



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ



Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά γνευσίων στην ευστάθεια πρανών

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΒΑΣΙΛΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ

ΑΕΜ:4398

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΜΑΡΙΝΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ, ΛΕΚΤΟΡΑΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2012

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά βραχομαζών γνευσίου στην ευστάθεια πρανών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις κατολισθήσεις περιστροφικού τύπου. Έτσι, πραγματοποιείται γεωτεχνική ταξινόμηση τους ανάλογα με την αποσάθρωση, τον κερματισμό τους και άλλα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν της ευστάθεια τους.

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στον **κάθετο άξονα 75 της Εγνατίας** προς τα ελληνοβουλγαρικά σύνορα στην περιοχή της Νυμφαίας 16 Km βόρεια της Κομοτηνής. Στη περιοχή συναντώνται ως επί των πλείστων γνευσιακοί σχηματισμοί οι οποίοι παρουσιάζουν μεγάλη ετερογένεια όσον αφορά την τεχνικογεωλογική ποιότητά τους (αποσάθρωση, κερματισμός κλπ) ως αποτέλεσμα των πολλών φάσεων τεκτονισμού που έχει υποστεί.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** μελετώνται τα βιβλιογραφικά στοιχεία που απαιτούνται για την ανάλυση που πραγματοποιείται στα κύρια κεφάλαια της διπλωματικής. Πιο συγκεκριμένα, δίνεται ο ορισμός της κατολίσθησης, η ταξινόμηση τους, αναλύονται τα αίτια που προκαλούν τις κατολισθήσεις, τα κυριότερα μέτρα αντιστήριξης και προστασίας και τέλος δίνονται οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας. Στο **τρίτο κεφάλαιο** δίνεται το γεωλογικό πρότυπο των γνευσίων της περιοχής μελέτης, όπου γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των γεωλογικών-λιθολογικών, τεκτονικών, υδρογεωλογικών συνθηκών καθώς και των συνθηκών αποσάθρωσης της στενής περιοχής του έργου. Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η γεωτεχνική ταξινόμηση των γνευσιακών πετρωμάτων αρχικά γενικά και στη συνέχεια ταξινομούνται συγκεκριμένα οι γνευσιακοί σχηματισμοί που συναντήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται ανάλυση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς κάθε γνευσιακού τύπου γενικά και στην συνέχεια των τύπων που συναντήθηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα στην περιοχή μελέτης. Έτσι για κάθε τύπο και όρυγμα της περιοχής προβλέπεται η συμπεριφορά και ο τύπος της πιθανής αστάθειας τους. Στο **έκτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται

αναλυτική μελέτη ευστάθειας ορύγματος όπου έχει κατολισθήσει στην περιοχή έρευνας. Αναλυτικότερα ελέγχονται οι γεωλογικές-λιθολογικές και τεκτονικές συνθήκες της στενής περιοχής του ορύγματος και εντοπίζονται τα ειδικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά που ελέγχουν την αστάθεια των γνευσιακών σχηματισμών. Στη συνέχεια πραγματοποιείται γεωτεχνική ανάλυση, προσομοιώνοντας τις τεχνικογεωλογικές συνθήκες και γίνεται ανάλυση της ευστάθειας του πρανούς για διάφορες επιτόπου συνθήκες και γεωμετρίες με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Τέλος, η εργασία ολοκληρώνεται με τα ειδικά **συμπεράσματα (Κεφάλαιο 7).**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	σελ.
1.Εισαγωγή	1
2.Θεωρητικό Υπόβαθρο Ευστάθειας Βραχυδών Πρανών	3
2.1 Ορισμός κατολίσθησης	3
2.2 Ταξινόμηση κατολισθήσεων	5
2.2.1 Καταπτώσεις	8
2.2.2 Ανατροπές	9
2.2.3 Ολισθήσεις	10
2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις	13
2.2.5 Ροές	13
2.2.6 Σύνθετες μετακινήσεις πρανών	16
2.3 Παράγοντες-Αίτια κατολισθήσεων	16
2.3.1 Ταξινόμηση παραγόντων	17
2.3.2 Ενεργοποίηση μετακίνησης	18
2.4 Μέτρα αντιμετώπισης	19
2.4.1 Μέτρα προστασίας σε εδαφικά πρανή	19
2.4.2 Μέτρα προστασίας σε βραχώδη πρανή	25
2.5 Επίλυση Ευστάθειας Πρανών	27
2.5.1 Αναλύσεις παραμόρφωσης	28
2.5.2 Αναλύσεις οριακής ισορροπίας	28
2.6 Περιγραφή της βραχύμαζας	41
2.6.1 Ταξινόμηση βραχύμαζας	48
2.7 Μηχανική συμπεριφορά βραχύμαζας	60
2.7.1 Κριτήρια αστοχίας	60
3.Γεωλογία γνευσίου	70
3.1 Γεωλογικό πρότυπο γνευσίων – Γενικά	70
3.2 Γεωλογικό περιβάλλον- Λιθολογία	70
3.2.1 Γεωτεκτονική θέση της περιοχής μελέτης	71
3.2.2 Πλουτωνίτες και ηφαιστίτες της Μάζας της Ροδόπης	72
3.2.3 Τεκτονική	73
3.3.3 Εμφάνιση γνευσιακών πετρωμάτων στον Ελληνικό χώρο	73
3.3 Συνοπτική παρουσίαση των Γεωλογικών-Λιθολογικών, Τεκτονικών και Υδρογεωλογικών συνθηκών της στενής περιοχής μελέτης	74

3.3.1 Γεωλογικές-Λιθολογικές συνθήκες	75
3.3.2 Τεκτονικές συνθήκες	76
3.3.3 Συνθήκες αποσάθρωσης	77
3.3.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες	78
 4.Τεχνικογεωλογικό Πρότυπο Γνευσίων για την Ευστάθεια των πρανών	
4.1 Τεχνικογεωλογικό πρότυπο γνευσίων – Γενικά	79
4.2 Τεχνικογεωλογικό πρότυπο γνευσίων – Στενή περιοχή μελέτης	90
 5.Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά γνευσιακών πετρωμάτων στα πρανή	
5.1 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά κάθε τύπου γενικά	103
5.2 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των τύπων στην περιοχή	112
 6.Ανάλυση ευστάθειας πρανούς-O28	123
6.1 Γεωλογικές συνθήκες στην στενή περιοχή του ορύγματος	124
6.1.1 Γεωλογικές-λιθολογικές συνθήκες	124
6.1.2 Τεκτονικές συνθήκες	124
6.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες της στενής περιοχής του ορύγματος	125
6.2.1 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της γνευσιακής βραχόμαζας	125
6.2.2 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της γνευσιακής βραχόμαζας	129
6.3 Ανάλυση ευστάθειας πρανούς	131
 7. Συμπεράσματα	143
 Βιβλιογραφία	151
 Φωτογραφίες	153
 Παράρτημα I: Πινάκων	164
 Παράρτημα II: Σχημάτων	168
 Παράρτημα III: Φωτογραφιών	170

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η **διερεύνηση των κατολισθήσεων** και της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς των γνευσιακών σχηματισμών, σε όλες τις μορφές που μπορεί να συναντηθούν στη φύση, σε ορύγματα που έχουν ανοιχθεί για έργα οδοποιίας.

Ο **γνεύσιος** είναι ένα μεταμορφωμένο πέτρωμα που ο πρωτόλιθος του μπορεί να είναι είτε ένα πλουτωνικό (ορθογνεύσιος) είτε ένα ιζηματογενές πέτρωμα (πάραγνευσιος). Κύρια ορυκτά συστατικά του είναι οι άστριοι, ο χαλαζίας, οι μαρμαρυγίες και γενικά είναι σκληρό γεωυλικό που υπό συγκεκριμένες συνθήκες αποσάθρωσης και τεκτονισμού μπορεί να παρουσιάσουν ποιότητα από πολύ καλή έως πολύ κακή που πλησιάζει αυτή του εδάφους.

Προκειμένου να μελετηθεί η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά του σχηματισμού σε έργα οδοποιίας εξετάστηκαν 36 ορύγματα που ανορύχθηκαν σε κάθετο άξονα της Εγνατίας Οδού. Με βάση τα στοιχεία μελετών που εκπονήθηκαν κατά την διάρκεια των εργασιών επιχειρήθηκε η **γεωτεχνική ταξινόμηση** των τύπων που εντοπίστηκαν. Αυτή έγινε με βάση τον **βαθμό αποσάθρωσης**, την **ένταση του κερματισμού**, την **γεωμετρία του πετρώματος**, την **δομή** του, την **αντοχή του άρρηκτου βράχου** κλπ.

Με βάση τους τύπους της ταξινόμησης έγινε **ανάλυση της συμπεριφοράς** που προβλέπεται να έχει η βραχώμαζα αρχικά γενικά και στη συνέχεια με βάση τους τύπους που βρέθηκαν στην περιοχή μελέτης. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η τυποποίηση της συμπεριφοράς κάθε τύπου ανάλογα με την ποιότητα με την οποία εντοπίζεται.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ειδικότερη **ανάλυση ευστάθειας** με ειδικό λογισμικό συγκεκριμένου ορύγματος του άξονα που έχει ολισθήσει με περιστροφική ολίσθηση. Οι αναλύσεις, εκτός από τις απαραίτητες γεωτεχνικές παραμέτρους, καθορίστηκαν σύμφωνα με το γεωλογικό

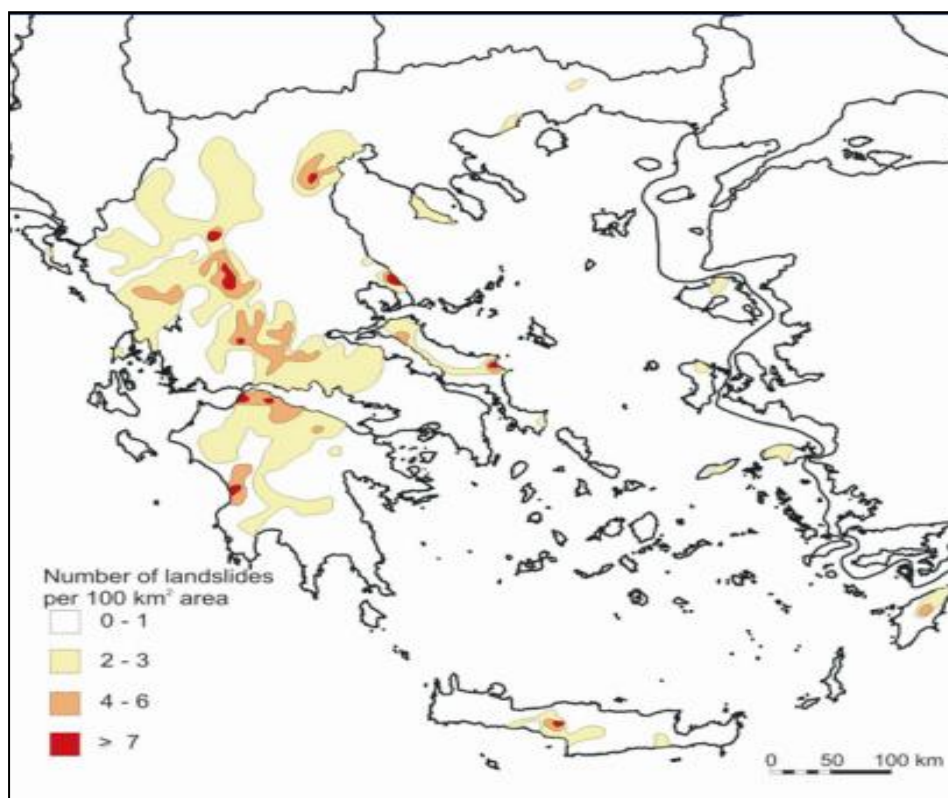
προσομοίωμα που σχεδιάστηκε μετά και από την επιτόπου επίσκεψη στην στενή περιοχή της κατολίσθησης και τα στοιχεία γεωτρήσεων. Αντικείμενο αυτών των αναλύσεων είναι η **εύρεση των συντελεστών ασφαλείας** για διάφορες κλίσεις πρανών και υψών και για διάφορες επιτόπου συνθήκες υδατικών πιέσεων.

2.ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΒΡΑΧΩΔΩΝ ΠΡΑΝΩΝ

2.1Ορισμός κατολίσθησης

Ο όρος κατολίσθηση γενικά περιλαμβάνει όλες τις προς τα κάτω κινήσεις ενός εδαφικού ή βραχώδους πρανούς, οι οποίες είναι αποτέλεσμα διατμητικής αστοχίας στα όρια της κατολισθαίνουσας μάζας (Skempton & Hutchinson, 1969). Έχουν δοθεί και άλλοι ορισμοί για το φαινόμενο των κατολισθήσεων από τους Terzaghi(1950), Zaruba & Menc(1969), Varnes(1979). Σύμφωνα με τον Cruden(1991) ορίζεται ως « η κίνηση μιας μάζας βράχου, εδάφους ή κορημάτων προς τα κατάντη ενός πρανούς». Ο Varnes, με βάση τον τελευταίο ορισμό εξαιρεί τις καθιζήσεις (ground subsidences), τις καταπτώσεις και τις θραύσεις του εδάφους.

Η κατολισθαίνουσα μάζα ανήκει στο ανώτερο τμήμα της κλιτύος και αποτελείται από αποσαθρωμένο υλικό και τμήματα του μητρικού πετρώματος. Οι κατολισθήσεις είναι συχνότερες σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο όπου οι κλίσεις είναι μεγάλες ενώ οι βραδείες κατολισθήσεις ή ερπυσμοί είναι συχνότερες σε ηπιότερα ανάγλυφα. Οι παράγοντες που συμβάλουν είναι η πετρολογική σύσταση, η κλίση των πρανών, η διάταξη των στρωμάτων, η τεκτονική καταπόνηση, η βροχόπτωση, η σεισμοί κλπ.



Πίνακας 2.1. Χάρτης ζωνοποίησης κατολισθήσεων στην Ελλάδα.(Κούκης et al, 2005)

Οι κατολισθήσεις στις ορεινές περιοχές της Ελλάδας είναι ένα συνηθισμένο γεωλογικό φαινόμενο γιατί υπάρχουν σ' αυτές πολλοί παράγοντες που συντελούν στην εκδήλωσή τους. Κατά νομούς η συχνότητα των κατολισθήσεων είναι αυξημένη ως εξής: στα ανατολικά τμήματα των Νομών Ιωαννίνων, Άρτας, Αιτωλοακαρνανίας, Αχαΐας, Ηλείας, στην Ευρυτανία και τα δυτικά τμήματα των Νομών Τρικάλων, Καρδίτσας και Φθιώτιδας. Μικρότερη συχνότητα παρατηρείται στα ορεινά της Φωκίδας, Μεσσηνίας και Ρεθύμνου. Το σύνολο των οικισμών της Ελλάδας που έχουν υποστεί κατολισθήσεις ανέρχεται σε 400, ενώ άλλοι 300 έχουν παρουσιάσει μικρότερα φαινόμενα κατολισθήσεων.

Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα γίνει μελέτη των περιστροφικών ολισθήσεων όπου και θα γίνει ανάλυση σε κατολίσθηση σε συγκεκριμένη περιοχή.



Φωτογραφία 2.1. Κατολίσθηση στην Εθνική Οδό Τριπόλεως-Αρχαίας Ολυμπίας.

2.2Ταξινόμηση κατολισθήσεων

Έχουν προταθεί διάφορες ταξινομήσεις κατά καιρούς, οι οποίες στηρίζονται σε ποικίλα κριτήρια. Σύμφωνα με την ταξινόμηση του Varnes διακρίνονται:

Ανάλογα με το είδος της κίνησης, οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε :

- 1.Πτώσεις(falls) (Σχήμα 1α)
- 2.Ανατροπές(topplings) (Σχήμα 1β)
- 3.Ολισθήσεις(slides) (Σχήμα 2)
- 4.Εξαπλώσεις(spreads) (Σχήμα 3)
- 5.Ροές(flows) (Σχήμα 4)

Ανάλογα με το υλικό, η μάζα που κατολισθαίνει μπορεί να είναι:

- Βράχος (bedrock)
- Έδαφος (engineering soils)

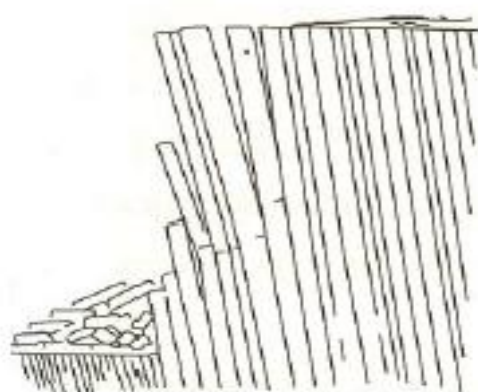
Ανάλογα με το στάδιο εξέλιξης, οι κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται:

- A. Ενεργείς
- B. Επανενεργοποιημένες αδρανείς
- Γ. Ανενεργείς
- Δ. Αρχαίες ή απολιθωμένες

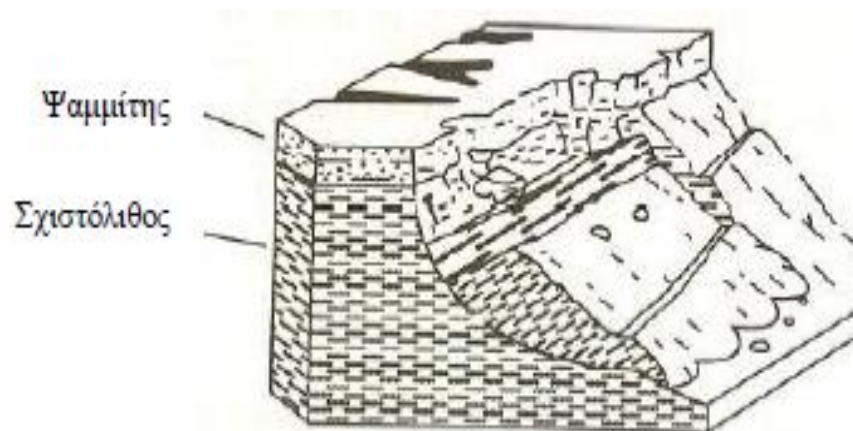
(α)



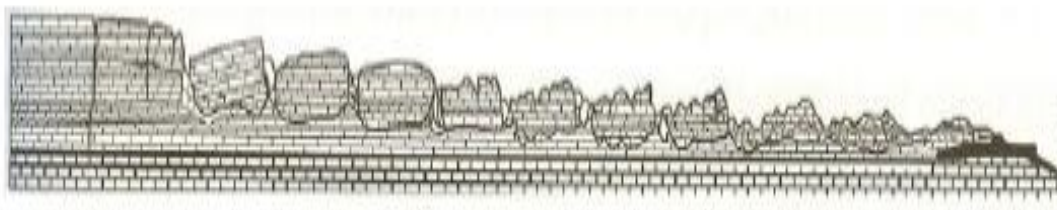
(β)



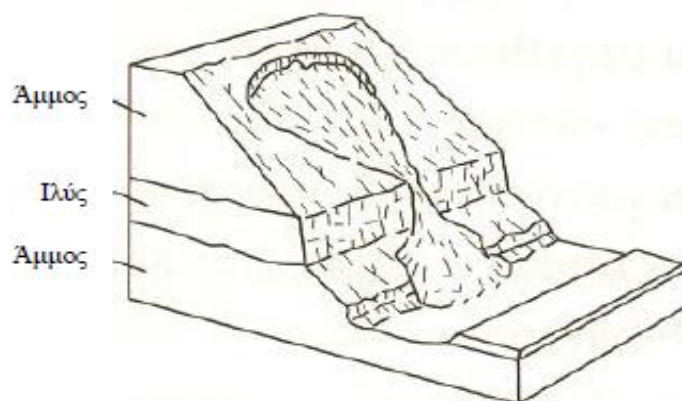
Σχήμα 2.1.(α) Πτώση βράχου και (β) ανατροπή βράχου (κατά Varnes)



Σχήμα 2.2. Περιστροφική ολίσθηση βράχου (κατά Varnes).



Σχήμα 2.3. Εξαπλώσεις βράχου (κατά Varnes).



Σχήμα 2.4. Ροή ξηρής άμμου (κατά Varnes).

2.2.1 Καταπτώσεις (falls)

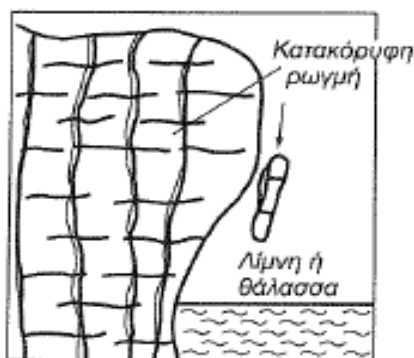
Σ' αυτή τη περίπτωση μια μάζα πετρώματος ή συνεκτικού εδάφους, ελευθερώνεται από την επιφάνεια ενός εδαφικού ή βραχώδους πρανούς μεγάλης κλίσης, χωρίς ή με ελάχιστη διατμητική μετατόπιση και ακολουθεί ελεύθερη πτώση, αναπήδηση ή κύλιση του τεμάχους πάνω στην επιφάνεια του πρανού. Η ταχύτητα της μετακίνησης μπορεί να είναι μεγάλη. Παρατηρείται στα απότομα πρανή τα οποία υποσκάπτονται λόγω φυσικών παραγόντων (θαλάσσια κύματα, ενέργεια ρευμάτων) ή από ανθρωπογενή παρέμβαση.

Ανάλογα την κλίση του πρανού, το τεμάχος θα κάνει ελεύθερη πτώση (free falling) για κλίσεις από 76% (4:1) και πάνω, σε μικρότερη κλίση αναπήδηση (bouncing) και σε κλίση 45° (1:1) κύλιση (rolling) πάνω στην επιφάνεια του πρανού.

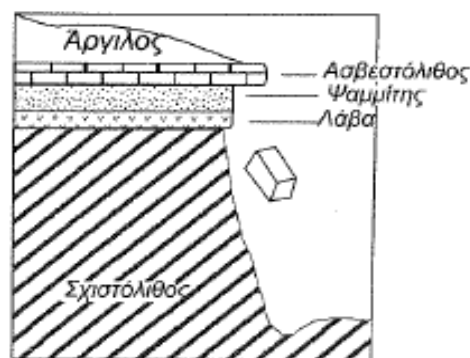
Για τις καταπτώσεις βράχων (rock falls) διακρίνονται 2 περιπτώσεις : α. εναλλαγές συμπαγών και λιγότερο συμπαγών πετρωμάτων, β. συμπαγή πετρώματα με δυσμενή γεωμετρία ασυνεχειών. Στην πρώτη περίπτωση η διάβρωση του λιγότερου συμπαγούς σχηματισμού οδηγεί στην πτώση του υπερκείμενου συμπαγούς ενώ στη δεύτερη περίπτωση οι καταπτώσεις οφείλονται σε ασυνέχειες που έχουν νερό και επομένως ασκούνται υδροστατικές πιέσεις.

Για τις καταπτώσεις κορημάτων η μάζα που αποκολλάται είναι κορήματα και διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς και οι καταπτώσεις γαιών είναι αρκετά σπάνιο φαινόμενο και εντάσσεται σε άλλους τύπους μετακίνησης.

(α)



(β)



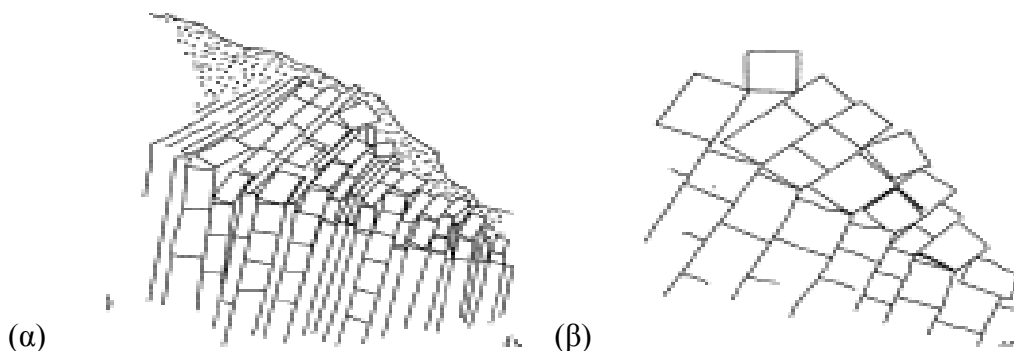
Σχήμα 2.5. Καταπτώσεις βράχων (α) λόγω διαφορικής διάβρωσης από το κύμα και (β) λόγω διαφορικής αποσάθρωσης (Varnes 1978)

2.2.2 Ανατροπές (topples)

Η ανατροπή είναι μια προς τα έξω περιστροφική κίνηση της αποκολλημένης βραχώδους μάζας του πρανούς, γύρω από ένα σημείο ή άξονα περιστροφής που βρίσκεται χαμηλότερα από το κέντρο βάρους της μετακινούμενης μάζας. Οι δυνάμεις που ενεργούν εδώ είναι η βαρύτητα και η υδροστατική πίεση που ασκεί το νερό που υπάρχει στις ασυνέχειες. Η ανατροπή γίνεται με πτώση ή ολίσθηση ανάλογα τη γεωμετρία του πρανούς, της μετακινούμενης μάζας και της επιφάνειας αποκόλλησης.

Οι ανατροπές βράχων (Goodman & Bray (1976), Hoek & Bray (1977)) διακρίνονται σε :

1. Ανατροπή λόγω κάμψης (*flexural toppling*) σε σκληρά πετρώματα που έχουν καλά ανεπτυγμένο υποκατακόρυφο σύστημα ασυνεχειών (π.χ ηφαιστίτες με στυλοειδή κατάτμηση)
2. Ανατροπή τεμαχών (*block*) που είναι σαν την προηγούμενη περίπτωση με επιπλέον ένα σύστημα ασυνεχειών σχεδόν κάθετο στο με το υποκατακόρυφο.
3. Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης (*block-flexural toppling*) που λαμβάνει χώρα σε βραχώδη πρανή με λεπτοστρωματώδη και κερματισμένα πετρώματα με σημαντική κάμψη των στρωμάτων κατά μήκος μιας καλά διαμορφωμένης επιφάνειας. Η κάμψη των στρωμάτων έχει συγκεκριμένη γωνία σε όλο το μήκος της επιφάνειας ανατροπής των στρωμάτων.



Σχήμα 2.6. (α) Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης και (β) ανατροπή τεμαχών. (Goodman and Bray 1976)

Δευτερογενείς ανατροπές (secondary topples): Προκαλούνται κυρίως από υποσκαφή της βάσης του πρανούς λόγω διάβρωσης ή ανθρωπογενών παρεμβάσεων και η βασική μετακίνηση είναι τύπου ολίσθησης (slide). Διακρίνονται οι περιπτώσεις:

1. Ανατροπή του πόδα λόγω ολίσθησης των ανωτέρων στρωμάτων (Slide toe toppling)
2. Ανατροπή της βάσης λόγω ολίσθησης (Slide base toppling)
3. Ανατροπή των ανωτέρων στρωμάτων λόγω ολίσθησης (Slide head toppling)

4. 4.Ανατροπή λόγω παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών (Tension crack toppling)
5. 5.Κυκλοειδής ολίσθηση και ανατροπή (Toppling and slumping)
6. Η ανατροπή κορημάτων και γαιών είναι σπάνιο φαινόμενο.

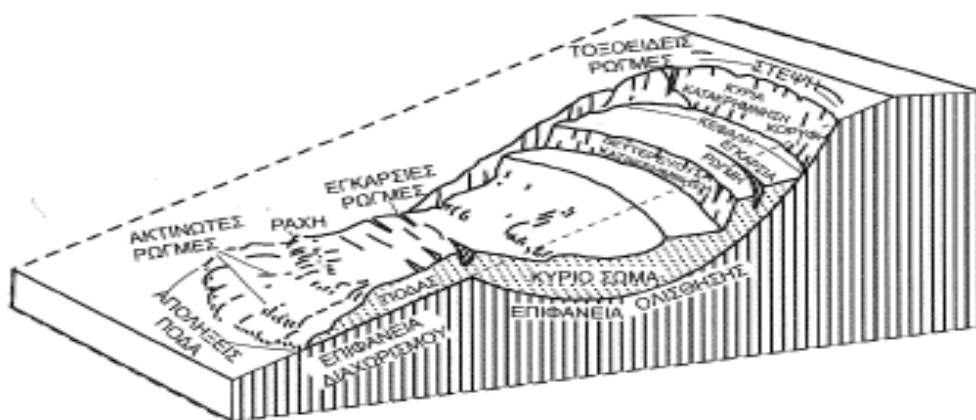
2.2.3 Ολισθήσεις (slides).

Σ' αυτό το τύπο προκειμένου να γίνει μετακίνηση λαμβάνει χώρα διατμητική παραμόρφωση-θραύση του πετρώματος κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών. Σε βραχώδη πετρώματα η ολίσθηση γίνεται πάνω σε καλά διαμορφωμένες επιφάνειες ασυνεχειών (στρώση, σχιστότητα, διακλάσεις κλπ) που διαχωρίζουν την μετακινούμενη μάζα από τον υπόλοιπο σχηματισμό. Η μάζα αυτή μπορεί να είναι ενιαία αλλά μπορεί να διαχωρίζεται σε μικρότερες που κινούνται ανεξάρτητα. Ανάλογα με την μορφή που έχει η επιφάνεια ολίσθησης και το μηχανισμό της μετακίνησης διακρίνονται δυο κατηγορίες: α. περιστροφικές και β. μεταθετικές ολισθήσεις.

α. Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides).

Οι ολισθήσεις αυτής της κατηγορίας γίνονται κατά μήκος κοίλων προς τα πάνω επιφανειών με μικρή παραμόρφωση στο εσωτερικό της ολισθαίνουσας μάζας. Στο ανώτερο τμήμα της ολισθαίνουσας μάζας παρατηρείται κατακόρυφη προς τα κάτω κίνηση ενώ στη βάση ανύψωση. Στην περίπτωση μεγάλης κλίμακας περιστροφικής ολίσθησης αυτή γίνεται πάνω σε μια κυλινδρική επιφάνεια που ο άξονας της θεωρείται παράλληλος προς την περιστροφή της κατολίσθησης.

Το μήκος τους είναι 3-7 φορές το βάθος τους (Skempton and Hutchinson 1969). Εκδηλώνονται κυρίως σε ομογενή εδαφικά υλικά καθώς και σε έντονα διαρηγμένες βραχώμαζες (με διακλάσεις, ρωγμές και γενικά έντονο σύστημα ασυνεχειών). Πριν την εκδήλωση μιας περιστροφικής ολίσθησης εμφανίζονται τοξοειδείς ρωγμές στο έδαφος κατά μήκος των οποίων θα αναπτυχθεί η μέγιστη κατακόρυφη μετακίνηση της.



Σχήμα 2.7. Περιστροφική ολίσθηση (Varnes 1978)

Με βάση την Ειδική Επιτροπή της Διεθνούς Ένωσης Τεχνικής Γεωλογίας (IAEG) η τυπική μορφή περιστροφικής ολίσθησης αποτελείται από :

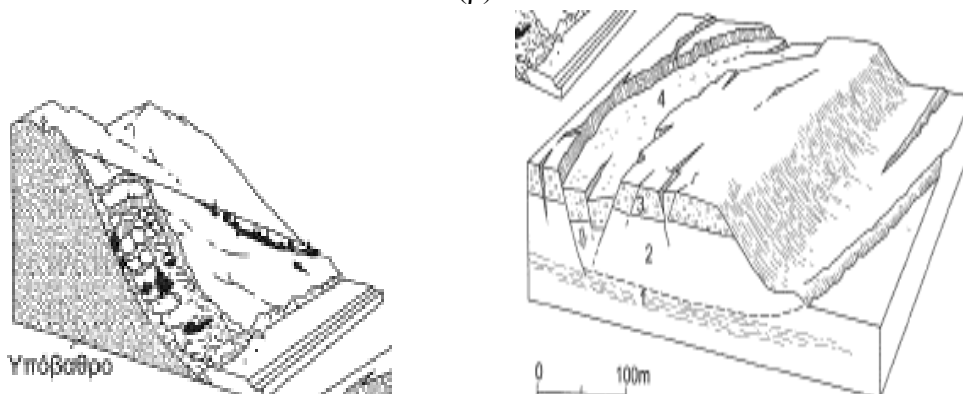
1. Στέψη (Crown)
2. Κύρια κατακρήμνιση (Main scarp)
3. Κορυφή (Top)
4. Κεφαλή (Head)
5. Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (Minor scarp)
6. Κύριο σώμα (Main body)
7. Πόδας (Foot)
8. Επιφάνεια ολίσθησης (Surface of rupture)

β.Μεταθετικές ολισθήσεις (Translational slides)

Σε αυτού του τύπου τις ολισθήσεις η μάζα που αποκολλάται μετακινείται προς τα έξω ή προς τα κάτω και έξω σε μία επιφάνεια ολίσθησης επίπεδη έως κυματοειδής με πολύ λίγο έως καθόλου περιστροφή ή κάμψη. Η μετακινούμενη μάζα κινείται παράλληλα στην επιφάνεια ολίσθησης. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων της περιστροφικής και της μεταθετικής ολίσθησης είναι ότι στην πρώτη στην περιοχή του πόδα υπάρχει μια τάση αποκατάστασης της ισορροπίας λόγω της ανύψωσης του υλικού που ολίσθησε ενώ στην μεταθετική η μετακίνηση μπορεί να συνεχίζεται απεριόριστα, όταν η επιφάνεια ολίσθησης έχει σημαντική κλίση.

(α)

(β)

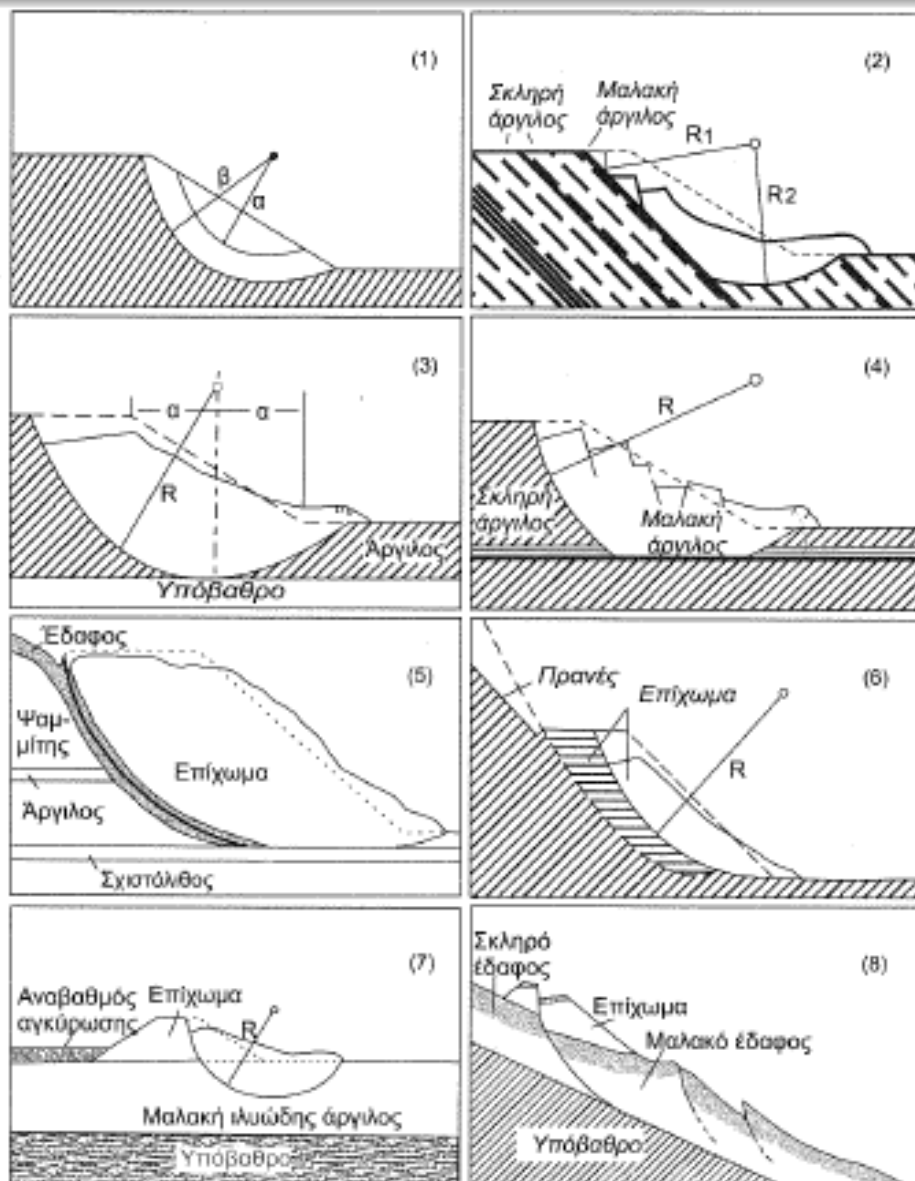


Σχήμα 2.8. Μεταθετικές κινήσεις (α) αποσαθρωμάτων και (β)εδαφικού τεμάχους. (Hansen 1965 και Varnes 1978)

Η ολισθαίνουσα μάζα διαχωρίζεται σε μικρότερες και με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νερό η μάζα μπορεί να μεταπέσει σε *εδαφική ροή*. Το μήκος τους δεν υπερβαίνει το 10πλάσιο του βάθους τους (Skempton and Hatchinson 1988).

Στους εδαφικούς σχηματισμούς οι μεταθετικές ολισθήσεις ελέγχονται από την παρουσία υποκείμενων σχηματισμών που είναι πυκνότεροι ή πιο συνεκτικοί. Στους βραχώδεις σχηματισμούς η ολίσθηση ελέγχεται από το σύστημα των ασυνεχειών. Αν γίνονται κατά μήκος μιας συγκεκριμένης ασυνέχειας λέγονται *επίπεδες ολισθήσεις (planar slides)*, αν γίνονται πάνω σε

τεμνόμενες ασυνέχειες κατά μήκος της τομής τους λέγονται *σφηνοειδείς ολισθήσεις (wedge failure)*



Σχήμα 2.9.(1) Θραύση σε ομοιογενή υλικά (α) Ολίσθηση στο μέτωπο του πρανούς (β) η επιφάνεια θραύσης τέμνει τον πόδα του πρανούς (2) Θραύση σε ετερογενή υλικά (3) Θραύση του δαπέδου σε ομοιογενείς αργίλους (4) Θραύση του δαπέδου σε ετερογενή υλικά (5) Ολίσθηση επιχώματος (6) Θραύση του σώματος του επιχώματος (7) Θραύση της επιφάνειας έδρασης του επιχώματος (8) Ολίσθηση επιχώματος που περιλαμβάνει θραύση-ολίσθηση της υποκείμενης μαλακής στρώσης (από VARNES 1978).

Σ αυτή τη διπλωματική θα αναλυθούν εκτενώς οι περιστροφικές ολισθήσεις και θα γίνει ανάλυση ευστάθειας ενός πρανού του κάθετου άξονα 75 της Εγνατίας Οδού που έχει εκδηλωθεί μια τέτοια ολίσθηση.

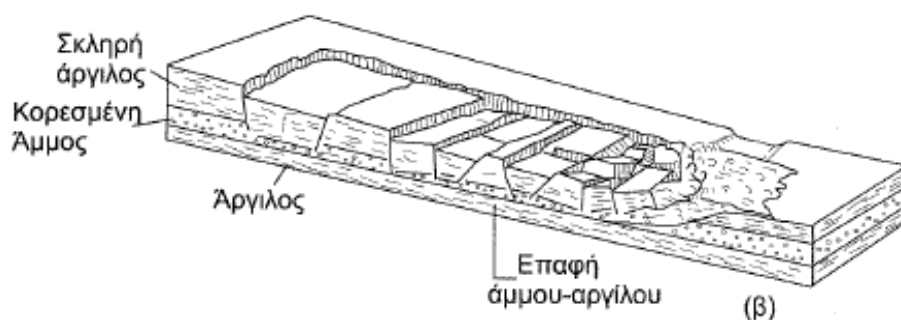
2.2.4 Πλευρικές εξαπλώσεις (Lateral spreads)

Στις πλευρικές εξαπλώσεις η κίνηση είναι πλευρική διάσταση του υλικού που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές. Διακρίνονται οι παρακάτω βασικοί τύποι πλευρικών εξαπλώσεων:

α. *Εξάπλωση τεμαχών (block spreads)*. Εδώ βραχώδεις σχηματισμοί που διαχωρίζονται από κατακόρυφες ασυνέχειες υπέρκεινται άλλων ασθενέστερων που συνθλίβονται και πληρώνουν τις ρωγμές. Ο υποκείμενος σχηματισμός προσροφά νερό και υπόκειται σε πλαστική ροή που κατακερματίζει τον υπερκείμενο υγιή.

β. *Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads)*. Εκδηλώνονται σε αργίλους και ιλύς που έχει διαταραχθεί η δομή τους. Αρχικά παρουσιάζεται μια θραύση υπό την μορφή καθίζησης. Η κύρια μετακίνηση είναι μεταθετική και αιφνίδια χωρίς προειδοποίηση και με μεγάλη ταχύτητα. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι ρευστοποιήσεις μετά από μεγάλους σεισμούς.

γ. *Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads)*. Σε περιπτώσεις οριζόντιων σκληρών και διαρρηγμένων σχηματισμών που υπέρκεινται στρώματων διαρρηγμένων αργίλων που με την σειρά τους υπέρκεινται ενός βραχώδους υποβάθρου.



Σχήμα 2.10. Γρήγορη πλευρική εξάπλωση αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (Horsmell and Horton 1976)

2.2.5 Ροές (flows)

Οι ροές εκδηλώνονται σε χαλαρούς σχηματισμούς και μπορεί να είναι υγρές ή ξηρές, γρήγορες ή αργές ενώ στο βραχώδες υπόβαθρο παρουσιάζονται ως πολύ αργές παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές ρωγμές και διακλάσεις που δεν έχουν πολύ μεγάλη απόσταση μεταξύ τους καθώς και εξαιτίας κάμψεων, πτυχώσεων ή διογκώσεων που παρατηρούνται στη μάζα του βράχου.

Ο *ερπυσμός* ανήκει στις ροές και είναι η πολύ αργή, μη ορατή κίνηση του μανδύα αποσάθρωσης ενός πετρώματος και εκδηλώνεται σε 3 στάδια: το πρωτογενές με επιβραδυνόμενη παραμόρφωση, το δευτερογενές με σταθερή ταχύτητα παραμόρφωσης και το τριτογενές με επιτάχυνση της παραμόρφωσης μέχρι τη θραύση.

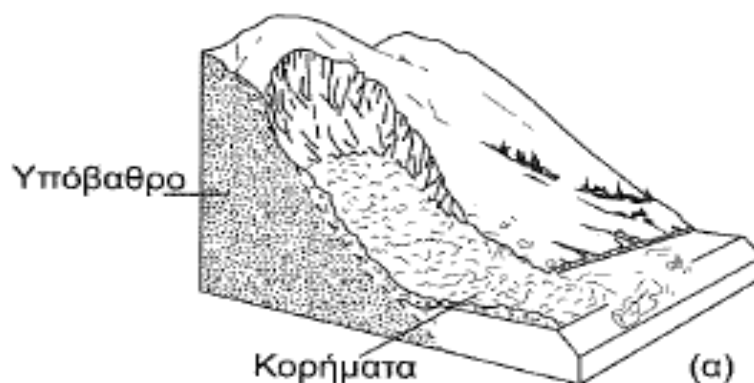
1. *Ροές βραχώδους υποβάθρου*: Συντελούνται ανάμεσα σε πολλές ρωγμές και διακλάσεις, με αργές μετακινήσεις που είναι σταθερές στο χρόνο. Αυτές οι κινήσεις προκαλούνται από πτυχώσεις, κάμψεις, διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής παραμόρφωσης. Τις περισσότερες φορές παρατηρούνται σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και στην περίπτωση που ο σχηματισμός έχει κατακόρυφη στρώση ή σχιστότητα (πχ ένας σχιστόλιθος) και κλίνει αντίθετα προς την κλίση του πρανούς εκδηλώνονται *κάμψεις στην κεφαλή των στρωμάτων* (sagging) που θεωρείται *βαρυτικός ερπυσμός*.



Σχήμα 2.11. Βαρυτικός ερπυσμός. (Desio 1959)

2. *Ροές κορημάτων*: Στην περίπτωση των χαλαρών υλικών οι μετατοπίσεις είναι μεγαλύτερες και πιο φανερές. Η επιφάνεια ολίσθησης δεν είναι ορατή αλλά γίνεται αντιληπτή στο όριο μεταξύ της μετακινούμενης μάζας και της μάζας που έχει μεγαλύτερη συνοχή και δεν συμμετέχει στην μετακίνηση. Σ' αυτή την κατηγορία ανήκουν

επίσης: α. τα ρεύματα γαιών που είναι μεγάλης έκτασης ροές τόσο έντονες όσο το υλικό που συμμετέχει είναι πιο αργιλικό, β. *ξηρή ροή κορημάτων* που είναι συχνό φαινόμενο στις ορεινές περιοχές και είναι αποτέλεσμα της βαρύτητας σε απότομες κλιτύες, χωρίς την παρουσία νερού, γ. «*χιονοστιβάδα κορημάτων*» (*debris avalanche*) που εκδηλώνονται λόγω της παρουσίας χαλαρών υλικών, της μεγάλης περιεκτικότητας νερών, της μεγάλης κλίσης των κλιτύων και το υλικό συνήθως ρέει κατά μήκος μιας μισγάγγειας και δ. *ρεύματα τεμαχών* που είναι αργά μετακινούμενες «γλώσσες» κορημάτων σε απότομα πρανή με τροφοδοσία από πλευρικά κορήματα ή κώνους στη κεφαλή του ρεύματος.



Σχήμα 2.12. Ροή κορημάτων (Zaruba-Mencl)

3. *Ροές γαιών*: Είναι ροές αποσαθρωμάτων ή ροές λάσπης (mud flows) που είναι γρήγορες με υλικά αρκετά διαβρεγμένα με περικτικότητα 50% σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Εκδηλώνονται μετά από πολύ ισχυρή βροχόπτωση σε απότομες κλιτύες με παρουσία εδάφους χωρίς φυτοκάλυψη. Συμβαίνουν επίσης στις λεπτόκοκκες ιλύες, αργίλους και αργιλικές άμμους.

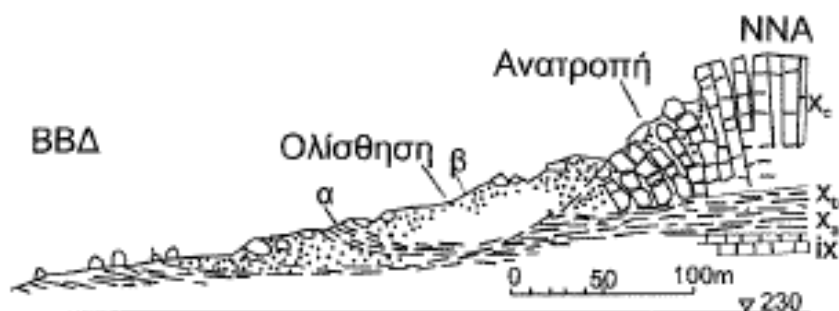


Σχήμα 2.13. Ροή γαιών (Zaruba-Mencl)

4. *Εδαφική ροή*: Αυτού του είδους η ροή εκδηλώνεται στις αρктиκές και στις υψηλές ορεινές περιοχές με μετακίνηση των επιφανειακών στρωμάτων πάνω σε επίπεδο που κάτω από αυτό το έδαφος είναι παγωμένο.
5. *Ξηρές ροές άμμου και ροές αιολικής γης* που είναι πολύ σπάνιες και ενεργοποιούνται μετά από σεισμούς.

2.2.6 Σύνθετες μετακινήσεις πρανών (composite slides)

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι μετακινήσεις των πρανών είναι ένα σύνολο πολλών τύπων μετακινήσεων όπως αυτές που περιγράφηκαν και εκδηλώνονται στο ίδιο πρανές, στο ίδιο στάδιο ή σε διαφορετικά στάδια της εξέλιξης αυτής.



Σχήμα 2.14. Περιστροφική ολίσθηση- ανατροπές.

Ο τύπος κατολίσθησης που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια της εργασίας είναι η περιστροφική ολίσθηση (1.2.3α).

2.3 Παράγοντες-Αίτια κατολισθήσεων

Από την στιγμή της δημιουργίας ενός γεωλογικού σχηματισμού, όταν καθορίζονται οι φυσικές του ιδιότητες, ξεκινούν οι διαδικασίες εκείνες που μεταγενέστερα πιθανόν να το οδηγήσουν σε μετακίνηση. Η τεκτονική καταπόνηση και η έκθεση του στα φαινόμενα της διάβρωσης και της αποσάθρωσης εντείνουν την κατάσταση ισορροπίας του. Σπάνια μπορεί να αποδοθεί επομένως μια κατολίσθηση σε ένα και μοναδικό αίτιο. Υπάρχει ταυτόχρονα ένας συνδιασμός αυτών που οδηγούν στην εκδήλωση του φαινομένου και ο τελικός παράγοντας ονομάζεται, *έναυσμα μετακίνησης (triggering factor)*.

Σύμφωνα με τον Terzaghi (1950) τα αίτια των κατολισθήσεων διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα *εξωγενή* τα οποία προκαλούν αύξηση της επιβαλλόμενης διατμητικής τάσης και τα *ενδογενή* που προκαλούν μείωση της διατμητικής αντοχής. Ο Varnes (1978) χώρισε αργότερα τα ενδογενή σε δύο κατηγορίες, στους παράγοντες που συμβάλλουν στην πιθανή χαμηλή διατμητική αντοχή του υλικού και στους παράγοντες που συντελούν στη μείωση της διατμητικής αντοχής του.

2.3.1 Ταξινόμηση παραγόντων εκδήλωσης κατολίσθησης κατά Varnes

2.3.1.1 Αύξηση της διατμητικής τάσης

1. Αφαίρεση της υποστήριξης. Γίνεται στον πόδα των πρανών και μπορεί να προκληθεί από: α. *επιφανειακή διάβρωση* από ρεύματα ποταμών, παγετώνες, κύματα και από την αποσάθρωση, β. *υπόγεια διάβρωση και διάλυση* ευαίσθητων σχηματισμών όπως τα ανθρακικά πετρώματα, γ. *σύνθλιψη* που υπόκειμένου γεωλογικού σχηματισμού και δ. *ανθρωπογενείς παράγοντες*.
2. Επιφόρτιση του πρανούς. Μπορεί να γίνει από φυσική δράση και λόγω του ανθρώπου και όσο πιο γρήγορα συντελείται τόσο πιο ασταθές γίνεται το πρανές. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται με την ιζηματογένεση, με τη βλάστηση και με την κατείδουση νερού και στη δεύτερη περίπτωση η κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων και γενικά η επέμβαση του ανθρώπου στο περιβάλλον.
3. Παροδικές τάσεις. Τέτοιες είναι οι σεισμικές δονήσεις, οι δονήσεις από εκρήξεις, η κυκλοφορία βαριών οχημάτων κλπ.
4. Τοπική ανύψωση. Προκαλείται από τεκτονικές κινήσεις και ηφαιστειακή δραστηριότητα που αλλάζουν τη γεωμετρία των φυσικών πρανών.
5. Πλευρική πίεση. Προκαλείται από το πάγωμα του νερού μέσα σε ρωγμές του γεωλογικού σχηματισμού, από την υδροστατική πίεση και την διόγκωση των διάφορων αργιλικών ορυκτών που υπάρχουν λόγω την παρουσίας του νερού.

2.3.1.2 Χαμηλή διατμητική αντοχή

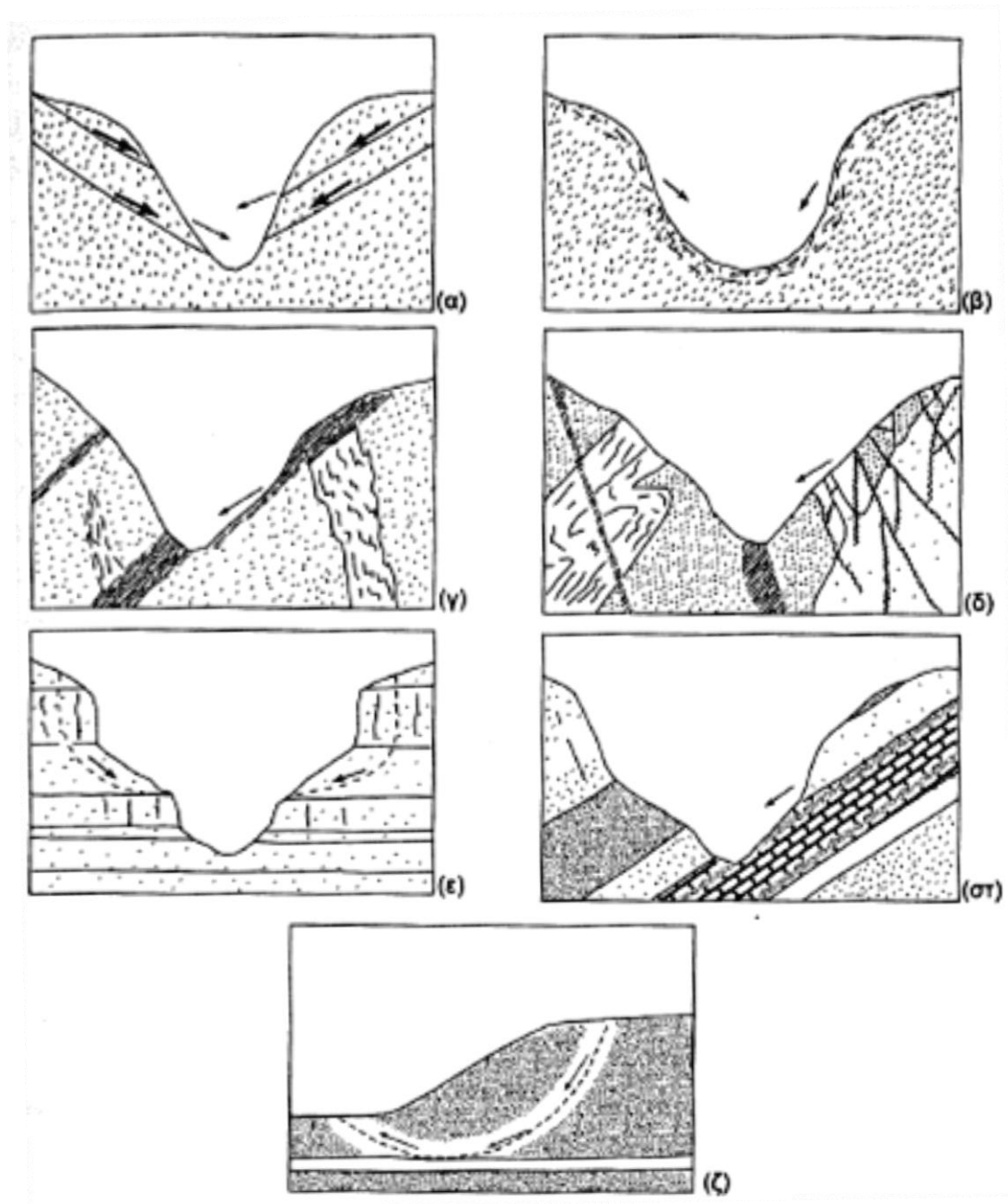
1. Λιθολογία. Κάποιοι γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν πρωτογενώς μικρή αντοχή όπως οι αργιτικοί σχιστόλιθοι, οι οφιόλιθοι (αποσαθρώνονται εύκολα) πετρώματα πλούσια σε αργιλικά ορυκτά ή σε φυλλώδη ορυκτά.
2. Δομή πετρώματος, τεκτονική καταπόνηση και γεωμετρία πρανούς. Οι διακλάσεις, οι ασυνέχειες, η σχιστότητα, η στρώση και η γεωμετρία αυτών σε σχέση με το πρανές παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ευστάθεια του πρανούς.

2.3.1.3 Μείωση διατμητικής αντοχής

1. Αποσάθρωση.
2. Μεταβολές των ενεργών τάσεων. Προκαλείται λόγω του νερού των πόρων στα αργιλικά εδάφη, ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων στην περίπτωση

βράχου στις ασυνέχειες του. Το νερό προέρχεται είτε από βροχόπτωση, είτε από λιώσιμο του χιονιού είτε λόγω ανθρωπογενούς επέμβασης.

3. Άλλοι παράγοντες. Η δράση των ζώων και της βλάστησης στην επιφάνεια ή και σε κάποιο βάθος μέσα στο πρανές.



Σχήμα 2.15. Παράγοντες που συμβάλλουν στην χαμηλή διατμητική αντοχή.

2.3.2 Ενεργοποίηση μετακίνησης (triggering factor)

Οι παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω που συμβάλουν στην αστάθεια ενός πρανούς είναι διαδικασίες που δρουν σε αργό ή και γρήγορο γεωλογικό χρόνο και με διαρκή δράση απομείωσης των πρωτογενών χαρακτηριστικών του σχηματισμού. Οι παράγοντες όμως που δίνουν το έναυσμα έχουν μικρή διάρκεια (σε σχέση με το γεωλογικό χρόνο) και μεγάλη ισχύ. Βέβαια για να μπορούν να έχουν αυτή τη καταστρεπτική δράση τους αρχικά οι σχηματισμοί θα πρέπει να έχουν υποστεί τις παραπάνω διεργασίες. Αυτοί οι παράγοντες είναι η βροχόπτωση, η σεισμική δραστηριότητα, το λιώσιμο των πάγων και οι μεταβολές στη στάθμη του υπόγειου νερού.

2.3.2.1 Έντονη βροχόπτωση

Όταν η βροχόπτωση είναι έντονη και μικρής διάρκειας τότε μεγάλες ποσότητες νερού κατεισδύουν γρήγορα μέσα στην αδύναμη μάζα που αυξάνει το βάρος της και την πίεση των πόρων που αυτό συνεπάγεται μείωση της διατμητικής αντοχής.

2.3.2.2 Λιώσιμο χιονιού

Το ίδιο ισχύει και στην περίπτωση που γίνεται γρήγορα το λιώσιμο του χιονιού και οι ποσότητες νερού σ' αυτή τη περίπτωση είναι πολύ μεγάλες. Με τον ίδιο μηχανισμό όπως παραπάνω το νερό αυτό τροφοδοτεί τους σχηματισμούς με αποτέλεσμα την μετακίνηση τους.

2.3.2.3 Μεταβολές στη στάθμη του νερού

Η απότομη άνοδος της στάθμης του υπόγειου νερού σε ένα πρανές λόγω ανόδου της στάθμης λιμνών ή ποταμών αυξάνει την πίεση του νερού των πόρων και μειώνει τη διατμητική αντοχή των σχηματισμών. Στη περίπτωση απότομης πτώσης της στάθμης του υπόγειου νερού προκαλείται αύξηση της διατμητικής τάσης.

2.3.2.4 Σεισμική δραστηριότητα

Με την εκδήλωση ενός σεισμού αλλάζει η ισορροπία των πρανών με προσωρινή μεταβολή των τάσεων λόγω των ελαστικών κυμάτων.

2.4 Μέτρα αντιμετώπισης

Όπως γίνεται κατανοητό, δεν είναι δυνατόν να ανιχνευθούν όλες οι πιθανές μετακινήσεις από οποιαδήποτε τεχνική που εφαρμόζεται σήμερα στην εδαφομηχανική και τη βραχομηχανική. Οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα έχουν βασικό στόχο την πρόληψη του φαινομένου ή την αποκατάσταση και σταθεροποίηση μιας εδαφικής ή βραχώδους μετακίνησης και περιλαμβάνουν εργασίες και κατασκευές τεχνικών έργων.

Προκειμένου τα διάφορα μέτρα να δίνουν τη ζητούμενη ασφάλεια, ο σχεδιασμός τους προϋποθέτει υπαίθριες έρευνες, επί τόπου δοκιμές και εργαστηριακές δοκιμές,

αναλύσεις ευστάθειας κλπ. Τα μέτρα που επιλέγονται μετά το πέρας των ερευνών ελέγχονται με αναλύσεις ευστάθειας σε επίπεδο σχεδιασμού και γίνεται επαλήθευση της λειτουργικότητας τους κατά την διάρκεια και μετά το τέλος της κατασκευής.

2.4.1 Μέτρα προστασίας σε εδαφικά πρανή.

Τα μέτρα που λαμβάνονται για τον περιορισμό των μετακινήσεων εδαφικών μαζών ταξινομούνται ανάλογα με τη μεταβολή των ενεργητικών ή παθητικών δυνάμεων που υπεισέρχονται καθώς και το είδος των τεχνικών έργων. **Τα μέτρα αντιστήριξης παρουσιάζονται εδώ για θεωρητικούς λόγους και δεν χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα στη συνέχεια της εργασίας.**

1.4.1.1 Αποφυγή του προβλήματος

Με την γεωλογική αναγνώριση των ασταθών περιοχών στο βασικό τμήμα της αναγνωριστικής μελέτης γίνεται αποφυγή των προβλημάτων και αλλαγή χάραξης του έργου ενώ στην περίπτωση που η χάραξη έχει επιλεγεί η αποδοχή του προβλήματος συνεπάγεται υψηλό κόστος. Οι περιοχές παλιών κατολισθήσεων βρίσκονται σε οριακή ισορροπία ή μπορεί να συνεχίζεται η μετακίνηση τους σε περιόδους έντονων βροχοπτώσεων. Οποιαδήποτε μεταβολή στις συνθήκες αποστράγγισης των επιφανειακών νερών μπορεί να επιφέρει επανενεργοποίηση με απρόβλεπτες συνέπειες. Η αποφυγή μιας περιοχής κατολισθήσεων μπορεί να γίνει με:

1. *Παραλλαγή ή αλλαγή χάραξης (relocation)* που μπορεί να είναι τάξης πολλών χιλιομέτρων έως λίγα μέτρα
2. *Γεφύρωση (bridging)* που για την αποφυγή της ευαίσθητης περιοχής γίνεται κατασκευή γέφυρας που θεμελιώνεται στο σταθερό έδαφος.

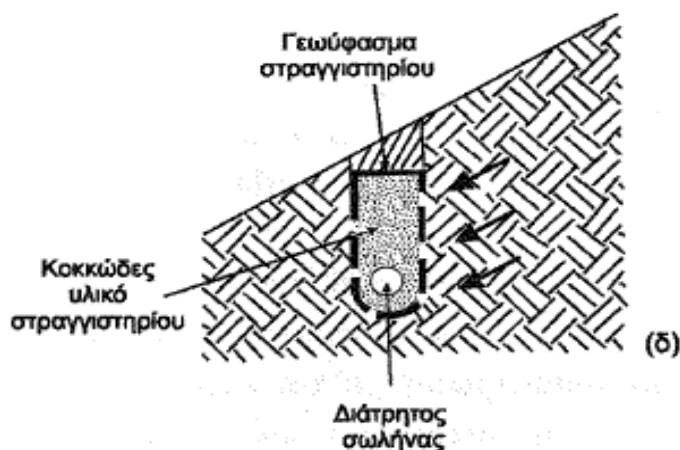
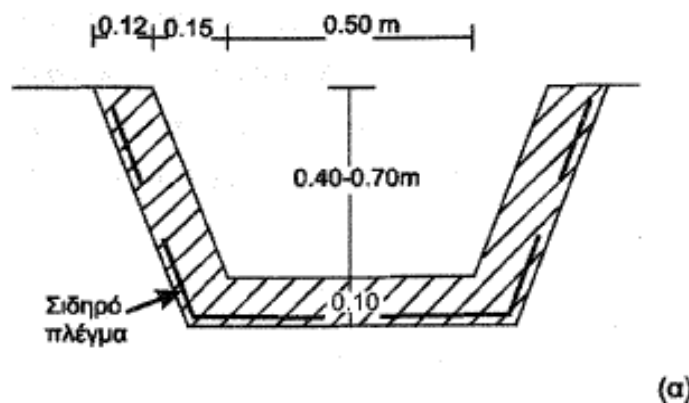
2.4.1.2 Μείωση των δυνάμεων που προκαλούν τη μετακίνηση

Οι δυνάμεις που ωθούν την εδαφική μάζα προς μετακίνηση είναι η βαρύτητα λόγω της μάζας της και το νερό που περιέχεται μέσα σ' αυτή (ενεργητικές δυνάμεις). Σκοπός επομένως είναι να απομειωθεί η επίδραση αυτών και αυτό μπορεί να γίνει με:

1. *Εργασίες εκσκαφής και διαμόρφωσης πρανών.* Είναι χωματουργικές εργασίες που στοχεύουν στη μείωση της μέσης κλίσης των πρανών είτε με τη δημιουργία αναβαθμίδων είτε ενιαίας κλίσης και εργασίες απομάκρυνσης υλικών από την κεφαλή και το κύριο σώμα της μετακινούμενης μάζας ή ακόμα και ολική αφαίρεση της.
2. *Αποστράγγιση.* Είναι μέτρο και πρόληψης και αποκατάστασης που συνεισφέρει στη μείωση του βάρους αλλά και στην αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους (λόγω της μείωσης της πίεσης του νερού των πόρων). Η αποστράγγιση μπορεί να είναι είτε επιφανειακή, δηλαδή για νερά από επιφανειακή απορροή είτε υπόγεια.

Τα πιο συνηθισμένα τεχνικά έργα επιφανειακής αποστράγγισης είναι:

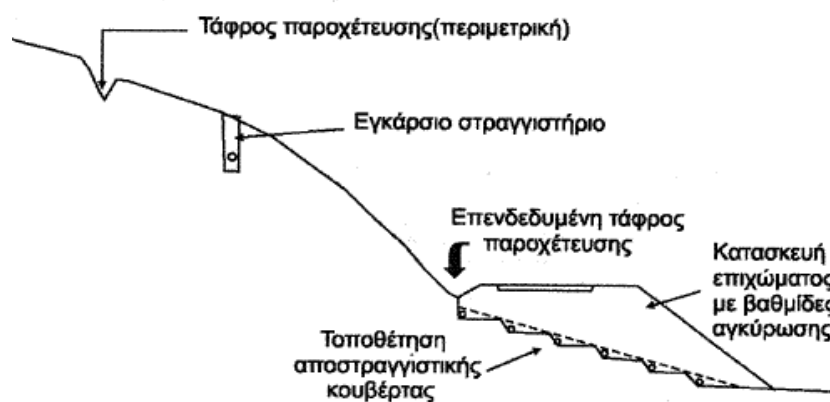
- I. *Τάφροι παροχέτευσης (diversion ditches)* που κατασκευάζονται για τη συλλογή και παροχέτευση των επιφανειακών νερών και συνήθως είναι στεγανοποιημένες.
- II. *Εγκάρσια στραγγιστήρια (interceptor drains)* που είναι μικρού βάθους τάφροι γεμισμένες με κοκκώδες υλικό φίλτρου συνδεδεμένες στη βάση τους με σωλήνα παροχέτευσης και επενδυμένες με γεώφασμα.
- III. *Επεμβάσεις-Επικαλύψεις.* Είναι στη ουσία χωματουργικές εργασίες που έχουν στόχο στη διαμόρφωση του εδαφικού πρανούς έτσι ώστε να απορρέουν τα επιφανειακά νερά. Τέτοιες είναι οι επιστρώσεις με αργλικό υλικό, λιθορριπή, εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, λιθόστρωση με τσιμέντο τα οποία ελέγχουν ή αποτρέπουν την κατείσδυση των επιφανειακών νερών.



Σχήμα 2.16. (α) Τάφος παροχέτευσης και (β) εγκάρσια στραγγιστήρια.

Τα πιο συνηθισμένα τεχνικά έργα υπόγειας αποστράγγισης είναι:

- I. *Στραγγιστικές τάφροι (drainage trenches)*. Κατασκευάζονται για την συγκέντρωση και απομάκρυνση των νερών σε μικρό βάθος και για την ενίσχυση της ασταθούς μάζας. Αν ο σχεδιασμός είναι σωστός συντελεί στην αύξηση του συντελεστή ασφάλειας κατά 30%. Έχουν βάθος 3-6 μέτρα και πλάτος 1 μέτρο και πληρώνονται με υλικό λιθορριπής που έχει μέγιστη διάμετρο 15 εκατοστά. Τοποθετείται επίσης γεώφασμα στραγγιστηρίου και στη βάση της τάφρου διάτρητος σωλήνας περιτυλιγμένος με γεώφασμα για να διευκολύνεται η απορροή των νερών.\
- II. *Στραγγιστικές κουβέρτες (drainage blankets)*. Είναι πάχους 1 μέτρου μανδύας κοκκώδους υλικού που τοποθετείται στη βάση επιχώματος ώστε να διευκολύνεται η αποστράγγιση του εδάφους θεμελίωσης.
- III. *Αποστραγγιστικά φρεάτια (drainage wells)*. Όταν το βάθος αποστράγγισης είναι μεγαλύτερο από αυτό που διασφαλίζεται με τις στραγγιστικές τάφρους κατασκευάζονται τα αποστραγγιστικά φρεάτια. Έχουν διάμετρο μέχρι 2 μέτρα και βάθος έως 10 μέτρα και η απομάκρυνση των νερών γίνεται με άντληση ή με μεταφορά σε υποκείμενους διαπερατούς σχηματισμούς. Στην περίπτωση που απαιτείται βαθύτερη αποστράγγιση διανοίγονται κανονικές υδρογεωτρήσεις.
- IV. *Στραγγιστήρια (drains)*. Διανοίγονται είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα στο μέτωπο του πρανούς. Στην οπή τοποθετείται διάτρητος σωλήνας που περιβάλλεται από γεώφασμα στραγγιστηρίου. Με διάμετρο οπής 120-150 mm.
- V. *Αποστραγγιστικές στοές ή σήραγγες (drainage tunnels, adits or galleries)*. Οι αποστραγγιστικές σήραγγες κατασκευάζονται κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης και έχουν ως στόχο την αποστράγγιση την ευρύτερη περιοχή της ολίσθησης. Βέβαια η κατασκευή τους είναι δαπανηρή και γίνεται μόνο όταν οι στραγγιστικές τάφροι ή φρέατα δεν έχουν αποτέλεσμα και το νερό βρίσκεται σε μεγαλύτερα βάθη.



Σχήμα 2.17. Επιφανειακή αποστράγγιση πρανούς με εγκάρσιο στραγγιστήριο και τάφρους παροχέτευση

2..4.1.3Αύξηση των δυνάμεων που αντιδρούν στη μετακίνηση

Η μείωση των δυνάμεων που προκαλούν τη μετακίνηση σε συνδυασμό με την αύξηση των δυνάμεων που αντιδρούν σ' αυτή δημιουργούν καλύτερες συνθήκες ισορροπίας της μετακινούμενης μάζας. Με την εφαρμογή μιας δύναμης αντίστασης στη ζώνη του πόδα καθώς και με την αύξηση της αντοχής των εδαφών αυτό μπορούμε να το εξασφαλίσουμε. Οι τρόποι είναι :

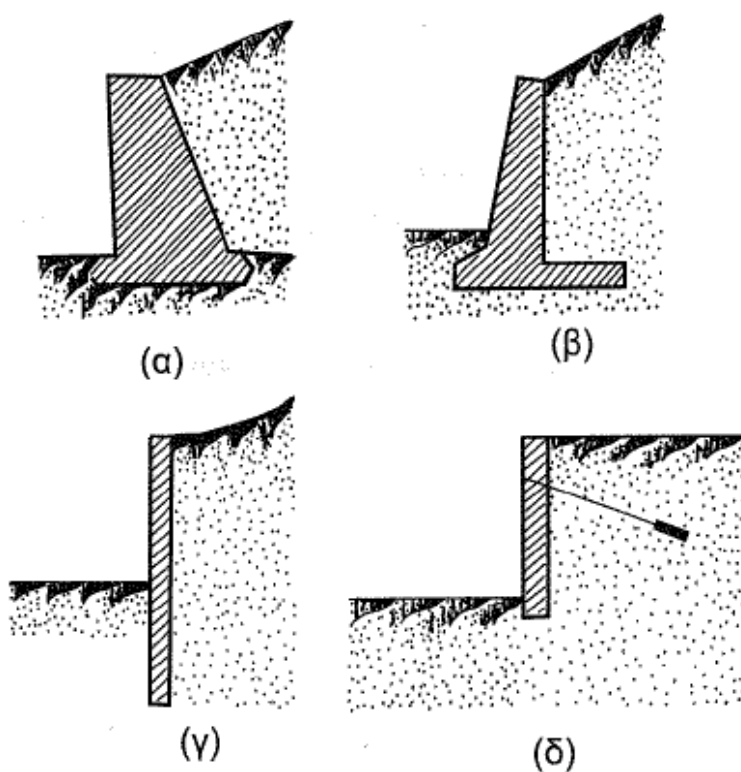
1. Με αντιστήριξη που περιλαμβάνει την κατασκευή διάφορων τεχνικών έργων που έχουν ως στόχο την εφαρμογή εξωτερικών δυνάμεων στο πρανές, ώστε να αυξηθεί η αντίσταση του σε μετακίνηση.
2. Αύξηση της αντοχής των εδαφών του κυρίου σώματος της κατολίσθησης ώστε να μην μετακινούνται.

Τα πιο συνηθισμένα τεχνικά έργα αντιστήριξης είναι:

- I. *Τοίχοι αντιστήριξης (retaining walls)* που είναι τοίχοι από οπλισμένο σκυρόδεμα και διακρίνονται σε :τοίχους βαρύτητας (gravity walls), τοίχους με πρόβολο (cantilever walls) και πετάσματα. Η θεμελίωση των τοίχων γίνεται στο υγιές υπόβαθρο.
- II. *Πετάσματα* που κατασκευάζονται σε περιπτώσεις αντιστήριξης βαθιών εκσκαφών σε αστικό περιβάλλον χωρίς αγκυρώσεις, με μια σειρά αγκυρώσεων στην περιοχή της κεφαλής οπότε μειώνεται το βάθος πάκτωσης ή πολλαπλές σειρές αγκυρώσεων για μεγάλου ύψους τοιχώματα.
- III. *Συρματοκιβώτια (gabions)* είναι «κλουβιά» τετραγωνικού ή κυλινδρικού σχήματος κατασκευασμένα από μεταλλικό, εξαγωνικής οπής, πλέγμα και πληρωμένα με βραχώδη υλικά. Αυτά τοποθετούνται διαδοχικά κατά ύψος και κατά πλάτος και δημιουργείται έτσι ένας τοίχος που δίνει ενίσχυση, ευκαμψία, διαπερατότητα, ανθεκτικότητα και είναι ωφέλιμα για το περιβάλλον καθώς αναπτύσσεται και στρώμα βλάστησης πάνω σ' αυτά.
- IV. *Πρίσματα και αντηρίδες (berms, buttresses)*. Προσφέρουν αντίβαρο στο πόδα της κατολίσθησης. Κατασκευάζονται από θραυστό υλικό λατομείου, κροκάλες και λατύπες καθώς και από χονδρόκοκκα υλικά επίχωσης. Ο σχεδιασμός τους απαιτεί τους βασικούς γεωτεχνικούς ελέγχους σε ανατροπή, ολίσθηση στη βάση ή κάτω από αυτή.
- V. *Οπλισμένη γη (reinforced earth-terre arme)* που είναι έδαφος με ενσωματωμένο οπλισμό σε στρώσεις, ο οποίος δέχεται εφελκυστικές δυνάμεις από το έδαφος και τις μεταβιβάζει πάλι στο έδαφος μέσω της τριβής. Αποτελείται από α. γεώδες υλικό επιχώματος, β.ελάσματα μεταλλικού οπλισμού και γ. προκατασκευασμένα στοιχεία από σκυρόδεμα (πετάσματα).
- VI. *Πάσσαλοι (piles)*. Χρησιμοποιούνται σε αστικό περιβάλλον, όταν η επιφάνεια ολίσθησης είναι σε βάθος τέτοιο που τα άλλα συστήματα αντιστήριξης δεν επιφέρουν κάποιο αποτέλεσμα.

Οι πιο συχνές μέθοδοι ενίσχυσης των εδαφών του κυρίου σώματος της κατολίσθησης είναι:

- I. *Φυτοκάλυψη (vegetation)*. Αρχικά γίνεται επίστρωση του πρανού με γεωσυνθετικά υλικά ή με γεωφάσματα από βιοαποικοδομήσιμο υλικό στη συνέχεια επιλέγεται το είδος της βλάστησης και με υδροσπορά με τη βοήθεια ενός υδραυλικού μηχανήματος γίνεται επικάλυψη του πρανού.
- II. *Ενέματα στήριξης* που είναι τσιμεντενέσεις
- III. *Χημικά διαλύματα* που προκαλούν αντικατάσταση κάποιων κατιόντων των αργιλικών ορυκτών με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους.
- IV. *Ηλεκτροόσμωση (electroosmosis)*. Γίνεται με την εισαγωγή δύο ηλεκτροδίων σε κορεσμένο έδαφος που διοχετεύουν συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα οπότε διαπιστώνεται μετακίνηση του νερού από την άνοδο στη κάθοδο. Αν η κάθοδος συντίθεται από φρεάτιο ή κάποιο σύστημα αποστράγγισης, το νερό μπορεί να απομακρυνθεί.
- V. *Ψύξη εδάφους (ground freezing)*. Γίνεται αύξηση της αντοχής του εδάφους και μείωση της διαπερατότητας του λόγω της ψύξης του με χημικά διαλύματα.



Σχήμα 2.18. Βασικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης α. τοίχος βαρύτητας β. τοίχος με πρόβολο γ. πέτασμα αυτοευσταθές δ. πέτασμα με μια σειρά αγκυρώσεω.

2.4.2 Μέτρα προστασίας σε βραχώδη πρανή.

Η διαφορά των μέτρων προστασίας ανάμεσα στα εδαφικά και στα βραχώδη πρανή έγκειται στο ότι γίνεται σαφής διαχωρισμός στα βραχώδη πρανή ανάμεσα στα προληπτικά μέτρα και στα μέτρα αποκατάστασης εξαιτίας του είδους των αστοχιών που κυριαρχεί σε αυτά.

1.4.2.1 Προληπτικά μέτρα

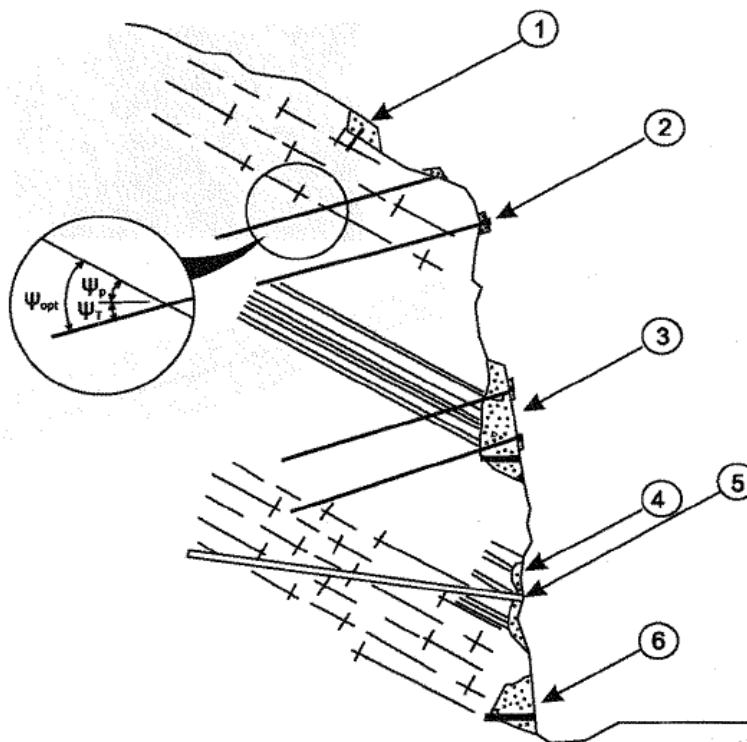
- I. *Πλατύσματα-τάφροι αναχαίτησης (ditches)*. Αποτελούν χώρους που δέχονται τις καταπτώσεις στη βάση του πρανού με επίστρωση από κοκκώδες υλικό για την απορρόφηση της ενέργειας τους. Απαιτείται σωστή γεωμετρία της τάφρου ώστε να συγκρατούνται οι καταπτώσεις που εξαρτάται από τη γεωμετρία του πρανού.
- II. *Πλέγματα συγκράτησης (Draped wire mesh)*. Τοποθετούνται στο μέτωπο του πρανού και συγκρατούν περιορισμένου όγκου βραχώδη τεμάχια. Η χρησιμοποίησή τους ελαττώνει τις διαστάσεις που πρέπει να έχουν οι τάφροι αναχαίτησης
- III. *Τοίχοι αναχαίτησης (catch walls)*. Κατασκευάζονται στα άκρα των τάφρων αναχαίτησης και έχουν ύψος μέχρι 2 m αλλά σε περιπτώσεις απότομων πρανών το ύψος αυξάνει. Το κριτήριο για την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του πόδα της πλαγιάς και του τοίχους είναι να μην μπορεί ένας βράχος να χτυπήσει το τοίχο πριν η κινητική του ενέργεια μειωθεί από την πρώτη πρόσκρουση με το στρώμα κοκκώδους υλικού.
- IV. *Φράκτες συγκράτησης (rockfall barriers-rockfall fences)*. Είναι μεταλλικές κατασκευές που τοποθετούνται συνήθως στη βάση ενός απότομου πρανού. Ο σχεδιασμός τους γίνεται ανάλογα με τις αναμενόμενες καταπτώσεις.
- V. *Φράκτες προειδοποίησης (warning fences)*. Σε σημαντικούς κυκλοφοριακούς και σιδηροδρομικούς άξονες υψηλών ταχυτήτων τοποθετούνται φράκτες προειδοποίησης που ενεργοποιούνται σε περίπτωση καταπτώσεων. Αποτελούνται από μια σειρά στύλων που φέρουν εγκάρσιες δοκούς από τις οποίες διέρχονται σύρματα σε απόσταση περίπου 0.50 m μεταξύ τους. Οι θραύσεις των συρμάτων από τις καταπτώσεις διεγείρει κάποιο σήμα προειδοποίησης που μπορεί να είναι ηχητικό ή ακόμα μία κατάλληλη σηματοδότηση για τη διακοπή της κυκλοφορίας.
- VI. *Σκέπαστρα και σήραγγες (sheds and tunnels)*. Χρησιμοποιούνται σε απότομα πρανή που βρίσκονται σε στενά σιδηροδρόμων ή δρόμων. Στη περίπτωση μιας μεγάλης εθνικής οδού με πολλές λωρίδες μπορεί να μην είναι δυνατό να σχεδιαστεί ένα σκέπαστρο με επαρκή αντοχή ώστε να αντέχει μεγάλο όγκο καταπτώσεων.

2.4.2.2 Μέτρα σταθεροποίησης - Ενίσχυση

- I. *Αγκυρώσεις*. Γενικά οι αγκυρώσεις βοηθούν στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχώμαχας αυξάνοντας τις κάθετες δυνάμεις που ενεργούν πάνω στις επιφάνειες ασυνεχειών. Τα ακγύρια (anchors) έχουν μήκος από 5 μέχρι 50 m και μεταβιβάζουν δυνάμεις από 150 μέχρι 2500 kN και μπορούν να φτάσουν μέχρι 10000 kN. Διακρίνονται ανάλογα το χρόνο ζωής τους σε προσωρινά (2 χρόνια ζωής) και σε μόνιμα. Ανάλογα τη λειτουργία τους διακρίνονται σε α. ενεργά ή προεντεταμένα που επιβάλλουν μια νέα δύναμη που συμβάλλει στη σταθεροποίηση και β. παθητικά που δεν επιβάλλουν καμία δύναμη αλλά ενεργοποιούνται όταν αρχίσει η παραμόρφωση.
- II. *Τοίχοι*. Στα βραχώδη πρανή χρησιμοποιούνται οι τοίχοι επένδυσης (tieback walls) που τοποθετούνται στη βάση του πρανούς, φέρουν οπές αποστράγγισης και συνήθως ενισχύονται με προεντεταμένες αγκυρώσεις.
- III. *Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (shotcrete)*. Αποτελείται από μείγμα τσιμέντου, άμμου και λεπτόκοκκου αδρανούς υλικού με νερό, που εκτοξεύεται από ειδική αντλία με μεγάλη ταχύτητα και υπό πίεση πάνω στο πρανές. Ενισχύει και προστατεύει το πρανές από την αποσάθρωση.
- IV. *Αποστράγγιση*. Τα έργα που περιγράφηκαν για την αποστράγγιση των εδαφικών πρανών είναι αντίστοιχα και για τα βραχώδη πρανή.

2.4.2.3 Μέτρα σταθεροποίησης – Εκσκαφές πρανών

- I. *Αλλαγή κλίσης–Αποφόρτιση (Resloping–unloading)*. Διαμορφώνονται αναβαθμίδες ανά 10 m ύψους πρανούς και μπορεί να επιστρώνονται με ασφαλικό υλικό για την μείωση της κατείσδυσης σε περιπτώσεις υψηλών πρανών. Οι εργασίες είναι ίδιες όπως αυτές στα εδαφικά πρανή.
- II. *Ξεσκάρωμα βράχων (scaling-trimming)*. Είναι η αφαίρεση από το πρανές τον επικίνδυνον προς κατάπτωση βράχων. Γίνεται με δύο τρόπους α. χειρωνακτικά-μηχανικά μέσα και β. με χρήση εκρηκτικών.
- III. *Ειδικές μέθοδοι εκσκαφής*. Γίνονται με ελεγχόμενη χρήση εκρηκτικών που μειώνει τη ρηγμάτωση της βραχώμαζας, τις υπερεκσκαφές και τις παραγόμενες δονήσεις. Εφαρμόζονται μέθοδοι που η χρήση τους εξαρτάται από την ποιότητα της βραχώμαζας, το μέγεθος της εκσκαφής και το κόστος του έργου. Αυτές είναι η μέθοδος γραμμικής διάτρησης, πρότμησης, ελαφρού τύπου και η λείων τοιχωμάτων.



Σχήμα 2.19. Μέθοδοι ενίσχυσης βραχώδους πρανού: 1. Σκυρόδεμα ενισχυμένο με κοχλίες για την προστασία της χαλάρωσης της κορυφής του μετώπου, 2. προεντετεμένα αγκύρια για τη διασφάλιση επίπεδων ολισθήσεων στο κορυφαίο τμήμα του μετώπου, 3. τοίχος επένδυσης για την προστασία ολίσθησης στην ασταθή ζώνη του ρήγματος, 4. Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα για την συγκράτηση ζώνης έντονα διακλασμένου πετρώματος, 5. οριζόντιο στραγγιστήριο για τη μείωση των υδροστατικών πιέσεων στη βραχώμαζα, 6. αντηρίδα από σκυρόδεμα για την αντιστήριξη του πετρώματος σε έγκοιλο (από Landslides special report 247, 1996).

2.5 Επίλυση Ευστάθειας Πρανών

Οι μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας πρανών αναφέρονται τόσο σε φυσικά πρανή όσο και σε τεχνητά πρανή εκσκαφών και σε πρανή επιχωμάτων. Προκειμένου ο σχεδιασμός του πρανού και η ευστάθεια του να επιτευχθεί λαμβάνονται υπόψη οι αντιπροσωπευτικές σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων των σχηματισμών, οι μεταβολές της πίεσης των πόρων, η ανισοτροπία και ανομοιογένεια των σχηματισμών, η επίδραση αρχικών τάσεων και οι συνέπειες από επιφορτίσεις λόγω κατασκευών. Δύο είναι οι κατηγορίες-μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών:

1. Αναλύσεις οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Analyses)
2. Αναλύσεις παραμόρφωσης (Deformation Analyses)

Η διαφορά μεταξύ των δύο προσεγγίσεων είναι η εκτίμηση ή όχι των παραμορφώσεων πριν την αστοχία, που στην περίπτωση των αναλύσεων οριακής ισορροπίας δεν ενδιαφέρει αλλά ενδιαφέρει η αποτροπή της αστοχίας και στην περίπτωση των αναλύσεων παραμόρφωσης εκτιμάται το εύρος των παραμορφώσεων και μετακινήσεων πριν και μετά την αστοχία.

Οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας μπορούν να χρησιμοποιήσουν στατικές ή δυναμικές εξισώσεις ισορροπίας. Μια ανάλυση στατικής ισορροπίας αρχικά εξετάζει την πιθανότητα της ολίσθησης ή της ανατροπής του εκάστοτε μπλόκ που έχει ασυνέχειες που το οριοθετούν και ανατέλλουν στο πρανές.

2.5.1 Αναλύσεις παραμόρφωσης

Οι επιλύσεις της αυτής της ανάλυσης γίνονται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (finite element method) και απαιτείται καλή γνώση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων των εδαφών καθώς επίσης και των διατμητικών αντοχών τους. Είναι δύσκολες και περίπλοκες στην εφαρμογή οι αναλύσεις αυτές και απαιτείται εμπειρία από τον μελετητή προκειμένου τα αποτελέσματα να έχουν βαθμό αξιοπιστίας. Ο συνδιασμός των αναλύσεων αυτών με στοιχεία από ενόργανες μετρήσεις δίνει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα. Όλες οι επιλύσεις παραμόρφωσης γίνονται με χρήση προγραμμάτων H/Y και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων εξαρτάται από τη σωστή μοντελοποίηση όλων των παραμέτρων και των μεταβολών τους (παραμορφώσεων, τάσεων, αστοχιών κ.λπ).

2.5.2 Αναλύσεις οριακής ισορροπίας

Οι αναλύσεις οριακής ισορροπίας είναι οι πιο συνηθισμένες και εξετάζουν την ισορροπία μεταξύ των δυνάμεων εκείνων που τείνουν να προκαλέσουν ολίσθηση του πρανούς κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας ολίσθησης και των δυνάμεων εκείνων που ασκούνται κατά μήκος της επιφάνειας αυτής και αντιτίθενται στην ολίσθηση. Οι δυνάμεις που μπορούν να προκαλέσουν την ολίσθηση είναι οι δυνάμεις της βαρύτητας, οι πιέσεις των πόρων, οι επιφορτίσεις από κατασκευές κ.λπ και οι δυνάμεις που αντιστέκονται στην ολίσθηση είναι η διατμητική αντοχή του εδάφους ή του βράχου.

Η διερεύνηση του πρανούς έναντι αστοχίας γίνεται με το **συντελεστή ασφάλειας (factor of safety) (F)** που υπολογίζεται από το πηλίκο των δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση (*παθητικές δυνάμεις*) με τις δυνάμεις που ωθούν προς την ολίσθηση (*ενεργητικές δυνάμεις*) :

$$F = \frac{\text{Παθητικές Δυνάμεις}}{\text{Ενεργητικές Δυνάμεις}}$$

Όταν ο λόγος αυτός είναι μεγαλύτερος από το 1 το πρανές είναι ευσταθές, όταν είναι μικρότερος από 1 το πρανές είναι ασταθές και πρόκειται να αστοχήσει και όταν είναι ίσο με 1 τότε το πρανές είναι σε κατάσταση επικείμενης αστοχίας ή σε οριακή κατάσταση ευστάθειας. Ο συντελεστής ασφάλειας που είναι αποδεκτός είναι μεγαλύτερος από 1 και πρέπει να εξασφαλίζει ένα περιθώριο ασφάλειας μεταξύ του πραγματικού φορτίου και του φορτίου αστοχίας για να περιληφθούν παράμετροι που δεν έχουν ληφθεί υπόψη στην ανάλυση, όπως :

- πιθανότητα απρόβλεπτης δυσμενούς αύξησης κάποιων φορτίων
- πιθανότητα απρόβλεπτης μείωσης κάποιων από τις εδαφικές παραμέτρους (ανομοιομορφία εδάφους, ανακρίβεια-ανεπάρκεια μεθόδων μέτρησης κ.λπ)
- πιθανό σφάλμα και διάφορες παραδοχές που εισάγονται από τα χρησιμοποιούμενα αναλυτικά προσομοιώματα των υπολογισμών.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1221/30-11-98 περί «Ανάλυσης τιμών και λοιπών θεμάτων Γεωτεχνικών ερευνών, Μελετών Γεωτεχνικών Έργων και Γεωτεχνικών Μελετών», οι τιμές των συντελεστών ασφάλειας που ορίζονται για τα εδαφικά πρανή εκσκαφών και επιχωμάτων δίνονται στον πίνακα 1.

F=1.4	Για συνθήκες ομαλής φόρτισης και ομαλής λειτουργίας
F=1.3	Για συνθήκες στατικής φόρτισης και πιθανή εκτιμώμενη ακραία περίπτωση ανύψωσης στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα για ζωή έργου 50 χρόνια
F=1.0	Για την περίπτωση σεισμικής φόρτισης

Πίνακας 2.2. Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφάλειας με βάση τις οδηγίες.

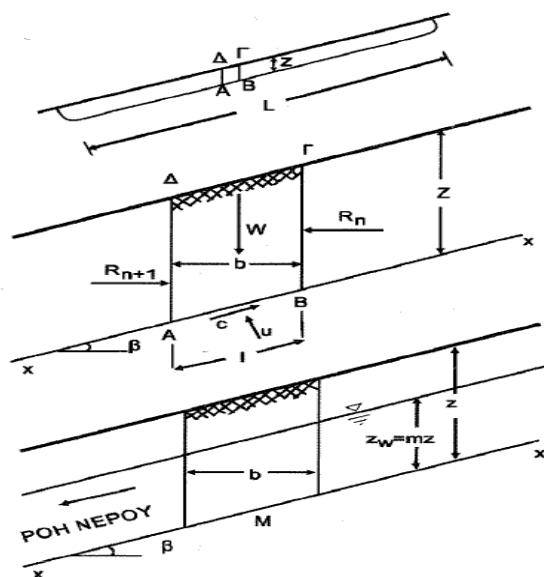
Όλες οι μέθοδοι ανάλυσης δέχονται ένα συγκεκριμένο μηχανισμό αστοχίας ο οποίος εξαρτάται από το σχήμα της επιφάνειας ολίσθησης, δέχονται τη γενικότερη θεώρηση της πλαστικής ισορροπίας του εδαφικού υλικού. Επίσης για λόγους πρακτικούς και επιτάχυνσης των υπολογισμών, οι μεθοδολογίες ανάλυσης της ευστάθειας εμπεριέχουν διάφορες παραδοχές σχετικά με τις συνθήκες στατικής ισορροπίας της εδαφικής μάζας.

2.5.2.1 Κατολισθήσεις τύπου εδάφους

1) Επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης σχεδόν παράλληλη στο φυσικό έδαφος-πρανές άπειρου μήκους

Αυτές οι ολισθήσεις εμφανίζονται σε μικρής κλίσης πρανή στα οποία υπάρχουν επιφανειακοί σχηματισμοί που είναι χαλαροί και μικρού πάχους (ζώνη αποσάθρωσης ενός πετρώματος) σε σχέση με τους υποκείμενους σχηματισμούς. Στην ανάλυση αυτών των ολισθήσεων υποθέτουμε επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης που είναι

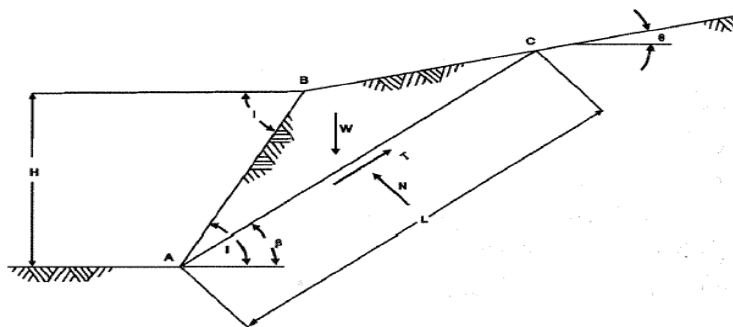
παράλληλη με το έδαφος και τον λόγο βάθους ολίσθησης (z) προς το μήκος (L) πολύ μικρό.



Σχήμα 2.20. Ανάλυση ευστάθειας πρανούς με επιφάνεια ολίσθησης παράλληλη στην επιφάνεια του εδάφους.

2) Επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης που διέρχεται από το πόδι του πρανούς

Οι ολισθήσεις τέτοιου είδους εμφανίζονται σε εδάφη με στρώση η οποία έχει προσανατολισμό που ευνοεί την εκδήλωση μιας τέτοιας αστοχίας.



Σχήμα 2.21. Επίδραση δυνάμεων σε πρανές με επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης

3) Κυκλοειδής επιφάνεια ολίσθησης

Αυτή η μορφή ολίσθησης είναι που θα πραγματευτεί η εργασία αυτή που είναι από τις πλέον τυπικές μορφές. Η επιφάνεια ολίσθησης έχει κατά προσέγγιση σχήμα κυκλικού τόξου με τα άκρα της να είναι περισσότερο επίπεδα από κεντρικό της τμήμα που είναι κυκλικό. Όταν ο εδαφικός σχηματισμός είναι ομογενής και ισότροπος προσεγγίζει καλύτερα το κυκλικό τόξο, ενώ όταν είναι ανομοιογενής η

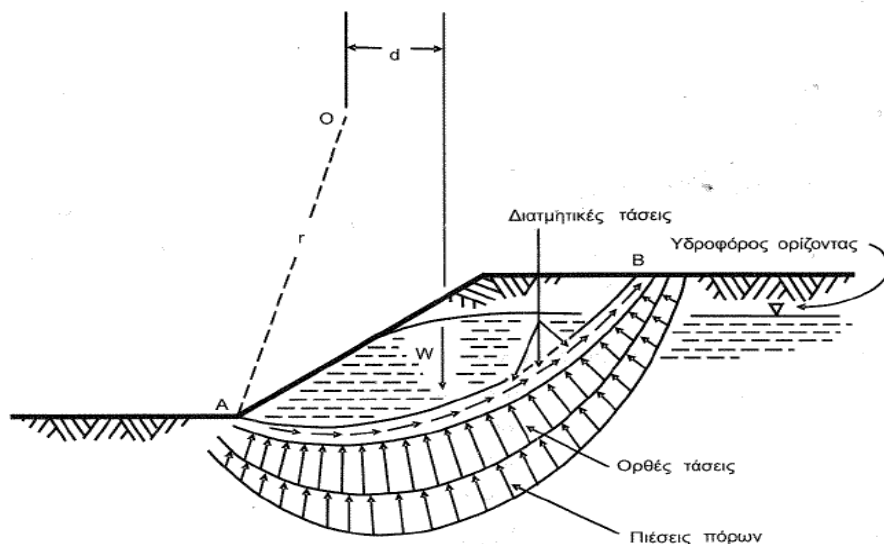
επιφάνεια ολίσθησης παρουσιάζεται πιο σύνθετη. Η ανάλυση της ευστάθειας των πρανών στις περιπτώσεις αυτές γίνεται με τις παρακάτω δύο βασικές μεθοδολογίες ανάλυσης :

- γενικευμένη μέθοδος (circular arc analysis)
- μέθοδος των λωρίδων (method of slices)

Στη περίπτωση που η αστοχία είναι συγκεκριμένη και έχει συμβεί σε συγκεκριμένη κυκλική επιφάνεια αστοχίας, η ανάλυση γίνεται σε αυτόν τον ένα και μοναδικό κύκλο ολίσθησης. Σε επίπεδο μελέτης ευστάθειας ενός υφιστάμενου ή σχεδιαζόμενου πρανού γίνεται προσδιορισμός του *κρίσιμου κύκλου ολίσθησης*, δηλαδή της κυκλικής επιφάνειας που παρουσιάζει τον ελάχιστο συντελεστή ασφάλειας. Προκειμένου να βρεθεί αυτός ο κρίσιμος κύκλος ολίσθησης γίνεται υπολογισμός του συντελεστή ασφάλειας για διάφορες θέσεις κέντρων με διαφορετική ακτίνα και εντοπίζεται αυτός με το χαμηλότερο συντελεστή ασφάλειας.

A) Γενικευμένη μέθοδος

Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην εκτίμηση των ροπών περιστροφής και των ροπών αντίστασης της εδαφικής μάζας. Στη περίπτωση ομογενούς εδαφικής μάζας με μια κυκλική επιφάνεια ολίσθησης οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω της είναι: α. το βάρος (W) της ολισθαίνουσας μάζας, β. οι ενεργές τάσεις (N) γ. η διατμητική αντοχή (C) η συνοχή και (T) η τριβή και δ. η πίεση των πόρων.



Σχήμα 2.22. Κατανομή των τάσεων που εξασκούνται σε εδαφική μάζα με κυκλική επιφάνεια ολίσθησης (από CERNICA 1982)

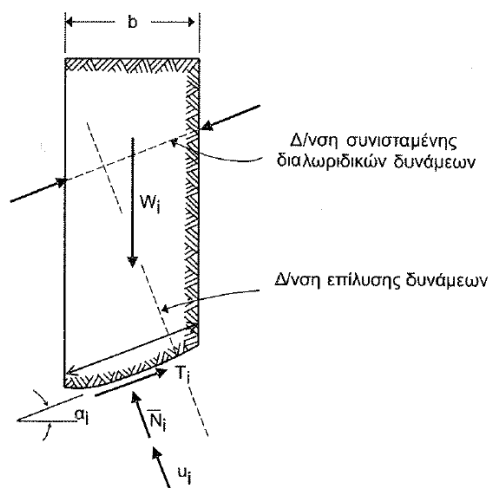
B) Μέθοδος των λωρίδων (Method of slices)

Η μέθοδος αυτή δίνει πιο ακριβή αποτελέσματα σε σχέση με την προηγούμενη ακόμη και όταν εφαρμόζεται σε ανομοιογενή εδαφικά υλικά. Η μάζα που ολισθαίνει υποδιαιρείται σε επιμέρους λωρίδες με κατακόρυφες πλευρές και γίνεται εκτίμηση της μεταβολής σε κάθε μια από τις λωρίδες αυτές των εδαφικών παραμέτρων, των

Λόγω της αδυναμίας επίλυσης των στερεοστατικών εξισώσεων ισορροπίας που οφείλεται στον αριθμό των αγνώστων που υπεισέρχονται στην επίλυση, γίνεται μείωση του αριθμού των αγνώστων με απλοποιητικές παραδοχές οι οποίες αφορούν κυρίως τη διεύθυνση ή/και το μέγεθος των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ των λωρίδων. Έτσι έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι επίλυσης με διαφορετικές μεταξύ τους παραδοχές σχετικά με τη δράση των διαλωριδικών δυνάμεων.

Αρχική-Σουηδική Μέθοδος (Συμβατική μέθοδος Fellenius)

Είναι η παλαιότερη μέθοδος και η επίλυση της ικανοποιεί μόνο την ισορροπία των ροπών στο σύνολο της ολισθαίνουσας μάζας. Οι διαλωριδικές δυνάμεις (X και E) έχουν συνισταμένες (L_1 και L_2) με διεύθυνση παράλληλη προς τη βάση της λωρίδας και είναι ίσες και αντίθετες με επίλυση των δυνάμεων να γίνεται σε άξονα κάθετο στη βάση της λωρίδας.



Σχήμα 2.24. Επίδραση δυνάμεων στην αρχική μέθοδο των λωρίδων (από LAMBE and WHITMAN)

Γίνεται και γραφική επίλυση με αυτή τη μέθοδο ανάλυσης που προϋποθέτει σχεδίαση του εξεταζόμενου πρανούς υπό κλίμακα. Η εύρεση του κρίσιμου κύκλου ολίσθησης υπάρχουν κάποιες γενικές οδηγίες που οδηγούν στον εντοπισμό του. Οι παρακάτω οδηγίες είναι για ομογενή συνεκτικά εδαφικά πρανή

- Σε ήπια πρανή ($<15^\circ$) ο κρίσιμος κύκλος ολίσθησης διέρχεται βαθύτερα από το πόδι του πρανούς
- Στα πιο απότομα πρανή (μέχρι 45°) ο κρίσιμος κύκλος ολίσθησης διέρχεται από τον πόδα και έχει την μικρότερη ακτίνα και το μικρότερο μήκος τόξου.
- Στα πιο απότομα πρανή ($>45^\circ$) η κυκλική επιφάνεια έχει κέντρο O_1 που ορίζεται από την τομή των πλευρών των γωνιών β_A και β_B και διέρχεται από τον πόδα του πρανούς.

Απλοποιημένη Μέθοδος Bishop

Είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη μέθοδος ανάλυσης και η βασική παραδοχή της είναι ότι οι συνισταμένες των διαλωριδικών πλευρικών δυνάμεων (X και E) έχουν διεύθυνση οριζόντια και είναι προσεγγιστικά ίσες και αντίθετες. Η επίλυση των δυνάμεων γίνεται στον κατακόρυφο άξονα και έτσι δεν ικανοποιείται η ισορροπία των δυνάμεων στην οριζόντια διεύθυνση ούτε η ισορροπία ροπών σε κάθε λωρίδα αλλά ικανοποιούν την ισορροπία ροπών στο σύνολο της μάζας που ολισθαίνει. Αυτή είναι η μία από τις δύο μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν για την ευστάθεια του ορύγματος που γίνεται στο 6 κεφάλαιο.

Μέθοδος Spencer

Ο Spencer πρότεινε ότι η επίδραση των εσωτερικών δυνάμεων που δρουν σε μια λωρίδα, μπορούν να αντικατασταθούν από τη συνισταμένη τους η οποία εφαρμόζεται με γωνία θ με την οριζόντια και διέρχεται από το μέσον της λωρίδας ώστε να ικανοποιεί την ισορροπία των ροπών. Στη μέθοδο αυτή ικανοποιούνται οι συνθήκες ισορροπίας των οριζόντιων και κάθετων εσωτερικών δυνάμεων καθώς επίσης των ριπών των εσωτερικών δυνάμεων ως προς το κέντρο περιστροφής.

Η γωνία θ θεωρείται σταθερή έτσι ώστε η τιμή του συντελεστή ασφαλείας να εξαρτάται από τη σταθερή τιμή της γωνίας θ . Ο συντελεστής ασφάλειας που υπολογίζεται από τη ισορροπία των δυνάμεων δεν είναι ίσος με τον συντελεστή ασφάλειας που υπολογίζεται από την ισορροπία των ροπών για κάθε τιμή της γωνίας θ . Όταν η γωνία θ είναι μηδέν η ανάλυση καταλήγει στη μέθοδο Bishop.

Μέθοδος Morgenstern and Price

Είναι μια μέθοδος ανάλυσης που αναφέρεται σε μη κυκλική επιφάνεια ολίσθησης και ικανοποιεί όλες τις απαιτήσεις στατικής ισορροπίας. Η βασική θεώρηση της μεθόδου είναι ότι η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ δύο λωρίδων έχει προκαθορισμένη κλίση κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Αυτή η μέθοδος είναι η δεύτερη που χρησιμοποιείται παρακάτω στο 6 κεφάλαιο για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφάλειας.

Σημειώνεται εδώ ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία έγιναν αναλύσεις οριακής ισορροπίας για το κατολισθέν πρανές O28 με τις μεθόδους Bishop και Morgenstern and Price για περιστροφικές ολισθήσεις με τη χρήση ειδικού λογισμικού Slide της εταιρίας RocScience.

2.5.2.2 Δομικές αστοχίες σε βραχώδη πρανή

Η ανάλυση της ευστάθειας στην περίπτωση των βραχωδών πρανών λαμβάνει υπόψη την ύπαρξη των ασυνεχειών που διατέμνουν την βραχώμαζα. Η γεωλογία παίζει σπουδαίο ρόλο λόγω της γεωμετρίας των ασυνεχειών που πρέπει να περιγραφούν επακριβώς, προκειμένου να διαμορφωθεί ένα όσο το δυνατόν αξιόπιστο μοντέλο. Έτσι, ανάλογα με το μοντέλο που θα διαμορφωθεί και ανάλογα με τις επί τούτου γεωλογικές συνθήκες εκτιμώνται οι αναμενόμενες αστοχίες και γίνεται ανάλυση της ευστάθειας με τις μεθόδους της οριακής ισορροπίας, κατά μήκος συγκεκριμένων επιφανειών ολίσθησης.

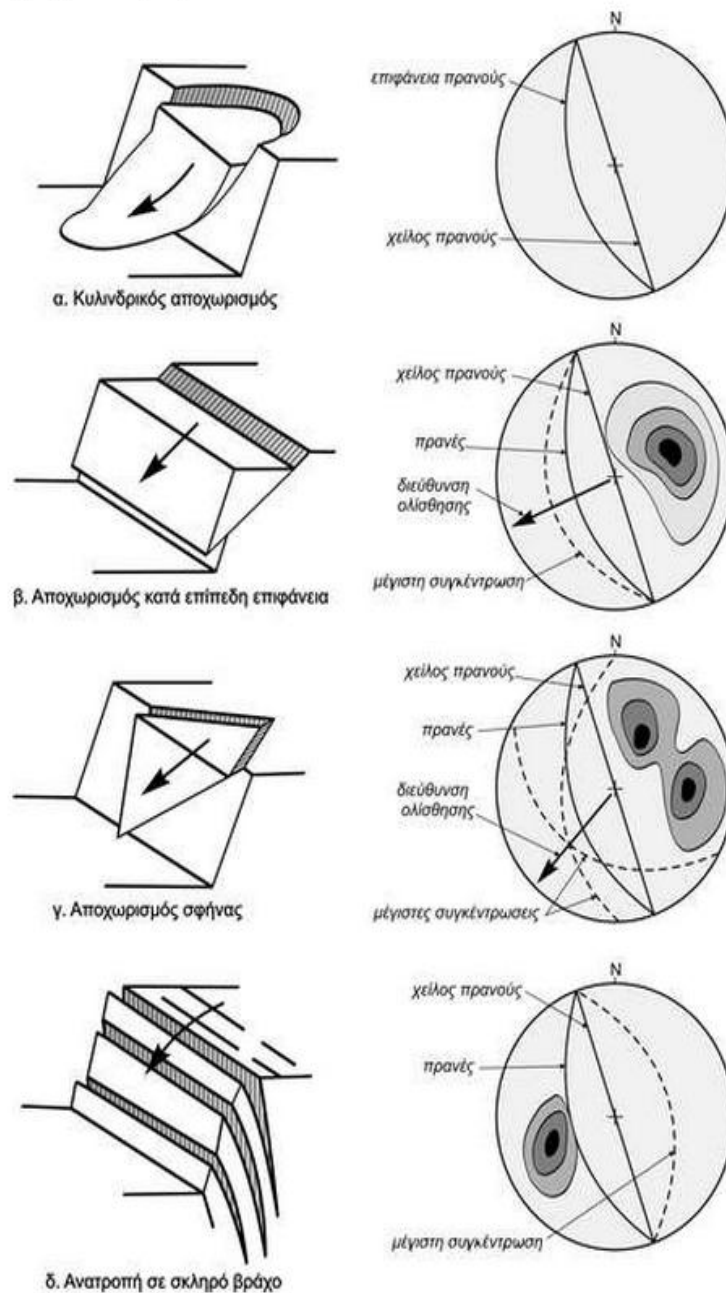
Σημειώνεται εδώ ότι στην παρούσα διπλωματική εργασία δεν έγιναν αναλύσεις για επίπεδες ή σφηνοειδείς ολισθήσεις αλλά για περιστροφικές ολισθήσεις. Παρ'όλα αυτά εκτιμάται η δυνατότητα εκδήλωσης δομικών ολισθήσεων στα πρανή της υπό μελέτης οδοποιίας.

1)Εκτίμηση δυνητικών ολισθήσεων

Προκειμένου να γίνει η ανάλυση, το πρώτο βήμα που γίνεται είναι ο καθορισμός του προσανατολισμού των επιπέδων των ασυνεχειών και η σύγκριση του με τον προσανατολισμό του επιπέδου του πρανούς. Γίνεται επομένως αποτύπωση των επιπέδων, πρανούς και ασυνεχειών στο στερεοδιάγραμμα Schmidt, όπως επίσης και των κύκλων τριβής των ασυνεχειών.

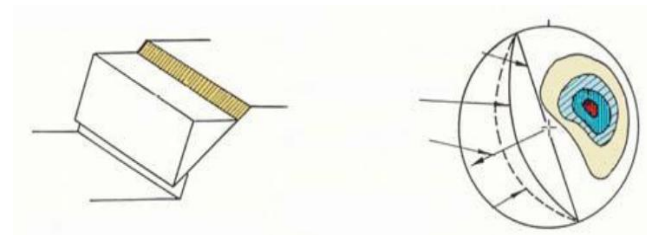
Από την αποτύπωση των ασυνεχειών στο στερεοδιάγραμμα Schmidt μπορούν να προκύψουν τα εξής:

- *Διασπορά των πόλων.* Αυτό δείχνει μια έντονα διακλασμένη και τεκτονισμένη βραχώμαζα και η ολίσθηση γίνεται κατά μήκος μιας μεικτής επιφάνειας ασυνεχειών.
- *Συγκέντρωση των πόλων.* Σε περίπτωση που ο προσανατολισμός είναι ίδιος με του πρανούς, συνεπάγεται δυνατότητα εκδήλωσης επίπεδης ολίσθησης κατά μήκος του συγκεκριμένου επιπέδου ασυνεχειών
- *Ύπαρξη δύο συστημάτων ασυνεχειών.* Αν το σημείο τομής τους εμπίπτει στη ζώνη μεταξύ του πρανού και του κύκλου τριβής των ασυνεχειών, δημιουργούνται συνθήκες εκδήλωσης σφηνοειδούς ολίσθησης κατά μήκος της τομής των δύο επιπέδων.
- *Ύπαρξη συστήματος ασυνεχειών με διεύθυνση ίδια με αυτή του πρανού.* Δημιουργία συνθηκών για την εκδήλωση ανατροπών.



Σχήμα 2.25 . Βασικοί τύποι βραχωδών πρανών και διαγράμματα επεξεργασίας πόλων.

2)Επίπεδη ολίσθηση



Η επίπεδη ολίσθηση γίνεται κατά μήκος μιας διακριτής επίπεδη επιφάνειας που μπορεί να είναι επίπεδο στρώσης, επίπεδο διάκλασης, σχιστότητα κ.λπ, με δυσμενή προσανατολισμό για την ευστάθεια. Οι προϋποθέσεις για την εκδήλωση μιας επίπεδης ολίσθησης είναι :

1. Το επίπεδο της ολίσθησης θα πρέπει να έχει διεύθυνση σχεδόν παράλληλη προς το επίπεδο του πρανούς (διαφορά μέγιστης κλίσης $\pm 20^\circ$)
2. Η κλίση του πρανούς πρέπει να είναι μεγαλύτερη της κλίσης του επιπέδου ολίσθησης η οποία πρέπει να είναι μεγαλύτερη της γωνίας τριβής του επιπέδου ολίσθησης.

$$\Psi_f > \Psi_p > \phi$$

3. Ύπαρξη επιφανειών απελευθέρωσης με αμελητέα αντίσταση στην ολίσθηση, οι οποίες οριοθετούν τα πλευρικά όρια της ολίσθησης.

Λαμβάνονται υπόψη δύο κύριες περιπτώσεις :

1. Ύπαρξη στο πρανές εφελκυστικής ρωγμής είτε στο μέτωπο είτε πάνω στο φρύδι του πρανούς.
2. Χωρίς την ύπαρξη εφελκυστικής ρωγμής.

Επίπεδη ολίσθηση με την δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η εφελκυστική ρωγμή είτε θα βρίσκεται στο μέτωπο του πρανούς είτε στο φρύδι της κατολίσθησης. Η θέση της εφελκυστικής ρωγμής σε σχέση με την στέψη του πρανούς εκτιμάται από τη σχέση :

$$Z/H = (1 - \cos \psi_f \tan \psi_p)$$

Όπου H= το ύψος του πρανούς

Z= το βάθος της εφελκυστικής ρωγμής

Ψ_f = γωνία κλίσης πρανούς

Ψ_p = γωνία κλίσης επιπέδου ολίσθησης

Ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται από την σχέση:

$$F = \frac{cA [W(\cos \Psi_\rho - a \sin \Psi_\rho) - U - V \sin \Psi_\rho] \tan \phi}{W(\sin \Psi_\rho + \cos \Psi_\rho) + V \cos \Psi_\rho}$$

Όπου c, ϕ = παράμετροι διατμητικής αντοχής του επιπέδου ολίσθησης

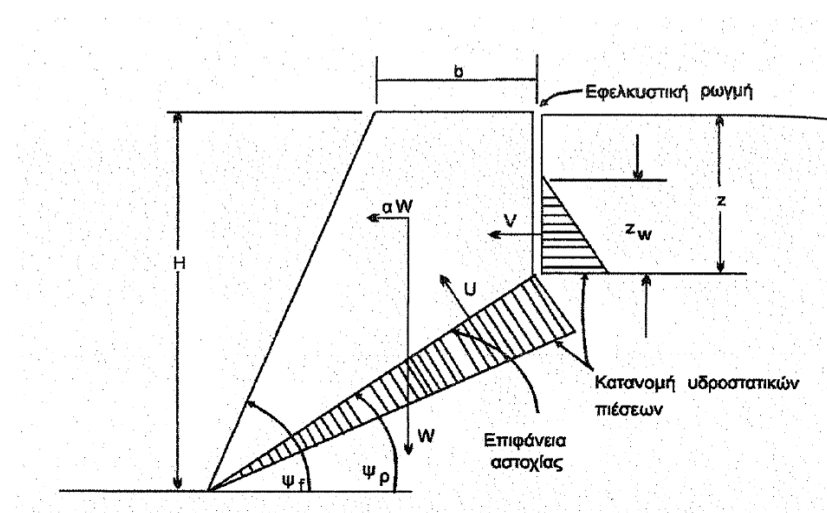
Ψ_f = γωνία κλίσης πρανούς

Ψ_ρ = γωνία κλίσης επιπέδου ολίσθησης

H = το ύψος του πρανούς

a = η σεισμική επιτάχυνση

Z = το βάθος της εφελκυστικής ρωγμής



Σχήμα 2.26. Απεικόνιση της αστάθειας βραχώδους πρανού σε επίπεδη ολίσθηση με εφελκυστική ρωγμή (HOEK and BRAY 1977)

Ισχύουν επίσης:

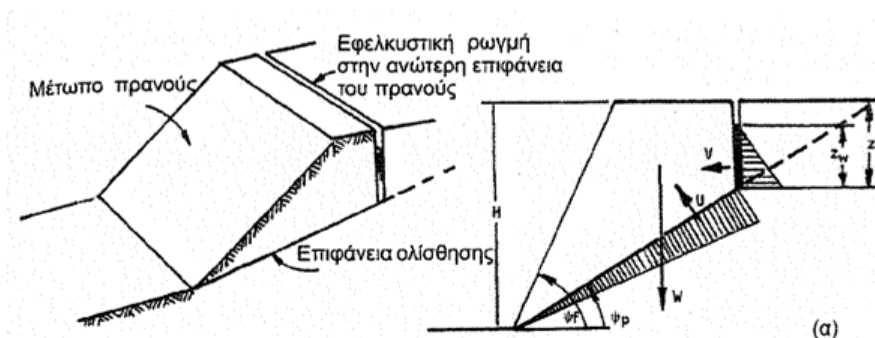
$$Z = H(1 - \sqrt{\cos \psi_f \tan \psi_\rho})$$

$$A = (H - Z) \operatorname{cosec} \psi_\rho$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left[\left(1 - \left(\frac{Z}{H} \right)^2 \right) \cos \psi_\rho - \cos \psi_f \right]$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w A$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$



Σχήμα 2.27. Γεωμετρία πρανούς με εφελκυστική ρωγμή πάνω στη στέψη (από HOEK and BRAY 1977)

Η μεθοδολογία που αναλύθηκε παραπάνω εφαρμόζεται και όταν η βραχώμαζα είναι έντονα κερματισμένη, δεν κυριαρχεί συγκεκριμένο σύστημα ασυνεχειών και έτσι η ολίσθηση θα γίνει σε μια σύνθετη επιφάνεια, η οποία διέρχεται από ασυνέχειες που είναι συγχρόνως και επίπεδα σχιστότητας, και διακλάσεις κ.λπ.

Επίπεδη ολίσθηση χωρίς την δημιουργία εφελκυστικής ρωγμής

Είναι η κλασσική περίπτωση που συναντάται στις επίπεδες ολισθήσεις. Ο συντελεστής ασφάλειας δίνεται από τη σχέση :

$$F = \frac{cA [W(\cos \psi_p - a \sin \psi_p) - U] \tan \phi}{W(\sin \psi_p + \cos \psi_p)}$$

Όπου c, ϕ = παράμετροι διατμητικής αντοχής του επιπέδου ολίσθησης

ψ_f = γωνία κλίσης πρανούς

ψ_p = γωνία κλίσης επιπέδου ολίσθησης

H = το ύψος του πρανούς

a = η σεισμική επιτάχυνση

$$A = H \operatorname{cosec} \psi_p$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 [\cos \psi_p - \cos \psi_f]$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w H_w^2 \operatorname{cosec} \psi_p$$

3)Σφηνοειδής ολίσθηση



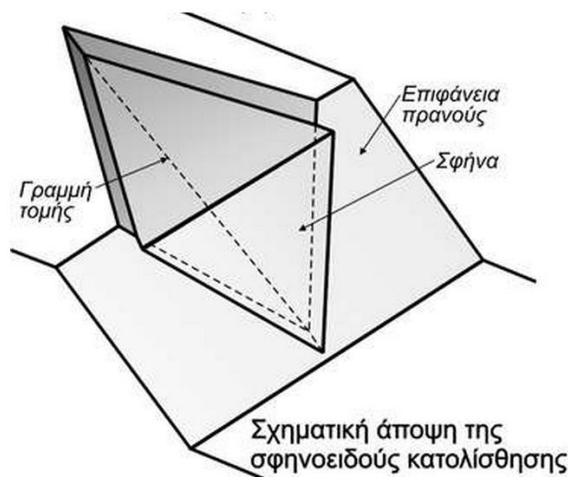
Για να πραγματοποιηθεί σφηνοειδής ολίσθηση πρέπει ο προσανατολισμός των επιπέδων των ασυνεχειών να είναι ευνοϊκός. Όταν συμβαίνει αυτό, γίνεται μια προκαταρκτική εκτίμηση της ευστάθειας για τη συγκεκριμένη ολίσθηση και στη συνέχεια, αν η κατάσταση βρεθεί κρίσιμη, η ανάλυση γίνεται πιο λεπτομερής και συστηματική.

Προκαταρκτική ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση

Η ανάλυση αυτή γίνεται με βάση την τριβή των επιπέδων ασυνεχειών και σε στεγνές μόνο συνθήκες. Ο συντελεστής ασφάλειας είναι:

$$F = A \tan \phi_A + B \tan \phi_B$$

Όπου ϕ_A και ϕ_B = γωνίες τριβής των επιπέδων ολίσθησης



Σχήμα 2.28. Απεικόνιση αστάθειας βραχώδους πρανούς σε σφηνοειδή ολίσθηση (από HOEK and BRAY 1977)

Ανάλυση ευστάθειας σε σφηνοειδή ολίσθηση

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γεωμετρία μιας σφηνοειδούς ολίσθησης. Το νερό διεισδύει στο εσωτερικό της βραχώμαζας από τα ίχνη των επιπέδων ολίσθησης 3 και 4 που βρίσκονται στην ανώτερη επιφάνεια και στην συνέχεια εξέρχεται από τις επιφάνειες 1 και 2 από τα ίχνη των επιπέδων στο μέτωπο. Η κατανομή της υδροστατικής πίεσης είναι μέγιστη κατά μήκος της τομής των επιπέδων της σφήνας 5 και μηδενική κατά μήκος των τομών των επιπέδων με το άνω ή κάτω μέτωπο του πρανούς.

Στη περίπτωση που η ολίσθηση γίνει κατά μήκος της τομής των δύο επιφανειών, τότε ο συντελεστής ασφάλειας είναι :

$$F = \frac{3}{\gamma H} (c_A X + c_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X \right) \tan \phi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi_B$$

Όπου c_A και c_B = η συνοχή των επιπέδων A και B αντίστοιχα

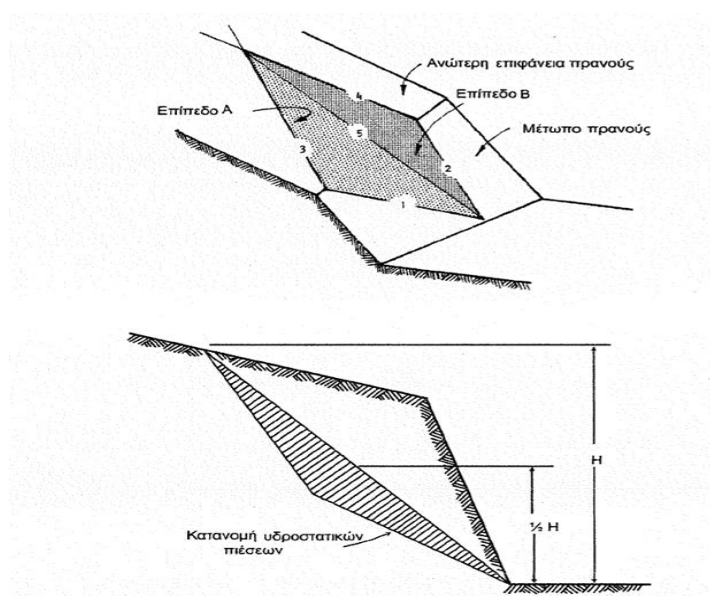
ϕ_A και ϕ_B = η γωνία τριβής των επιπέδων ασυνεχειών A και B αντίστοιχα

γ = το φαινόμενο βάρος του βραχώδους υλικού

γ_w = το φαινόμενο βάρος του νερού (= 10 kN/m³)

H = το συνολικό ύψος της σφήνας

X, Y, A και B = αδιάστατοι συντελεστές που εξαρτώνται από τη γεωμετρία της σφήνας



Σχήμα 2.29. Γεωμετρία σφηνοειδούς ολίσθησης που λαμβάνει υπόψη τη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών και τις υδροστατικές πιέσεις στις επιφάνειες ολίσθησης (από HOEK and BRAY 1977)

2.6 Περιγραφή Βραχώμαζας

Από την αρχή της δημιουργίας τους, οι γεωλογικοί σχηματισμοί υφίστανται συνεχή καταπόνηση. Οι αλληπάλληλες τεκτονικές διεργασίες, η επίδραση των επιφανειακών συνθηκών και η παρουσία του υπόγειου νερού, μετά την εκταφή τους, σε συνδιασμό με την συνδιασμό με την ορυκτολογική διαφοροποίηση που πιθανώς να παρουσιάζεται, επηρεάζουν τη δομή των σχηματισμών. Οι καταπονήσεις μπορεί να είναι πτυχώσεις, κερματισμός και αποσάθρωση καθιστώντας την παρουσία άρρηκτων βράχων στη φύση (τουλάχιστον επιφανειακά) εξαιρετικά σπάνια.

Οι βραχώμαζες απαντώνται στη φύση ως ένα σύστημα πετρωμάτων, ασυνεχειών και νερού το οποίο ανάλογα με τις επιφανειακές συνθήκες στις οποίες βρίσκεται παρουσιάζει διαφορετικό βαθμό αποσάθρωσης, κερματισμού κ.λπ. Προκειμένου να γίνει εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών, είναι αναγκαίο να γίνει περιγραφή και ταξινόμηση τους. Στη συνέχεια, μέσω εμπειρικών τύπων, γίνεται ο προσδιορισμός των μηχανικών ιδιοτήτων της βραχώμαζας.

Για την περιγραφή και την ταξινόμηση της βραχώμαζα εξετάζονται :

- Η μηχανική αντοχή του πετρώματος (σ_{ci})
- Ο δείκτης κερματισμού της βραχώμαζας RQD
- Οι ασυνέχειες και τα χαρακτηριστικά τους
- Η παρουσία του υπόγειου νερού

2.6.1.1 Μηχανική αντοχή του πετρώματος

Η κατάταξη των πετρωμάτων με βάση τη μηχανική τους αντοχή γίνεται με την εκτέλεση δοκιμών μονοαξονικής θλίψης σε κυλινδρικά δοκίμια άρρηκτου πετρώματος. Έτσι χωρίζονται σε κατηγορίες A,B,C κ.λπ όπως παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες. Η ύπαρξη επιφανειών μικρής αντοχής, με δυσμενή διεύθυνση, στο συμπαγές υλικό επηρεάζει την τις μετρούμενες τιμές της αντοχής με αποτέλεσμα να μην είναι αντιπροσωπευτικές του άρρηκτου βράχου. Οι επιφάνειες που πιθανόν να υπάρχουν είναι διακλάσεις, επιφάνειες στρώσης ή σχιστότητας κ.α..

Η μηχανική αντοχή μιας βραχώμαζας μπορεί να προσδιοριστεί, εκτός από τη δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης, με την Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης (Point Load Test), τη δοκιμή κρουσίμετρου σφύρας Schmidt αλλά και προσεγγιστικά με απλή παρατήρηση.

Κατηγορία πετρώματος	Βαθμονόμηση	Αντοχή σ_{ci} (Mpa)	Παραδείγματα
A	Πολύ υψηλή αντοχή	>225	Χαλαζίας, τα περισσότερα ηφαιστειακά πετρώματα
B	Υψηλή αντοχή	110-225	
C	Μέση αντοχή	55-110	Πορώδεις ψαμμίτες και ασβεστόλιθοι
D	Χαμηλή αντοχή	30-55	Αργιλικά και εξαλλοιωμένα (ανεξαρτήτως λιθολογικής σύστασης) πετρώματα
E	Πολύ χαμηλή αντοχή	<30	

Πίνακας 2.3. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή (κατά Deere & Miller, από Αλέξη, E-I., 2010).

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και η δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Πίνακας 2.4. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης (Anonymous, 1981).

Αντοχή σ_{ci} (Mpa)	Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή επί τόπου δοκιμής	Παραδείγματα
>250	Εξαιρετικά ισχυρό	Δεν θραύεται με γεωλογικό σφυρί	Υγιής βασάλτης, χαλαζίτης, διάβασης, γνεύσιος, γρανίτης, πυριτιόλιθος
100-250	Πολύ ισχυρό	Θραύεται μετά από αρκετούς χτύπους με γεωλογικό σφυρί	Αμφιβολίτης, ψαμμίτης, βασάλτης, γάββρος, γνεύσιος, γρανοδιορίτης, περιδοτίτης, ρυόλιθος, τόφος
50-100	Ισχυρό	Θραύεται μετά από αρκετούς χτύπους με γεωλογικό σφυρί 50~100 Ισχυρό Θραύεται με περισσότερους από ένα χτύπους με γεωλογικό σφυρί	Ασβεστόλιθος, μάρμαρο, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
25-50	Μέτρια ισχυρό	Δεν χαράσσεται με μαχαίρι	Σκυρόδεμα, φυλλίτης, σχιστόλιθος, ιλύλιθος
5-25	Ασθενές	Χαράσσεται δύσκολα με μαχαίρι	Κιμωλία, αργιλόλιθος, ποτάσα, μάργα, αργιλικός σχιστόλιθος, ορυκτό αλάτι
1-5	Πολύ ασθενές	Χαράσσεται εύκολα με το μαχαίρι. Δε χαράσσεται με το νύχι	Έντονα αποσαθρωμένος ή εξαλλοιωμένος βράχος
0,25-1	Εξαιρετικά ασθενές	Χαράσσεται με το νύχι	Στιφρό υλικό πλήρωσης ρήγματος

Πίνακας 2.5. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή (κατά ISRM, 1981)

Η μηχανική αντοχή σ_{ci} του πετρώματος είναι μια απαραίτητη παράμετρος για τον υπολογισμό του κριτηρίου αστοχίας Hoek-Brown, για τον υπολογισμό των παραμέτρων της βραχόμαζας όπως η γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ), η συνοχή (c), το μέτρο παραμορφωσιμότητας (E) αλλά και για τη ταξινόμηση της βραχόμαζας.(π.χ με το σύστημα RMR).

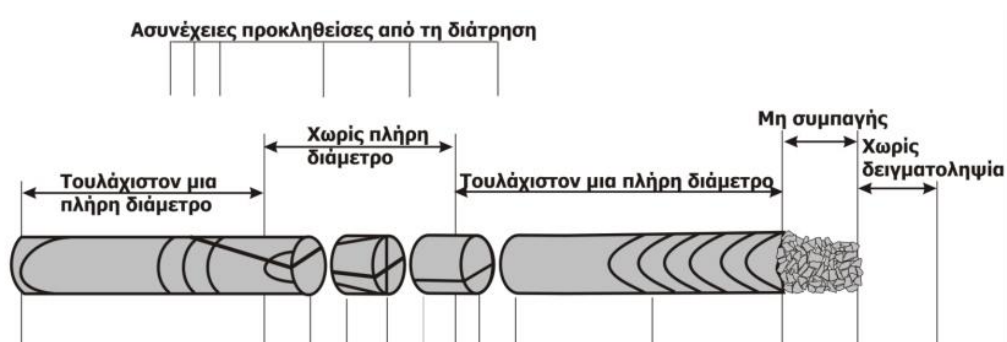
2.6.1.2 Δείκτης κερματισμού της βραχόμαζας (RQD)

Ο δείκτης ποιότητας βραχόμαζας RQD (Rock Quality Designation) αποτελεί ποσοτική εκτίμηση του κερματισμού της βραχόμαζας με βάση πυρήνες γεωτρήσεων (καρώτα). Ορίζεται ως το ποσοστό επί τοις εκατό των τεμαχών μήκους άνω των 10cm σε κάποιο μήκος της γεώτρησης. Η σχέση που εκφράζει το RQD είναι:

$$RQD = \frac{\sum (\text{μήκους τεμαχών μήκους} > 10 \text{ cm})}{\text{Ολικό μήκος του πυρήνα}} \times 100\%$$

Ο δείκτης RQD αποτελεί έναν από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους δείκτες περιγραφής της βραχόμαζας αν και παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

- Είναι πολύ ευαίσθητος σε μικρές μεταβολές του μήκους των πυρήνων. Για παράδειγμα ένας πυρήνας μήκους 101mm αυξάνει τον δείκτη RQD κατά 10% ενώ ένας πυρήνας μήκους 99mm δεν προκαλεί καμία αύξηση του δείκτη RQD.
- Είναι πολύ ευαίσθητος στον τρόπο της δειγματοληψίας και εξαρτάται από το σχετικό προσανατολισμό της γεώτρησης ως προς τις ασυνέχειες της βραχόμαζας.



Σχήμα 2.30 . Διαδικασία υπολογισμού RQD (κατά Deere, 1989, από Μαρίνο, Β., 2007)

Με βάση την τιμή RQD τα πετρώματα κατατάσσονται:

Ποιότητα πετρώματος	RQD (%)
Πολύ πτωχή	0-25
Πτωχή	25-50
Μέτρια	50-75
Καλή	75-90
Εξαιρετική	90-100

Πίνακας 2.6. Συσχέτιση ποιότητας πετρώματος με δείκτη ποιότητας RQD.

Ο δείκτης ποιότητας βραχόμαζας RQD αποτελεί έναν από τους απαραίτητους συντελεστές για την ταξινόμηση της βραχόμαζας σύμφωνα με τα διάφορα συστήματα που έχουν προταθεί, π.χ. RMR, Q, GSI.

2.6.1.3 Ασυνέχειες και τα χαρακτηριστικά τους

Ο όρος ασυνέχεια χρησιμοποιείται για να περιγράψει την διακοπή της συνέχειας ενός πετρώματος, που γίνεται κατά τμήματα. Οι ασυνέχειες είναι επιφάνειες στρώσης, επιφάνειες σχιστότητας και διακλάσεις που προκύπτουν από τεκτονική καταπόνηση. Από τις ασυνέχειες προσδιορίζεται κατά ένα μεγάλο βαθμό η συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών στα τεχνικά έργα επομένως η σημασία τους είναι πολύ μεγάλη και η μελέτη τους μπορεί να δώσει μια αρκετά καλή πρόγνωση του τρόπου με τον οποίο θα αστοχήσει μετά από την ανθρωπογενή παρέμβαση ή και από μόνο του μέσα στο φυσικό περιβάλλον.

Για τον χαρακτηρισμό των ασυνεχειών και της δομής της βραχόμαζας το ISRM (Διεθνής Εταιρεία Βραχομηχανικής) ελέγχονται εννέα παράμετροι:

1. Προσανατολισμός: Περιγράφεται από τη διεύθυνση και τη φορά κλίσης του επιπέδου της ασυνέχειας.
2. Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών: Η μέση ή συνηθέστερη κάθετη απόσταση μεταξύ διαδοχικών ασυνεχειών ο χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση τη μεταξύ τους απόσταση.
3. Εμμονή ή ανάπτυξη: Η έκταση της ασυνέχειας στο χώρο.
4. Τραχύτητα: Οι διάφορες μορφές, όπως οδοντώσεις, βυθίσματα και εξάρσεις που συχνά παρουσιάζουν οι επιφάνειες των ασυνεχειών συμβάλλοντας στην αύξηση της διατμητικής αντοχής της βραχόμαζας κατά μήκος της ασυνέχειας.
5. Μέγεθος τεμάχους (μπλοκ): Η διάσταση του συμπαγούς τεμάχους που προκύπτει από τις διατεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εξαρτάται από τον αριθμό συνόλων ασυνεχειών και το σχετικό προσανατολισμό τους, καθώς και την πυκνότητα και εμμονή των ασυνεχειών κάθε ενός συνόλου.

6. Άνοιγμα: Η κάθετη απόσταση μεταξύ των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας. Το άνοιγμα των ασυνεχειών επηρεάζει την κινητικότητα των τεμαχών της βραχόμαζας καθώς και την υδραυλική της συμπεριφορά.
7. Υλικό πλήρωσης: Υλικά όπως άμμοι, ιλύες, άργιλοι που παρεμβάλλονται μεταξύ των τεμαχών των ασυνεχειών επηρεάζοντας τη μηχανική αλλά και την υδραυλική συμπεριφορά της βραχόμαζας. Η διαβάθμιση του υλικού πλήρωσης γίνεται ως εξής:
 - πάχος έως 1mm
 - πάχος 1-5mm
 - πάχος άνω των 5mm
8. Αντοχή τοιχώματος: Είναι η ισοδύναμη θλιπτική αντοχή του πετρώματος και των γειτονικών τοιχωμάτων της ασυνέχειας. Αποτελεί σημαντική συνιστώσα της διατμητικής αντοχής εφόσον τα τοιχώματα είναι σε επαφή. Μπορεί να είναι χαμηλότερη της αντοχής του υγιούς πετρώματος λόγω αποσάθρωσες ή εξαλλοίωσης των τοιχωμάτων.
9. Διήθηση: Ροή νερού και εμφανής υγρασία είτε σε μεμονωμένες ασυνέχειες είτε στο σύνολο της βραχόμαζας. Διακρίνονται έξι κατηγορίες που ξεκινούν από τη στεγνή και αδιαπέρατη (I) ασυνέχεια και φτάνουν έως την περατή με τη ροή νερού υπό πίεση (VI).

Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (m)	Χαρακτηρισμός της απόστασης μεταξύ των ασυνεχειών
>2	Μεγάλη
0,6-2	Αρκετά μεγάλη
0,2-0,6	Μέση
0,06-0,2	Μικρή
<0,06	Πολύ μικρή

Πίνακας 2.7. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση την μεταξύ τους απόσταση (Καββαδας 2004)

Μήκος ασυνέχειας (m)	Χαρακτηρισμός ασυνέχειας
1	Πολύ μικρή συνέχεια
1-3	Μικρή συνέχεια
3-10	Μέση συνέχεια
10-20	Υψηλή συνέχεια
>20	Πολύ υψηλή συνέχεια

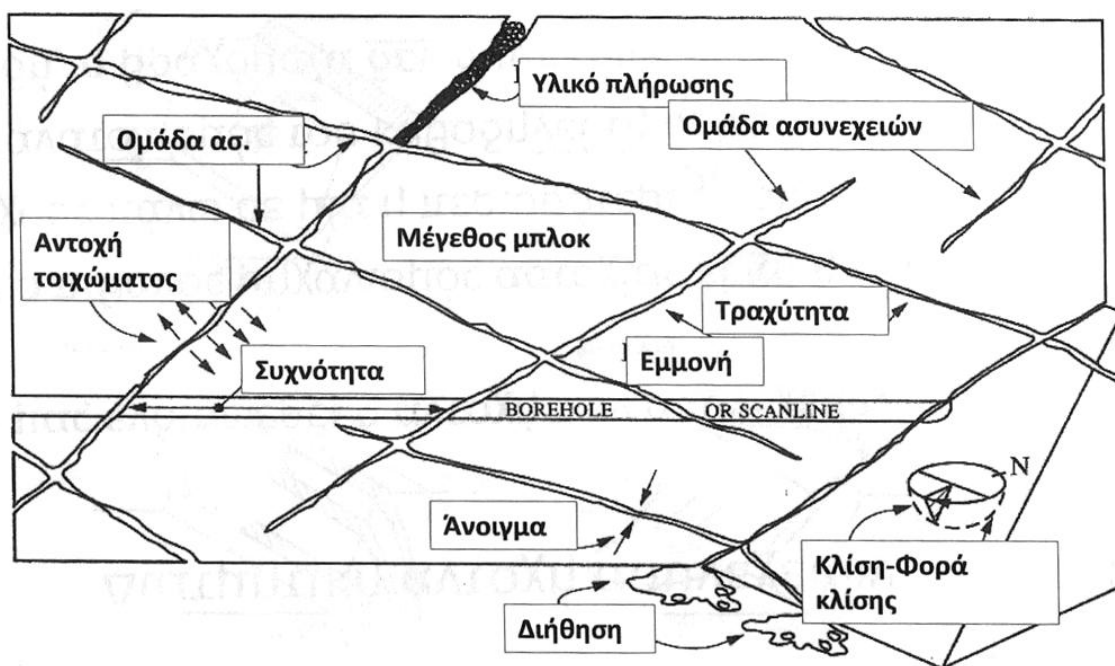
Πίνακας 2.8. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση την εμμονή

Περιγραφή	Τομή	J _r	JRC 200mm	JRC 1 m
Τραχεία		4	20	11
Λεία		3	14	9
Με ολισθηρές επιφάνειες		2	11	8
	Κλίμακωτή			
Τραχεία		3	14	9
Λεία		2	11	8
Με ολισθηρές επιφάνειες		1.5	7	6
	Κυματοειδής			
Τραχεία		1.5	2.5	2.3
Λεία		1.0	1.5	0.9
Με ολισθηρές επιφάνειες		0.5	0.5	0.4
	Επίπεδη			

Πίνακας 2.9. Υπολογισμός του συντελεστή JRC με βάση τα προφίλ τραχύτητας (Barton and Choubey 1977, από Μαρίνος, Β.)

Χαρακτηρισμός	Άνοιγμα (mm)
Πολύ κλειστό	0,1
Κλειστό	0,1-0,25
Ανοικτό	0,5-2,5
Πολύ ευρύ	10-100

Πίνακας 2.10. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση το άνοιγμα



Σχήμα 2.31. Πρωτογενείς γεωμετρικές ιδιότητες ασυνεχειών (κατά Hudson, 1989, από Hudson, J., Harrison, J., 1997)

Η όσο το δυνατόν καλύτερη μελέτη και γνώση των χαρακτηριστικών των ασυνεχειών είναι απαραίτητη τόσο για την ταξινόμηση της βραχόμαζας όσο και για την καλύτερη προσέγγιση της συμπεριφοράς της στα τεχνικά έργα και συνεπώς τον καλύτερο σχεδιασμό του έργου.

2.6.1.4Επιρροή του υπόγειου νερού

Η παρουσία του υπόγειου νερού επηρεάζει δυσμενώς τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας. Ο βαθμός επιρροής του υπόγειου νερού εξαρτάται από:

1. Το βαθμό αποσάθρωσης της βραχόμαζας
2. Το βαθμό εξαλλοίωσης των ασυνεχειών της
3. Το πορώδες και τη διαπερατότητας της

Στις περιπτώσεις όπου οι ασυνέχειες είναι έντονα αποσαθρωμένες και εξαλλοιωμένες, η παρουσία του υπόγειου νερού προκαλεί διόγκωση των αργιλικών ορυκτών, υποβάθμιση της συνοχής και της δομής της βραχόμαζας και μείωση της διατμητικής αντοχής. Αντίθετα σε βραχόμαζες υγιής ή ελαφρά αποσαθρωμένες και χωρίς εξαλλοιωμένες ασυνέχειες η επιρροή του νερού θεωρείται αμελητέα.

Η γνώση της παρουσίας και της ποσότητας των υπόγειων υδάτων είναι απαραίτητη κατά τον σχεδιασμό υπόγειων έργων για την ταξινόμηση της βραχόμαζας (π.χ. με το σύστημα RMR), τον υπολογισμό των τάσεων που ασκούνται σ'αυτήν, αλλά και για τον σχεδιασμό των κατάλληλων μέτρων αποστράγγισης.

2.6.2Ταξινόμηση βραχόμαζας

Ταξινόμηση της βραχόμαζας (rockmass classification) είναι η κατηγοριοποίηση του γεωυλικού σύμφωνα με τις παραμέτρους αντοχής και παραμορφωσιμότητας του. Η ταξινόμηση της βραχόμαζας τυποποιεί το υλικό, ποσοτικοποιεί τα χαρακτηριστικά του και δίνει μια εκτίμηση της μηχανικής του συμπεριφοράς. Η ταξινόμηση της βραχόμαζας είναι απαραίτητη τόσο κατά το σχεδιασμό όσο και κατά την κατασκευή των υπογείων έργων. Για αυτό το λόγο έχουν συσταθεί διάφορα συστήματα ταξινόμησης καθένα από τα οποία κατηγοριοποιεί τη βραχόμαζα σύμφωνα με διαφορετικές παραμέτρους.

Τα κυριότερα συστήματα ταξινόμησης που έχουν προταθεί είναι :

1. Το σύστημα RMR
2. Το σύστημα Q
3. Το σύστημα GSI

2.6.2.1 Σύστημα RMR (Rock Mass Rating)

Ονομάζεται Γεωμηχανική Ταξινόμηση (Geomechanics Classification) ή σύστημα RMR (Rock Mass Rating) και προτάθηκε αρχικά από τον BIENIAWSKI (1973) ενώ είναι ευρύτερα γνωστό απλά σαν σύστημα Bieniawski. Το σύστημα αυτό τροποποιήθηκε μερικώς και βελτιώθηκε από τον BIENIAWSKI στη συνέχεια (1979) ενώ πήρε την τελική (σημερινή) του μορφή το έτος 1989 από τον ίδιο.

Για την εφαρμογή της ταξινόμησης ακολουθείται μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει τα επιμέρους στάδια:

A Στάδιο: Διαχωρισμός σε επί μέρους ζώνες της περιοχής που προβλέπεται να γίνει η ταξινόμηση, όπου σε κάθε μια από αυτές τα κύρια χαρακτηριστικά της βραχώμαζας θα φαίνονται μακροσκοπικά παρόμοια (λιθολογική σύσταση, προσανατολισμός και απόσταση ασυνεχειών, φυσική κατάσταση του γεωλογικού σχηματισμού κ.λπ.).

B Στάδιο: Μετα το διαχωρισμό γίνεται για κάθε συγκεκριμένη ζώνη προσδιορισμός των μετρούμενων μεγεθών τα οποία καθορίζουν τα κριτήρια ταξινόμησης.

Οι παράμετροι-κριτήρια που προτείνονται στο σύστημα RMR για την ταξινόμηση της βραχώμαζας είναι:

1. Αντοχή σε ανεμπόδιση (μοναξονική) θλίψη του βραχώδους υλικού.(R1)

Προσδιορίζεται σε δείγματα άρρηκτου βράχου άμεσα με την εκτέλεση της εργαστηριακής δοκιμής αντοχής σε ανεμπόδιση (μοναξονική) θλίψη (σ_{ci}) ή έμμεσα με τη χρήση της δοκιμής σε σημειακή φόρτιση. Επίσης μπορεί να εκτιμηθεί έμμεσα με τη χρήση του σφυριού Schmidt-L ή από επί τόπου μετρήσεις με τη χρήση του κλασσικού γεωλογικού σφυριού.

Αντοχή άρρηκτου πετρώματος σ_{ci} (Mpa)	Βαθμολογία R1
>250	15
100-250	12-15
50-100	7-12
25-50	4-7
5-25	2-4
1-5	1-2
<1	0

Πίνακας 2.11. Τιμή του δείκτη R1 (κατά RMR)

2. Δείκτης ποιότητας βραχώμαζας (RQD).(R2)

Δείκτης RQD (%)	Βαθμολογία R2
>90	20
75-90	17-20
50-75	13-17
25-50	8-13
<25	3

Πίνακας 2.12. Τιμή του δείκτη R2 (κατά RMR)

- 3. Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών (R3).** Προκύπτει από συστηματικές μετρήσεις στο ύπαιθρο με μετροταινία-μέτρο, κάθετα στο συγκεκριμένο σύστημα ασυνεχειών στο οποίο αναφέρεται.

Απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών (m)	Βαθμολογία R3
>2	20
0.6-2	15-20
0.2-0.6	10-15
0.06-0.2	8-10
<0.06	5

Πίνακας 2.13. Τιμή του δείκτη R3(κατά RMR)

- 4. Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών (R4).** Προκύπτει μετά από συστηματικές μετρήσεις στο ύπαιθρο της τραχύτητας, του ανοίγματος, της αποσάθρωσης των τοιχωμάτων και του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών.

Κατάσταση των επιφανειών των ασυνεχειών	Βαθμολογία R4
Πολύ τραχείες, χωρίς εξαλλοίωση	30
Ελαφρώς τραχείες, ελαφρά εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης <1mm	25
Ελαφρώς τραχείες, πολύ εξαλλοιωμένες, υλικό πλήρωσης <1mm	20
Λείες ή γυαλιστερές, υλικό πλήρωσης 1-5mm Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	10
Υλικό πλήρωσης πάχους άνω των 5mm	0

Πίνακας 2.14. Τιμή του δείκτη R4 (κατά RMR)

- 5. Η παρουσία του υπόγειου νερού (R5).** Όταν το RMR πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των μηχανικών παραμέτρων της βραχώμαζας, αυτή θεωρείται ξηρή.

Παρουσία υπόγειου νερού	Βαθμολογία R5
Καθόλου νερό	15
Παρουσία υγρασίας	10
Υγρές επιφάνειες	7
Στάγδην	4
Με ροή	0

Πίνακας 2.15. Τιμή του δείκτη R5 (κατά RMR)

6. Ο προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με τη γεωμετρία του τεχνικού έργου (R6).

Προσανατολισμός σε σχέση με τον άξονα του έργου	Δείκτης R6
Πολύ ευμενής	0
Ευμενής	-2
Αδιάφορος	-5
Δυσμενής	-10
Πολύ δυσμενής	-15

Πίνακας 2.16. Τιμή του δείκτη R6 (κατά RMR)

Η τελική τιμή του RMR προκύπτει από τη σχέση :

$$RMR=R1+R2+R3+R4+R5+R6$$

Με βάση την τιμή του RMR η βραχόμαζα κατατάσσεται σε μία από τις πέντε κατηγορίες του πίνακα 2.17

Περιγραφή Βραχόμαζας	Κατηγορία Βραχόμαζας	Τιμές του δείκτη RMR
Πολύ καλή	I	81-100
Καλή	II	61-80
μέτρια	III	41-60
Πτωχή	IV	21-40
Πολύ πτωχή	V	0-20

Πίνακας 2.17. Κατάταξη βραχόμαζας ανάλογα με την τελική τιμή του δείκτη RMR

Γ Στάδιο: Η ολοκλήρωση της ταξινόμησης και η κατάταξη της βραχόμαζας σε μια συγκεκριμένη κατηγορία έχει σαν αποτέλεσμα την οριοθέτηση του πλαισίου της μηχανικής συμπεριφοράς της και συνεπώς την ποσοτική εκτίμηση των μηχανικών παραμέτρων της, καθώς επίσης και των απαιτήσεων υποστήριξης της.

2.6.2.2 Σύστημα Q

Με βάση τις εμπειρίες από την κατασκευή σημαντικού αριθμού υπόγειων τεχνικών έργων στη Σκανδιναβία, οι Barton, Lien and Lude (1974) του Νορβηγικού Γεωτεχνικού Ινστιτούτου (N.G.I), πρότειναν ένα σύστημα ταξινόμησης της βραχόμαζας το οποίο βασίζεται στον ποσοτικό προσδιορισμό του δείκτη ποιότητας της βραχόμαζας, Q και δίνεται από τη σχέση:

Όπου: RQD = δείκτης
$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$
 κερματισμού της

βραχώμαζας

J_n = δείκτης του αριθμού των συστημάτων των ασυνεχειών

J_r = βαθμός τραχύτητας των επιφανειών των ασυνεχειών

J_a =βαθμός εξαλλοίωσης των επιφανειών των ασυνεχειών

J_w =συντελεστής επιρροής του υπογείου νερού

SRF =συντελεστής απομείωσης λόγω υψηλών τάσεων

Οι παράμετροι οργανώνονται σε λόγους. Έτσι:

RQD / J_n = το μέσο μέγεθος των τεμαχών που συνθέτουν τη βραχώμαζα

J_r / J_a = η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών της βραχώμαζας

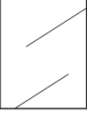
J_w / SRF = οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στο χώρο της βραχώμαζας.

2.6.2.3Σύστημα GSI (Geological Strength Index)

Ο Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής-GSI προτάθηκε από τους Hoek, Wood and Shah (1992) και επεκτάθηκε για τις ασθενείς βραχώμαζες από τους Hoek, Marinos and Benissi (1998), Marinos and Hoek (2000) και για το φλύσχη από τους Marinos and Hoek (2000) και Marinos (2007). Αποτελεί ένα σύστημα ταξινόμησης για την εκτίμηση της απομείωσης της αντοχής της βραχώμαζας για διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες και βασίζεται καθαρά σε παρατηρήσεις υπαίθρου.

Τα χαρακτηριστικά της βραχώμαζας εκτιμώνται μακροσκοπικά με βάση την υφή του πετρώματος (αλληλοκλειδωма βραχωδών τεμαχών) και την επιφάνεια των ασυνεχειών (τραχύτητα και αποσάθρωση τοιχωμάτων). Ο συνδυασμός των δύο αυτών παραγόντων αποτελεί τη βάση για την εκτίμηση του τύπου της βραχώμαζας και του υπολογισμού της τιμής GSI.

Το σύστημα GSI δημιουργήθηκε ώστε να είναι συμβατό με το σύστημα RMR για βραχώμαζες με $RMR > 40$, δηλαδή οι τιμές του δείκτη GSI είναι περίπου ίσες με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη RMR. Για βραχώμαζες με $RMR < 40$, το σύστημα GSI πλεονεκτεί επειδή παρέχει καλύτερη διακριτοποίηση, χωρίς απότομες μεταβολές της τιμής του δείκτη, ενώ ταυτόχρονα παραμένει συμβατό με το RMR. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν αναφορές που συνδέουν το GSI με τα συστήματα ταξινόμησης RMR και Q με τις σχέσεις $GSI = RMR - 5$, (όπου $RMR_{89} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$) και $GSI = RMR - Q$. Σύμφωνα όμως με τους Marinos, Marinos and Hoek η συσχέτιση είναι επιτυχής για βραχώμαζες καλύτερης ποιότητας αλλά δεν συνίσταται η χρήση της για ασθενείς και ετερογενείς βραχώμαζες .

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχόμαζας εκτιμήστε 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 αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα 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 μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχείες, υγιείς, μη αποσπασθωμένες επιφάνειες ΚΑΛΗ Τραχείες, ελαφρά αποσπασθωμένες και οξείδωμένες επιφάνειες ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθωμένες και εξολλοιωμένες επιφάνειες ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφλοώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθωμένες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοώματα				
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
 ΑΡΡΗΚΤΗ Αρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση		90				N/A
 ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχόμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών		80	70			
 ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχόμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών			60			
 ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας				50		
 ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχόμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων				40	30	
 ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχόμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)					20	
		N/A	N/A			10

Πίνακας 2.18. Ταξινόμηση της βραχόμαζας κατά το σύστημα GSI (Hoek and Marinos, 2000)

Το GSI εφαρμόζεται σε ισότροπες βραχόμαζες, με επαρκή αριθμό τυχαίως προσανατολισμένων ασυνεχειών και απουσία προτιμητέων διευθύνσεων αστοχίας. Αν η θραύση της βραχόμαζας δεν ελέγχεται από την ανισοτροπία της τότε

εφαρμόζεται και σε αυτές με παραδεκτή ανοχή. Στην περίπτωση όπου η βραχώμαζα είναι έντονα διακλασμένη και η εμμονή των ασυνεχειών είναι διαταραγμένη, η βραχώμαζα μπορεί να συμπεριφέρεται ισοτροπικά και άρα να καταστεί δυνατή η χρήση του δείκτη.

Προτεινόμενες διορθώσεις του GSI

Η τιμή του GSI πρέπει να διορθώνεται και να μειώνεται κατάλληλα όταν επιδρούν αποσταθεροποιητικοί παράγοντες όπως το νερό ή η αποσάθρωση. Συγκεκριμένα :

- Σε περιπτώσεις προβολής πληροφοριών από παρατηρήσεις επιφανειακών εμφανίσεων στο βάθος, προτείνεται, η μετατόπιση των τιμών της λευκής περιοχής προς τα αριστερά ή προς τα πάνω και αριστερά, ενώ για τις τιμές που βρίσκονται στη σκιασμένη περιοχή προτείνεται η εφαρμογή ελάχιστης ή καθόλου μετατόπισης καθώς η πτωχή ποιότητα διατηρείται στο βάθος σε αποδιοργανωμένες φυλλοποιημένες ζώνες.

Στις κατηγορίες μέτριων έως πολύ πτωχών ασυνεχειών (3 τελευταίες στήλες) είναι απαραίτητη μία μετατόπιση προς τα δεξιά καθώς οι επιφάνειες των ασυνεχειών ή των υλικών πλήρωσης επηρεάζονται αρνητικά από την παρουσία νερού. Η μετατόπιση προς τα δεξιά είναι πιο μεγάλη στις βραχώμαζες χαμηλής ποιότητας (τελευταίες γραμμές και στήλες). Αντίθετα η πίεση του νερού λαμβάνεται υπόψη ανεξάρτητα, στην ανάλυση κατά τον σχεδιασμό.

- Σε αποσαθρωμένες βραχώμαζες προτείνεται η μετακίνηση στον πίνακα προς τα δεξιά σε σχέση με αυτές των μη αποσαθρωμένων βραχομαζών. Εάν η αποσάθρωση έχει διεισδύσει στα τεμάχια του άρρηκτου βράχου που συνθέτουν τη μάζα (π.χ. σε αποσαθρωμένους γρανιτογενείς), τότε η σταθερά m_i και η αντοχή σ_{ci} του κριτηρίου Hoek-Brown πρέπει επίσης να μειωθεί. Εάν η αποσάθρωση έχει διεισδύσει στο βράχο σε βαθμό που οι ασυνέχειες και η δομή έχουν χαθεί, τότε η βραχώμαζα πρέπει να αξιολογηθεί ως έδαφος και το σύστημα GSI, που ρητώς αναφέρεται σε βραχώδεις σχηματισμούς, δεν ισχύει πλέον.

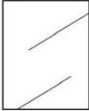
Μόλις προσδιοριστεί ένας «αριθμός» του δείκτη GSI, αυτός εισάγεται σε ένα σύνολο εμπειρικά διαμορφωμένων εξισώσεων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων της βραχώμαζας, οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία για ορισμένου τύπου αριθμητικές αναλύσεις ή λύσεις κλειστού τύπου. Ο δείκτης χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με κατάλληλες τιμές που αφορούν την μονοαξονική αντοχή του άρρηκτου βράχου σ_{ci} και την πετρογραφική σταθερά m_i , για να υπολογισθούν οι μηχανικές ιδιότητες μιας βραχώμαζας, και ειδικότερα η μονοαξονική αντοχή της βραχώμαζας (σ_{cm}) και το μέτρο παραμορφωσιμότητας (E).

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτίμησης τη μέση τιμή του GSI από τις καρπύλες. Το να επιλέξετε ένα εύρος τιμών από 33 έως 37 είναι πιο ρεαλιστικό από το να δηλώσετε ότι το GSI = 35. Ο καθαρισμός της δομής καθώς και της ποιότητας των ασυνεχειών μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ δύο γεωτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατηρημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχώδων μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση 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, υγρές, μη αποσπαστιζόμενες επιφάνειες	Τραχείες, ελαφρώς αποσπαστιζόμενες και οξείδωμένες επιφάνειες	Λείες, μετρίως αποσπαστιζόμενες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επηλυκτικότητα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπαστιζόμενες με μαλακό οργανικό υλικό πλήρωσης ή επιφυλάξεις
		90	80		N/A	N/A
			70			
			60			
			40			
			30			
					20	
						10
		N/A	N/A			

Πίνακας 2.19. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για περιπτώσεις προβολής πληροφοριών από παρατηρήσεις επιφανειακών εμφανίσεων στο βάθος (Μαρίνος, Β., 2007)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (E. Hoek, P. Marinos, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΘΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασισμένοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτίμηστε 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 γεωτονικών πεδίων. Τονίζεται ιδιαίτερα ότι το κριτήριο Hoek - Brown δεν εφαρμόζεται σε αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθιείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατηρημένο επίπεδο στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. Η αντοχή ορισμένων βραχώδων μειώνεται από την παρουσία του υπόγειου νερού και αυτό μπορεί να ληφθεί υπόψη με μικρή μετακίνηση προς τα δεξιά στις στήλες της μέτριας, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση 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 τραγιάς, υγρές, μη αποσβεσμένες επιφάνειες	Τραγιάς, ελαφρά αποσβεσμένες και ελαττωμένες επιφάνειες	Λείες, μετρίως αποσβεσμένες και ελαττωμένες επιφάνειες	Πολύ λείες, κατά περίπτωση ομαλές επιφάνειες με αποσβεσμένα ή υλικά πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	Πολύ ομαλές επιφάνειες ή πολύ αποσβεσμένες με μελάνο σπιντικό υλικό πλήρωσης ή επιφάνειας
	ΑΡΡΗΚΤΗ Αρρηκτο βραχώδη τεμάχια ή όστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90	80		N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΛΕΙΣΤΑΡΑΚΤΗ ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδυστάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	70	60			
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μετρίως αδυστάρακτη βραχώδης με πολύ καλό γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	50				
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Ερμητική υφή, ή υφιστάμενη	40				
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κατεστραμμένη βραχώδης με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιών και αποσπασμένων τεμαχίων	20				
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΗΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχισματοποιημένη και τριτογενής διατηρημένη ασθιής βραχώδης. Η φυλλώση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιών τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εκάνιστο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων ειδών)	N/A	N/A			10

Πίνακας 2.20. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για περιπτώσεις παρουσίας νερού (Μαρίνος, Β.,2007)

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Μαρίνος, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ				
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώμαζας εκτιμήστε 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 αστάθειες που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνέχειες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώμαζας. 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, πτώχης και πολύ πτώχης κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθόμενες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθόμενες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθόμενες και εξαλειωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με σημαντική επιφλοώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθόμενες με μαλακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοώσης
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →				
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνέχειες σε μεγάλη απόσταση	90			N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώμαζα με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80				
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώμαζα με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών	70				
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Εμμονή στρώσης ή σχιστότητας	60	50	40	30	20
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώμαζα με πτωχό αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων	50	40	30	20	10
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώμαζα. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	40	30	20	10	
		N/A	N/A			

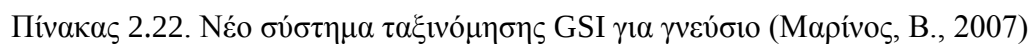
Πίνακας 2.21. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για αποσπασθόμενες βραχώδεις (Μαρίνος,Β., 2007)

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας γίνεται ιδιαίτερη μελέτη για τις γνευσιακές βραχώμαζες. Το βασικό πρόβλημα με την βαθμονόμηση των γνευσιακών βραχομαζών είναι ότι δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη και να ταξινομηθεί ο **βαθμός της αποσάθρωσης**. Όταν οι βραχώμαζες είναι έστω και ελάχιστα αποσαθρωμένες βαθμονομούνται στο βασικό διάγραμμα στις κολώνες πτωχή-πολύ πτωχή και λαμβάνουν τιμές πολύ χαμηλές με GSI=15-35. Οι τιμές αυτές καλύπτουν ένα πολύ μεγάλο φάσμα συνθηκών (από ελάχιστα αποσαθρωμένες έως πλήρως αποσαθρωμένες) (Μαρίνος, Β. 2007).

Όταν η αποσάθρωση είναι έντονη, η βραχώμαζα δεν μπορεί να βαθμονομηθεί λόγω της αδυναμίας των υπαρχόντων συστημάτων, με αποτέλεσμα να βαθμονομούνται μόνο οι πιο συμπαγείς ζώνες, λιγότερο αποσαθρωμένες ζώνες, ενώ οι πιο αποσαθρωμένες δομές θεωρούνται ως “ζώνες ρηγμάτων” αλλά πολλές φορές μπορεί να ανήκουν στην αλλοιωμένη δομή της βραχώμαζας (Μαρίνος, Β. 2007).

Η περίπτωση πλήρως αποσαθρωμένης βραχώμαζας δεν μπορεί να βαθμονομηθεί καθώς δεν επικρατούν πλέον οι επιφάνειες των ασυνεχειών αλλά το δευτερογενές αποσαθρωμένο γεωυλικό, το οποίο περιβάλλει τα εύθρυπτα τεμάχια, διατηρούμενης όμως της βραχώμαζας. Στη περίπτωση αυτή απαιτείται μια περαιτέρω μείωση της τιμής του GSI.(Μαρίνος, Β. 2007).

Έτσι προτάθηκε από τον **Μαρίνο, Β. (2007) νέο GSI για Γνευσιακές βραχώμαζες**. Η βασική φιλοσοφία του νέου αυτού διαγράμματος είναι ότι στη θέση της ποιότητας των ασυνεχειών πρέπει να βαθμονομηθεί ο **βαθμός της αποσάθρωσης**. Για τις καθόλου αποσαθρωμένες βραχώμαζες οι τιμές παραμένουν ίδιες ενώ όσο η αποσάθρωση προχωράει, οι τιμές μειώνονται κατά 5 ή 10 βαθμούς, χωρίς όμως να μειώνονται πάρα πολύ διότι οι βραχώμαζες ακόμα και πολύ αποσαθρωμένες δεν εκδήλωσαν μεγάλες συγκλίσεις κατά την διάνοιξη τους. Επίσης με το νέο διάγραμμα αποβάλλονται περιπτώσεις οι οποίες δεν είναι δυνατές γεωλογικά (Μαρίνος, Β. 2007).



2.7 Μηχανική συμπεριφορά της βραχώμαζας

Προκειμένου να εκτιμηθεί η συμπεριφορά του γεωυλικού σε ένα τεχνικό έργο, απαιτείται ο προσδιορισμός των μηχανικών του παραμέτρων. Στην περίπτωση των εδαφικών σχηματισμών η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει με βάση εργαστηριακές δοκιμές και χρήση των εκεί μετρούμενων παραμέτρων. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα εδαφικά δοκίμια εμπεριέχουν όλα τα χαρακτηριστικά του γεωυλικού που υπάρχει στη φύση σε επαρκή ποσότητα ούτως ώστε να μην προκύπτουν προβλήματα κλίμακας. Σε βραχώδη δοκίμια, αντίθετα, είναι αδύνατο να συμπεριληφθεί επαρκής ποσότητα χαρακτηριστικών του επιτόπου γεωυλικού (πχ. ρωγμές και ασυνέχειες). Επιπλέον οι εργαστηριακές δοκιμές πραγματοποιούνται συνήθως στα υγιέστερα δείγματα του βράχου, επειδή σ' αυτά είναι πιο εύκολη η διαμόρφωση δοκιμίων. Τέλος, ακόμη και οι επιτόπου δοκιμές γίνονται σε περιορισμένου όγκου δείγματα, πράγμα που επιτείνει τη μη αντιπροσωπευτικότητα των αποτελεσμάτων. Για το λόγο αυτό οι μηχανικές παράμετροι της βραχώμαζας συνήθως εκτιμώνται με έμμεσο τρόπο από εμπειρικές σχέσεις που έχουν ως μεταβλητές δείκτες ποιότητας της βραχώμαζας που προκύπτουν από τις μεθόδους ταξινόμησής της.

2.7.1 Κριτήρια αστοχίας

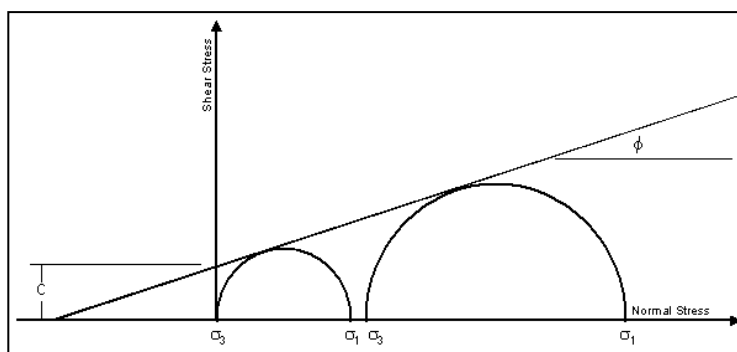
Το πρώτο κριτήριο αστοχίας δόθηκε το 1773 από τον Coulomb ο οποίος διατύπωσε την άποψη ότι η αστοχία μιας επίπεδης επιφάνειας οφείλεται στην αύξηση της διατμητικής τάσης πάνω από τα όρια της διατμητικής της αντοχής. Ο Coulomb θεώρησε ότι η διατμητική τάση (τ) είναι γραμμική συνάρτηση της ορθής σε αυτήν τάσης (σ_n).

Επέκταση του κριτηρίου έγινε από τον Mohr και τη θεώρηση ότι τα επίπεδα διάτμησης είναι συζυγή και ότι η παραπάνω συνάρτηση δεν είναι πάντα γραμμική. Επίσης προτάθηκε και γραφική παρουσίαση των παραπάνω κριτηρίων στο επίπεδο σ - τ .

Το 1921 ο Griffith θεώρησε ότι η θραύση των ψαθυρών υλικών αρχίζει όταν ξεπερασθεί η εφελκυστική αντοχή από τάσεις που δημιουργούνται στα άκρα μικροσκοπικών ρωγμών στο υλικό. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν πιο πολύπλοκα, μη γραμμικά, εμπειρικά κριτήρια, όπως το κριτήριο Hoek-Brown (1980). Το κριτήριο αυτό περιγράφει τις οριακές καταστάσεις αστοχίας για όλες τις ισότροπες βραχώμαζες, που η συμπεριφορά τους ελέγχεται από το αλληλοκλείδωμα των γωνιωδών βραχωδών τεμαχών.

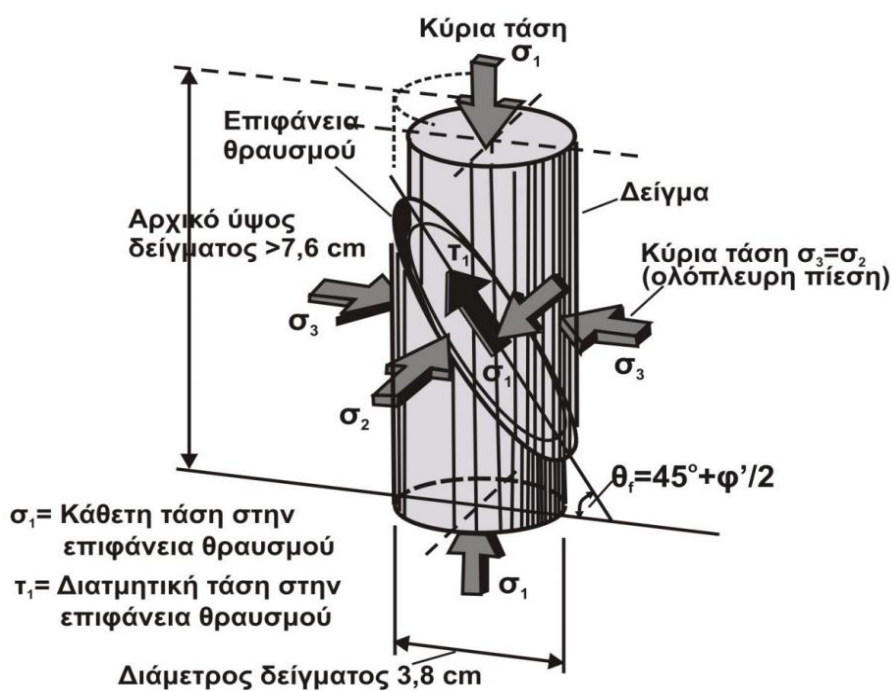
Κριτήριο Mohr-Coulomb

Το κριτήριο Mohr-Coulomb αποτελεί γραμμική σχέση ($\tau_n = f(\sigma_n)$) και είναι το απλούστερο που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση της αστοχίας των γεωλογικών σχηματισμών. Η γραφική του απεικόνιση είναι η ευθεία που εφάπτεται σε όλους τους κύκλους Mohr (περιβάλλουσα), οι οποίοι αντιπροσωπεύουν κρίσιμους συνδυασμούς των κύριων τάσεων (σ_1, σ_3). Λόγω της γραμμικότητας του κριτηρίου, η αντοχή καθορίζεται από δύο παραμέτρους, που ορίζονται στο επίπεδο (σ, τ), τη γωνία εσωτερικής τριβής (ϕ) και τη συνοχή (c).



$$\tau_n = \sigma_n \cdot \tan \phi + c$$

Σχήμα 2.32. Γραφική απεικόνιση και εξίσωση κριτηρίου Mohr-Coulomb



Σχήμα 2.33. Διατμητική τάση (Δημόπουλος, 2008)

Το κριτήριο Mohr-Coulomb έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως στην εδαφομηχανική αλλά και στην βραχομηχανική. Παρά την ευρεία του όμως αποδοχή η ευθεία περιβάλλουσα των κύκλων Mohr δεν ταυτίζεται πάντα με τα πειραματικά αποτελέσματα των οποίων η περιβάλλουσα τείνει να είναι καμπύλη.

Κριτήριο Hoek-Brown

Η ρηγματωμένη βραχώμαζα συνήθως έχει καμπύλη περιβάλλουσα των κύκλων Mohr στην κατάσταση αστοχίας και συνεπώς η συμπεριφορά της δεν μπορεί να προσομοιωθεί ικανοποιητικά μέσω του κριτηρίου αστοχίας Mohr-Coulomb. Για το λόγο αυτό οι βραχώμαζες συνήθως προσομοιάζονται μέσω του κριτηρίου αστοχίας Hoek-Brown το οποίο έχει καμπύλη περιβάλλουσα αστοχίας και περιγράφεται από τη σχέση:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^\alpha$$

Σχέση (2.1)

Όπου:

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

Και:

σ'_1, σ'_3 = μέγιστη και ελάχιστη κύρια ενεργός τάση στην κατάσταση αστοχίας
 σ_{ci} = μοναξονική θλιπτική αντοχή του πετρώματος (χωρίς ασυνέχειες)
 m_b, s, α = σταθερές που χαρακτηρίζουν την ποιότητα της βραχόμαζας ($s=1$, όταν το $GSI=100$, δηλαδή για τον άρρηκτο βράχο. Η ελάχιστη τιμή του α είναι $\alpha_{min}=0,5$ για $GSI=100$ και $\alpha_{max}=0,6665$ για $GSI=0$).

GSI = η τιμή του Γεωλογικού Δείκτη Αντοχής που προκύπτει από τον χαρακτηρισμό της βραχόμαζας

D = συντελεστής που εξαρτάται από το βαθμό διαταραχής της βραχόμαζας γύρω από τη διάνοιξη της σήραγγας

m_i = σταθερά που αναφέρεται στον άρρηκτο βράχο και εκφράζει το αλληλοκλείδωμα των συστατικών των ορυκτών και των κόκκων και εξαρτάται από τον εκάστοτε πετρογραφικό τύπο (πετρογραφική σταθερά). Ο υπολογισμός του γίνεται με τριαξονικές δοκιμές στον άρρηκτο βράχο. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση των απαραίτητων δοκιμών για τον υπολογισμό του m_i , μπορούν να χρησιμοποιηθούν με εύλογη προσέγγιση οι τιμές του πίνακα 2.24 (Marinos and Hoek, 2001).

m_b = η απομειωμένη τιμή m_i για τη βραχόμαζα.

σ_{ci} = η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη. Η τιμή της προσδιορίζεται πειραματικά, παρουσιάζοντας όμως αρκετές τεχνικές δυσκολίες, καθώς είναι πολύ δύσκολο να ληφθεί τέλει δοκίμιο, ενώ είναι ακόμη και σε δοκίμια του άρρηκτου βράχου, πιθανόν να υπάρχουν επίπεδα ασυνεχειών χαμηλής αντοχής, τα οποία να επηρεάσουν την τελική τιμή του πειράματος. Σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η πραγματοποίηση εργαστηριακών δοκιμών, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδεικτικά οι τιμές βάσει της περιγραφής και συμπεριφοράς του δοκιμίου (πίνακας 2.1).

Το κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown ορίζει τη σχέση μεταξύ των κύριων τάσεων στην κατάσταση αστοχίας. Με δεδομένο ότι όλες οι μεταβλητές της εξίσωσης, μπορούν να υπολογιστούν, η σχέση (2.1) είναι της μορφής $\sigma_1=f(\sigma_3)$ και μπορεί να απεικονιστεί σε ένα σύστημα σ_1 - σ_3 . Η καμπύλη που ορίζεται αποτελεί την περιβάλλουσα αστοχίας της βραχόμαζας, και άρα το γεωμετρικό τόπο όλων των ζευγών των κύριων τάσεων που οδηγούν σε αστοχία. Όλα τα σημεία που βρίσκονται κάτω από την περιβάλλουσα δεν αντιπροσωπεύουν κατάσταση αστοχίας. Τα σημεία που βρίσκονται επί της περιβάλλουσας αντιπροσωπεύουν οριακή κατάσταση αστοχίας. Η περιοχή πάνω από την περιβάλλουσα είναι μία μη εφικτή περιοχή, γιατί αντιπροσωπεύει εντατικές καταστάσεις, οι οποίες δεν πρόκειται ποτέ να συμβούν, αφού η βραχόμαζα θα έχει ήδη αστοχήσει.

*η τιμή εξαρτάται από το υλικό συγκόλλησης

Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ	Κλαστικό		Κροκαλοπαγή • Λατυποπαγή •	Ψαμμίτες 17 ± 4	Ιλυόλιθοι 7 ± 2 Γραουβάκες (18 ± 3)	Αργιλόλιθοι 4 ± 2 Αργ.σχιστόλιθοι (6 ± 2) Μάρνες (7 ± 2)
		Μη κλαστικό	Ανθρακικά	Κρυσταλλικοί Ασβεστόλιθοι (12 ± 3)	Σπαρτικοί Ασβεστόλιθοι (10 ± 2)	Μικριτικοί Ασβεστόλιθοι (9 ± 2)
	Εβαπορίτες			Γύψος 8 ± 2	Ανυδρίτης 12 ± 2	
	Οργανικά					Κρητίν 7 ± 2
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ	Μη πτυχωμένα		Μάρμαρο 9 ± 3	Κερατόλιθοι (19 ± 4) Μεταψαμμίτες (19 ± 3)	Χαλαζίτες 20 ± 3	
	Ελαφρά πτυχωμένα		Μιγματίτες (29 ± 3)	Αμφιβολίτες 26 ± 6	Γνεύσιοι 28 ± 5	
	Πτυχωμένα**			Σχιστόλιθοι 12 ± 3	Φυλλίτες (7 ± 3)	Σχίστες 7 ± 4
Τύπος		Ομάδα	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ			
			Χονδρή	Μέση	Λεπτή	Πολύ λεπτή
ΠΥΡΙΓΕΝΗ	Πλουτώνια	Ανοιχτό- χρωμα	Γρανίτης 32 ± 3 Γρανοδιορίτης (29 ± 3)	Διορίτης 25 ± 5		
		Σκοτεινό- χρωμα	Γάββρος 27 ± 3 Νορίτης 20 ± 5	Δολερίτης (16 ± 5)		
	Υποαβυσσικά		Πορφύρης (20 ± 5)		Διαβάσης (15 ± 5)	Περιοδίτης (25 ± 5)
	Ηφαιστειακά	Λάβα		Ρυόλιθος (25 ± 5) Ανδεσίτης 25 ± 5	Δακίτης (25 ± 3) Βασάλτης (25 ± 5)	
		Πυροκλαστικά	Κροκαλοπαγή (19 ± 3)	Ηφ.Λατυποπαγή (19 ± 5)	Τόφφοι (13 ± 5)	

Πίνακας 2.23 Τιμές της σταθεράς m_i (Marinos and Hoek, 2001)

Με βάση το κριτήριο Hoek-Brown (σχέση 2.1):

- για $\sigma_3=0$ και $\sigma_1=\sigma_c$ προκύπτει η αντοχή της βραχώμαζας σε μονοαξονική θλίψη:

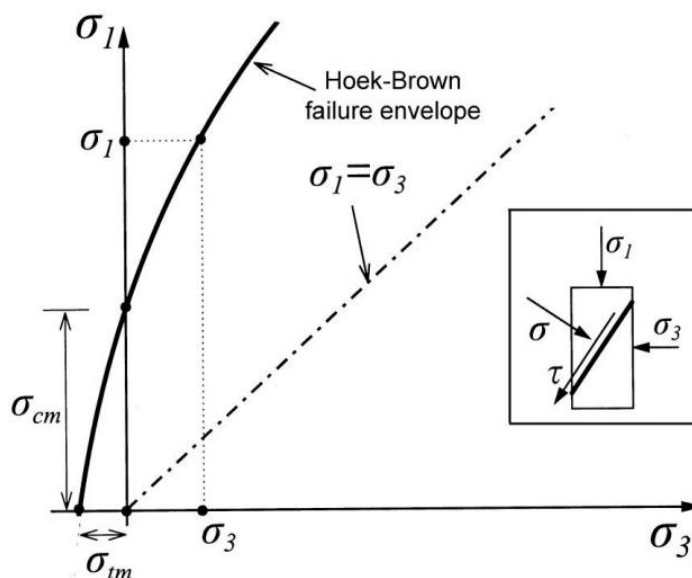
$$\sigma_c = \sigma_{ci} S^a$$

- για $\sigma_3=\sigma_t$ και $\sigma_1=0$ προκύπτει η αντοχή της βραχώμαζας σε καθαρό εφελκυσμό:

$$\sigma_t = -\frac{\sigma_{ci}}{2} \left[\sqrt{4s + m_b^2} - m_b \right]$$

- για $\sigma_3=\sigma_t$ και $\sigma_1=\sigma_t$ προκύπτει η αντοχή της βραχώμαζας σε διαξονικό εφελκυσμό:

$$\sigma_t = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b}$$



Σχήμα 2.34. Περιβάλλουσα Hoek-Brown

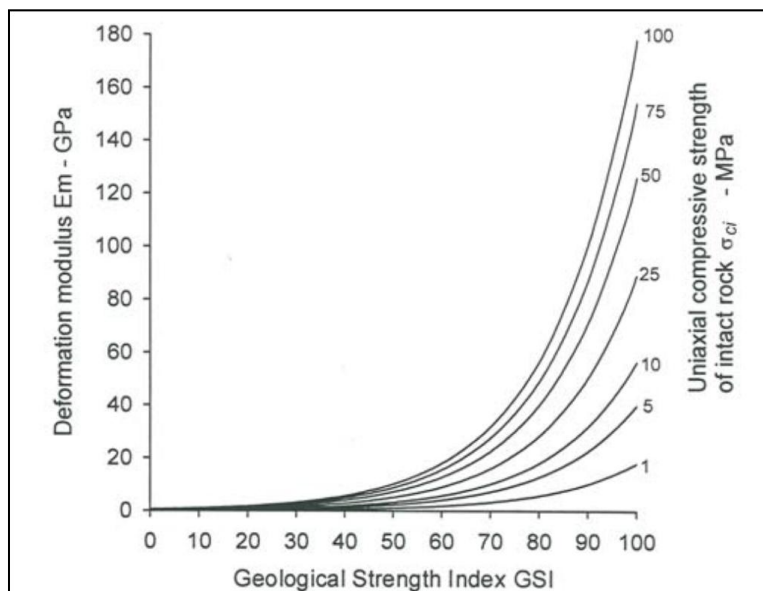
2.7.2 Υπολογισμός Παραμέτρων βραχόμαζας

Η βραχόμαζα αποτελεί ένα υλικό ασυνεχές με έντονη ανομοιογένεια και συχνά ανισοτροπία. Επομένως, οι παράμετροι που εκφράζουν την αντοχή και την ελαστική της συμπεριφορά είναι ιδεατά ισοδύναμα μεγέθη, χωρίς φυσική σημασία, τα οποία όμως είναι απαραίτητα για τη μελέτη των υπόγειων έργων με βάση τα σημερινά δεδομένα.

- **Μέτρο Παραμορφωσιμότητας E_m (Hoek, Caranza, Torres and Corkum, 2002):**

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci} (MPa)}{100}} \times 10^{(GSI-10)/40}$$

Το μέτρο ελαστικότητας αυξάνεται, όσο αυξάνεται η αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονοαξονική θλίψη, όσο αυξάνεται το GSI και όσο μειώνεται ο συντελεστής D, που σχετίζεται με τη διαταραχή της βραχόμαζας



Σχήμα 2.35. Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας της βραχόμαζας (Marinos and Hoek, 2000)

- **Λόγος Poisson**

Τύπος βραχόμαζας	Λόγος Poisson
Τεμαχώδης με καλή αλληλεμπλοκή των κόκκων χωρίς διαταραχή	0.20-0.25
Τεμαχώδης ελαφρώς διαταραγμένη	0.30-0.35
Διαταραγμένη, πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια	0.35-0.40
Πολύ διαταραγμένη με γωνιώδη και στρογγυλεμένα κομμάτια	0.30-0.35
Τελείως εξαλλοιωμένη βραχόμαζα	0.25-0.30

Πίνακας 2.24. Εκτίμηση του λόγου Poisson με βάση τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας (Καββαδάς, 2002)

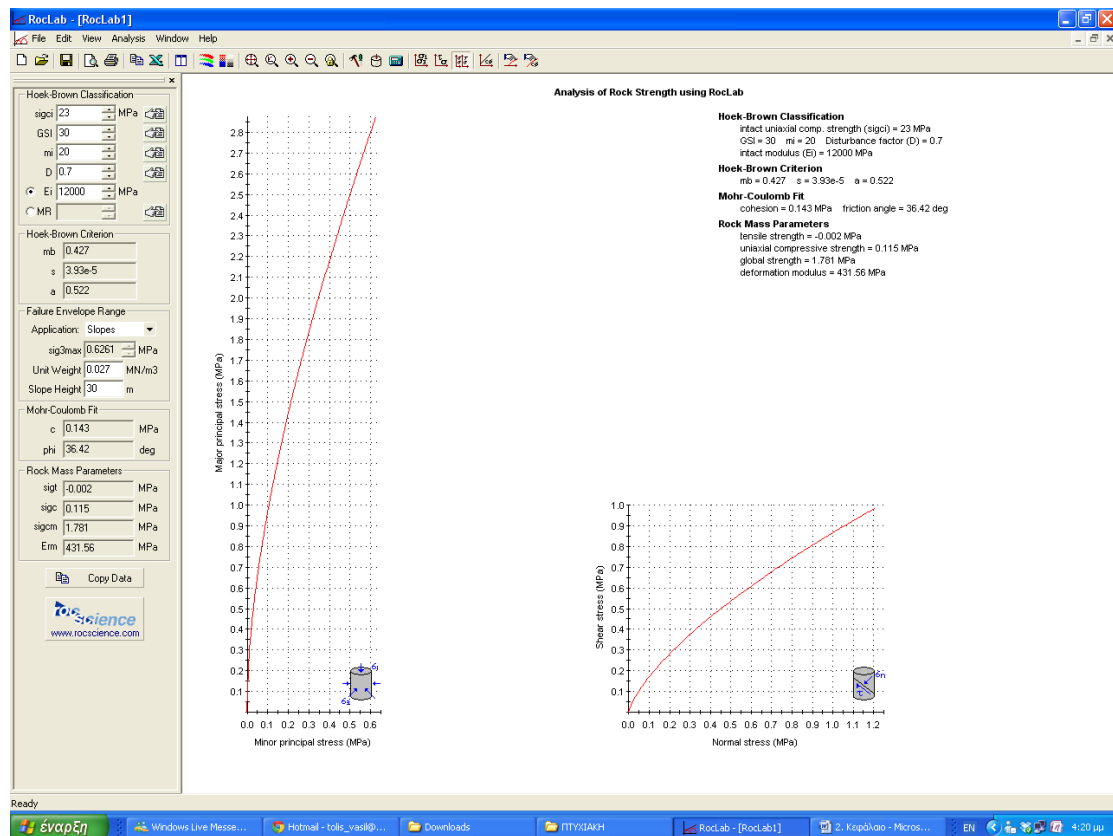
- **Συνοχή c και γωνία εσωτερικής τριβής ϕ :** Η περιβάλλουσα του κριτηρίου Hoek-Brown είναι μία καμπύλη σε ορθογώνιο σύστημα αξόνων σ_1 - σ_3 , ενώ η περιβάλλουσα του κριτηρίου Mohr-Coulomb είναι ευθεία τόσο σε σύστημα αξόνων σ_1 - σ_3 , όσο και σε σύστημα αξόνων τ - σ . Για τον υπολογισμό των c και ϕ μετατρέπεται η περιβάλλουσα αυτή, σε μία ισοδύναμη ευθεία ανάλογα με την σ_3 και στη συνέχεια σε ισοδύναμη ευθεία σε ορθογώνιο σύστημα συντεταγμένων τ - σ , που περιγράφεται από την εξίσωση $\tau = c' + \sigma \tan \phi'$. Άρα για τον προσδιορισμό της ευθείας, απαιτείται ο υπολογισμός των παραμέτρων αντοχής c και ϕ . Το c είναι η ισοδύναμη συνοχή της βραχόμαζας και το ϕ η ισοδύναμη γωνία εσωτερικής τριβής.

$$\phi' = \arcsin \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n})^{a-1}} \right] \quad (2.2)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(1+2a)\sqrt{\frac{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n}))^{a-1}}{(1+2a)(2+a)}}}$$

Όπου:

$$\sigma'_{3n} = \frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma_{ci}}$$

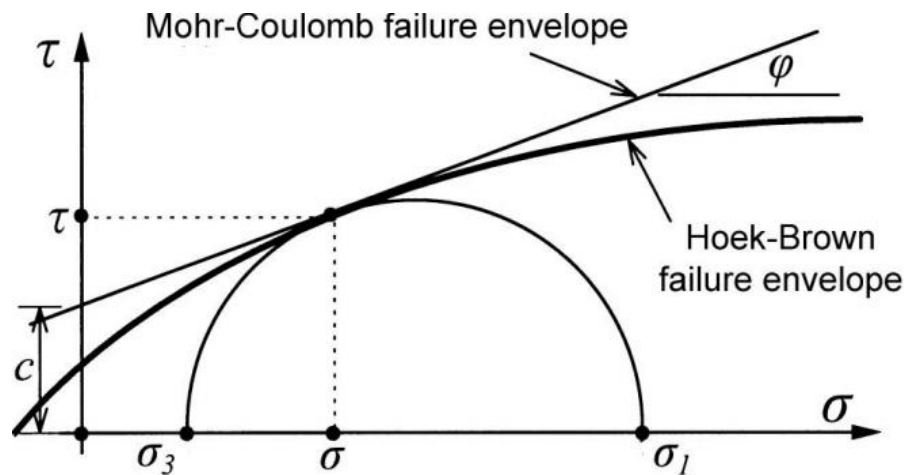


Πίνακας 2.15 Υπολογισμός των παραμέτρων αντοχής (c,φ) της βραχώμαζας μέσω του λογισμικού Roclab.

Η εξίσωση που συνδέει τις κύριες τάσεις σ_1 και σ_3 μέσω των παραμέτρων c' και ϕ' είναι:

$$\sigma_1 = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma_3$$

Ο υπολογισμός των ισοδύναμων παραμέτρων c , ϕ και E_m μπορεί να γίνει και απευθείας από το πρόγραμμα Roclab το οποίο διατίθεται ελεύθερα στο διαδίκτυο (<http://www.rocscience.com>)



Σχήμα 2.36. Σύγκριση κριτηρίου Mohr-Coulomb & Hoek-Brown

- **Ισοδύναμη αντοχή της βραχώμαζας σε μονοαξονική θλίψη**

Με βάση το κριτήριο Hoek-Brown, η αντοχή της βραχώμαζας σε μονοαξονική θλίψη υπολογίζεται από τη σχέση: $\sigma_c = \sigma_{ci} \sigma^a$. Η σχέση αυτή παρέχει πληροφορίες για την αντοχή και το μηχανισμό αστοχίας της βραχώμαζας σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να γνωρίζουμε μία τιμή αντοχής για ολόκληρη τη βραχώμαζα. Για το σκοπό αυτό προτάθηκε από τους Hoek-Brown η σχέση:

$$\sigma_{cm} = \frac{2c' \cos \varphi'}{1 - \sin \varphi'}$$

η οποία με βάση τις σχέσεις (2.2) και (2.4) γίνεται:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b / 4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

3.Γεωλογία Γνευσίου

3.1 Γεωλογικό Πρότυπο

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το γεωλογικό περιβάλλον που αναπτύσσονται τα γνευσιακά πετρώματα δηλαδή σε ποιες περιοχές εμφανίζονται στον Ελληνικό χώρο (γεωτεκτονικές ζώνες –γεωτεκτονικές ενότητες) την τεκτονική παραμόρφωση που έχουν υποστεί και τις υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές. Ιδιαίτερη αναφορά γίνεται για την γεωλογία της περιοχής μελέτης στη Νυμφαία Κομοτηνής.

3.2 Γεωλογικό περιβάλλον-Λιθολογία

Η ονομασία του πετρώματος γνεύσιος προέρχεται από την ονομασία που έδιναν οι σάξονες μεταλλωρύχοι στο άχρηστο μέταλλευμα. Τα πετρώματα αυτά προέρχονται από τη μεταμόρφωση είτε ιζηματογενών είτε πυριγενών πετρωμάτων και είναι πολύ συνήθη στο φλοιό της Γής.

Οι γνεύσιοι παρουσιάζουν ταινιωτή υφή λόγω του προσανατολισμού των ορυκτών τους. Έτσι δημιουργούνται επιφάνειες μέσα στη βραχώμαζα όπου τα ορυκτά διαχωρίζονται και τοποθετούνται γραμμικά σε σκοτεινόχρωμες σειρές φεμικών (Fe-Mg-ούχων) ορυκτών και ανοιχτόχρωμες σειρές σαλικών ορυκτών. Τα φεμικά ορυκτά είναι κυρίως η κερυστίλβη και ο βιοτίτης και τα σαλικά οι άστριοι και ο χαλαζίας. Άλλα ορυκτά που συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστό είναι οι μαρμαρυγίες, γρανάτης, σταυρόλιθος, κορδιερίτης, ανδαλουσίτης, κυανίτης και σιλλιμανίτης. Η ταινιωτή υφή εξαρτάται από το βαθμό της μεταμόρφωσης (υψηλού-μέσου- χαμηλού βαθμού μεταμόρφωση, εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την πίεση), τον πρωτόλιθο (το αρχικό πέτρωμα μπορεί να είναι ιζηματογενές ή πυριγενές) και από τη παρουσία και το μέγεθος των οφθαλμών (φακοειδής ή ατρακτοειδείς συγκεντρώσεις αστρίων μόνο ή χαλαζία και αστρίων που περιβάλλονται από μαρμαρυγίες).

Ένα γνευσιακό πέτρωμα από περιοχή σε περιοχή παρουσιάζει διαφορές στη περιεκτικότητα σε φεμικά συστατικά και κατά θέσεις παρατηρούνται εναλλαγές με λεπτά στρώματα αμφιβολιτών ή αμφιβολιτικών σχιστολίθων. Στις θέσεις όπου ο γνεύσιος εναλλάσσεται με τα στρώματα αυτά ή με μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους δημιουργούνται ασυνέχειες που παρουσιάζουν αδυναμία ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνεια ή στον περίγυρο των τεκτονικών διαρρήξεων. Ένα άλλο χαρακτηριστικό των γνευσίων είναι τα διεισδυτικά σώματα που παρουσιάζονται κατά θέσεις που είναι απλιτικές φλέβες και αποτελούνται από χαλαζία και ασρτίους και επομένως έχουν λευκό χρώμα. Αν και οι φλέβες έχουν υποστεί τη μεταμόρφωση που υπαίσκει ο υπόλοιπος σχηματισμός παρουσιάζονται με έντονη σχιστότητα και φυλλώδη δομή.

Τα γνευσιακά πετρώματα ανάλογα με το πόσο σχιστώδη είναι διακρίνονται σε γνευσίους, σχιστογνευσίους και γνευσιοσχιστόλιθους με αύξηση της σχιστότητας. Επειδή στο περιβάλλον όπου εμφανίζονται οι γνεύσιοι υπάρχουν και διεισδύσεις

πυριγενών πετρωμάτων, κυρίως γρανιτών, στη περίμετρο αυτών των διεισδύσεων εμφανίζονται οι *γρανιτογενέσι* και οι *γνευσιογρανίτες*.

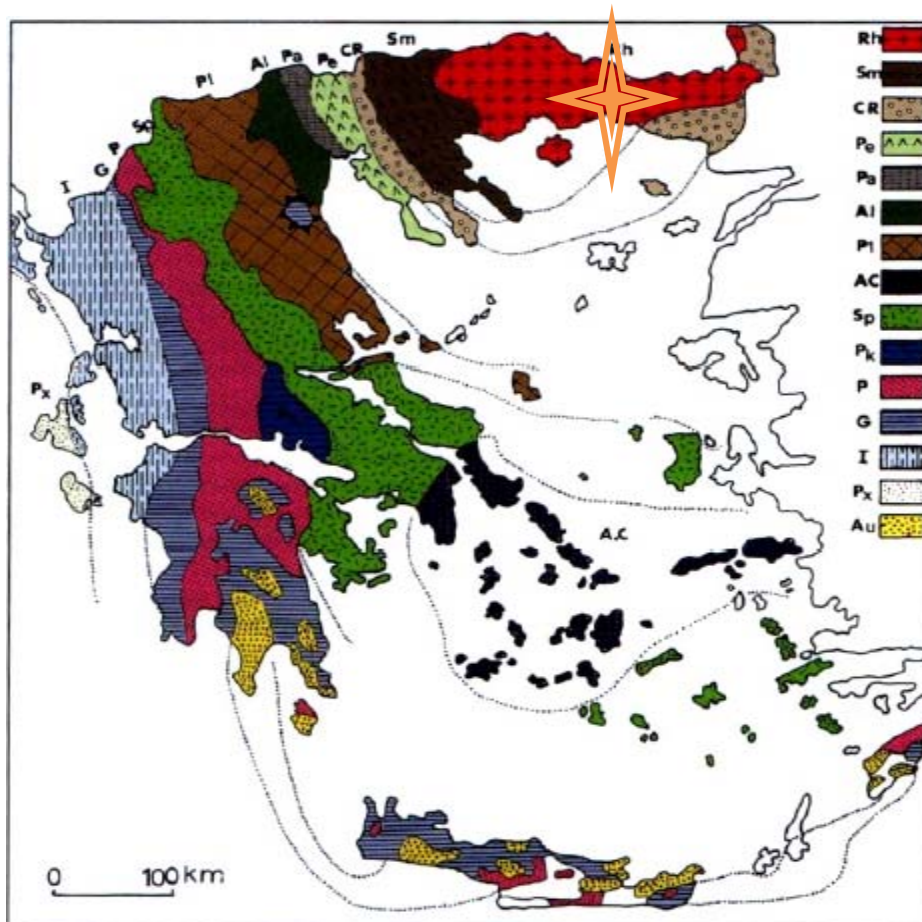
Οι γνεύσι

3.3 Γεωτεκτονική θέση της Περιοχής Μελέτης

Οι Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες, όπως διαμορφώθηκαν μέχρι σήμερα σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, είναι από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά οι εξής:

1. Η μάζα της Ροδόπης(Rh)
2. Η Σερβομακεδονική μάζα(Sm)
3. Η Περιοδοπική ζώνη(CR)
4. Η ζώνη Αξιού(Ax)
5. Η Πελαγονική ζώνη(Pl)
6. Η Αττικο-Κυκλαδική ζώνη(AC)
7. Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη «Ανατολικής Ελλάδας»(Sp)
8. Η ζώνη Παρνασσού-Γκιώνας(Pk)
9. Η ζώνη Ωλονού-Πίνδου(P)
10. Η ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης(G)
11. Η Αδριατικοϊόνιος ζώνη (ή απλά Ιόνιος ζώνη)(I)
12. Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία(Px)

Η γεωτεκτονική θέση της Νυμφαίας είναι στη *Μάζα της Ροδόπης* που περιλαμβάνει τον ορεινό όγκο της Ροδόπης, στη Θράκη και τη Νότια Βουλγαρία, την Ανατολική Μακεδονία με δυτικό όριο τη γραμμή του Στρυμώνα ποταμού, καθώς και τη νήσο Θάσο. Ο γεωτεκτονικός χαρακτήρας της μάζας είναι καθαρά ηπειρωτικός και θεωρείται ότι η προέλευση της μάζας είναι είτε από την πλάκα της Ευρασίας είτε από τα Κιμμερικά ηπειρωτικά τεμάχια που αποσπάστηκαν από την Γκοντβάνα, κινήθηκαν ΒΑ και ενσωματώθηκαν στην Ευρασία.



Σχήμα 3.1 . Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας (κατά Mountrakis et al 1983).

Η περιοχή είναι στο πορτοκαλί αστεράκι στην εικόνα.

Η μάζα αποτελείται από κρυσταλλοσχιστώδη και πυριγενή πετρώματα και έτσι οι έρευνες περιστράφηκαν κυρίως γύρω από τη λιθολογική σύσταση του κρυσταλλοσχιστώδους, το πάχος του οποίου υπολογίζεται κατ'άλλους στα 10 km, κατ'άλλους στα 20 km (Δ. Μουντράκης 2008). Διαχωρίζεται σε δύο τεκτονικές μονάδες: την ανώτερη του Σιδηρόνερου στα Βόρεια κατά μήκος των ελληνοβουλγαρικών συνόρων και την κατώτερη του Παγγαίου που καταλαμβάνει τη δυτική, νοτιοδυτική Ροδόπη. Η Νυμφαία ανήκει στην ενότητα του Σιδηρόνερου και συγκεκριμένα στην ενότητα Σμυγάδας-Κίμης. Η ενότητα αυτή αποτελείται από μετα-ιζήματα και μετα-πυριγενή πετρώματα πολύ υψηλής μεταμόρφωσης, αμφιβολιτωμένους εκλογίτες, γρανιτικούς ορθογενεσίους και υπερβασικά πετρώματα μανδουακής προέλευσης (περιδοτίτες, πυροξενίτες).

3.3.1 Πλουτωνίτες και ηφαιστίτες της μάζας της Ροδόπης

Τα *πλουτωνικά πετρώματα* είναι κυρίως γρανίτες (μοσχοβιτικοί, βιοτιτικοί και κεροστιλβικοί) γρανοδιορίτες, μονζονίτες, χαλαζιακοί μονζονίτες, τοναλίτες και διορίτες. Η ηλικία των πλουτωνιτών έχει διαπιστωθεί με πολλές ραδιοχρονολογήσεις ως Τριτογενής (Ηωκαινική-Ολιγοκαινική-Μειοκαινική) με συνήθεις τιμές από 50-14 Μα, και συνδέονται με την εφελκυστική τεκτονική που έλαβε χώρα κατά την εξέλιξη της υποβύθισης της Νέο-Τηθύος κάτω από την Ελληνική Ενδοχώρα. Τα *ηφαιστειακά*

πετρώματα της Ελληνικής Ροδόπης κατανέμονται κατά το μεγαλύτερο μέρος τους σε δύο κύριες περιοχές εμφανίσεων. Μία στην περιοχή Φερρών-Σαπών του Έβρου και μια βόρεια της Ξάνθης-Κομοτηνής στα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα. Η σύσταση των ηφαιστειτών κυμαίνεται από βασαλτική έως ρυολιθική και σχηματίσθηκαν κατά την Τριτογενή εφελκυστική τεκτονική όπως αναφέρθηκε και για τον πλουτωνισμό. Στη στενή περιοχή της μελέτης δεν απαντώνται τα πετρώματα αυτά.

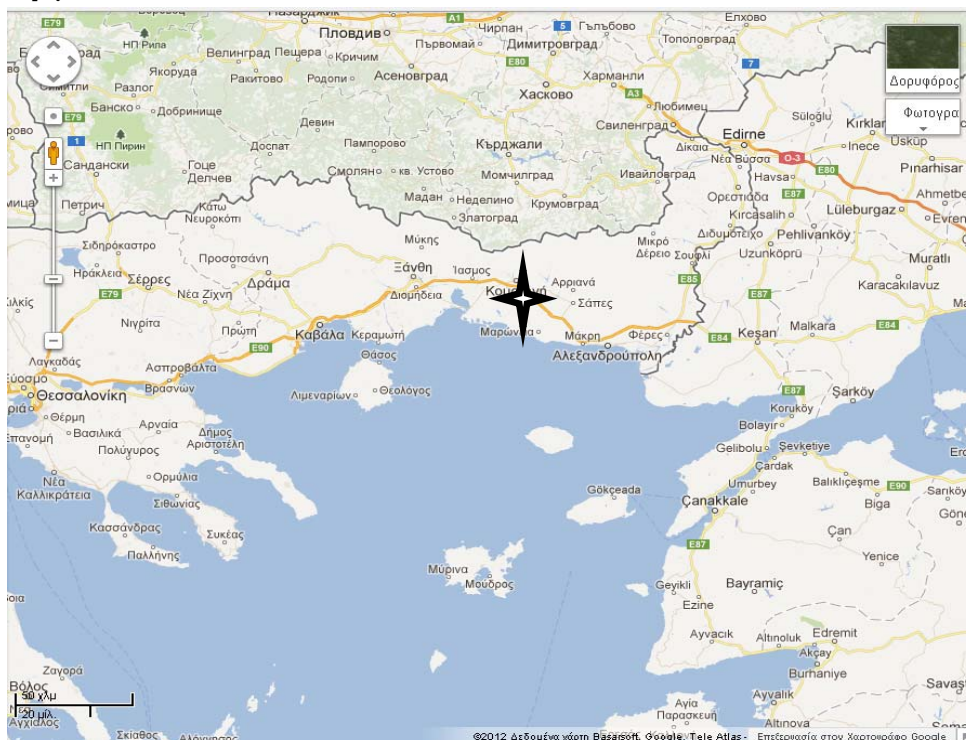
3.3.2 Τεκτονική

Η ενότητα Σιδηρόνερου επιπεύει την ενότητα Παγγαίου από Βορρά προς Νότο κατά μήκος μιας μεγάλου μήκους τεκτονικής γραμμής γενικής διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ (περίπου 110°). Η τεκτονική ανάλυση του κρυσταλλοσχιστώδους, που έγινε μέχρι τώρα διαπίστωσε τρεις φάσεις πτυχώσεων των σχηματισμών. Η πρώτη φάση προκάλεσε πτυχές ισοκλινείς, γενικής αξονικής διεύθυνσης Β-Ν (Παλαιοζωικό). Η δεύτερη φάση προκάλεσε πτυχές υποϊσοκλινείς και άξονες διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ και οι δομές της φάσης αυτής κυριαρχούν στα πετρώματα της Ροδόπης. Η τρίτη φάση πτυχώσεων έχει πτυχές ανοιχτές διεύθυνσης αξόνων ΒΔ-ΝΑ (συνήθως 120°) που επαναπτυχώνουν τις προγενέστερες πτυχές (Ολιγόκαινο). Οι φάση πτυχώσεων που περιγράφηκαν επιβεβαιώνουν την άποψη ότι η μάζα της Ροδόπης επηρεάστηκε από τις Αλπικές παραμορφώσεις, ανεξάρτητα από την ηλικία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της.

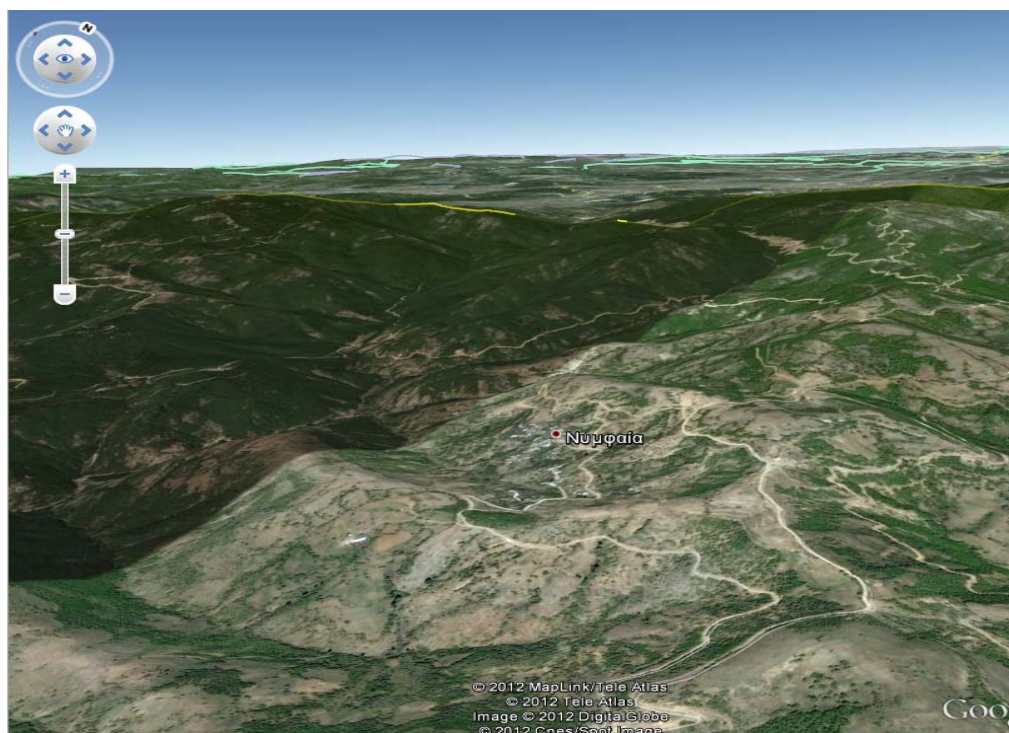
3.3.3 Εμφάνιση γνευσιακών πετρωμάτων στον Ελληνικό χώρο

Στον Ελληνικό χώρο εμφανίζονται γνευσιακά πετρώματα και σε άλλες γεωτεκτονικές ζώνες εκτός της Μάζας της Ροδόπης. Στη Σερβομακεδονική Μάζα το κρυσταλλοσχιστώδες της διαιρείται σε δύο μεγάλες ενότητες πετρωμάτων με κύριο σχηματισμό τους γνευσίους με πολύ παλιά ηλικία που στο Ελληνικό κομμάτι της θεωρείται Παλαιοζωική και ηλικία μεταμόρφωσης Ερκύνια. Στη Περιροδοπική ζώνη οι γνεύσιοι έχουν προέλευση τη Σερβομακεδονική και υπάρχουν εκεί με την μορφή τεκτονικών λεπίων. Στην ζώνη του αξιού επίσης οι γνεύσιοι που εμφανίζονται έχουν προέλευση τη Σερβομακεδονική. Στην Πελαγονική ζώνη το υπόβαθρο αποτελείται από γνευσίους βιοτιτικούς οφθαλμοειδείς ορθο-προέλευσης, μιγματιτικούς γνευσίους, γνευσίους ταινιωτούς, μοσχοβιτικούς παρά-προέλευσης, γρανατούχους διμαρμαρυγιακούς σχιστολίθους. Στην Αττικοκυκλαδική ζώνη οι γνεύσιοι που εμφανίζονται έχουν σαφείς ομοιότητες με το κρυσταλλοσχιστώδες της Πελαγονικής όπως και της Υποπελαγονικής. **Η παρουσία λοιπόν των γνευσίων σε πολλούς γεωγραφικούς χώρους στον Ελλαδικό χώρο καταδεικνύουν την σημασία της εργασίας αυτής.**

3.4 Συνοπτική Παρουσίαση των Γεωλογικών - Λιθολογικών , Τεκτονικών και Υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής του έργου



Σχήμα 3.2. Η γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης (<http://maps.google.gr>)



Σχήμα 3.3. Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης (<http://maps.google.gr>)

Όπως διακρίνεται και στην παραπάνω εικόνα, ο άξονας της χάραξης διέρχεται από πεδινές (νοτιότερα), λοφώδεις και ορεινές περιοχές και κινείται παράλληλα προς τα τρία ή τέσσερα βασικά και πρωτεύοντα μεγάλα ρέματα της περιοχής (Τυχερόρεμα, Καρυδόρεμα, Κοκκινόρεμα και Σολομώντος ρέμα), ενώ τέμνει κάθετα συνήθως τους δευτερεύοντες κλάδους και τις τριτεύουσες ή τεταρτέουσες απολήξεις αυτών.

3.4.1 Γεωλογικές-Λιθολογικές συνθήκες

Οι βραχώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί που δομούν την περιοχή του έργου διαχωρίζονται στις κλαστικές ηφαιστειοιζηματογενείς και στις μεταμορφωμένες-σχιστώδεις σειρές. Η διαδοχή των ημιβραχωδών-βραχωδών γεωλογικών σχηματισμών στη λιθοστρωματογραφική στήλη, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι:

- Προαπλικά ιζήματα
Μεταμορφωμένα-κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα, τα οποία αποτελούνται κυρίως από γνευσίους, μάρμαρα, γνευσιοσχιστόλιθους, αμφιβολίτες-οφθαλμογνευσίους, πιθανώς Παλαιοζωικής ηλικίας (Ροδοπική μάζα).
- Προαπλικά πυριγενή
Γρανίτες-γρανодиρίτες σχιστοφυείς με γνευσιακή υφή.
- Αλπικά πυριγενή
Γρανίτες-γρανодиρίτες, όξινα πυριγενή (πλουτωνίτες), ηφκαινικής ηλικίας
- Μεταλπικά ιζήματα
Μολλασικά ιζήματα και ηφαιστειοιζηματογενής σειρά
Νεογενή ιζήματα (Θαλάσσια-Υφάλμυρα και Λιμναία)
- Τεταρτογενή ιζήματα
Αναβαθμίδες πλευρικών κορημάτων, αργιλικά κορήματα και μανδύες αποσάθρωσης.

Τους βραχώδεις σχηματισμούς επικαλύπτουν οι νεότεροι εδαφικοί σχηματισμοί κυρίως του Τεταρτογενούς. Οι εδαφικοί σχηματισμοί αποτέθηκαν στις τεκτονικές τάφρους και στις τεκτονικές ή μη αναβαθμίδες, οι οποίες δημιουργήθηκαν κατά θέσεις από τις μεγάλες ρηξιγενείς δομές που προκλήθηκαν από τα συμπιεστικά και τα εφελκυστικά πεδία τάσεων. Οι εδαφικοί σχηματισμοί συνίστανται από τις σύγχρονες αποθέσεις των αλλουβιακών πεδίων, από τα σύγχρονα και παλαιότερα πλευρικά κορήματα (κώνοι κορημάτων ή αργιλικών κορημάτων), από τα υλικά αναβαθμίδων, από τις πλειστοκαινικές λιμναίες αποθέσεις και τέλος από τα νεογενή χερσαία κροκαλοπαγή. Γενικά, η ευρύτερη περιοχή της Ροδοπικής μάζας, εμφανίζεται με μια πολύπλοκη τεκτονική δομή, ως συνέπεια των έντονων τεκτονικών τάσεων που έδρασαν σ' αυτήν.

3.4.2 Τεκτονικές συνθήκες

Οι κύριες τεκτονικές φάσεις, που έδρασαν στην Ροδοπική βραχόμαζα από το Μεσοζωϊκό μέχρι σήμερα και οι οποίες είναι υπεύθυνες για την σταδιακή εξέλιξη της, αλλά και για την εν γένει ποιοτική της κατάσταση είναι τέσσερις:

- Συμπιεστική φάση

Εκδηλώθηκε κατά την διάρκεια της ορογενετικής φάσης και είναι γνωστή με την ονομασία Αλπικές πτυχώσεις. Δυο φάσεις πτυχώσεων διακρίνονται:

Η πρώτη με διεύθυνση αξόνων (B1) ΒΑ, περίπου 50°, σχηματίζει τα μεγάλα σύγκλινα και αντίκλινα.

Η δεύτερη με διεύθυνση αξόνων (B2) ΒΔ, περίπου 120°, που υπερκαλύπτουν τους Β1.

Οι δυο πτυχογόνες φάσεις, εκδηλώθηκαν με μικρή χρονική διαφορά και έλαβαν χώρα κατά την διάρκεια της γενικής μεταμόρφωσης. Εκτιμάται ότι πτύχωση, μεταμόρφωση και πλουτωνισμός (εμφάνιση πλουτωνικών-γρανιτικών όγκων) είναι αλπικής ηλικίας και τοποθετούνται μεταξύ Κάτω Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου.

- Φάση Εφελκυστικών τάσεων

Μετά το τέλος της ορογενετικής φάσης (Αλπικές πτυχώσεις) εκδηλώθηκε ένα πεδίο εφελκυσμών, το οποίο προκάλεσε μεγάλα κανονικά ρήγματα (περιθωριακές διαρρήξεις) με σύγχρονες μετακινήσεις και βυθίσεις τεμαχών (τριτογενή βυθίσματα). Η επικρατούσα γενική διεύθυνση των ρηγμάτων της φάσης αυτής είναι η ΑΒΑ-ΔΝΔ. Τέτοια ρήγματα, εντοπίζονται στις βόρειες περιοχές, ή κυρίως στις επαφές και τα κράσπεδα της Ροδοπικής μάζας.

- Φάση Συμπίεσης

Η φάση αυτή της συμπίεσης, εκδηλώθηκε κατά το τέλος του Ολιγοκαίνου-αρχές Μειοκαίνου με μια γρανιτική-γρανοδιοριτική διείδυση η οποία πολυπτυχώσε τα ευπαθή στρώματα και προφανώς έδωσε τις επωθητικές-τεκτονικές κινήσεις, οι οποίες με της σειρά τους, έδωσαν τα τεκτονικά παράθυρα κατά περιοχές.

- Νέα φάση εφελκυστικών τάσεων (Νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων)

Η αρχική δράση εκδηλώνεται κατά το Μέσο Μειόκαινο και αποτέλεσε την αρχή για την ανάπτυξη της λεκάνης στην σημερινή της μορφή. Οι νεοτεκτονικές-εφελκυστικές τάσεις, στη περιοχή της Θράκης, συνεχίζουν να δρουν με αποτέλεσμα το πεδίο των τάσεων αυτών να έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ κατά το Πλειόκαινο-Κατώτερο Πλειστόκαινο και επίσης διεύθυνση σχεδόν Β-Ν κατά το Τεταρτογενές (Ανώτερο Πλειστόκαινο). Την περίοδο αυτή, των εφελκυστικών-νεοτεκτονικών τάσεων, έχουμε την ανάπτυξη και εμφάνιση ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης ή εφαπτομενικών-πλάγιων κανονικών, αριστερόστροφων ή δεξιόστροφων και επίσης κανονικών ρηγμάτων.

Οι συμπιεστικές φάσεις του τεκτονισμού πτύχωσαν του σχηματισμούς δημιουργώντας ποικιλία κατευθύνσεων των S-επιπέδων σχιστότητας στα πρηνή, άρα και διαφορετικές τεχνικογεωλογικές συμπεριφορές του σχηματισμού. Οι εφελκυστικές φάσεις τεκτονισμού και ιδιαίτερα το νεοτεκτονικό πεδίο τάσεων δημιούργησαν διατμητικές ζώνες που έχουν ασθενή μηχανικά χαρακτηριστικά και οι παλαιότερες τεκτονικές εφελκυστικές φάσεις έφεραν σε επαφή πολύ διαφορετικών ποιοτήτων γνευσιακές βραχόμαζες με αποτέλεσμα να αλλάζει η εικόνα (από άποψη ποιότητας) μέσα σε λίγα μέτρα στην περιοχή μελέτης.

3.4.3 Συνθήκες αποσάθρωσης

Η συμπεριφορά των γνευσιακών πετρωμάτων στα πρηνή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την αποσάθρωση που έχουν υποστεί. Στην περίπτωση που η βραχόμαζα είναι υγιής εμφανίζει πολύ καλά μηχανικά χαρακτηριστικά ενώ στη περίπτωση της εντελώς αποσαθρωμένη μορφής η συμπεριφορά είναι δραματικά διαφορετική. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται οι κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης.

Κατηγορία πετρώματος	Περιγραφή	Κατηγορία κατά την ISRM
Υγιές (F)	Χωρίς ίχνη αποσάθρωσης	I
Ελάχιστα αποσαθρωμένο	Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών	II
Ολίγον αποσαθρωμένο	Έντονη αποσάθρωση στις επιφάνειες των ασυνεχειών και ελαφρά αποσάθρωση στη μάζα του υλικού	III
Μετρίως αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, χωρίς το υλικό να παρουσιάζει ευθρυπτότητα	IV
Έντονα αποσαθρωμένο	Εκτεταμένη αποσάθρωση στη μάζα του υλικού, με τοπική ευθρυπτότητα του υλικού	V
Πλήρως αποσαθρωμένο	Πλήρης αποσάθρωση και μεγάλη ευθρυπτότητα του υλικού, με διατήρηση της υφής και της δομής	VI
Έδαφος	Η υφή και η δομή του υλικού έχει καταστραφεί και το υλικό μπορεί να χαρακτηριστεί ως έδαφος (υπολειμματικός σχηματισμός)	-

Πίνακας 3.1. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης (Anonymous, 1981)

3.4.4 Υδρογεωλογικές συνθήκες

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που συναντώνται κατά μήκος του έργου είναι κυρίως γνευσιακοί. Λόγω του πολύ μικρού πρωτογενούς πορώδους που δαιθέτουν θεωρούνται πρακτικά αδιαπέρατοι. Είναι πιθανό να αναπτύσσουν τοπικούς ή επικρεμάμενους υδροφόρους ορίζοντες λόγω του δευτερογενούς πορώδους τους που οφείλεται στον κερματισμό της βραχώμαζας και στις χωρίς υλικό πλήρωσης, αργιλώδους σύστασης, διαρρήξεις και διατμητικές ζώνες.

Οι υδροφόροι ορίζοντες που εκμεταλλεύονται οι κάτοικοι με την κατασκευή διαφόρων έργων υδρομάστευσης, βρίσκονται μεταξύ του επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης και του βραχώδους υποβάθρου. Είναι ασθενείς και εμφανίζονται υπό μορφή πηγών επαφής κυμαινόμενης παροχής. Λόγω της ορεινής γεωμορφολογίας ευνοούνται οι επιφανειακές ροές και η κατείσδυση είναι μικρή. Έτσι υπάρχει μεγάλη επιφανειακή παροχετευτικότητα και προκαλούνται έντονες αποσαθρώσεις και διαβρώσεις κοίτης ή πλευρικές πρηνών, όπου κατά περίπτωση το βραχώδες ανάγλυφο δεν είναι δασοκαλυμμένο. Αυτό συνεπάγεται ασθενή έως αδύνατο εμπλουτισμό των τυχόν υπόγειων υδατικών οριζόντων και αναμένεται επίσης και μέτρια στερεοπαροχή ιδίως κατά τις περιόδους των έντονων βροχοπτώσεων και σε περιοχές με έντονη τεκτονική καταπόνηση και μικρή φυτοκάλυψη.

Όσο αναφορά τους ηφαιστειοϊζηματογενής σχηματισμούς παρουσιάζουν σχεδόν παρόμοιες υδρογεωλογικές συνθήκες. Οι ιλύολιθοι, οι μάργες και οι ηφαιστειακοί τόφφοι είναι πρακτικά αδιαπέρατοι λόγω χαμηλού πρωτογενούς πορώδους, ενώ σχετικά υψηλότερη διαπερατότητα παρουσιάζουν οι ψαμμίτες, οι λεπτοστρωματώδεις ασβεστόλιθοι και τα κροκαλοπαγή, λόγω αυξημένου δευτερογενούς πορώδους (έντονος κερματισμός και απουσία υλικού πλήρωσης στις διεπιφάνειες ασυνεχειών).

4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΓΝΕΥΣΙΟΥ ΣΤΗΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ

4.1 Τεχνικογεωλογικό Πρότυπο γνευσίων – Γενικά

Ο γνεύσιος σαν γεωλογικός σχηματισμός στα τεχνικά έργα συναντάται συμπαγής και με μεγάλη αντοχή που οφείλεται στην άρρηκτη δομή του αλλά και από τη φύση του σχηματισμού. Παρόλα αυτά, συναντάται επίσης και με πολύ χαμηλή ποιότητα, αποσαθρωμένος και τεκτονισμένος λόγω της γνευσιακής υφής του και λόγω του γεωλογικού περιβάλλοντος που αρκετές φορές συναντάται. Ανάλογα με τον βαθμό αποσάθρωσης η βραχόμαζα μπορεί να είναι :

- I. υγιής χωρίς να έχει υποστεί αποσάθρωση,
- II. με ελαφρά αποσάθρωση που έχει περιοριστεί στην επιφάνεια
- III. μέτρια αποσαθρωμένη όπου η αποσάθρωση εκτείνεται σε όλη τη βραχόμαζα χωρίς όμως τα βραχώδη τεμάχια να είναι εύθρυπτα,
- IV. πολύ αποσαθρωμένη όπου η αποσάθρωση επεκτείνεται σε όλη τη βραχόμαζα έχοντας τεμαχίσει και αποχωρίσει πολλά τεμάχια μεταξύ τους και τα βραχώδη τεμάχια να είναι εν μέρει εύθρυπτα,
- V. πλήρως αποσαθρωμένη όπου η βραχόμαζα έχει αποσυντεθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι πολύ εύθρυπτη χωρίς όμως να χάνεται η συνολική δομή,
- VI. υπολειμματικό έδαφος, όταν η βραχόμαζα είναι ακόμα περισσότερο αποσαθρωμένη γίνεται και θα πρέπει να αξιολογείται με βάση τις αρχές της εδαφομηχανικής.

Οι ιδιότητες της γνευσιακής βραχόμαζας έχουν μεγάλο εύρος από πολύ καλές έως πολύ φτωχές και εξαρτώνται από το βαθμό αποσάθρωσης, το βαθμό τεκτονισμού και την παρουσία δευτερογενών αργιλικών υλικών.

Ο γνεύσιος συναντάται σε *ασθενείς* και *σύνθετες βραχόμαζες*:

- **Σύνθετη βραχόμαζα**
 - Μη ομαλή στρωματογραφική-γεωλογική εξάπλωση των διαφόρων λιθολογικών αλλά και τεχνικογεωλογικών μορφών του. Οι επαφές των διαφόρων τύπων είναι δύσκολα προβλέψιμες.
- **Ασθενής βραχόμαζα**
 - Αποσάθρωση του άρρηκτου βράχου αλλά και της βραχόμαζας
 - Έντονη παρουσία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών

- Τεκτονική καταπόνηση
 - ✓ Κατακερματισμένη βραχόμαζα
 - ✓ Σχιστοποιημένη – διατμημένη κατά θέσεις φυλλώδης βραχόμαζα

4.1.1 Ανώμαλη στρωματογραφική-γεωλογική εξάπλωση των γνευσιακών επαφών -Αποσάθρωση του άρρηκτου βράχου και της βραχόμαζας Έντονη παρουσία δευτερογενών (λόγω αποσάθρωσης) αργιλικών ορυκτών

Στα γνευσιακά πετρώματα εντοπίζονται πολλαπλές διαρρήξεις και διαφορετικός βαθμός αποσάθρωσης από θέση σε θέση. Λόγω του γεωλογικού περιβάλλοντος του σχηματισμού εντοπίζονται και πολλαπλές γρανιτικές διεισδύσεις που δημιουργούν επαφές που δεν προβλέπονται και μεταβάλλουν τα πετρώματα σε γρανιτογενέσιους ή γνευσιογρανίτες. Αυτό σε συνδιασμό με τον έντονο τεκτονισμό που ευνοεί την κατά βάθος αποσάθρωση δημιουργεί επαφές ακανόνιστες και ποιότητα βραχόμαζας που μεταβάλλεται μέσα σε λίγα μέτρα.

Λόγω της σχιστότητας και της ορυκτολογικής σύστασης των γνευσιακών πετρωμάτων σε συνδιασμό με το σύστημα των ασυνέχειων λόγω τεκτονικής καταπόνησης (που είναι πολύ συχνές σε αυτά τα πετρώματα) δημιουργούνται έντονα αποσαθρωμένες βραχόμαζες με αργιλικά ορυκτά που μπορεί να περιορίζονται στις ασυνέχειες αλλά μπορεί επίσης να εξαπλώνονται και σε ολόκληρη τη βραχόμαζα. Όσο προχωράει η αποσάθρωση χαλαρώνει το αλληλοκλείδωμα των τεμαχών και έτσι προκαλούνται αστοχίες.

Ανάλογα με το βαθμό αποσάθρωσης η παρουσία των αργιλικών ορυκτών θα είναι μεγάλη ή μικρή. Όταν η βραχόμαζα είναι ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένη η παρουσία εκτείνεται κυρίως στις ασυνέχειες και ελάχιστα μόνο στη βραχόμαζα. Έτσι η διατμητική αντοχή των ασυνεχειών μειώνεται και η ευστάθεια εξαρτάται από το πάχος αυτών των ζωνών. Η δομή του πετρώματος παραμένει η ίδια αλλά η βραχόμαζα χαλαρώνει και ελλατώνεται το αλληλοκλείδωμα μεταξύ των τεμαχών. Όταν η βραχόμαζα είναι πολύ έως πλήρως αποσαθρωμένη η παρουσία των αργιλικών ορυκτών είναι πολύ έντονη τόσο κατά μήκος της φύλλωσης όσο και επί των ασυνεχειών με σημαντικό πάχος. Η αργιλοποίηση δεν επιδρά πλέον μόνο στις ασυνέχειες αλλά και στις ιδιότητες του άρρηκτου βράχου. Στη περίπτωση αυτή η παρουσία του νερού είναι ιδιαίτερα επιβαρυντική καθώς μειώνει τα μηχανικά χαρακτηριστικά της βραχόμαζας.

Η τεκτονική καταπόνηση επιδρά στην ποιότητα της βραχόμαζας και στον τύπο της δομής. Ο ρόλος του τεκτονισμού επιδρά και στο βαθμό αποσάθρωσης. Όταν η γνευσιακή βραχόμαζα είναι σχιστώδης και έχει δεχθεί πολύ έντονη διάτμηση μπορεί να εμφανίζεται φυλλοποιημένη-διατμημένη. Οι κερματισμένες ζώνες επιδρούν ιδιαίτερα αλλά τοπικά και στην περατότητα της βραχόμαζας καθώς αποτελούν άξονες αποστράγγισης όταν όμως δεν είναι έντονα αποσαθρωμένες.

4.1.2 Τεχνικογεωλογικοί τύποι γνευσίων

Οι γνευσιακές βραχώμαζες διαχωρίζονται σε τεχνικογεωλογικούς τύπους που διακριτοποιήθηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά που αναλύθηκαν παραπάνω. Οι τύποι φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1)

Type I Fresh gneissic rock mass		Type II Slightly weathered gneissic rock mass	
Type III Slightly weathered schistosed gneissic rock mass		Type IV Moderately weathered gneissic rock mass	
Type V Moderately weathered schistosed gneissic rock mass		Type VI Highly weathered gneissic rock mass	
Type VII Completely weathered gneissic rock mass		Type VIII Foliated-sheared schistosed gneissic rock mass	

Πίνακας 4.1. Ταξινόμηση γνευσιακής βραχώμαζας (Μαρίνος, Β., 2007)



Φωτογραφία 4.1. Τυπική μορφή υγιούς γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης.

GSI=70-80

Τύπος I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Σε αυτό το τύπο η βραχόμαζα είναι πολύ συμπαγής, με ελαφρύ-μέτριο κερματισμό, είναι υγιής όσον αφορά την αποσάθρωση και η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχίων είναι πολύ μεγάλη. Η δομή της βραχόμαζας είναι πολύ σφικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά κλειστές με τραχειές επιφάνειες και σημαντική εμμονή και η ποιότητα της βραχόμαζας ελέγχεται από τον βαθμό κερματισμού. Η γνευσιακή υφή αποτελεί και αυτή μια ασυνέχεια της βραχόμαζας αλλά λόγω της μηδενικής αποσάθρωσης δεν δημιουργούνται επίπεδα αποχωρισμού. Το GSI κυμαίνεται από 70 έως 80 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.1)



Φωτογραφία 4.2. Τύπος II γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=50-60

Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Η βραχόμαζα έχει ελαφρώς αποσαθρωθεί, έχει μέτριο έως έντονο κερματισμό και η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχών διατηρείται πολύ μεγάλη παρόλο που υφίσταται ως ένα βαθμό αποσάθρωση. Η ποιότητα της βραχόμαζας καθορίζεται από το βαθμό κερματισμού και λιγότερο από τον βαθμό της αποσάθρωσης, η οποία περιορίζεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών. Η δομή δεν είναι ιδιαίτερα σφικτή, με ανοικτές ασυνέχειες που έχουν εμμονή και έχουν μέτρια έως πτωχή ποιότητας επιφάνειες. Βασική επιφάνεια ασυνέχειας αποτελεί η γνευσιακή υφή καθώς η αποσάθρωση επεκτείνεται κατά μήκος της φύλλωσης με αποτέλεσμα τα επίπεδα να αποχωρίζονται σε μικρό βαθμό. Η παρουσία αργιλικών γεωυλικών ως προϊόν της αποσάθρωσης είναι ελάχιστη κατά μήκος των ασυνεχειών και μειώνει ελάχιστα τον βαθμό του αλληλοκλειδώματος των πιο ισχυρών μη αποσαθρωμένων τεμαχών. Τα τεμάχη που σχηματίζονται είναι μεγάλου μεγέθους, όπως και στον τύπο της μη αποσαθρωμένης δομής καθώς η αποσάθρωση δεν δημιουργεί νέες ασυνέχειες διαχωρισμού ενώ η γωνία τριβής των ασυνεχειών μειώνεται λόγω αποσάθρωσης των επιφανειών τους. Το GSI κυμαίνεται από 50 έως 60 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.2)



Φωτογραφία 4.3. Τύπος ΙΙΙ γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=45-60

Τύπος ΙΙΙ. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα

Η βραχόμαζα είναι ελαφρώς αποσαθρωμένη με μέτριο έως έντονο κερματισμό, το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η έντονη σχιστότητα και η αντοχή των άρρηκτων γνευσιακών τεμαχών διατηρείται πολύ μεγάλη και ελάχιστα μειώνεται λόγω της αποσάθρωσης. Η ποιότητα της βραχόμαζας καθορίζεται από το βαθμό κερματισμού, με βασική ασυνέχεια την σχιστότητα αλλά και τον βαθμό της αποσάθρωσης. Δομικά η βραχόμαζα χαρακτηρίζεται γενικά ως ανοικτή με ασυνέχειες ανοικτές με μέτριας έως πτωχής ποιότητας επιφάνειες και με εμμόνη. Η αποσάθρωση περιορίζεται στις επιφάνειες αλλά αυτές έχουν εξαλλοιωθεί δημιουργώντας έναν πολύ λεπτό υμένα ιλυσταμώδους υλικού. Η διαφορά με τις μη σχιστογενευσιακές βραχόμαζες, όπως ο τύπος ΙΙ, είναι ότι η αποσάθρωση εκτείνεται πιο εύκολα λόγω της πιο συχνής παρουσίας της σχιστότητας που διαχωρίζει τη βραχόμαζα σε πιο λεπτά τεμάχια και δημιουργεί με τη μειωμένη τριβή πτωχότερο αλληλοκλείδωμα. Τα δημιουργούμενα τεμάχια είναι μέτριου μεγέθους λόγω της σχιστώδους δομής και η γωνία τριβής των ασυνεχειών μειώνεται λόγω της παρουσίας του ιλυσταμώδους δευτερογενούς υλικού. Το GSI κυμαίνεται από 45 έως 60 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.3).



Φωτογραφία 4.4. Τύπος IV γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=30-40

Τύπος IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Σε αυτό το τύπο η βραχόμαζα είναι μέτρια αποσαθρωμένη με μέτριο έως πολύ έντονο κερματισμό. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι σημαντικά μειωμένη αλλά διατηρεί γενικά μέτριες έως υψηλές τιμές. Η αποσάθρωση είναι αυτή που ελέγχει την ποιότητα της βραχόμαζας και οι νέες ζώνες και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και λιγότερο ο βαθμός κερματισμού. Η αποσάθρωση έχει επηρεάσει ολόκληρη τη βραχόμαζα χωρίς όμως τα βραχώδη τεμάχια να είναι εύθρυπτα. Η δομή είναι ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες οι οποίες έχουν περιορισμένη εμμονή λόγω της συχνής διακοπής τους από το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Η γνευσιακή υφή είναι η βασική επιφάνεια ασυνέχειας καθώς η αποσάθρωση έχει αποχωρίσει τις επιφάνειες σε αργιλικές ζώνες μικρού πάχους που οι ζώνες αυτές μπορεί να εκτείνονται και κάθετα στη γνευσιοσχιστότητα κατά μήκος άλλων ασυνεχειών δημιουργώντας μικρά μπλόκ. Τα τεμάχια αυτά έχουν πολύ πτωχή αλληλεμπλοκή και περιστρέφονται πιο εύκολα λόγω της μειωμένης τριβής. Τα δημιουργούμενα τεμάχια είναι μικρού μεγέθους, καθώς η αποσάθρωση δημιουργεί νέες ασυνέχειες διαχωρισμού και εμφανίζονται ανά 10-50 cm με πτωχή συναρμογή. Αυτού του τύπου οι γνευσιακές βραχόμαζες παρουσιάζουν πολλές ολισθήσεις περιστροφικού τύπου. Το GSI κυμαίνεται από 30 έως 40 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.4)



Φωτογραφία 4.5. Τύπος V γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=25-40

Τύπος V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα

Η βραχόμαζα είναι μετρίως αποσαθρωμένη με πολύ έντονο κερματισμό ενώ το βασικό της χαρακτηριστικό είναι η έντονη σχιστότητα που κερματίζει περαιτέρω τη βραχόμαζα. Η αποσάθρωση διαχωρίζει τη βραχόμαζα σε πιο λεπτές φυλλώσεις. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι σημαντικά μειωμένη αλλά συνεχίζει να διατηρεί μέτριες έως υψηλές τιμές. Η ποιότητα της βραχόμαζας ελέγχεται από την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες σε συνεχή διάταξη και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και από το βαθμό κερματισμού που έτσι και αλλιώς είναι ισχυρός λόγω της έντονης σχιστοποίησης. Ολόκληρη η βραχόμαζα έχει δεχτεί αποσάθρωση χωρίς όμως τα βραχώδη τεμάχια να είναι εύθρυπτα. Η δομή είναι ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι γενικά ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες οι οποίες έχουν περιορισμένη εμμονή λόγω της συχνής διακοπής τους από το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Η αποσάθρωση εκτείνεται πιο εύκολα σε αυτό το τύπο βραχόμαζας σε σχέση με τον τύπο IV, λόγω της πιο συχνής σχιστότητας και κατά συνέπεια διαχωρίζει σε πυκνή διάταξη τις επιφάνειες με αργιλικές ζώνες πάχους ~ 5-10 cm πολύ χαμηλής τριβής που δημιουργούν ακόμα πτωχότερο αλληλοκλειδωμά. Οι ζώνες αυτές εκτείνονται συχνά και κάθετα στην γνευσιοσχιστότητα κατά μήκος άλλων ασυνεχειών δημιουργώντας μικρά μπλόκ. Το GSI κυμαίνεται από 25 έως 40 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.5)



Φωτογραφία 4.6. Τύπος VI γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=20-30

Τύπος VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Σε αυτό το τύπο η βραχόμαζα είναι πολύ αποσαθρωμένη, έχει έντονο κερματισμό και η αντοχή του άρρηκτου βράχου έχει μειωθεί σημαντικά λόγω της έντονης αποσάθρωσης. Η ποιότητα της βραχόμαζας καθορίζεται κυρίως από το την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και λιγότερο από το βαθμό κερματισμού. Σε ολόκληρη τη βραχόμαζα έχει επεκταθεί η αποσάθρωση αποχωρίζοντας πολλά τεμάχια που πλέον είναι εύθρυπτα. Η δομή είναι πολύ ανοικτή με τις ασυνέχειες να είναι ανοικτές με πτωχής έως πολύ πτωχής ποιότητας επιφάνειες αφού διαχωρίζουν με αργιλικό υλικό πλήρωσης τις ταινιωτές λιγότερο αποσαθρωμένες γνευσιακές βραχώδεις μάζες.

Οι ασυνέχειες είναι εξαλλοιωμένες με ιλυοαμμώδες υλικό αποσάθρωσης. Οι φυλλώσεις των γνευσίων έχουν μεγάλη εμμόνη ενώ οι κάθετες σε αυτές ασυνέχειες έχουν περιορισμένη εμμόνη λόγω της συχνής διακοπής τους από το αργιλικό υλικό αποσάθρωσης. Βασική επιφάνεια ασυνέχειας αποτελεί η γνευσιακή υφή καθώς η αποσάθρωση έχει αποχωρίσει τις επιφάνειες σε αργιλικές ζώνες μικρού πάχους (~10-30cm). Οι ζώνες αυτές εκτείνονται συχνά και κάθετα στην γνευσιοσχιστότητα κατά μήκος άλλων ασυνεχειών δημιουργώντας πολύ μικρά τεμάχια. Η μειωμένη τριβή και η πτωχή αλληλεμπλοκή των τεμαχίων αυτών τα κάνει να περιστρέφονται πιο εύκολα. Στην περίπτωση παρουσίας νερού στη βραχόμαζα έχουμε απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των αργιλικών ζωνών και των ιδιοτήτων των ασυνεχειών και της βραχόμαζας στο σύνολο. Το GSI κυμαίνεται από 20 έως 30 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.6)



Φωτογραφία 4.7. Τύπος VII γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=10-20

Τύπος VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Η βραχόμαζα είναι πλήρως αποσαθρωμένη με ίχνη κερματισμένων δομών. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή, αφού έχει μειωθεί σημαντικά από την έντονη αποσάθρωση. Η ποιότητα της βραχόμαζας ελέγχεται από την αποσάθρωση και την έντονη παρουσία αργίλου και ελάχιστα από το βαθμό κερματισμού. Η βραχόμαζα έχει αποσυντεθεί σε μεγάλο βαθμό και είναι πολύ εύθρυπτη διατηρώντας όμως χαρακτηριστικά από την αρχική δομή. Η ταινιωτή-στρωσιγενής υφή έχει διατηρηθεί αλλά μεταξύ τους παρεμβάλλεται σημαντικού πάχους αργιλοποιημένης ζώνης. Η δομή είναι έντονα διαταραγμένη-στρωματώδης έως αποδιοργανωμένη ενώ τα μικρά τεμάχια οριοθετούνται και διαχωρίζονται με αργιλικό υλικό αποσάθρωσης.

Η γνευσιακή φύλλωση που εν μέρει διατηρείται, είναι εξαλλοιωμένη με αργιλοαμμώδες υλικό αποσάθρωσης ενώ οι ασυνέχειες δεν ορίζονται με σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Τα τεμάχια έχουν πολύ πτωχή αλληλεμπλοκή και περιστρέφονται εύκολα λόγω της χαμηλής τριβής των αργιλικών υλικών. Στην περίπτωση παρουσίας νερού στη βραχόμαζα έχουμε απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των αργιλικών ζωνών και των ιδιοτήτων των ασυνεχειών και της βραχόμαζας στο σύνολο. Το GSI κυμαίνεται από 10 έως 20 και τυπική βραχόμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.7)



Φωτογραφία 4.8. Τύπος VIII γνευσιακής βραχώμαζας στην περιοχή μελέτης (στο κέντρο). Ζώνη διάτμησης.

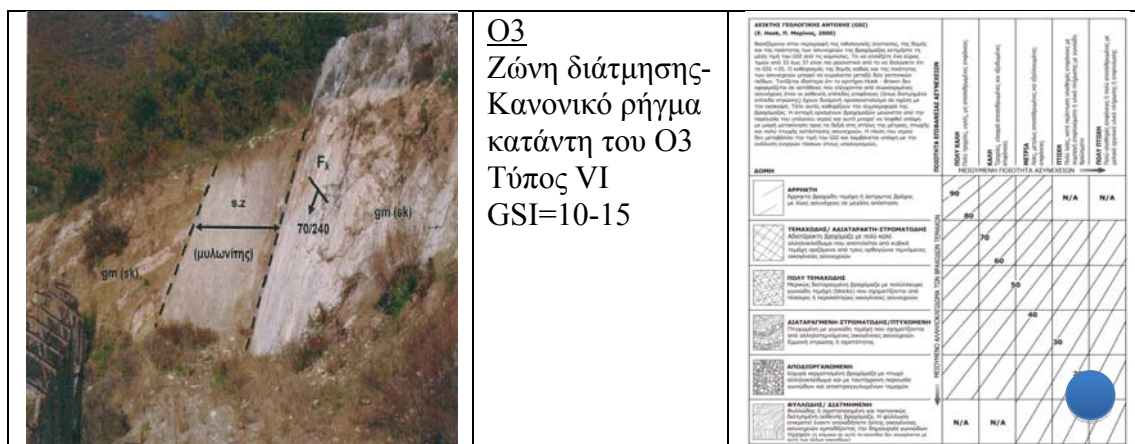
Τύπος VIII. Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα

Η βραχώμαζα είναι έντονα σχιστοποιημένη έως διατμημένη. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι γενικά μέτρια. Η αντοχή όμως μπορεί να μειώνεται περαιτέρω λόγω της αυξημένης σχιστοποίησης από τη διάτμηση, αύξηση της συμμετοχής του λεπτόκοκκου κλάσματος, μικρής συνοχής του υλικού ανάμεσα στις φυλλώσεις και αύξηση της σύστασης σε φυλλώδη ορυκτά. Η ποιότητα της βραχώμαζας είναι πτωχή λόγω της πολύ μικρής διατμητικής αντοχής των επιπέδων των φυλλώσεων. Οι επιφάνειες φύλλωσης, όταν διατηρούν σταθερά γεωμετρικά χαρακτηριστικά επιβάλλουν μια ισχυρή ανισότροπη συμπεριφορά και γενικά έχουν πτωχή έως πολύ πτωχής ποιότητα ασυνεχειών. Στην περίπτωση παρουσίας νερού στη βραχώμαζα έχουμε απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των αργιλικών ζωνών και των ιδιοτήτων των ασυνεχειών και της βραχώμαζας στο σύνολο. Το GSI κυμαίνεται από 5 έως 10 και τυπική βραχώμαζα της περιοχής μελέτης που ανήκει σ' αυτό το τύπο φαίνεται στη παραπάνω φωτογραφία (Φωτογραφία 4.8).

4.2Τεχνικογεωλογικό Πρότυπο γνευσίων – Στενή περιοχή μελέτης

Παραπάνω παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν οι τεχνικογεωλογικοί τύποι των γνευσίων, που διακρίνονται με βάση τον κερματισμό, το βαθμό της αποσάθρωσης και τη γεωμετρία της γνευσιακής βραχόμαζας. Στην περιοχή μελέτης, η οποία δομείται κυρίως από γνευσιακά πετρώματα, συναντώνται πολλοί από τους παραπάνω τύπους. Σε αρκετές περιπτώσεις στο ίδιο όρυγμα συναντώνται δύο τύποι και σε άλλες περιπτώσεις τα στοιχεία που δίνονται δεν είναι επαρκή ώστε να γίνει σωστά η ταξινόμηση.

Στη περιοχή μελέτης έχουν δημιουργηθεί 36 ορύγματα, η πλειονηφία των οποίων βρίσκεται σε γνευσιακά πετρώματα. Στα υπόλοιπα αναγνωρίζονται μάρμαρα του Μεσοζωικού (Ενότητα Μάκρης), κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και ιλυόλιθοι σε εναλλαγή (μολλασικά ιζήματα).Βεβαίως υπάρχουν και μεικτά ορύγματα όπου παρουσιάζεται η επαφή μεταξύ δύο σχηματισμών, π.χ η τεκτονική επαφή ανάμεσα στα μάρμαρα και τους γνευσίους. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα ταξινομηθεί η γνευσιακή βραχόμαζα μόνο καθώς αποτελεί και το αντικείμενο της μελέτης αυτής. Εάν η παρουσία του άλλου σχηματισμού επηρεάζει με οποιοδήποτε τρόπο την ποιότητα της γνευσιακής βραχόμαζας τότε θα αναφέρονται οι τρόποι με τους οποίους γίνεται αυτή η αλληλεπίδραση.



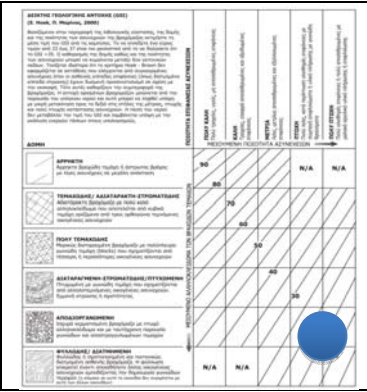
Πίνακας 4.2. Όρυγμα O3

Όρυγμα 3

Στο συγκεκριμένο όρυγμα είναι εμφανής ο έντονος κερματισμός και ο μεγάλος βαθμός της αποσάθρωσης την γνευσιακής βραχόμαζας. Στο πρηνές αυτό εντοπίζεται ο γνεύσιος σε επαφή με τα μάρμαρα (τεκτονική επαφή), τα οποία μάρμαρα είναι πολύ καλής ποιότητας λόγω της φύσης του γεωλογικού σχηματισμού σε αντίθεση με τον γνεύσιο, η ποιότητα του οποίου είναι πολύ χαμηλή. Η αποσάθρωση εκτείνεται σε όλη τη βραχόμαζα και η δομή της είναι πολύ ανοικτή με επιφάνειες ασυνεχειών πτωχής ποιότητας. Η βραχόμαζα ανήκει στον τύπο **VI**. **Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα.**

Όρυγμα 13

Είναι ένα από τα κρίσιμα πρανή της περιοχής μελέτης καθώς οι συνθήκες ευστάθειας είναι δυσμενείς. Η αποσάθρωση κυμαίνεται από πλήρως αποσαθρωμένη βραχώμαζα έως ελαφρά αποσαθρωμένη βραχώμαζα, ο κερματισμός πρέπει να είναι γενικά μέτριος έως έντονος ($RQD=20-60\%$). Η αντοχή του άρρηκτου βράχου κυμαίνεται από χαμηλή έως υψηλή καθώς οι τιμές που δίνονται από την δειγματοληπτική γεώτρηση ΓΝ12 είναι από 24 έως 73 Mpa. Η απόσταση των ασυνεχειών είναι από 60 έως 150mm, το μήκος τους είναι έως 3m, το άνοιγμα τους είναι 0.1mm, έχουν τραχείες επιφάνειες και μαλακό υλικό πλήρωσης πάχους 5mm. Από τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά που παρατέθηκαν προκύπτει ότι η βραχώμαζα ανήκει είτε στον τύπο **II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα** είτε στον τύπο **IV.Απο σαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα**, ανάλογα με το βαθμό της αποσάθρωσης και ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο **IV**.

	O14 Διακρίνονται τα S-επίπεδα σχιστότητας με ευμενή γωνία κλίσης για την εκδήλωση δομικών αστοχιών Τύπος VI GSI=10-15	
--	---	---

Πίνακας 4.4. Όρυγμα O14

Όρυγμα 14

Το όρυγμα 14, στο τμήμα της γνευσιακής βραχώμαζας, συναντάται έντονα αποδομημένο με την δομή και τον ιστό να διακρίνονται. Με βάση τη δειγματοληπτική γεώτρηση Γ5, η αποσάθρωση κυμαίνεται από ελαφρά έως μέτρια, η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή έως μέτρια υψηλή (17 έως 58 Mpa), ο κερματισμός είναι μέτριος έως έντονος με RQD 15-55%, η απόσταση των ασυνεχειών είναι 100 έως 200mm, το μήκος τους είναι από 3 έως 10m, το άνοιγμα έως 0.1mm, οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι λείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι σκληρό. Με βάση αυτά τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά, η βραχώμαζα ανήκει στους τύπους **II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη βραχώμαζα**, **Τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα** και τον **τύπο VI.Πολυ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα**. Ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο **VI**.

	Ο15 Υγής και συμπαγής γνευσιακή βραχόμαζα, Διακρίνονται ισοκλινείς πτυχές Τύπος ΙΙΙ GSI=45-50	
---	---	---

Πίνακας 4.5. Όρυγμα Ο15

Όρυγμα 15

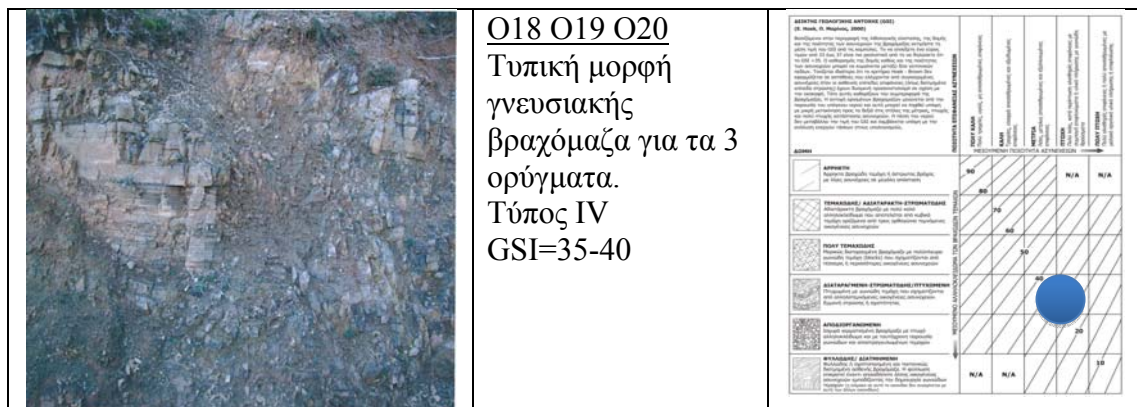
Είναι ένα από τα κρίσιμα ορύγματα καθώς έχει μεγάλο ύψος και απότομες κλίσεις πρανών. Στο ένα τμήμα του ορύγματος η αποσάθρωση της βραχόμαζας είναι ισχυρή ως συνέπεια των πολυπτυχώσεων που εντοπίζονται στην περιοχή αυτή, ενώ στο άλλο τμήμα η βραχόμαζα μέτρια αποσαθρωμένη. Ο κερματισμός και στα δυο τμήματα είναι έντονος με το RQD να έχει τιμές από 20 έως 58% που οφείλεται στο λεπτοστρωματώδες του σχηματισμού (σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα). Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια έως υψηλή (6 έως 50 Mpa), η απόσταση των ασυνεχειών κυμαίνεται από 50 έως 150 mm, το μήκος τους είναι από 1 έως 10m, το άνοιγμα είναι 0.1mm, οι επιφάνειες είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι σκληρό με 5mm πάχος. Επομένως, στο τμήμα του ορύγματος με την έντονη αποσάθρωση, ο τύπος είναι **V.Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα**, και στην περίπτωση με την ελαφρά αποσάθρωση είναι ο τύπος **ΙΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα**.

Όρυγμα 16

Για το όρυγμα 16, σύμφωνα με την γεώτρηση ΓΝ14, η αποσάθρωση της γνευσιακής βραχόμαζας κυμαίνεται από ελαφρά αποσαθρωμένη έως πλήρως αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι μέτριος έως έντονος με το RQD να παίρνει τιμές 15-65% και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή έως υψηλή (43-91Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 200mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό. Η ιδιαιτερότητα του ορύγματος αυτού είναι η ύπαρξη στάθμης υπόγειων νερών, σε βάθος που επηρεάζει τις συνθήκες ευστάθειας και την ποιότητα της βραχόμαζα τουλάχιστον στους ανώτερους ορίζοντες της. Υπάρχουν επίσης και εδαφοποιημένες ζώνες που συνδιάζονται με τη γενικότερη διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας. Με βάση αυτά τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο ΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, στον **τύπο ΙV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, με τον τύπο **ΙV** να κυριαρχεί.

Όρυγμα 17

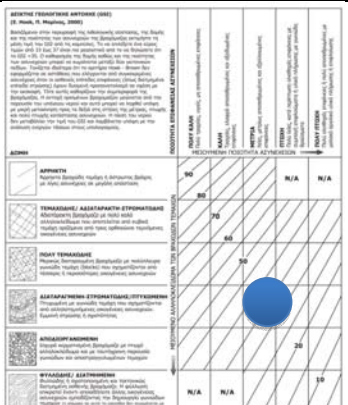
Στο όρυγμα 17, με βάση τη γεώτρηση Γ7, η γνευσιακή βραχόμαζα είναι υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι μέτριος με RQD της τάξης του 40 με 70 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή έως υψηλή (35 έως 62Μpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 300mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι σκληρό και έχει πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα της γνευσιακής βραχόμαζας είναι ότι είναι λεπτοστρωματώδης (σχιστώδης) και σε αυτό οφείλεται οι ελαφρά σχετικά χαμηλές τιμές του RQD. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στο **τύπο ΙΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα.**



Πίνακας 4.6. Ορύγματα O18, O19, O20

Όρυγμα 18, Όρυγμα 19, Όρυγμα 20

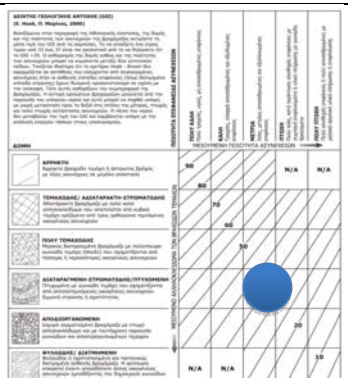
Στα ορύγματα 18, 19 και 20 πραγματοποιήθηκε δειγματοληπτική γεώτρηση μόνο στο O20 διότι οι ποιότητες της γνευσιακής βραχόμαζας και στα τρία ορύγματα είναι ίδια. Η βραχόμαζα είναι *μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένη*, ο κερματισμός της είναι *μέτριος* με RQD της τάξης του 25 με 60 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι *υψηλή* (42 με 83 Μpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 300mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα του O18 είναι οι ενεργές υδρομαστεύσεις, το ικανό πάχος του μανδύα αποσάθρωσης και οι κυκλικές θραύσεις που έχουν παρατηρηθεί στην περιοχή κατάντι. Η ιδιαιτερότητα του O19 εντοπίζεται στο ότι μερικώς καλύπτεται από εδαφικό μανδύα αποσάθρωσης και του O20 στο ότι το βάθος των υπόγειων νερών επηρεάζει την ευστάθεια. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η γνευσιακή βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο ΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, στον **τύπο ΙV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** με τον **τύπο ΙΙ** να κυριαρχεί.

	Q21 Έντονα αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα με S-επίπεδα σχιστότητας κάθετα στην κλίση του πρανούς Τύπος IV GSI=35-40	
---	---	---

Πίνακας 4.7. Όρυγμα O21

Όρυγμα 21

Στο όρυγμα 21, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ16Α, η γνευσιακή βραχώμαζα είναι μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι έντονος με RQD της τάξης του 5 με 35 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι υψηλή (51 έως 98 Mpa). Το μήκος των ασυνχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα σε αυτό το όρυγμα είναι η υψηλή στάθμη των υπόγειων νερών που επηρεάζει την ποιότητα της βραχώμαζας. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχώμαζα ανήκει στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα.**

	Q22 Κερματισμένη και αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα Τύπος IV GSI=30-40	
---	--	---

Πίνακας 4.8. Όρυγμα O22

Όρυγμα 22

Στο όρυγμα 22, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ19, η γνευσιακή βραχώμαζα είναι πάρα πολύ έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι έντονος έως μέτριος με RQD της τάξης του 25 με 70 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή (25 έως 55 Mpa). Το μήκος των ασυνχειών είναι μέχρι 10m, η απόστασή τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο πρανές είναι οι εκτεταμένες εμφανίσεις του μανδύα αποσάθρωσης που κατά θέσεις έχει αυξημένο πάχος και τα υπόγεια νερά, που εμφανίζονται στο

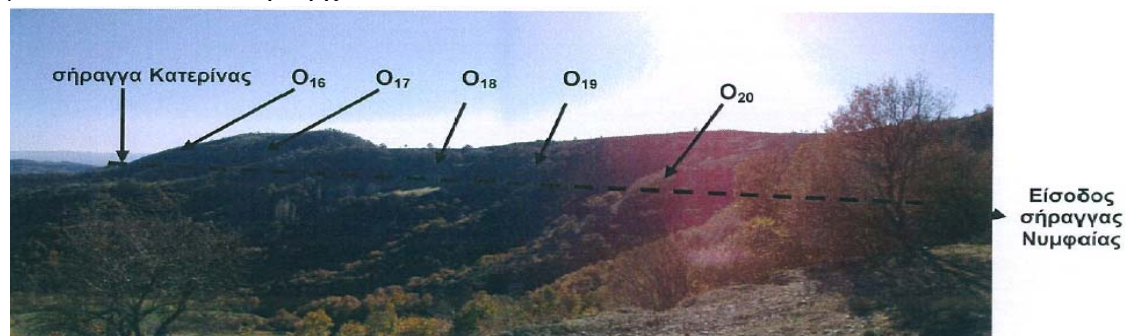
διεπιφάνεια επαφής των εδαφικών γεωυλικών με το βραχώδες υπόβαθρο. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχώμαζα ανήκει στον **τύπο II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα**, στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα**, ανάλογα με το βαθμό της αποσάθρωσης και του κερματισμού και ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο **IV**.

	O23 O24 Αποσαθρωμένη, σχιστώδης και κερματισμένη γνευσιακή βραχώμαζα Τύπος V GSI=20-30	
---	--	---

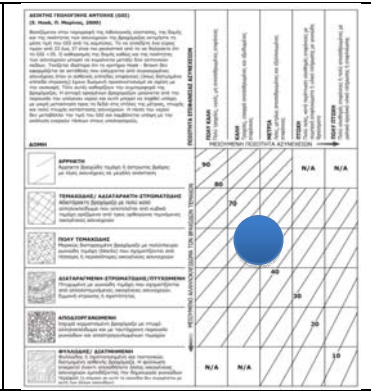
Πίνακας 4.9. Ορύγματα O23 και O24

Όρυγμα 23, όρυγμα 24

Στο όρυγμα 23 και 24, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ18Α, η γνευσιακή βραχώμαζα είναι μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι έντονος με RQD της τάξης του 25 με 50 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή (25 έως 50 Μpa). Το μήκος των ασυνχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 200mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες και δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης. Η ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο πρανές είναι τα υπόγεια νερά, τα οποία κρίνονται ως μόνιμοι ορίζοντες, βρίσκονται σε ικανό βάθος και μπορούν να επηρεάσουν την συνολική ευστάθεια του πρανούς και τη ποιότητα της βραχώμαζας. Επίσης η βραχώμαζα είναι λεπτο-μεσο-στρωματώδης και εμφανίζεται ποιοτικά υποβαθμισμένη. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχώμαζα ανήκει στον **τύπο III.Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα** και στον **τύπο V.Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα** με τον τύπο **V** να κυριαρχεί.



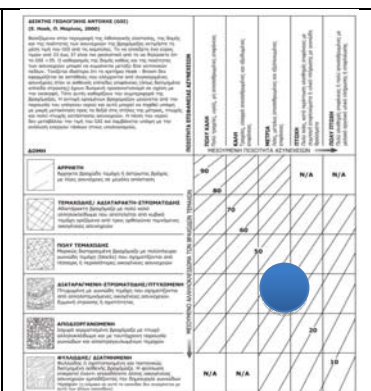
Φωτογραφία 4.9.Πανοραμική άποψη της περιοχής των ορυγμάτων O16 μέχρι O20.
(Κ.Δημαράς, 2006)

	O25 Υγιής γνευσιακή βραχώμαζα με δυσμενή διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας Τύπος III GSI=40-50	
---	---	--

Πίνακας 4.10. Όρυγμα O25

Όρυγμα 25, όρυγμα 26

Στο όρυγμα 25 και 26, με βάση τη γεώτρηση Γ23, η γνευσιακή βραχώμαζα είναι υγιής έως μέτρια αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι μέτριος έως έντονος με RQD της τάξης του 25 με 65 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή έως μέτρια υψηλή (10 έως 30 Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 300mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι σκληρό με πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο πρανές είναι ότι η βραχώμαζα είναι λεπτοστρωματώδης και ότι τα υπόγεια νερά αποτελούν ένα αστάθμητο παράγοντα. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχώμαζα ανήκει στον **τύπο I.Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα**, στον **τύπο III.Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα** και στον **τύπο V.Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα** με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **III**.

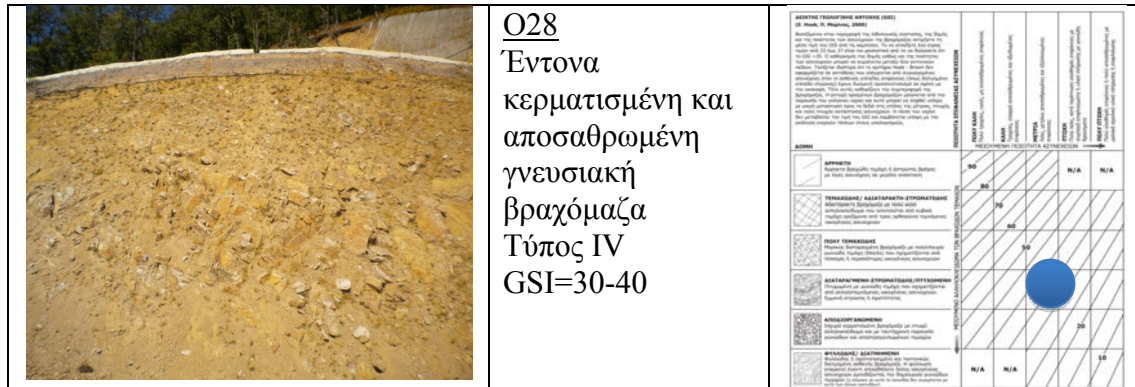
	O27 Τυπική μορφή γνευσιακής βραχώμαζας για την περιοχή Τύπος IV GSI=35-40	
---	---	--

Πίνακας 4.11. Όρυγμα O27

Όρυγμα 27

Στο όρυγμα 27, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ19, η γνευσιακή βραχώμαζα είναι πάρα πολύ έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι έντονος έως μέτριος με RQD της τάξης του 25 με 70 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή (25 έως 55 Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Με βάση τα

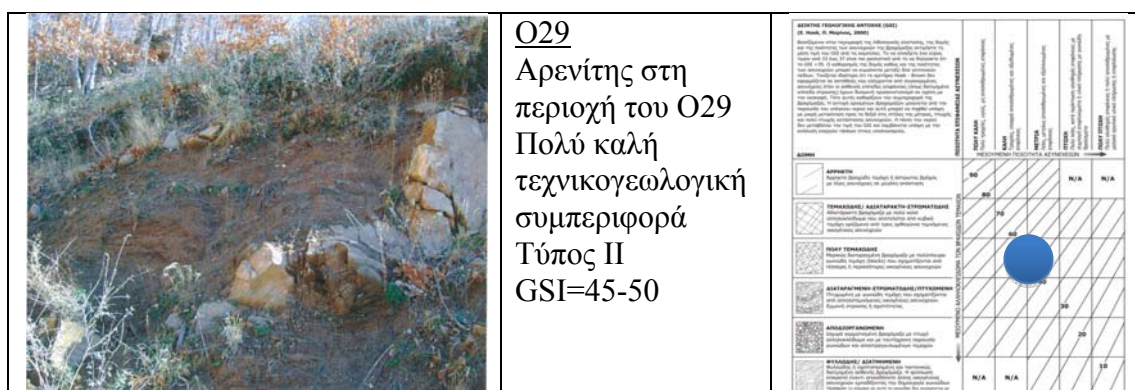
παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **IV**.



Πίνακας 4.12. Όρυγμα 28

Όρυγμα 28

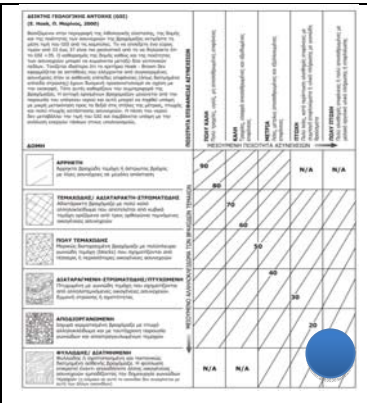
Για το O28, που θα αναλυθεί εκτενέστερα στο κεφάλαιο 6, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ19Α, η γνευσιακή βραχόμαζα είναι μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο κερματισμός είναι έντονος με RQD της τάξης του 20 % και η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή (25 έως 55 Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες μέτρια αποσαθρωμένες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό αμώδες και έχει πάχος 5mm. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, με τον τύπο **IV** να κυριαρχεί.



Πίνακας 4.13. Όρυγμα 29

Όρυγμα 29, όρυγμα 30

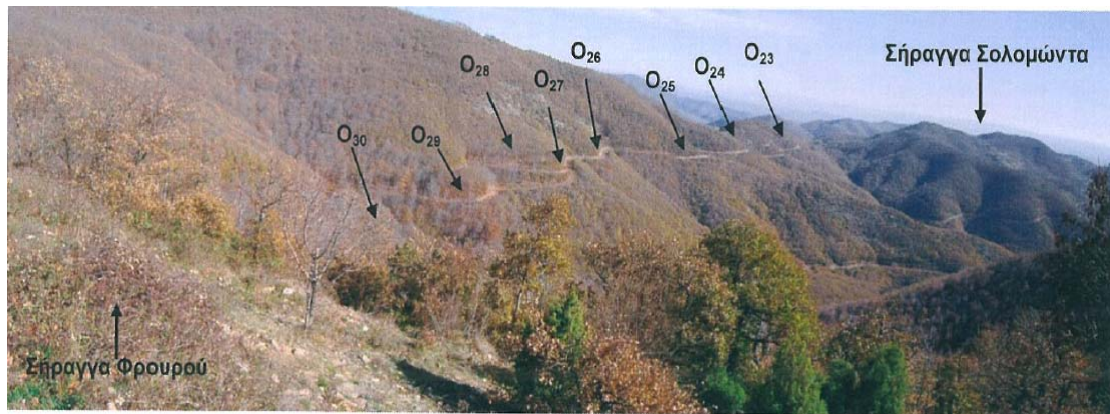
Στα Ο29 και Ο30, με βάση τις γεωτρήσεις ΓΝ20 και ΓΝ20Α, η *γενεσιακή βραχώμαζα* μέτρια έως ελαφρά αποσαθρωμένη, ο *κερματισμός* είναι μέτριος με *RQD* της τάξης του 25 με 60% και η *αντοχή του άρρηκτου βράχου* είναι μέτρια υψηλή έως υψηλή (35 έως 70 Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 200mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες, μέτρια αποσαθρωμένες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό αμμώδες και έχει πάχος 5mm. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η *βραχώμαζα* ανήκει στον **τύπο II.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γενεσιακή βραχώμαζα**, στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γενεσιακή βραχώμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γενεσιακή βραχώμαζα** με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **II**.

	Ο31 Ισχυρά αποσαθρωμένη και εξαλλοιωμένη γενεσιακή βραχώμαζα Τύπος VI GSI=10-15	
--	---	---

Πίνακας 4.14. Όρυγμα Ο31

Όρυγμα 31

Στο όρυγμα 31, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ21, η *γενεσιακή βραχώμαζα* είναι *πέρα πολύ έως μέτρια αποσαθρωμένη*, ο *κερματισμός* είναι μέτριος έως έντονος με *RQD* της τάξης του 25 με 60 % και η *αντοχή του άρρηκτου βράχου* είναι *πολύ υψηλή* (100 Mpa). Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 300mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι ελαφρά τραχείες και δεν υπάρχει υλικό πλήρωσης. Η ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο πρανές είναι το ευμενές γεωμορφολογικό ανάγλυφο, τα μόνιμα υπόγεια νερά που εντοπίζονται και οι πιθανές διατμητικές ζώνες ευμενούς γενικά διάταξης. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η *βραχώμαζα* ανήκει στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γενεσιακή βραχώμαζα**, στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γενεσιακή βραχώμαζα** με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **IV**.



Όρυγμα 34

Στο όρυγμα 34, με βάση τη γεώτρηση ΓΝ22Α και Γ30, η *γνευσιακή βραχόμαζα είναι υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένη*, ο *κερματισμός είναι έντονος έως με RQD της τάξης του 15 με 30 %* και η *αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια υψηλή (21 έως 42 Mpa)*. Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Η ιδιαιτερότητα στο συγκεκριμένο πρανές είναι ότι η γνευσιακή βραχόμαζα εμφανίζεται με τρεις μορφές, α. αρενίτης, β. γνεύσιος με ευδιάκριτα S-επίπεδα σχιστότητας ευνοϊκά διατεταγμένα και είναι ικανοποιητικής ποιότητας και γ. γνεύσιος συμπαγής-υγιής και πολύ καλής ποιότητας γνευσιογρανίτης, χωρίς ευδιάκριτη σχιστότητα. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο Ι.Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** και τον **τύπο ΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **ΙΙ**.

Όρυγμα 35

Στο όρυγμα 35, με βάση τη γεώτρηση Γ31, η *γνευσιακή βραχόμαζα είναι πλήρως έως μέτρια αποσαθρωμένη*, ο *κερματισμός είναι έντονος με RQD της τάξης του 5 με 10 %* και η *αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή έως μέτρια υψηλή (5 έως 27 Mpa)*. Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 250mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι σκληρό και έχει πάχος 5mm. Οι ιδιαιτερότητες της βραχόμαζα είναι ότι είναι λεπτοστρωματώδης και ισχυρά κερματισμένη (πολύ χαμηλό RQD), εκδηλωμένες θραύσεις-καταρρεύσεις για ισχυρές κλίσεις υφιστάμενων πρανών και ύπαρξη υπόγειων νερών σε ικανό βάθος για τη δημιουργία προβλημάτων ευστάθειας και ποιότητας της βραχόμαζας. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο V.Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα** και στον **τύπο VIII.Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα** με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **V**.

Όρυγμα 36

Στο όρυγμα 36, με βάση τη γεώτρηση Γ32, η *γνευσιακή βραχόμαζα παρουσιάζεται πλήρως έως μέτρια αποσαθρωμένη*, ο *κερματισμός είναι υψηλός με RQD 7%* και η *αντοχή του άρρηκτου βράχου χαμηλή (5 έως 27 Mpa)*. Το μήκος των ασυνεχειών είναι μέχρι 10m, η απόσταση τους μέχρι 100mm, το άνοιγμα τους 0.1mm, οι επιφάνειες τους είναι τραχείες έως ελαφρά τραχείες και το υλικό πλήρωσης είναι μαλακό και έχει πάχος 5mm. Με βάση τα παραπάνω τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά η βραχόμαζα ανήκει στον **τύπο ΙΙ.Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, στον **τύπο IV.Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα** και στον **τύπο VI.Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα**, με τον τύπο που κυριαρχεί να είναι ο **VI**.

Από τον παρακάτω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι περισσότεροι τύποι γνευσιακής βραχόμαζας που εμφανίζονται στην περιοχή ανήκουν στους **II και IV**. Πράγματι, στην περιοχή μελέτης είναι ελάχιστες οι εμφανίσεις έντονα σχιστοποιημένων βραχομαζών (άρα λίγες εμφανίσεις τύπων III, V και VIII), πλήρως αποσαθρωμένων αλλά και εντελώς υγιών-φρέσκων βραχομαζών. Ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο IV, ο οποίος συναντάται σε 7 ορύγματα σε μεγάλο ποσοστό της συνολικής εμφάνισης της βραχόμαζας.

ΤΥΠΟΣ ΓΝΕΥΣΙΑΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΟΡΥΓΜΑΤΑ
I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (γνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι, γνευσιογρανίτες)	O5, O6, O7
II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O18, O19, O20, O29, O30, O34
III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O17, O25, O26
IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O4, O13, O16, O21, O22, O27, O28, O31
V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O15, O23, O24, O35
VI. Πολυ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O3, O14, O32, O36
VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	-
VIII. Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	-

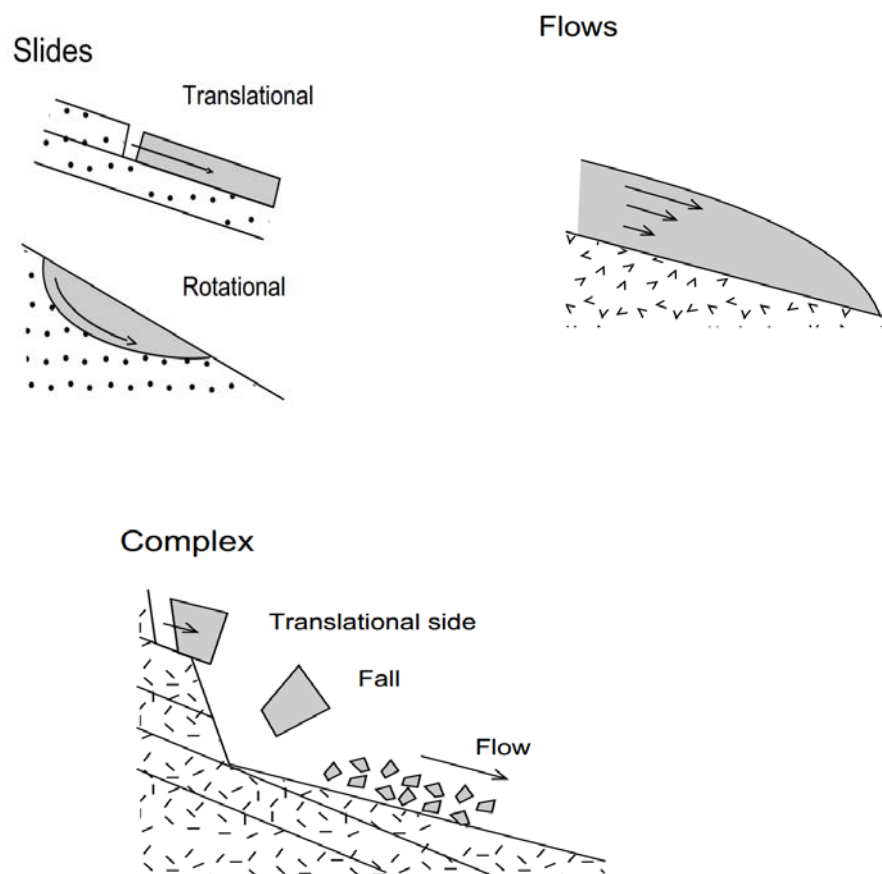
Πίνακας 4.16. Οι τύποι βραχόμαζας που κυριαρχούν στα ορύγματα.

Από τον παραπάνω πίνακα εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι περισσότεροι τύποι γνευσιακής βραχόμαζας που εμφανίζονται στην περιοχή ανήκουν στους **II και IV**. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς στην περιοχή μελέτης είναι ελάχιστες οι εμφανίσεις έντονα σχιστοποιημένων βραχομαζών (άρα λίγες εμφανίσεις τύπων III, V και VIII), πλήρως αποσαθρωμένων καθώς εντελώς υγιών βραχομαζών. Ο τύπος που κυριαρχεί είναι ο IV, συναντάται σε 7 ορύγματα σε μεγάλο ποσοστό της συνολικής τους βραχόμαζας.

5. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΓΝΕΥΣΙΑΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΑ ΠΡΑΝΗ

5.1 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά κάθε τύπου- Γενικά

Στο προηγούμενο κεφάλαιο δόθηκαν οι τεχνικογεωλογικοί τύποι των γνευσιακών βραχομαζών που συναντούνται αναλύθηκε ο κάθε ένας ξεχωριστά και στη συνέχεια εξετάστηκαν οι τεχνικογεωλογικοί τύποι οι οποίοι συναντήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μια γενική ανάλυση αρχικά της τεχνικογεωλογικής-γεωτεχνικής συμπεριφοράς των γνευσιακών πετρωμάτων ανά τύπο και στη συνέχεια για κάθε τύπο που συναντήθηκε στη περιοχή



Σχήμα 5.1. Τύποι κατολίσθησης. Πάνω αριστερά ολισθήσεις μεταθετικές και περιστροφικές, πάνω δεξιά ροές και κάτω σύνθετες μετακινήσεις. Stephen Martel



Φωτογραφία 5.1. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα στη περιοχή μελέτης.
GSI=70-80

Τύπος Ι. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα

Σε αυτό το τύπο η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μεγάλη, ο κερματισμός είναι μέτριος και η αποσάθρωση μηδενική. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά αυτά προσδίδουν στη βραχόμαζα ευστάθεια και οι αστοχίες που προκύπτουν είναι υπό την μορφή συγκεκριμένων μπλόκ υπό ολίσθηση (slides). Τα τεμάχια που δημιουργούνται είναι μεγάλου πάχους και είναι υπό την μορφή πάγκων που δημιουργούνται από την γνευσιακή υφή. Ο όγκος των τεμαχίων που ενδεχομένως θα ολισθήσουν εξαρτάται από το κερματισμό της βραχόμαζας, την γνευσιακή υφή και τον προσανατολισμό της.



Φωτογραφία 5.2. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=50-60

Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μεγάλη, ο κερματισμός είναι μέτριος τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της βραχώμαζας όμως είναι μειωμένα λόγω της αποσάθρωσης. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά αυτά προσδίδουν στη βραχώμαζα ευστάθεια και οι αστοχίες που προκύπτουν είναι υπό την μορφή συγκεκριμένων μπλόκ υπό ολίσθηση (slides). Η αποσάθρωση της βραχώμαζας παρόλο που είναι σε μικρό βαθμό ίσως υποβοηθά τις ολισθήσεις λόγω του δευτερογενούς γεωϋλικού που δημιουργεί στις επιφάνειες των ασυνεχειών που σε περίπτωση που είναι υγρές επιταχύνουν την αστοχία. Τα τεμάχια που δημιουργούνται είναι μεγάλου πάχους και είναι υπό την μορφή πάγκων που δημιουργούνται από την γνευσιακή υφή. Ο όγκος των τεμαχίων που ενδεχομένως θα ολισθήσουν εξαρτάται από το κερματισμό της βραχώμαζας και την γνευσιακή υφή και σε μικρότερο βαθμό από την αποσάθρωση.



Φωτογραφία 5.3. Σφηνοειδής αστοχία σε ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=45-60

Τύπος III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα

Ο άρρηκτος βράχος έχει μεγάλη αντοχή, ο κερματισμός είναι μέτριος, η βραχώμαζα είναι σχιστώδης και η αποσάθρωση επεκτείνεται σε μεγαλύτερο βαθμό σε σχέση με τον προηγούμενο τύπο II. Η συμπεριφορά της βραχώμαζας ελέγχεται από την ευστάθεια των γνευσιακών λεπτών αυτή τη φορά πάγκων και των μικρών σφηνών ως προς την ολίσθηση. Οι ασυνέχειες είναι πυκνότερες λόγω της σχιστώδους δομής, η τριβή είναι μικρότερη και τα τεμάχια μικρότερα και έτσι οι αστοχίες μπορεί να είναι και περιστροφικού τύπου αλλά συνήθως είναι ολισθήσεις και καταπτώσεις. Ο όγκος των τεμαχίων που ενδεχομένως θα ολισθήσουν εξαρτάται εξίσου από το κερματισμό της βραχώμαζας, την γνευσιακή υφή και από τον βαθμό της αποσάθρωσης.



Φωτογραφία 5.4. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=30-40

Τύπος IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μειωμένη αλλά διατηρεί υψηλές τιμές, η βραχώμαζα είναι μέτρια έως πολύ κερματισμένη και μέτρια αποσαθρωμένη. Η δομή της είναι πτωχή και έχει αργιλοποιημένες ζώνες που δημιουργούν δυσμενείς συνθήκες ευστάθειας. Η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της ελέγχεται από την ευστάθεια ευρύτερων ζωνών και είναι πολύ πιθανή η εκδήλωση ολισθήσεων (slides), καταπτώσεων (falls) ακόμα και ροών (flow) στις αργιλοποιημένες ζώνες ιδιαίτερα όταν η βραχώμαζα είναι διαβρεγμένη. Σπάνια μπορεί να εκδηλωθούν περιστοφικού τύπου ολισθήσεις που είναι όμως μικρής έκτασης. Τα τεμάχια που δημιουργούνται είναι μικρού μεγέθους και είναι υπό την μορφή παραλληλεπιπέδων. Ο όγκος των τεμαχίων που ενδεχομένως ολισθήσουν εξαρτάται από το βαθμό της αποσάθρωσης και τις αργιλοποιημένες ζώνες και λιγότερο από τον κερματισμό.



Φωτογραφία 5.5. Σφηνοειδείς αστοχίες σε αποσαθρωμένη σχιστώδη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=25-40

Τύπος V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια, η βραχώμαζα είναι μέτρια αποσαθρωμένη, έχει πολύ έντονο κερματισμό και η κύρια ασυνέχεια είναι η σχιστότητα. Η συμπεριφορά της βραχώμαζας σε αυτή τη περίπτωση ελέγχεται από την ευστάθεια ευρύτερων ζωνών, και την ευστάθεια των γνευσιακών λεπτών αποσαθρωμένων πάγκων. Είναι πολύ πιθανή η εκδήλωση ολισθήσεων (slides), καταπτώσεων (falls) ακόμα και ροών (flow) στις αργιλοποιημένες ζώνες ιδιαίτερα όταν η βραχώμαζα είναι διαβρεγμένη, οι οποίες έχουν συχνά αφετηρία τις λεπτές τράπεζες του σχιστογνευσίου. Κυρίως σε αυτόν τον τύπο εκδηλώνονται σύνθετου τύπου ολισθήσεις. Ο όγκος των τεμαχών που ενδεχομένως θα ολισθήσουν εξαρτάται από το βαθμό της αποσάθρωσης και τις νέες ζώνες σε συνεχή διάταξη και τις πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και από το βαθμό κερματισμού που ούτως ή άλλως είναι ισχυρός λόγω της έντονης σχιστοποίησης.



Φωτογραφία 5.6. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης.
GSI=20-30

Τύπος VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα

Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι χαμηλή, η βραχώμαζα είναι πολύ αποσαθρωμένη και έχει έντονο κερματισμό. Η συμπεριφορά της βραχώμαζας ελέγχεται από την ευστάθεια ευρύτερων ζωνών και εκδηλώνονται σύνθετες ολισθήσεις με κύρια επιφάνεια ολίσθησης την γνευσιακή υφή. Εκδηλώνονται ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις και σύνθετες μετακινήσεις με κυρίαρχες τις περιστροφικές. Ο όγκος των τεμαχίων που ενδεχομένως ολισθήσουν είναι μεγαλύτερος από αυτόν του προηγούμενου τύπου και εξαρτάται από την αποσάθρωση και τις νέες ζώνες και πτωχές επιφάνειες που έχει δημιουργήσει η αργιλοποίηση και λιγότερο από το βαθμό κερματισμού.



Φωτογραφία 5.7. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται κατάπτωση ενός δενδριλίου από την κορυφή του πρανούς. GSI=10-20

Τύπος VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα

Σε αυτό το τύπο η βραχώμαζα είναι πλήρως αποσαθρωμένη, πολύ έντονα κερματισμένη και η αντοχή του άρρηκτου βράχου πάρα πολύ χαμηλή. Η βραχώμαζα έχει πολύ ανοικτή δομή και είναι εύθρυπτη, κρατώντας όμως τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά. Κύρια μορφή αστοχίας είναι οι περιστροφικές ολισθήσεις με επιφάνεια ολίσθησης που δημιουργείται από την πληθώρα των επιφανειών των ασυνεχειών της βραχώμαζας. Λόγω της έντονης αποσάθρωσης είναι πολύ έντονη η παρουσία των δευτερογενών αργιλικών ορυκτών, που σε συνδιασμό με την παρουσία νερού στη βραχώμαζα απομειώνονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των αργιλοποιημένων ζωνών και προκαλούν στην ουσία και τις ολισθήσεις.



Φωτογραφία 5.8. Ζώνη διάτμησης $GSI < 10$

Τύπος VIII. Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα

Η βραχώμαζα είναι έντονα σχιστοποιημένη έως διατμημένη. Η αντοχή του άρρηκτου βράχου είναι μέτρια. Η αντοχή όμως μπορεί να μειώνεται περαιτέρω λόγω της αυξημένης σχιστοποίησης από την διάτμηση, αύξηση συμμετοχής του λεπτόκοκκου κλάσματος, μικρής συνοχής του υλικού ανάμεσα στις φυλλώσεις και αύξηση της σύστασης σε φυλλώδη ορυκτά. Πλέον η βραχώμαζα συμπεριφέρεται σαν έδαφος σε αυτό τον τύπο.

5.2 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των τύπων στην περιοχή μελέτης

Τα 36 ορύγματα της περιοχής μελέτης ταξινομήθηκαν σε τεχνικογεωλογικούς τύπους στο προηγούμενο κεφάλαιο. Σ αυτό το σημείο θα αναλύσουμε τη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά κάθε τύπου που συναντήθηκε στην περιοχή. Ένα όρυγμα μπορεί να ανήκει σε παραπάνω από ένα τύπο γενευσιακής βραχόμαζας λόγω των διαφορετικών συνθηκών αποσάθρωσης και κερματισμού από θέση σε θέση που συναντάται στο όρυγμα αυτό.

Στην περιοχή μελέτης η κύρια μορφή αστοχίας είναι οι δομικές αστοχίες που εξαρτώνται από την γεωμετρία του πρανούς. Αντικείμενο της μελέτης αυτής είναι οι περιστροφικές ολισθήσεις και σε κάθε περίπτωση που θα συναντούνται θα αναλύονται εκτενέστερα.

Στην περίπτωση που συναντούνται ορύγματα με δύο γεωλογικούς σχηματισμούς (εκ των οποίων ο ένας θα είναι πάντα γενεύσιος), θα αναλύεται η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά του γενεύσιου. Ανάλυση και του άλλου σχηματισμού θα γίνεται, εφόσον όμως επηρεάζει την συνολική ευστάθεια.

Καθοριστικό ρόλο στη ευστάθεια των πρανών διαδραματίζουν τα S-επίπεδα σχιστότητας (ομόρροπα με μικρή έως μέση κλίση), το σύστημα των ασυνεχειών, οι διατμητικές ζώνες με το εδαφικό υλικό πλήρωσης και τα υπόγεια νερά, σε συνδιασμό με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των πρανών.

Οι γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν δυσμενώς την ευστάθεια των ορυγμάτων είναι :

- Ο προσανατολισμός των επιπέδων της στρώσης και εν προκειμένω της σχιστότητας.
- Ο βαθμός και το βάθος της αποσάθρωσης.
- Η παρουσία ρηγμάτων και διατμητικών ζωνών (shear zones).
- Ο βαθμός κερματισμού και μικροτεκτονικής διάρρηξης της βραχόμαζας.
- Η εμφάνιση έντονων αποφορτίσεων νερού, στην περιοχή του υπό διαμόρφωση πρανούς.

Οι γεωλογικοί παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω , επηρεάζουν δυσμενώς τη μηχανική συμπεριφορά εν γένει της βραχόμαζας, γιατί επιφέρουν:

- Μείωση της αντοχής της βραχόμαζας με το βαθμό της αποσάθρωσης.
- Χαμηλή εφελκυστική αντοχή στις διεπιφάνειες των ασυνεχειών.
- Δομική ασυνεχότητα και μικρή έως μέτρια συναρμογή της βραχόμαζας.

Τα αποτελέσματα και οι πιθανές συνέπειες των παραπάνω είναι :

- Επιφανειακές ή γενικές αστάθειες των μετώπων εκσκαφής.
- Ανάπτυξη δυνητικά ασταθών σφηνών-επίπεδων ολισθήσεων και ανατροπών σε συνδιασμό με δυσμενείς προσανατολισμούς των μετώπων των εκσκαφών των ορυγμάτων.

- Μείωση του ύψους και της κλίσης των πρανών των ορυγμάτων σε ιδιαίτερα δυσμενείς περιοχές και μέτρα αντιστήριξης και σταθεροποίησης για την ενίσχυση της ευστάθειας των πρανών.

Τύπος I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (O5, O6, O7, O15, O25, O26, O34)

Για τα ορύγματα O5, O6, O7 η αποσάθρωση είναι πολύ μικρή, ο κερματισμός είναι μέτριος και η βραχόμαζα γενικά είναι συμπαγής. Το αίτιο αυτής της πολύ καλής ποιότητας της βραχόμαζας είναι η φλέβα απλιτο-αστρίτη, που εντοπίζεται επιφανειακά. Προκύπτουν όμως προβλήματα ευστάθειας των προβλεπόμενων πρανών, λόγω των ομόροπων S-επιπέδων σχιστότητας που εμφανίζονται με διαφορετικά μέτρα κλίσης, λόγω των υπόγειων νερών. Βέβαια το πλέγμα φλεβών λειτουργεί σαν οπλισμός, προσφέροντας ευστάθεια και στο ορύγμα 7 που εντοπίζεται αλλά και στα διπλανά ανάλογα με το βαθμό ανάπτυξης των φλεβών σ αυτά.

Για τα ορύγματα 25, 26 και 34, η γνευσιακή βραχόμαζα είναι υγιής έως μέτρια αποσαθρωμένη και ο κερματισμός μέτριος στη μία εμφάνιση (σε άλλες θέσεις είναι έντονος οπότε η βραχόμαζα κατατάσσεται σε άλλο τύπο). Δεν αντιμετωπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα ευστάθειας, λόγω της ευμενούς διάταξης των S-επιπέδων σχιστότητας.

	<u>O5 O6 O7</u> Διακρίνονται τα S-επίπεδα σχιστότητας κατακόρυφα αλλά με ευμενή διεύθυνση κλίσης Τύπος I GSI=70-80	Ευστάθεια Δεν αντιμετωπίζονται ιδιαίτερα προβλήματα παρά μόνο μικρές δομικές αστοχίες
	<u>O25</u> Υγιής γνευσιακή βραχόμαζα Τύπος I GSI=75-80	Ευστάθεια Η βραχόμαζα είναι υγιής και δεν αντιμετωπίζει προβλήματα

Πίνακας 5.1. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου I και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

Τύπος II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα (O4, O5, O6, O7, O13, O14, O16, O28, O29, O30, O34, O36)

Για τα ορύγματα 4, 5, 6, 7 οι συνθήκες ευστάθειας είναι ίδιες όπου αναμένονται αστοχίες και ολισθήσεις τεμαχών, λόγω των ομόρροπων S-επιπέδων σχιστότητας και λόγω των υπόγειων νερών και σ αυτή την περίπτωση και λόγω της ποιότητας της βραχώμαζας που είναι ελαφρώς αποσαθρωμένη και δημιουργεί ευμενής συνθήκες για ολίσθηση τεμαχών.

Το ορύγμα 13 αποτελεί κρίσιμη περίπτωση ορύγματος για τις συνθήκες ευστάθειας του οι οποίες κρίνονται ως δυσμενείς. Οι λόγοι είναι η γεωμορφολογία και το γυμνό ανάντη φυσικό έδαφος (συνεχής κλίση με γωνία 22°-25°), οι δυσμενείς τεχνικογεωλογικές συνθήκες που αφορούν την ποιότητα της βραχώμαζας (RQD 20-60%), τα ομόρροπα γενικώς S-επίπεδα σχιστότητας που εμφανίζονται με μικρό μέτρο κλίσης της τάξης των 35° έως και 45° τοπικά, στην υφιστάμενη εδαφοποιημένη ζώνη διάτμησης και στα υπόγεια νερά που εντοπίζονται στο δάπεδο περίπου της παραπάνω ζώνης.

Στο ορύγμα 14, δεν αναμένονται προβλήματα ευστάθειας που να οφείλονται σε άλλες ιδιαιτερότητες, πέραν αυτών που αφορούν στα πιθανά προβλήματα λόγω δυνητικών δομικών αστοχιών τόσο επίπεδης, κατά τα S-επίπεδα σχιστότητας, όσο και σφηνοειδούς μορφής. Σε μία θέση του πρανούς, τα S-επίπεδα είναι εγκάρσιως διατεταγμένα ή και ελαφρώς ομόρροπα.

Στο ορύγμα 16, δεν αντιμετωπίζονται προβλήματα λόγω της ευμενούς διάταξης των S-επιπέδων σχιστότητας σε σχέση με το προσανατολισμό του προβλεπόμενου ορύγματος, αλλά και της γενικότερης μορφολογίας του. Η ιδιαιτερότητα του ορύγματος αυτού είναι η στάθμη των υπόγειων νερών που επηρεάζει τις συνθήκες ευστάθειας.

Στο ορύγμα 29, σε αυτό τον τύπο δεν αντιμετωπίζει προβλήματα ευστάθειας παρόλη την ύπαρξη υπόγειων νερών και ζωνών ποιοτικά υποβαθμισμένης ποιότητας βραχώμαζας.

	<u>O5 O6 O7</u> Διακρίνονται τα S-επίπεδα σχιστότητας κατακόρυφα αλλά με ευμενή διεύθυνση κλίσης Τύπος II GSI=50-60	Ευστάθεια Μπορεί να υπάρχουν καταπτώσεις μικρών τεμαχών οι οποίες δεν έχουν μεγάλη εμμόνη εντός της βραχώμαζας
---	--	---

	<u>Q29</u> Αρενίτης στη περιοχή του O29 Πολύ καλή τεχνικογεωλογική συμπεριφορά Τύπος II GSI=45-50	Ευστάθεια Δεν αντιμετωπίζεται κανένα πρόβλημα
---	--	--

Πίνακας 5.2. Ορύγματα με βραχώμαζα τύπου II και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

Τύπος III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα (O15, O17, O22, O27 O23, O24)

Το όρυγμα 15 αποτελεί ένα κρίσιμο όρυγμα λόγω του μεγάλου ύψους και της απότομης κλίσης των πρανών. Στη θέση του ορύγματος όπου η βραχώμαζα εμφανίζεται ελαφρώς αποσαθρωμένη και συμπαγής, με ευμενή διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας, όσον αφορά την εκδήλωση δυνητικών δομικών επίπεδων αστοχιών. Το χαμηλό RQD που προκύπτει από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις οφείλεται στο λεπτοστρωματώδες του σχηματισμού που στη συγκεκριμένη θέση δεν δημιουργεί προβλήματα ευστάθειας. Αστάθμητος παράγοντας είναι τα υπόγεια νερά για τα οποία όμως δεν υπάρχουν στοιχεία.

Στο όρυγμα 17 επίσης δεν υπάρχουν προβλήματα ευστάθειας. Η γνευσιακή βραχώμαζα είναι λεπτοστρωματώδης στις ορατές εμφανίσεις της και η ποιότητας της κρίνεται ικανοποιητική. Δεν υπάρχουν πληροφορίες για το βάθος των υπόγειων νερών.

Στο όρυγμα 22, στις θέσεις όπου αυτό εμφανίζεται με καλή ποιότητα βραχώμαζας, παρόλο που είναι λεπτοστρωματώδης, δεν παρουσιάζονται προβλήματα ευστάθειας παρόλο τις εκτεταμένες εμφανίσεις του μανδύα αποσάθρωσης.

Στα ορύγματα 23 και 24, δεν παρουσιάζονται ιδιαίτερα προβλήματα ευστάθειας. Λόγω όμως του λεπτοστρωματώδους του σχηματισμού η βραχώμαζα εμφανίζεται ως ποιοτικά υποβαθμισμένη και σε συνδιασμό με τα υπόγεια νερά που κρίνονται ως μόνιμοι ορίζοντες η ευστάθεια κρίνεται επίφοβη. Εδώ παρουσιάζεται με ελαφρά αποσάθρωση και μέτριο κερματισμό και επομένως η ευστάθεια της κρίνεται ικανοποιητική.

	<u>O15</u> Υγής και συμπαγής γνευσιακή βραχώμαζα, Διακρίνονται ισοκλινείς πτυχές Τύπος III GSI=45-50	Ευστάθεια Δεν αντιμετωπίζεται κανένα πρόβλημα
---	---	--

	<u>O25</u> Υγής γνευσιακή βραχώμαζα με δυσμενή διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας Τύπος III GSI=40-50	Ευστάθεια Δεν αντιμετωπίζεται κανένα πρόβλημα
--	--	--

Πίνακας 5.3. Ορύγματα με βραχώμαζα τύπου III και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα (O4, O13, O14, O16, O21, O28, O29, O30, O31, O32, O33, O36)

Για το όρυγμα 4 που εδώ εμφανίζεται με μέτρια αποσάθρωση και με μέτριο έως έντονο κερματισμό οι ολισθήσεις τεμαχών λόγω των ομόρροπων S-επιπέδων σχιστότητας θα είναι πιο έντονες και περισσότερες και υποβοηθούνται από το δευτερογενές αργιλικό υλικό αποσάθρωσης που βρίσκεται στις επιφάνειες των ασυνεχειών και από το υπόγειο νερό. Τα τεμάχια είναι μικρού μεγέθους, καθώς η αποσάθρωση δημιουργεί νέες ασυνέχειες. Η ποικιλία στο βαθμό κερματισμού και αποσάθρωσης δημιουργεί ζώνες με πολλές αστοχίες και ζώνες ευστάθειας.

Στο όρυγμα 13, που αποτελεί κρίσιμη περίπτωση ορύγματος για τις συνθήκες ευστάθειας του, η εδαφοποιημένη ζώνη ικανού πάχους από τα 14m έως και τα 18.5m ή 19m σε συνδιασμό με τα υπόγεια νερά που εντοπίζονται στο δάπεδο της ζώνης αυτής, δημιουργούν τις προϋποθέσεις για περιστροφική ολίσθηση. Επίσης το RQD είναι ιδιαίτερα χαμηλό σύμφωνα με τη γεώτρηση ΓΝ12 και τα S-επίπεδα σχιστότητας είναι γενικά ομόρροπα.

Για το όρυγμα 14, στη θέση όπου παρουσιάζεται με τα S-επίπεδα σχιστότητας εγκάρσια διατεταγμένα ή και ελαφρώς ομόρροπα και σε συνδιασμό ότι εμφανίζεται

κατά θέσεις και ισχυρά αποδομημένη (διακρίνεται η δομή και ο ιστός), εκδηλώνονται αρκετές θραύσεις και καταρρεύσεις.

Στο όρυγμα 16, δεν παρουσιάζονται προβλήματα ευστάθειας παρά τον μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης και τον πιο έντονο κερματισμό με τον οποίο αυτή εμφανίζεται εδώ. Η διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας είναι ευμενής και η ύπαρξη της εδαφοποιημένης ζώνης εκτιμάτε ότι συνδυάζεται με τη γενικότερη διάταξη της.

Στο όρυγμα 21, δεν αναμένονται προβλήματα ευστάθειας, κυρίως όσον αφορά τη διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας. Τα υπόγεια νερά εμφανίζονται σε υψηλούς γενικά ορίζοντες πράγμα που μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην ευστάθεια και την ποιότητα της βραχόμαζας. Εκτιμάτε ότι υπάρχουν διατμητικές ζώνες με έντονα εδαφοποιημένα γεωυλικά που όμως είναι σύμφωνα με τα S-επίπεδα σχιστότητας και επομένως δεν δημιουργούνται προβλήματα ευστάθειας.

Για τα ορύγματα 31 και 32, δεν προβλέπονται προβλήματα ευστάθειας, όσον αφορά τις δυνητικές δομικές αστοχίες και σφηνοειδείς αστοχίες, λόγω των ευμενώς διατεταγμένων S-επιπέδων σχιστότητας. Τα υπόγεια νερά είναι μόνιμα και εντοπίζονται περί τον πόδα, επίσης εντοπίζονται διατμητικές ζώνες ευμενούς γενικά διάταξης (εγκάρσιες και αντίρροπες προς την κλίση των πρανών) που εντοπίζονται περί τον πόδα όπως επίσης εντοπίζονται μικροσφηνοειδείς αστοχίες.

Στο όρυγμα 33, η βραχόμαζα παρουσιάζεται αρενιτοποιημένη, πράγμα που της προσδίδει καλή συμπεριφορά και πράγματι για αυτό το όρυγμα δεν αναμένονται προβλήματα ευστάθειας. Δυσμενή βέβαια συνθήκη αποτελούν τα υπόγεια νερά που εμφανίζονται περί τον πόδα του πρανούς.

	<u>O18 O19 O20</u> Τυπική μορφή γνευσιακής βραχόμαζα για τα 3 ορύγματα. Τύπος IV GSI=35-40	Εκδηλώνονται κυρίως καταπτώσεις και σε μικρότερη κλίμακα ροές
	<u>O22</u> Κερματισμένη και αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα Τύπος IV GSI=30-40	Εκδηλώνονται κυρίως περιστροφικές ολισθήσεις

	<u>O28</u> Έντονα κερματισμένη και αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα Τύπος IV GSI=30-40	Περιστροφικές ολισθήσεις
---	---	-------------------------------------

Πίνακας 5.4. Ορύγματα με βραχώμαζα τύπου IV και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα (O15, O22, O23, O24, O25, O26, O27, O35)

Στο όρυγμα 15, που είναι ένα κρίσιμο όρυγμα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τώρα οι συνθήκες είναι λίγο πιο δυσμενείς λόγω της εντονότερης αποσάθρωσης. Σε ένα τμήμα του ορύγματος η βραχώμαζα εμφανίζεται ισχυρά αποσαθρωμένη ως συνέπεια των πολυπτυχώσεων, με αποτέλεσμα να εκδηλώνονται αστοχίες επίπεδες και σφηνοειδείς. Το ιδιαίτερο αυτού ορύγματος είναι η πολύ μεγάλη αντοχή του άρρηκτου βράχου σε συνδιασμό όμως με τα πολύ πυκνά S-επίπεδα σχιστότητας.

Για το όρυγμα 22, σε αυτή τη περίπτωση που εμφανίζεται με μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού σε συνδιασμό με τις εκτεταμένες εμφανίσεις του μανδύα αποσάθρωσης που κατά θέσεις έχει αυξημένο πάχος, τα υπόγεια νερά που εμφανίζονται στην επιφάνεια επαφής των εδαφικών υλικών με το βραχώδες υπόβαθρο, οι παλιές κυκλικές θραύσεις και η λεπτοστρωματώδης βραχώμαζα, κάνουν την ευστάθεια επίφοβη.

Στα ορύγματα 23 και 24, όπου προηγουμένως αναλύσαμε στην περίπτωση της ελαφρά αποσαθρωμένης βραχώμαζας, δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα. Στο κομμάτι του ορύγματος όπου η βραχώμαζα εμφανίζεται με μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης η ευστάθεια κρίνεται ως επίφοβη. Τα υπόγεια νερά, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κρίνονται ως μόνιμοι ορίζοντες και επηρεάζουν περαιτέρω την ευστάθεια. Επίσης, ανάντη του χείλους του ορύγματος, εντοπίζεται ρηξιγενής δομή μετάπτωσης, με απότομη αλλαγή της κλίσης του φυσικού εδάφους, η οποία μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομόρροπη με μειωμένη διατμητική αντοχή.

Για τα ορύγματα 25 και 26, δεν αναμένονται προβλήματα ευστάθειας, λόγω της ευμενούς διάταξης των S-επιπέδων σχιστότητας. Η ποιότητα της βραχώμαζας κρίνεται ως καλή-πολύ καλή, αλλά με βάση τη γεώτρηση Γ23, η αντοχή του άρρηκτου βράχου έχει πολύ χαμηλή τιμή (10Mpa). Η διάταξη των ασθενών λεπτοστρωματωδών γνευσιοσχιστολίθων είναι σύμφωνη με τα S-επίπεδα σχιστότητας και δεν δημιουργούν ιδιαίτερα προβλήματα. Αστάθμητος παράγοντας είναι τα υπόγεια νερά για τα οποία δεν υπάρχουν πληροφορίες.

Στο όρυγμα 35, το οποίο είναι ένα κρίσιμο όρυγμα, δεν αναμένονται προβλήματα ευστάθειας. Η βραχόμαζα είναι λεπτοστρωματώδης και ισχυρά κερματισμένη με εκδηλωμένες θραύσεις-καταρρεύσεις για ισχυρές κλίσεις υφιστάμενων πρανών και πιθανή έως βέβαια ύπαρξη υπόγειων νερών. Σε άλλο τμήμα του ορύγματος εντοπίζονται εδαφικές αποθέσεις των αργιλικών κορημάτων επιφανειακά και αρενιτοποιημένοι γνεύσιοι ως υποκείμενοι στην κρίσιμη περιοχή του ορύγματος.

	<u>O23 O24</u> Αποσαθρωμένη, σχιστώδης και κερματισμένη γνευσιακή βραχόμαζα Τύπος V GSI=20-30	Εκδήλωση περιστροφικών αστοχιών
	<u>O27</u> Αποσαθρωμένη, σχιστώδης και κερματισμένη γνευσιακή βραχόμαζα Τύπος V GSI=25-30	Εκδήλωση σφηνοειδών και επίπεδων αστοχιών

Πίνακας 5.5. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου V και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή (O3, O4, O14, O16, O22, O27, O28, O29, O30, O31, O32, O33, O36)

Για το όρυγμα 3, που η βραχόμαζα είναι πολύ αποσαθρωμένη και κερματισμένη, δεν αντιμετωπίζονται προβλήματα ευστάθειας καθώς τα S-επίπεδα σχιστότητας είναι αντίρροπα ή εγκάρσια διατεταγμένα στο πρανές.

Στο όρυγμα 4, προκύπτουν προβλήματα ευστάθειας στις θέσεις όπου η βραχόμαζα αποκαλύπτεται και είναι πολύ κακής ποιότητας. Τα S-επίπεδα σχιστότητας εμφανίζονται ομόρροπα με το πρανές με διάφορα μέτρα κλίσης και τα υπόγεια νερά εντοπίστηκαν σε βάθος 18m και έτσι επηρεάζεται η ευστάθεια του πρανούς. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως στο όρυγμα αυτό θα υπάρχουν ζώνες καλής συμπεριφοράς και ζώνες ασυνεχειών.

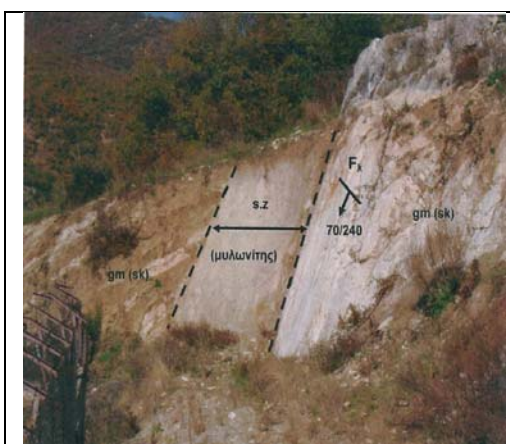
Στο όρυγμα 14, στην περιοχή όπου τα S-επίπεδα σχιστότητας είναι εγκάρσιως διατεταγμένα και η βραχόμαζα είναι ισχυρά αποδομημένη αναμένονται αρκετές αστοχίες θραύσεις και καταρρεύσεις σε μεγαλύτερο βαθμό από την περιοχή στο ίδιο όρυγμα που η βραχόμαζα ανήκει στον τύπο IV (Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα).

Στο όρυγμα 16, όπως είδαμε και προηγουμένως, δεν παρουσιάζονται προβλήματα ευστάθειας, λόγω της ευμενούς διάταξης των S-επιπέδων σχιστότητας. Η ύπαρξη όμως της εδαφοποιημένης ζώνης που έχει προσανατολισμό παράλληλο με τη διάταξη των S-επιπέδων σχιστότητας ίσως εδώ εμφανίζεται πιο αδύναμη λόγω της εντονότερης αποσάθρωσης και μπορεί να αποτελέσει το επίπεδο κάποιον αστοχιών παρόλο που η διάταξη είναι ευμενής.

Τα όρυγμα 22, θα υπάρχουν αρκετές επίπεδες και σφηνοειδείς αστοχίες. Η αποσάθρωση είναι έντονη, ο κερματισμός επίσης, έτσι δημιουργούνται περισσότερα επίπεδα ολίσθησης που έχουν και δευτερογενές αργιλικό υλικό που υποβοηθά και επομένως είναι ένα όρυγμα που είναι κρίσιμο στις περιοχές που συναντάται με τόσο χαμηλή ποιότητα. Επίσης στο όρυγμα αυτό κατά θέσεις ο γνεύσιος εμφανίζεται σχιστώδης. Σε αυτές τις θέσεις και δεδομένης την κακής ποιότητας πιθανώς να εκδηλωθούν κυκλικές αστοχίες.

Για τα όρυγματα 31 και 32, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, εντοπίζονται περιοχές με μικροσφηνοειδείς αστοχίες. Στις θέσεις όπου αυτή εντοπίζεται με μεγάλο βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού οι αστοχίες αυτές θα είναι μεγαλύτερες και με περισσότερο όγκο ολισθαίνοντος υλικού.

Στο όρυγμα 33, η γνευσιακή βραχόμαζα εμφανίζεται αρενιτοποιημένη και επομένως αρκετά ευσταθής. Με μεγαλύτερο βαθμό αποσάθρωσης και κερματισμού που έχει σε αυτό το τύπο η βραχόμαζα θα είναι ευσταθής και πάλι αλλά με μικρές δομικές ίσως αστοχίες.

	<u>O3</u> Διακρίνεται ζώνη διάτμησης-Κανονικό ρήγμα κατάντη του O3 Τύπος VI GSI=10-15	Εκδηλώνονται περιστροφικές ολισθήσεις μικρής κλίμακας.
---	--	---

	O14 Διακρίνονται τα S-επίπεδα σχιστότητας με ευμενή γωνία κλίσης για την εκδήλωση δομικών αστοχιών Τύπος VI GSI=10-15	Εκδηλώνονται δομικές αστοχίες και ροές λεπτομερών γεωυλικών που έχουν δημιουργηθεί από την αποσάθρωση
---	---	--

Πίνακας 5.6. Ορύγματα με βραχώμαζα τύπου VI και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα (O4, O33)

Για το όρυγμα 4, οι κυκλικές ολισθήσεις είναι η κύρια μορφή αστοχίας. Τα S-επίπεδα σχιστότητας είναι ομόρροπα με το πρηνές, ο κερματισμός και η αποσάθρωση είναι τόσο έντονα που η βραχώμαζα με αυτά τα ποιοτικά χαρακτηριστικά είναι πολύ ασταθής. Τα υπόγεια νερά έχουν μόνιμη στάθμη στο όρυγμα αυτό τα 18m και προκαλούν έντονες πιέσεις στη βραχώμαζα. Το όρυγμα αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο στις θέσεις όπου εμφανίζεται με τόσο χαμηλή ποιότητα.

Για το όρυγμα 33, η βραχώμαζα όπως είδαμε και παραπάνω εμφανίζεται αρενιτοποιημένη (in situ αποσάθρωση της βραχώμαζας κατά την διάρκεια προηγούμενης γεωλογικής περιόδου και επανασυνεκτικοποίηση της). Οι αρενίτες παρουσιάζουν καλή συμπεριφορά λόγω της συνεκτικότητας του

	O33 Αρενιτοποιημένοι γνευσιακοί σχηματισμοί. Τύπος VII GSI=<10	Εκδηλώνονται ως επί των πλείστων περιστροφικές ολισθήσεις
---	---	--

Πίνακας 5.7. Ορύγματα με βραχώμαζα τύπου VII και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά

VIII. Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχώμαζα (O35)

Στο όρυγμα 35, η βραχώμαζα είναι αρενιτοποιημένη. Δεν διακρίνεται δομή, η βραχώμαζα είναι χαοτική και ελάχιστα κομμάτια μεγέθους πάνω από 20 cm είναι ορατά. Η εικόνα της καθώς και η συμπεριφορά της παραπέμπει σε έδαφος. Οι κύριες αστοχίες που εμφανίζονται είναι περιστροφικού τύπου και έχει όλα τα χαρακτηριστικά μιας εδαφικής περιστροφικής.

Στον παρακάτω πίνακα τοποθετήθηκαν οι γνευσιακοί τύποι βραχόμαζας, τα ορύγματα στα οποία εντοπίστηκαν αυτοί οι τύποι και οι αστοχίες οι οποίες προβλέπονται. Το συμπέρασμα που επάγεται είναι ότι οι αστοχίες που είναι συνηθέστερες στην περιοχή είναι: ολισθήσεις-καταπτώσεις, καταπτώσεις-ροές-περιστροφικές ολισθήσεις και σύνθετες ολισθήσεις. **Με βάση αυτόν τον πίνακα φαίνεται η συχνότητα εμφάνισης του τύπου της αστοχίας.**

ΤΥΠΟΣ ΓΝΕΥΣΙΑΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΟΡΥΓΜΑΤΑ	ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (γνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι, γνευσιογρανίτες)	O5, O6, O7, O25, O26, O34	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O4, O5, O6, O7, O13, O14, O16, O28, O29, O30, O34, O36	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O15, O17, O22, O27, O23, O24	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, περιστροφικές ολισθήσεις
IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O4, O13, O14, O16, O21, O28, O29, O30, O31, O32, O33, O36	Καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις
V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O15, O22, O23, O24, O25, O26, O27, O35	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O3, O4, O14, O16, O22, O27, O28, O29, O30, O31, O32, O33, O36	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O4, O33	Περιστροφικές ολισθήσεις
VIII. Διατμημένη-σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O35	Ολισθήσεις σαν έδαφος

Πίνακας 5.8. Τύπος βραχόμαζας, τα ορύγματα στα οποία εντοπίστηκε και ο τύπος αστοχίας που παρουσιάζουν.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΟΥΣ- Ο(28)

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί ειδική μελέτη του ορύγματος Ο28, καθώς αποτελεί το μοναδικό όρυγμα του άξονα 75 το οποίο παρουσίασε έντονα προβλήματα ευστάθειας κατά την εκτέλεση των έργων. Συγκεκριμένα μετά την πρώτη διαμόρφωση του και με τη δράση έντονης βροχόπτωσης, αστόχησε σε μορφή περιστροφικής ολίσθησης με αποτέλεσμα να χρειάζεται νέα διαμόρφωση.

Τονίζεται ότι εξέταση της ευστάθειας του ορύγματος Ο28 πραγματοποιήθηκε καθώς αποτελεί πραγματικό περιστατικό ολίσθησης στη περιοχή της μελέτης. Σημειώνεται ότι η ανάλυση έγινε για τους εκπαιδευτικούς σκοπούς της εργασίας κάνοντας εύλογες παραδοχές για το γεωλογικό μοντέλο, τις γεωτεχνικές παραμέτρους και τα αναλυτικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πρανούς. Οι αναλύσεις που παρουσιάζονται στο κεφάλαιο αυτό δεν αποτελούν αναλυτικές και πλήρεις γεωτεχνικές αναλύσεις καθώς δεν αποτελεί στόχο της διπλωματικής αυτής αλλά και δεν υπήρχαν στη διάθεσή μας όλα τα αναλυτικά στοιχεία της περιοχής. Στόχος των αναλύσεων αυτών είναι η διερεύνηση της επίδρασης του γεωλογικού μοντέλου και των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων στην ευστάθεια πρανούς σε γενεσιακό περιβάλλον για διάφορες επιτόπου συνθήκες και γεωμετρία πρανών.



Φωτογραφία 6.1. Διακρίνονται τα Ο28, Ο29, Ο30 και η σήραγγα του Φρουρού από δεξιά προς αριστερά της φωτογραφίας

6.1 Γεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής του ορύγματος

6.1.1 Γεωλογικές-λιθολογικές συνθήκες

Η στενή περιοχή του ορύγματος 28, που βρίσκεται προς το τέλος του άξονα, βρίσκεται σε ορεινό έως εντονότατο ορεινό μορφολογικό ανάγλυφο και σε έντονες γενικά εγκάρσιες κλίσεις. Η βλάστηση σε όλη την κοντινή έκταση είναι εντονότατη δεινρώδης έως υψηλή δεινρώδης.

Όπως όλη η περιοχή του άξονα ανήκει στη Μάζα της Ροδόπης και συγκεκριμένα στο Προαλπικό κρυσταλλικό υπόβαθρο της και αποτελεί την κατώτερη σειρά. Οι γνεύσιοι εμφανίζονται με κυρίαρχη γενική διεύθυνση BA-ND/κη και διεύθυνση κλίσης NA αλλά ενίοτε BA. Οι γνεύσιοι της Ροδοπικής Μάζας γενικά βρίσκονται σε ασυμφωνία σχιστότητας με τους σχηματισμούς της Περιοδοπικής ζώνης, οι οποίοι εμφανίζονται με γενική διεύθυνση BA-ND με διεύθυνση μέγιστης κλίσης BD. Εμφανίζονται σε διαρκείς στρωματογραφικές εναλλαγές, κυμαινόμενου πάχους και έκτασης εμφάνισης, με διαφορετικούς χρωματισμούς, ανάλογα με το είδος των ορυκτολογικών παραγενέσεων που επικρατεί (σαλικά ή φεμικά).

Στην περιοχή επίσης εντοπίζονται εδαφικά αργιλικά κορήματα, εκτεταμένος μανδύας αποσάθρωσης και πλευρικά κορήματα με υποκείμενο βραχώδες γνευσιακό υπόβαθρο. Τα πλευρικά κορήματα αποτελούνται από αδρομερή υλικά όπως χαλίκια, λατύπες, κροκάλες και τοπικά ογκόλιθοι που είναι συνήθως γωνιώδεις με ποσοστό λεπτόκοκκων χαλαρής απόθεσης ή ελαφρώς συγκολλημένα. Προέρχονται από την κατάκλαση και τη διάβρωση του γνευσιακού βραχώδους υποβάθρου της περιοχής. Είναι τοποθετημένα πλευρικά και τοπικά έχουν ικανό πάχος (2-3m). Επίσης εντοπίζονται κώνοι παλαιότερων κορημάτων.

Όσον αφορά τη σχιστότητα, το κύριο S-επίπεδο σχιστότητας των γνευσίων εμφανίζεται με κύρια και βασική διεύθυνση προσανατολισμού ABA-ΔNΔ/κά, με διεύθυνση μέγιστης κλίσης NNA/κή και με μέτρο κλίσης της τάξης των 40°-50° περίπου. Η διεύθυνση κλίσης του πρανούς είναι Δ-ND και γωνία κλίση μεγαλύτερη των 50° επομένως τα S-επίπεδα σχιστότητας ανατέλλουν στο πρανές.

6.1.2 Τεκτονικές συνθήκες

Τα κύρια συστήματα των διαρρήξεων έχουν προσανατολισμό B-N, ABA-ΔNΔ και BD-NA, οι μορφές τους είναι συνήθως συζυγείς και επικρατούσα διεύθυνση είναι η BD-NA. Τα συστήματα εμφανίζονται με μεγάλο μέτρο κλίσης 67°-90° και οι επιφάνειες τους είναι κλειστές τραχειές μέσου έως ικανού μήκους με μέση έως πυκνή περιοδικότητα επανάληψης χωρίς υλικό πλήρωσης. Οι διαρρήξεις με προσανατολισμό BD-NA είναι εφελκυστικές και θλιπτικές ενώ αυτές με προσανατολισμό B-N και ABA-ΔNΔ είναι εφελκυστικές.

Όσον αφορά τα ρήγματα της περιοχής έχουν προσανατολισμό A-Δ και ABA-ΔNΔ. Τα ρήγματα είναι κανονικά έως πλαγιοκανονικά και οφείλονται βέβαια σε εφελκυσμούς. Ρήγμα προσανατολισμού A-Δ φαίνεται να είναι ένα επίπεδο ολίσθησης της περιστροφικής κατολίσθησης στο O28 και ένα BA-ND προσανατολισμού, για την ανάλυση ευστάθειας του O28. Τα δύο αυτά ρήγματα στη συνέχεια του κεφαλαίου θα

ληφθούν υπόψη ως διατμητικές ζώνες για την ανάλυση ευστάθειας του ορύγματος Ο28, λόγω της γεωμετρίας τους που είναι δυσμενής για την ευστάθεια.

6.2 Τεχνικογεωλογικές συνθήκες στενής περιοχής του ορύγματος

6.2.1 Τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά της γνευσιακής βραχόμαζας

Στο κεφάλαιο 4 έγινε για κάθε όρυγμα τεχνικογεωλογική ταξινόμηση της βραχόμαζας και στο Ο28 ταξινομήθηκε στους τύπους **Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (τύπος II)**, στον **Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (τύπος IV)** και στον **Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (τύπος VI)** με τον τύπο IV να κυριαρχεί. Η ταξινόμηση έγινε με βάση την υπαίθρια παρατήρηση και τη γεώτρηση ΓΝ19Α. Κάποια τεχνικογεωλογικά στοιχεία από την γεώτρηση παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΓΝ19Α (24.90m βάθος)	
Αντοχή άρρηκτου βράχου (Mpa)	15-45 Mpa
Κερματισμός βραχόμαζας (%)	10-35%
Απόσταση μεταξύ ασυνεχειών (mm)	50-100mm
Μήκος ασυνεχειών (m)	3-10m, 1-3m
Άνοιγμα ασυνεχειών (mm)	0.1mm
Τραχύτητα	Τραχεία
Υλικό πλήρωσης	Μαλακό < 5mm
Αποσάθρωση	Πάρα πολύ- Ελαφρά
Υπόγειο νερό	Εντελώς στεγνό

Πίνακας 6.1. Στοιχεία γεώτρησης ΓΝ19Α (Κ.Δημαράς, 2006)

Συγκεκριμένα στη γεώτρηση ΓΝ19Α συναντήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί :

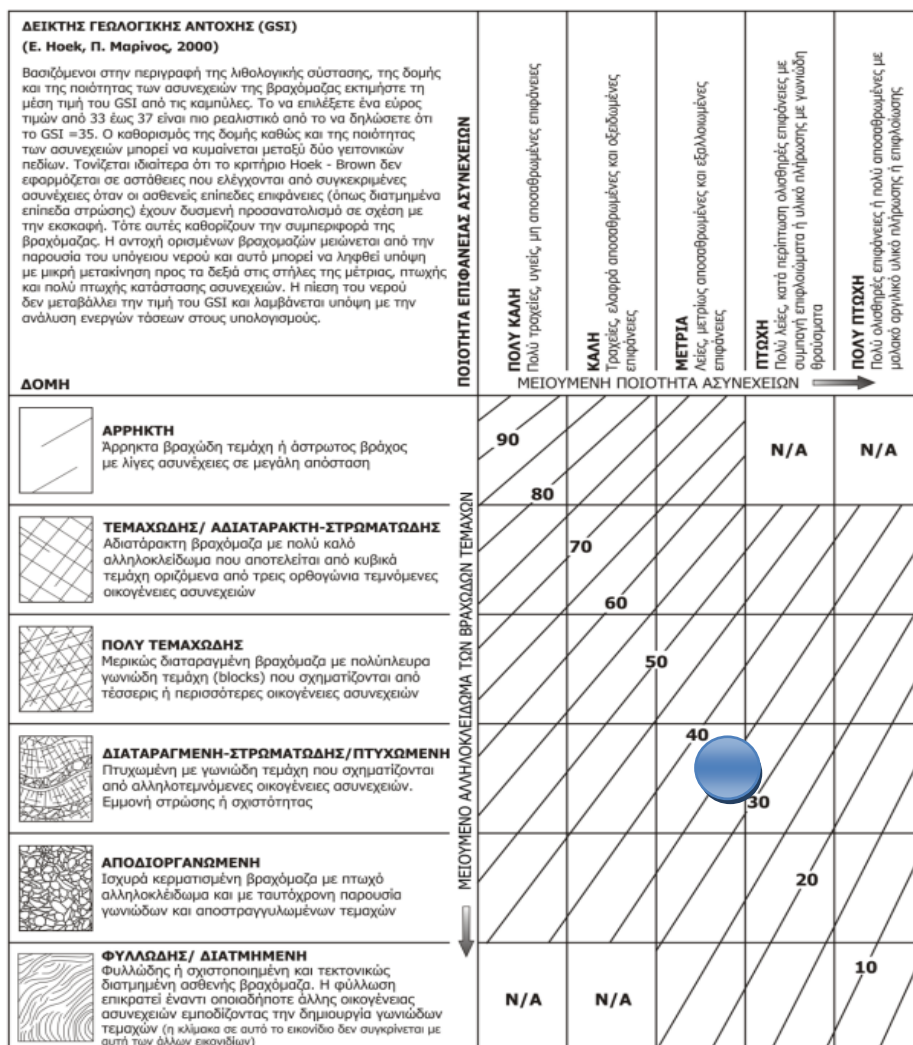
- **0.00-2.70m: Μανδύας αποσάθρωσης** που αποτελείται από ιλυώδη άμμο μαζί με διάσπαρτους χάλικες του γνευσιακού υποβάθρου
- **2.70-24.90m: Γνεύσιος** ελαφρά έως μέτρια αποσαθρωμένος και έντονα αποσαθρωμένος στα βάθη 2.70-3.45m και 11.40-15.70m. Ο κερματισμός του σχηματισμού είναι ιδιαίτερα έντονος με RQD της τάξης του 20%. Οι ζώνες κερματισμού εμφανίζονται στα βάθη 6.80-7.40m, 11.70-17.15m, 17.60-17.80m, 22.30-22.60m, 23.00-23.20m και 23.80-24.00m. Τα συστήματα ασυνεχειών που παρουσιάζονται είναι δύο με κλίσεις 0°-30° και 30°-60°. Τα επίπεδα των ασυνεχειών είναι τραχειά έως ελαφρά κυματοειδή με JRC=6-8 και συχνότητα εμφάνισης ανά 11m. Οι επιφάνειες των ασυνεχειών είναι μέτρια αποσαθρωμένες, έντονα οξειδωμένες με αποσαθρωμένο αμμώδες υλικό πλήρωσης.

Με βάση την ποιότητα της βραχόμαζας και τον έντονο κερματισμό της δεν αναμένεται η δημιουργία υδροφόρου ορίζοντα σε μικρά βάθη λόγω του μεγάλου δευτερογενούς πορώδους.

Στη περιοχή του ορύγματος εντοπίστηκαν έξι κύρια συστήματα διακλάσεων (J) και δύο συστήματα σχιστότητας (S) .

Επίπεδα ασυνέχειας	Στοιχεία προσανατολισμού
S1:	33/141
S2:	25/085
J1:	84/204
J2:	66/258
J3:	75/338
J4:	81/017
J5:	81/047
J6:	72/070

Πίνακας 6.2 Τα επίπεδα ασυνέχειας κατ τα στοιχεία προσανατολισμού τους στη βραχόμαζα του Ο28.



Πίνακας 6.3. Το GSI του Ο28



Φωτογραφία 6.2. Μετά την κατολίσθηση του 2010



Φωτογραφία 6.3. Μετά την κατολίσθηση του 2012



Φωτογραφία 6.4. Πλευρική ρωγμή κοντά στη κορυφή της κατολίσθησης το 2010



Φωτογραφία 6.5. Η επιφάνεια του ρήγματος όπως αποκαλύφθηκε μετά την κατολίσθηση του 2012

6.2.2 Τεχνικογεωλογική συμπεριφορά της γνευσιακής βραχόμαζας

Κατά την υπαίθρια εργασία του ορύγματος 28 κατέσται δυνατό να αναγνωρισθούν οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν κατά τις δύο ολισθήσεις που πραγματοποιήθηκαν στο όρυγμα (περιστροφικού τύπου), να αναγνωρισθούν οι επιφάνειες πάνω στις οποίες έγινε και να οριοθετηθεί από την υπόλοιπη ευσταθή βραχόμαζα.

Τα χαρακτηριστικά της ολίσθησης καθώς και τα στοιχεία των γεωτρήσεων δείχνουν και κατατάσσουν την ολίσθηση σε περιστροφική. Ρωγμές εμφανίζονται με διεύθυνση παράλληλη με αυτήν της διεύθυνσης κλίσης του πρανούς και βέβαια παράλληλες με την κύρια θραύση (φρύδι ολίσθησης). Το άνοιγμα των ρωγμών κυμαίνεται από 30cm έως και 1m κατά τόπους και το μήκος τους μπορεί να είναι όσο και το 1/3 του μήκους της κατολίσθησης από την κορυφή της μέχρι τον πόδα. Συνήθως έχουν ένα μέσο μήκος τα 15m. Μέσα στις ρωγμές το υλικό είναι κατάκερματισμένο, κυριαρχούν γωνιώδη γνευσιακά τεμάχια με διάφορα μεγέθη και έχουν ως θεμελιώδη μάζα αμμώδες-αργιλικό υλικό. Από την μετακίνηση αυτή έχουν καταστραφεί τα μέτρα αντιστήριξης που έχουν κατασκευαστεί πάνω στο πρανές όπως αγκύρια, τσιμεντένια δοκάρια και τάφρους παροχέτευσης. Από τις μετατοπίσεις και θραύσεις που έχουν προκαλέσει σε αυτά είναι δυνατό να βγούν κάποια αρχικά συμπεράσματα για το μέγεθος της συνολικής μετατόπισης. Εντυπωσιακό είναι το μέγεθος της μετατόπισης που φαίνεται να έχει γίνει μετά την επανανεργοποίηση της κατολίσθησης όπως φαίνεται και στις φωτογραφία 6.7

Τα επίπεδα πάνω στα οποία πραγματοποιήθηκε η ολίσθηση είναι δυνατόν να αναγνωρισθούν κατά μήκος του φρυδιού της κατολίσθησης ανάντι του πρανούς. Από την υπαίθρια μελέτη έγινε αμέσως αντιληπτό ότι τουλάχιστον ένα επίπεδο αποτελεί ένα ρήγμα διεύθυνσης Α-Δ μεταπτωτικού χαρακτήρα. Η επιφάνεια παρουσιάζεται τραχεία στη υφή αλλά με γενικά σταθερή μεγάλη γωνία κλίσης (50°-60°). Το υλικό φαίνεται ότι είναι ένας κατακλαστίτης που δημιουργήθηκε από την δράση του ρήγματος. Σε όλη την επιφάνεια του ρήγματος δεν φαίνεται υγιής βραχόμαζα. Στη θέση ακριβώς του φρυδιού της κατολίσθησης φαίνεται η γνευσιακή βραχόμαζα με φρέσκιες επιφάνειες που είναι επιφάνειες σχιστότητας. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι άλλο ένα επίπεδο ολίσθησης αποτελούν τα S-επίπεδα σχιστότητας. Προφανώς για να πραγματοποιηθεί η περιστροφική ολίσθηση θα συμμετείχαν και επιφάνειες διακλάσεων από το σύστημα που εντοπίστηκε με τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.

Κατάντη της ολίσθησης δεν παρατηρείται ανύψωση εκεί που συνήθως είναι ο πόδας της κατολίσθησης. Αυτό δίνει πληροφορίες για δύο ενδεχόμενα. Είτε η ακτίνα του επιπέδου ολίσθησης είναι μικρότερη και τελειώνει πάνω στο πρανές είτε είναι μεγαλύτερη και τελειώνει σε σημείο που βρίσκεται κατάντη από το επίπεδο του προβλεπόμενου οδοστρώματος.



Φωτογραφία 6.6. Διακρίνονται οι εγκάρσιες ως προς το πρηνές ρωγματώσεις .

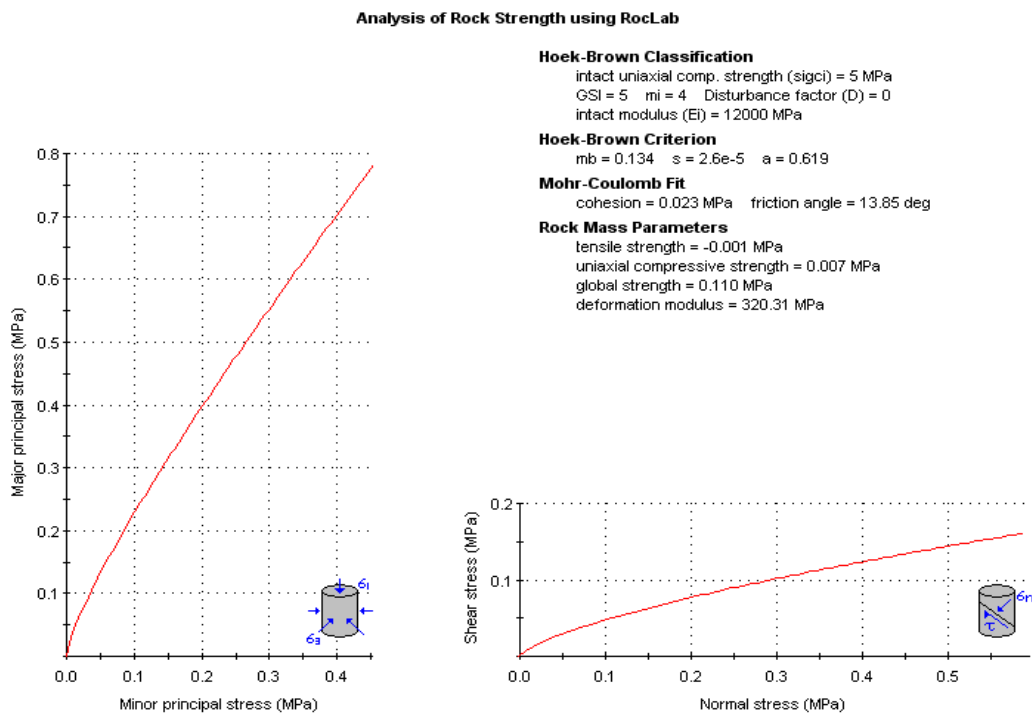


Φωτογραφία 6.7. Η επιφάνεια του ρήγματος διεύθυνσης Α-Δ. Η επιφάνεια παρουσιάζεται τραχεία στη υφή αλλά με γενικά σταθερή μεγάλη γωνία κλίσης (50°- 60°). Το υλικό φαίνεται ότι είναι ένας κατακλαστίτης που δημιουργήθηκε από την δράση του ρήγματος

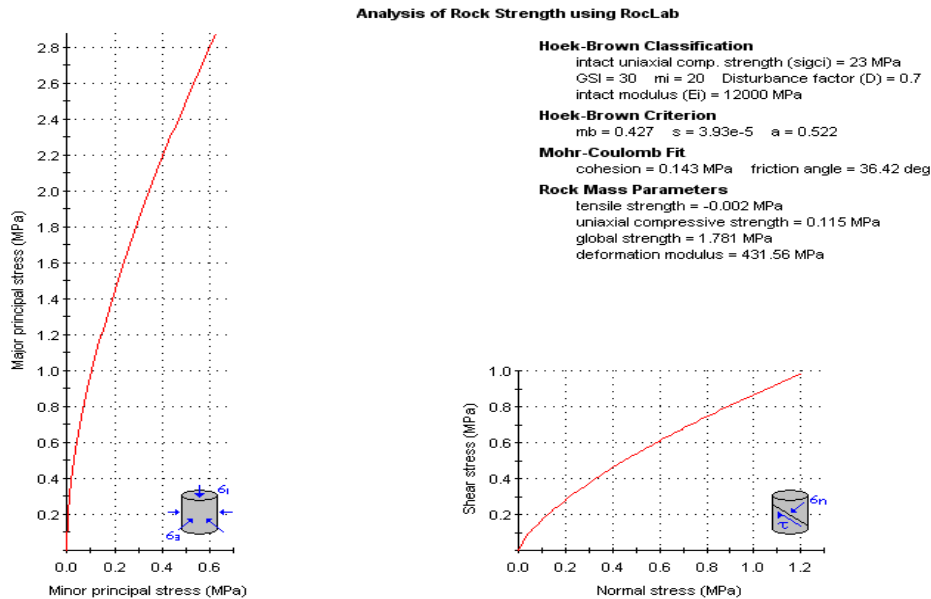
6.3 Ανάλυση ευστάθειας Ο28

Η ανάλυση της ευστάθειας του ορύγματος Ο28 έγινε με το πρόγραμμα **Slide** της **RocScience**. Πραγματοποιήθηκαν 3 ομάδες αναλύσεων. Αρχικά έγινε ανάλυση για το αρχικό φυσικό ανάγλυφο πριν την διαμόρφωση του ορύγματος, στη συνέχεια για πιθανά πρανή εκσκαφής (Π1 και Π2) με διαφορετικές γεωμετρίες και κλίσεις. Στην ανάλυση τοποθετήθηκαν τα γεωλογικά ευρήματα από την επί τόπου υπαίθρια έρευνα. Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι να παρουσιάσει την σημαντικότητα της γεωλογικής πληροφορίας στην ευστάθεια ορυγμάτων.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κατά την υπαίθρια έρευνα εντοπίστηκαν τουλάχιστον δύο ζώνες διάτμησης με μειωμένα μηχανικά χαρακτηριστικά στην στενή περιοχή του ορύγματος (παραπάνω αναφέρθηκαν ως ρήγματα). Η γεωμετρία αυτών των ζωνών καθώς και η ποιότητα των γεωϋλικών που περιέχονται σε αυτές θα εξεταστεί στην παρακάτω ανάλυση πόσο επηρεάζουν την ευστάθεια. Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών του ορύγματος όπως αυτά δόθηκαν για την ανάλυση της ευστάθειας.



Σχήμα 6.1 Εφαρμογή του προγράμματος Roclab της RocScience για τις ζώνες διάτμησης



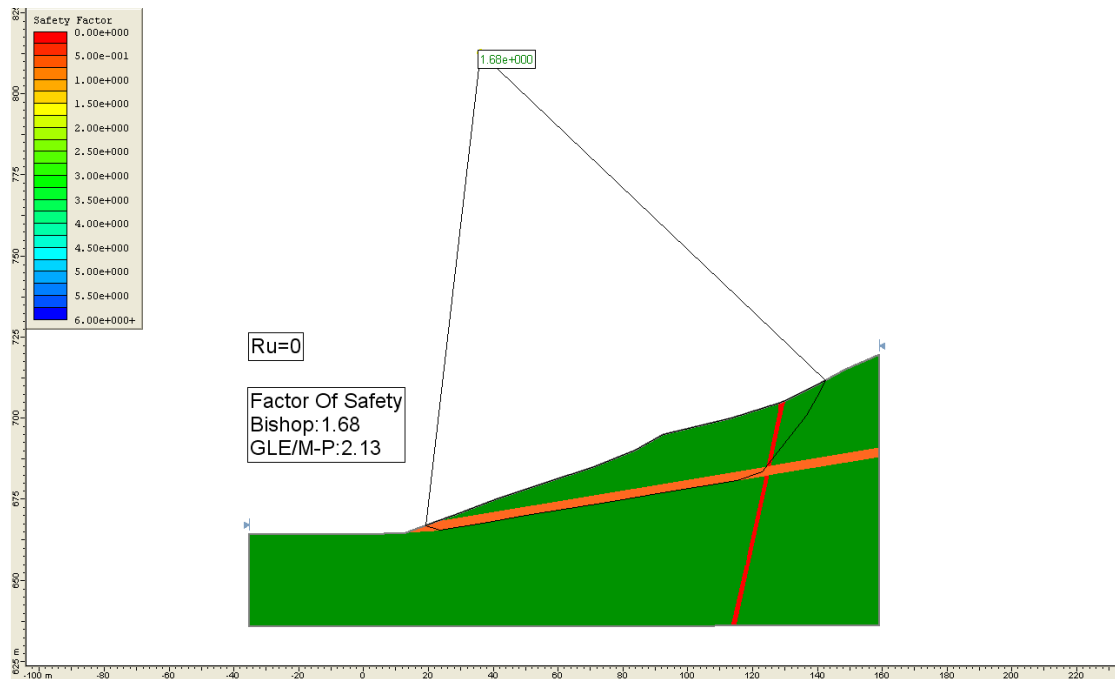
Σχήμα 6.2. Εφαρμογή του προγράμματος Roclab της RocScience για τον γνεύσιο.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ					
	σ_{ci} (Mpa)	GSI	m_i	γ (kN/m ³)	c(kPa)	ϕ (°)
Μανδύας αποσάθρωσης	-	-	-	20	-	
Γνεύσιος	23	30-40	20	27	143	36
Ζώνη Διάτμησης 1	5	10-15	4	20	20	13
Ζώνη Διάτμησης 2	5	10-15	4	20	20	13

Πίνακας 6.4. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών του ορύγματος Ο28, όπως λήφθηκαν από το πρόγραμμα Roclab της RocScience.

Η ανάλυση έγινε για κάθε φάση του ορύγματος, στη φάση του φυσικού ανάγλυφου, στη φάση του Π1 και στην προβλεπόμενη Π2 και με πίεση των πόρων R_u ($=0.2$). Στη συνέχεια έγινε ανάλυση των Π1 και Π2 με μηδενική συνοχή ($c=0$) στις διατμητικές ζώνες λόγω της αστοχίας που έχει σημειωθεί. Οι συντελεστές ασφάλειας προέκυψαν με βάση τις μεθόδους **Bishop** και **Morgentern-Price**. Επίσης κατά την απεικόνιση των επιφανειών ολίσθησης που προέκυπταν από την ανάλυση, εφαρμόστηκε φίλτρο προκειμένου να είναι εμφανείς οι πιο πιθανές.

Σκοπός της ανάλυσης είναι να δείξει το πόσο επηρεάζει ο γεωλογικός παράγοντας την ευστάθεια των πρανών και ότι η γεωλογική πληροφορία για την διαμόρφωση ενός ευσταθούς-ασφαλούς πρανού είναι πολύ σημαντική. Οι διατμητικές ζώνες που εντοπίστηκαν κατά την υπαίθρια εργασία στο όρυγμα σε συνδυασμό με την γεωμετρία τους σε σχέση με την διεύθυνση της χάραξης στην ουσία καθορίζουν το επόμενο βήμα για τη νέα διαμόρφωση του.

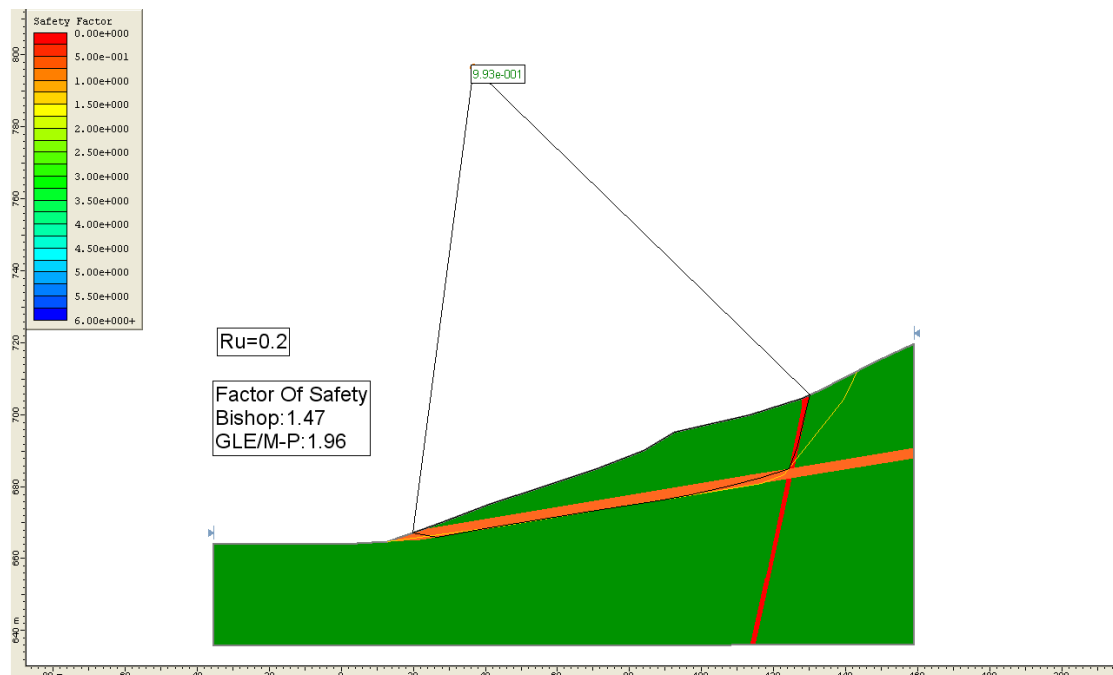
Φυσικό ανάγλυφο, με $R_u=0$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.68	0
Morgentern-Price	2.13	0

Πίνακας 6.5. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το φυσικό ανάγλυφο με $R_u=0$

Στην ανάλυση ευστάθειας του φυσικού ανάγλυφου, χωρίς πίεση πόρων, και με τις δύο μεθόδους ανάλυσης το πρανές είναι ευσταθές. Οι τιμές που λήφθηκαν είναι πολύ υψηλές πράγμα που δηλώνει ότι ακόμα και σε κατάσταση υψηλής βροχόπτωσης το πρανές θα παρέμενε ευσταθές χωρίς να εκδηλωθεί κάποια σημαντική αστοχία.

Η επιφάνεια ολίσθησης στη ανάλυση ανήκει στη παραοριζόντια διατμητική ζώνη ενώ η παρακατακόρυφη επιφάνεια διάτμησης δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να αποτελέσει επιφάνεια ολίσθησης για την περίπτωση αυτή. Η γωνία κλίσης του φυσικού ανάγλυφου δίνει το δικαίωμα μόνο στην παραοριζόντια διατμητική ζώνη να είναι επιφάνεια ολίσθησης.

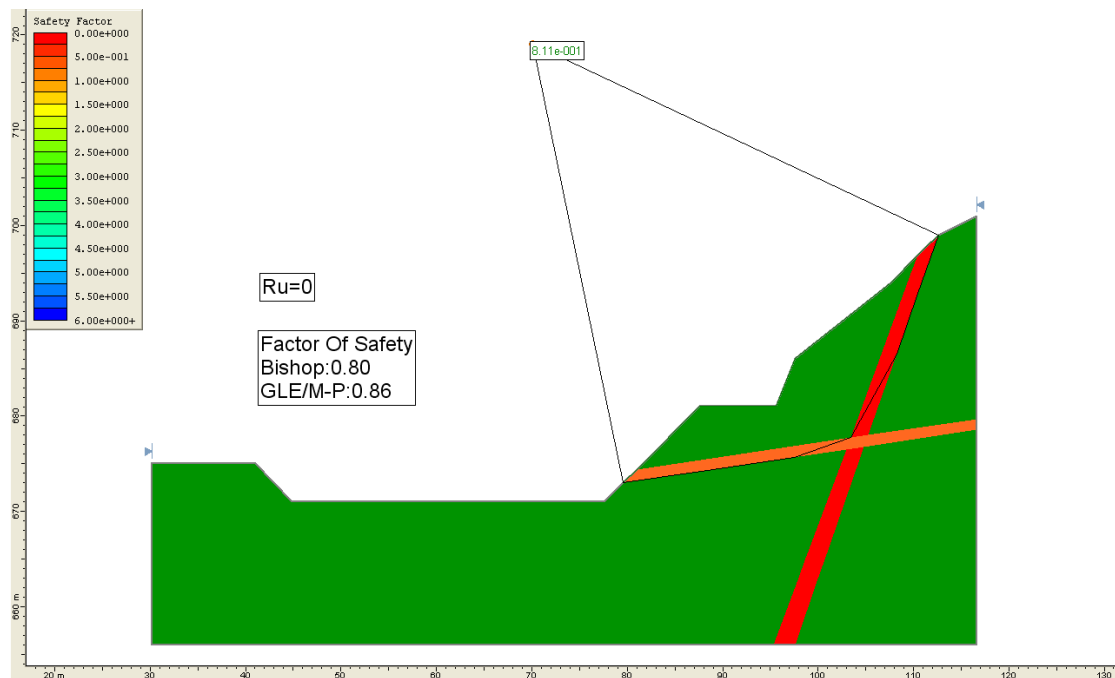
Φυσικό ανάγλυφο, με $R_u=0.2$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.47	0.2
Morgentern-Price	1.96	0.2

Πίνακας 6.6. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το φυσικό ανάγλυφο με $R_u=0.2$

Στην ανάλυση ευστάθειας του φυσικού ανάγλυφου, με πίεση πόρων ($R_u=0.2$), και με τις δύο μεθόδους ανάλυσης το πρανές είναι ευσταθές. Βέβαια οι τιμές μειώθηκαν σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση όπου δεν υπήρχε η πίεση των πόρων, για τον Bishop κατά 0.21 και για Morgentern-Price κατά 0.17. Και πάλι οι τιμές είναι πολύ υψηλές και ακόμα σε κατάσταση υψηλής έντασης βροχόπτωσης το πρανές παραμένει ευσταθές.

Σε αυτή την περίπτωση και η παραοριζόντια και η παρακατακόρυφη διατμητική ζώνη αποτελούν επιφάνεια ολίσθησης σύμφωνα με την ανάλυση σε αντίθεση με την προηγούμενη ανάλυση όπου μόνο η παραοριζόντια διατμητική ζώνη αποτελούσε επιφάνεια ολίσθησης. Εδώ παρόλο που έχουμε την ίδια γωνία κλίσης του φυσικού ανάγλυφου με την προηγούμενη ανάλυση συμμετέχει στην ολίσθηση και η παρακατακόρυφη διατμητική ζώνη. Αυτό γίνεται λόγω της παρουσίας της πίεσης των πόρων δηλαδή της παρουσίας νερού στο πρανές, οπότε αυτό αστοχεί πάνω σε επιφάνειες που είναι ευμενής για της ολίσθηση.

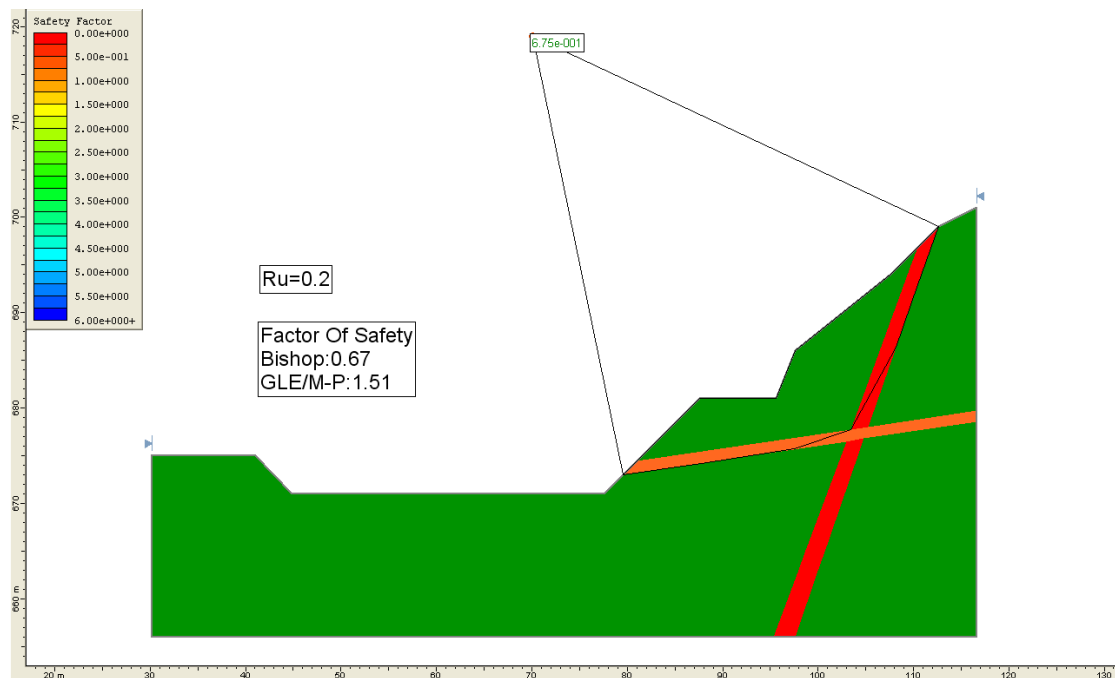
Πρανές 1, με $R_u=0$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	0.80	0
Morgentern-Price	0.86	0

Πίνακας 6.7. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1 με $R_u=0$

Στη ανάλυση του Π1, χωρίς πίεση πόρων, και με τις δύο μεθόδους ανάλυσης που χρησιμοποιήθηκαν, ο συντελεστής ασφάλειας είναι κάτω από 1 και το πρανές συνεπώς είναι ασταθές. Το γεωλογικό μοντέλο επομένως που δημιουργήθηκε για την ανάλυση της ευστάθειας προσεγγίζει την πραγματική κατάσταση πολύ ικανοποιητικά καθώς το πρανές αστόχισε μετά την πρώτη διαμόρφωση του (Π1).

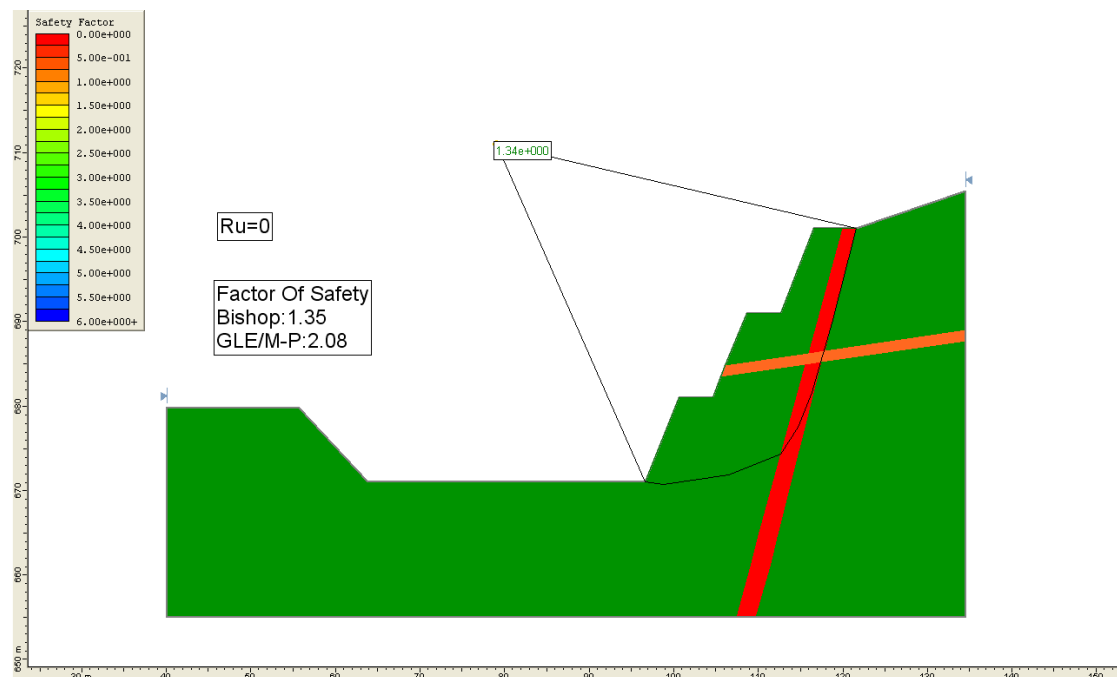
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης και οι δύο διατμητικές ζώνες συμμετέχουν ως επιφάνειες ολίσθησης πράγμα που παρατηρήθηκε και συμφωνεί με την υπαίθρια έρευνα που έγινε στα πλαίσια αυτή της διπλωματικής. Η γωνία κλίσης που δόθηκε στο πρανές είναι ευμενής για την εκδήλωση αστοχίας περιστροφικού τύπου. Είναι επομένως εμφανές ότι οι διατμητικές ζώνες με την συγκεκριμένη γεωμετρία που εντοπίστηκαν με τη γεωλογική-τεχνικογεωλογική έρευνα είναι καθοριστικής σημασίας προκειμένου να διαμορφωθεί ένα ευσταθές όρυγμα.

Πρανές 1, με $R_u=0.2$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	0.67	0.2
Morgentern-Price	1.51	0.2

Πίνακας 6.8. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1 με $R_u=0.2$

Όπως προκύπτει από την ανάλυση για το Π1, λαμβανομένου υπόψη και της πίεσης πόρων, με τη μέθοδο του Bishop ο συντελεστή ασφάλειας είναι κατά πολύ χαμηλότερος από 1 (0.13 χαμηλότερα από την προηγούμενη ανάλυση χωρίς πίεση πόρων) ενώ με την μέθοδο Morgentern-Price ο συντελεστής είναι πολύ πάνω από 1 και δηλώνει ευστάθεια (0.51 υψηλότερα από τη προηγούμενη ανάλυση χωρίς την πίεση των πόρων). Η διαφορά αυτή οφείλεται στις μεθόδους ανάλυσης και στις παραμέτρους στις οποίες δίνουν βαρύτητα κατά την ανάλυση της ευστάθειας.

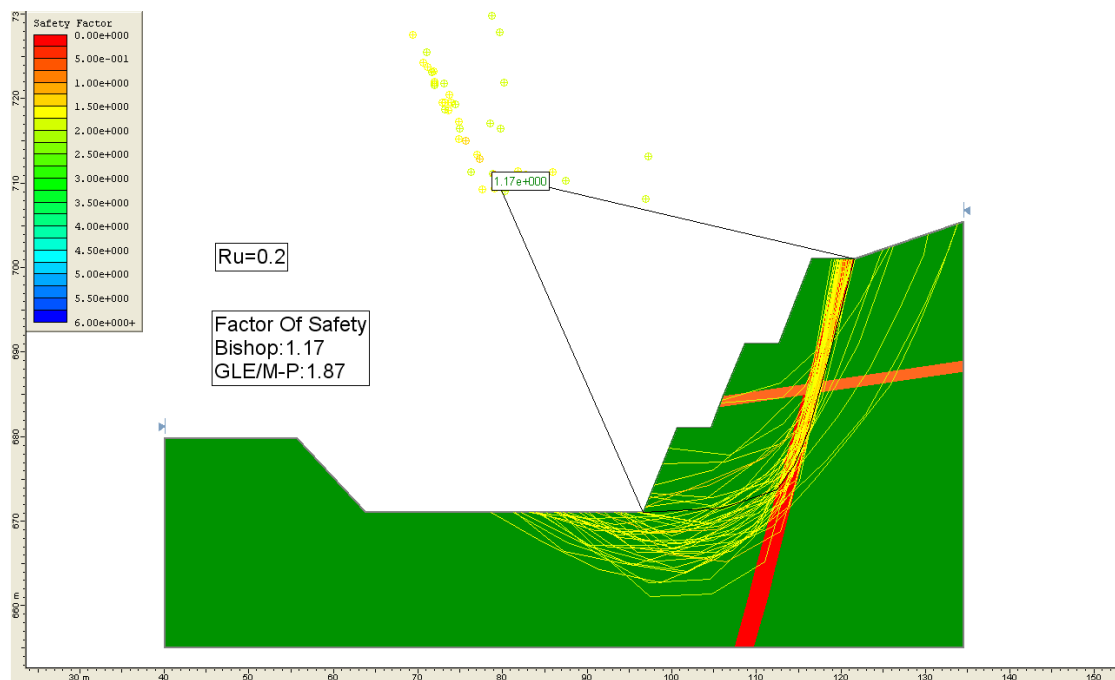
Πρανές 2, με $R_u=0$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.35	0
Morgentern-Price	2.08	0

Πίνακας 6.9. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2 με $R_u=0$

Στην ανάλυση για το Π2, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η υδατική πίεση πόρων, και με τις δύο μεθόδους το πρανές προβλέπεται να είναι ευσταθές. Οι τιμές που λήφθηκαν είναι πολύ υψηλές και επομένως σε περίπτωση έντονης βροχόπτωσης και σεισμικής δόνησης το πρανές παραμένει ευσταθές έστω και οριακά στη περίπτωση του Bishop.

Μόνο η παρακακώρυφη επιφάνεια φαίνεται να συμμετέχει σαν επιφάνεια ολίσθησης. Η τιμή με την μέθοδο του Bishop είναι αρκετά ικανοποιητική για την ευστάθεια.

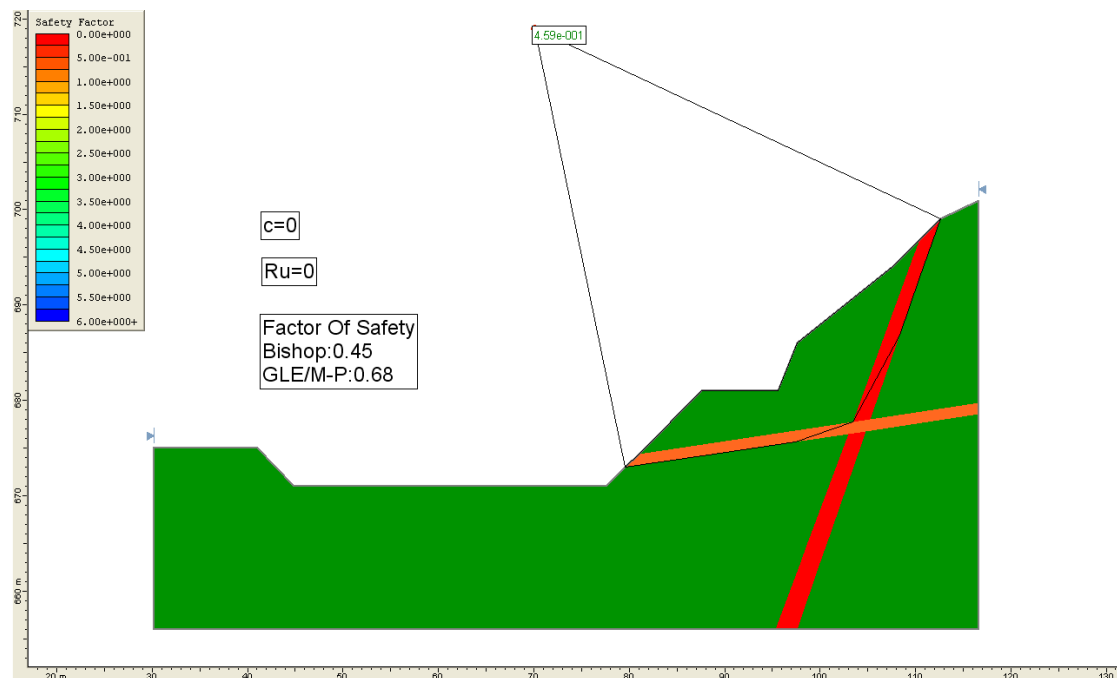
Πρανές 2, με $R_u=0.2$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.17	0.2
Morgentern-Price	1.87	0.2

Πίνακας 6.10. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2 με $R_u=0.2$

Στην ανάλυση του Π2, λαμβανομένου υπόψη και της πίεσης πόρων, και με τις δύο μεθόδους το πρανές προβλέπεται να είναι ευσταθές και στη περίπτωση του Bishop οριακά ευσταθές. Με την πίεση των πόρων, ο συντελεστής ασφάλειας στην περίπτωση του Bishop μειώθηκε κατά 0.17 και στη περίπτωση Morgentern-Price κατά 0.21.

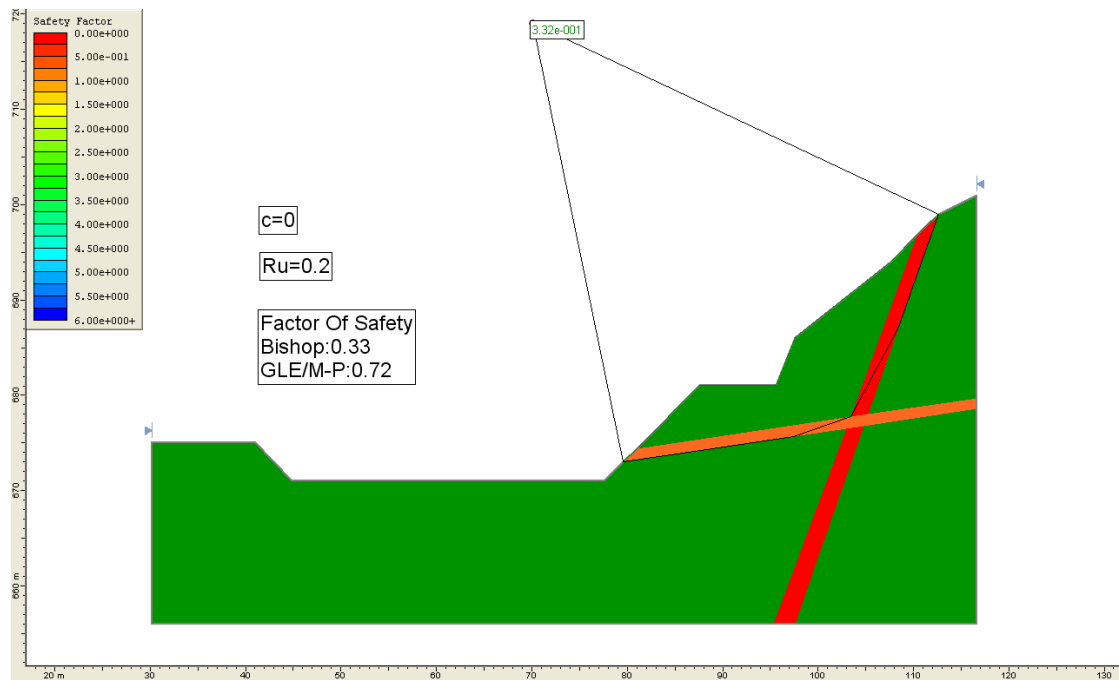
Εδώ διακρίνεται ότι και οι δύο διατμητικές ζώνες (η παραοριζόντια βέβαια σε πολύ μικρότερο βαθμό) είναι εν δυνάμει επιφάνειες ολίσθησης και ότι ο κύκλος της είναι πιο βαθύς μέσα στο πρανές σε σχέση με την προηγούμενη ανάλυση. Θα χρειαστούν οπωσδήποτε μέτρα αποστράγγισης του πρανούς καθώς με βάση τον Bishop η ευστάθεια είναι οριακή με πίεση των πόρων.

Πρανές 1 με $c=0$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	0.45	0
Morgentern-Price	0.68	0

Πίνακας 6.11. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1, με $R_u=0$ και $c=0$

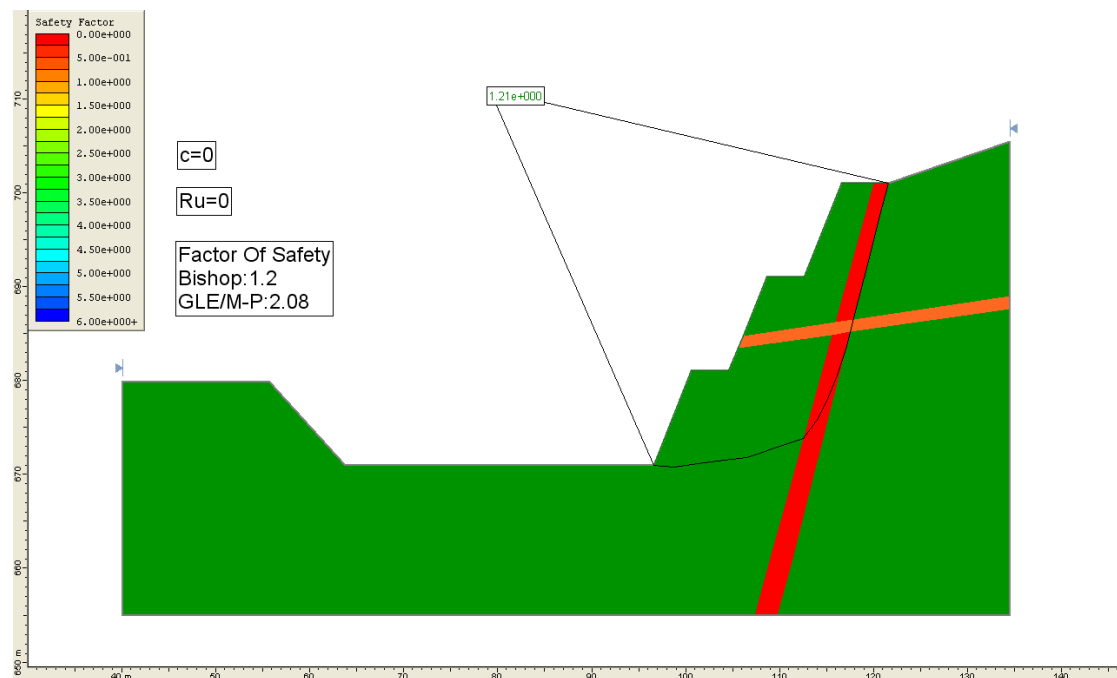
Στην ανάλυση του Π1 με την εκδήλωση της ολίσθησης, οι συντελεστές ασφάλειας που λήφθηκαν όπως ήταν φυσικό ήταν πολύ κάτω του 1 και χωρίς πίεση των πόρων. Οι τιμές που λήφθηκαν είναι 0.35 χαμηλότερα για τον Bishop και 0.18 για Morgentern-Price. Στην ουσία αυτός είναι ο συντελεστής ασφάλειας του πρανούς μετά την εκδήλωση της κατολίσθησης και ενώ το πρανές είναι στεγνό.



Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	0.33	0.2
Morgentern-Price	0.72	0.2

Πίνακας 6.12. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1, με $R_u=0.2$ και $c=0$

Στην ανάλυση του Π2 με πίεση των πόρων, παρατηρείται μια αύξηση του συντελεστή ασφάλειας που υπολογίστηκε με την μέθοδο Morgentern-Price, ενώ γενικά και με τις δύο μεθόδους ο συντελεστής είναι κάτω από ένα. Όπως τονίστηκε και προηγουμένως η αύξηση αυτή στην μία μέθοδο έχει να κάνει με την βαρύτητα που δίνει στην παράμετρο της πίεση των πόρων σε σχέση με την γωνία κλίσης του πρανούς.

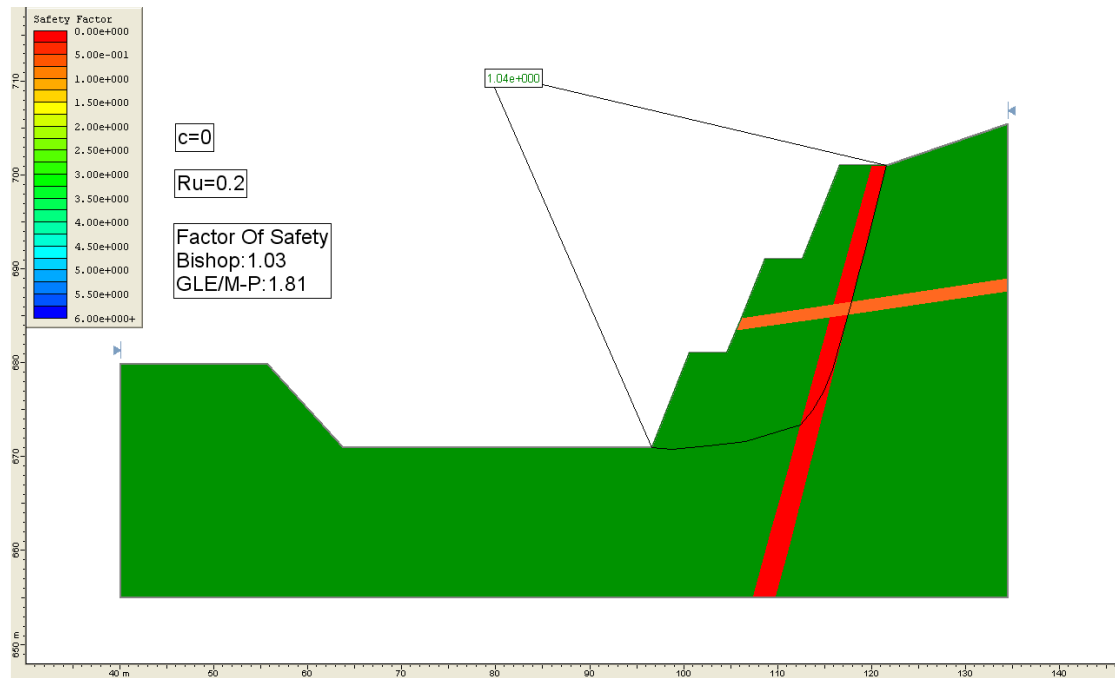
Πρανές 2 με $c=0$ 

Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.20	0
Morgentern-Price	2.08	0

Πίνακας 6.13. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2, με $R_u=0$ και $c=0$

Στην ανάλυση για το υπό διαμόρφωση Π2, σε περίπτωση υπάρχουσας αστοχίας, η ανάλυση δείχνει ότι θα υπάρχει ευστάθεια. Η τιμή που λήφθηκε με τον Bishop είναι ικανοποιητική με επιφυλάξεις για την ευστάθεια σε συνδιασμό παραγόντων όπως βροχόπτωση και σεισμική δόνηση.

Είναι φανερό από την παραπάνω εικόνα του πρανούς ότι μόνο η παρακατακόρυφη διατμητική ζώνη αποτελεί επιφάνεια ολίσθησης. Το πρανές σίγουρα θα χρειαστεί μέτρα αποστράγγισης καθώς ο συντελεστής ασφάλειας κατά Bishop είναι σχεδόν οριακός.



Μέθοδος ανάλυσης	Συντελεστής ασφάλειας (F)	Υδατική πίεση (R_u)
Bishop	1.03	0.2
Morgentern-Price	1.81	0.2

Πίνακας 6.14. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2, με $R_u=0.2$ και $c=0$

Στην περίπτωση της ανάλυσης ευστάθειας του Π2 με πίεση των πόρων, με εκδηλωμένη αστοχία, με την μέθοδο Bishop, το πρανές είναι οριακά ευσταθές ή οριακά ασταθές. Σίγουρα αυτή η τιμή του συντελεστή ασφάλειας δεν είναι αποδεκτή για το συγκεκριμένο πρανές λόγω της κατολίσθησης που έχει σημειωθεί.

Πάλι μόνο η παρακατακόρυφη επιφάνεια είναι αυτή που θα αποτελέσει επιφάνεια ολίσθησης ενώ παραοριζόντια δεν λαμβάνει μέρος στην ολίσθηση. Για να αποφευχθεί μια νέα αστοχία θα πρέπει να ληφθούν εντατικά μέτρα αποστράγγισης ίσως και διαφορετική διαμόρφωση του ορύγματος σε συνδυασμό με ισχυρά μέτρα προστασίας από την κατείσδυση νερού.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, μελετήθηκε η τεχνικογεωλογική συμπεριφορά των γνευσιακών σχηματισμών σε ορύγματα για την διέλευση αυτοκινητοδρόμων. Η μελέτη έγινε σε γνευσίους στον κάθετο άξονα 75 της Εγνατίας Οδού στην περιοχή Νυμφαία μέχρι τα Ελληνοβουλγαρικά σύνορα.

- Ο γνεύσιος είναι ένας μεταμορφωμένος γεωλογικός σχηματισμός που **μεταβάλλεται** από περιοχή σε περιοχή λόγω των αναλογιών φεμικών και σαλικών ορυκτών που περιέχει και λόγω της παρουσίας διεισδυτικών σωμάτων. Είναι ένα **σκληρό γεωυλικό** που όμως όταν υποστεί **αποσάθρωση, τεκτονική καταπόνηση μεταβάλλεται ραγδαία** η ποιότητα του με αποτέλεσμα να έχει **απρόβλεπτη τεχνικογεωλογική συμπεριφορά στα τεχνικά έργα.**
- Προκειμένου να αποδοθεί η κατάσταση-ποιότητα της βραχώμαζας με αντιπροσωπευτικές παραμέτρους πρέπει η γεωλογική πληροφορία να ποσοτικοποιηθεί. Χρησιμοποιήθηκε η **γεωτεχνική ταξινόμηση της γνευσιακής βραχώμαζας (B. Μαρίνος)** με το **σύστημα ταξινόμησης GSI.**
- Στη περιοχή μελέτης στον κάθετο άξονα 75 της Εγνατίας Οδού διαμορφώθηκαν 36 ορύγματα. Τα 28 από τα 36 ορύγματα διαμορφώθηκαν σε γνευσιακά πετρώματα και για κάθε ένα έγινε γεωτεχνική ταξινόμηση και έγινε μια προσπάθεια για την πρόβλεψη της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς της βραχώμαζας ανά τύπο βραχώμαζας και αξιολόγηση της υπάρχουσας ευστάθειας τους καθώς αυτά έχουν ήδη εκσκαφθεί.
- Ιδιαίτερη ανάλυση έγινε στην ευστάθεια του O28 του άξονα που παρουσίασε περιστροφική ολίσθηση και είναι υπό διαμόρφωση νέο όρυγμα για την επίτευξη της ευστάθειας. Στη στενή περιοχή του ορύγματος μετά από υπαίθρια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αναγνωρίστηκαν 2 διατμητικές ζώνες που αποτέλεσαν την επιφάνεια αστοχίας της κατολίσθησης. Η βραχώμαζα ανήκει στον τύπο IV (αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχώμαζα) και το GSI του κύριας μάζας του βράχου είναι 30-40. Η ανάλυση έγινε με το πρόγραμμα Slide της Rocscience με τις μεθόδους του Bishop και Morgenstern-Price. Έγινε ανάλυση αρχικά για το φυσικό ανάγλυφο που βρέθηκε ότι ήταν ευσταθές, στη συνέχεια για το όρυγμα που διαμορφώθηκε αρχικά (Πρανές 1, Π1) προκειμένου να περάσει ο άξονας, στο οποίο έγινε η κατολίσθηση που μελετήθηκε και βρέθηκε με πολύ χαμηλό συντελεστή ασφάλειας και τέλος για όρυγμα (Πρανές 2, Π2) με διαφορετικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά (πιο απότομο αλλά μέσα σε πιο ευσταθείς σχηματισμούς) που προβλέπεται να διαμορφωθεί όπου στην περίπτωση που δεν υπάρχει πίεση πόρων είναι ευσταθές ενώ στην περίπτωση που υπάρχει πίεση πόρων είναι οριακά ευσταθές.

Συγκεκριμένα τα κύρια γεωλογικά χαρακτηριστικά των γνευσίων που επηρεάζουν την ποιότητα του είναι:

ΓΝΕΥΣΙΟΣ ➡ 1. Μεταμορφωμένος σχηματισμός.

2. Διείσδυση πυριγενών-απλιτικές φλέβες.
3. Εναλλαγές αμφιβολιτών ή αμφιβολιτικών σχιστολίθων.
4. Εναλλαγές με μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους.
5. Συνήθως έντονα τεκτονισμένος (πτυχωμένος, ρωγματομένος).
6. Αποσάθρωση και δημιουργία δευτερογενών αργιλικών ορυκτών

Από τα παραπάνω κυρίαρχα γεωλογικά χαρακτηριστικά με τα οποία συναντάται ο γνεύσιος στη φύση, τα δύο πρώτα συμβάλλουν στην καλή ποιότητα του γνευσίου ενώ τα υπόλοιπα τέσσερα στη απομείωση της ποιότητας του. Συγκεκριμένα :

- Η **Μεταμόρφωση** που συμβαίνει σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας πολύ διαφορετικές και υψηλότερες από αυτές της επιφάνειας της Γης μετατρέπει τον σχηματισμό σε ένα πολύ συμπαγές πέτρωμα με μεγάλη αντοχή άρρηκτου βράχου.
- Οι **εναλλαγές αμφιβολιτών ή αμφιβολιτικών σχιστολίθων** γίνονται υπό τη μορφή λεπτών στρωμάτων. Έτσι ο σχηματισμός παρουσιάζεται με πολλές ασυνέχειες και σε περίπτωση που είναι και αποσαθρωμένος η αποσάθρωση επεκτείνεται σε μεγαλύτερη μάζα της βραχώμαζας κάνοντας της περαιτέρω ασταθή.
- Οι **εναλλαγές με μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους** δημιουργούν ασυνέχειες αδυναμίας, ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνεια ή στον περίγυρο των τεκτονικών διαρρήξεων.
- Το γεωλογικό περιβάλλον των μεταμορφωμένων πετρωμάτων της περιοχής μελέτης επιβάλλει ο σχηματισμός να έχει υποστεί πολλές φάσεις **τεκτονισμού**. Έτσι οι γνευσιακοί σχηματισμοί κατά την διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας έχουν περάσει πολλές τεκτονικές διεργασίες που έχουν αφήσει το στίγμα τους στον σχηματισμό.
- Λόγω της ορυκτολογικής σύστασης των γνευσίων, όταν **αποσαθρώνονται** δημιουργούνται δευτερογενή αργιλικά ορυκτά τα οποία βρίσκονται στις επιφάνειες των ασυνεχειών και οι επιφάνειες έτσι γίνονται ολισθηρές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση αστοχιών κατά επίπεδο που στην περίπτωση του γνευσίου είναι η φύλλωση του, οι διακλάσεις του κ.λπ, που στην περιοχή μελέτης είχαν έντονη ανάπτυξη.

Στην περιοχή μελέτης έγινε ταξινόμηση των 28 ορυγμάτων που δομούνται από γνευσίο με βάση την αποσάθρωση, τον κερματισμό, την αντοχή του άρρηκτου βράχου και την δομή της βραχόμαζας με βάση την ταξινόμηση των γνευσίων σε *περιβάλλον έντονης τεκτονικής παραμόρφωσης και αποσάθρωση* κατά Μαρίνο Β. Στον παρακάτω πίνακα σε κάθε τύπο βραχόμαζα αντιστοιχεί το όρυγμα στο οποίο εντοπίζεται ο κυρίαρχος τύπος. Οι τύποι που κυριαρχούν στην περιοχή είναι ο **II** και ο **IV**. Στην τρίτη στήλη εμφανίζεται ο τύπος αστοχίας ο οποίος κυριαρχεί ανά τύπο. Επομένως στην περιοχή οι κύριες αστοχίες που εμφανίζονται είναι **καταπτώσεις, ολισθήσεις και περιστροφικές ολισθήσεις**.

ΤΥΠΟΣ ΓΝΕΥΣΙΑΚΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΟΡΥΓΜΑΤΑ	ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα (γνεύσιοι, γρανιτογνεύσιοι, γνευσιογρανίτες)	O5, O6, O7	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O18, O19, O20, O29, O30, O34	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O17, O25, O26	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, περιστροφικές ολισθήσεις
IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O4, O13, O16, O21, O22, O27, O28, O31	Καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις
V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	O15, O23, O24, O35	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VI. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	O3, O14, O32, O36	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	-	Περιστροφικές ολισθήσεις
VIII. Διατμημένη-σχιτώδης γνευσιακή βραχόμαζα	-	Ολισθήσεις τύπου εδάφους

Πίνακας 7.1. Οι τύποι γνευσιακής βραχόμαζας που εντοπίζονται στα ορύγματα και ο τύπος αστοχίας που δίνουν

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται τα βασικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανά τύπο γνευσιακής βραχόμαζας και ο τύπος αστοχίας τον οποίο εμφανίζουν. Είναι εμφανές ότι όσο πιο κερματισμένη και αποσαθρωμένη είναι η βραχόμαζα (δηλαδή όσο ο τύπος είναι από τον IV και παρακάτω) ο τύπος αστοχίας είναι κυρίως οι περιστροφικές ολισθήσεις.

ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ				ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
	Αποσάθρωση	Κερματισμός	Αντοχή άρρηκτου βράχου	Δομή	
I. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	Υγιής	Ελαφρύς- μέτριος	Πολύ μεγάλη	Συμπαγής- πολύ σφικτή	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
II. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	Ελαφρά	Μέτριος- έντονος	Πολύ μεγάλη	Μέτρια σφικτή	Ολισθήσεις, καταπτώσεις
III. Ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	Ελαφρά	Μέτριος- έντονος	Πολύ μεγάλη	Ελαφρά ανοικτή	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, περιστροφικές ολισθήσεις
IV. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	Μέτρια	Μέτριος-πολύ έντονος	Μέτριες- υψηλές τιμές	Ανοικτή	Καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις
V. Αποσαθρωμένη σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	Μέτρια	Πολύ έντονος	Μέτριες- υψηλές τιμές	Ανοικτή	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VI. Πολυ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	Πολύ	Έντονος	Μέτρια	Πολύ ανοικτή	Ολισθήσεις, καταπτώσεις, ροές, περιστροφικές ολισθήσεις, σύνθετες μετακινήσεις
VII. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα	Πλήρως	Έχνη κερματισμένων ν δομών	Χαμηλή	Έντονα διαταραγμένη - στρωματώδης	Περιστροφικές ολισθήσεις
VIII. Διατμημένη- σχιστώδης γνευσιακή βραχόμαζα	Διατμημένη	Διατμημένη	Πολύ χαμηλή	-	Ολισθήσεις τύπου εδάφους

Πίνακας 7.2 . Τα βασικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανά τύπο βραχόμαζας και ο τύπος αστοχίας που δίνουν.

Η ανάλυση της ευστάθειας του O28 έδειξε την σημασία της γεωλογικής πληροφορίας για την ευστάθεια των ορυγμάτων σε έργα ανοιχτής οδοποιας. Η ύπαρξη των ρηγμάτων (διατμητικές ζώνες), η γεωμετρία τους στον χώρο καθώς η κινηματική τους (αν είναι ενεργά ή όχι) είναι πληροφορίες που καθορίζουν στην ουσία την ευστάθεια του πρανούς. Ο παρακάτω συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων των αναλύσεων ευστάθειας δείχνει τα εξής :

- Το φυσικό ανάγλυφο παρουσιάζεται ευσταθές και με πίεση των πόρων και χωρίς.
- Το Π1 όπως διαμορφώθηκε από τη μελέτη είναι ασταθές σε όλες τις περιπτώσεις με αποτέλεσμα να εκδηλωθεί η περιστροφική κατολίσθηση. Οι διατμητικές ζώνες που εντοπίστηκαν κατά την υπαίθρια έρευνα αποτέλεσαν και οι δύο επιφάνειες ολίσθησης σε συδιασμό με S-επίπεδα σχιστότητας.
- Το Π2 παρουσιάζεται οριακά ευσταθές στην περίπτωση που υπάρχει η πίεση των πόρων με αποτέλεσμα να χρειάζεται έντονη προστασία από το νερό κατείσδυσης ή διαφορετική διαμόρφωση του πρανούς.
- Στις αναλύσεις με μηδενική συνοχή ($c=0$) στις ζώνες διάτμησης, δηλαδή σε κατάσταση όπου έχει εκδηλωθεί ήδη η αστοχία σε όλες τις περιπτώσεις του Π1 ο συντελεστής ασφάλειας είναι κάτω από μηδέν και το πρανές είναι ασταθές. Στην ουσία αυτό δείχνει ότι επιβάλλεται μια νέα διαμόρφωση του πρανούς για να είναι ευσταθές.
- Στην περίπτωση του Π2 με συνοχή μηδενική στις διατμητικές ζώνες οι τιμές που λαμβάνονται είναι υψηλές, το πρανές είναι ευσταθές με την νέα κλίση που σχεδιάζεται να αποκτήσει, παρόλη την κατολίσθηση που έχει υποστεί. Μόνο στην περίπτωση του Bishop με πίεση πόρων η τιμή του συντελεστή ασφάλειας είναι οριακή (1.03) γεγονός που υποδεικνύει την λήψη πολύ δραστικών μέτρων προστασίας από την κατείσδυση νερών από τις βροχοπτώσεις ή την αλλαγή της διαμόρφωσης του πρανούς. Η αντίστοιχη όμως τιμή του συντελεστή ασφάλειας κατά Morgenstern-Price στην περίπτωση πίεσης πόρων δίνει πολύ υψηλή τιμή (1.81), γεγονός που καθιστά τη λήψη μέτρων προστασίας ως προτεινόμενη λύση.

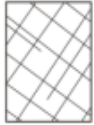
ΠΡΑΝΕΣ	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	R _u	F(Factor Of Safety)
Φυσικό ανάγλυφο	Bishop	0	1.68
	Bishop	0.2	1.47
	Morgentern- Price	0	2.13
	Morgentern- Price	0.2	1.96
Πρανές 1	Bishop	0	0.80
	Bishop	0.2	0.67
	Morgentern- Price	0	0.86
	Morgentern- Price	0.2	1.51
Πρανές 2	Bishop	0	1.35
	Bishop	0.2	1.17
	Morgentern- Price	0	2.08
	Morgentern- Price	0.2	1.87
Πρανές 1, c=0	Bishop	0	0.45
	Bishop	0.2	0.33
	Morgentern- Price	0	0.68
	Morgentern- Price	0.2	0.72
Πρανές 2, c=0	Bishop	0	1.20
	Bishop	0.2	1.03
	Morgentern- Price	0	2.08
	Morgentern- Price	0.2	1.81

Πίνακας 7.3. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών του συντελεστή ασφάλειας της ανάλυσης ευστάθειας.

Στον παρακάτω πίνακα τοποθετήθηκαν τα ορύγματα της περιοχής μελέτης, ο τύπος βραχώμαζας στον οποίο ανήκουν και το GSI που δίνεται σε κάθε ένα από αυτά. Το GSI δόθηκε με βάση τις φωτογραφίες που ήταν διαθέσιμες από άλλες μελέτες και από την επίσκεψη στην περιοχή. Από αυτό τον πίνακα προκύπτει ότι η συχνότερη τιμή είναι από 40 μέχρι 50.

ΟΡΥΓΜΑ	ΤΥΠΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	GSI
O5 O6 O7	I	70-80
O25	I	75-80
O29	II	45-50
O5 O6 O7	II	50-60
O25	III	40-50
O15	III	45-50
O22	IV	30-40
O18 O19 O20	IV	35-40
O28	IV	30-40
O23 O24	V	20-30
O27	V	25-30
O3	VI	10-15
O14	VI	10-15
O33	VII	=<10

Πίνακας 7.4. Τιμές GSI και τύπος βραχώμαζας για τις τυπικές μορφές που εντοπίστηκαν στα ορύγματα της περιοχής μελέτης.

ΔΕΙΚΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ (GSI) (Ε. Hoek, Π. Marinos, 2000)		ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ					
Βασίζομενοι στην περιγραφή της λιθολογικής σύστασης, της δομής και της ποιότητας των ασυνεχειών της βραχώδους εκτίμηστε τη μέση τιμή του GSI από τις κομπύλες. 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 αστάθεις που ελέγχονται από συγκεκριμένες ασυνεχείες όταν οι ασθενείς επίπεδες επιφάνειες (όπως διατμημένα επίπεδα στρώσης) έχουν δυσμενή προσανατολισμό σε σχέση με την εκσκαφή. Τότε αυτές καθορίζουν την συμπεριφορά της βραχώδους. 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, πτωχής και πολύ πτωχής κατάστασης ασυνεχειών. Η πίεση του νερού δεν μεταβάλλει την τιμή του GSI και λαμβάνεται υπόψη με την ανάλυση ενεργών τάσεων στους υπολογισμούς.		ΠΟΛΥ ΚΑΛΗ Πολύ τραχιές, υγρές, μη αποσπασθαιμένες επιφάνειες	ΚΑΛΗ Τραχιές, ελαφρά αποσπασθαιμένες και οξειδωμένες επιφάνειες	ΜΕΤΡΙΑ Λείες, μετρίως αποσπασθαιμένες και εξαλλοιωμένες επιφάνειες	ΠΤΩΧΗ Πολύ λείες, κατά περίπτωση ολισθηρές επιφάνειες με συμπληγή επιφλοιώματα ή υλικό πλήρωσης με γωνιώδη θραύσματα	ΠΟΛΥ ΠΤΩΧΗ Πολύ ολισθηρές επιφάνειες ή πολύ αποσπασθαιμένες με μολακό αργιλικό υλικό πλήρωσης ή επιφλοιώσης	
ΔΟΜΗ		ΜΕΙΟΥΜΕΝΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ →					
	ΑΡΡΗΚΤΗ Άρρηκτα βραχώδη τεμάχια ή άστρωτος βράχος με λίγες ασυνεχείες σε μεγάλη απόσταση	90				N/A	N/A
	ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ/ ΑΔΙΑΤΑΡΑΚΤΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ Αδιατάρακτη βραχώδης με πολύ καλό αλληλοκλείδωμα που αποτελείται από κυβικά τεμάχια οριζόμενα από τρεις ορθογώνια τεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών	80	70				
	ΠΟΛΥ ΤΕΜΑΧΩΔΗΣ Μερικώς διαταραγμένη βραχώδης με πολύπλευρα γωνιώδη τεμάχια (blocks) που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες οικογένειες ασυνεχειών		60	50			
	ΔΙΑΤΑΡΑΓΜΕΝΗ-ΣΤΡΩΜΑΤΩΔΗΣ/ΠΤΥΧΩΜΕΝΗ Πτυχωμένη με γωνιώδη τεμάχια που σχηματίζονται από αλληλοτεμνόμενες οικογένειες ασυνεχειών. Έμμονη στρώση ή σχιστότητα			40	30		
	ΑΠΟΔΙΟΡΓΑΝΩΜΕΝΗ Ισχυρά κερματισμένη βραχώδης με πτωχά αλληλοκλείδωμα και με ταυτόχρονη παρουσία γωνιώδων και αποστραγγυλωμένων τεμαχίων				20		
	ΦΥΛΛΩΔΗΣ/ ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΗ Φυλλώδης ή σχιστοποιημένη και τεκτονικώς διατμημένη ασθενής βραχώδης. Η φύλλωση επικρατεί έναντι οποιαδήποτε άλλης οικογένειας ασυνεχειών εμποδίζοντας την δημιουργία γωνιώδων τεμαχίων (η κλίμακα σε αυτό το εικονίδιο δεν συγκρίνεται με αυτή των άλλων εικονιδίων)	N/A	N/A				10

Πίνακας 7.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI που εντοπίστηκαν στην περιοχή. Οι μπλέ σφαίρες συμβολίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξένη Βιβλιογραφία

- Hoek Evert, Jonathan D.Bray (1974). Rock Slope Engineering
- Gian Paolo Giani (1992) . Rock Slope Stability Analysis
- Marinos, P., Marinos, V., and Hoek, E. (2004) The geological strength index :Applications and limitations
- Barton N.R., Lien R. and Lunde J. (1974). Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.
- Bienawski Z.T.(1989).Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley, New York

Ελληνική Βιβλιογραφία

- Βουγιούκα, Ε. (2011). Διπλωματική Εργασία. Εκτίμηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς του φλύσχη στα υπόγεια έργα. Η εμπειρία κατασκευής σηράγγων της Εγνατίας Οδού στην ΒΔ Ελλάδα.
- Δημητριάδης Σαράντης (1988). Εισαγωγή στη Πετρολογία Μεταμορφωμένων Πετρωμάτων
- Δημόπουλος Γεώργιος (2008). Τεχνική Γεωλογία
- Κούκης Χρ. Γεώργιος, Σαμπατάκης Στ. Νικόλαος (2007) . Γεωλογία Τεχνικών Έργων
- Μαρίνος Β.Π (2007). Διδακτορική Διατριβή Β.Π Γεωτεχνική ταξινόμηση και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά ασθενών και σύνθετων γεωυλικών κατά τη διάνοιξη σηράγγων
- Μουντράκης Μ. Δημοσθένης (2010) . Γεωλογία και Γεωτεκτονική Εξέλιξη της Ελλάδας
- Σαουνάτσου, Ε. (2007). Διπλωματική Εργασία. Ανάλυση επί των τεχνικογεωλογικών ιδιοτήτων για την ευστάθεια στομίων των σχηματισμών φλύσχη-μαλάσσας-οφιολίθων

Τεχνικές εκθέσεις

- ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε (2006). GEOPLAN. Κάθετος άξονας 75 «Κομοτηνή-Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών έργων και γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης τεχνικών.
- ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε (2006).GEOSTATIKI. Κάθετος άξονας 75 «Κομοτηνή-Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών έργων και γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης τεχνικών.
- ΕΓΝΑΤΙΑ ΟΔΟΣ Α.Ε (2006). Δημαράς Κ. Μελετητικό Γραφείο Γεωλογικών και Υδρογεωλογικών Μελετών και Ερευνών. Κάθετος άξονας 75 «Κομοτηνή-Νυμφαία-Ελληνοβουλγαρικά σύνορα». Γεωτεχνική μελέτη χωματουργικών έργων και γεωτεχνική μελέτη θεμελίωσης τεχνικών. Οριστική Μελέτη.

Διαδικτυακοί τόποι

- www.egnatia.gr
- www.rocsience.com
- <http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg881e/>

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτογραφία . Σήραγγα Νυμφαίας (αρχή του άξονα 75).



Φωτογραφία . Σήραγγα Νυμφαίας (αρχή του άξονα 75). Στο αριστερό πρानές αντιμετωπίστηκαν προβλήματα ευστάθειας.



Φωτογραφία . Υγιής γνευσιακή βραχώμαζα (δεξιά) και διαμτημένη γνευσιακή βραχώμαζα (αριστερά).



Φωτογραφία . Ροή κορημάτων



Φωτογραφία . Ροή κορημάτων



Φωτογραφία . Ολίσθηση γαιωδών



Φωτογραφία . Ζαρζανέτια του επιχώματος 34



Φωτογραφία . Διακρίνονται από δεξιά προς αριστερά το Ο27, Ο28, Ο29, Ο30 και η σήραγγα Φρουρού.



Φωτογραφία . Θραύση της τάφρου παροχέτευσης στο O28.



Φωτογραφία . Γεωυφάσματα τύπου GEOMAT που τοποθετήθηκαν πριν την κατολίσθηση στο O28.



Φωτογραφία . Κερματισμός της τάφρου αποστράγγισης στο Ο28.



Φωτογραφία . Πλαγιο-οριζόντια μετατόπιση ενός τμήματος της τάφρου αποστράγγισης λόγω της ολίσθησης.



Φωτογραφία . Η δεξιά άποψη του αμφίπλευρου Ο28. Πάνω αριστερά διακρίνεται το φρύδι της κατολίσθησης που δημιουργήθηκε από την δεύτερη αστοχία του το 2012.



Φωτογραφία . Η επιφάνεια του ρήγματος (παραοριζόντια ζώνη διάτμησης) διεύθυνσης Α-Δ που βρίσκεται πλευρικά της μάζας της κατολίσθησης.



Φωτογραφία . Το φρύδι της κατολίσθησης του O28.



Φωτογραφία . Το φρύδι της κατολίσθησης του O28.



Φωτογραφία . Η μετατόπιση που προκλήθηκε από την ολίσθηση στο Ο28. Η επιφάνεια αυτή αποτελεί επιφάνεια ρήγματος διεύθυνσης Α-Δ (παραιοριζόντια ζώνη διάτμησης). Έχει GSI=5-7 και αντοχή άρρηκτου βράχου 5 Μpa.



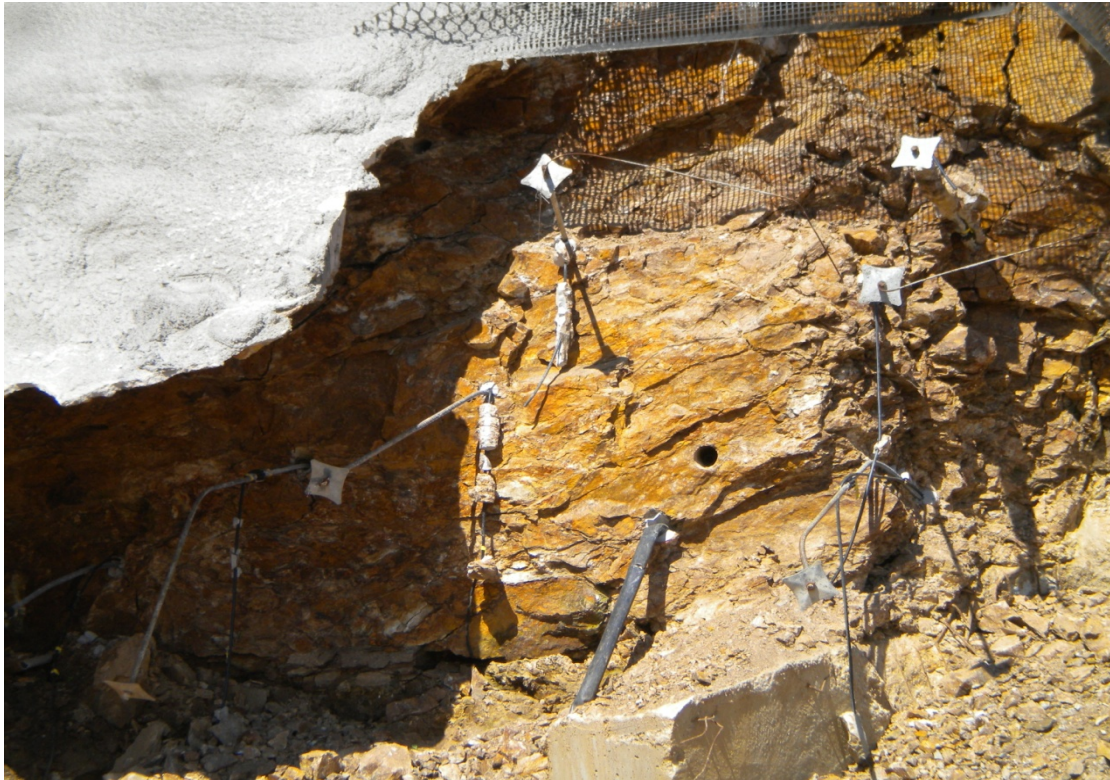
Φωτογραφία . Η αριστερή άποψη του Ο28. Διακρίνονται οι θραύσεις των αναβαθμών (με τα φρέατα) και των τσιμέντινων δοκαριών.



Φωτογραφία . Η αριστερή άποψη του Ο28. Διακρίνονται οι θραύσεις των αναβαθμών (με τα φρέατα) και των τσιμέντινων δοκαριών.



Φωτογραφία . Τα αγκύρια που είχαν τοποθετηθεί προ της κατολίσθησης έχουν διαρρεύσει.



Φωτογραφία . Τα αγκύρια που είχαν τοποθετηθεί προ της κατολίσθησης έχουν διαρρεύσει.



Φωτογραφία . Καταστροφή των τσιμέντινων δοκαριών στο Ο28.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι ΠΙΝΑΚΩΝ

	σελ.
Πίνακας 2.1. Χάρτης ζωνοποίησης κατολισθήσεων στην Ελλάδα	3
Πίνακας 2.2. Ενδεικτικές τιμές συντελεστών ασφάλειας με βάση τις οδηγίες	28
Πίνακας 2.3. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή	42
Πίνακας 2.4. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης	42
Πίνακας 2.5. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση την αντοχή	43
Πίνακας 2.6. Συσχέτιση ποιότητας πετρώματος με δείκτη ποιότητας RQD	45
Πίνακας 2.7. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση την μεταξύ τους απόσταση	46
Πίνακας 2.8. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση την εμμόνη	46
Πίνακας 2.9. Υπολογισμός του συντελεστή JRC με βάση τα προφίλ τραχύτητας	47
Πίνακας 2.10. Χαρακτηρισμός των ασυνεχειών με βάση το άνοιγμα	47
Πίνακας 2.11. Τιμή του δείκτη R1 (κατά RMR)	49
Πίνακας 2.12. Τιμή του δείκτη R2 (κατά RMR)	49
Πίνακας 2.13. Τιμή του δείκτη R3(κατά RMR)	50
Πίνακας 2.14. Τιμή του δείκτη R4 (κατά RMR)	50
Πίνακας 2.15. Τιμή του δείκτη R5 (κατά RMR)	50
Πίνακας 2.16. Τιμή του δείκτη R6 (κατά RMR)	51
Πίνακας 2.17. Κατάταξη βραχώμαζας ανάλογα με την τελική τιμή του δείκτη RMR	51
Πίνακας 2.18. Ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά το σύστημα GSI	53
Πίνακας 2.19. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για περιπτώσεις προβολής πληροφοριών από παρατηρήσεις επιφανειακών εμφανίσεων στο βάθος	55
Πίνακας 2.20. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για περιπτώσεις παρουσίας νερού	56

Πίνακας 2.21. Προτεινόμενη διόρθωση του GSI για αποσαθρωμένες βραχόμαζες	57
Πίνακας 2.22. Νέο σύστημα ταξινόμησης GSI για γνεύσιο	59
Πίνακας 2.23 Τιμές της σταθεράς m_i	64
Πίνακας 2.24. Εκτίμηση του λόγου Poisson με βάση τα χαρακτηριστικά της βραχόμαζας	67
Πίνακας 2.15 Υπολογισμός των παραμέτρων αντοχής (c, ϕ) της βραχόμαζας μέσω του λογισμικού Roclab.	68
Πίνακας 3.1. Κατηγορίες πετρωμάτων με βάση το βαθμό αποσάθρωσης	72
Πίνακας 4.1. Ταξινόμηση γνευσιακής βραχόμαζας	81
Πίνακας 4.2. Όρυγμα O3	90
Πίνακας 4.3. Όρυγματα O5, O6, O7	91
Πίνακας 4.4. Όρυγμα O14	92
Πίνακας 4.5. Όρυγμα O15	93
Πίνακας 4.6. Όρυγματα O18, O19, O20	94
Πίνακας 4.7. Όρυγμα O21	95
Πίνακας 4.8. Όρυγμα O22	95
Πίνακας 4.9. Όρυγματα O23 και O24	96
Πίνακας 4.10. Όρυγμα O25	97
Πίνακας 4.11. Όρυγμα O27	97
Πίνακας 4.12. Όρυγμα 28	98
Πίνακας 4.13. Όρυγμα 29	98
Πίνακας 4.14. Όρυγμα O31	99

Πίνακας 4.15. Ορύγμα 32	100
Πίνακας 4.16. Οι τύποι βραχόμαζας που κυριαρχούν στα ορύγματα.	102
Πίνακας 5.1. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου Ι και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	113
Πίνακας 5.2. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου ΙΙ και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	105
Πίνακας 5.3. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου ΙΙΙ και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	116
Πίνακας 5.4. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου ΙV και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	118
Πίνακας 5.5. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου V και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	119
Πίνακας 5.6. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου VI και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	121
Πίνακας 5.7. Ορύγματα με βραχόμαζα τύπου VII και τεχνικογεωλογική συμπεριφορά	121
Πίνακας 5.8. Τύπος βραχόμαζας, τα ορύγματα στα οποία εντοπίστηκε και ο τύπος αστοχίας που παρουσιάζουν	122
Πίνακας 6.1. Στοιχεία γεώτρησης ΓΝ19Α	125
Πίνακας 6.2 Τα επίπεδα ασυνέχειας κατ τα στοιχεία προσανατολισμού τους στη βραχόμαζα του Ο28.	126
Πίνακας 6.3. Το GSI του Ο28	126
Πίνακας 6.4. Τα τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών του ορύγματος Ο28, όπως λήφθηκαν από το πρόγραμμα Roclab της RocScience.	132
Πίνακας 6.5. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το φυσικό ανάγλυφο με $R_u=0$	133
Πίνακας 6.6. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το φυσικό ανάγλυφο με $R_u=0.2$	134
Πίνακας 6.7. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1 με $R_u=0$	135
Πίνακας 6.8. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1 με $R_u=0.2$	136
Πίνακας 6.9. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2 με $R_u=0$	137
Πίνακας 6.10. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2 με $R_u=0.2$	138

Πίνακας 6.11. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1, με $R_u=0$ και $c=0$	139
Πίνακας 6.12. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 1, με $R_u=0.2$ και $c=0$	140
Πίνακας 6.13. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2, με $R_u=0$ και $c=0$	141
Πίνακας 6.14. Αποτελέσματα συντελεστή ασφάλειας για το πρανές 2, με $R_u=0.2$ και $c=0$	142
Πίνακας 7.1. Οι τύποι γενεσιακής βραχόμαζας που εντοπίζονται στα ορύγματα και ο τύπος αστοχίας που δίνουν	145
Πίνακας 7.2 . Τα βασικά τεχνικογεωλογικά χαρακτηριστικά ανά τύπο βραχόμαζας και ο τύπος αστοχίας που δίνουν	146
Πίνακας 7.3. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών του συντελεστή ασφάλειας της ανάλυσης ευστάθειας.	148
Πίνακας 7.4. Τιμές GSI και τύπος βραχόμαζας για τις τυπικές μορφές που εντοπίστηκαν στα ορύγματα της περιοχής μελέτης.	149
Πίνακας 7.5. Συγκεντρωτικός πίνακας των τιμών GSI που εντοπίστηκαν στην περιοχή. Οι μπλέ σφαίρες συμβολίζουν τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.	150

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

	σελ.
Σχήμα 2.1.(α) Πτώση βράχου και (β) ανατροπή βράχου	5
Σχήμα 2.2. Περιστροφική ολίσθηση βράχου	6
Σχήμα 2.3. Εξαπλώσεις βράχου	6
Σχήμα 2.4. Ροή ξηρής άμμου	6
Σχήμα 2.5. Καταπτώσεις βράχων	7
Σχήμα 2.6. (α) Ανατροπή τεμαχών λόγω κάμψης και (β) ανατροπή τεμαχών	8
Σχήμα 2.7. Περιστροφική ολίσθηση	9
Σχήμα 2.8. Μεταθετικές κινήσεις	10
Σχήμα 2.9.(1) Θραύση σε ομοιογενή υλικά (2) Θραύση σε ετερογενή υλικά	11
Σχήμα 2.10. Γρήγορη πλευρική εξάπλωση αργίλου που υπέρκειται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος	12
Σχήμα 2.11. Βαρυτικός ερπυσμός	13
Σχήμα 2.12. Ροή κορημάτων	14
Σχήμα 2.13. Ροή γαιών	14
Σχήμα 2.14. Περιστροφική ολίσθηση- ανατροπές	15
Σχήμα 2.15. Παράγοντες που συμβάλλουν στην χαμηλή διατμητική αντοχή	17
Σχήμα 2.16. (α) Τάφρος παροχέτευσης και (β) εγκάρσια στραγγιστήρια	20
Σχήμα 2.17. Επιφανειακή αποστράγγιση πρανούς με εγκάρσιο στραγγιστήριο και τάφρους παροχέτευση	21
Σχήμα 2.18. Βασικοί τύποι τοίχων αντιστήριξης	23
Σχήμα 2.19. Μέθοδοι ενίσχυσης βραχώδους πρανούς	26
Σχήμα 2.20. Ανάλυση ευστάθειας πρανούς με επιφάνεια ολίσθησης παράλληλη στην επιφάνεια του εδάφους.	29
Σχήμα 2.21. Επίδραση δυνάμεων σε πρανές με επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης	29
Σχήμα 2.22. Κατανομή των τάσεων που εξασκούνται σε εδαφική μάζα με κυκλική επιφάνεια ολίσθησης	30

Σχήμα 2.23. Μέθοδος των λωρίδων. Πάνω αριστερά υποδιαίρεση ολισθαίνουσας μάζας σε λωρίδες και κάτω δεξιά, οι δυνάμεις που επιδρούν σε μια λωρίδα	31
Σχήμα 2.24. Επίδραση δυνάμεων στην αρχική μέθοδο των λωρίδων	32
Σχήμα 2.25 . Βασικοί τύποι βραχώδων πρανών και διαγράμματα επεξεργασίας πόλων.	35
Σχήμα 2.26. Απεικόνιση της αστάθειας βραχώδους πρανούς σε επίπεδη ολίσθηση με εφελκυστική ρωγμή	37
Σχήμα 2.27. Γεωμετρία πρανούς με εφελκυστική ρωγμή πάνω στη στέψη	38
Σχήμα 2.28. Απεικόνιση αστάθειας βραχώδους πρανούς σε σφηνοειδή ολίσθηση	39
Σχήμα 2.29. Γεωμετρία σφηνοειδούς ολίσθησης που λαμβάνει υπόψη τη διατμητική αντοχή των ασυνεχειών και τις υδροστατικές πιέσεις στις επιφάνειες ολίσθησης	40
Σχήμα 2.30 . Διαδικασία υπολογισμού RQD	44
Σχήμα 2.31. Πρωτογενείς γεωμετρικές ιδιότητες ασυνεχειών	47
Σχήμα 2.32. Γραφική απεικόνιση και εξίσωση κριτηρίου Mohr-Coulomb	61
Σχήμα 2.33. Διατμητική τάση	61
Σχήμα 2.34. Περιβάλλουσα Hoek-Brown	65
Σχήμα 2.35. Υπολογισμός μέτρου ελαστικότητας της βραχώμαζας	66
Σχήμα 2.36. Σύγκριση κριτηρίου Mohr-Coulomb & Hoek-Brown	69
Σχήμα 3.1 . Γεωτεκτονικές ζώνες της Ελλάδας	72
Σχήμα 3.2. Η γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης	74
Σχήμα 3.3. Γεωμορφολογία της περιοχής μελέτης	74
Σχήμα 5.1. Τύποι κατολίσθησης. Πάνω αριστερά ολισθήσεις μεταθετικές και περιστροφικές, πάνω δεξιά ροές και κάτω σύνθετες μετακινήσεις.	103
Σχήμα 6.1 Εφαρμογή του προγράμματος Roclab της RocScience για τις ζώνες διάτμησης	131
Σχήμα 6.2. Εφαρμογή του προγράμματος Roclab της RocScience για τον γενέσιο.	132

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ

σελ.

Φωτογραφία 2.1. Κατολίσθηση στην Εθνική Οδό Τριπόλεως-Αρχαίας Ολυμπίας	3
Φωτογραφία 4.1. Τυπική μορφή υγιούς γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=70-80	82
Φωτογραφία 4.2. Τύπος ΙΙ γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=50-60	83
Φωτογραφία 4.3. Τύπος ΙΙΙ γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=45-60	84
Φωτογραφία 4.4. Τύπος ΙV γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=30-40	85
Φωτογραφία 4.5. Τύπος V γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=25-40	86
Φωτογραφία 4.6. Τύπος VI γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=20-30	87
Φωτογραφία 4.7. Τύπος VII γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης. GSI=10-20	88
Φωτογραφία 4.8. Τύπος VIII γνευσιακής βραχόμαζας στην περιοχή μελέτης (στο κέντρο). Ζώνη διάτμησης.	89
Φωτογραφία 4.9. Πανοραμική άποψη της περιοχής των ορυγμάτων Ο16 μέχρι Ο20 96	
Φωτογραφία 4.10. Πανοραμική άποψη των Ο23 μέχρι Φωτογραφία	100
Φωτογραφία 5.1. Μη αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα στη περιοχή μελέτης. GSI=70-80	104
Φωτογραφία 5.2. Ελαφρώς αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=50-60	105
Φωτογραφία 5.3. Σφηνοειδής αστοχία σε ελαφρώς αποσαθρωμένη σχιστώδη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=45-60	106

Φωτογραφία 5.4. Αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=30-40	107
Φωτογραφία 5.5. Σφηνοειδείς αστοχίες σε αποσαθρωμένη σχιστώδη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=25-40	108
Φωτογραφία 5.6. Πολύ αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. GSI=20-30	109
Φωτογραφία 5.7. Πλήρως αποσαθρωμένη γνευσιακή βραχόμαζα της περιοχής μελέτης. Διακρίνεται κατάπτωση ενός δενδριλίου από την κορυφή του πρανούς. GSI=10-20	110
Φωτογραφία 5.8. Ζώνη διάτμησης GSI=<10	111
Φωτογραφία 6.1. Διακρίνονται τα O28, O29, O30 και η σήραγγα του Φρουρού από δεξιά προς αριστερά της φωτογραφίας	123
Φωτογραφία 6.2. Μετά την κατολίσθηση του 2010	127
Φωτογραφία 6.3. Μετά την κατολίσθηση του 2012	127
Φωτογραφία 6.4. Πλευρική ρωγμή κοντά στη κορυφή της κατολίσθησης το 2010	128
Φωτογραφία 6.5. Η επιφάνεια του ρήγματος όπως αποκαλύφθηκε μετά την κατολίσθηση του 2012	128
Φωτογραφία 6.6. Διακρίνονται οι εγκάρσιες ως προς το πρανές ρωγματώσεις	130
Φωτογραφία 6.7. Η επιφάνεια του ρήγματος διεύθυνσης Α-Δ. Η επιφάνεια παρουσιάζεται τραχεία στη υφή αλλά με γενικά σταθερή μεγάλη γωνία κλίσης (50°-60°). Το υλικό φαίνεται ότι είναι ένας κατακλαστίτης που δημιουργήθηκε από την δράση του ρήγματος	130