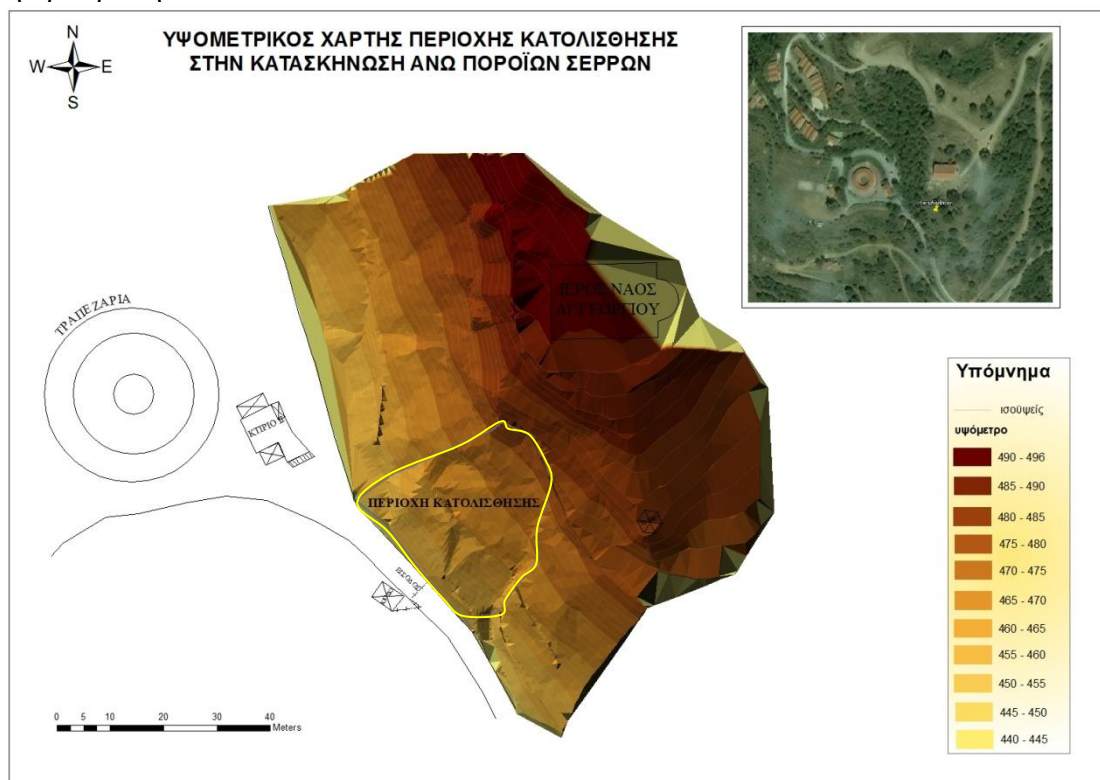
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

6.1 Περιγραφή της κατολίσθησης

Η κατολίσθηση εκδηλώθηκε τον Ιούνιο του 2009, στο πρανές που βρίσκεται μπροστά στην είσοδο των κατασκηνωτικών εγκαταστάσεων της Χριστιανικής Αδελφότητας «Ελπίς», στα Άνω Πορόια του Ν.Σερρών.

Το πρανές το οποίο παρουσίασε την αστοχία έχει ύψος 33 m και με διεύθυνση 250°/40. Βρίσκεται κατάντη του Ιερού Ναού Αγ. Γεωργίου, δεξιά του δρόμου που οδηγεί στην είσοδο της κατασκήνωσης (με κατεύθυνση βορειοδυτική), όπως παρουσιάζεται στον υψομετρικό χάρτη. (χάρτης 6.1). Το πρανές αποτελείται από διμαρμαρυγικούς σχιστόλιθους, που αποτελούν ένα μέρος της ανώτερης σειράς του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής, του Βερτίσκου, σε συνδυασμό με εδαφικό υλικό αποσάθρωσης (κορρήματα, με παρουσία αργιλικών υλικών) που εδράζεται επί του βραχώδους σχιστολιθικού υποβάθρου. Το μήκος της μέγιστης διατομής της κατολίσθησης είναι 30m και ο όγκος των κατολισθαίντων υλικών ήταν μεγάλος, όπως απεικονίζεται στην (εικ.6.1), καλύπτοντας την οδό προσπέλασης προς την κατασκήνωση, και απομακρύνθηκαν στη συνέχεια προκειμένου να διευκολυνθεί η πρόσβαση.



Χάρτης 6.1 Υψομετρικός χάρτης της περιοχής κατολίσθησης στην κατασκήνωση «Ελπίς». (Η κατασκευή του έγινε με χρήση GIS). Επισημαίνεται η περιοχή εκδήλωσης της κατολίσθησης στο πρανές. (Η τοπογραφία αναφέρεται στο διάστημα με την εκδήλωση της κατολίσθησης), στην πάνω δεξιά γωνία απεικονίζεται η ευρύτερη περιοχή της κατασκήνωσης,(Google Earth).



Εικ.6.1 Ο πόδας της κατολίσθησης στην είσοδο της κατασκήνωσης.
Το σώμα της κατολίσθησης αποτελείται από σχιστολοθικούς
όγκους μέσα σε εδαφικά υλικά αποσάθρωσης .



Εικ.6.2 Ο δρόμος πρόσβασης προς την κατασκήνωση και ένα μέρος
του όγκου των κατολισθαίντων υλικών που είχε καλύψει την οδό.



Εικ.6.3 Μετατόπιση στην κορυφή της κατολίσθησης



Εικ.6.4 Μερική άποψη από το πάνω μέρος του πρανούς που εκδηλώθηκε η κατολίσθηση που εκδηλώθηκε στις αρχές Ιουνίου του 2009.



Εικ.6.5 Η εκκλησία του Αγ. Γεωργίου στα 25m από το άνω όριο της κατολίσθησης.

Η εδαφική κατολίσθηση εκδηλώθηκε ύστερα από ένα διάστημα έντονων βροχοπτώσεων όπως αναλύθηκαν τα κλιματικά στοιχεία στο αντίστοιχο κεφάλαιο, καθώς και μιας σεισμικής δόνησης μεγέθους 5.1 της κλίμακας Ρίχτερ στις 24 Μαΐου 2009, με επίκεντρο κοντά στη θέση που εξετάζεται, με έντονη μετασεισμική δραστηριότητα δίνοντας δονήσεις μέχρι 4.8 Ρίχτερ, ακολουθώντας έπειτα μια φθίνουσα πορεία (βλ. ανάλυση στο αντίστοιχο κεφάλαιο). Όλες αυτές οι συνθήκες είχαν επιτείνει την κατάσταση του πρανού, το οποίο ήδη βρισκόταν σε μία οριακή ισορροπία, όπως διαπιστώνεται στην ανάλυση ευστάθειάς του παρακάτω.

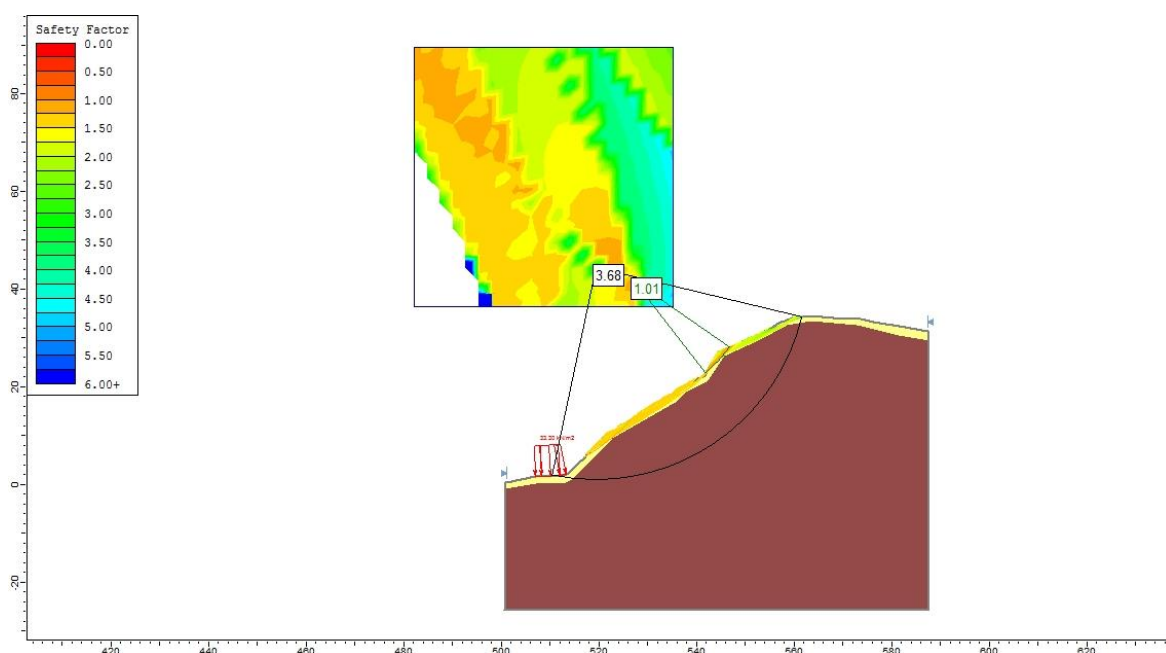
Σκοπός λοιπόν είναι να αναλυθεί η ευστάθεια του υφιστάμενου πρανού και να υποδειχθούν τα κατάλληλα μέτρα αντιμετώπισης της κατολίσθησης, έτσι ώστε να μειωθεί ο κατολισθητικός κίνδυνος, σε μια περιοχή ιδιαίτερης σημασίας, καθώς εκτός της υπάρχουσας κατασκήνωσης, ανάντη του πρανού και σε απόσταση 25m από το άνω όριο της κατολίσθησης βρίσκεται η εκκλησία του Αγ. Γεωργίου. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι κατάντη του δρόμου σε απόσταση 25m βρίσκονται ιδιωτικές κατοικίες.

6.2 Ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς

Η κατολίσθηση η οποία εκδηλώθηκε στο πρανές είναι μία κυκλική ολίσθηση η οποία εκδηλώθηκε στο εδαφικό υλικό το οποίο εδράζεται επί του μητρικού πετρώματος. Η ανάλυση της ευστάθειας του συγκεκριμένου πρανούς έγινε με τη χρήση του προγράμματος H/Y του Slide v.6.0 , και εξετάζονται οι πιθανές κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης του εδαφικού υλικού και του μητρικού πετρώματος, δίνοντας την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, δηλ. την επιφάνεια με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας. Τα αντίστοιχα μηχανικά χαρακτηριστικά, προσδιορίζονται εμπειρικά, τόσο για τα εδαφικά όσο και για τη βραχώμαζα (χρήση του προγράμματος RocLab για τον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο), λόγω απουσίας εκτέλεσης γεωτρήσεων στην περιοχή του πρανούς. Οι μηχανικές παράμετροι c (συνοχή) και ϕ (γωνία τριβής) υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος RocLab λαμβάνοντας υπόψη την κατάσταση της ποιότητας της βραχώμαζας (όσο αυτό είναι δυνατό να διαπιστωθεί λόγω του μεγάλου όγκου των χαλαρών αποθέσεων που βρίσκονται πάνω σε αυτή), όπου χαρακτηρίζεται χαμηλό, $GSI= 33-37$ (πολύ τεμαχώδης – φτωχή ποιότητα των ασυνεχειών). Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη (σ_{ci}) θεωρείται χαμηλή ίση με 35. Οι αναλύσεις έγιναν για ξηρές συνθήκες, για συνθήκες υγρές (με πίεση του νερού των πόρων), τόσο σε στατικές συνθήκες όσο και για δυναμικές συνθήκες, δηλ. λαμβάνοντας υπόψη τη σεισμική επιτάχυνση $a = 0.24g$, καθώς η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη II σύμφωνα με τον νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας. Η οριζόντια συνιστώσα a_h υπολογίζεται ότι είναι ίση με $a_h=0.12$ και η κάθετη συνιστώσα $a_v=0.06$ (σύμφωνα με το ΕΑΚ 2003, κεφ.5,παρ.5.4.1). Οι παράμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάθε μία περίπτωση, καθώς και οι κύκλοι ολίσθησης που προκύπτουν με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας (FS), παρουσιάζονται αμέσως παρακάτω. Σημειώνεται ότι η μέθοδος ανάλυσης που έχει ληφθεί υπόψη είναι η μέθοδος Spencer, διότι είναι η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τόσο τις διατμητικές όσο και τις κανονικές τάσεις, και είναι περισσότερο αξιόπιστη όταν απαιτείται μία πιο ολοκληρωμένη στατική λύση (βλ.αντίστοιχο κεφάλαιο ανάλυσης μεθόδων).

α) Στατικές συνθήκες (ξηρές)

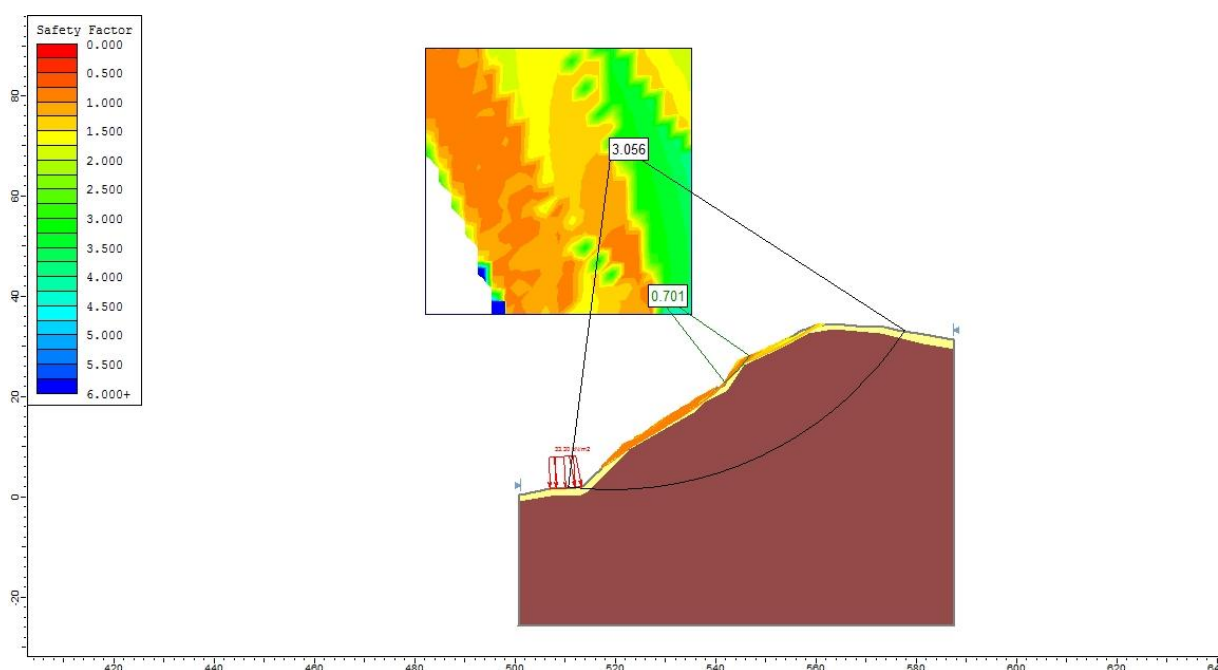
Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m ³)	Cohesion c (kN/m ²)	ϕ (°)	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Spencer)
Εδαφικό υλικό αποσάθρωσης	20	5	28	1.01
Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος	28	230	41	3.68



Σχ.6.2.1 Οι κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές - ξηρές συνθήκες (Με κίτρινο χρώμα απεικονίζεται το υλικό αποσάθρωσης το οποίο εδράζεται επί του μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου-καφέ χρώμα).

β) Στατικές συνθήκες (υγρές, με πίεση του νερού των πόρων)

Τύπος Γεωολογικού	Unit Weight γ (kN/m ³)	Cohesion c (kN/m ²)	ϕ (°)	Σταθερά R_u	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Spencer)
Εδαφικό υλικό αποσάθρωσης	20	5	20	0.2	0.70
Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος	28	230	38	0.2	3.05



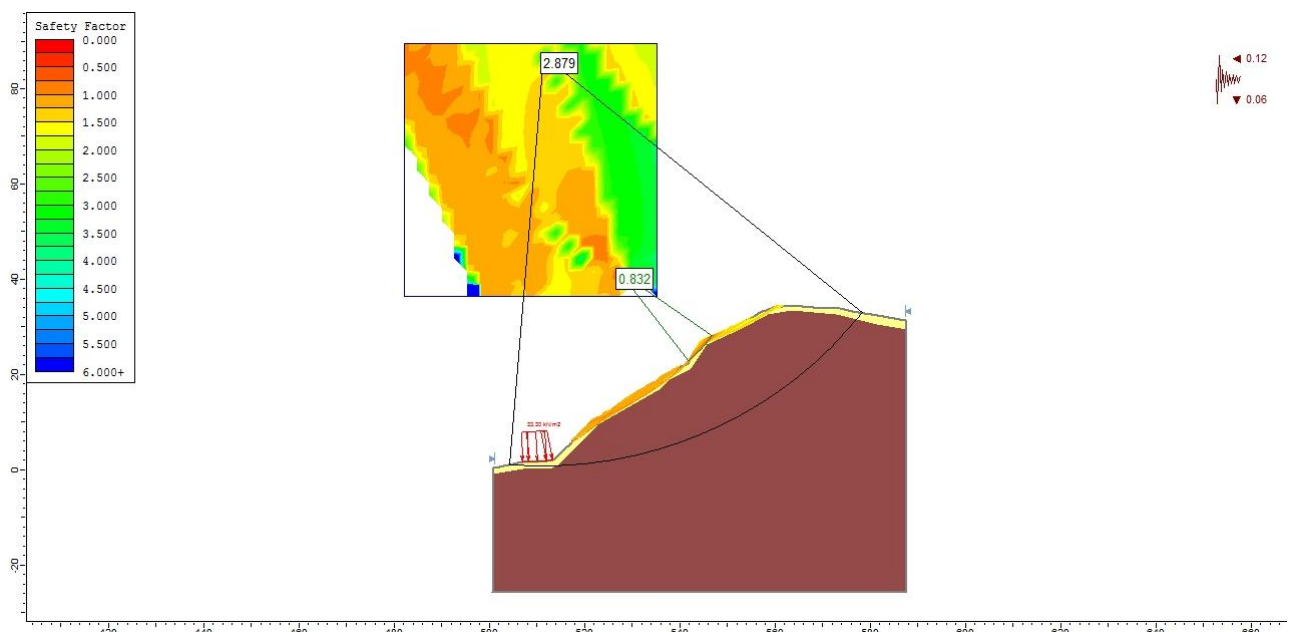
Σχ6.2.2 Οι κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε στατικές – υγρές συνθήκες.

Σύμφωνα με τα σχήματα 6.2.1 και 6.2.2 παρατηρείται ότι στη θέση που προσδιορίστηκε η εδαφική κατολίσθηση, το πρανές σε στατικές ξηρές συνθήκες βρίσκεται σε οριακή ισορροπία με συντελεστή ασφαλείας 1.01. Ο συντελεστής αυτός μειώνεται σημαντικά στα 0.70, με την παρουσία νερού, δηλ. έπειτα από έντονη ή παρατεταμένη βροχόπτωση. Μικρότερος δηλαδή της μονάδας δηλώνοντας αστάθεια και επικείμενη αστοχία. Τα υλικά αποσάθρωσης (κορρήματα), στα οποία παρατηρούνται οι κρίσιμες επιφάνειες ολίσθησης τα οποία εδράζονται επί του σχιστολιθικού πετρώματος, αποτελούνται από λεπτόκοκκα υλικά αργλικής

σύστασης, τα οποία δεν επιτρέπουν την αποστράγγισή τους και εξαιτίας της κλίσης του πρανούς και με τη βαρύτητα κατολισθαίνουν αργά. Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με πίεση πόρων $u = 0.2$.

γ) Δυναμικές συνθήκες (ξηρές)

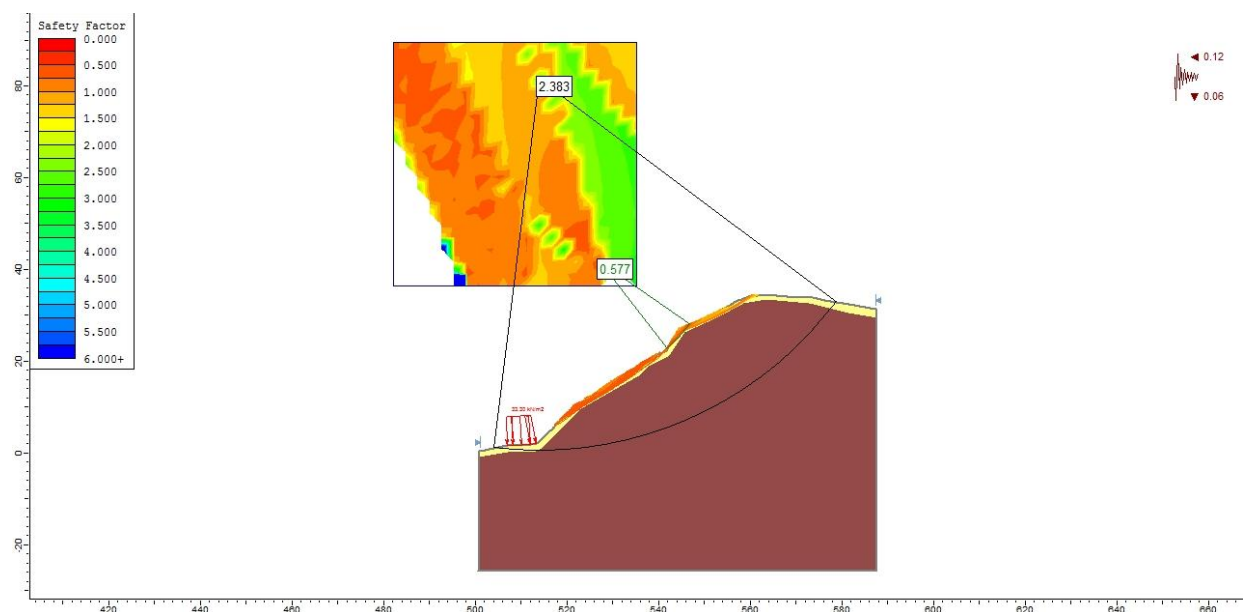
Τύπος Γεωολογικού	Unit Weight γ (kN/m ³)	Cohesion c (kN/m ²)	ϕ (°)	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Spencer)
Εδαφικό υλικό αποσάθρωσης	20	5	28	0.83
Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος	28	230	41	2.88



Σχ.6.2.3 Οι κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – ξηρές συνθήκες.

δ) Δυναμικές συνθήκες (υγρές, με πίεση του νερού των πόρων)

Τύπος Γεωυλικού	Unit Weight γ (kN/m ³)	Cohesion c (kN/m ²)	ϕ (°)	Σταθερά R_u	Συντελεστής Ασφαλείας (Μέθοδος Spencer)
Εδαφικό υλικό αποσάθρωσης	20	5	20	0.2	0.57
Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος	28	230	38	0.2	2.38



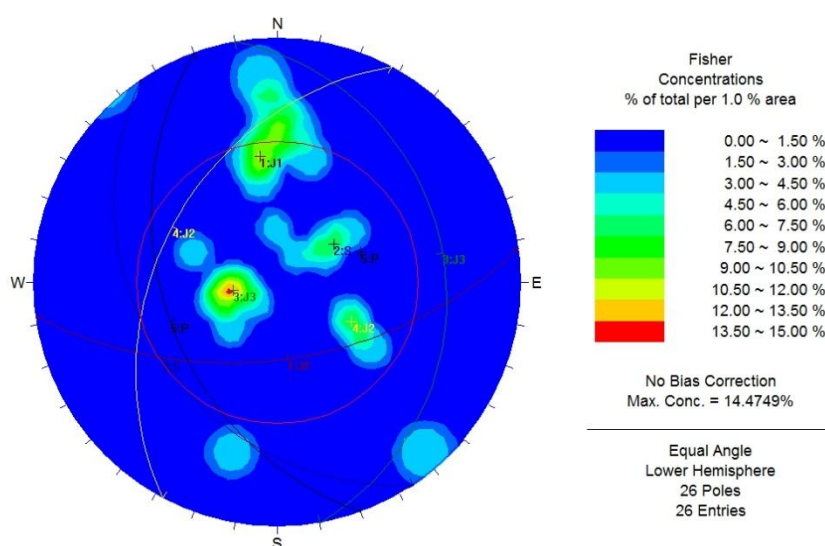
Σχ.6.2.4 Οι κύκλοι ολίσθησης με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφαλείας σε δυναμικές – υγρές συνθήκες.

Σύμφωνα με τα σχήματα 6.2.3 και 6.2.4 το πρανές υπό συνθήκες σεισμικής επίδρασης παρουσιάζει αστάθεια με συντελεστή ασφαλείας $FS = 0.83$ και πιο δυσμενείς είναι οι συνθήκες σε περίπτωση βροχοπτώσεων με το συντελεστή ασφαλείας να είναι ακόμα χαμηλότερος και μικρότερος της μονάδας $FS = 0.57$. Οι κύκλοι ολίσθησης που ορίζονται για τον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο αναφέρονται στην περίπτωση όπου αυτός συμπεριφερθεί ισότροπα. Ωστόσο, λόγω έλλειψης εκτέλεσης δειγματοληπτικών γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων τόσο για τον σχιστόλιθο όσο και για τις χαλαρές αποθέσεις, η εφαρμογή του προγράμματος έγινε με την παραδοχή σεναρίων.

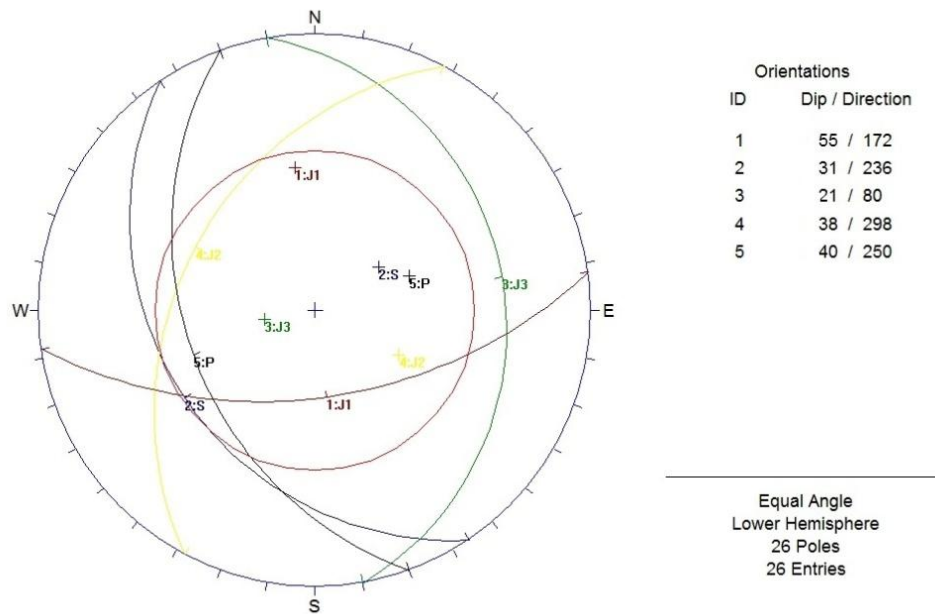
Από τους παραπάνω πίνακες διαπιστώνεται ότι οι συντελεστές ασφαλείας είναι οριακοί και χαμηλοί κατά περίπτωση τόσο σε στατικές συνθήκες-ξηρές, υγρές, όσο και σε συνθήκες σεισμικής φόρτισης –ξηρές υγρές, δηλ. δεν είναι μεγαλύτερος του 1.4 ή έστω 1.3 (με παρουσία νερού) για στατικές συνθήκες και 1.0 για δυναμικές συνθήκες, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα.

Από όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η έντονη και παρατεταμένη βροχόπτωση τον Ιούνιο (βλ.κεφ.5), καθώς και η σεισμική δραστηριότητα που προηγήθηκε στις 24 Μαΐου με 5,1 μέγεθος της κλίμακας Ρίχτερ με επίκεντρο περίπου 24km δυτικά του οικισμού των Άνω Ποροίων, οδήγησαν στην επιδείνωση της ευστάθειας του πρανούς, το οποίο βρισκόταν ήδη σε οριακή ισορροπία, με αποτέλεσμα την πρόκληση της εδαφικής κατολίσθησης. Η προσομοίωση του μοντέλου ταυτίζεται με το πραγματικό γεγονός της εδαφικής κατολίσθησης που εκδηλώθηκε στο πρανές σε στατικές - υγρές συνθήκες, όπου ο πόδας της κατολίσθησης τοποθετείται στο επίπεδο του δρόμου και για την περεταίρω διαπίστωση αυτή απαιτείται η γεωτρητική έρευνα καθώς και για τον ορισμό του βάθους ολίσθησης αλλά και για την οριοθέτηση του πάχους των χαλαρών αποθέσεων.

Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο το υλικό από το οποίο αποτελείται η κατολίσθηση είναι μαρμαρυγιακοί σχιστολιθικοί όγκοι οι οποίοι περιβάλλονται από ένα πλούσιο εδαφικό υλικό αποσάθρωσης. Εκατέρωθεν της κατολίσθησης όμως, η εικόνα του πρσανούς εμφανίζει μια διαφορετική εικόνα (εικ.5.6), με μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους χωρίς την παρουσία όμως του μεγάλου όγκου των υλικών αποσάθρωσης να περιβάλλουν αυτή την βραχόμαζα η οποία παρουσιάζει καλύτερη ποιότητα σε σχέση με την ποιότητα της βραχόμαζας στην περιοχή της κατολίσθησης. Εκατέρωθεν, λοιπόν, της κατολίσθησης μετρήθηκαν οι ασυνέχειες S:σχιστότητα, J_1 , J_2 , J_3 , οι οποίες εφαρμόστηκαν στο πρόγραμμα Dips για την αποτύπωση και παρουσίασή τους (σχήμα 6.2,6.2.1).



Σχ.6.2 Διάγραμμα πυκνοτήτων του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου.



Σχ.6.2.1 Τεκτονικό διάγραμμα προβολής του προσανατολισμού των επιφανειών των ασυνεχειών του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου.



Εικ.6.6: Οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι στο πρανές δεξιά από το ανατολικό όριο της κατολίσθησης και σε λεπτομέρεια οι ασυνέχειές του.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση οι ασυνέχειες του μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου είναι ως επί τω πλείστο πληρωμένες με αργιλικό υλικό που προέκυψε από την αποσάθρωση κατά μήκος των ασυνεχειών αυτών. Οι ιδιότητες της διατμητικής αντοχής εξαρτώνται και επηρεάζονται από το πάχος και τις ιδιότητες αυτού του υλικού πλήρωσης. Η παρουσία του στα τοιχώματα των ασυνεχειών, λοιπόν, μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση στην ευστάθεια του πρανούς.

Οι παραπάνω ασυνέχειες επεξεργάστηκαν με πιθανή γωνία τριβής 30° , και περιγράφονται στο σύνολό τους να έχουν ένα μέσο εύρος ανοίγματος περίπου 1-3mm, με υλικό πλήρωσης αργιλοαμμώδες και η κατάσταση της επιφάνειας των συνεχειών είναι μέτρια-μετρίως αποσαθρωμένες. Από το διάγραμμα 6.2.1 παρατηρείται η οριακή ευστάθεια των βραχωδών σχηματισμών, η οποία εύκολα μπορεί να διαταραχτεί μετά από παρατεταμένη βροχόπτωση ή και πιθανή σεισμική δόνηση, προκαλώντας ολισθήσει. Οι πιθανές ολισθήσεις που μπορεί να προκύψουν είναι οι εξής:

- **Επίπεδη ολίσθηση** ως προς τη σχιστότητα S. Καθώς η γωνία κλίσης του πρανούς (40°) > γωνία κλίσης της ασυνέχειας (31°) > γωνία τριβής (30°).
- **Σφηνοειδής ολίσθηση** ως προς το ζεύγος ασυνεχειών της σχιστότητας (S) με την ασυνέχεια J₁. Καθώς η γωνία κλίσης του πρανούς (40°) > γωνία κλίσης της τομής των ασυνεχειών (35°) > γωνία τριβής (30°).

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από αργιλικό υλικό που δεν επιτρέπει τη γρήγορη αποστράγγιση αυτό έχει ως συνέπεια τη δραστική μείωση της διατμητικής αντοχής. Η παρούσα κατολίσθηση όμως, που εκδηλώθηκε τον Ιούνιο του 2009, δεν οφείλεται σε αυτό ειδικά το γεγονός και κατά την επί τόπου επίσκεψη δεν παρατηρήθηκαν καταπτώσεις.

Προκειμένου να γίνει μία εκτίμηση της αντοχής της βραχώμαζας, μπορεί να ταξινομηθεί η δομή της σε σχέση με τους όγκους που αποχωρίζονται εξαιτίας των διακλάσεων της και την ποιότητα των ασυνεχειών της. Αυτή η ταξινόμηση επιτυγχάνεται με τον Γεωλογικό δείκτη αντοχής (G.S.I.) (Hoek και Marinos 2000). Στην προκειμένη περίπτωση η δομή της βραχώμαζας χαρακτηρίζεται πολύ τεμαχώδης – τεμαχώδης κατά τόπους και η κατάσταση των ασυνεχειών μέτρια, δίνοντας τιμή G.S.I. 50-55 (σχήμα 6.2.2).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζονται στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμάτε τη μέση τιμή του GSI από τις καμπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI =35. Ο καθορισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γειτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε ασάφειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επιπέδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η αντοχή ορισμένων βραχομαζών μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτρησης, πτυχής και πολύ πτυχής κατάσταση ασυνεχειών. Η πίση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
ΔΟΜΗ		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ	ΚΑΛΗ	ΜΕΤΡΙΑ	ΠΤΩΧΗ	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ
		Πολύ τραχείες, υγιείς, μη αποσπασθείσες επιφάνειες	Τραχείες, ελαφρώς αποσπασθείσες και αβεβαιωμένες επιφάνειες	Λείες, μετρίως αποσπασθείσες και εδραιωμένες επιφάνειες	Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφλοιογέμια ή υλικό πλήρωσης με γονιόδη βρούσματα	Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθείσες με μαλακό οργάνικο υλικό πλήρωσης ή επιφλοιογέμια
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άσπρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90	80		N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ / ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		70	60		
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών			40		
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμενή στρώσης ή σχιστότητας				30	
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιών και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων				20	
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ / ΔΙΑΤΗΜΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατηρημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιών τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	N/A	N/A			10

Σχ.6.2.2 Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής – GSI (Geological Strength Index).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

7. Προτάσεις βελτίωσης της ευστάθειας του πρανούς

Με βάση τις αναλύσεις ευστάθειας που πραγματοποιήθηκαν παραπάνω στο πρανές, διαπιστώνεται και κρίνεται απαραίτητη η λήψη των ακόλουθων μέτρων που στο σύνολό τους θα οδηγήσουν στην αύξηση του συντελεστή ασφαλείας και κατά συνέπεια στη σταθεροποίηση του πρανούς. Τα μέτρα αυτά αφορούν την εξετασθείσα θέση εκδήλωσης της κατολίσθησης, καθώς στο υπόλοιπο μήκος του πρανούς η εικόνα του είναι τελείως διαφορετική με κατά πολύ χαμηλότερο ύψος πρανούς και καλύτερες επικρατούσες συνθήκες. Οι προτάσεις αντιμετώπισης μπορούν να διαχωριστούν σε δύο σενάρια: Α) Τη λήψη παθητικών μέτρων αντιμετώπισης, Β) Τη λήψη ενεργητικών μέτρων για την περεταίρω ενίσχυση του πρανούς.

Α) Ειδικότερα προτείνεται:

α. Απομάκρυνση των επιφανειακών εδαφικών υλικών (λεπτόκοκκα υλικά αποσάθρωσης με αργιλική σύσταση) που εδράζονται επί του σχιστολιθικού υποβάθρου, τα οποία δίνουν κύκλους ολίσθησης με συντελεστές ασφαλείας μικρότερης της μονάδας, προκαλώντας δυνητικές ολισθήσεις.

β. Διαμόρφωση του πρανούς με κατάλληλους αναβαθμούς για τη γενικότερη μείωση της κλίσης του. Προτείνονται τρεις αναβαθμοί, κλίσης 36° με το μέγιστο ύψος του κάθε αναβαθμού να μην υπερβαίνει τα 11.8m και το πλάτος της κάθε βαθμίδας στα 4.5 m.

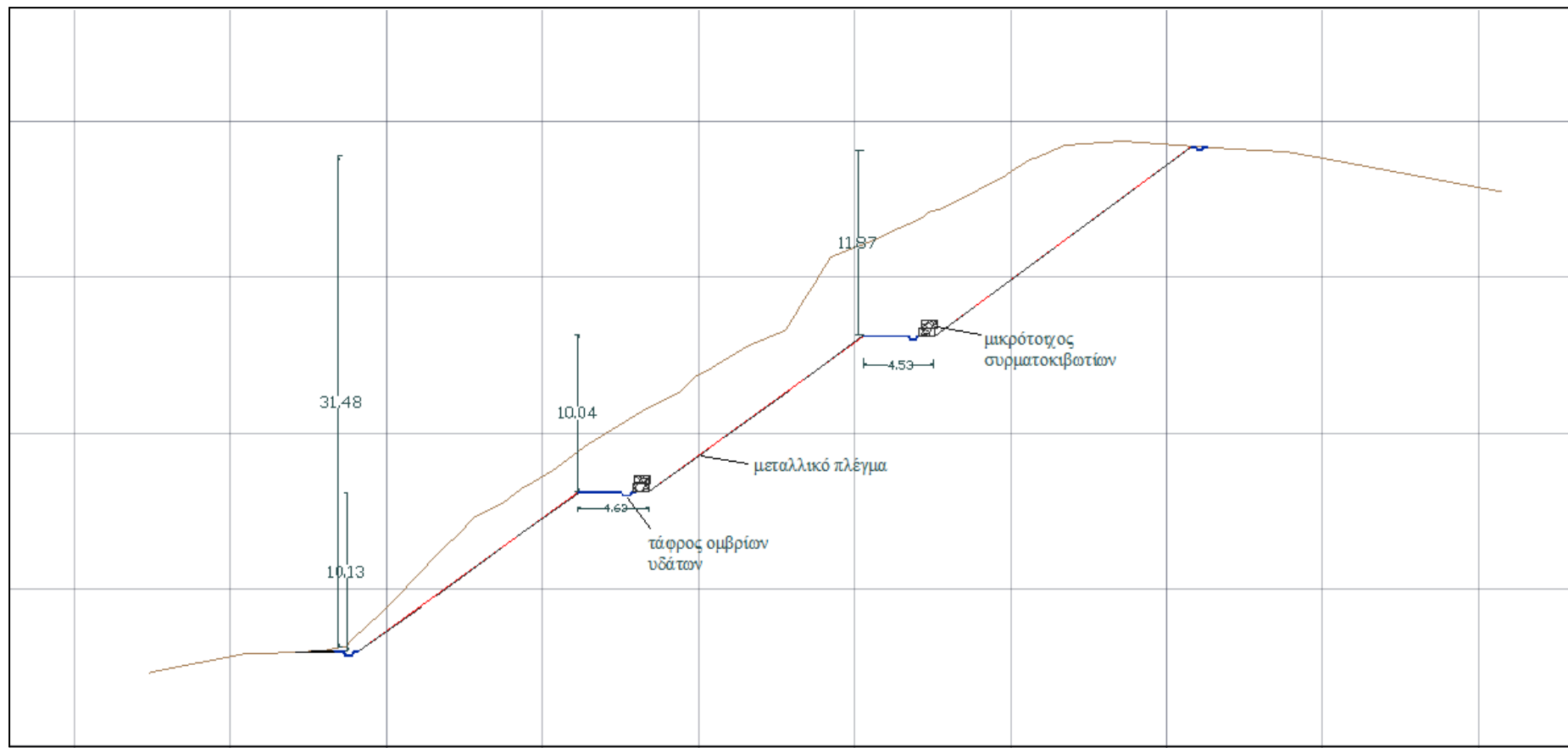
γ. Τοποθέτηση προστατευτικών εύκαμπτων μεταλλικών πλεγμάτων στα κεκλιμένα τμήματα των αναβαθμών συγκρατούμενα με ειδικές πλάκες με παθητικά αγκύρια, για τη συγκράτηση επισφαλών τεμαχών που είναι δυνατό να αποκολληθούν από πιθανές καταπτώσεις. Επίσης, προτείνεται η τοποθέτηση μικρότοιχου από συρματοκιβώτια στον πόδα του δεύτερου και τρίτου αναβαθμού, με το ύψος του μικρότοιχου να φτάνει στο 1m. Σκοπός του μικρότοιχου αυτού είναι για την προστασία από δράση διαβρωτικών- αποσθρωτικών παραγόντων αλλά και να προσφέρει περισσότερη στήριξη στον πόδα των κεκλιμένων τμημάτων αυτών.

δ. Δημιουργία αποστραγγιστικού δικτύου που θα συγκεντρώνει τα όμβρια ύδατα και θα τα απομακρύνει ελεγχόμενα, ώστε να αποφεύγονται τοπικά οι αυξημένες συνθήκες υγρασίας και συνεπώς η μείωση της αντοχής της βραχώμαζας. Στα οριζόντια τμήματα των αναβαθμών, στο φρύδι και στον πόδα του πρανούς προτείνεται η τοποθέτηση επιφανειακών τάφρων αποστράγγισης, πλάτους 50cm και

βάθους 20cm. Επίσης, προτείνεται η εγκατάσταση οριζόντιων αποστραγγιστικών οπών στη βραχώμαζα του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου για την εκτόνωση των πιέσεων που ασκούνται από το νερό στο εσωτερικό της.

ε. Τέλος, προτείνεται η εγκατάσταση συστήματος φυτευόμενης οπλισμένης γης, αποτελούμενο από προκατασκευασμένα μεταλλικά πλέγματα και γεωπλέγματα για την περεταίρω στράγγιση του πρανούς. Τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος απομακρύνουν την υγρασία που είναι πιθανό να εγκλωβιστεί σε κοιλότητες της βραχώμαζας, μη επιτρέποντάς το να διεισδύσει μέσω των ασυνεχειών της στο εσωτερικό της, αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο την μηχανική αντοχή της βραχώμαζας. Επίσης, η φυτοκάλυψη ενισχύει τη διατήρηση του οικοσυστήματος και προσφέρει τη βελτίωση της αισθητικής του τοπίου.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω (σχήμα 7.1) απεικονίζονται τα προτεινόμενα μέτρα, που έχουν περιγραφεί παραπάνω.



Σχ. 7.1 Απεικονίζεται η υπάρχουσα κλίση του πρανούς (καφέ γραμμή), οι προτεινόμενες αναβαθμίδες (κλίσης 36°) για τη διαμόρφωσή του (κόκκινη γραμμή) και τα επιπλέον μέτρα που προτείνονται (αποστραγγιστικό δίκτυο, μεταλλικά πλέγματα, συρματοκιβώτια).

Β) Σε περίπτωση όπου αποδειχτεί μεγάλο το πάχος του εδαφικού υλικού και κριθεί απαραίτητη η στήριξή του καθώς και η περαιτέρω ενίσχυση του πρανού, κρίνοντας την περιοχή ως ιδιαίτερης σημασίας καθώς πρόκειται για έναν χώρο όπου εκτείνονται κατασκευαστικές εγκαταστάσεις στη βάση της θέσης έδρασης του Ι.Ν. Αγ. Γεωργίου, και αυτό συνεπάγεται τη συχνή διέλευση οχημάτων αλλά και η παρουσία ιδιωτικών κατοικιών κατάντη του πρανού σε απόσταση 25m, δίνεται και ένα δεύτερο σενάριο λήψης μέτρων για την περαιτέρω ενίσχυση του πρανού, με την τοποθέτηση αγκυρωμένου τοίχου στον πόδα του πρανού και στον δεύτερο αναβαθμό.

Ειδικότερα προτείνεται:

α. Απομάκρυνση των επιφανειακών εδαφικών υλικών (λεπτόκοκκα υλικά αποσάθρωσης με αργιλική σύσταση) που εδράζονται επί του σχιστολιθικού υποβάθρου, τα οποία δίνουν κύκλους ολίσθησης με συντελεστές ασφαλείας μικρότερης της μονάδας, προκαλώντας δυνητικές ολισθήσεις.

β. Διαμόρφωση του πρανού με κατάλληλους αναβαθμούς για τη γενικότερη μείωση της κλίσης του. Προτείνονται τρεις αναβαθμοί, κλίσης 36° με το μέγιστο ύψος του κάθε αναβαθμού να μην υπερβαίνει τα 11.8m και το πλάτος της κάθε βαθμίδας στα 4.5 m.

γ. Τοποθέτηση «καρφιών» στα κεκλιμένα τμήματα των αναβαθμών με τοποθέτηση τοίχου (ύψους 3.0m) με καρφιά (anchored wall) στον πόδα του πρανού καθώς και στο κεκλιμένο τμήμα του δεύτερου αναβαθμού (από κάτω προς τα πάνω). Τα καρφιά τοποθετούνται σε απόσταση περίπου 2.0 m μεταξύ τους τόσο σε οριζόντια όσο και σε κάθετη απόσταση και με μήκος περίπου 8.0 m. Τα καρφιά υπόκεινται σε διατμητικές τάσεις, που προκύπτουν από την μετακίνηση της μάζας που πρόκειται να ολισθήσει. Η υποστήριξη παρέχεται μέσω της ακαμψίας του σκυροδέματος και της αντίστασης που παρέχεται από τα αγκύρια, έτσι ώστε παραλαμβάνονται οι οριζόντιες πιέσεις που ασκούνται (από τη βραχώμαζα, το νερό, το σεισμό) στον τοίχο.

δ. Ο τοίχος αποτελείται από δύο δομές συνδεσιμότητας, το προσωρινό μέτωπο και τα μόνιμο. Το προσωρινό μέτωπο υποστηρίζει την εκτεθειμένη βραχώμαζα. Μετά την τοποθέτηση των καρφιών στις οπές που έχουν δημιουργηθεί και έπειτα από την ενεμάτωσή τους, τοποθετείται το τελικό μέτωπο πάνω από το προσωρινό. Το πάχος του μόνιμου μετώπου αποτελείται από ενισχυμένο σκυρόδεμα πάχους περίπου 30cm. Το πάχος αυτό δεν περιλαμβάνει το πάχος του προσωρινού μετώπου. Προκειμένου να επιτευχθεί μία καλή σύνδεση μεταξύ του μόνιμου μετώπου και του σώματος του soil

nail, η κεφαλή του πρέπει να είναι πλήρως πακτωμένη στο μόνιμο μέτωπο. Πιο συγκεκριμένα :

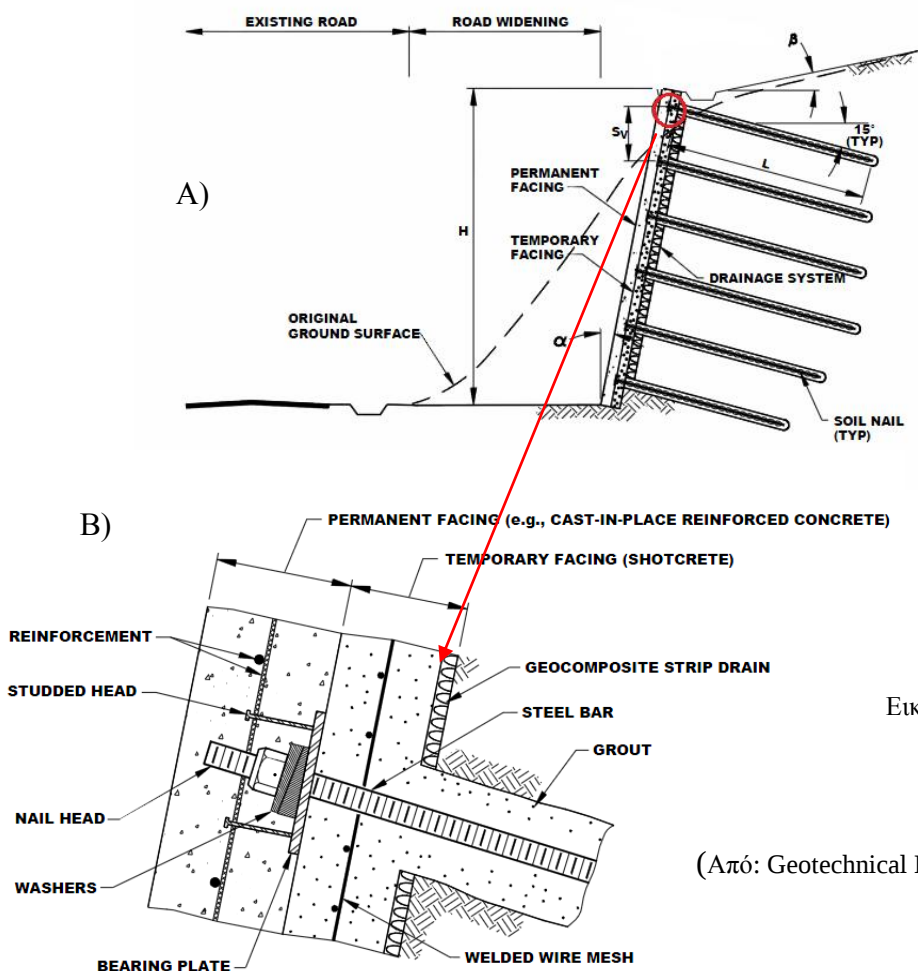
1. Το κύριο τμήμα του anchored wall είναι το σώμα του καρφιού (steel bar). Τοποθετούνται σε οπές που έχουν διατρηθεί και ενεματώνονται, τα οποία έπειτα από τη μετακίνηση του εδάφους υπόκεινται σε εφελκυστικές τάσεις.

2. Μετά την εγκατάσταση του καρφιού στις οπές που έχουν διατρηθεί, αυτές πληρώνονται με ένεμα (grout), το οποίο μεταφέρει τις τάσεις από το έδαφος στο καρφί, προστατεύοντάς το επίσης από τη διάβρωση.

3. Η κεφαλή του καρφιού (soil nail head) είναι το άκρο του που προεξέχει από το μέτωπο του τοίχου.

4. Τα μέρη του καρφιού που βρίσκονται στην κεφαλή του και χρησιμεύουν για τη σύνδεσή του με το μέτωπο του τοίχου (hex nut, washer, bearing plate).

5. Το γεωσυνθετικό (geocomposite strip drainage) που χρησιμοποιείται για την αποστράγγιση, τοποθετείται πριν το προσωρινό μέτωπο και βοηθάει στην απομάκρυνση της υγρασίας που πιθανόν να υπάρχει.



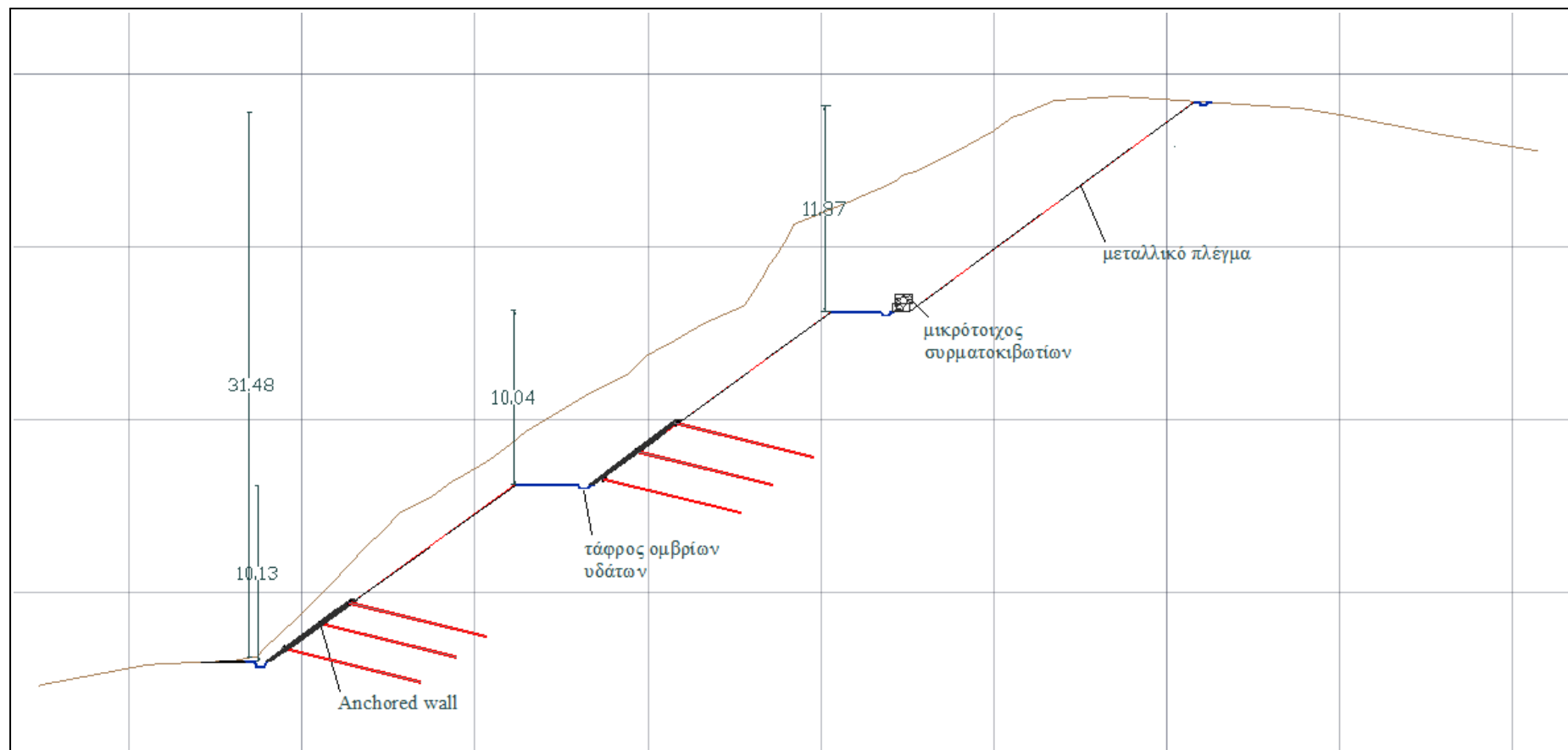
Εικ 7.1 Α) Η τυπική μορφή ενός αγκυρίου και Β) η λεπτομέρεια της κεφαλής του καρφιού με το προσωρινό και μόνιμο μέτωπο του τοίχου.

(Από: Geotechnical Engineering, Circular NO7, Soil NailWall)

ε. Τοποθέτηση προστατευτικών πλεγμάτων στα κεκλιμένα τμήματα των αναβαθμών με αγκύρωσή τους με τα soil nails καθώς και τοποθέτηση μικρότοιχου από συρματοκιβώτια στον πόδα του τρίτου αναβαθμού, με το ύψος του μικρότοιχου να φτάνει στο 1m. Σκοπός του μικρότοιχου αυτού είναι για την προστασία από δράση διαβρωτικών- αποσαθρωτικών παραγόντων.

στ. Δημιουργία αποστραγγιστικού δικτύου που θα συγκεντρώνει τα όμβρια ύδατα και θα τα απομακρύνει ελεγχόμενα, ώστε να αποφεύγονται τοπικά οι αυξημένες συνθήκες υγρασίας και συνεπώς η μείωση της αντοχής της βραχώμαζας. Στα οριζόντια τμήματα των αναβαθμών, στο φρύδι και στον πόδα του πρανούς προτείνεται η τοποθέτηση επιφανειακών τάφρων αποστράγγισης, πλάτους 50cm και βάθους 20cm. Επίσης, προτείνεται η εγκατάσταση οριζόντιων αποστραγγιστικών οπών στη βραχώμαζα του μαρμαρυγιακού σχιστολίθου για την εκτόνωση των πιέσεων που ασκούνται από το νερό στο εσωτερικό της.

Στο σχήμα που ακολουθεί παρακάτω (σχήμα 7.2) απεικονίζονται τα προτεινόμενα μέτρα, που έχουν περιγραφεί παραπάνω.



Σχ.7.2 Απεικονίζεται η υπάρχουσα κλίση του πρανούς (καφέ γραμμή), οι προτεινόμενες αναβαθμίδες (κλίσης 36°) για τη διαμόρφωσή του (κόκκινη γραμμή) και τα επιπλέον μέτρα που προτείνονται (anchored wall, μόνιμη ήλωση, αποστραγγιστικό δίκτυο, μεταλλικά πλέγματα, συρματοκιβώτια).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η μέση εκτίμηση του κόστους βελτίωσης της ευστάθειας του πρανούς στην είσοδο της κατασκήνωσης «Ελπίς» στα Άνω Πορόια Σερρών, έγινε ύστερα από υπολογισμούς και σύμφωνα με τις τιμές που αναφέρονται στο Τιμολόγιο Έργων Οδοποιίας ΦΕΚ 363B/19-2-2013. Οι δαπάνες υπολογίστηκαν και για τις δύο προτάσεις βελτίωσης της ευστάθειας του πρανούς. Οι δαπάνες αυτές για τη κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά, για τις εργασίες που προτείνονται να γίνουν, παρουσιάζονται στους επόμενους πίνακες.

Α) Στην πρώτη περίπτωση προτείνεται αρχικά η εκσκαφή του πρανούς για την αφαίρεση του εδάφους που επικάθεται στον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο, έπειτα η διαμόρφωσή του σε αναβαθμίδες, η εγκατάσταση μεταλλικών πλεγμάτων για τη συγκράτηση επισφαλών όγκων από δυνητικές καταπτώσεις, η ανάπτυξη αποστραγγιστικών τάφρων για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων καθώς και οριζόντιες αποστραγγιστικές οπές. Η μέση εκτίμηση του κόστους πραγματοποίησης των παραπάνω εργασιών δίνεται στον ακόλουθο πίνακα (πιν.8.1).

Πίνακας 8.1: Κοστολόγηση των εργασιών της πρώτης περίπτωσης λήψης μέτρων.

ΑΑ	Περιγραφή εργασιών	Κωδικός άρθρου	Μον. Μέτρ.	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (Ευρώ)	Δαπάνη
1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες χωρίς τη χρήση εκρηκτικών	ΟΔΟ Α-3.3	m ³	11.611,87	10	116.118,69
2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής και μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση	ΥΔΡ Β-2.01	m ³	11.611,87	2,89	33.558,30
3	Σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 επενδυμένων τάφρων, διαμόρφωσης πυθμένα	ΟΔΟ Β-29.4.1	m ³	39,94	127,92	5.109,12
4	Κατασκευή συρματοκιβωτίων ή συρματοκυλίνδρων με γαλβανισμένο συρματόπλεγμα με κράμα ψευδαργύρου - αλουμινίου	ΥΔΡ Β-8.01.03	kg	3.500	4,20	14.700
5	Πλήρωση συρματοκιβωτίων και	ΥΔΡ Β-8.02.02	m ³	250	10,50	2.625

	συρματοκυλίνδρων με συλλεκτά υλικά (κροκκάλες χειμάρρων)					
6	Αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης πρανών ανοιχτών εκσκαφών, φέρουσας ικανότητας 440 KN με Φ32 S500s	ΟΔΟ B-23.3	m	2.400	36,40	87.360
7	Εύκαμπτα μεταλλικά πλέγματα συγκράτησης καταπτώσεων	ΟΔΟ B-15.3	m ²	2.128	67,40	143.427,20
ΣΥΝΟΛΟ						402.898,31

Β) Στη δεύτερη περίπτωση προτείνεται η μερική αρχικά εκσκαφή του πρανούς για την αφαίρεση του εδάφους που επικάθεται στον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο, έπειτα η διαμόρφωσή του σε αναβαθμίδες, η εγκατάσταση αγκυρούμενου τοίχου ύψους 3.0m στον πόδα του πρανούς και στη δεύτερη αναβαθμίδα, αγκύρια για την ενίσχυση του πρανούς, την εγκατάσταση μεταλλικών πλεγμάτων για τη συγκράτηση επισφαλών όγκων από δυνητικές καταπτώσεις, η ανάπτυξη αποστραγγιστικών τάφρων για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων καθώς και οριζόντιες αποστραγγιστικές οπές. Η μέση εκτίμηση του κόστους πραγματοποίησης των παραπάνω εργασιών δίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 8.2: Κοστολόγηση των εργασιών της δεύτερης περίπτωσης λήψης μέτρων.

ΑΑ	Περιγραφή εργασιών	Κωδικός άρθρου	Μον. Μέτρ.	Ποσότητα	Τιμή Μονάδας (Ευρώ)	Δαπάνη
1	Γενικές εκσκαφές σε έδαφος βραχώδες χωρίς τη χρήση εκρηκτικών	ΟΔΟ Α-3.3	m ³	11.611,87	10	116.118,69
2	Φορτοεκφόρτωση προϊόντων εκσκαφής και μεταφορά σε οποιαδήποτε απόσταση	ΥΔΡ Β-2.01	m ³	11.611,87	2,89	33.558,30
3	Σκυρόδεμα κατηγορίας C20/25 επενδυμένων τάφρων, διαμόρφωσης πυθμένα	ΟΔΟ Β-29.4.1	m ³	39,94	127,92	5.109,12
4	Σκυρόδεμα οπλισμένο κατηγορίας C20/25 βάθρων, πλακών, πρόσβασης, τοίχων	ΟΔΟ Β-29.4.5	m ³	111,36	163,59	18.217,20
5	Κατασκευή συρματοκιβωτίων ή συρματοκυλίνδρων με γαλβανισμένο συρματόπλεγμα με κράμα ψευδαργύρου - αλουμινίου	ΥΔΡ Β-8.01.03	kg	3.500	4,20	14.700
6	Πλήρωση συρματοκιβωτίων και συρματοκυλίνδρων με συλλεκτά υλικά (κροκάλεις χειμάρρων)	ΥΔΡ Β-8.02.02	m ³	250	10,50	2.625

7	Αγκύρια ολόσωμης πάκτωσης πρανών ανοιχτών εκσκαφών, φέρουσας ικανότητας 440 KN με Φ32 S500s	ΟΔΟ B-23.3	m	4.800	36,40	174.720
8	Εύκαμπτα μεταλλικά πλέγματα συγκράτησης καταπτώσεων	ΟΔΟ B-15.3	m ²	2.128	67,40	143.427,20
ΣΥΝΟΛΟ						508.475,51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το πρηνές στην είσοδο της κατασκήνωσης «Ελπίς» στα Άνω Πορόια, το οποίο είναι αντικείμενο μελέτης της παρούσας διατριβής, όπως έχει αναφερθεί αποτελείται από εδαφικό υλικό αποσάθρωσης με το μεγαλύτερο ποσοστό να αποτελείται από αργιλικό υλικό. Μεγάλοι όγκοι μαρμαρυγιακών σχιστολίθων βρίσκονται μέσα σε αυτό, το οποίο επικάθεται πάνω στο μητρικό πέτρωμα, τους μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους. Οι σχιστόλιθοι αυτοί αποτελούνται από πλούσιο μαρμαρυγιακό υλικό (μοσχοβίτη και βιοτίτη) τα οποία έπειτα από αλλοίωση, δηλ. με αποσάθρωση και ενυδάτωση μπορούν να μετατραπούν σε ορυκτά της αργίλου, τα οποία έχουν μικρές αντοχές, διογκώνονται και δυσκολεύουν την αποστράγγιση των υδάτων. Ο χώρος της κατασκήνωσης, πιθανό να εκτείνεται σε μια παλιότερη κατολίσθηση και η παρούσα κατολίσθηση εκδηλώθηκε στο ανατολικό όριο της. Συγκεκριμένα τα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να εξαχθούν είναι τα εξής:

- Πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις με το πρόγραμμα Slide v6.0, για τον προσδιορισμό των κύκλων ολίσθησης μέσα στο εδαφικό υλικό. Οι αναλύσεις έγιναν τόσο για ξηρές όσο και για υγρές συνθήκες, με σεισμική φόρτιση και σε στατικές συνθήκες. Αρχικά το πρηνές βρισκόταν σε οριακή ισορροπία με το συντελεστή ασφαλείας να είναι οριακά πάνω από τη μονάδα $FS=1.01$. Διαπιστώθηκε ότι η εδαφική κατολίσθηση που προκλήθηκε μέσα στο υλικό αποσάθρωσης, πυροδοτήθηκε από την έντονη βροχόπτωση που εκδηλώθηκε τον Ιούνιο, όπου ο συντελεστής ασφαλείας μειώνεται δραστικά κάτω από τη μονάδα $FS=0.70$. Καθώς οι μικρές αντοχές και η δυσκολία αποστράγγισης της αργίλου είχαν ως αποτέλεσμα την αστάθεια του πρηνούς, το οποίο βρισκόταν ήδη σε οριακή ισορροπία. Επίσης, η σεισμική δραστηριότητα που προηγήθηκε στα τέλη Μαΐου με 5.1 ρίχτερ, 24km δυτικά των Άνω Ποροίων, βόρεια της λίμνης Δοϊράνης, πιθανότατα να οδήγησε σε μία πρώτη αποδιοργάνωση του υλικού. Ο συντελεστής ασφαλείας σε δυναμικές συνθήκες – ξηρές, είναι $FS=0.83$.
- Εκατέρωθεν της κατολισθαίνουσας περιοχής πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης των ασυνεχειών του μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου. Παρατηρήθηκαν επικείμενες, πιθανές καταπτώσεις που μπορούν να εκδηλωθούν. Η οριακή κατάσταση ισορροπίας τους μπορεί εύκολα να διαταραχθεί έπειτα από μία έντονη και παρατεταμένη βροχόπτωση ή μία

σεισμική δραστηριότητα. Οι ολισθήσεις που μπορεί να προκύψουν είναι: επίπεδη ολίσθηση ως προς τη σχιστότητα και σφηνοειδής ως προς το ζεύγος ασυνεχειών της σχιστότητας και της J₁. Οι ασυνέχειες στο σύνολό τους έχουν άνοιγμα 1-3mm, πληρωμένες με αργιλικό υλικό, το οποίο αποτρέπει την αποστράγγιση του νερού, μειώνοντας έτσι τη διατμητική αντοχή, έχοντας επίπτωση στην ευστάθεια του πρανούς.

- Η κρισιμότητα της κατάστασης του πρανούς, απαιτεί τη λήψη κατάλληλων μέτρων για τη σταθεροποίησή του. Το πρανές βρίσκεται σε μία ιδιαίτερης σημαντικότητας περιοχή, όπου εκτείνονται κατασκευαστικές εγκαταστάσεις, μία εκκλησία στα ανάντη και ιδιωτικές κατοικίες στα κατόντη του πρανούς, σε απόσταση 25m. Πρώτα από όλα προτείνεται η αφαίρεση του εδαφικού υλικού και η μείωση της κλίσης του πρανούς με διαμόρφωση τριών αναβαθμίδων, κλίσης 36°. Η εγκατάσταση μεταλλικού πλέγματος συγκράτησης των επισφαλών όγκων στα κεκλιμένα τμήματα των αναβαθμών καθώς και η ανάπτυξη ενός δικτύου αποστραγγιστικών τάφρων για την απομάκρυνση των όμβριων υδάτων έτσι ώστε να αποφεύγεται η τοπική ανάπτυξη υγρασίας στη βραχώμαζα. Όπως, και η τοποθέτηση οριζόντιων αποστραγγιστικών οπών για την εκτόνωση των πιέσεων από το νερό στο εσωτερικό της βραχώμαζας. Τέλος, προτείνεται ένα δεύτερο σενάριο για την περεταίρω ενίσχυση του πρανούς αν διαπιστωθεί μεγάλο το πάχος των χαλαρών αποθέσεων και η κακή ποιότητα της δομής της βραχώμαζας κάτω από το υλικό αποσάθρωσης, σε περίπτωση εκτέλεσης δειγματοληπτικών γεωτρήσεων. Επίσης, να επισημανθεί η ήδη διαταραγμένη κατάσταση στην περιοχή και για την προστασία διέλευσης ανθρώπων, των εγκαταστάσεων και των οικιών, προτείνεται η εγκατάσταση αγκυρωμένου τοίχου ύψους 3m τόσο στον πόδα του πρανούς όσο και στο κεκλιμένο τμήμα της δεύτερης αναβαθμίδας καθώς και μια σειρά από αγκύρια σε ανάλογο κάρναβο για την τοποθέτησή τους, για τη συγκράτηση των επισφαλών τεμαχών της βραχώμαζας.
- Η μέση εκτίμηση του κόστους στο πρώτο σενάριο λήψης μέτρων για την αποκατάσταση της ευστάθειας του πρανούς υπολογίστηκε στα 402.898,31 ευρώ. Ενώ για το δεύτερο σενάριο το κόστος αυξάνεται στα 508.475,51 ευρώ, λόγω της χρήσης περισσότερων κυβικών σκυροδέματος για την εγκατάσταση του αγκυρωμένου τοίχου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gilbert G., 2003. Slope Stability. U.S. Army Corps of Engineers, Washington.

Davos, June 2001. Landslides – Causes, Impacts and Countermeasures (Advanced Numerical Techniques in Rockslope Stability Analysis – Application and limitations.

Krahn J., 2004. Stability Modeling with Slope/w, An engineering Methodology.

Fredlund D., Krahn J., Pufahl D. The relationship between limit equilibrium slope Stability Methods.

Carlos A. Lazarte, Ph.D., P.E., Victor Elias, P.E., R. David Espinoza, Ph.D., P.E., Paul J. Sabatini, Ph.D., P.E., 2003. Soil Nail Walls, Geotechnical Engineering Circular NO.7. U.S.Department of Transportation, Federal Highway Administration

P.J. Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus, 1999. Ground Anchors, Geotechnical Engineering Circular NO.4. U.S.Department of Transportation, Federal Highway Administration

Rocscience Inc.,2004. Slide, 2D Limit Equilibrium Slope Stability for Soil and Rock Slopes. (User's Guide).

Hoek E. (1994). "Strength of rock and rock masses", ISRM New J, V2

Hoek and Marinos ,(2000). Geological strength index.

Δημόπουλος Γ., 2008. Τεχνική Γεωλογία. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη

Δημόπουλος Γ., 2007. Γεωλογικές Μελέτες Τεχνικών Έργων – Υδρογεωλογικές Μελέτες. Εκδοτικός Οίκος Αδελφών Κυριακίδη.

Κούκης Γ., Σαμπατάκης Ν., 2002. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μαραγκός Χ., 1997. Τεχνικά Έργα Υποδομής . Κατασκευές στην επιφάνεια του βράχου, υπόγειες κατασκευές, φράγματα. Εκδότης Μαραγκός Χ.

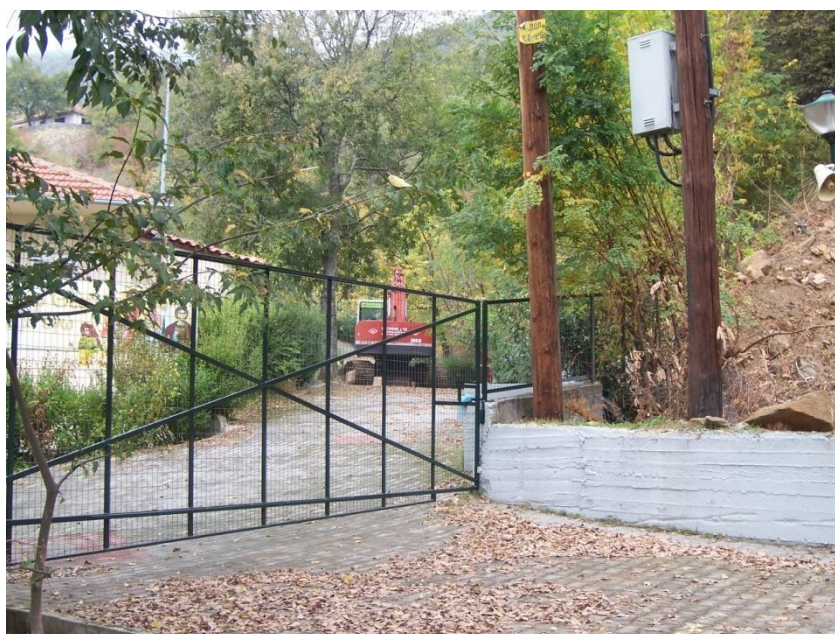
Μαρίνος, Β., Μαρίνος, Π., Hoek, E. 2004. Γεωλογικός δείκτης αντοχής GSI. Εφαρμογή, συστάσεις, περιορισμοί και πεδία ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος. Πρακτικά 10ου Διεθνούς Συνεδρίου της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας.

- Μουντράκης Α.**, 1985. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδόσεις University Studio Press.
- Παπαζάχος Β., Καρακαίσης Γ., Χατζηδημητρίου Π.**, 2005. Εισαγωγή στη Σεισμολογία. Εκδόσεις Ζήτη.
- Παυλίδης Σ.**, 2003. Γεωλογία των Σεισμών. Εκδόσεις University Studio Press.
- Σούλιος Γ.**, 2007. Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Α. Εκδόσεις University Studio Press.
- Τσότσος Σ.**, 1991. Εδαφομηχανική – Θεωρία, Μέθοδοι, Εφαρμογές. Εκδόσεις Βερβερίδης και Πολυχρονίδης Α.Ε.
- Χρηστάρας Β.**, 2005. Εδαφομηχανική, Θεωρία, Μέθοδοι, Εφαρμογές. Α.Π.Θ.
- Νιγριτινός Στέργιος**, 2005. «Γεωγραφική Κατανομή της βροχόπτωσης στο Ν. Σερρών.» Πτυχιακή εργασία στο τμήμα Γεωγραφίας, στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- Αναγνωστόπουλος Α., Καββαδάς Μ., Παπαδόπουλος Β.**, (Ε.Ν.1997). Σημειώσεις για τον Ευρωκώδικα 7. Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος.
- ΟΜΟΕ, Τεύχος 11:** Γεωλογικές και Γεωτεχνικές Έρευνες και Μελέτες., Ιούλιος 2003. Ελληνική Δημοκρατία. Υπουργείο ΠΕΧΩΔΕ., Γενική Γραμματεία Δημοσίων έργων. Ειδική Επιτροπή επί των θεμάτων Διευρωπαϊκού Δικτύου.
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ)**, 2003. Σύμφωνα με τις τροποποιήσεις από το (ΦΕΚ 1154Β'/12-08-03).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



Φωτ.1: Η εικόνα του πρανούς με τον μεγάλο όγκο εδαφικού υλικού. Οι όγκοι των κατολισθαίντων σχιστολίθων έχουν απομακρυνθεί με σκαπτικό μηχανήμα. (Λήψη φωτ.Νοέμβρης 2013).



Φωτ 2: Το σκαπτικό μηχανήμα που χρησιμοποιείται για την καθαίρεση του εδαφικού υλικού. (Λήψη φωτ.Νοέμβρης 2013).



Φωτ.3: Το πρανές με τον όγκο του εδαφικού υλικού που εδράζεται επί του μαραμαρυγιακού σχιστόλιθου. (Λήψη φωτ.Νοέμβρης 2013).