



Αριστοτέλειο
Πανεπιστήμιο
Θεσσαλονίκης
Τμήμα Γεωλογίας –
Τομέας Εφαρμοσμένης
Γεωλογίας

Πτυχιακή εργασία με θέμα τις κατολισθήσεις – καταπτώσεις βράχων στην περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών

Χρυσούλη Δήμητρα

AEM: 4507

Υπεύθυνος καθηγητής: Βασίλειος Χρηστάρας

Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2013

Πτυχιακή εργασία με θέμα τις
κατολισθήσεις – καταπτώσεις βράχων στην
περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών

Χρυσούλη Δήμητρα

AEM: 4507

Υπεύθυνος καθηγητής: Βασίλειος Χρηστάρας

Τομέας Εφαρμοσμένης Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας
Θεσσαλονίκη, Νοέμβριος 2013

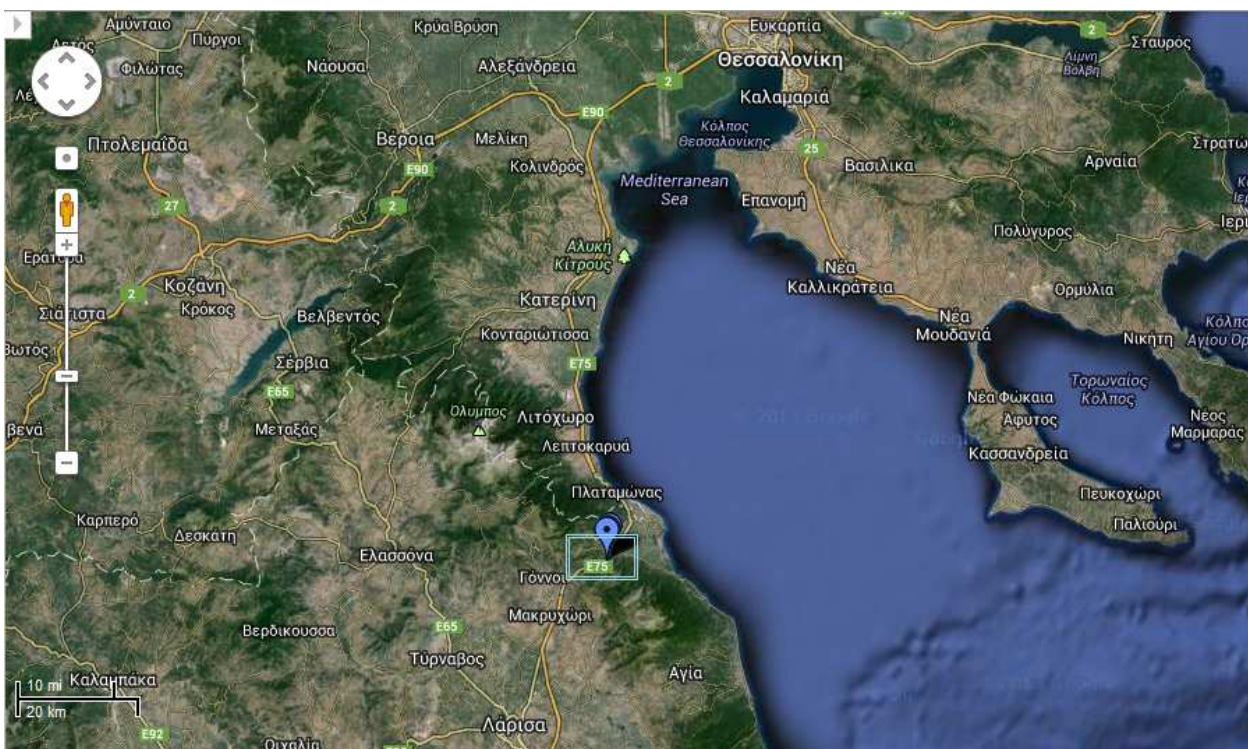
Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1 Γενικά στοιχεία	3
1.2 Ευρύτερη Περιοχή μελέτης	4
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	7
2.1 Γεωμορφολογία περιοχής	7
2.2 Στρωματογραφικά στοιχεία	7
2.3 Τεκτονική Τεμπών	10
2.4 Υδρογεωλογία	13
2.5 Σεισμικά δεδομένα	13
3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	15
3.1 Γενικές Παρατηρήσεις - Περιγραφή διαδικασίας	15
3.2 Ταξινόμηση κατά Bieniawsky – Romana	16
3.3 Ανάλυση μηχανισμών ευστάθειας	17
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39
5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41
6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	43

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά Στοιχεία

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται κατά μήκος του άξονα της Εθνικής Οδού Θεσσαλονίκης – Αθηνών στην περιοχή των Τεμπών. Η μελέτη έγινε στο τμήμα Χ.Θ.116+474m – Χ.Θ.117+488m στην Εθνική Οδό Θεσσαλονίκης – Αθηνών.



Εικόνα 1. Περιοχή Τεμπών

Στόχος είναι η διερεύνηση της ευστάθειας των πρανών κατά μήκος του δρόμου και η πιθανότητα κατολισθήσεων.

Στην περιοχή έγινε καταγραφή των τεχνικογεωλογικών χαρακτηριστικών της βραχόμαζας καθώς και της ποιότητάς της. Επιπλέον, έγινε καταγραφή, επεξεργασία και αξιολόγηση των τεκτονικών στοιχείων της βραχόμαζας (διακλάσεις, ρήγματα) κατά μήκος του πρανούς και προβολή τους σε δίκτυο Schmidt. Έγινε καταγραφή των επιφανειών ασυνέχειας και εντοπίστηκαν οι πιθανές βραχοσφήνες ή πιθανές επιφάνειες ολίσθησης και υπολογίστηκε ο συντελεστής ασφαλείας F της βραχόμαζας. Ακόμα, αναφέρονται οι μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων και παρουσιάζεται η ταξινόμηση της βραχόμαζας κατά RMR (Bieniawsky, 1989). Τέλος παραθέτονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διάφορα αυτά στάδια.

1.2 Ευρύτερη Περιοχή Μελέτης

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης βρίσκεται στην Ανατολική Θεσσαλία μεταξύ των ορεινών όγκων του Ολύμπου στα βόρεια και της Όσσας στα νότια κατά μήκος του Πηνειού ποταμού και γεωλογικά τοποθετείται στο κεντρικό – ανατολικό τμήμα της Πελαγονικής Ζώνης. Οι σύγχρονες απόψεις (Μουντράκης, 1983) θεωρούν τη ζώνη αυτή ως ένα ηπειρωτικό τέμαχος, που αποτελούσε τμήμα της Κιμμερικής Ηπείρου. Το τέμαχος αυτό, αποσπάστηκε από τη Γκοντβάνα και αναπτύχθηκαν εκατέρωθεν της δυο ωκεάνιες περιοχές, η Παλαιο-Τηθύς (Ζώνη Αξιού) και η Νέο-Τηθύς (Ζώνη Υποπελαγονικής-Πίνδου) από τις οποίες και θεωρείται ότι προήλθαν με επώθηση οι οφειόλιθοι που εμφανίζονται σήμερα στην Πελαγονική ζώνη. Με βάση τα γεωμορφολογικά στοιχεία, χωρίζεται σε τρεις μορφοδομικές μονάδες: Την Ανατολική Οροσειρά, Τα Κεντρικά Βυθίσματα και την Δυτική Οροσειρά. Αυτά τα τρία τμήματα παρουσιάζουν μια ζωνώδη διάταξη που συμφωνεί με τον προσανατολισμό του Πελαγονικού Τεμάχους και εκφράζουν μορφολογικά τις γραμμές των γεωτεκτονικών ζωνών του Ελληνικού χώρου, των ΒΔ-ΝΑ ρηγμάτων και επωθήσεων και γενικά τη ΒΒΔ-ΝΝΑ Διναρική διάταξη των στρωμάτων. (Κίλιας Α., 1989)

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης από άποψη γεωμορφολογικής εξέλιξης, βρίσκεται σε στάδιο αναγέννησης και δεν έχει φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας, ενώ χαρακτηρίζεται από έντονη αστάθεια του μορφολογικού αναγλύφου.

Στην εικόνα 2, φαίνεται ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης, σε κλίμακα 1:2500 στη θέση ΧΘ: 385.710 έως ΧΘ: 388.013 της Ν.Ε.Ο. Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα Τέμπη του Νομού Λάρισας.

Εικόνα 2. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης. (Ε. Zoto, 2001)

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

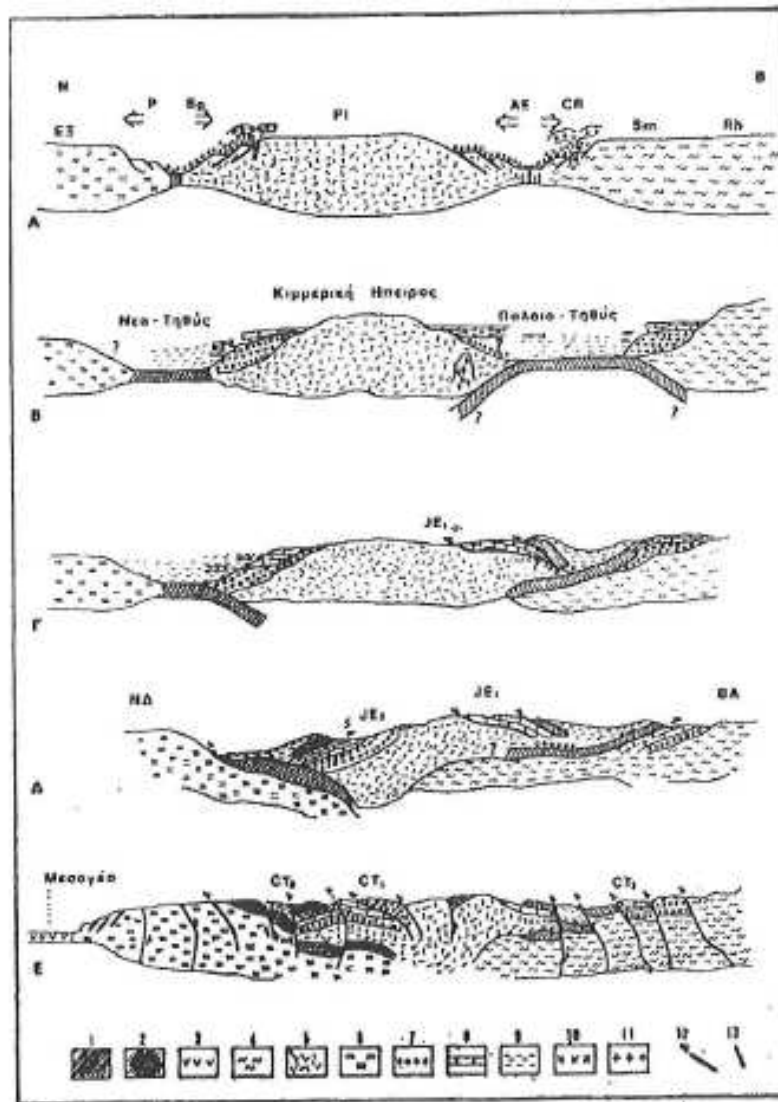
2.1 Γεωμορφολογία περιοχής

Η κοιλάδα των Τεμπών έχει διεύθυνση από Α-Δ έως ΝΔ-ΒΑ κατά μήκος του Πηνειού ποταμού που διαρρέει την περιοχή. Η γεωμορφολογική εξέλιξη της περιοχής παίζει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του αναγλύφου της περιοχής και των συνθηκών ευστάθειας των σχηματισμών. Ο Πηνειός ποταμός αποτελεί μια μεγάλη ρηξιγενή ζώνη μέσω της οποίας υπό την επίδραση της νεοτεκτονικής δραστηριότητας διευκολύνθηκε και η εκφόρτιση των νερών της κλειστής τριτογενούς λίμνης του κάμπου της Θεσσαλίας προς τη θάλασσα. Εκατέρωθεν της κοιλάδας υψώνονται απότομα πρηνή που εκτείνονται σε μεγάλο ύψος. Τα υψόμετρα στα οποία αναπτύσσεται το φυσικό ανάγλυφο των κλιτύων κυμαίνονται από 10 μέτρα έως 350 μέτρα. Η οδός κινείται γενικά σε υψόμετρα της τάξης των 20 μέτρων, ενώ ο Πηνειός σε υψόμετρα της τάξης των 10 μέτρων. Η κλίση του μορφολογικού αναγλύφου κυμαίνεται από 35° έως 60°. Επίσης, παρατηρούνται και περιοχές με ήπιες κλίσεις οι οποίες εντοπίζονται στην περιοχή της κοίτης του ποταμού καθώς και σε επιφάνειες επιπέδωσης σε μεγάλα σχετικά υψόμετρα. (Μουντράκης Δ., 1985)

Σε μεγάλο τμήμα της χάραξης του οδικού δικτύου της περιοχής παρατηρούνται καταπτώσεις βραχωδών ή κορρηματικών υλικών. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται κατά θέσεις εντονότερο, ενώ σε άλλες περιορίζεται σε καταπτώσεις μεμονωμένων ασβεστολιθικών τεμαχών, μικρών γενικά διαστάσεων. Η ασφάλεια της οδού συνδέεται άμεσα με τις συνθήκες που επικρατούν στο δεξί πρηνές που υψώνεται απότομα κατά μήκος της οδού. Η φυτοκάλυψη στην περιοχή είναι θαμνώδης και μόνο στην περιοχή της κοίτης του Πηνειού εντοπίζεται σχετικά πυκνή δενδρώδης βλάστηση. (Κίλιας Α., 1985)

2.2 Στρωματογραφικά στοιχεία

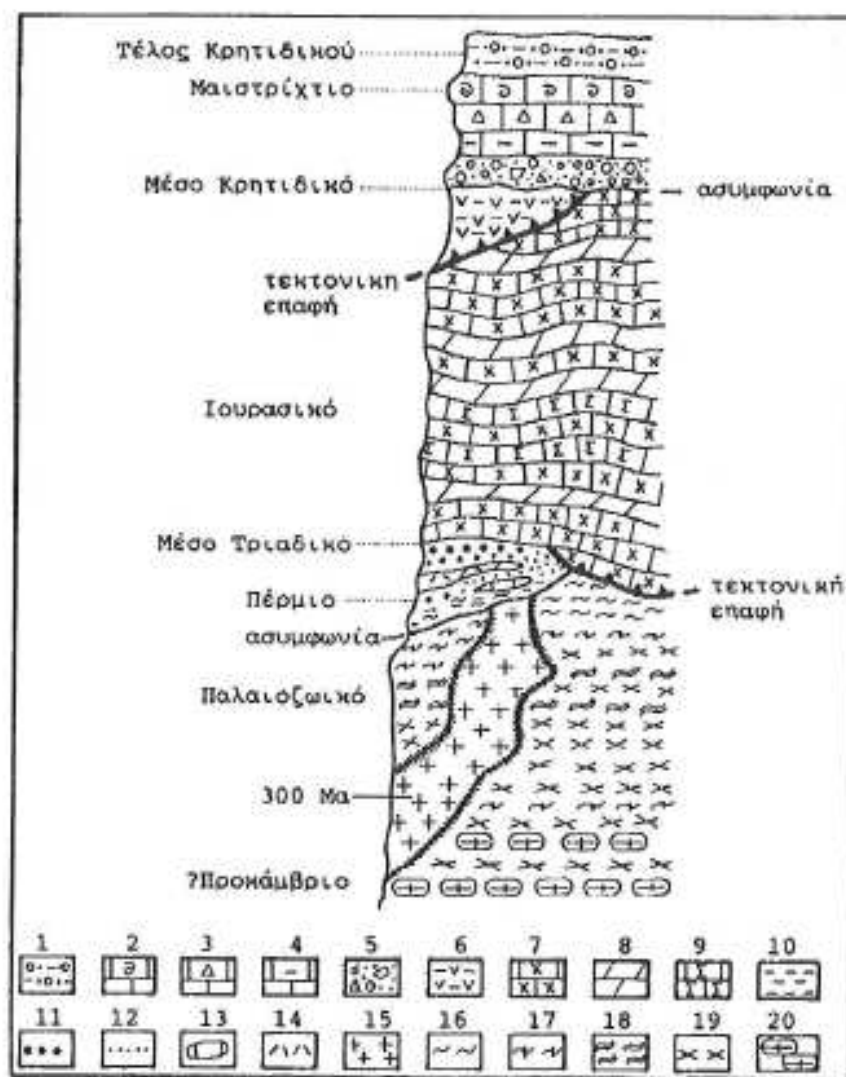
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η περιοχή μελέτης ανήκει στην Πελαγονική ζώνη, των Εσωτερικών Ελληνίδων Ζωνών. Αυτή συγκροτείται από το κρυσταλλοσχιστώδες αλπικό υπόβαθρο, τους γνευσιωμένους γρανίτες, τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Περμο-Τριαδικής ηλικίας, τα δυο ανθρακικά καλύμματα Τριαδικής-Ιουρασικής ηλικίας, τους οφειόλιθους με τα συνοδά τους ιζήματα καθώς και τα Μεσο-Άνω Κρητιδικής ηλικίας επικλυσιγενή ιζήματα. Τα στάδια της γεωτεκτονικής εξέλιξης των εσωτερικών αυτών ζωνών από το Περμοτριαδικό έως και το Τριτογενές, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (Μουντράκης Δ., 1983)



Σχ.1.2. Σκαρίφημα που δείχνει τα στάδια γεωδυναμικής και γεωτεκτονικής εξέλιξης των Εσωτερικών Ελληνίδων. Α: στο Περμοτριαδικό, Β: στο Μέσο Τριαδικό - Ιουρασικό, Γ και Δ: στην περίοδο Ανωτέρου Ιουρασικού - Κάτω Κρητιδικού, Ε: στο Τριτογενές, JE₁, JE₂ CT₂, CT₁, CT₃ φάσεις πτυχώσεων. Rh: μάζα Ροδόπης, Sm: Σαρβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, ΑΞ: ζώνη Αξιού, ΡΙ: Πελαγονική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Ρ: ζώνη Πίνδου, ΕΞ: Εξωτερικές Ελληνίδες. 1: Ωκεάνιος φλοιός Παλαιό - Τηθύος, 2: ωκεάνιος φλοιός Νέο - Τηθύος, 3: φλοιός Μεσογέας, 4: λιθόσφαιρα Ευρωπαϊκής ηπείρου, 5: λιθόσφαιρα Κυμμερικής ηπείρου, 6: λιθόσφαιρα Αφρικανικής ηπείρου, 7: κλαστικά ιζήματα ηπειρωτικής κατωφέρειας, 8: νηριτικά ανθρακικά καλύμματα ηπειρωτικών περιθωρίων, 9: αργιλοπυριτικά ωκεάνια ιζήματα, 10: ηφαιστειακά υλικά, 11: γρανίτες, 12: επωθήσεις, επιπτεύσεις, λεπιώσεις συνδεδεμένες με τις παραμορφωτικές φάσεις, 13: ρήγματα κανονικά. (Κατά Μουντράκη 1983).

(σχήμα 3. Μουντράκης, 1983)

Πιο συγκεκριμένα τα στρώματα των πετρωμάτων που συγκροτούν την λιθοστρωματογραφική – τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.1.1. Συνοπτική λιθοστρωματογραφική - τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5: Επικλυσιογενή ιζήματα Μέσου - Άνω Κρητιδικού. 1: φλύσχης Άνω Μαιστριχτίου - Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλο -λατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7 -9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού - Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σικολίνες, 10: Η: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου - Κάτω Τριαδικού, 10: μετά-πελίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετά - κροκαλοπαγή, 12: μετά - ψαμμίτες, μετά -αρκόζες, 13: φακοί ασβεστόλιθων, 14: μετά - ρυόλιθοι, μετά - τόφφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16 - 20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υπόβαθρου Παλαιοζωικής ή και προ - Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί, αμφιβολιτικοί, επιδοιτικοί), 17: διμαρμαρυγιακοί - γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (Μουντράκης, 1985)

(σχήμα 4, Μουντράκης, 1985)

- Το **Παλαιοζωικό κρυσταλλοσχιτώδες υπόβαθρο** της Πελαγονικής Ζώνης δεν είναι ομοιογενές και αποτελείται από διάφορες ενότητες που αποτελούνται κυρίως από βιοτιτικούς και μοσχοβιτικούς γνεύσιους, αμφιβολίτες καθώς και αμφιβολιτικούς-βιοτιτικούς και διμαρμαρυγικούς σχιστόλιθους. Επιπλέον εμφανίζονται μέσα στα πετρώματα αυτά, μεγάλοι γρανιτικοί όγκοι που στο μεγαλύτερό τους μέρος υπέστησαν μεταμόρφωση πρασινοσχιτολιθικής φάσης. Επάνω σ' αυτούς, έχει αποτεθεί μια μετακλαστική ιζηματογενής σειρά πετρωμάτων στην οποία παρεμβάλλονται ηφαιστειακά υλικά τα οποία υπέστησαν την ίδια μεταμόρφωση.

- Κατά τη διάρκεια του Τριαδικού-Ιουρασικού, έχουμε την κύρια ιζηματογένεση της ζώνης η οποία ήταν ανθρακική, νηριτικής φάσης. Αυτά τα ιζήματα σχημάτισαν τα **ανθρακικά καλύμματα της Πελαγονικής**. Το Δυτικό κάλυμμα που θεωρείται αυτόχθονο και το Ανατολικό που θεωρείται παρα-αυτόχθονο και έχει αποτεθεί με επώθηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά, επάνω στο υπόβαθρο της ζώνης.

- Οι **οφειολιθικές μάζες** και τα συνοδά τους ιζήματα που συναντάμε στην Πελαγονική ζώνη είναι αλλόχθονες και προέρχονται από τις ωκεάνιες λεκάνες του Αξιού και της Υποπελαγονικής. Αυτές έχουν επωθηθεί πάνω στα ανθρακικά καλύμματα του ανατολικού και δυτικού περιθωρίου. Αποτελούνται από υπερβασικά πετρώματα (δουνίτες, χαρτσβουργίτες κ.α.), από βασικά (γάββρους, νορίτες κ.α.) καθώς και ηφαιστειακά πετρώματα (pillow lavas, διαβάσες και τόφφους). Τα συνοδά ιζήματα είναι κυρίως κερατόλιθοι, αργιλικόι σχιστόλιθοι, πελαγικοί ασβεστόλιθοι και κλαστικά ιζήματα, όλα βαθιάς θάλασσας.

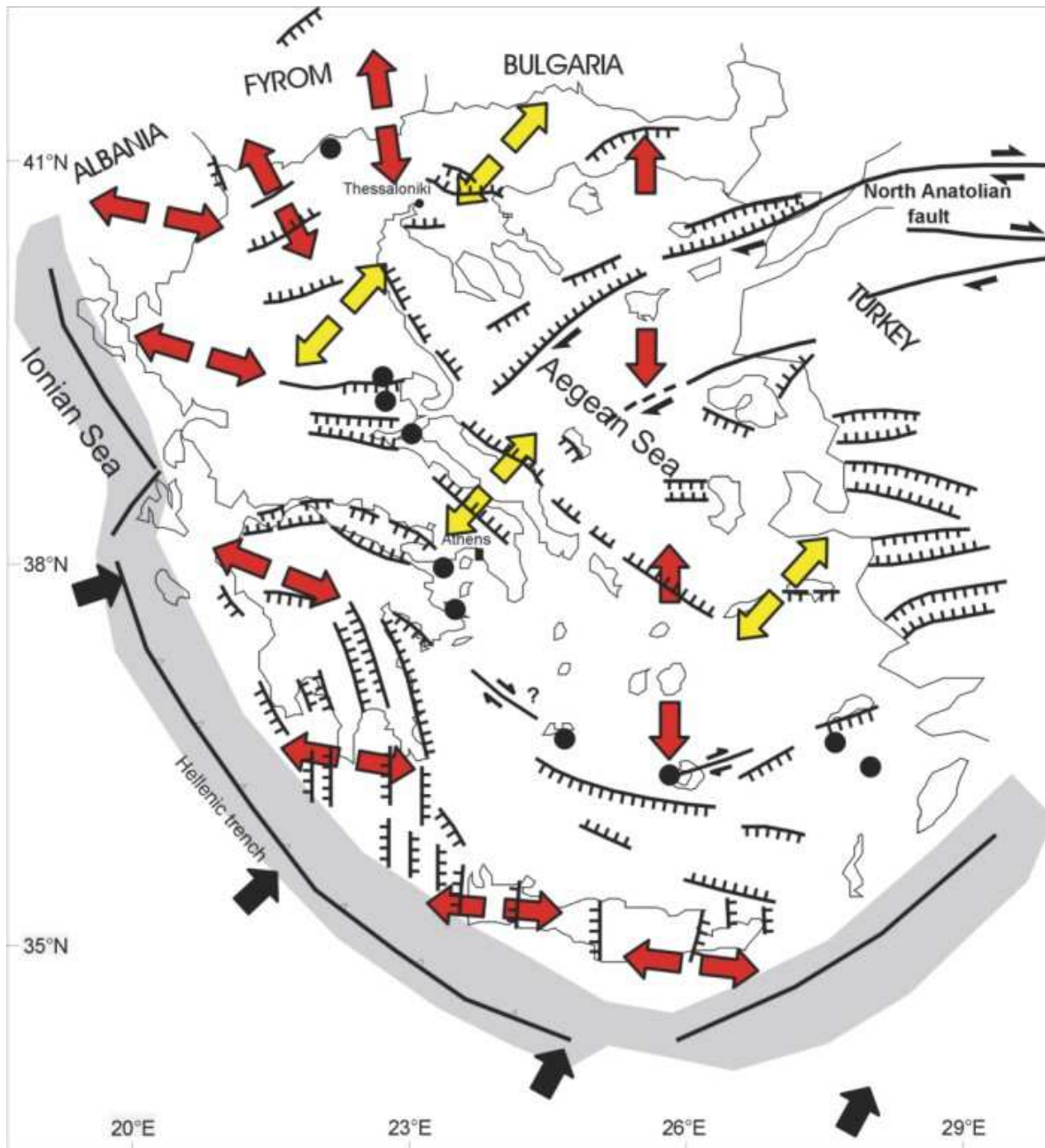
- Τα **επικλυσιογενή ιζήματα** σχηματίστηκαν λόγω της Μέσο-Άνω Κρητιδικής επίκλησης που έλαβε χώρα στις εσωτερικές Ελληνίδες ζώνες. Βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στα πετρώματα της Πελαγονικής ζώνης. Εμφανίζονται υπό μορφή τεκτονικών καλυμμάτων και αποτελούνται από ποταμολιμναία ιζήματα, κροκαλοπαγή, μάργες, πλευρικά κορρήματα και αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ τα ανώτερα μέλη εξελίσσονται σε φλύσχη.

- Οι περιοχές του Ολύμπου και της Όσσας αποτελούν τους ορεινούς όγκους που περιβάλλουν την κοιλάδα των Τεμπών. Η σειρά του Ολύμπου αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα και αποκαλύπτεται με τη μορφή **τεκτονικού παραθύρου** κάτω από το επωθημένο κάλυμμα της Πελαγονικής. Η περιοχή του βουνού Όσσα, ανήκει σε ξεχωριστή γεωλογική μονάδα που έχει ονομαστεί «Ενότητα Όσσας» και αποτελείται από ανθρακικά ανακρυσταλλωμένα πετρώματα και μετα-βασικά πετρώματα και βρίσκεται κάτω από την επωθημένη Πελαγονική ζώνη. (Κίλιας Α. & Μουντράκης Δ., 1985)

2.3 Τεκτονική Τεμπών

Η τεκτονική της περιοχής των Τεμπών χωρίζεται στη Γεωτεκτονική Εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής της Α. Θεσσαλίας που ανήκει στο χώρο της Πελαγονικής ζώνης, καθώς και στη Νεοτεκτονική δομή της περιοχής με την ενεργό τεκτονική που λαμβάνει χώρα από το Ανώτερο Μειόκαινο μέχρι και σήμερα.

Η γεωτεκτονική εξέλιξη της περιοχής φαίνεται καθαρά στο σχήμα 3 που υπάρχει πιο πάνω. Αυτό δείχνει τα στάδια Α, Β, Γ, Δ, Ε τα οποία αντιστοιχούν στα στάδια σχηματισμού της Κιμμερικής Ηπείρου καθώς και την διάνοιξη των ωκεανών της Νεο-Τηθύος και Παλαιο-Τηθύος,



(Σχήμα 5, βιβλίο Γεωλογία Ελλάδας-Μουντράκης. 1:Όρια λιθοσφαιρικών πλακών, 2:Ζώνη ανάστροφων ρηγμάτων, 3:Τα σπουδαιότερα κανονικά ρήγματα, 4:Ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης(διεύθυνσης ολίσθησης), 5:Ηφαίστεια Πλειο-Τεταρτογενούς, 6:Ζώνη συμπίεσης. Τα κίτρινα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση του εφελκυστικού πεδίου στο Ανώτερο Μειόκαινο-Πλειόκαινο και τα κόκκινα βέλη τη διεύθυνση του ενεργού εφελκυσμού. Τα μαύρα βέλη δείχνουν τη διεύθυνση κίνησης της Αφρικανικής πλάκας και τη διεύθυνση των συμπιεστικών τάσεων.)

2.4 Υδρογεωλογία Περιοχής

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης είναι σύνθετες και καθορίζονται κυρίως από την υδρογεωλογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών, το πορώδες, την τεκτονική καταπόνησή τους, τον βαθμό καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων καθώς και την αλληλουχία των διαπερατών αλλά και των αδιαπέρατων σχηματισμών. Έτσι οι γεωλογικοί σχηματισμοί χωρίστηκαν σε κατηγορίες ανάλογα με το συντελεστή διαπερατότητάς τους. Δηλαδή σχηματισμοί στους οποίους η κυκλοφορία του νερού γίνεται μέσω του πρωτογενούς και δευτερογενούς πορώδους ονομάζονται **διαπερατοί** σχηματισμοί. Σ' αυτούς ανήκουν τα υλικά κοίτης, οι ογκόλιθοι ασβεστόλιθων καθώς και καρστικοποιημένοι ασβεστόλιθοι. Έπειτα έχουμε τους **ημιδιαπερατούς** σχηματισμούς στους οποίους ανήκουν τα πλευρικά κορήματα και οι φυλλίτες.

Τέλος, έχουμε τους πρακτικά **αδιαπέρατους** σχηματισμούς στους οποίους κατατάσσονται ο ελουβιακός μανδύας και τα υλικά αναβαθμίδας. Σε περιοχές με αδιαπέρατους σχηματισμούς ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις υπάρχει πιθανή εμφάνιση λιμναζόντων νερών.

Στην περιοχή της κοιλάδας των Τεμπών, η σημαντικότερη υδροφορία βρίσκεται στους καρστικούς σχηματισμούς και κυρίως τους ασβεστόλιθους, οι οποίοι αποτελούνται από πολλά επίπεδα ασυνεχειών. Αντίθετα, οι φυλλίτες που υπάρχουν στην περιοχή, παρουσιάζουν χαμηλή έως ασήμαντη διαπερατότητα, κυρίως στα σημεία που εμφανίζονται αποσαθρωμένοι. Μέσα στους κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους εμφανίζονται και κάποιες πηγές στην περιοχή. (Χρηστάρας Β. κ.α., 1998)

2.5 Σεισμικά Δεδομένα

Η περιοχή των Τεμπών χαρακτηρίζεται γενικά ως περιοχή μικρής επικινδυνότητας, και κατατάσσεται στην κατηγορία (II) της ζώνης επικινδυνότητας. Ο πιο πρόσφατος σεισμός που έχει καταγραφεί στην περιοχή έγινε το 2003 με μέγεθος 5,4 βαθμούς της κλίμακας Richter στο νομό Λαρίσης, ενώ ο μεγαλύτερος σεισμός που έχει καταγραφεί εκεί έγινε το 1941 με μέγεθος 6,3 βαθμούς της κλίμακας Richter. (Παπαζάχος & Παπαζάκος 1989,1990)

3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

3.1 Γενικές Παρατηρήσεις

Περιγραφή διαδικασίας

Στην περιοχή μελέτης έγιναν μετρήσεις κατά τη διάρκεια των εργασιών υπαίθρου. Αρχικά, με τη βοήθεια γεωλογικής πυξίδας μετρήθηκε η κατεύθυνση κλίσης και η γωνία κλίσης του πρανούς στα διαφορετικά σημεία κατά μήκος του οδοστρώματος. Για κάθε τιμή της γωνίας και κατεύθυνσης κλίσης του πρανούς και σε κάθε ένα τμήμα της χάραξης του δρόμου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις των διακλάσεων και των ρηγμάτων που εμφανίζονται. Σε όποια σημεία παρατηρείται άνοιγμα των διακλάσεων και των ρωγμών του πετρώματος, έγιναν οι αντίστοιχες μετρήσεις για να προσδιοριστεί το εύρος τους. Επιπλέον, έγινε και προσδιορισμός του υλικού πλήρωσης των ρωγμών του πετρώματος, όπου αυτό υπάρχει, καθώς επίσης σημειώθηκε και η ύπαρξη ή όχι κάποιας υγρασίας είτε στο πέτρωμα του πρανούς, είτε στο υλικό πλήρωσης αυτού. Έτσι, έγινε τελικά λεπτομερής περιγραφή των τεκτονικών στοιχείων, των επιφανειών στρώσης και των ρηξιγενών δομών του πετρώματος κατά μήκος του πρανούς. Επίσης έγινε συλλογή όλων των απαραίτητων στοιχείων για τη γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχώμαζας, τον υπολογισμό των δυνητικών ολισθήσεων και τη διερεύνηση του μηχανισμού ολίσθησης. Όλες αυτές οι μετρήσεις συγκεντρώθηκαν και στη συνέχεια έγινε στατιστική επεξεργασία των τεκτονικών μετρήσεων με τη χρήση διαγραμμάτων στερεογραφικών προβολών Schmidt.

Επίσης κατά μήκος του πρανούς έγινε γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά Bieniawsky σε σχέση με τη βαθμονόμηση RMR προσαρμοσμένη για βραχώδη πρανή με βάση τη βαθμονόμηση SMR (Romana, 1985).

Η αξιολόγηση της ευστάθειας και η ανάλυση του μηχανισμού ολίσθησης για κάθε θέση του πρανούς έγινε με την παραδοχή, ότι οι αστοχίες ελέγχονται αποκλειστικά από τους προσανατολισμούς των τεκτονικών ασυνεχειών σε σχέση με την κλίση και τη διεύθυνση κλίσης του πρανούς σε κάθε θέση.

Ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

1. Χωρισμός του πρανούς σε περιοχές βάσει χιλιομετρικής απόστασης.
2. Προβολή των τεκτονικών μετρήσεων (διακλάσεις, ρήγματα, επιφάνειες στρώσης) στο δίκτυο Schmidt.
3. Προβολή των κύριων επιφανειών ασυνεχειών υπό μορφή μέγιστων κύκλων και πόλων.
4. Εφαρμογή του τεστ Markland (1972) ώστε να προσδιοριστούν γεωμετρικά οι πιθανές αστοχίες, κατά σφήνα ή κατά επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης για κάθε μέτρηση του πρανούς. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια της βελτίωσης κατά Hocking (1976) εξετάστηκαν οι πιθανές διευθύνσεις ολίσθησης κατά μήκος της γραμμής τομής των δύο επιπέδων ασυνεχειών ή κατά μήκος του ενός από τα δύο επίπεδα.
5. Προσδιορισμός του συντελεστή ασφάλειας του πρανούς για κάθε περίπτωση ξεχωριστά, με τη γραφική μέθοδο των διαγραμμάτων στερεογραφικών προβολών.

6. Προτάσεις και λύσεις σε περίπτωση αστάθειας με βάση την καταλληλότερη και την οικονομικότερη μέθοδο.

7. Άλλες μορφές αστοχίας (με ανατροπή, από υποσκαφή) και καταπτώσεις βράχων κ.α. εξετάζονται ξεχωριστά.

3.2 Ταξινόμηση κατά Bieniawsky – Romana

Ταξινόμηση Βραχώμαζας κατά Bieniawsky (1989) προσαρμογή για βραχώδη πρηνή (Romana, 1985). Η γεωμηχανική ταξινόμηση της βραχώμαζας κατά RMR, έγινε με βάση την τροποποιημένη ταξινόμηση κατά Bieniawsky (1989) που παρουσιάζεται στον Πίνακα 1 του παραρτήματος. Για τον υπολογισμό του RMR του πρηνούς χρησιμοποιήθηκαν οι εξής παράμετροι που ορίζει η συγκεκριμένη ταξινόμηση:

- Η μοναξονική θλιπτική αντοχή του πετρώματος.
- Ο δείκτης ποιότητας του πετρώματος RQD. Εκτιμήθηκε έμμεσα με βάση τη σχέση που προτείνουν οι Priest & Hudson (1976), δηλαδή: $RQD = 100e^{-1,1\lambda}(0,1\lambda+1)$, $\lambda = \Sigma(1/s_j)$ – όπου s_j η απόσταση των ασυνεχειών.
- Η απόσταση των ασυνεχειών.
- Η κατάσταση των ασυνεχειών (μήκος, τραχύτητα, άνοιγμα, υλικό πλήρωσης).
- Οι γενικές συνθήκες υγρασίας.

Οι τιμές του RMR (παράρτημα) τροποποιήθηκαν με βάση τη διόρθωση του προσανατολισμού των ασυνεχειών και στη συνέχεια υπολογίστηκε η τιμή του SMR (Slope Mass Rating) κατά Romana, 1985. Η τιμή του SMR υπολογίζεται με βάση το RMR, εισάγοντας κάθε φορά τις τιμές της βαθμολόγησης των παρακάτω παραμέτρων: $SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$ όπου,

F_1 – η τιμή αυτής της παραμέτρου εξαρτάται από τη γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της διεύθυνσης κλίσης του μετώπου του πρηνούς και της διεύθυνσης κλίσης της επιφάνειας της ασυνέχειας που εξετάζουμε.

F_2 – η τιμή της εξαρτάται από τη γωνία κλίσης της επιφάνειας της ασυνέχειας.

F_3 – αναφέρεται στη σχέση μεταξύ κλίσης της επιφάνειας της ασυνέχειας και κλίσης του μετώπου του πρηνούς.

F_4 – η τιμή της εξαρτάται από τη μέθοδο εκσκαφής που χρησιμοποιήθηκε.

Στον Πίνακα 1 του παραρτήματος παρουσιάζονται ο τρόπος υπολογισμού και οι αντίστοιχες τιμές βαθμονόμησης των παραπάνω παραμέτρων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη βαθμονόμηση RMR κατά Bieniawsky (1989) και την προσαρμογή για βραχώδη πρηνή SMR κατά Romana (1985), στις επί μέρους θέσεις του βραχώδους πρηνούς, παρουσιάζονται στον Πίνακα 2 του παραρτήματος.

3.3 Ανάλυση μηχανισμών ευστάθειας

Ακολουθεί η αναλυτική τεχνικογεωλογική περιγραφή και ανάλυση των μηχανισμών ευστάθειας στις επιμέρους θέσεις του βραχώδους πρανούς.

Οι χιλιομετρικές θέσεις που πήραμε τις μετρήσεις είναι μεταξύ της ΧΘ: 385.710 έως ΧΘ: 388.013 της Ν.Ε.Ο. Αθήνας – Θεσσαλονίκης στα Τέμπερη του Νομού Λάρισας.

Τα τμήματα της οδού έχουν χωριστεί ως εξής:

Τμήμα Α: Χ.Θ. 385.710μ – Χ.Θ. 386.230μ

Τμήμα Β: Χ.Θ. 386.230μ – Χ.Θ. 386.900μ

Τμήμα Γ: Χ.Θ. 386.900μ – Χ.Θ. 387.102μ

Τμήμα Δ: Χ.Θ. 387.102μ – Χ.Θ. 387.397μ

Τμήμα Ε: Χ.Θ. 387.397μ – Χ.Θ. 387.415μ

Τμήμα Στ: Χ.Θ. 387.415μ – Χ.Θ. 388.013μ

- Τμήμα Α: Χ.Θ. 385.710μ – Χ.Θ. 386.230μ

Το τεχνητό πρανές σε αυτό το τμήμα του δρόμου έχει ύψος γύρω στα 30-40 μέτρα και οι κλίσεις του είναι αρκετά απότομες, από 75° έως και σε μερικές θέσεις 90°. Το πρανές αυτό εμφανίζει ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και μικρών ρωγμών οι οποίες όμως είναι κλειστές και δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε 260°/20°.

Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν σε αυτή την θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, εντοπίστηκαν 2 κύρια συστήματα ασυνεχειών.

Το πρώτο σύστημα έχει στοιχεία κ1: 350°/60° και συνίσταται από επίπεδες επιφάνειες με μέτρια αποσάθρωση οι οποίες είναι κλειστές (0-5 χιλιοστά) και χωρίς υλικό πλήρωσης. Το δεύτερο σύστημα έχει στοιχεία κ2: 015°/60° και αποτελείται από λείες, υγιείς επιφάνειες, καθόλου αποσαθρωμένες και με πολύ μικρό άνοιγμα 0-5 χιλιοστά που δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης.

Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες:

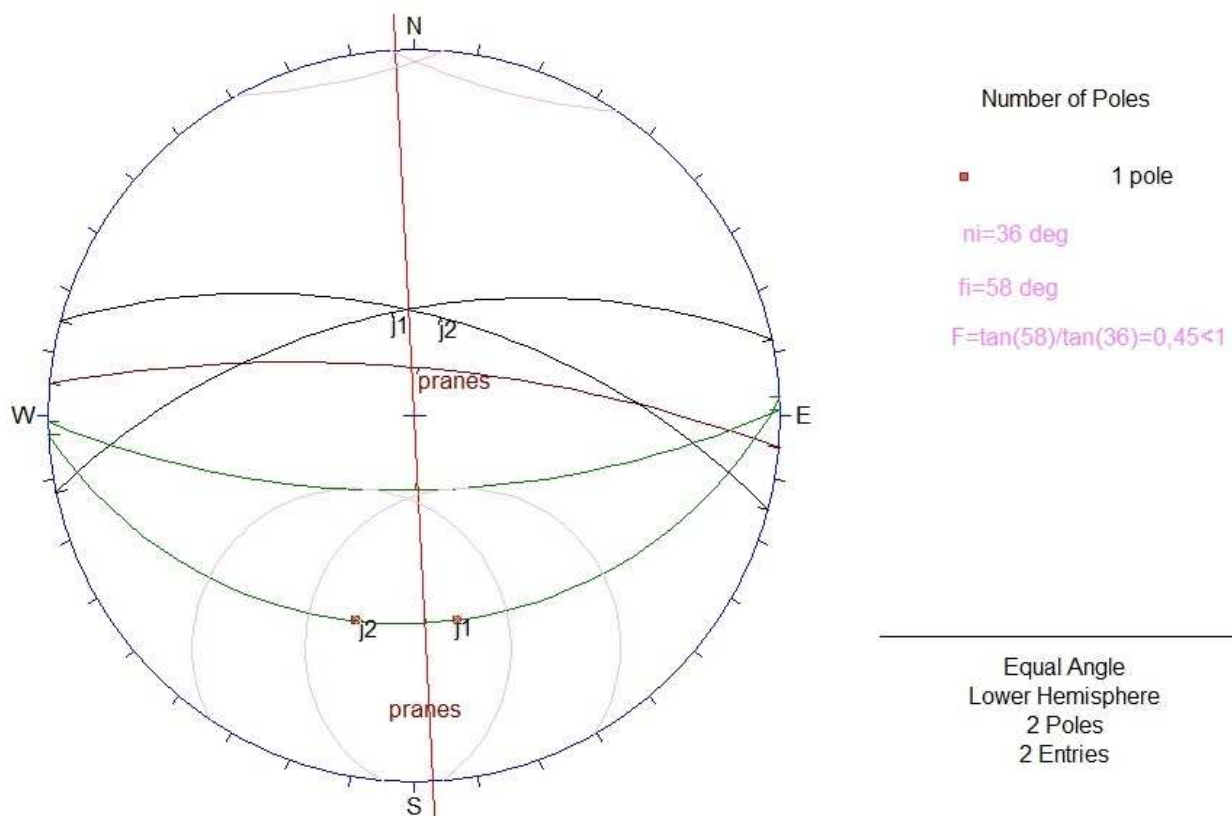
α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς,
β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των επιφανειών των ασυνεχειών και

γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς).

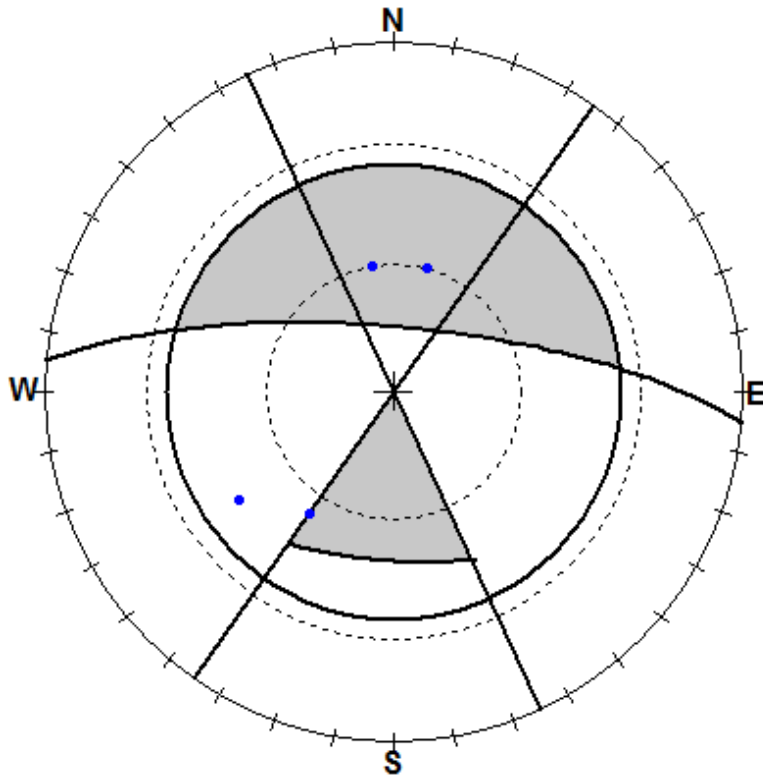
Στοιχεία πρανούς: 005°/75°

Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται:

- (α) η στερεογραφική προβολή των μέγιστων κύκλων των ασυνεχειών που αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και οι πόλοι τους. Επιπλέον έχουμε την προβολή του πρανούς στο ίδιο δίκτυο καθώς και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο της ευστάθειας της βραχοσφήνας που δημιουργείται από τα δύο επίπεδα ασυνεχειών. Η γωνία τριβής είναι 35°.(σχήμα 6)
- (β) οι περιοχές με σκιασμένο χρώμα δείχνουν την πιθανότητα ολίσθησης αν υπάρχει εκεί μέσα ασυνέχεια στο πρανές (ημικυκλικές σκιασμένες περιοχές), καθώς και την πιθανότητα κατάπτωσης από ανατροπή (τριγωνικές σκιασμένες περιοχές).(σχήμα 7)



(Σχήμα 6)



(σχήμα 7)

Από την εφαρμογή των τεστ Markland (1972) και Hocking (1976) διαπιστώθηκε ασταθής κατάσταση σε αυτή τη θέση του τεχνητού πρανούς. Στο σχήμα 6 φαίνεται ότι η τομή των δύο επιπέδων κ1 και κ2 είναι ομόρροπη προς το μέτωπο του πρανούς. Με τη βοήθεια των κώνων τριβής Talobre, γίνεται η στερεογραφική προβολή στο δίκτυο Schmidt της βάσης ενός κώνου που δημιουργεί η δύναμη τριβής περιστρεφόμενη γύρω από την κάθετη συνιστώσα N του βάρους ενός βραχώδους κατατμητικού σώματος, πάνω στην κεκλιμένη επιφάνεια έδρασης (δυσνητική επιφάνεια ολίσθησης) με γωνία ϕ (γωνία τριβής της επιφάνειας). Επειδή η κάθετη συνιστώσα του βάρους ταυτίζεται με τον πόλο N της επιφάνειας στο δίκτυο Schmidt, ο κώνος τριβής του Talobre προβάλλεται ως έλλειψη γύρω από τον πόλο N ή ως κύκλος γύρω από το βάρος W του σώματος με ακτίνα ϕ . Έτσι, από την ανάλυση του μηχανισμού της βραχοσφήνας που δημιουργείται, υπολογίζεται η φαινόμενη γωνία τριβής $\phi_i = 58^\circ$ και η γωνία κλίσης της γραμμής των ασυνεχειών $\eta_i = 36^\circ$, με αποτέλεσμα ο συντελεστής ασφαλείας να έχει τιμή μικρότερη της μονάδας όπως υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση: Συντελεστής ασφαλείας πρανούς: $F = \frac{\epsilon\phi(\phi_i)}{\epsilon\phi(\eta_i)} \rightarrow F = 0,45 < 1$

Άρα στο σημείο αυτό του τεχνητού πρανούς έχω μεγάλο κίνδυνο ολίσθησης κατά τη διεύθυνση της τομής των δύο ασυνεχειών, δηλαδή ολίσθηση βραχοσφήνας.

Οι παραπάνω μετρήσεις δείχνουν έναν πολύ μικρό συντελεστή ασφαλείας σε αυτό το σημείο της οδού. Είναι λοιπόν απαραίτητα κάποια μέτρα για την αποφυγή πτώσης βράχων και πρόκλησης κατολισθήσεων στην περιοχή.

Για να γίνει ασφαλές το πρανές που εξετάζουμε, θα πρέπει ο συντελεστής ασφαλείας να έχει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας. Όσο παραπάνω από 1 είναι, τόσο ασφαλέστερες οι συνθήκες στην οδό. Έτσι, για να θεωρήσουμε ότι τα μέτρα που πήραμε είναι ικανοποιητικά, ο συντελεστής που θέλουμε να επιτύχουμε εδώ κυμαίνεται στο $F' = 1,2$ με $F' = 1,3$. Για την πιο σίγουρη ασφάλεια της οδού θα θεωρήσουμε απαραίτητο συντελεστή ασφαλείας την τιμή

$F'=1,3$.

Ο τύπος που περιγράφει τον συντελεστή αυτό είναι:

$F = \text{Δυνάμεις που συγκρατούν έναντι ολίσθησης} / \text{Δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση}$

Υπάρχουν τρεις τρόποι να επιτευχθεί το $F > 1$.

(α) Είτε με αύξηση του αριθμητή της εξίσωσης, δηλαδή αύξηση των δυνάμεων που συγκρατούν, που ονομάζονται **Παθητικά** μέτρα αντιστήριξης.

(β) Είτε με μείωση του παρονομαστή της εξίσωσης, δηλαδή μείωση των δυνάμεων που ωθούν στην ολίσθηση, και ονομάζονται **Ενεργητικά** μέτρα αντιστήριξης.

(γ) Τέλος, με άλλα **Μέτρα Βελτίωσης** της ποιότητας της βραχώμαζας, με τα οποία επιδιώκεται η ενίσχυση της ποιότητας αυτής.

Στα Παθητικά μέτρα ανήκουν όλες οι μέθοδοι που εμποδίζουν τα τεμάχια της βραχώμαζας που έχουν μετακινηθεί από τη θέση τους, να προκαλέσουν καταστροφές όπως π.χ. με πτώση στους αυτοκινητόδρομους, σιδηροδρομικές γραμμές κλπ. Θεωρητικά, αυτές οι μέθοδοι έχουν μικρότερο κόστος και συνδυάζονται πολλές φορές με προειδοποιητικές μεθόδους, που προειδοποιούν ότι έχουν συμβεί ή πρόκειται να συμβούν μετακινήσεις.

Η αύξηση των δυνάμεων συγκράτησης μπορεί να γίνει με:

1. Εφαρμογή αγκυρίων
2. Εφαρμογή εκτοξευμένου σκυροδέματος
3. Αύξηση του βάρους στη βάση του πρανούς

Στα Ενεργητικά μέτρα ανήκουν αυτά που μειώνουν τις δυνάμεις που προκαλούν ολίσθηση και άλλοτε αυξάνοντας τις δυνάμεις που αντιτίθεται σε αυτήν. Μειώνουν την πιθανότητα της μετακίνησης των διαφόρων τεμαχίων της βραχώμαζας και γενικά αποτελούν την πρώτη επιλογή για τη λύση του προβλήματος.

Η μείωση των δυνάμεων ολίσθησης μπορεί να γίνει με:

1. Μείωση των υδατικών πιέσεων (αποστράγγιση)
2. Ελάφρυνση – Αφαίρεση βάρους

Στα βραχώδη πρανή, πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν τα εξής μέτρα αντιστήριξης:

- Αγκύρια (Προεντεταμένα, Παθητικά, Απλές Υλώσεις)
- Δοκός Αγκυρίων
- Εκτοξευμένο Σκυρόδεμα (με ή χωρίς ινοπλισμό)
- Ανακουφιστικές και Αποστραγγιστικές Οπές
- Μεταλλικά Πλέγματα
- Τοίχοι Κατακράτησης (Βραχοπαγίδες – Geobrugg)
- Αναβαθμοί Προστασίας Καταπτώσεων Βράχων – Τάφροι
- Απομάκρυνση Χαλαρών Υλικών και Επικρεμάμενων Βράχων
- Γεωσυνθετικά Υλικά

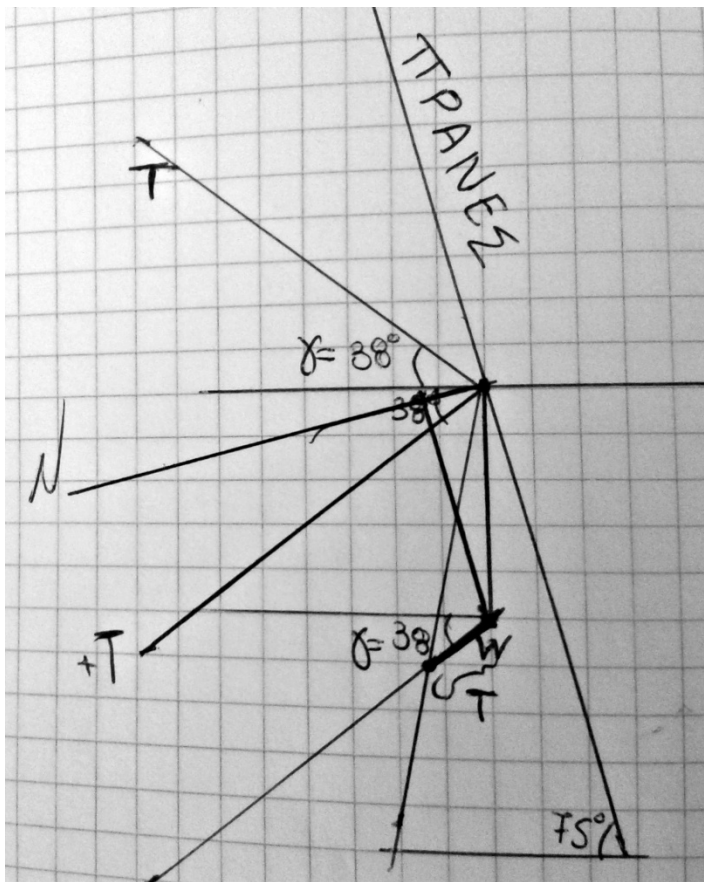
(Δημόπουλος Γ., 1998-1999)

Έτσι, για να πετύχουμε συντελεστή ασφαλείας $F'=1,3$ τοποθετούμε αγκύριο T, με διεύθυνση αντίρροπη προς τη διεύθυνση ολίσθησης και κλίση τέτοια ώστε η γωνία που θα σχηματίζει η συνισταμένη δύναμη W-T με την ορθή συνιστώσα του βάρους W_i , να προκύπτει από τη σχέση:

$$F' = \varepsilon \phi \phi_i / \varepsilon \phi n_i' = 1,3 \Rightarrow \varepsilon \phi n_i' = 1,3 \times \varepsilon \phi (58^\circ) \Rightarrow n_i' = 64^\circ$$

$$\gamma = (90^\circ + \phi_i - 2\alpha) / 2 = (90 + 58 - 2 \times 36) / 2 = +38^\circ \text{ γωνία κλίσης αγκυρίου}$$

Τοποθετούμε όλες τις παραπάνω μετρήσεις στα δυναμοπολύγωνα που ακολουθούν στο σχήμα.



(Σχήμα 9, Δυναμοπολύγωνα)

Έτσι, υπολογίζεται ότι η δύναμη του αγκυρίου πρέπει να είναι $T=1t$.

Γενικά, για να εκτιμηθεί το κόστος των αγκυρίων που απαιτούνται για την αύξηση του συντελεστή ασφαλείας ενός τεχνητού πρανούς θα πρέπει να είναι γνωστά τα εξής:

- Το κόστος ανά μονάδα φορτίου του αγκυρίου k
- Το ονομαστικό φορτίο αγκυρίου P_i
- Το μήκος του L_i

(Δημόπουλος Γ. & Μακεδών Θ., 2010)

Με βάση αυτά, το συνολικό μήκος του αγκυρίου προκύπτει από τη σχέση:

$$K_i = k \times P \times Li$$

Στην παρούσα εργασία δε θα εξεταστεί το κόστος των παραπάνω μεθόδων.

Εκτός από τις ολισθήσεις που είναι πιθανό να συμβούν σε αυτό το τμήμα της οδού, μπορούν ακόμα να σημειωθούν και κάποιες ανατροπές.

Στο σχήμα 7 φαίνεται ότι έχουμε μια μέτρηση η οποία μπορεί να μας δώσει ανατροπή στην περιοχή. Τα στοιχεία της ασυνέχειας αυτής είναι: $215^{\circ}/55^{\circ}$.

- Τμήμα Β: Χ.Θ. 386.230μ – ΧΘ. 386.900μ

Σε αυτή τη θέση το τεχνητό πρανές έχει ύψος περίπου 40 μέτρα και οι κλίσεις του είναι μέτριες έως απότομες, 60° - 75° . Το πρανές αυτό εμφανίζει ένα δίκτυο ασυνεχειών και ρωγμών με σχετικά μικρό έως μέτριο εύρος (20-60 χιλιοστά) και υλικό πλήρωσης άργιλο, ενώ το μήκος της ασυνέχειας σε μέτρα κυμαίνεται από 0,7 έως και 2. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε $270^{\circ}/68^{\circ}$.

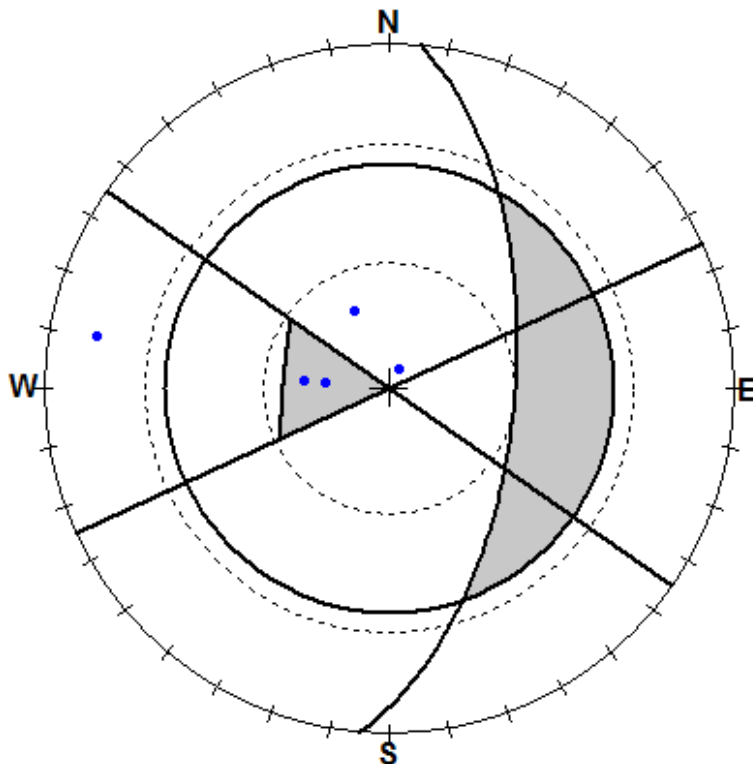
Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν σε αυτή την θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, δεν εντοπίστηκαν κύρια ή δευτερεύοντα συστήματα ασυνεχειών που μόνα τους ή σε συνδυασμό να δίνουν επικίνδυνες συνθήκες σε αυτό το τμήμα του δρόμου. (σχήμα 10)

Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες:

α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς,
β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των επιφανειών των ασυνεχειών και

γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς). Σε αυτή την περίπτωση δεν εκπληρώνεται καμία από τις παραπάνω συνθήκες και άρα δεν έχω κίνδυνο ολίσθησης επιπέδου ή σφήνας.

Τα στοιχεία του πρανούς είναι: $095^{\circ}/60^{\circ}$



(σχήμα 10, οι περιοχές με σκιασμένο χρώμα δείχνουν την πιθανότητα ολίσθησης αν υπάρχει εκεί μέσα ασυνέχεια στο πρανές (ημικυκλικές σκιασμένες περιοχές), καθώς και την πιθανότητα κατάπτωσης από ανατροπή (τριγωνικές σκιασμένες περιοχές))

Στο σχήμα 10, φαίνονται οι επιφάνειες ασυνέχειας που μετρήθηκαν σε αυτό το σημείο του δρόμου, οι οποίες δεν πέφτουν ανάμεσα στο σκιασμένο ημικύκλιο που δημιουργείται από το πρανές και την γωνία τριβής του (35°). Άρα δεν έχω ολίσθηση.

Αντίθετα, μέσα στο σκιασμένο τρίγωνο του σχήματος, έχω δύο επιφάνειες που εμφανίζονται. Αυτές είναι οι: $275^\circ/70^\circ$ και $275^\circ/75^\circ$. Αυτό σημαίνει ότι θα έχω ανατροπή κατά τις διευθύνσεις κλίσεων αυτών των επιφανειών. Τέλος, κατά την επιφάνεια $030^\circ/85^\circ$ που βρίσκεται πολύ κοντά στο σκιασμένο τρίγωνο, έχω επίσης πολύ μεγάλη πιθανότητα ανατροπής.

Στο τμήμα αυτό της οδού δεν απαιτούνται κάποια μέτρα αντιστήριξης του τεχνητού πρανούς, εφόσον οι κλίσεις του δεν επιτρέπουν την ολίσθηση βράχων είτε ως προς μια επιφάνεια, είτε ως προς σφήνα.

- Τμήμα Γ: Χ.Θ. 386.900μ – Χ.Θ. 387.102μ

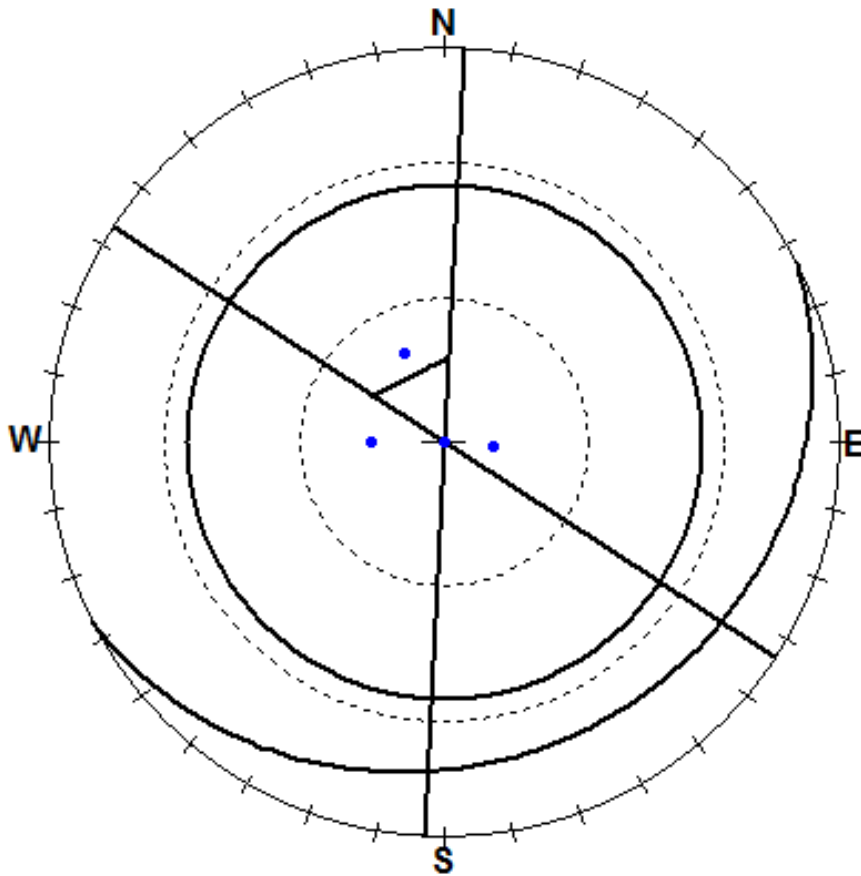
Το τεχνητό πρανές σε αυτό το τμήμα του δρόμου έχει ύψος γύρω στα 90 μέτρα και οι κλίσεις του είναι αρκετά απότομες, από 70° έως και σε μερικές θέσεις 90° . Το πρανές αυτό εμφανίζει ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και μικρών ρωγμών οι οποίες όμως είναι μέτριες έως κλειστές (6-20 χιλιοστά) και δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε $260^\circ/70^\circ$.

Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν σε αυτή την θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, δεν εντοπίστηκαν κύρια ή δευτερεύοντα συστήματα ασυνεχειών.

Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες: α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς, β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των επιφανειών των ασυνεχειών και γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς).

Σε αυτή την περίπτωση η κλίση του μετώπου του πρανούς είναι αντίρροπη των επιπέδων των ασυνεχειών ή και των τομών τους. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχω κίνδυνο ολίσθησης σε καμία περίπτωση σε αυτό το τμήμα του δρόμου.

Επιπλέον, παρ' όλο που οι τρεις ασυνέχειές μου βρίσκονται πολύ κοντά στο τρίγωνο που σχηματίζεται στο σχήμα 11, δηλαδή στο σημείο που μπορεί να προκληθεί ανατροπή, έχω αντίρροπες κλίσεις και άρα δεν υπάρχει κανένας απολύτως κίνδυνος να γίνει αυτό. Στοιχεία πρανούς: $153^\circ/20^\circ$



(σχήμα 11)

- Τμήμα Δ: Χ.Θ. 387.102μ – Χ.Θ. 387.397μ

Το τεχνητό πρανές σε αυτό το τμήμα του δρόμου έχει ύψος γύρω στα 60-70 μέτρα και οι κλίσεις του είναι μέτριες, κοντά στις 40° με 60°. Τα στοιχεία του είναι 180°/85° και 190°/85°. Το πρανές αυτό εμφανίζει ένα πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και μικρών ρωγμών οι οποίες όμως είναι κλειστές και δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε 230°/45°.

Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν στην πρώτη θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, εντοπίστηκαν 2 κύρια συστήματα ασυνεχειών.

Το πρώτο σύστημα έχει στοιχεία κ1: 235°/45° και συνίσταται από επίπεδες επιφάνειες με μέτρια αποσάθρωση οι οποίες είναι κλειστές (0-5 χιλιοστά) και χωρίς υλικό πλήρωσης. Το δεύτερο σύστημα έχει στοιχεία κ2: 215°/55° και αποτελείται από λείες, υγιείς επιφάνειες, καθόλου αποσαθρωμένες και με πολύ μικρό άνοιγμα 0-5 χιλιοστά που δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης.

Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες: α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς, β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής φ των επιφανειών των ασυνεχειών και

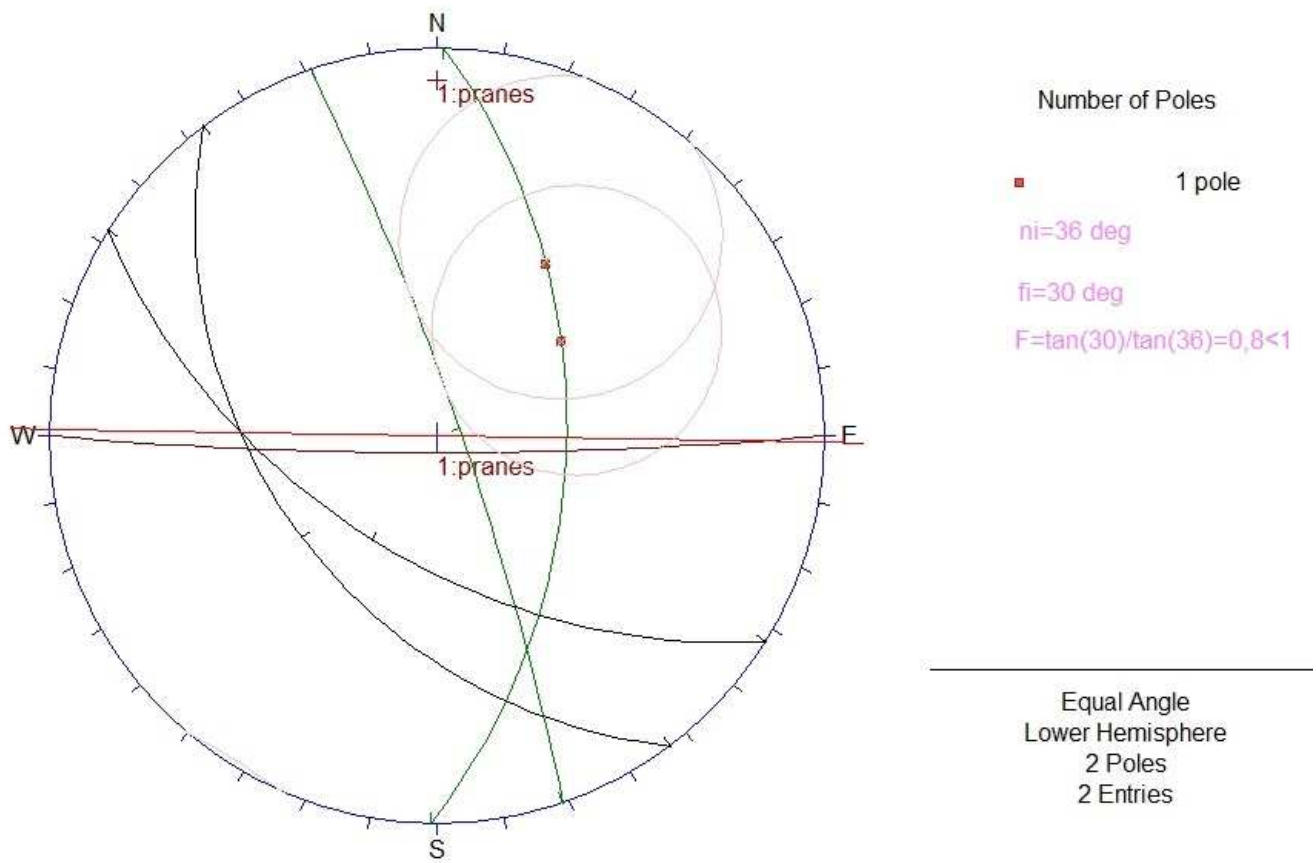
γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς).

- Στοιχεία πρανούς: 180°/85°

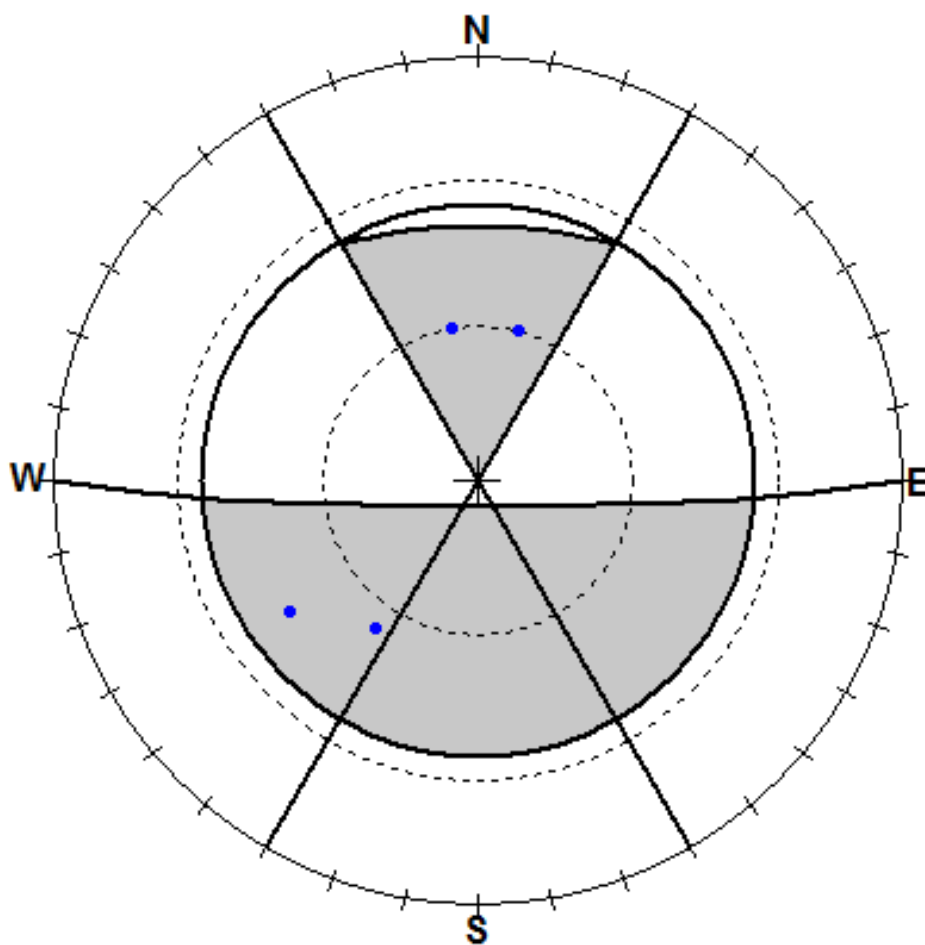
Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται:

(α) η στερεογραφική προβολή των μέγιστων κύκλων των ασυνεχειών που αναφέρθηκαν παραπάνω, καθώς και οι πόλοι τους. Επιπλέον έχουμε την προβολή του πρανούς στο ίδιο δίκτυο καθώς και όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τον έλεγχο της ευστάθειας της βραχοσφήνας που δημιουργείται από τα δύο επίπεδα ασυνεχειών. Η γωνία τριβής είναι 35°.(σχήμα 12)

(β) οι περιοχές με σκιασμένο χρώμα δείχνουν την πιθανότητα ολίσθησης αν υπάρχει εκεί μέσα ασυνέχεια στο πρανές (ημικυκλικές σκιασμένες περιοχές), καθώς και την πιθανότητα κατάπτωσης από ανατροπή (τριγωνικές σκιασμένες περιοχές), (σχήμα 13).



(σχήμα 12)



(σχήμα 13)

Από την εφαρμογή των τεστ Markland (1972) και Hocking (1976) διαπιστώθηκε ασταθής κατάσταση σε αυτή τη θέση του τεχνητού πρανούς. Στο σχήμα 12 φαίνεται ότι η τομή των δύο επιπέδων κ1 και κ2 είναι ομόρροπη προς το μέτωπο του πρανούς. Επιπλέον, από την ανάλυση του μηχανισμού της βραχοσφήνας που δημιουργείται, υπολογίζεται η φαινόμενη γωνία τριβής $\phi_i=30^\circ$ και η γωνία κλίσης της γραμμής των ασυνεχειών $\eta_i=36^\circ$, με αποτέλεσμα ο συντελεστής ασφαλείας να έχει τιμή μικρότερη της μονάδας όπως υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{Συντελεστής ασφαλείας πρανούς: } F = \epsilon\phi(\phi_i)/\epsilon\phi(\eta_i) \rightarrow F=0,8 < 1$$

Άρα στο σημείο αυτό του τεχνητού πρανούς έχω μεγάλο κίνδυνο ολίσθησης κατά τη διεύθυνση της τομής των δύο ασυνεχειών, δηλαδή ολίσθηση βραχοσφήνας.

Οι παραπάνω μετρήσεις δείχνουν έναν μικρό συντελεστή ασφαλείας σε αυτό το σημείο της οδού. Είναι λοιπόν απαραίτητα κάποια μέτρα για την αποφυγή πτώσης βράχων και πρόκλησης κατολισθήσεων στην περιοχή.

Για να γίνει ασφαλές το πρανές που εξετάζουμε, θα πρέπει ο συντελεστής ασφαλείας να έχει τιμή μεγαλύτερη της μονάδας. Όσο παραπάνω από 1 είναι, τόσο ασφαλέστερες οι συνθήκες στην οδό. Έτσι, για να θεωρήσουμε ότι τα μέτρα που πήραμε είναι ικανοποιητικά, ο συντελεστής που θέλουμε να επιτύχουμε εδώ κυμαίνεται στο $F'=1,2$ με $F'=1,3$.

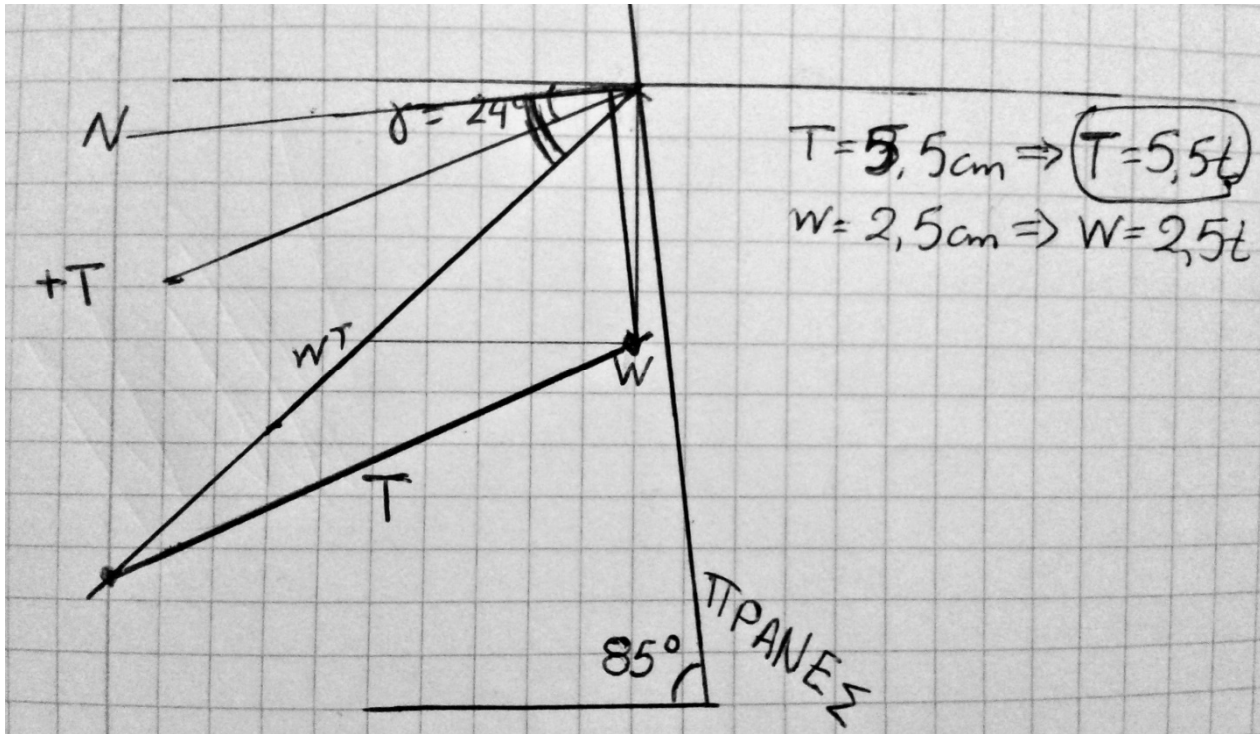
Για την πιο σίγουρη ασφάλεια της οδού θα θεωρήσουμε απαραίτητο συντελεστή ασφαλείας την τιμή $F'=1,3$. Το βάρος του πρανούς είναι $W=250\text{kN}$.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, ο τύπος που περιγράφει τον συντελεστή αυτό είναι: $F = \text{Δυνάμεις που συγκρατούν έναντι ολίσθησης} / \text{Δυνάμεις που ωθούν προς ολίσθηση}$. Για τη χρήση αγκυρίων στο τμήμα που εξετάζουμε και με συντελεστή ασφαλείας $F'=1,3$ υπολογίζουμε τα εξής:

$$F' = \epsilon\phi\phi_i / \epsilon\phi\eta_i' = 1,3 \Rightarrow \epsilon\phi\eta_i' = 1,3 \times \epsilon\phi(30^\circ) \Rightarrow \eta_i' = 37^\circ$$

$$\gamma = (90^\circ + \phi_i - 2\alpha) / 2 = (90 + 30 - 2 \times 36) / 2 = +24^\circ \text{ η γωνία κλίσης του αγκυρίου}$$

Τοποθετούμε όλες τις παραπάνω μετρήσεις στα δυναμοπολύγωνα που ακολουθούν, όπως φαίνεται στο σχήμα.



(σχήμα 14, δυναμοπολύγωνα)

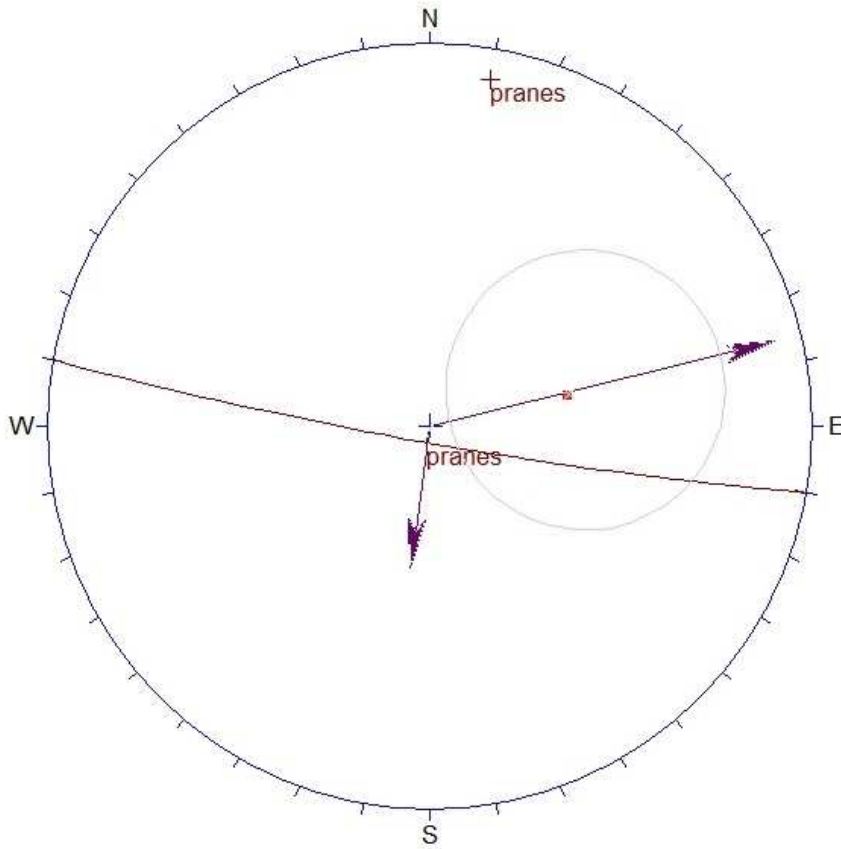
Έτσι, υπολογίζεται ότι η δύναμη του αγκυρίου πρέπει να είναι $T=5,5t$.

Εκτός από τις ολισθήσεις που είναι πιθανό να συμβούν σε αυτό το τμήμα της οδού, μπορούν ακόμα να σημειωθούν και κάποιες ανατροπές.

Στο σχήμα 13 φαίνεται ότι έχουμε δύο μετρήσεις οι οποίες μπορεί να μας δώσουν ανατροπή στην περιοχή. Τα στοιχεία τους είναι: $015^\circ/60^\circ$ και $350^\circ/60^\circ$.

- Στοιχεία πρανούς $190^\circ/85^\circ$

Ακολουθούν τα σχήματα 15 και 16 που δείχνουν τη στερεογραφική προβολή των μέγιστων κύκλων των ασυνεχειών και τις ανατροπές (αν υπάρχουν) στο τμήμα του πρανούς που μελετάμε.



Number of Poles

1 pole

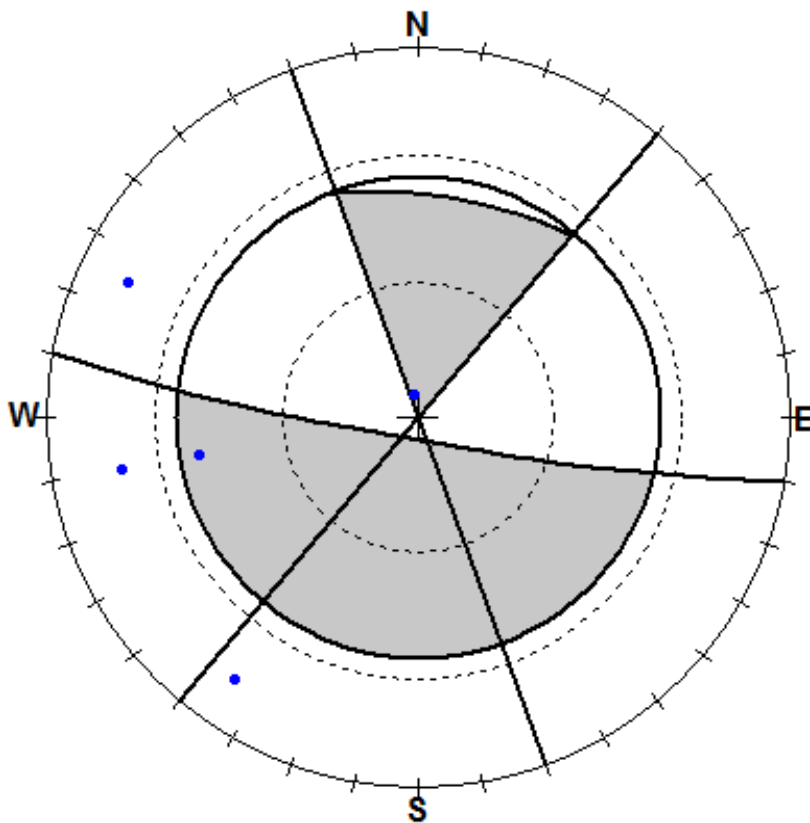
$\phi = 35^\circ$

$\alpha = 40^\circ$

$F = \tan(35^\circ) / \tan(40^\circ) = 0,8 < 1$

Equal Angle
Lower Hemisphere
1 Poles
1 Entries

(σχήμα 15)



(σχήμα 16)

- Τμήμα Ε: Χ.Θ. 387.397μ – Χ.Θ. 387.415μ

Το τεχνητό πρανές σε αυτό το τμήμα του δρόμου έχει ύψος γύρω στα 40 μέτρα και οι κλίσεις του είναι μέτριες έως αρκετά απότομες, από 60° έως και σε μερικές θέσεις 75°. Το πρανές αυτό εμφανίζει ένα σχετικά πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και ρωγμών οι οποίες έχουν σχετικά μικρό εύρος (20-60 χιλιοστά) και δεν περιέχουν υλικό πλήρωσης. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε 320°/60°.

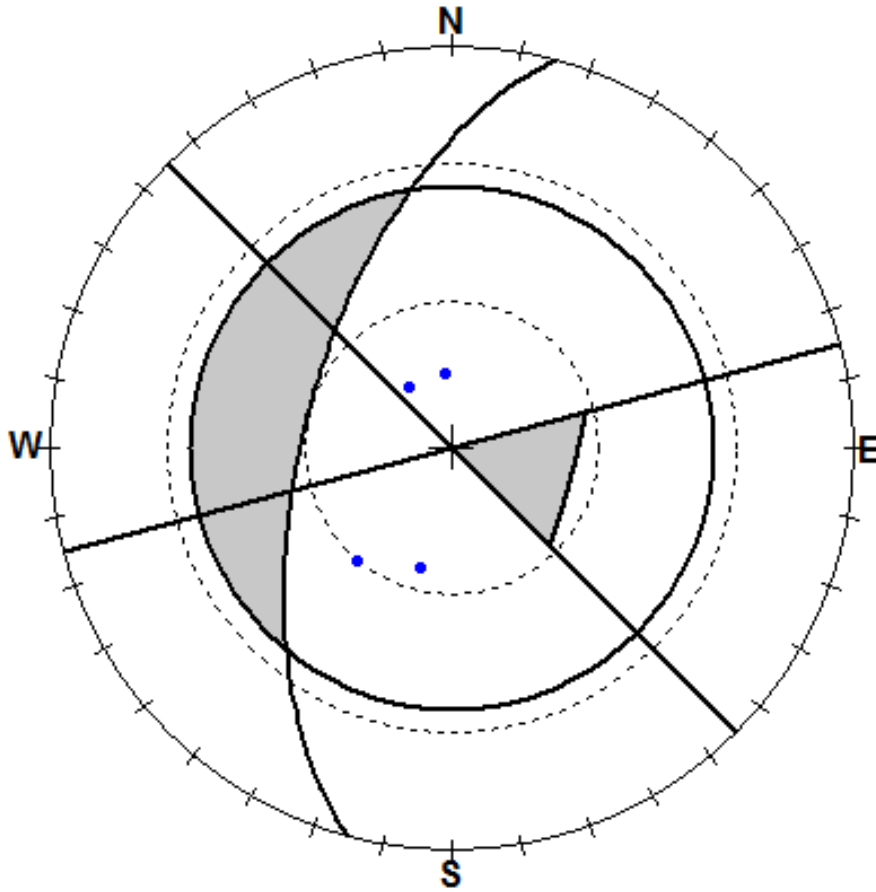
Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν σε αυτή την θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, δεν εντοπίστηκαν κύρια ή άλλα δευτερεύοντα συστήματα ασυνεχειών.

Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες: α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς, β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των επιφανειών των ασυνεχειών και γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς).

Εφόσον δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, δεν έχω ολίσθηση σε αυτό το σημείο και δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος στην οδό.

Τα στοιχεία του πρανούς αυτού είναι: 285°/60°

Ακολουθεί το σχήμα 18 που δείχνει την εφαρμογή του τεστ Markland στο τεχνητό αυτό πρανές, στο οποίο φαίνεται ότι καμία από τις ασυνέχειες του πρανούς δεν μας δίνει αστοχία και άρα ολίσθηση.

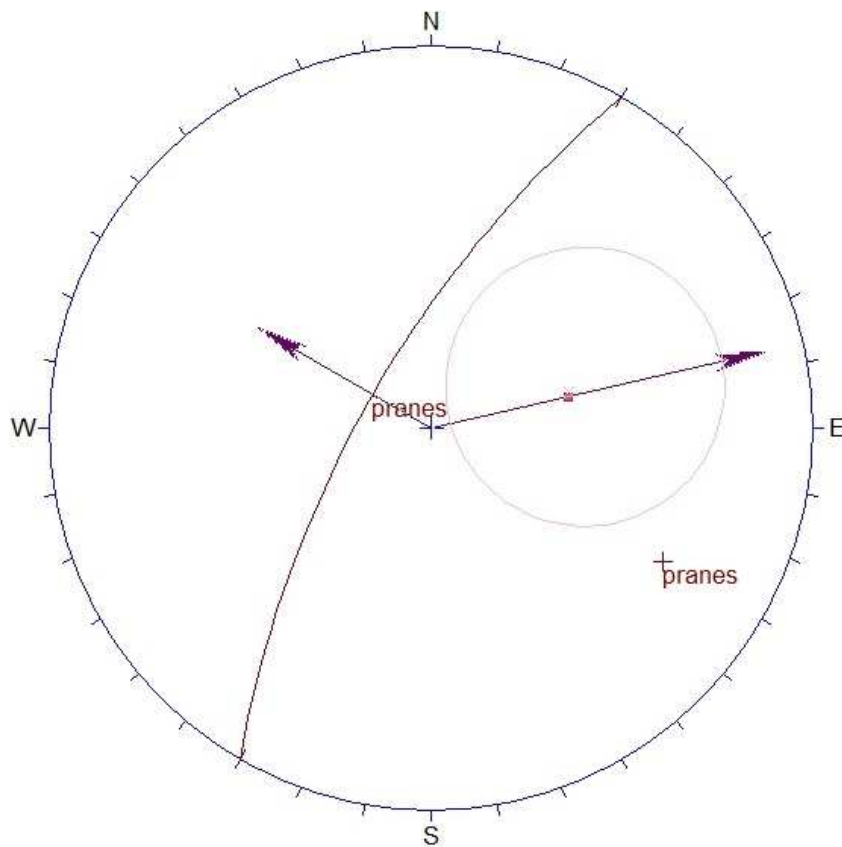


(σχήμα 18)

Στην ίδια χιλιομετρική απόσταση, με στοιχεία πρανούς 300°/70° έγιναν οι ίδιες μετρήσεις όπως παραπάνω. Τα επόμενα δύο σχήματα (19 και 20) δείχνουν τη στερεογραφική προβολή των επιφανειών ασυνέχειας καθώς και την πιθανότητα ολίσθησης βραχοσφήνας ή επιφάνειας.

Μετά την εφαρμογή του τεστ Markland (σχήμα 20) διαπιστώνουμε ότι υπάρχει μια ασυνέχεια που μπορεί να μας δώσει ολίσθηση. Τα στοιχεία αυτής είναι: $260^{\circ}/40^{\circ}$. Για να υπολογίσουμε τον συντελεστή ασφαλείας χρησιμοποιούμε τον παρακάτω τύπο: $F = \epsilon\phi\phi/\epsilon\phi\alpha$
Οι γωνίες ϕ και α μετρήθηκαν ως εξής: $\phi=35^{\circ}$ και $\alpha=40^{\circ}$

Οπότε έχουμε τελικά $F = 0,8 < 1$. Ο υπολογισμός αυτός έγινε με βάση τις γωνίες που φαίνονται στο σχήμα 19.



Number of Poles

■ 1 pole

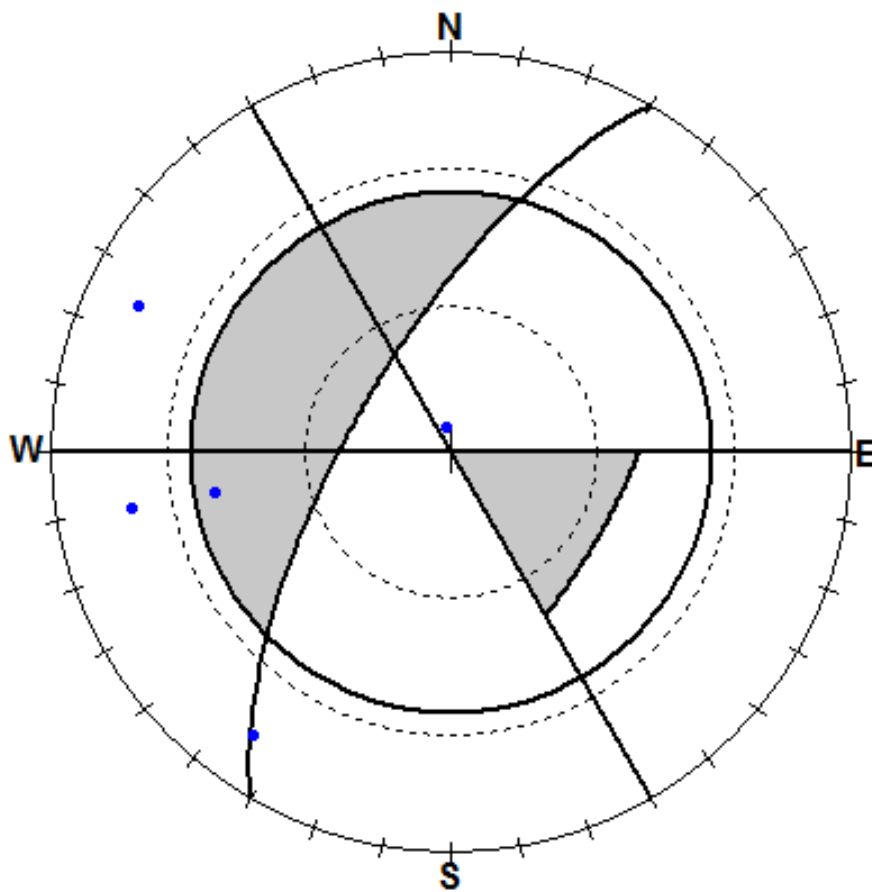
$\phi_i = 35 \text{ deg}$

$a = 40 \text{ deg}$

$F = \tan(35)/\tan(40) = 0,8 < 1$

Equal Angle
Lower Hemisphere
1 Poles
1 Entries

(σχήμα 19)



(σχήμα 20)

Για να έχω ασφαλείς συνθήκες, χρειάζομαι συντελεστή ασφαλείας $F'=1,3$. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη αγκυρίου, σύμφωνα με τους τύπους που ακολουθούν:

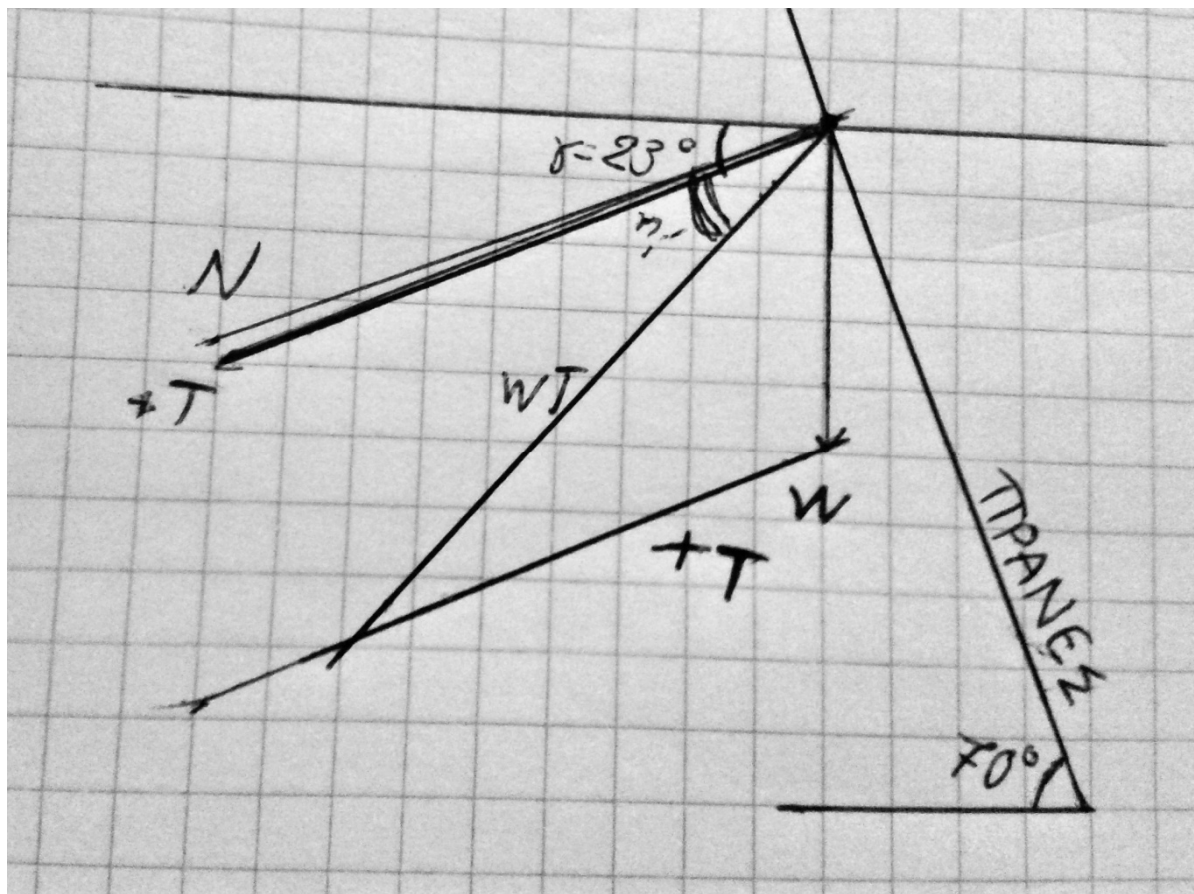
$$F' = \epsilon\phi\phi / \epsilon\phi\eta' = 1,3 \rightarrow \eta' = 28^\circ$$

Το αγκύριο θα τοποθετηθεί με γωνία κλίσης ίση προς:

$$\gamma = (90^\circ + \phi - 2\alpha) / 2 = (90 + 35 - 80) / 2 \rightarrow \gamma = +23^\circ$$

και διεύθυνση αντίρροπη ως προς τη διεύθυνση της κίνησης.

Το μέγεθος του αγκυρίου T υπολογίζεται από το δυναμοπολύγωνο του σχήματος 21.



(σχήμα 21, δυναμοπολύγωνα)

Έτσι υπολογίστηκε ότι η δύναμη του αγκυρίου θα είναι $T=3,7t$ με κλίση $\gamma=23^\circ$.

Το σχήμα 21 δείχνει επίσης μια επιφάνεια με στοιχεία $350^\circ/85^\circ$ που είναι πολύ πιθανό να μας δώσει ανατροπή, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στο σκιασμένο τρίγωνο.

- Τμήμα Στ: Χ.Θ. 387.415μ – Χ.Θ. 388.013μ

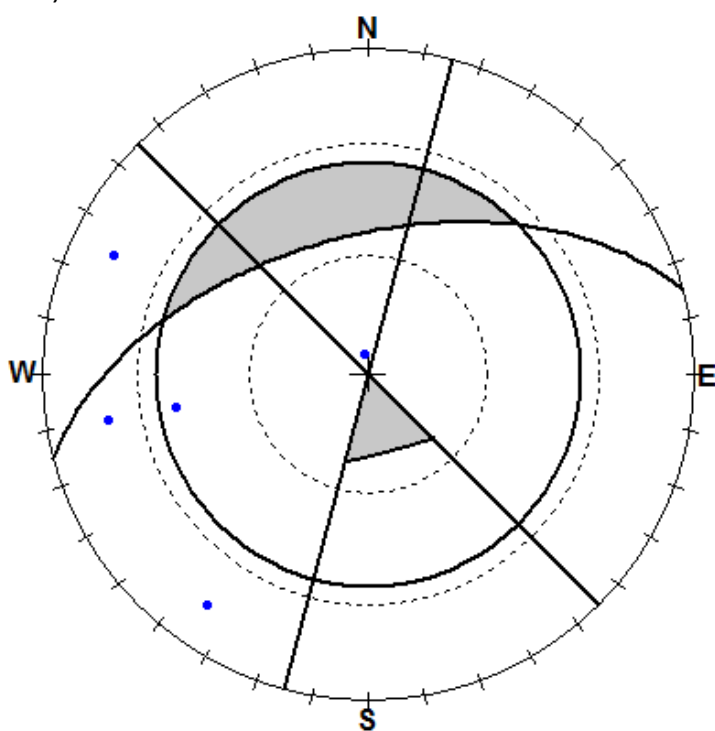
Οι τελευταίες μετρήσεις που έγιναν στην περιοχή έδωσαν τις παρακάτω τιμές για το πρανές: 345°/55° και 350°/60°.

Αρχικά θα εξετάσουμε το 345°/55°.

Σε αυτό το τμήμα του δρόμου έχει ύψος γύρω στα 30-60 μέτρα και οι κλίσεις του είναι αρκετά ήπιες έως μέτριες, από 15° έως και σε μερικές θέσεις 60°. Το πρανές αυτό εμφανίζει πυκνό δίκτυο ασυνεχειών και ρωγμών οι οποίες έχουν μικρό άνοιγμα (6-20 χιλιοστά) και το υλικό πλήρωσης είναι ανενεργή άργιλος. Το πέτρωμα είναι ασβεστόλιθος που εμφανίζεται υγιής έως ελαφρά αποσαθρωμένος κατά θέσεις. Η επιφάνεια στρώσης του πρανούς αυτού μετρήθηκε 260°/40°.

Από την προβολή των ασυνεχειών που μετρήθηκαν σε αυτή την θέση του τεχνητού πρανούς στο δίκτυο Schmidt, δεν εντοπίστηκαν κύρια συστήματα ασυνεχειών. Σύμφωνα με το τεστ Markland (1972) (Hoek & Bray) το πρανές θα είναι δυναμικά ασταθές, δηλαδή μπορεί να συμβεί ολίσθηση όταν εκπληρώνονται και οι τρεις παρακάτω συνθήκες: α) τα επίπεδα των ασυνεχειών ή οι τομές αυτών είναι ομόρροπες προς το μέτωπο του πρανούς, β) η γωνία κλίσης τους (ή της γραμμής τομής τους) υπερβαίνει τη γωνία εσωτερικής τριβής ϕ των επιφανειών των ασυνεχειών και γ) όταν η γωνία κλίσης του επιπέδου ή της γραμμής τομής των δύο επιπέδων, είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης του μετώπου του πρανούς («ανατέλλει» το μέτωπο του πρανούς).

Σε αυτή την περίπτωση εφόσον δεν ικανοποιούνται οι παραπάνω προϋποθέσεις, δεν έχω ολίσθηση σε αυτό το σημείο και δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος στην οδό. Στο σχήμα 22 φαίνονται οι επιφάνειες των ασυνεχειών αφού έχει εφαρμοστεί το τεστ Markland, καθώς επίσης και οι επιφάνειες που μπορεί να προκαλέσουν ανατροπή. Η μέτρηση 350°/85° είναι μια τέτοια, καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στο σκιασμένο τρίγωνο που σχηματίζεται.

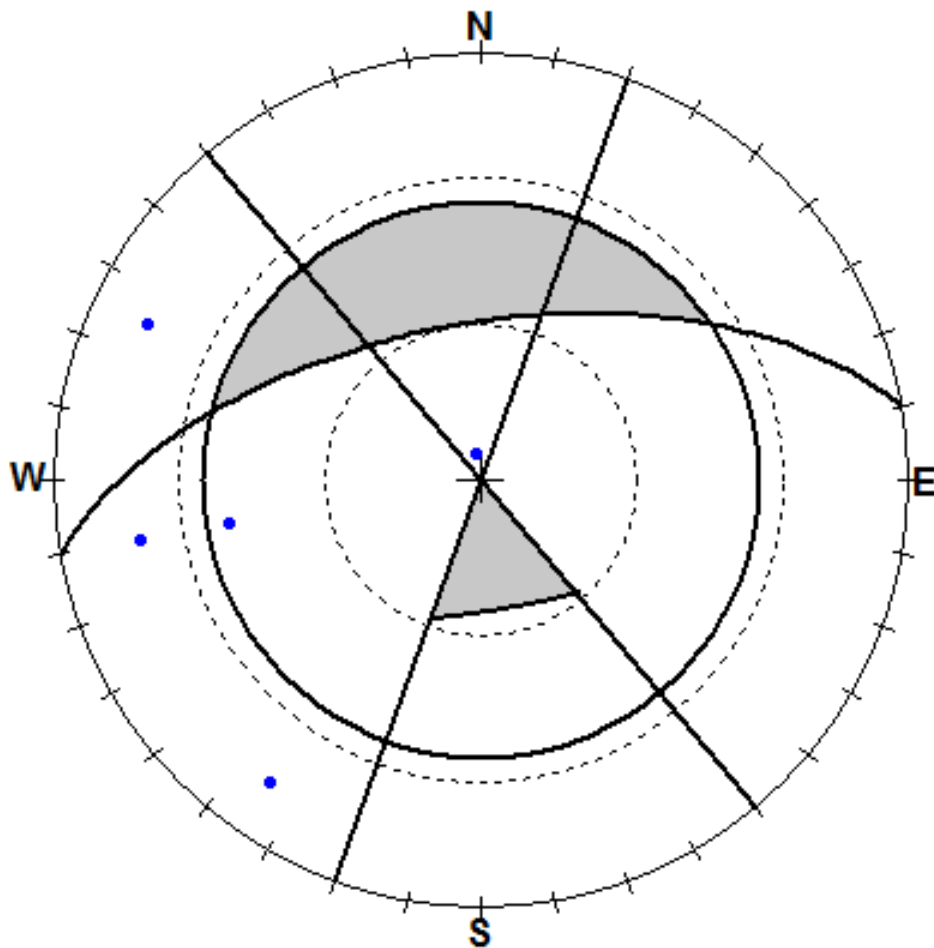


(σχήμα 22)

Στοιχεία πρανούς 350°/60°

Στην περίπτωση αυτή, ισχύουν ακριβώς τα ίδια με παραπάνω, όπως φαίνεται και στο σχήμα 23.

Τα αποτελέσματα λήφθησαν μετά από την εφαρμογή του τεστ Markland και δείχνουν ότι δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος ολίσθησης στην περιοχή, ενώ η ασυνέχεια 350°/85° μπορεί μελλοντικά να προκαλέσει ανατροπή.



(σχήμα 23)

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τις επιτόπου τεχνικογεωλογικές παρατηρήσεις και τα αποτελέσματα ανάλυσης των συνθηκών ευστάθειας που επικρατούν στις επιμέρους θέσεις του δεξιού βραχώδους πρανούς της Εθνικής Οδού Αθήνας – Θεσσαλονίκης στην περιοχή των Τεμπών από τη Χιλιομετρική Θέση 385+710 μέτρα, μέχρι και τη Χ.Θ. 388+013 μέτρα, προέκυψαν τα παρακάτω γεωλογικά καθώς και γεωτεχνικά συμπεράσματα:

- Η βραχώμαζα στην περιοχή μελέτης αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα όπως μάρμαρα και κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι τα οποία ανήκουν στο μεταμορφωμένο σύστημα της Πελαγονικής ζώνης των εσωτερικών Ελληνίδων ζωνών. Σε μερικές θέσεις, το υγιές πέτρωμα καλύπτεται από κορήματα που έχουν επικολληθεί σε αυτό, με συνδετικό υλικό μικρού πάχους από άργιλο.

Η γενική διεύθυνση των επιφανειών στρώσης είναι ΔΝΔ-Δ και η γωνία κλίσης τους κυμαίνεται γύρω στις 10° με 20° , ενώ είναι αντίρροπες προς την κλίση του πρανούς και τέμνουν διαγώνια τον άξονα της οδού ή είναι παράλληλες σε αυτόν.

- Το βραχώδες πρανές έχει ισχυρές κλίσεις και σε μερικά σημεία του είναι ακόμα και κατακόρυφες. Οι γωνίες κλίσης που μετρήθηκαν κυμαίνονται συνήθως στις 65° με 75° . Το ύψος του πρανούς ποικίλει από 12 μέτρα έως και σε κάποια σημεία 100 μέτρα. Σε κάποια σημεία, ανάντη του τεχνητού πρανούς υπάρχει αναβαθμίδα πλάτους περίπου 10-15 μέτρων και πιο πάνω βρίσκεται το φυσικό πρανές με μεγάλο ύψος καθώς και μεγάλη κλίση.

- Η βραχώμαζα τέμνεται από πυκνό δίκτυο ασυνεχειών, οι οποίες πολλές φορές είναι αρκετά διευρυμένες κοντά στην επιφάνεια και έχουν δυσμενή προσανατολισμό ως προς το μέτωπο του πρανούς. Ο συνδυασμός των συστημάτων ασυνεχειών της βραχώμαζας, οδηγεί πολλές φορές στην δημιουργία ασταθών βραχοσφηνών που οριοθετούνται από ασυνέχειες με δυσμενή προσανατολισμό προς το μέτωπο του πρανούς και για τις οποίες υπολογίζεται σε αρκετές περιπτώσεις ένας πολύ μικρός συντελεστής ασφαλείας.

- Γενικά, δευτερογενείς συνθήκες αστάθειας δημιουργούνται από την περιοδική άσκηση των θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων που οφείλονται στη δράση του πάγου και τη μεταβολή του σε νερό μέσα στις ρωγμές του βράχου. Έτσι συνεχείς και μεγάλου εύρους διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και υγρασίας διαλύουν και αποσαθρώνουν το ανθρακικό πέτρωμα μειώνοντας προοδευτικά τη συνοχή του. Στην περαιτέρω χαλάρωση του πετρώματος εισβάλλει σημαντικά και το ριζικό σύστημα των δέντρων, διευκολύνοντας την απολέπιση αυτού με τη δημιουργία εφελκυστικών τάσεων κατά μήκος των επιφανειών των ασυνεχειών.

Στην αύξηση της αστάθειας των βραχοσφηνών και των ομόρροπων προς την κλίση του πρανούς κατατμητικών σωμάτων, συμβάλλει επιπρόσθετα και το νερό με την ανάπτυξη πρόσκαιρων υδροστατικών πιέσεων στα ανοίγματα των εφελκυστικών ρωγμών. Αυτή η δράση διαρκεί μικρά χρονικά διαστήματα, συνήθως μετά τις βροχερές περιόδους, εξαιτίας του μικρού χρόνου παραμονής του νερού μέσα στις διακλάσεις, γεγονός που ευνοεί και ο προσανατολισμός των ασυνεχειών και της υψηλής διαπερατότητας της βραχώμαζας που καθορίζεται από την παρουσία πυκνού δικτύου αρκετά διευρυμένων ρωγμών.

Η συνεπίδραση αυτών των παραγόντων επιδεινώνει τις συνθήκες αστάθειας του πρανούς ακόμα και στις περιπτώσεις που ο προσανατολισμός των ασυνεχειών είναι ευνοϊκός.

- Για την αξιολόγηση της ευστάθειας, πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία όλων των τεκτονικών στοιχείων που μετρήθηκαν. Η ανάλυση της ευστάθειας έγινε με την παραδοχή ότι οι πιθανές αστοχίες ελέγχονται αποκλειστικά από τους προσανατολισμούς των ασυνεχειών σε σχέση με τον προσανατολισμό του μετώπου του πρανούς. Από την επιμέρους ανάλυση της ευστάθειας προκύπτει ότι οι πιο συχνές αστοχίες είναι οι περιορισμένης έκτασης σφηνοειδείς ολισθήσεις (με πιθανότητα ολίσθησης κατά μήκος της γραμμής τομής των δυο ασυνεχειών).

Παρατηρούνται επίσης και αποκολλήσεις και καταπτώσεις ασβεστολιθικών τεμαχών.

- Για την αξιολόγηση της ποιότητας της βραχώμαζας πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση Bieniawsky (1989) καθώς επίσης υπολογίστηκε το RMR, SMR κατά Romana (1985) και το RQD, το οποίο αναφέρεται στο βαθμό αποσάθρωσης της βραχώμαζας. Με βάση τα παραπάνω, η ποιότητα της βραχώμαζας προσδιορίζεται ως καλή και σε ελάχιστες περιπτώσεις ως μέτρια.

- Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν, ο μηχανισμός της περαιτέρω χαλάρωσης και η ευστάθεια των ασβεστολιθικών μαζών ελέγχεται κυρίως από τέσσερις παράγοντες:

1. Την ισχυρή έως κατακόρυφη τοπικά κλίση του πρανούς που δημιουργήθηκε κατά τη διάνοιξη της οδού καθώς και το μεγάλο ύψος και κλίση των φυσικών βραχωδών πρανών.
2. Την παρουσία ανοικτών ασυνεχειών με δυσμενή προσανατολισμό προς το μέτωπο του πρανούς.
3. Την ανάπτυξη υδροστατικών πιέσεων στις επιφάνειες των ασυνεχειών που προκαλεί τη μείωση της ορθής τάσης και κατά συνέπεια και της διατμητικής αντοχής των βραχωδών σφηνών και ολισθητικών σωμάτων.
4. Τη δράση των ατμοσφαιρικών παραγόντων (χημική διάβρωση, ανάπτυξη προοδευτικών εφελκυστικών – θλιπτικών τάσεων λόγω παγετού και αποσαθρωτική δράση ανέμου).

Συνεπώς, παρά τη συνεκτικότητα και την υψηλή μηχανική αντοχή του ασβεστολιθικού υλικού, η συνεκτίμηση όλων των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν τα επιμέρους τμήματα που εξετάστηκαν κατά μήκος της οδού (ποιότητα της βραχώμαζας, προσανατολισμός των ασυνεχειών σε σχέση με το μέτωπο του πρανούς, γεωμετρικά στοιχεία του πρανούς, επίδραση των αποσαθρωτικών – διαβρωτικών παραγόντων) επιβάλλουν τη λήψη μέτρων προστασίας διαφοροποιημένα για κάθε θέση ξεχωριστά.

Συνοπτικά, οι πιθανές ολισθήσεις ή καταπτώσεις βράχων που μπορεί να προκληθούν από ανατροπή, δηλαδή περιστροφή τεμαχών πετρώματος γύρω από σταθερή βάση, εμφανίζονται στα παρακάτω τμήματα της οδού και τα στοιχεία τους είναι:

1. Τμήμα Α: Χ.Θ. 385.710μ – Χ.Θ. 386.230μ - (α) 215°/55°
2. Τμήμα Β: Χ.Θ. 386.230μ – Χ.Θ. 386.900μ - (α) 275°/70°, (β) 275°/75°
3. Τμήμα Δ: Χ.Θ. 387.102μ – Χ.Θ. 387.397μ - (α) 015°/60°, (β) 350°/60°, (γ) 350°/85°
4. Τμήμα Ε: Χ.Θ. 387.397μ – Χ.Θ. 387.415μ - (α) 350°/85°
5. Τμήμα Στ: Χ.Θ. 387.415μ – Χ.Θ. 388.013μ - (α) 350°/85°

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Δημόπουλος Γ., (1986). Τεχνική Γεωλογία με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων

Δημόπουλος Γ., (1998-1999). Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας και Υποδείγματα Σύνταξης Γεωλογικών μελετών, Α.Π.Θ. Τμήμα εκδόσεων Παν. Τυπογραφείο.

Δημόπουλος Γεώργιος, Μακεδών Θωμάς, (2010). Προβλήματα Τεχνικής Γεωλογίας, Συνοπτική Θεωρία και Υποδείγματα και λύσεις, Εκδόσεις Τζιόλα.

Κίλιας Αδαμάντιος, (1985). Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία.

Κίλιας Α., Μουντράκης Δ., (1989). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, Μεταμόρφωση και Μαγματισμός.

Μουντράκης Δ., (1985). Γεωλογία της Ελλάδος. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Εντέλα Ζότο, (2001). Γεωλογική – Γεωτεχνική Μελέτη ευστάθειας πρανών στη θέση Χ.Θ. 385.710-Χ.Θ. 388.031 της Ν.Ε.Ο. Αθήνας-Θεσσαλονίκης στα Τέμπη Νομού Λάρισας. Διατριβή Ειδίκευσης, Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας. Ειδίκευση: Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία.

Π. Μεγαλομάστορα, Α. Παναγόπουλος, Π. Δάφνης, (2003). Γεωλογική Μελέτη-Τεχνική Έκθεση. Μελέτη για την αντιμετώπιση κατολισθήσεων – καταπτώσεων κατά μήκος της κοιλάδας των Τεμπών στην Αρ. 1 Ε.Ο. Αθηνών-Θεσσαλονίκης. Γενική Γραμματεία Δημοσίων Έργων Διεύθυνση Μελετών Έργων Οδοποιίας.

Barton, N.R., (1973). Review of a new shear strength criterion for rock joints, *Engineering Geology*, Elsever.

Bieniawsky, Z.T., (1979). Tunnel Design by rock mass classification. U.S. Army Waterways Experiment Station.

Bieniawsky, Z.T., (1979). The Geomechanics Classification in Rock Engineering Application. Proc. 4th, Int. Congress of the Int. Soc. For Rock Mechanics.

Bieniawsky, Z.T., (1989). Engineering Rock Mass Classifications, J. Wiley.

Δημόπουλος Γ., (1998-1999). Ασκήσεις Τεχνικής Γεωλογίας και Υποδείγματα Σύνταξης Γεωλογικών Μελετών, Α.Π.Θ. Τμήμα Εκδόσεων Παν. Τυπογραφείο.

Hocking G., (1976). A method of distinguishing between single and double plane sliding of tetrahedral wedges. Intn1. J. Rock mechanics in Mining Science.

Hoek E., Diederichs, M.S., (1989). DIPS, Version 2. Department of Civil Engineering, University of Toronto, Canada.

Hoek E., & Bray J.W., (1981). Rock Slope Engineering. 3rd edition. London: Inst Min. Met. Eng.

Markland J.T., (1972). A useful Technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected. Imperial College Rock Mechanics Research Report. No. 19.

Χρηστάρας Β.,κ.α. (1998). Εργαστηριακές και Επί τόπου δοκιμές Εδαφομηχανικής. Α.Π.Θ. Τμήμα Εκδόσεων Παν. Τυπογραφείο.

Romana M., (1985). New adjustment Ratings for Application of Bieniawsky Classification Slopes. Int. Sym. On the Role of Rock Mechanics, Zacatecas.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ Η/Υ

M.S. Diederichs, E. Hoek (1989). *DIPS, Ver. 2.2. Program for the interactive analysis of orientation based on geological data. Developed by: Rock Engineering Group, University of Toronto.*

RockPack III, version 3.1.0, Rock Slope Stability Computerized Analysis Package. *Created by C.F. Watts, PhD, CPG Engineering Geologist in association with Daniel R. Gilliam, Marc D. Hrovatic, & Han Hong Copyright © (2003).*

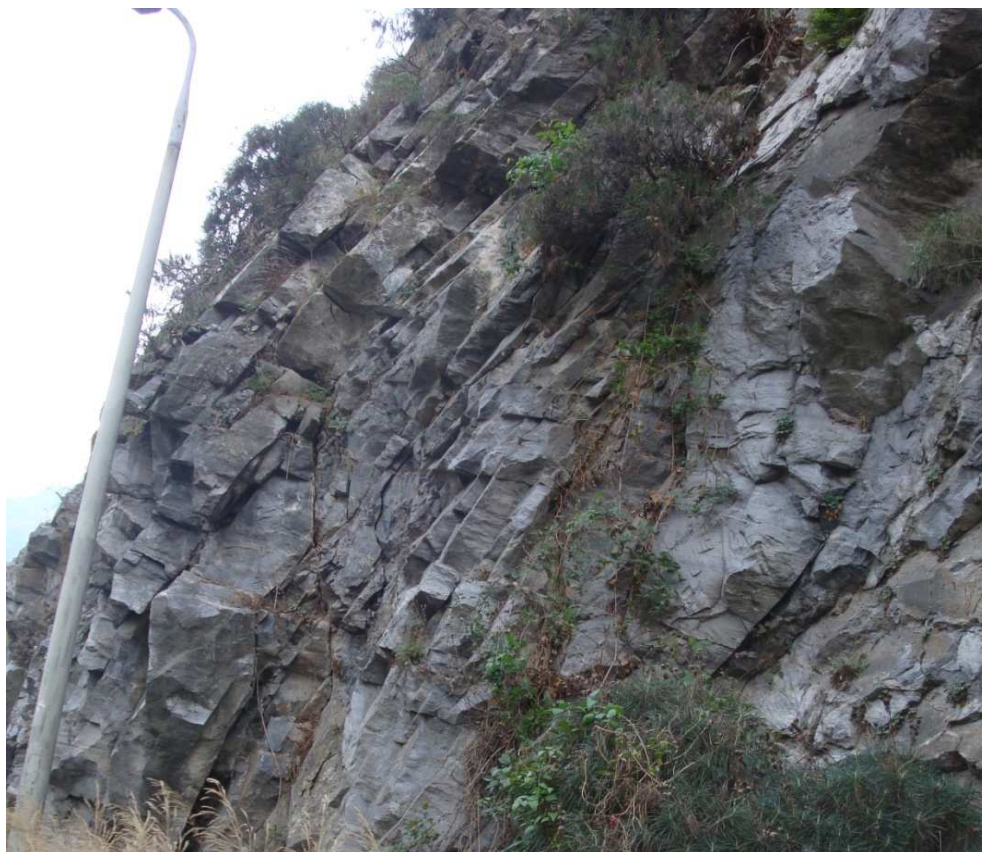
Microsoft Office 2007. *Copyright 1983-1996 Microsoft Corporation.*

6. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακολουθούν φωτογραφίες του πρανούς στην περιοχή που περιγράψαμε. Σε αυτές φαίνονται το είδος του πετρώματος και ο κερματισμός του, οι κλίσεις του πρανούς και το ύψος του, οι ρωγμές που υπάρχουν σε αυτό και η γενική αποσάθρωσή του.



(φωτ. 1)



(φωτ. 2)



(φωτ. 3)



(φωτ. 4)



(φωτ. 5)



(φωτ. 6)



(φωτ. 7)



(φωτ. 8)



(φωτ. 9)



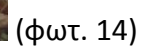
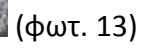
(φωτ. 10)



(φωτ. 11)



(φωτ. 12)



ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 6. Γεωτεχνική ταξινόμηση RMR (Bieniawski, 1989) - Προσαρμογή για βραγύδη στην ΣΑΡ (Romana, 1985).

[illegible]

SMR – Romana 1985)

Ε. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΣΤΕΝΕΥΣΕΩΝ (Romana, 1985).

Περιπτώση	$ a_1 - a_2 $ $ a_1 - a_2 - 180^\circ $	Πολύ ευνοϊκή > 30°	Ευνοϊκή 30° - 20°	Μέτρια 20° - 10°	Δυσμενής 10° - 5°	Πολύ δυσμενής < 5°
P						
T						
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_1 $	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
P	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_3	1	1	1	1	1
P	$\beta_1 - \beta_2$	> 10°	10° - 0°	0°	0 - (-10°)	< -10°
T	$\beta_1 + \beta_2$	< 110°	110° - 120°	> 120°		
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60

P = Κατάρτιση με επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης (Plane failure)

T = Κατάρτιση με ανατροπή (Toppling failure)

β_1 = Κλίση προανός

a_1 = Διεύθυνση κλίσης προανός

a_2 = Διεύθυνση κλίσης ασυνεγείων

β_1 = Κλίση ασυνεγείων

Ε. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΣΤΕΝΕΥΣΕΩΝ (Romana, 1985).

Μέθοδος εκσκαφής	Φυσικό πρόνι, (Natural slope)	Προρηγμάτωση (Presplitting)	Επία αναπλάξη (Smooth blasting)	Συνήθης; αναπλάξη (Regular blasting)	Ελαττωματική αναπλάξη (Deficient blasting)
F4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

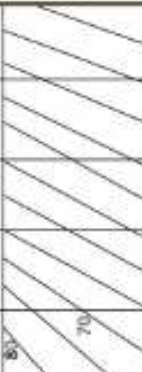
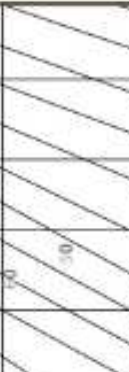
$$SMR = RMR + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4$$

Γ. ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΛΑΣΕΩΝ SMR (Slope Mass Rating).

Κατάταξη	V	IV	III	II	I
SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Περιγραφή	Πολύ πτωχή	Πτωχή	Μέτρια	Καλή	Πολύ καλή
Ευστάθεια	Πολύ ασταθές	Ασταθές	Μερικά ευσταθές	Ευσταθές	Πλήρως ευσταθές
Αστογίες	Μεγάλες, επίπεδες ή σαν έδαφος	Επίπεδες ή μεγάλες σφήνες	Μερικές, ασυνέχειες ή πολλές σφήνες	Μερικά τεμάχια (blocks)	Καμία
Ανεγκαια μέτρα (υποστηρίξη)	Επανεκσκαφή	Εκτεταμένη δόρφωση	Συστηματική	Τυγνά	Καμία

ISRM - Commission on Classification of Rocks and Rock Masses (1981): *Basic Geotechnical Description of Rock Masses*. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 18, pp. 85-110.

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ⇒⇒⇒

GSI		1	2	3	4	5
 A						
	 B					
	 C					
	 D					
	 E	N/A	N/A			

• Η δομή της βραχομάζας περιγράφεται καθέτως, ενώ το είδος των επιφανειών των ασυνεχειών περιγράφεται οριζοντίως.

• 1: Πολύ καλή ποιότητα: Μη αποσθρωμένες επιφάνειες.

• 2: Καλή ποιότητα: Τραχείες ελαφρά αποσθρωμένες επιφάνειες. Εμφανείς κηλίδες οξείδωσης.

• 3: Μέτρια ποιότητα: Ομαλές, μέτρια αποσθρωμένες επιφάνειες.

• 4: Πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες με λεία τοιχώματα ή έντονα αποσθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών είναι γωνιώδη θραύσματα.

• 5: Πολύ πτωχή ποιότητα: Επιφάνειες επικαλυμμένες ε αργιλικό υλικό και λεία τοιχώματα, έντονα αποσθρωμένες. Το υλικό πλήρωσης των ασυνεχειών είναι αργιλικό.

• A: Ελαφρά τεμαχισμένη βραχομάζα: Μη διακοπτόμενη βραχομάζα αποτελούμενη από κυβικούς όγκους βράχου που σχηματίζονται από τρεις ορθογωνικές ομάδες ασυνεχειών.

• B: Πολύ τεμαχισμένη βραχομάζα: Μερικώς διακοπτόμενη βραχομάζα αποτελούμενη από πολλαπλά στρώματα γωνιοδών βραχοδών όγκων που σχηματίζονται από τέσσερις ή περισσότερες ομάδες ασυνεχειών.

• C: Κατακερματισμένη βραχομάζα: Ρηγματομένη και πτυχωμένη βραχομάζα με γωνιώδεις βραχώδεις όγκους που σχηματίζονται από πλήθος ομάδων ασυνεχειών.

• D; Εξαλειωμένη βραχομάζα: Τελείως κατεστραμμένη βραχομάζα με μίξη γωνιοδών και στρωγγύλων βραχοδών κομματιών.

• E: Φολιδωμένη / σχιστοποιημένη βραχομάζα: Λεπτά φολιδωμένη ή σχιστοποιημένη, τεκτονικά διατημένα ασθενή πετρώματα. Η έντονη σχιστοποίηση υπερισχύει σε οποιαδήποτε άλλη ομάδα ασυνεχειών, έχοντας ως αποτέλεσμα την πλήρη έλλειψη τμημάτων.