

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΑΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
Φοιτητής Γεωλογίας

**ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ – ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ
ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ-ΜΕΛΕΤΗ
ΚΑΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ
ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ «ΚΑΣΤΑΝΙΑ»
ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΔΟΥ ΒΕΡΟΙΑΣ – ΚΟΖΑΝΗΣ
(ΟΡΟΣ ΒΕΡΜΙΟ)**



Υπό την επίβλεψη:

ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ
Δρ. Καθ. Υδρογεωλογίας και Τεχνικής Γεωλογίας, ΑΠΘ.

ΤΡΑΝΟΥ ΜΑΡΚΟΥ
Δρ. Τεκτονικής Γεωλογίας, ΑΠΘ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2004

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία εκπονείται στα πλαίσια του μαθήματος Διπλωματική Εργασία του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και έχει ως αντικείμενο τον προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών συνθηκών που διέπουν τα πρανή σε τμήματα της Εθνικής Οδού Βέροιας-Κοζάνης στην ευρύτερη περιοχή της Καστανιάς.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα Καθηγητή, κ. Δημόπουλο Γεώργιο για την ανάθεση του θέματος και κυρίως για τις καθοριστικές υποδείξεις και την ανελλιπή του βοήθεια πάνω στα θέματα τεχνικής γεωλογίας που άπτονται του αντικειμένου της ευστάθειας πρανών. Επίσης, ευχαριστώ τον Δρ. Μάρκο Δ. Τρανό για την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της συγγραφής αυτής της εργασίας και τις γνώσεις και εμπειρίες που με βοήθησε να αποκτήσω. Ακόμα θέλω να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Κώστα για τη βοήθειά του σε θέματα Η/Υ και τον φίλο μου Γαλάνη Νίκο για τη βοήθειά του σε θέματα φωτογραφίας. Τέλος, πρέπει να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη συμπαράστασή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή.....	σελ. 4
1.1 Σκοπός και μεθοδολογία.....	σελ. 4
1.2 Γεωγραφικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής.....	σελ. 5
2. Γεωλογία της ευρύτερης περιοχής.....	σελ. 8
3. Γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής.....	σελ. 13
3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης.....	σελ. 13
3.2 Τεκτονική.....	σελ. 15
4. Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της εθνικής οδού.....	σελ. 18
4.1 Τμήμα Α.....	σελ. 19
4.2 Τμήμα Β.....	σελ. 22
4.3 Διακλάσεις.....	σελ. 24
5. Ευστάθεια των πρανών του δρόμου.....	σελ. 29
5.1 Γενικά	σελ. 29
5.2 Ευστάθεια των πρανών στην περιοχή μελέτης.....	σελ. 40
6. Συμπεράσματα.....	σελ. 57
7. Βιβλιογραφία.....	σελ. 58
Παραρτήματα.....	σελ. 60

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Σκοπός και μεθοδολογία

Η παρούσα μελέτη αποτελεί διπλωματική εργασία που εκπονείται στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Αντικείμενό της είναι η γεωλογική χαρτογράφηση της ευρύτερης ζώνης του τμήματος «Καστανιά» της εθνικής οδού Βέροιας-Κοζάνης σε κλίμακα 1:20.000 και η λεπτομερής γεωλογική-τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση της οδού στο τμήμα αυτό σε κλίμακα 1:5.000, με σκοπό τη διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των υφιστάμενων πρανών της εθνικής οδού Βέροιας-Κοζάνης.

Η εκπόνηση της εργασίας περιελάμβανε:

(α) συλλογή τοπογραφικών και γεωλογικών χαρτών σχετικών με την ευρύτερη περιοχή, (β) βιβλιογραφική ενημέρωση σχετικά με τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής, (γ) εργασίες υπαίθρου, (δ) εργασίες γραφείου.

Στις εργασίες υπαίθρου περιλαμβάνονται η γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:20.000 της ευρύτερης περιοχής του χωριού Καστανιά και η τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 τμημάτων της εθνικής οδού στο τμήμα αυτό. Επίσης ιδιαίτερη σημασία δόθηκε στη συλλογή των ασυνεχειών των γεωλογικών σχηματισμών όπως φύλλωση, ρήγματα, διακλάσεις κ.ά. καθώς και μετρήσεις κλίσεων των υφιστάμενων πρανών σε επιλεγμένες θέσεις.

Στις εργασίες γραφείου περιλαμβάνονται:

(α) η σχεδίαση με το πρόγραμμα CorelDRAW Version 10 των χαρτών και η κατασκευή γεωλογικών τομών σε επιλεγμένες θέσεις, ώστε να δίνεται μια ακριβής εικόνα για τη γεωλογική δομή της περιοχής,

(β) η αξιολόγηση των συλεχθέντων τεκτονικών στοιχείων, με την κατασκευή στερεογραφικών διαγραμμάτων με τη χρήση του προγράμματος StereoNett Version 2.46 (Duyester 1999), και ιδιαίτερα,

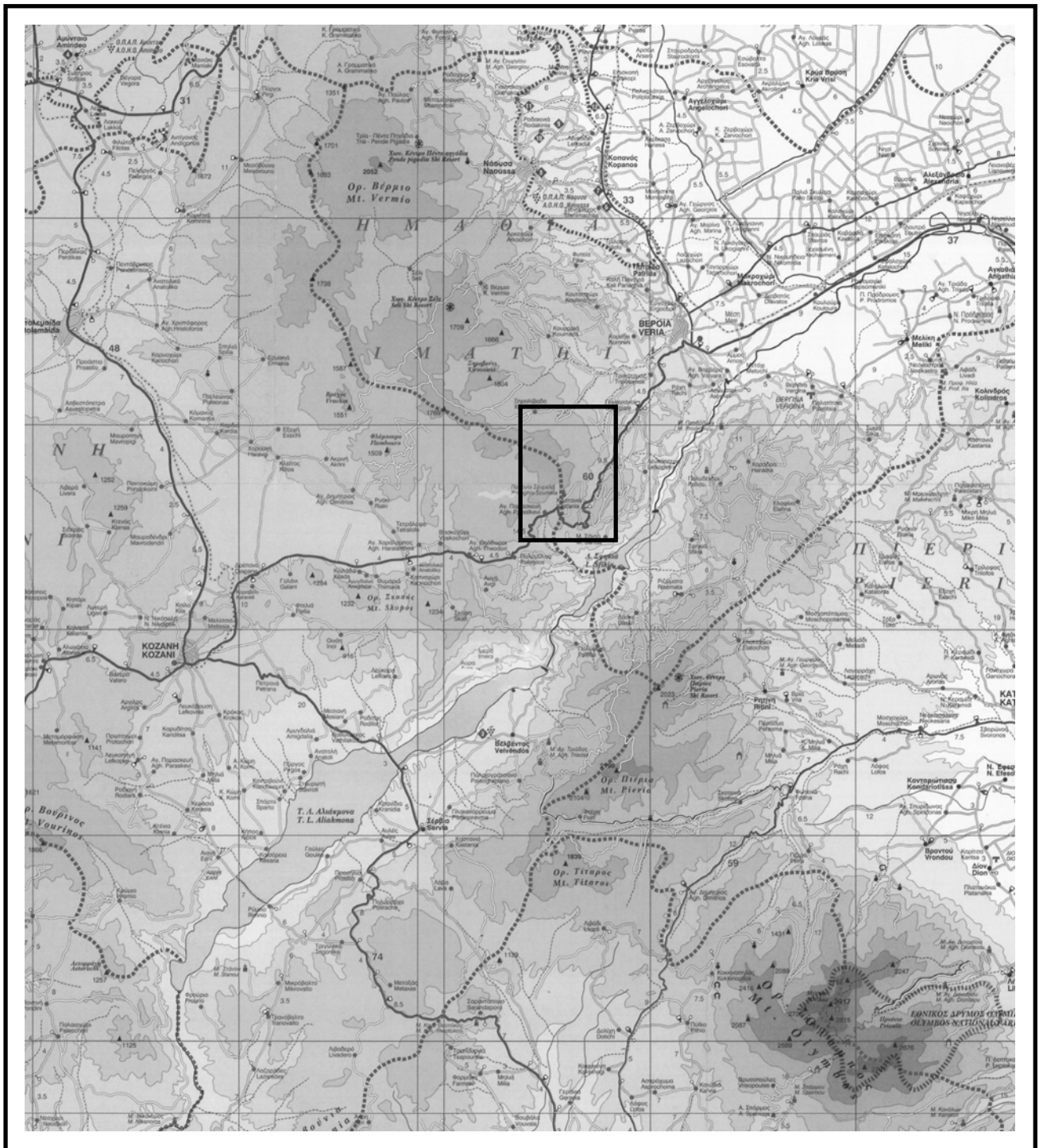
(γ) η αξιολόγηση των συνθηκών ευστάθειας των υφιστάμενων πρανών με τα test Markland και Hocking.

1.2 Γεωγραφικά – Γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής

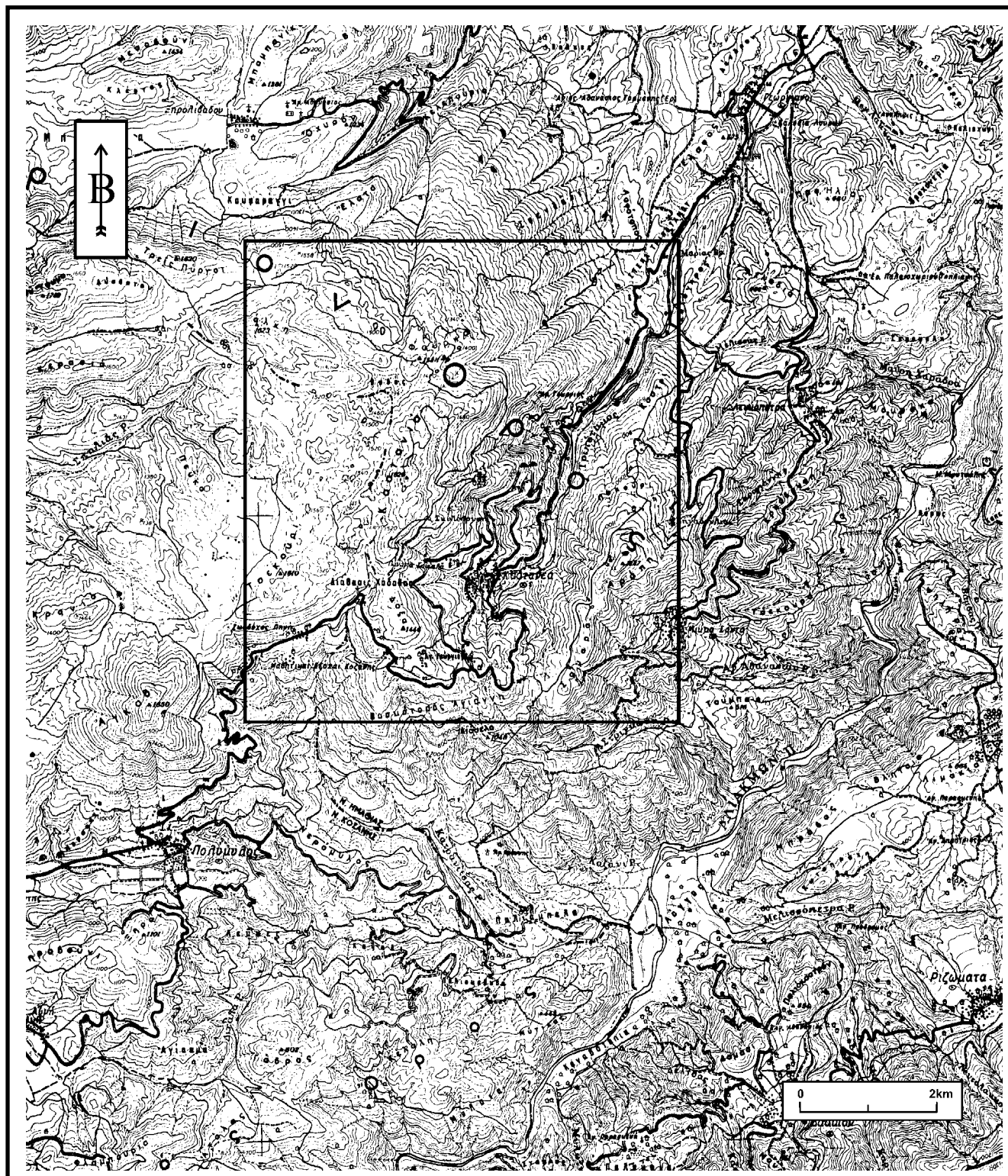
Την περιοχή μελέτης αποτελεί η ευρύτερη περιοχή του χωριού Καστανιάς, στις νότιες πλαγιές του όρους Βερμίου του νομού Ημαθίας και βρίσκεται σε απόσταση περίπου 15km ΔΝΔ από την πόλη της Βέροιας (σχ. 1.1). Ειδικότερα, η περιοχή μελέτης αφορά το τμήμα «Καστανιά» της εθνικής οδού Βέροιας-Κοζάνης, η οποία με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση διατρέχει τις νότιες πλαγιές του ορους Βερμίου. Στο τμήμα αυτό η εθνική οδός παρακολουθεί σε γενικές γραμμές την ανάπτυξη των ισοϋψών ή σχηματίζει με αυτές πολύ μικρή γωνία, με τελικό αποτέλεσμα να σχηματίζει ιδιαίτερα μεγάλου μήκους zig-zag αναπτύγματα.

Το ανάγλυφο στην περιοχή χαρακτηρίζεται έντονο, ορεινό με μεγαλύτερο υψόμετρο τα 1600m, ενώ η περιοχή μελέτης αποτελεί το χώρο της ταπείνωσης του ορεινού όγκου Βερμίου προς το ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρέμα Τριπόταμος συνιστώντας έτσι τις ΒΔ κλιτύες του ρέματος αυτού που αποτελεί και την μεγαλύτερη μορφολογική ύφεση στην ευρύτερη περιοχή. Το ρέμα αυτό συλλέγει τα επιφανειακά νερά γύρω από το χωριό Καστανιά και με σημαντική ευθύγραμμη ανάπτυξη χύνεται τελικά στην πεδιάδα της Βέροιας. Πρέπει να αναφερθεί ότι το ρέμα αυτό αναπτύσσεται παράλληλα προς το τεκτονικό βύθισμα του ποταμού Αλιάκμονα που βρίσκεται νοτιότερα και διαχωρίζει την ορεινή μάζα του Βερμίου από αυτήν των Πιερίων.

Στα ΒΔ της περιοχής μελέτης και σε υψόμετρο περί τα 1500m η τοπογραφία εμφανίζει χαρακτηριστική εικόνα καρστικής διάβρωσης ανθρακικών σχηματισμών.



Σχήμα 1.1 Γεωγραφική τοποθέτηση της περιοχής μελέτης.

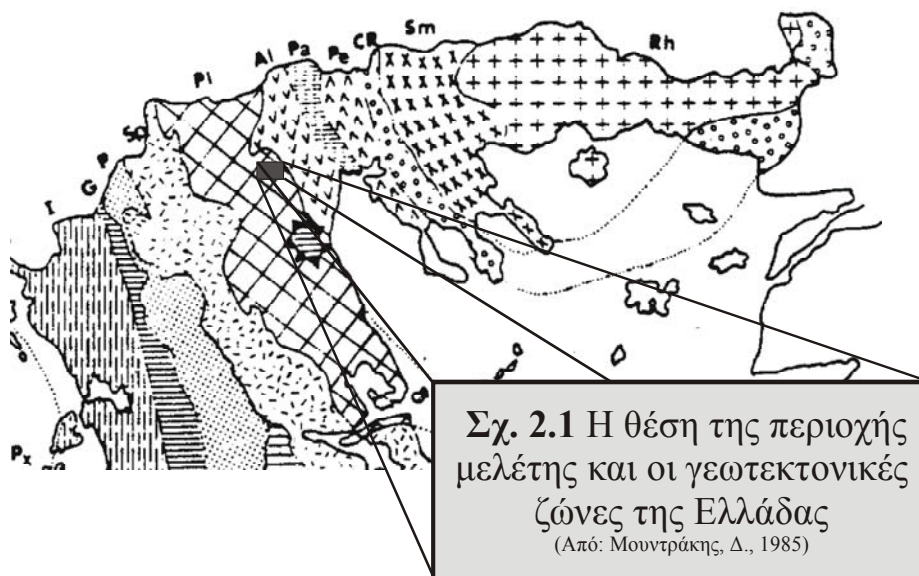


Σχήμα 1.2 Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής μελέτης.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης δομείται από προ-αλπικά και αλπικά πετρώματα που από γεωτεκτονική άποψη έχουν συμμετάσχει στην αλπική ορογένεση και εντάσσονται στην Πελαγονική ζώνη (Μουντράκης 1985).

Μέσα στην εξέλιξη των ορογενετικών διεργασιών, η Πελαγονική θεωρείται ότι αποτέλεσε τμήμα της Κιμμερικής ηπείρου που αποσπάστηκε από την Gondwana κατά το Τριαδικό και εκατέρωθεν της οποίας αναπτύχθηκαν δύο ωκεάνιες περιοχές



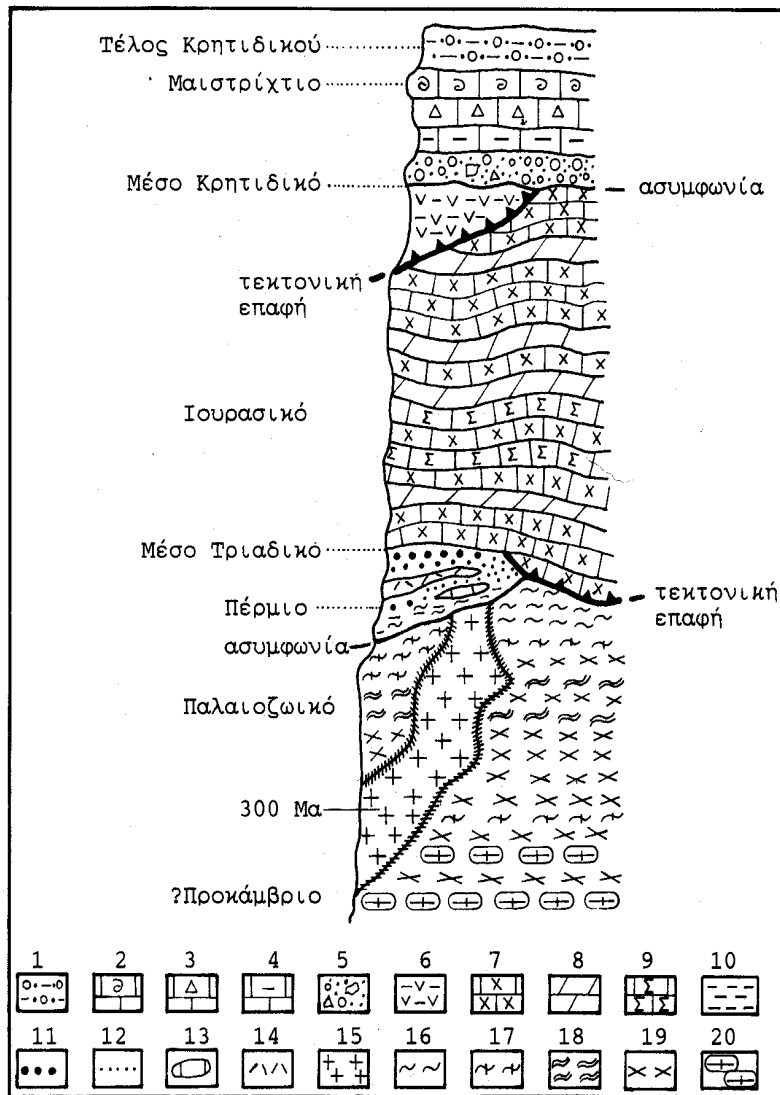
της Παλαιο-Τηθύος και της Νέο-Τηθύος (Μουντράκης 1983). Κατά την ορογενετική περίοδο του Ανωτέρου Ιουρασικού – Κάτω Κρητιδικού έγινε η καταστροφή των δύο αυτών ωκεάνιων περιοχών και η επώθηση των οφιολίθων πάνω στα ηπειρωτικά περιθώρια της Πελαγονικής. Στη διάρκεια αυτής της ορογενετικής περιόδου η Πελαγονική αναδύθηκε όπως και όλες οι εσωτερικές ζώνες μέχρι τη Μέσο - Άνω Κρητιδική επίκλυση που καταλήγει σε φλύσχη ηλικίας Άνω Μαιστριχτίου – Κάτω Παλαιοκαίνου. Η οριστική ανάδυση της Πελαγονικής έγινε πριν το Μέσο Ηώκαινο.

Στη λιθοστρωματογραφία της Πελαγονικής ζώνης αναγνωρίζονται από τη βάση προς την οροφή οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί:

- **Κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.** Αποτελείται από γνεύσιους (ορθο- και παρα-προέλευσης), αμφιβολίτες και σχιστόλιθους που η ηλικία τους είναι Παλαιοζωική ή και Προκάμβρια.

- **Γνευσιωμένοι γρανίτες.** Πρόκειται για γρανιτικά σώματα που έχουν διεισδύσει στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο κατά το Ανω Λιθανθρακοφόρο και έχουν συμμετάσχει στις μεταγενέστερες ορογενετικές διεργασίες.
- **Περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες.** Περιλαμβάνουν φυλλίτες, μετα-πηλίτες, μετα-ψαμμίτες, σχιστόλιθους με φακούς ασβεστόλιθων και παρεμβολές ηφαιστειακών υλικών. Οι ακολουθίες αυτές εμφανίζονται κυρίως στο δυτικό περιθώριο της Πελαγονικής.
- **Τριαδικο-ιουρασικά ανθρακικά καλύμματα.** Πρόκειται για ανθρακικά πετρώματα που διακρίνονται να έχουν αποτεθεί στο δυτικό και ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής ζώνης και σήμερα καλύπτουν σε μεγάλο τμήμα τους προγενέστερους σχηματισμούς. Το δυτικό κάλυμμα θεωρείται ότι είναι αυτόχθονο, ενώ το ανατολικό πάρα-αυτόχθονο, αποτέθηκε δηλαδή στο ανατολικό περιθώριο της Πελαγονικής προς τη ζώνη Αλμωπίας και στη συνέχεια επωθήθηκε προς Δυσμάς πάνω στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο.
- **Οφειόλιθοι και σύνοδα ιζήματα.** Πρόκειται για αλλόχθονους σχηματισμούς που προέρχονται από τις δύο ωκεάνιες περιοχές που αναπτύχθηκαν ανατολικά και δυτικά της Πελαγονικής ζώνης κατά το Τριαδικό-Ιουρασικό και βρίσκονται σήμερα επωθημένοι πάνω στα ανθρακικά καλύμματα.
- **Επικλυσιογενή ιζήματα του Μέσου – Άνω Κρητιδικού.** Αποτελούνται από κροκαλοπαγή, μικροκροκαλοπαγή και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ηλικίας Κενομανίου – Τουρωνίου, μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους και μαργαϊκούς ασβεστόλιθους ηλικίας Σαντωνίου – Καμπανίου και συμπαγή ασβεστόλιθο του Μαιστριχτίου.

- **Φλύσσης.** Αποτέθηκε κατά τη διάρκεια του Άνω Μαιστριχτίου – Κάτω Παλαιοκαίνου. Αρχικά είναι σχιστώδης ασβεστιτικός, εξελίσσεται σε ασβεστοπηλιτικό-ψαμμιτικό και καταλήγει σε πηλιτικό-κροκαλοπαγή.



Σχήμα 2.2 Συνοπτική λιθοστρωματογραφική-τεκτονική στήλη της Πελαγονικής ζώνης. 1-5: Επικλυσιγενή ιζήματα Μέσου-Άνω Κρητιδικού. 1: Φλύσσης Άνω Μαιστριχτίου-Κάτω Παλαιοκαίνου, 2: ασβεστόλιθος Μαιστριχτίου, 3: μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι, 4: μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι, 5: κροκαλολατυποπαγή της βάσης, 6: οφειόλιθοι και συνοδά πελαγικά ιζήματα, 7-9: πετρώματα των δύο ανθρακικών καλυμμάτων Τριαδικού-Ιουρασικού, 7: κρυσταλλικού ασβεστόλιθοι και μάρμαρα, 8: δολομίτες, 9: σιπολίτες, 10-14: πετρώματα της μετακλαστικής σειράς Περμίου-Κάτω Τριαδικού, 10: μετα-πηλίτες, φυλλίτες, 11: χαλαζιακά μετα-κροκαλοπαγή, 12: μετα-ψαμμίτες, μετα-αρκόζες, 13: φακοί ασβεστολίθων, 14: μετα-ρυόλιθοι, μετα-τόφοι, 15: γνευσιωμένοι γρανίτες Άνω Λιθανθρακοφόρου, 16-20: πετρώματα του κρυσταλλοσχιστώδους υποβάθρου Παλαιοζωικής ή και προ-Κάμβριας ηλικίας, 16: σχιστόλιθοι (χλωριτικοί, μαρμαρυγικοί, αμφιβολιτικοί, επιδοτιτικοί), 17: διμαρμαρυγικοί-γρανατούχοι σχιστόλιθοι, 18: αμφιβολίτες, 19: γνεύσιοι, 20: οφθαλμογνεύσιοι. (από Μουντράκης, 1985)

Βορειότερα της περιοχής μελέτης συναντάται το τεκτονικό κάλυμμα του Βερμίου. Το τεκτονικό κάλυμμα του Βερμίου αποτελεί επωθημένο τμήμα της ζώνης Αλμωπίας επάνω στην Πελαγονική ζώνη κατά το Ηώκαινο. Αποτελείται από κροκαλοπαγή του Κενομανίου με μια σερπεντινική τεκτονική σόλα (Photiades, A. et al., 1998).

Οι Κίλιας και Μουντράκης (1988) μελετώντας την προ-Νεογενή τεκτονική της Πελαγονικής ζώνης διέκριναν πέντε παραμορφωτικές φάσεις από τις οποίες η πρώτη είναι τουλάχιστον Ερκύνιας ηλικίας ενώ η τελευταία είναι Άνω-Ηώκαινικής –

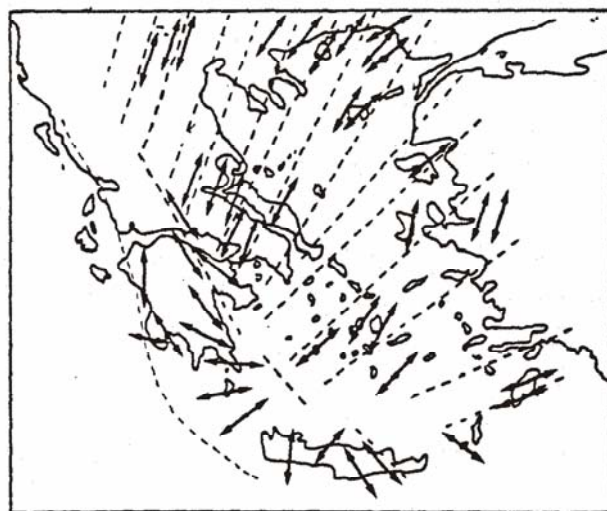
Ολιγοκαινικής ηλικίας. Από το Ανω Μειόκαινο μέχρι σήμερα η περιοχή υφίσταται ένα εκτενή εφελκυσμό σε ΒΑ-ΝΔ και από το Τεταρτογενές σε διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ που σαν αποτέλεσμα έχει τη δημιουργία κανονικών ρηγμάτων (Μουντράκης, Δ., 1988). Αποτέλεσμα του Τεταρτογενούς εφελκυσμού αποτελεί ο σεισμός της Κοζάνης με μέγεθος $M=6.6$ που συνέβει στις 13 Μαΐου 1995 και συνδέεται με την ζώνη ρηγμάτων Αλιάκμονα.

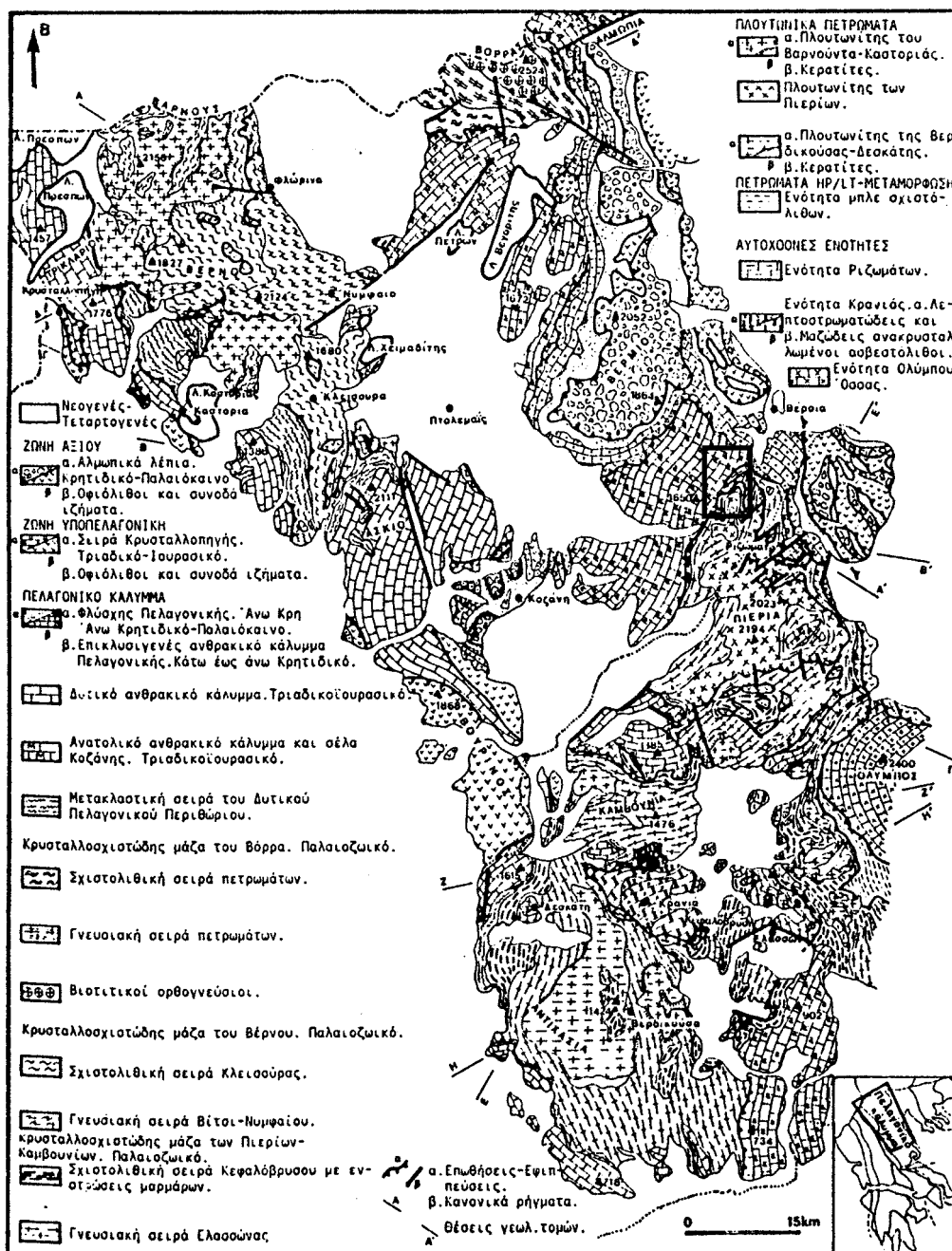
Όσον αφορά τη σεισμική δράση, η περιοχή, σύμφωνα με τον Νέο Αντισεισμικό Κανονισμό, ανήκει στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Ι και δεν χαρακτηρίζεται ως ζώνη υψηλής σεισμικής επικινδυνότητας. Παρόλα αυτά στην ευρύτερη περιοχή έχουν καταγραφεί σεισμοί (Πίνακας 1) (Παπαζάχος, Β., Παπαζάχου, Κ., 2002) που δείχνουν ότι το ενδεχόμενο μιας σεισμικής δραστηριότητας θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε κάθε σχεδιασμό τεχνικού έργου.

Πίνακας 1 Μεγάλοι Σεισμοί ($M \geq 6.0$) που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή.

Περιοχή	Χρονολογία	Μέγεθος
Κοζάνη	1695	6,5
Κοζάνη	1995	6,6
Βέροια	896	6
Βέροια	1211	6,4
Έδεσσα	1395	6,7
Έδεσσα	1990	6

Σχήμα 2.3 Γενικευμένες διευθύνσεις των αξόνων εφελκυσμού (διακεκομμένες γραμμές) στο Αιγαίο και στις γύρω περιοχές κατά το Πλειόκαινο.





Σχήμα 2.4 Γεωλογικός χάρτης της Πελαγονικής ζώνης (από Κίλιας και Μουντράκης, 1988). Σε πλαίσιο απεικονίζεται η περιοχή μελέτης.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στην ευρύτερη περιοχή κατά μήκος του τμήματος Καστανιά της εθνικής οδού Βέροιας-Κοζάνης πραγματοποιήθηκε γεωλογική χαρτογράφηση και κατασκευάστηκε γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης σε κλίμακα 1:20.000 (χάρτης 1) καθώς και γεωλογικές τομές, στην ίδια κλίμακα, έτσι ώστε να γίνει καλύτερα αντιληπτή η γεωλογική δομή της περιοχή μελέτης. Τα στοιχεία της γεωλογικής χαρτογράφησης συσχετίστηκαν και συμπληρώθηκαν με τα υπάρχοντα βιβλιογραφικά δεδομένα (Κορωνάιος, Α., κ.α., 2000, Ουζούνης, Α., 2002, Ouzounis, A. et al, 2002, Yarwood, A., G., Aftalion, M., 1976) και κυρίως αυτά που αφορούν χρονολογήσεις και πετρογραφικά στοιχεία.

3.1 Γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης

Η περιοχή μελέτης συνίσταται κυρίως από αλπικά και προ-αλπικά πετρώματα, τα οποία έχουν μια γενική ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση ανάπτυξης και κλίνουν με μικρές γωνίες κλίσης από ΒΔ έως ΒΑ. Πιο συγκεκριμένα από τους βαθύτερους ορίζοντες προς τους ανώτερους διακρίνονται οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί :

α) **Ορθογενέσιοι – μεταγρανίτες.** Πρόκειται για Άνω Παλαιοζωικούς γρανίτες που εμφανίζονται ως γνευσιωμένοι γρανίτες, γρανιτικοί γνεύσιοι, και οφθαλμογενέσιοι. Κατά θέσεις όμως, αναγνωρίζεται να διατηρείται η αρχική γρανιτική υφή. Καστανόγκριζου, γκρίζου και ανοικτού γκρίζου χρώματος με ορυκτολογική σύσταση που περιλαμβάνει κυρίως αστρίους, χαλαζία, μαρμαρυγίες, χλωρίτη.

β) **Γρανατούχοι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστριούχοι, γρανατούχοι, διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι καστανού, πρασινόφαιου χρώματος. Παράλληλα προς τη φύλλωση αναγνωρίζονται συμπαγή σκουροπράσινου χρώματος σώματα ορθο-αμφιβολίτη πάχους μερικών μέτρων. Ακόμη, παράλληλα προς τη φύλλωση αναγνωρίζονται χαλαζιακές φλέβες πάχους μερικών εκατοστών. Ηλικία: Κ. Παλαιοζωικό – Μ. Λιθανθρακοφόρο.

γ) **Κατώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Μαζώδεις, αδρο-κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι-μάρμαρα με χαρακτηριστικό λευκό χρώμα. Ηλικία: Μ. Τριαδικό (Λαδίνιο) – Κ. Λιάσιο.

δ) **Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστρίουχοι, χλωριτικοί, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι πρασινόφαιου, ανοιχτότεφρου και τεφρού χρώματος. Μέσα στους σχιστόλιθους παρουσιάζονται χαλαζιακές φλέβες και απλιτικά σώματα παράλληλα στη σχιστότητα. Η ηλικία του είναι ίδια με αυτήν του υπερκείμενου ορίζοντα.

ε) **Ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Αποτελείται από λευκούς έως λευκότεφρους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα. Οι επιφάνειες διάβρωσης εμφανίζουν ένα χαρακτηριστικό μπεζ χρώμα, ενώ χαρακτηριστικά είναι τα φυλλάρια μαρμαρυγία. Βορειοδυτικά της περιοχής μελέτης, ο ορίζοντας αυτός εμφανίζεται έντονα καρστικοποιημένος. Χρονολογείται στο Μ. Τριαδικό (Λαδίνιο) – Κ. Λιάσιο.

Επίσης χαρτογραφήθηκαν και μικρές εμφανίσεις μεταλλικών σχηματισμών όπως:

α) **Τραβερτίνης.** Πρόκειται για μια μικρή εμφάνιση στο χώρο της Ζωωδόχου Πηγής που χαρτογραφείται να έχει αποτεθεί κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς ως ένα ενιαίο κάλυμμα πάχους μερικών μέτρων ασύμφωνα πάνω στους μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους. Ο σχηματισμός του μπορεί να αποδοθεί στη δράση πιθανά κάποιας πηγής και στην ύπαρξη του ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματος που έχει χαρτογραφηθεί (βλέπε Χάρτη 1).

β) **Κορήματα.** Πρόκειται για χαλαρά υλικά που χρονολογούνται στο Τεταρτογενές και τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση των σχηματισμών του υποβάθρου. Είναι ασύνδετα, ερυθρού χρώματος, με ογκόλιθους και λατύπες από σχιστόλιθους και κυρίως μάρμαρα μέσα σε αργιλοαμμούχο συνδετικό υλικό. Ο σχηματισμός τους πιθανά ευνοείται σε θέσεις έντονης ρηγμάτωσης.



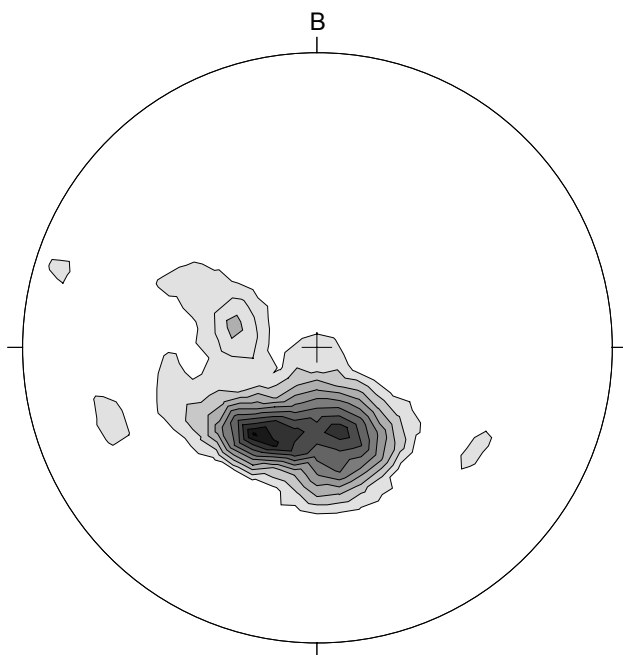
3.2 Τεκτονική

Κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής, καταγράφηκαν επίσης οι κύριες ασυνέχειες των γεωλογικών σχηματισμών, όπως η φύλλωση, τα ρήγματα και οι διακλάσεις.

Φύλλωση

Με τον όρο φύλλωση νοείται η κάθε είδους επίπεδη υφή που αναπτύσσεται σε ένα πέτρωμα (Davis, H., G., Reynolds, J., S., 1996). Στα πετρώματα της περιοχής μελέτης η φύλλωση που αποτελεί και το κύριο δομικό στοιχείο των σχηματισμών εμφανίζεται ως σχιστότητα, φυλλιτική και γενευσιακή υφή. Τα αλπικά και προ-αλπικά πετρώματα της περιοχής μελέτης εμφανίζουν φύλλωση με διεύθυνση κλίσης που κυμαίνεται από ΒΔ έως ΒΑ και μικρές έως ενδιάμεσες γωνίες κλίσης δηλαδή μέχρι 45° (σχήμα 3.2, χάρτης 1). Ωστόσο, στο ΝΑ τμήμα της χαρτογραφηθείσας περιοχής, η φύλλωση μέσα στον ορθογενέσιο παρατηρείται να κλίνει με μικρές γωνίες κλίσης προς τα ΑΝΑ. Το παραπάνω, όπως και το γεγονός ότι εμφανίζονται δύο συγκεντρώσεις πόλων στο

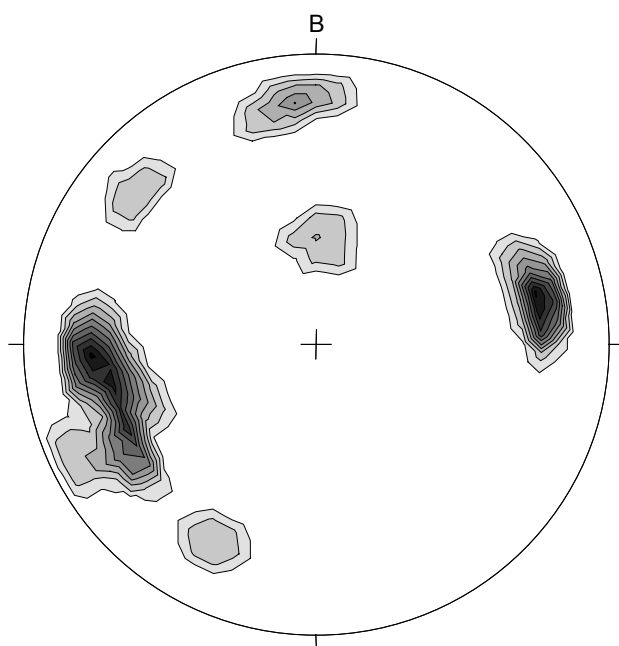
διάγραμμα πυκνότητας (σχήμα 3.2), πιθανά να οφείλεται στην ύπαρξη μιας πολύ ανοιχτής αντικλινικής δομής (αναθόλωση) με ΒΑ-ΝΔ αξονική διεύθυνση που διασχίζει την χαρτογραφηθείσα περιοχή με ΒΑ-ΝΔ διεύθυνση και με μικρές γωνίες κλίσης στις πτέρυγες της πτυχής.



Σχήμα 3.2 Διάγραμμα πυκνότητας πόλων (προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο) της φύλλωσης των πετρωμάτων στην περιοχή μελέτης.

Ρήγματα

Τα ρήγματα που εντοπίστηκαν κατά την υπαίθρια χαρτογράφηση και δεσπόζουν στην περιοχή μελέτης μπορούν να διακριθούν σε δύο κύριες ομάδες. Η πρώτη περιλαμβάνει ρήγματα ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης, ενώ η δεύτερη ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 3.3 τα ρήγματα που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης κατά μήκος του δρόμου συμφωνούν με τα παραπάνω.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα πυκνότητας πόλων (προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο) των ρηγμάτων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης κατά μήκος του δρόμου.

- **Ρήγματα BBA – NNA διεύθυνσης**

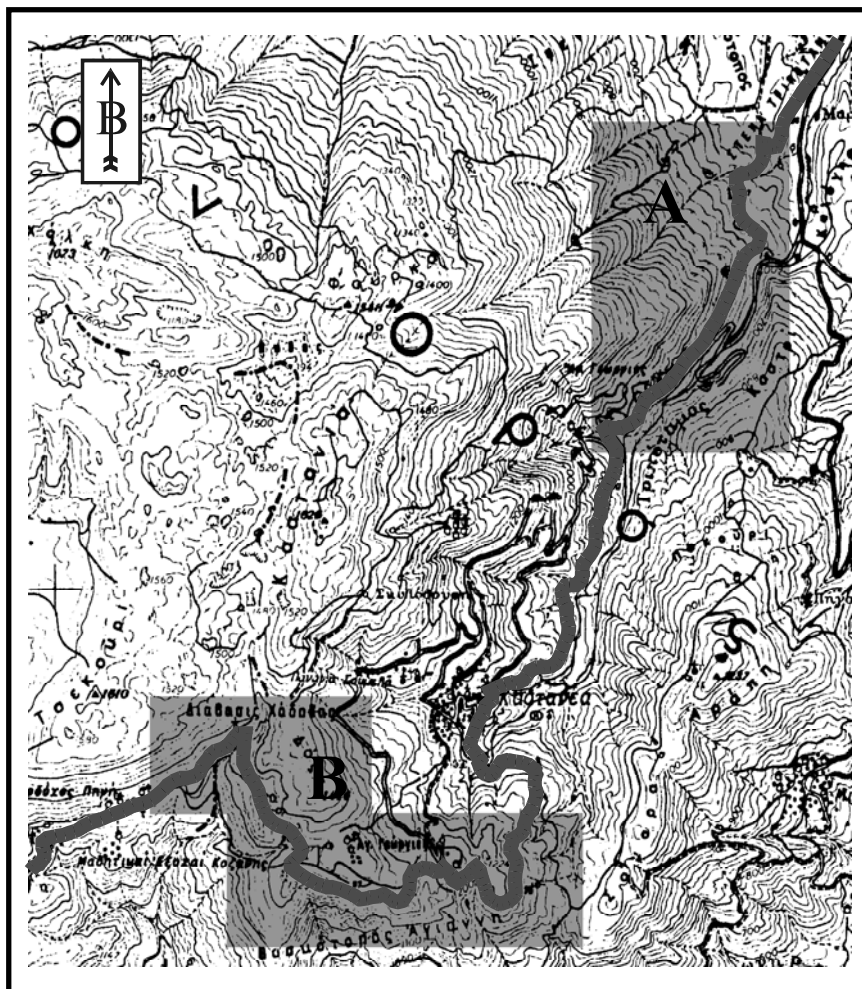
Πρόκειται για μικρού μήκους κανονικά ρήγματα που κλίνουν με μεγάλες γωνίες κλίσεις ($>70^\circ$) είτε προς τα ΝΔ είτε προς τα ΒΑ. Γενικά το μήκος τους είναι μικρότερο από 2 km, ενώ συχνά σχηματίζουν μικρές τάφρους και κέρατα, όπως αυτό στην περιοχή Δόξα.

- **Ρήγματα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης**

Τα ρήγματα αυτά έχουν διευθύνσεις από ΒΑ-ΝΔ έως ΑΒΑ-ΔΝΔ. Είναι κανονικά ρήγματα και κλίνουν προς τα ΝΑ με μεγάλες γωνίες κλίσης ($>60^\circ$). Το μήκος τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα μέχρι περίπου 2,5km. Σε αυτά τα ρήγματα φαίνεται να οφείλεται η προς τα ΝΑ κλίση της πλαγιάς του βουνού.

4. ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΗΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΔΟΥ

Με σκοπό να διερευνηθεί η ευστάθεια των πρανών στο υπό μελέτη τμήμα της εθνικής οδού Βέροιας – Κοζάνης πραγματοποιήθηκε γεωλογική-τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση κατά μήκος του δρόμου σε κλίμακα 1:5.000. Με αυτήν καταγράφηκαν το είδος και τα χαρακτηριστικά των πετρωμάτων που κόβει ο δρόμος, η τεκτονική δομή των πετρωμάτων αυτών και γενικότερα της περιοχής καθώς και η αποσάθρωση των πετρωμάτων. Όσον αφορά την τεκτονική, καταγράφηκαν κατά θέσεις οι τεκτονικές ασυνέχειες (φύλλωση, ρήγματα, διακλάσεις) και περιγράφηκαν τα χαρακτηριστικά τους (προσανατολισμός, μήκος, ενδοαπόσταση, άνοιγμα). Επίσης χαρτογραφήθηκαν οι θέσεις στις οποίες ο βαθμός αποσάθρωσης των πετρωμάτων ήταν μεγάλος και σε αυτές τις θέσεις το πέτρωμα εμφάνιζε μηχανική συμπεριφορά εδαφικού υλικού, καθώς και θέσεις στα πρανή του δρόμου, όπου λόγω της παρουσίας υλικών με μικρή συνοχή (αποσαθρώματα, πλευρικά κορήματα) υπήρχε κίνδυνος να παρουσιαστούν κατολισθήσεις. Τα παραπάνω στοιχεία έχουν αποτυπωθεί στους χάρτες που κατασκευάστηκαν (χάρτες 2 και 3) και αφορούν δύο τμήματα της εθνικής οδού. Στο Σχ. 4.1 διακρίνονται σκιασμένα τα τμήματα Α και Β της εθνικής οδού τα οποία αφορά η χαρτογράφηση.



Σχήμα 4.1 Τοπογραφικό διάγραμμα της περιοχής μελέτης με σκιασμένες τις χαρτογραφημένες σε κλίμακα 1:5.000 περιοχές. Η εθνική οδός παρουσιάζεται με έντονη γραμμή.

4.1 Τμήμα Α

Το τμήμα Α της εθνικής οδού έχει γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και κόβει διαδοχικά όλους τους αλπικούς και προ-αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς που έχουν χαρτογραφηθεί στην ευρύτερη περιοχή (κεφάλαιο 3). Πιο συγκεκριμένα κατά μήκος του τμήματος αυτού της εθνικής οδού έχουν χαρτογραφηθεί οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί από τους βαθύτερους προς τους ανώτερους.

α) **Ορθογενέσιοι – μεταγρανίτες.** Πρόκειται για τους Άνω Παλαιοζωικούς γνευσιωμένους γρανίτες, που έχουν χαρτογραφηθεί στην ευρύτερη περιοχή. Στο τμήμα αυτό ο σχηματισμός που καλύπτει μικρό τμήμα της εθνικής οδού περιλαμβάνει

γρανιτικούς γνεύσιους και οφθαλμογενεύσιους, οι οποίοι εμφανίζονται ως υγιείς έως λίγο αποσαθρωμένοι.

β) **Γρανατούχοι μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστρίουχοι, γρανατούχοι, διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι παλαιοζωικής ηλικίας. Το χρώμα τους είναι καστανό, πρασινόφαιο και διατρέχονται από χαλαζιακές φλέβες πάχους μερικών εκατοστών. Παράλληλα προς τη φύλλωση έχει χαρτογραφηθεί μικρό συμπαγές σώμα ορθο-αμφιβολίτη σκουροπράσινου χρώματος και πάχους μερικών μέτρων. Ο σχηματισμός αυτός, ο οποίος καλύπτει μικρό τμήμα των πρηνών της Εθνικής οδού εμφανίζεται υγιής έως λίγο αποσαθρωμένος και με φύλλωση που κλίνει προς BBA-BBA με μικρές γωνίες κλίσης.

γ) **Κατώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Μαζώδεις, αδρο-κρυσταλλικά μάρμαρα με χαρακτηριστικό λευκό χρώμα. Ο σχηματισμός είναι υγιής έως λίγο αποσαθρωμένος και εμφανίζει φύλλωση που κλίνει με μικρές γωνίες κλίσης προς τα BBA. Η επαφή αυτού του σχηματισμού με τους υποκείμενους γρανατούχους μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους είναι τεκτονική και διακρίνεται στο πρηνές του δρόμου (παράρτημα 2, φωτ. 6). Σε αντίθεση, το όριο με τον υπερκείμενο σχηματισμό δε διακρίνεται γιατί καλύπτεται από πλευρικά κορήματα μικρής έκτασης. Στο σχηματισμό αυτόν αναγνωρίζονται τα υψηλότερα πρηνή του τμήματος Α, τα οποία ωστόσο, έχουν προκύψει από τη διαμόρφωση λατομικού χώρου για την απόληψη αδρανών υλικών.

δ) **Μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστρίουχοι, χλωριτικοί, μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι πρασινόφαιου-ανοιχτότεφρου χρώματος, ίδιας ηλικίας με τον υποκείμενο σχηματισμό. Παρουσιάζει φύλλωση που κλίνει με μικρές γωνίες κλίσεις προς τα BBA. Μέσα στους σχιστόλιθους παρουσιάζονται χαλαζιακές φλέβες και απλιτικά σώματα παράλληλα στη σχιστότητα. Παρατηρήθηκαν ισοκλινείς πτυχές με άξονα 343°/35°. Η εθνική οδός τους κόβει σε μήκος περίπου 500m και διαμορφώνει χαμηλού ύψους πρηνή (<5m). Ο σχηματισμός είναι υγιής έως λίγο αποσαθρωμένος. Σε ορισμένες θέσεις εμφανίζεται έντονη σχιστότητα καθώς επίσης και ζώνες διάρρηξης, οι οποίες αποτελούν ζώνες μικρής έκτασης στις οποίες οι τεκτονικές ασυνέχειες είναι πολύ πυκνές.

ε) **Ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Αποτελείται από λευκούς έως λευκότεφρους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα, ίδιας ηλικίας με τον υποκείμενο σχηματισμό. Ο σχηματισμός εμφανίζεται έντονα καρστικοποιημένος. Οι επιφάνειες διάβρωσης εμφανίζουν ένα χαρακτηριστικό μπεζ χρώμα, ενώ χαρακτηριστικά είναι τα φυλλάρια μαρμαρυγία. Παρουσιάζει φύλλωση η οποία κλίνει με μικρές γωνίες κλίσεις προς τα BBA, ενώ στο βόρειο τμήμα της εθνικής οδού η φύλλωση είναι σχεδόν οριζόντια. Το όριο με τον υποκείμενο σχηματισμό δε διακρίνεται γιατί καλύπτεται από μικρού πάχους σχηματισμό πλευρικών κορημάτων, του οποίου η δημιουργία πιθανώς να οφείλεται σε ένα ρήγμα BBA-NNΔ διεύθυνσης. Η εθνική οδός κόβει το σχηματισμό για περίπου 1000m και διαμορφώνει χαμηλού ύψους πρανή (<3m).

στ) **Κορήματα.** Πρόκειται για χαλαρά υλικά που χρονολογούνται στο Τεταρτογενές και τα οποία προέρχονται από την αποσάθρωση των σχηματισμών του υποβάθρου. Είναι ασύνδετα, ερυθρού χρώματος, με ογκόλιθους και λατύπες από σχιστόλιθους και κυρίως μάρμαρα μέσα σε αργιλοαμμούχο συνδετικό υλικό (παράρτημα 2, φωτ. 2). Ο σχηματισμός τους πιθανά οφείλεται στο ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης ρήγμα που χαρτογραφήθηκε. Ο δρόμος κόβει αυτόν το σχηματισμό σε μεγάλο μήκος και διαμορφώνει μικρού ύψους πρανή, τα οποία δε φαίνεται να παρουσιάζουν προβλήματα ευστάθειας.

ζ) **Αποσαθρώματα.** Μικρής έκτασης χαλαροί σχηματισμοί αποσαθρωμάτων, ολοκαινικής ηλικίας, οι οποίοι έχουν πάχος ολίγων μέτρων. Πρόκειται για υλικά αποσάθρωσης των γύρω πετρωμάτων που συναντώνται στη βάση απότομων κλιτύων και μέσα σε ρέματα (παράρτημα 2, φωτ 11). Γενικά λόγω του μικρού τους πάχους και της μικρής τους έκτασης δεν αναμένεται να αποτελούν θέσεις στις οποίες είναι πιθανό να εμφανιστούν προβλήματα. Μόνο μία μικρή εμφάνιση αυτών που βρίσκεται στο όριο μεταξύ μαρμαρυγιακού σχιστόλιθου και κατώτερου ανθρακικού ορίζοντα έχει χαρτογραφηθεί ως ασταθής ζώνη και στην οποία είναι πιθανό να προκύψει αστοχία (παράρτημα 2, φωτ 12).

4.2 Τμήμα Β

Το τμήμα Β της εθνικής οδού χαρακτηρίζεται από zig-zag ανάπτυξη, η οποία διαμορφώνεται από τη διαδοχική εναλλαγή των κοιλάδων και των αντερεισμάτων που αναγνωρίζονται στο τμήμα αυτό. Η χαρτογράφηση αυτού του τμήματος παρουσιάζεται στο χάρτη 3, στον οποίο εμφανίζονται όλοι οι αλπικοί και προ-αλπικοί σχηματισμοί που έχουν χαρτογραφηθεί στην ευρύτερη περιοχή (Χάρτης 1). Συγκεκριμένα, έχουν χαρτογραφηθεί οι παρακάτω γεωλογικοί σχηματισμοί, από τους κατώτερους προς τους ανώτερους.

α) **Ορθογνεύσιοι – μεταγρανίτες.** Πρόκειται για τους Άνω Παλαιοζωικούς γνευσιωμένους γρανίτες, που έχουν χαρτογραφηθεί στην ευρύτερη περιοχή. Αποτελούν το μεγαλύτερο τμήμα αυτού του τμήματος της εθνικής οδού και εμφανίζονται κυρίως ως γρανιτικοί γνεύσιοι με εμφανή φύλλωση, ενώ σε ορισμένες θέσεις αναγνωρίζεται η πρωτογενής γρανιτική υφή του πετρώματος. Ο σχηματισμός εμφανίζεται υγιής έως μέτρια αποσάθρωμένος. Ωστόσο, κατά τη χαρτογράφηση διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένες θέσεις η αποσάθρωση του πετρώματος έχει προχωρήσει σε βαθμό IV-V με βάση την ταξινόμηση (Bell 1983) με αποτέλεσμα να εμφανίζει μηχανικά χαρακτηριστικά εδαφικού σχηματισμού. Οι θέσεις αυτές καταγράφηκαν και αποτυπώθηκαν στο χάρτη. Τα πρηνή που διαμορφώνονται σε αυτά τα τμήματα του δρόμου δεν έχουν σημαντικό ύψος (<1.5m) και δε φαίνεται να αποτελούν θέσεις ενδεχόμενης αστοχίας. Επίσης χαρτογραφήθηκε μια ασταθής ζώνη στην οποία λόγω του έντονου κατακερματισμού του πετρώματος προκύπτουν καταπτώσεις βράχων (παράρτημα 2, φωτ. 13-14). Ο σχηματισμός αυτός στο ανατολικό τμήμα του χάρτη κλίνει με μικρή γωνία προς τα Α, ενώ στο δυτικό τμήμα του χάρτη κλίνει με μικρή γωνία προς τα Β.

β) **Γρανατούχοι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστριούχοι, γρανατούχοι, διμαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι παλαιοζωικής ηλικίας. Το χρώμα τους είναι καστανό, πρασινόφαιο ενώ παράλληλα προς τη φύλλωση αναγνωρίζονται χαλαζιακές φλέβες πάχους μερικών χιλιοστών. Το πάχος του σχηματισμού είναι μικρό και γι' αυτό το τμήμα της εθνικής οδού που τον κόβει είναι μικρό. Εμφανίζεται υγιής έως λίγο αποσάθρωμένος και με φύλλωση που κλίνει προς Β με μικρές γωνίες κλίσης. Το όριο αυτού του σχηματισμού με τον υποκείμενο δεν είναι εμφανές γιατί καλύπτεται από

μικρής έκτασης σχηματισμό πλευρικών κορημάτων. Το όριο με τον υπερκείμενο σχηματισμό είναι εμφανές.

γ) **Κατώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Μαζώδεις, αδρο-κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι-μάρμαρα με χαρακτηριστικό λευκό χρώμα και ηλικία Μ. Τριαδικό – Κ. Λιάσιο. Ο σχηματισμός εμφανίζεται υγιής έως λίγο αποσαθρωμένος, ενώ δε φαίνεται να προκύπτουν προβλήματα αστάθειας στα μικρού ύψους πρηνή που διαμορφώνονται στο τμήμα του δρόμου που διέρχεται από αυτόν.

δ) **Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι.** Χαλαζιοαστριούχοι, χλωριτικοί, μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι πρασινόφαιου, ανοιχτότεφρου και τεφρού χρώματος, ίδιας ηλικίας με τον υποκείμενο σχηματισμό. Παρουσιάζει φύλλωση που κλίνει με μικρές γωνίες κλίσεις προς τα ΒΒΔ. Στο τμήμα αυτό της εθνικής οδού (χάρτης 3, τμήμα Β8) η φύλλωση του σχηματισμού κλίνει με μικρή γωνία κλίσης προς τα ΔΝΔ πιθανών λόγω του ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης ρήγματος που φαίνεται στο χάρτη. Μέσα στους σχιστόλιθους παρουσιάζονται χαλαζιακές φλέβες και απλιτικά σώματα παράλληλα στη φύλλωση. Ο σχηματισμός είναι υγιής έως λίγο αποσαθρωμένος. Σε ορισμένες θέσεις εμφανίζεται έντονα σχιστοποιημένος και με ζώνες πυκνών ασυνεχειών, οι οποίες ωστόσο είναι ασυνεχείς και μικρού μήκους.

ε) **Ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας.** Αποτελείται από λευκούς έως λευκότεφρους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους και μάρμαρα, ίδιας ηλικίας με τον υποκείμενο σχηματισμό. Οι επιφάνειες αποσάθρωσης εμφανίζουν ένα χαρακτηριστικό μπεζ χρώμα, ενώ χαρακτηριστικά είναι τα φυλλάρια μαρμαρυγία. Εμφανίζει φύλλωση η οποία κλίνει με μικρές γωνίες κλίσης προς τα ΒΒΔ. Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η εθνική οδός διέρχεται παράλληλα και σχεδόν στο ύψος της επαφής του με τον υποκείμενο σχηματισμό των μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, με αποτέλεσμα τα πρηνή του δρόμου που διαμορφώνονται μόνο σε ορισμένες θέσεις και κυρίως στα ανώτερα τμήματα να αποκαλύπτουν το σχηματισμό αυτό. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω της ρηγμάτωσης της περιοχής (Χάρτης 3, τμήμα Β8), μικρά κομμάτια του σχηματισμού εμφανίζονται ως υπολλειματικά τεμάχια τόσο πάνω στο μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο (παράρτημα 2, φωτ. 18) όσο και στον κατώτερο ανθρακικό ορίζοντα.

στ) **Αποσαθρώματα.** Μικρής έκτασης σχηματισμοί αποσαθρωμάτων, ολοκαινικής ηλικίας πάχους ολίγων μέτρων και μικρής έκτασης. Πρόκειται για υλικά αποσάθρωσης των γύρω πετρωμάτων που συναντώνται στη βάση απότομων κλιτύων και μέσα σε ρέματα. Γενικά αποτελούν επιπόλαιες εμφανίσεις, στις οποίες δεν αναμένονται ενδεχόμενα προβλήματα ευστάθειας.

4.3 Διακλάσεις

Σημαντικές δομές στα παραπάνω τμήματα της χαρτογράφησης αποτέλεσαν κατά την υπαίθρια εργασία οι διακλάσεις.

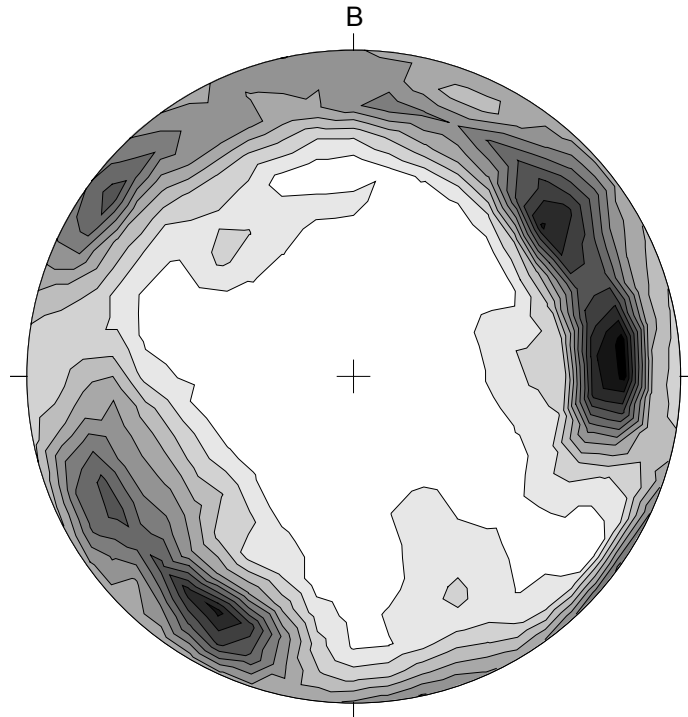
Ως διάκλαση χαρακτηρίζεται κάθε ρηξιγενής δομή, παράλληλα προς την οποία δεν παρατηρούνται σημαντικές μετατοπίσεις των εκατέρωθεν τμημάτων της (Κίλιας, Α., 2001). Το γεγονός ότι η διερεύνηση των συνθηκών ευστάθειας των πρανών στη βραχομάζα, βασίζεται κυρίως στην αξιολόγηση των ασυνεχειών, συνιστά αυτές ως ιδιαίτερα σημαντικές δομές στην τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση. Από την καταγραφή αυτή αναγνωρίστηκαν στην περιοχή πέντε κύρια σύνολα διακλάσεων (Σχ. 4.2), τα χαρακτηριστικά εμφάνισης των οποίων διαφέρουν ανάλογα με το λιθολογικό τύπο στον οποίο συναντώνται.

- **J₁ - σύνολο διακλάσεων (270°/68°)**

Οι διακλάσεις του συνόλου αυτού παρουσιάζουν στις διάφορες θέσεις όπου συναντώνται μήκος που κυμαίνεται από 10cm – 5m και ενδοαπόσταση 10cm – 1m (Συντελεστής ρωγμάτωσης $1 < K < 10m^{-1}$). Οι διακλάσεις αυτές είναι κλειστές ή παρουσιάζουν πολύ μικρό άνοιγμα (λίγα χιλιοστά). Οι διευθύνσεις κλίσης του συνόλου βρίσκονται μεταξύ 250° και 284° και οι γωνίες κλίσης μεταξύ 48° και 83°.

- **J₂ – σύνολο διακλάσεων (232°/70°)**

Οι διευθύνσεις κλίσης αυτού του συνόλου βρίσκονται μεταξύ 212° και 250° και οι γωνίες κλίσης μεταξύ 55° και 85°. Το μήκος τους κυμαίνεται από 5cm έως 4m και η ενδοαπόστασή τους από λίγα εκατοστά σε αυτές με μικρό μήκος έως 1m σε αυτές με μεγαλύτερο (Συντελεστής ρωγμάτωσης $1 < K < 10m^{-1}$). Το άνοιγμά τους είναι πολύ μικρό (λίγα χιλιοστά) ή είναι κλειστές.



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα πυκνότητας πόλων (προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο) των διακλάσεων των πετρωμάτων στην περιοχή μελέτης.

- **J₃ – σύνολο διακλάσεων (36°/73°)**

Οι διακλάσεις αυτού του συνόλου βρίσκονται μεταξύ 15° και 55° και οι γωνίες κλίσης τους κυμαίνεται από 53° έως 90°. Το μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 20cm και 2m και η ενδοαπόστασή τους από 10cm έως 1m (Συντελεστής ρωγμάτωσης $1 < K < 10m^{-1}$). Είναι κλειστές ή πολύ λίγο ανοιχτές (λίγα χιλιοστά).

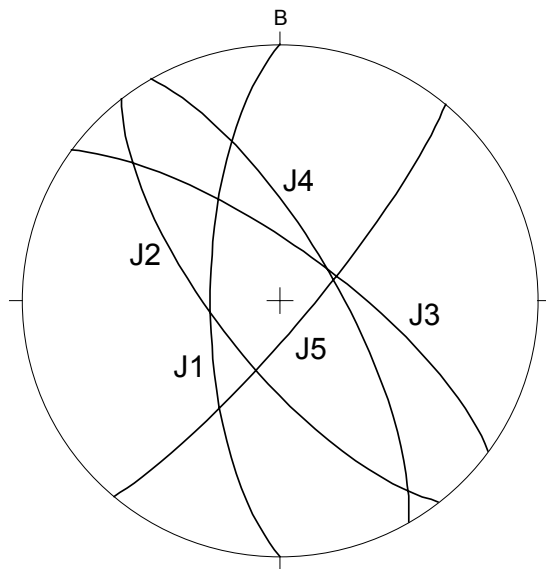
- **J₄ – σύνολο διακλάσεων (60°/72°)**

Οι διακλάσεις αυτού του συνόλου βρίσκονται μεταξύ 36° και 85° και οι γωνίες κλίσεις τους κυμαίνονται από 50° έως 90°. Το μήκος τους κυμαίνεται μεταξύ 5cm και 2m και η ενδοαπόστασή τους από 5cm σε αυτές με μικρό ($K=20m^{-1}$) μήκος έως 3m ($K \leq 30m^{-1}$) σε αυτές με μεγάλο μήκος. . Είναι κλειστές ή πολύ λίγο ανοιχτές (λίγα χιλιοστά).

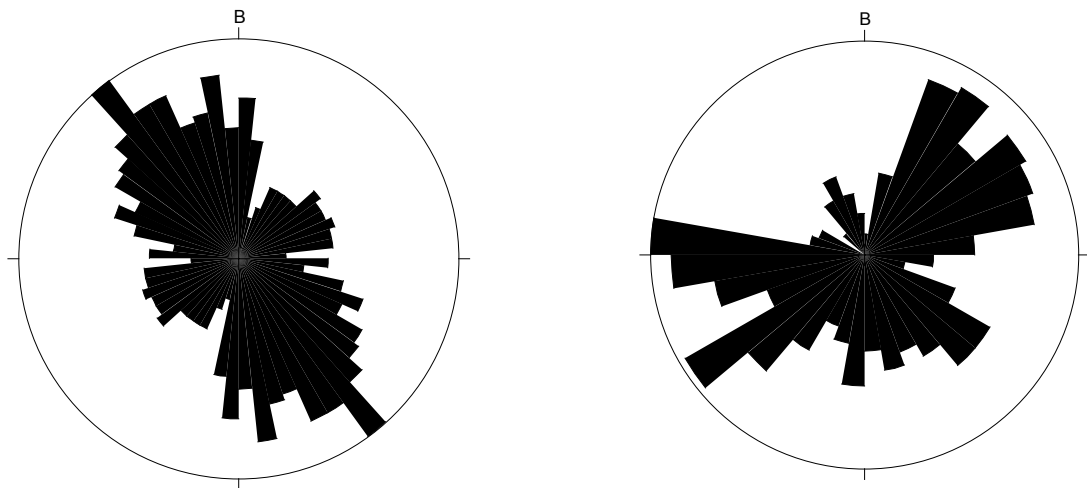
- **J₅ – σύνολο διακλάσεων (130°/81°)**

Οι διακλάσεις αυτού του συνόλου βρίσκονται μεταξύ 105° και 150° και κλίνουν με μεγάλες γωνίες κλίσης ($>70^\circ$). Το μήκος τους κυμαίνεται από 20cm έως 10m και η

ανδοαπόστασή τους από 10cm έως 2m ($0,5 < K < 10\text{m}^{-1}$). Είναι κλειστές ή πολύ λίγο ανοιχτές.



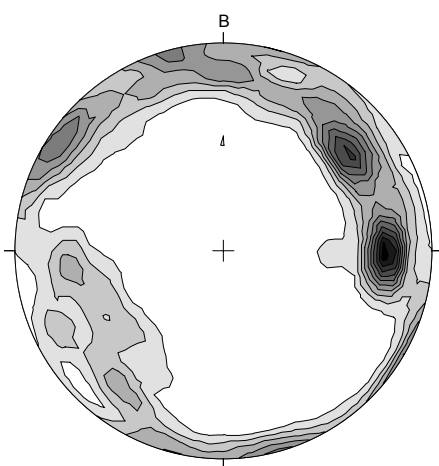
Σχήμα 4.3 Προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο, των πέντε κύριων συνόλων των διακλάσεων.



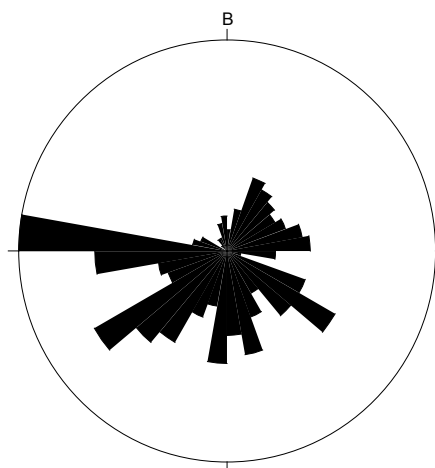
Σχήμα 4.4 Ροδοδιαγράμματα παρατάξεων (αριστερά) και διευθύνσεων κλίσεων (δεξιά) των διακλάσεων που καταγράφηκαν. Αριθμός μετρήσεων: 582.

Εκτός από τα παραπάνω πέντε σύνολα ασυνεχειών καταγράφηκαν και ασυνέχειες παράλληλα στη φύλλωση των πετρωμάτων. Τα χαρακτηριστικά εμφάνισης αυτών των ασυνεχειών εξαρτώνται από το είδος του πετρώματος στο οποίο εμφανίζονται. Γενικά ο προσανατολισμός τους είναι παράλληλος στη φύλλωση των πετρωμάτων και το μήκος τους κυμαίνεται από 1m έως 10m. Η ενδοαπόστασή τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως 1,5m ($0,7 \leq K < 10m^{-1}$).

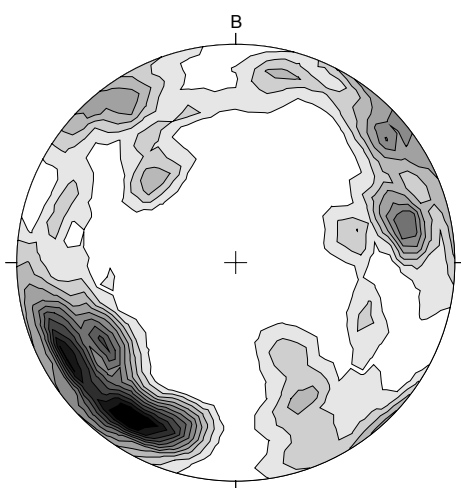
Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε από τα σχήματα 4.5 - 4.8 στα δύο τμήματα της εθνικής οδού που χαρτογραφήθηκαν, η εμφάνιση των συνόλων των διακλάσεων παρουσιάζει κάποια διαφορά. Φαίνεται ότι στο τμήμα Α επικρατούν τα σύνολα J_1 , J_2 και J_5 , ενώ τα σύνολα J_3 και J_4 εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα. Αντίθετα στο τμήμα Β τα σύνολα που επικρατούν είναι τα J_3 , J_4 και J_5 , ενώ τα σύνολα J_1 και J_2 εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα. Παρατηρούμε ότι το σύνολο J_5 εμφανίζεται και στα δύο τμήματα. Το σύνολο αυτό φαίνεται να σχετίζεται με τα ρήγματα ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσης που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.



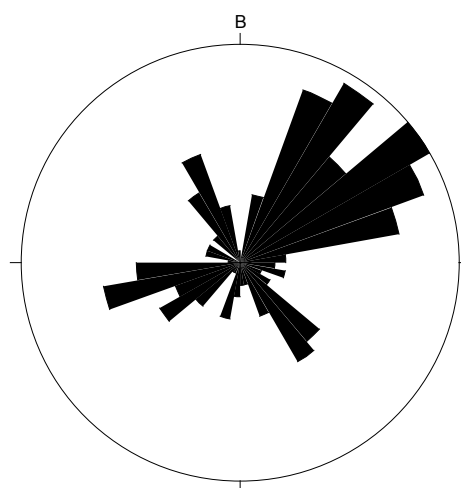
Σχήμα 4.5 Διάγραμμα πυκνότητας πόλων (προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο) των διακλάσεων των πετρωμάτων στην περιοχή του χάρτη 2.



Σχήμα 4.6 Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων κλίσεων των διακλάσεων που καταγράφηκαν στην περιοχή του χάρτη 2.



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα πυκνότητας πólων (προβολή Schmidt, κάτω ημισφαίριο) των διακλάσεων των πετρωμάτων στην περιοχή του χάρτη 3.



Σχήμα 4.8 Ροδοδιάγραμμα διευθύνσεων κλίσεων των διακλάσεων που καταγράφηκαν στην περιοχή του χάρτη 3.

5. ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΤΩΝ ΠΡΑΝΩΝ ΤΟΥ ΔΡΟΜΟΥ

5.1 Γενικά

Πραγματοποιήθηκε γεωλογική-τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση κατά μήκος της εθνικής οδού Βέροιας – Κοζάνης (περιοχή Καστανιάς) σε κλίμακα 1:5.000 με σκοπό να διερευνηθεί η ευστάθεια των πρανών της εθνικής οδού. Στη πλειονότητά τους τα ήδη διαμορφωμένα πρανή κατά μήκος του δρόμου εντάσσονται στην κατηγορία των βραχωδών πρανών. Για το λόγο αυτό παρατίθεται στη συνέχεια η θεωρητική προσέγγιση των τύπων αστοχιών που μπορεί να προκύψουν σε βραχώδη πρανή καθώς και οι τρόποι διερεύνησης και αξιολόγησης των πιθανών προβλημάτων που συνδέονται με κάθε ένα από τους τύπους αυτούς.

Τύποι αστοχίας βραχωδών πρανών

Οι κυριότεροι τύποι αστοχίας βραχωδών πρανών είναι οι παρακάτω: ολίσθηση σε ένα επίπεδο, ολίσθηση σφήνας, κυκλική ολίσθηση και ανατροπή (Δημόπουλος, Γ., 1993).

Ολίσθηση σε ένα επίπεδο (plane failure)

Όπως δείχνει και το σχήμα 5.1, ολίσθηση σε ένα επίπεδο προκύπτει όταν μια γεωλογική ασυνέχεια, όπως π.χ. ένα επίπεδο στρώσης, έχει διεύθυνση παράλληλη στη διεύθυνση του πρανού και βυθίζεται προς την εκσκαφή με γωνία μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής.

Ολίσθηση σφήνας (wedge failure)

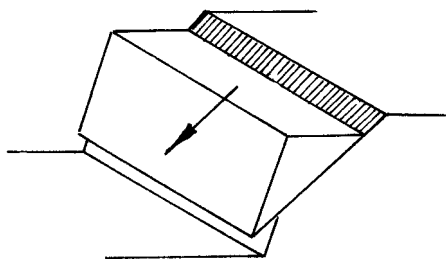
Όταν δύο ασυνέχειες έχουν διεύθυνση πλάγια ως προς την διεύθυνση του πρανού και η γραμμή της τομής τους ανατέλλει στο πρανές, τότε σχηματίζεται βραχοσφήνα η οποία ενδέχεται να ολισθήσει κατά μήκος της γραμμής τομής τους, με την προϋπόθεση ότι η γωνία βύθισης αυτής της γραμμής είναι μεγαλύτερη από τη μέση γωνία τριβής των ασυνεχειών.

Κυκλική ολίσθηση (circular failure)

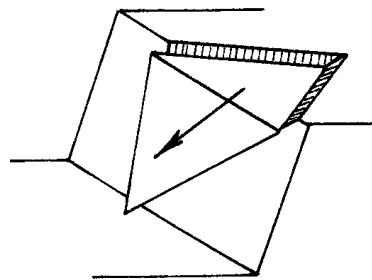
Όταν η βραχομάζα καθίσταται πολύ ασθενής, λόγω του ισχυρού κατακερματισμού της, τότε ενδέχεται να συμπεριφερθεί αυτή ως εδαφικό υλικό, και να προκύψει μια κυκλική επιφάνεια στο πρανές, η οποία θα επιτρέπει την ολίσθηση του υπερκείμενου τμήματος της αποσαθρωμένης βραχομάζας.

Ανατροπή (toppling failure)

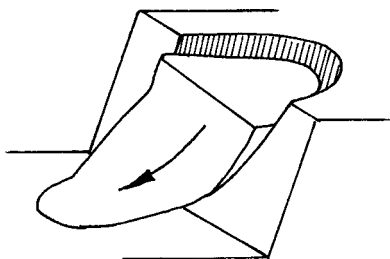
Ανατροπή μπορεί να προκύψει όταν στη βραχώμαζα υπάρχουν ασυνέχειες οι οποίες έχουν πολύ μεγάλη γωνία κλίσης και των οποίων η διεύθυνση κλίσης είναι αντίθετη από αυτήν του πρανούς.



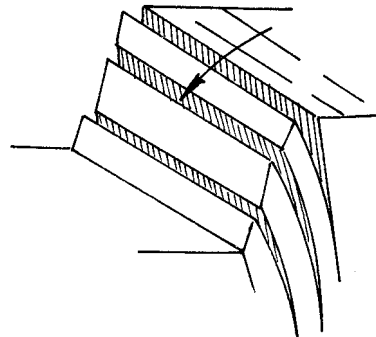
Ολίσθηση σε ένα επίπεδο



Ολίσθηση σφήνας



Κυκλική ολίσθηση



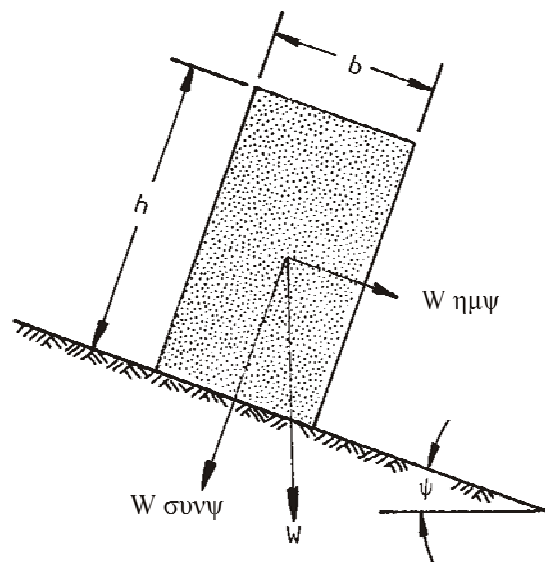
Ανατροπή

Σχήμα 5.1 Τύποι αστοχίας βραχωδών πρανών

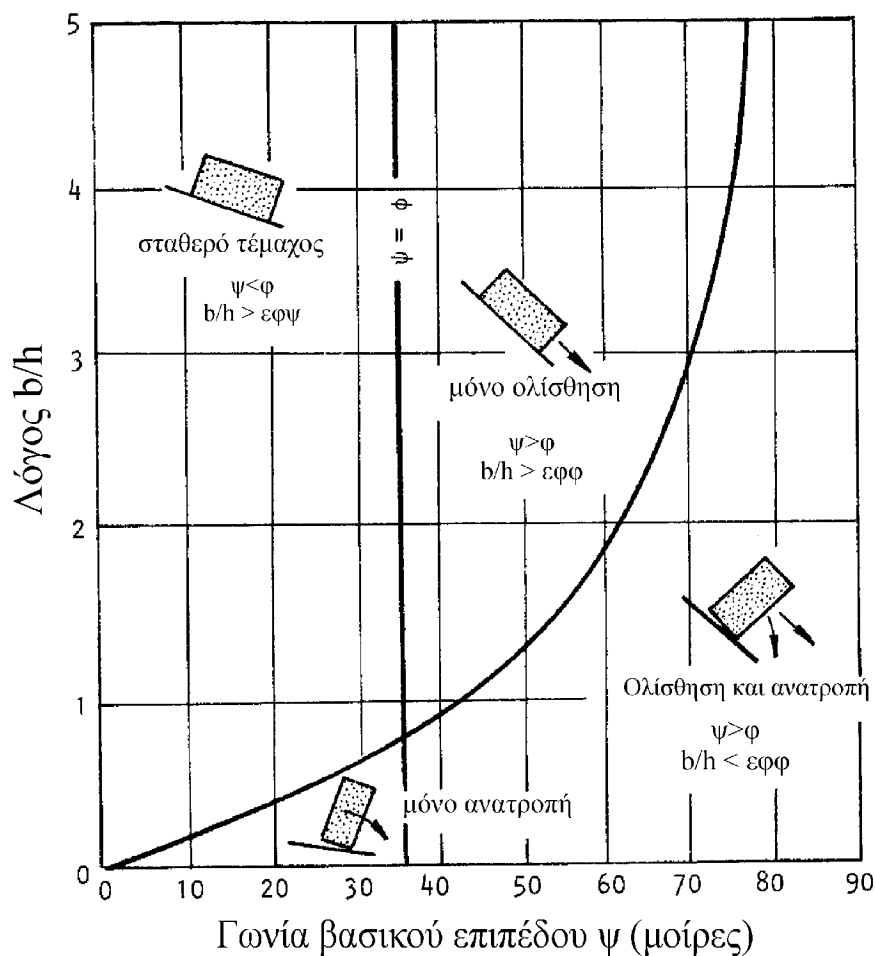
Σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να μην είναι σαφές αν η αστοχία που θα προκύψει στο πρανές θα είναι με ολίσθηση ή με ανατροπή. Θεωρούμε ένα τμήμα βράχου που βρίσκεται πάνω σε ένα κεκλιμένο επίπεδο όπως δείχνει το σχ.5.2. Σε αυτήν την περίπτωση οι διαστάσεις του τμήματος ορίζονται από το ύψος του h και το μήκος της βάσης του b και υποθέτουμε ότι η δύναμη που αντιστέκεται στην κίνηση του τμήματος προς τα κάτω είναι μόνο η τριβή (μηδενική συνοχή $c=0$). Όταν το διάνυσμα

που αντιπροσωπεύει το βάρος w του τεμάχους πέφτει μέσα στη βάση b , το τεμάχος θα ολισθήσει εάν η κλίση του επιπέδου ψ είναι μεγαλύτερη από τη γωνία τριβής ϕ . Ωστόσο, όταν το τεμάχος είναι ψηλό και λεπτό ($h > b$), το διάνυσμα του βάρους w μπορεί να πέφτει έξω από τη βάση b και όταν συμβαίνει αυτό το τεμάχος θα ανατραπεί, δηλαδή θα περιστραφεί γύρω από χαμηλότερη άκρη του σε επαφή. Οι συνθήκες για ολίσθηση και/ή ανατροπή για αυτό το μοναδικό τεμάχος καθορίζονται στο σχήμα 5.3. Οι τέσσερις περιοχές σε αυτό το διάγραμμα καθορίζονται ως ακολούθως:

- Περιοχή 1: $\psi < \phi$ και $b/h > \tan\psi$, το τεμάχος είναι ευσταθές και ούτε θα ολισθήσει ούτε θα ανατραπεί.
- Περιοχή 2: $\psi > \phi$ και $b/h > \tan\psi$, το τεμάχος θα ολισθήσει αλλά δεν θα ανατραπεί.
- Περιοχή 3: $\psi < \phi$ και $b/h < \tan\psi$, το τεμάχος θα ανατραπεί αλλά δεν θα ολισθήσει.
- Περιοχή 4: $\psi > \phi$ και $b/h < \tan\psi$, το τεμάχος μπορεί να ολισθήσει και να ανατραπεί ταυτόχρονα.



Σχήμα 5.2 Γεωμετρία τεμάχους πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).



Σχήμα 5.3 Συνθήκες για ολίσθηση και ανατροπή ενός τεμάχους πάνω σε κεκλιμένο επίπεδο (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).

Αξιολόγηση πιθανών προβλημάτων σε πρανή

Διαφορετικοί τύποι αστοχιών σε πρανή συνδέονται με διαφορετικούς τύπους γεωλογικών δομών και είναι σημαντικό η μελέτη τους να περιλαμβάνεται εξαρχής στο σχεδιασμό ενός τεχνικού έργου και μάλιστα οδοποιίας. Μερικά από τα δομικά μοντέλα που πρέπει να αναζητούνται όταν εξετάζονται προβολές πόλων, περιγράφονται γενικά παρακάτω.

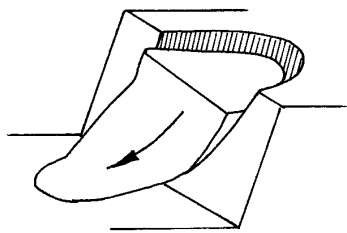
Το Σχ. 5.4 παριστάνει τους τέσσερις κύριους τύπους διάρρηξης και δίνει την εμφάνιση τυπικών προβολών πόλων γεωλογικών συνθηκών που είναι πιθανόν να οδηγήσουν σε τέτοιες διαρρήξεις. Να σημειωθεί ότι στην εκτίμηση της ευστάθειας, η μετωπική επιφάνεια του πρανούς πρέπει επίσης να συμπεριλαμβάνεται στο

στερεοδιάγραμμα, μιας και ολίσθηση μπορεί να εκδηλωθεί μόνο ως αποτέλεσμα μετακίνησης προς το ελεύθερο μέτωπο που δημιουργείται από την τομή.

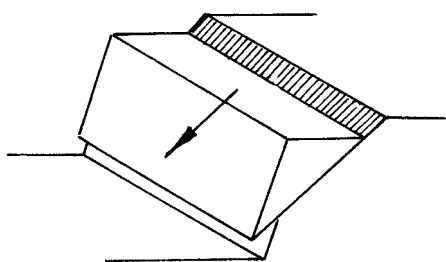
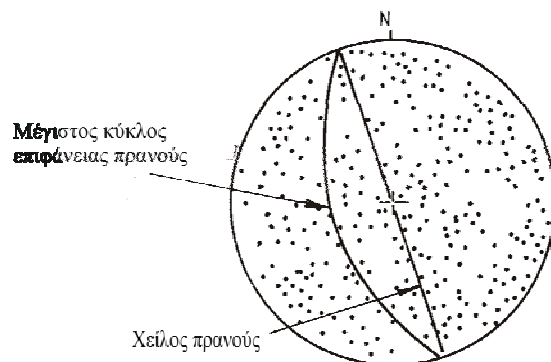
Τα διαγράμματα που δίνονται στο Σχ. 5.4 έχουν απλοποιηθεί για χάρη ευκρίνειας. Σε ένα πραγματικό πρηνές μπορεί να είναι παρόντες διαφορετικοί συνδυασμοί γεωλογικών δομών και αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πρόσθετα είδη αστοχίας. Για παράδειγμα, η παρουσία ασυνεχειών που μπορούν να οδηγήσουν σε ανατροπή μαζί με επίπεδα πάνω στα οποία μπορεί να προκύψει ολίσθηση σφήνας, θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε τελική ολίσθηση σφήνας η οποία διαχωρίζεται από τη βραχομάζα από μία εφελκυστική ρωγμή (tension crack).

Σε μια τυπική μελέτη υπαίθρου, στην οποία τεκτονικά δεδομένα έχουν προβληθεί σε στερεοδιαγράμματα, μπορεί να υπάρχει ένας αριθμός από σημαντικές συγκεντρώσεις πόλων. Είναι χρήσιμο κανείς να μπορεί να αναγνωρίσει αυτές που αντιπροσωπεύουν πιθανές επιφάνειες αστοχίας και να αγνοήσει αυτές που αντιπροσωπεύουν δομές που είναι απίθανο να εμπλακούν σε αστοχίες των πρηνών. Αυτό μπορεί να γίνει με τη βοήθεια μιας μεθόδου που αναπτύχθηκε από τον Markland.

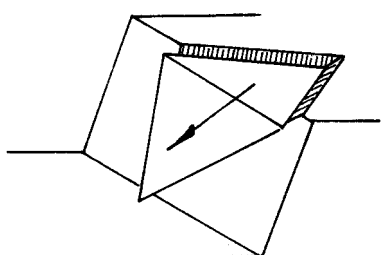
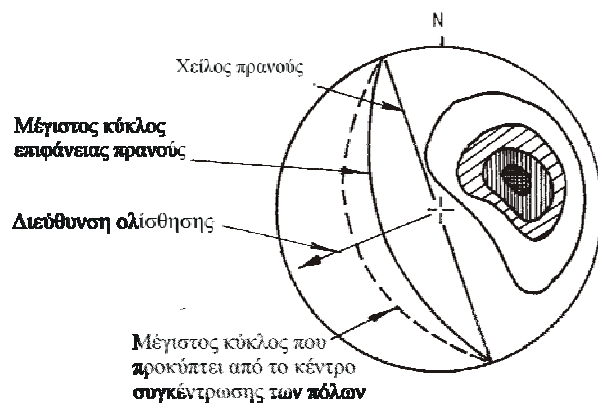
Το τεστ του Markland σχεδιάστηκε για να καθορίζει την πιθανότητα μιας ολίσθησης σφήνας κατά την οποία προκύπτει ολίσθηση κατά μήκος της γραμμής τομής δύο επιπέδων ασυνεχειών όπως παρουσιάζεται στο Σχ. 5.4. Η ολίσθηση σε ένα επίπεδο καλύπτεται επίσης από αυτό το τεστ μιας και αποτελεί ιδιική περίπτωση της ολίσθησης σφήνας. Αν διατηρείται επαφή και στα δύο επίπεδα, ολίσθηση μπορεί να συμβεί μόνο κατά μήκος της γραμμής τομής των επιπέδων για αυτό το λόγο αυτή η γραμμή τομής θα πρέπει να «ανατέλλει» στη μετωπική επιφάνεια του πρηνούς. Με άλλα λόγια η γωνία κλίσης της γραμμής τομής πρέπει να είναι μικρότερη από τη γωνία κλίσης της μετωπικής επιφάνειας του πρηνούς, μετρημένη στη διεύθυνση της γραμμής τομής όπως δείχνει το Σχ. 5.5.



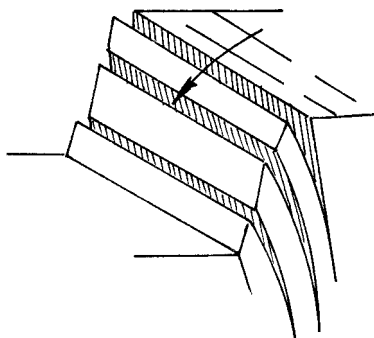
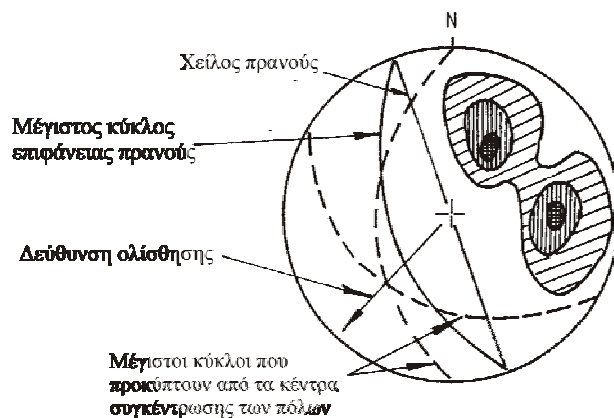
α. Κυκλική ολίσθηση σε υπερκείμενο έδαφος, στείρο βράχο ή ισχυρά θραυσμένο βράχο χωρίς αναγνωρίσιμο τεκτονικό μοντέλο



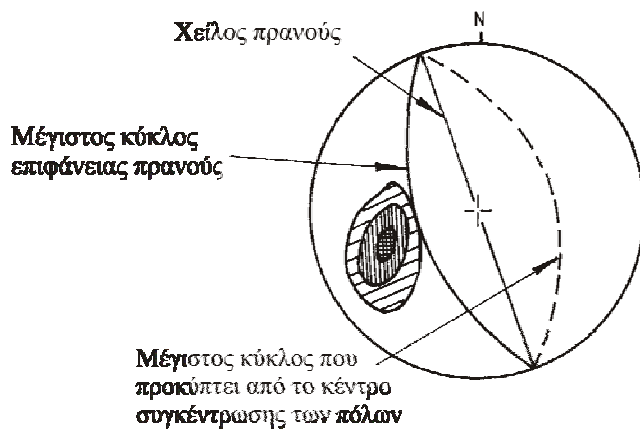
β. Ολίσθηση σε ένα επίπεδο σε βράχο με σαφώς καθορισμένη δομή π.χ. σχιστόλιθος



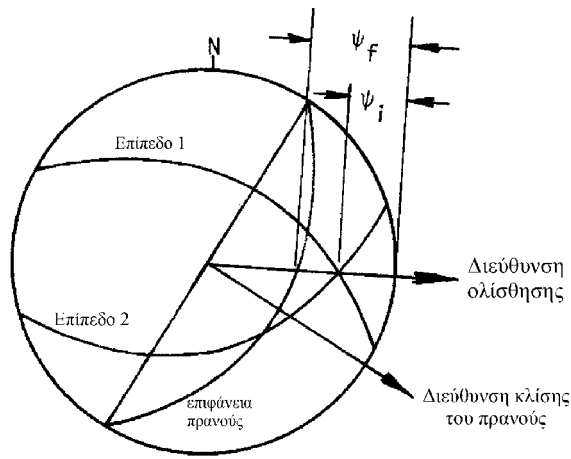
γ. Ολίσθηση σφήνας από δύο τεμνόμενες ασυνέχειες



δ. Ανατροπή σε σκληρό βράχο που μπορεί να σχηματίζει στυλοειδή δομή διαχωριζόμενη από ασυνέχειες με απότομη κλίση

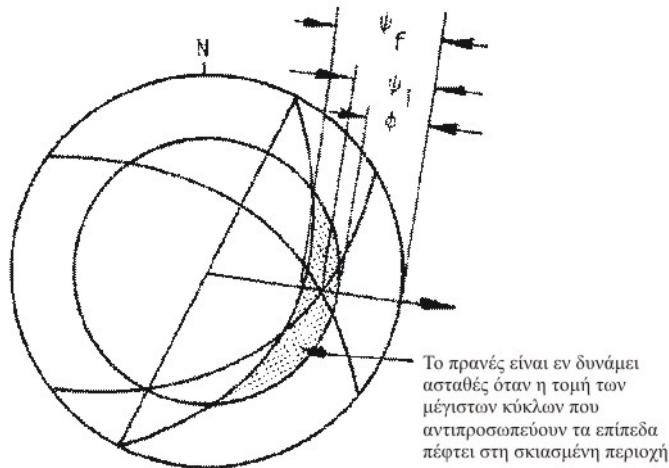


Σχήμα 5.4 Κύριοι τύποι αστοχίας πρανών και στερεοδιαγράμματα των τεκτονικών συνθηκών που είναι πιθανόν να προξενήσουν αυτές τις αστοχίες (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).



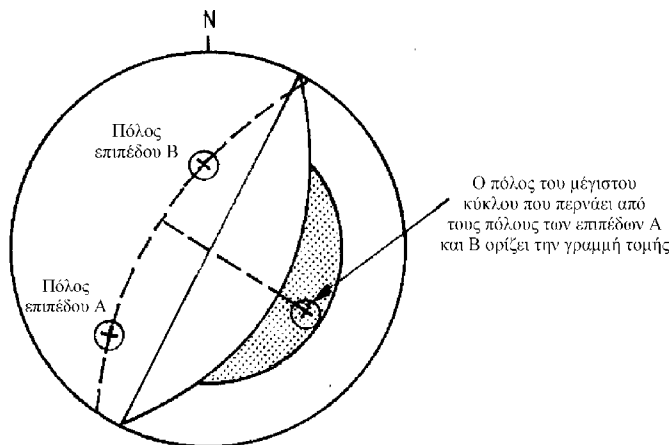
Σχήμα 5.5 Η ολίσθηση κατά μήκος της γραμμής τομής των επιπέδων A και B είναι δυνατή όταν η γωνία κλίσης αυτής της γραμμής είναι μικρότερη από την κλίση του πρανούς, μετρημένη κατά τη διεύθυνση της ολίσθησης (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).

$$\psi_f > \psi_i$$

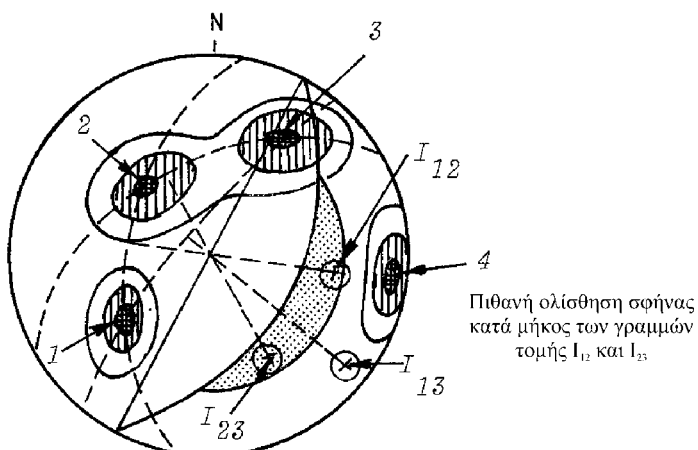


Σχήμα 5.6 Ολίσθηση υποτίθεται ότι προκύπτει όταν η γωνία κλίσης της γραμμής τομής ξεπεράσει την γωνία τριβής (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).

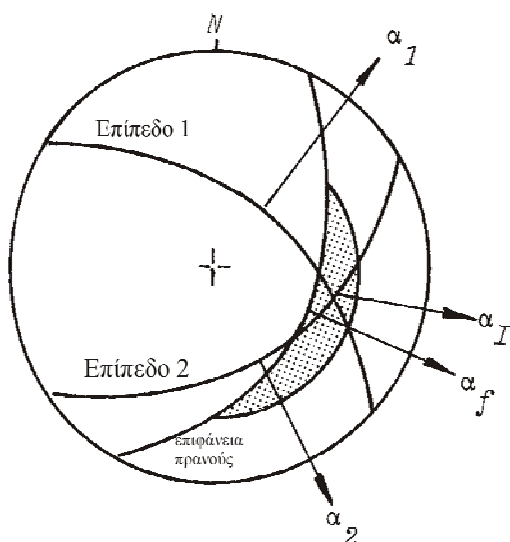
$$\psi_f > \psi_i > \phi$$



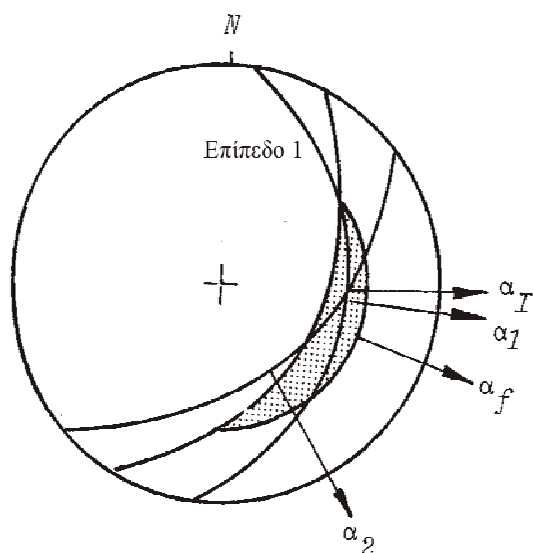
Σχήμα 5.7 Αναπαράσταση επιπέδων από τους πόλους τους και καθορισμός της γραμμής τομής των επιπέδων από τον πόλο του μέγιστου κύκλου που περνάει από τους πόλους τους (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).



Σχήμα 5.8 Προκαταρκτική εκτίμηση της ευστάθειας ενός πρανούς 50° σε μια βραχομάζα με 4 συστήματα τεκτονικών ασυνεχειών (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).



Σχήμα 5.9 Ολίσθηση σφήνας κατά μήκος του α_1 (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).



Σχήμα 5.10 Ολίσθηση μόνο στο επίπεδο 1 (Hoek, E., Bray, W., J., 1981).

Ο συντελεστής ασφαλείας του πρσανούς εξαρτάται από τη γωνία κλίσης της γραμμής τομής, τη διατμητική αντοχή των επιφανειών των ασυνεχειών και από τη γεωμετρία της σφήνας. Η περιοριστική περίπτωση προκύπτει όταν η σφήνα εκφυλίζεται σε ένα επίπεδο, δηλαδή όταν οι γωνίες κλίσης και οι διευθύνσεις κλίσης των δύο επιπέδων είναι ίδιες, και όταν η διατμητική αντοχή αυτού του επιπέδου οφείλεται αποκλειστικά στην τριβή. Η ολίσθηση κάτω από αυτές τις συνθήκες εκδηλώνεται όταν η κλίση του επιπέδου υπερβαίνει την τιμή της γωνίας τριβής ϕ και συνεπώς μια πρώτη εκτίμηση της ευστάθειας της σφήνας προκύπτει από τον έλεγχο του κατά πόσο η γωνία κλίσης της γραμμής τομής υπερβαίνει τη γωνία τριβής για τις επιφάνειες του βράχου. Το σχ.5.6 δείχνει ότι το πρσανές είναι εν δυνάμει ασταθές όταν το σημείο που αντιπροσωπεύει τη γραμμή τομής των δύο επιπέδων πέφτει στην περιοχή που περικλείεται από τον μέγιστο κύκλο που ορίζει την επιφάνεια του

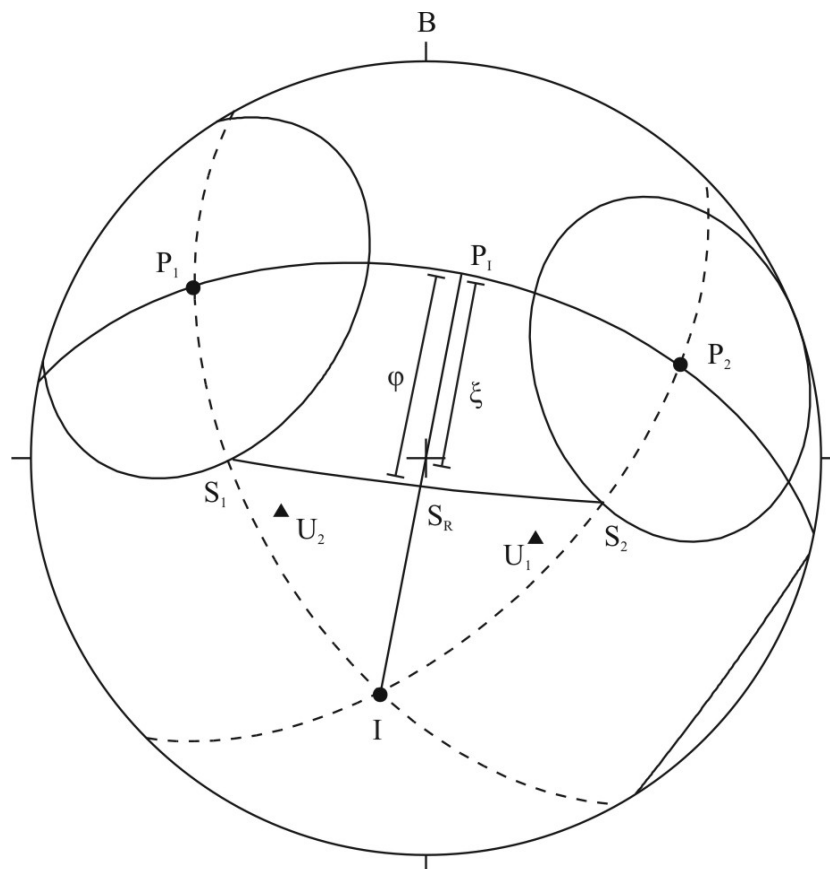
πραγούς και τον κύκλο που ορίζεται από τη γωνία τριβής ϕ . Αυτή η περιοχή μπορεί να ελαττωθεί ακόμα περισσότερο αν επιτραπεί η επιρροή της «αποσφήνωσης» μεταξύ των δύο επιπέδων των ασυνεχειών. Από την άλλη μεριά, η ευστάθεια μπορεί να ελαττωθεί από την παρουσία νερού στο πρανές. Η εμπειρία δείχνει ότι αυτοί οι δύο παράγοντες θα τείνουν να εξαλείφονται αμοιβαία σε τυπικά προβλήματα αποσφηνώσεων και ότι η χονδρική παραδοχή που γίνεται για να εξαχθεί το σχήμα είναι επαρκής για τα περισσότερα πρακτικά προβλήματα. Θα πρέπει να υπενθυμιστεί ότι αυτό το τεστ σχεδιάστηκε για να αναγνωρίζει κρίσιμες ασυνέχειες και έχοντας κάνει αυτό, μια πιο λεπτομερής ανάλυση θα είναι φυσιολογικά απαραίτητη, ώστε να προσδιοριστεί ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς.

Μια βελτίωση του τεστ του Markland έχει προταθεί από τον Hocking και αυτή η βελτίωση έχει εισαχθεί για να επιτρέπει στο χρήστη να κάνει την διαφοροποίηση ανάμεσα στην ολίσθηση μιας σφήνας κατά μήκος της γραμμής τομής ή κατά μήκος του ενός εκ των δύο επιπέδων που σχηματίζουν τη βάση της σφήνας. Αν ικανοποιούνται οι συνθήκες του τεστ του Markland, δηλαδή αν η γραμμή τομής των δύο επιπέδων πέφτει μέσα στο γραμμοσκιασμένο τμήμα που διακρίνεται στα σχήματα 5.9 και 5.10 και αν η διεύθυνση κλίσης κάποιου από τα δύο επίπεδα πέφτει ανάμεσα στη διεύθυνση κλίσης της επιφάνειας του πρανούς και στη διεύθυνη της γραμμής τομής, τότε η ολίσθηση θα προκληθεί κατά μήκος αυτού του επιπέδου παρά κατά μήκος της γραμμής τομής. Αυτός ο πρόσθετος έλεγχος παριστάνεται στα σχήματα 5.9 και 5.10.

Τα σχήματα 5.5 και 5.6 δείχνουν τα επίπεδα των ασυνεχειών σαν μέγιστους κύκλους αλλά τα δεδομένα υπαίθρου για αυτές τις δομές συνήθως προβάλλονται με μορφή πόλων. Στο σχ.5.7, τα δύο επίπεδα ασυνεχειών παριστάνονται με τους πόλους τους και για να προσδιοριστεί η γραμμή τομής των δύο επιπέδων χρησιμοποιείται η παρακάτω μέθοδος. Το χαρτί πάνω στο οποίο έχουν προβληθεί οι πόλοι των δύο επιπέδων περιστρέφεται μέχρι οι δύο πόλοι να βρεθούν πάνω στον ίδιο μέγιστο κύκλο. Ο πόλος του μέγιστου αυτού κύκλου ορίζει τη γραμμή τομής των δύο επιπέδων.

Όταν, μετά τη διενέργεια των παραπάνω τεστ, διαπιστώνουμε ότι σε κάποιο πρανές δημιουργούνται συνθήκες οι οποίες είναι πιθανό να οδηγήσουν στην αστοχία του πρανούς προχωρούμε στον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς για να διαπιστώσουμε αν το πρανές θα αντιμετωπίσει προβλήματα αστάθειας και να

εφαρμόσουμε τα κατάλληλα μέτρα προστασίας του. Ο τρόπος υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας του πρανούς όταν πρόκειται για ολίσθηση σε ένα επίπεδο



Σχήμα 5.11 Παράδειγμα ανάλυσης ευστάθειας βραχοσφήνας.

αναφέρθηκε παραπάνω. Όταν πρόκειται για τη δημιουργία σφήνας και ολίσθησης κατά μήκος της τομής των ασυνεχειών τότε ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται με τον παρακάτω τρόπο (Aftewell, B., P. and Farmer, W., I., 1976). Ας υποθέσουμε ότι σε ένα πρανές δημιουργείται μια βραχοσφήνα από την τομή τεκτονικών ασυνεχειών με στοιχεία $126^{\circ}/62^{\circ}$ και $250^{\circ}/58^{\circ}$, και γωνίες εσωτερικής τριβής 35° και 32° αντίστοιχα. Τοποθετούμε τους πόλους P_1 και P_2 των ασυνεχειών σε ένα διάγραμμα Schmidt και κατασκευάζουμε γύρω από κάθε πόλο τους αντίστοιχους κώνους τριβής του talobre. Φέρουμε το μέγιστο κύκλο που περνάει από τον πόλο P_1 και το σημείο τομής των ασυνεχειών I. Το σημείο τομής του μέγιστου κύκλου με τον κώνο τριβής καθορίζει το σημείο S_1 . Με τον ίδιο τρόπο καθορίζουμε και το σημείο S_2 στον κώνο τριβής του άλλου επιπέδου. Στη συνέχεια φέρνουμε τους μέγιστους κύκλους που περνούν από τα σημεία $P_1 - P_2$ και $S_1 - S_2$. Αυτοί οι μέγιστοι κύκλοι

τέμνουν το κατακόρυφο επίπεδο που περνάει από το I στα σημεία P_I και S_R αντίστοιχα. Η γωνία μεταξύ των P_I και S_R είναι η γωνία φ και η γωνία μεταξύ του P_I και του βάρους (κέντρο του στερεοδιαγράμματος) είναι η γωνία ξ . Ο συντελεστής ασφαλείας F , δίνεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\varepsilon\phi\phi}{\varepsilon\phi\xi}$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή της γωνίας φ είναι 45° και της γωνίας ξ είναι 39° , οπότε η τιμή του συντελεστή ασφαλείας είναι $F=1,23$.

Στη συνέχεια, για να εκτιμήσουμε την επίδραση του νερού που τυχόν υπάρχει στις ασυνέχειες, υπολογίζουμε το μέτρο της υδροστατικής πίεσης που ασκείται στις επιφάνειες ανάλογα με το μέγεθός τους. Τοποθετούμε στο στερεοδιάγραμμα τα σημεία U_1 και U_2 που αντιπροσωπεύουν τις υδροστατικές πιέσεις και βρίσκονται αντιδιαμετρικά από τους πόλους P_1 και P_2 αντίστοιχα. Χρησιμοποιώντας δυναμοπολύγωνα προσθέτουμε τις δυνάμεις U_1 και U_2 και προκύπτει η U_R την οποία στη συνέχεια προσθέτουμε με το βάρος W και προκύπτει η W_e . Οι γωνίες φ και ξ μετρούνται πάνω στον μέγιστο κύκλο $P_I - W_e$ μεταξύ των P_I και S_R η πρώτη και μεταξύ του P_I και του W_e η δεύτερη.

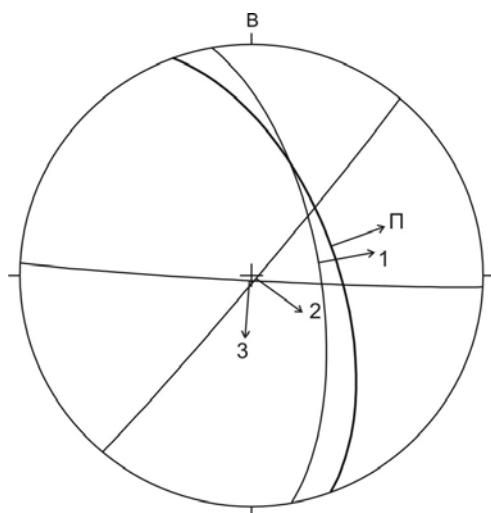
5.2 Ευστάθεια των πρανών στην περιοχή μελέτης

Η πλειονότητα των πρανών που διαμορφώνει η εθνική οδός και στα δύο τμήματά της που χαρτογραφήθηκαν ανήκουν στην κατηγορία των βραχυδών πρανών. Κατά την τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση που πραγματοποιήθηκε συλλέχθηκαν στοιχεία τα οποία στη συνέχεια αξιοποιήθηκαν για να διερευνηθεί η ευστάθεια των υφισταμένων πρανών που διαμορφώνει η εθνική οδός. Για την πραγματοποίηση της διερεύνησης τα δύο χαρτογραφημένα τμήματα της εθνικής οδού, Α και Β, χωρίστηκαν σε μικρότερα τμήματα, ανάλογα με το γεωλογικό σχηματισμό που κόβει και τον προσανατολισμό των πρανών που διαμορφώνει ο δρόμος. Το τμήμα Α της εθνικής οδού έχει χωριστεί σε 5 μικρότερα τμήματα ενώ το τμήμα Β σε 9.

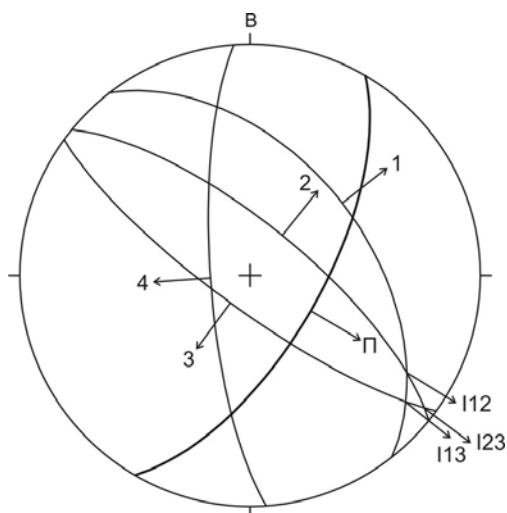
Στη συνέχεια εξετάζονται κατά τμήματα τα πρανά του δρόμου. Για κάθε τμήμα παρουσιάζονται σε στερεοδιαγράμματα, αρχικά οι ασυνέχειες που έχουν καταγραφεί και όπου διαπιστώνεται ότι επικρατούν συνθήκες πιθανής αστοχίας γίνεται περαιτέρω ανάλυση και υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας του πρανούς. Η γωνία εσωτερικής τριβής που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή ασφαλείας σε κάθε θέση βρέθηκε από τη βιβλιογραφία και είναι διαφορετική για κάθε πέτρωμα. Για τους ασβεστόλιθους και τα μάρμαρα η τιμή της γωνίας εσωτερικής τριβής που χρησιμοποιήθηκε είναι 33° ενώ για τους σχιστόλιθους και το γνεύσιο χρησιμοποιήθηκε η τιμή 23° .

Στα σχήματα 5.12 – 5.16 και 5.27 – 5.35 παρουσιάζονται στερεοδιαγράμματα στα οποία έχουν προβληθεί, για κάθε τμήμα του δρόμου, το πρανές (Π), η φύλωση του πετρώματος (Φ), οι ασυνέχειες (1,2,3,4) και οι τομές αυτών των ασυνεχειών (I12,...). Να διευκρινισθεί ότι οι αριθμοί των συνόλων των τεκτονικών ασυνεχιών που παρουσιάζονται σε κάθε τμήμα του δρόμου αφορούν το συγκεκριμένο τμήμα και όχι το σύνολο των τμημάτων.

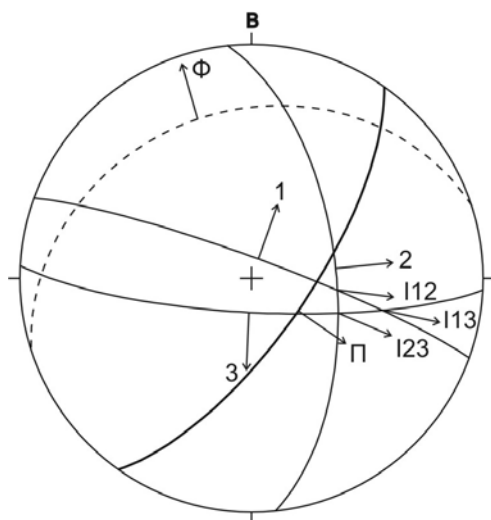
Τμήμα Α (χάρτης 2)



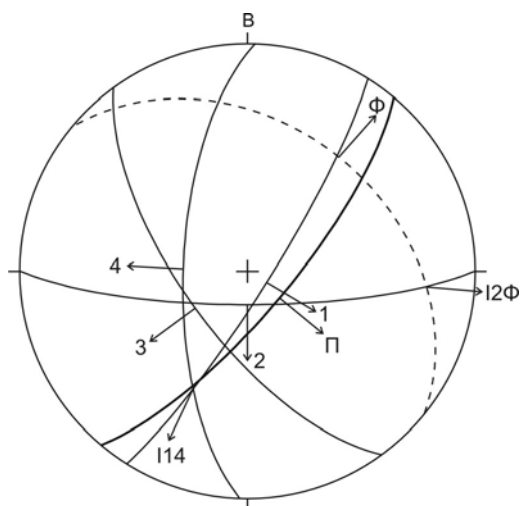
Σχήμα 5.12 Τμήμα Α1.



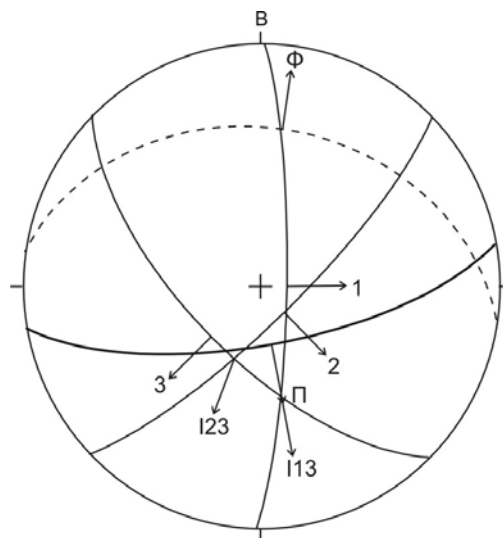
Σχήμα 5.13 Τμήμα Α2.



Σχήμα 5.14 Τμήμα Α3.



Σχήμα 5.15 Τμήμα Α4.



Σχήμα 5.16 Τμήμα Α5.

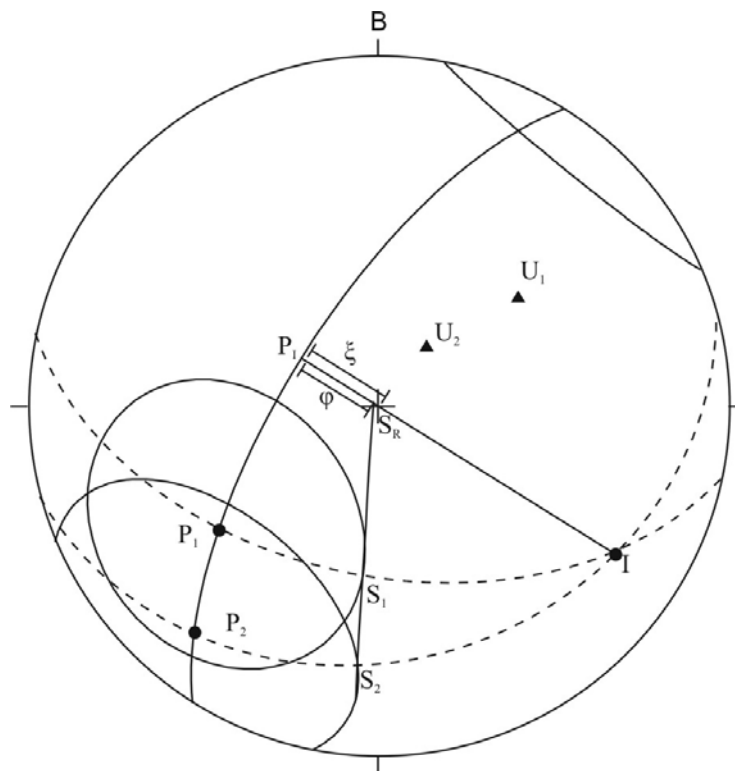
Τμήμα Α1

Το τμήμα Α1 του δρόμου έχει μήκος περίπου 500m, κόβει τον ανώτερο ανθρακικό ορίζοντα με γενική διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ διαμορφώνοντας πρανή με μέσο προσανατολισμό $70^{\circ}/60^{\circ}$. Το ύψος των πρανών είναι μικρό και κυμαίνεται από 0,5m μέχρι 3m. Σε αυτό το τμήμα, δε φαίνεται να παρουσιάζεται κανένα πρόβλημα, γιατί το πρώτο σύνολο ασυνεχειών που εμφανίζεται σε αυτήν τη θέση αν και η παράταξή του δε διαφέρει πολύ από την παράταξη του πρανούς δεν ανατέλλει στο πρανές (η γωνία κλίσης των ασυνεχειών είναι μεγαλύτερη από τη γωνία κλίσης του πρανούς) ενώ τα σύνολα 2 και 3 δε διαμορφώνουν συνθήκες που να ευνοούν κάποια αστοχία στο συγκεκριμένο πρανές. Το ίδιο συμβαίνει και με τις τομές των παραπάνω συνόλων ασυνεχειών. Γενικά στα πρανή που διαμορφώνονται σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να παρουσιάζονται προβλήματα αστάθειας.

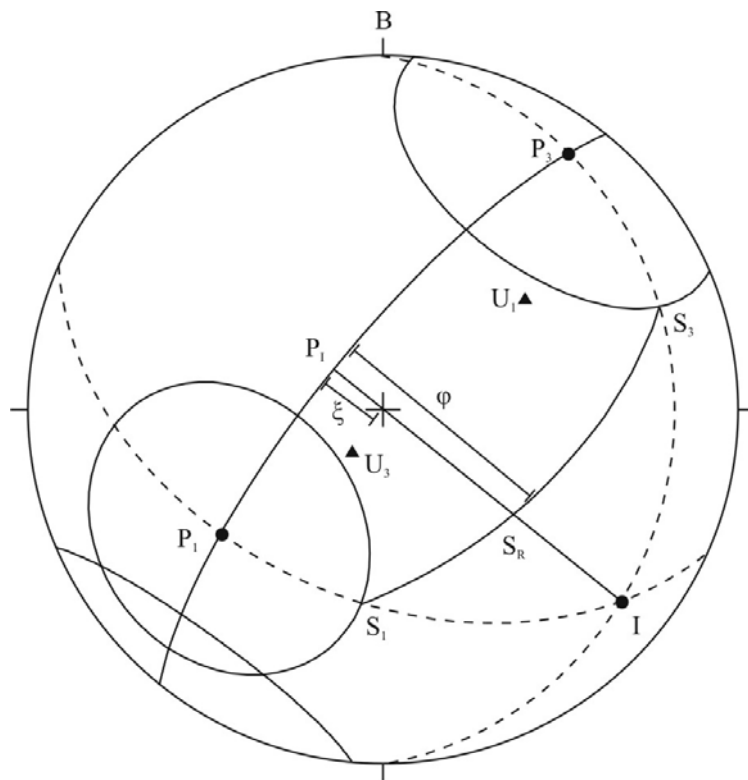
Τμήμα Α2

Το τμήμα Α2 του δρόμου έχει μήκος περίπου 350m, κόβει τον ανώτερο ανθρακικό ορίζοντα με ΒΒΑ-ΝΝΔ διεύθυνση διαμορφώνοντας πρανή με μέσο προσανατολισμό $120^{\circ}/65^{\circ}$ και ύψους περίπου 3m. Στο σχήμα 5.13 βλέπουμε ότι από την τομή των συνόλων ασυνεχειών 1-2, 1-3 και 2-3 προκύπτουν βροχοσφήνες οι οποίες

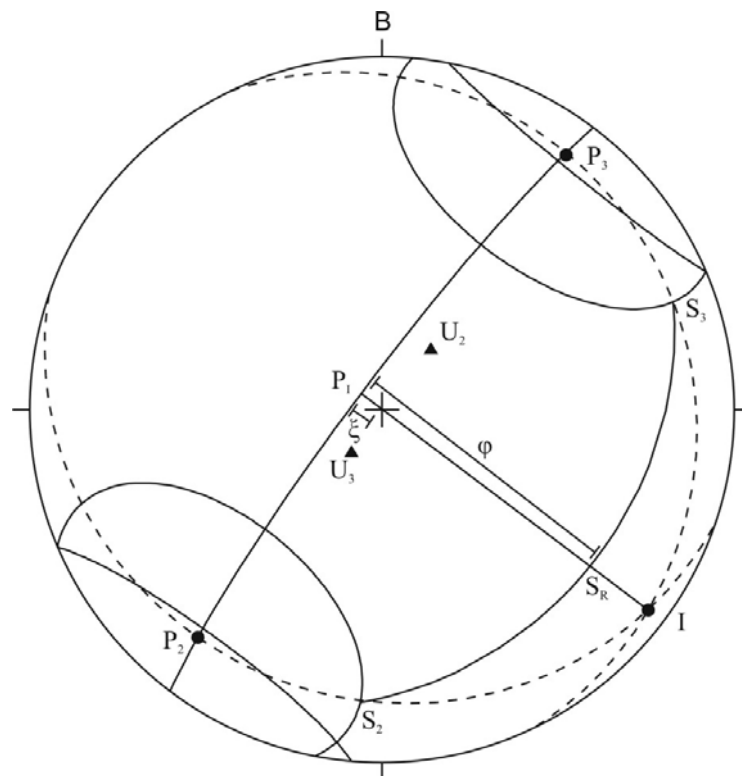
αξιολογήθηκαν και υπολογίστηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές ασφαλείας. Για την βραχοσφήνα που προκύπτει από την τομή των ασυνεχειών 1 και 2 υπολογίστηκαν οι τιμές των γωνιών: $\varphi=20^\circ$ και $\xi=21^\circ$ (Σχ. 5.17) και συντελεστής ασφαλείας $F=0,94$ ($F=\varepsilon\varphi/\varepsilon\xi$). Για τη βραχοσφήνα που προκύπτει από την τομή των ασυνεχειών 1 και 3 υπολογίστηκαν οι τιμές: $\varphi=54^\circ$ και $\xi=15^\circ$ (Σχ. 5.18) και συντελεστής ασφαλείας $F=5,14$. Για τη βραχοσφήνα που προκύπτει από την τομή των ασυνεχειών 2 και 3 υπολογίστηκαν οι τιμές: $\varphi=69^\circ$ και $\xi=6^\circ$ (Σχ. 5.19) και συντελεστής ασφαλείας $F=24,79$. Όπως προκύπτει, σε αυτό το τμήμα του δρόμου είναι πιθανό να προκύψουν αστοχίες που να οφείλονται σε ολισθήσεις βραχοσφηνών από την τομή των συνόλων ασυνεχιών 1 και 2.



Σχήμα 5.17 Τμήμα Α2. Αξιολόγηση βραχοσφήνας Ι 1-2.



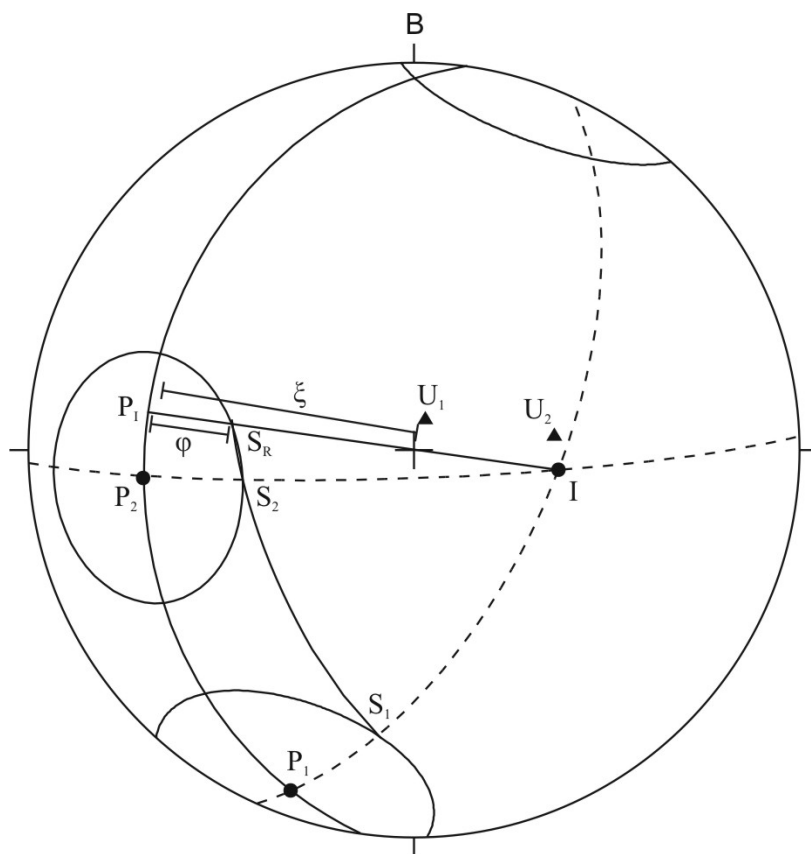
Σχήμα 5.18 Τμήμα Α2. Αξιολόγηση βραχοσφήνας Ι 1-3.



Σχήμα 5.19 Τμήμα Α2. Αξιολόγηση βραχοσφήνας Ι 2-3.

Τμήμα Α3

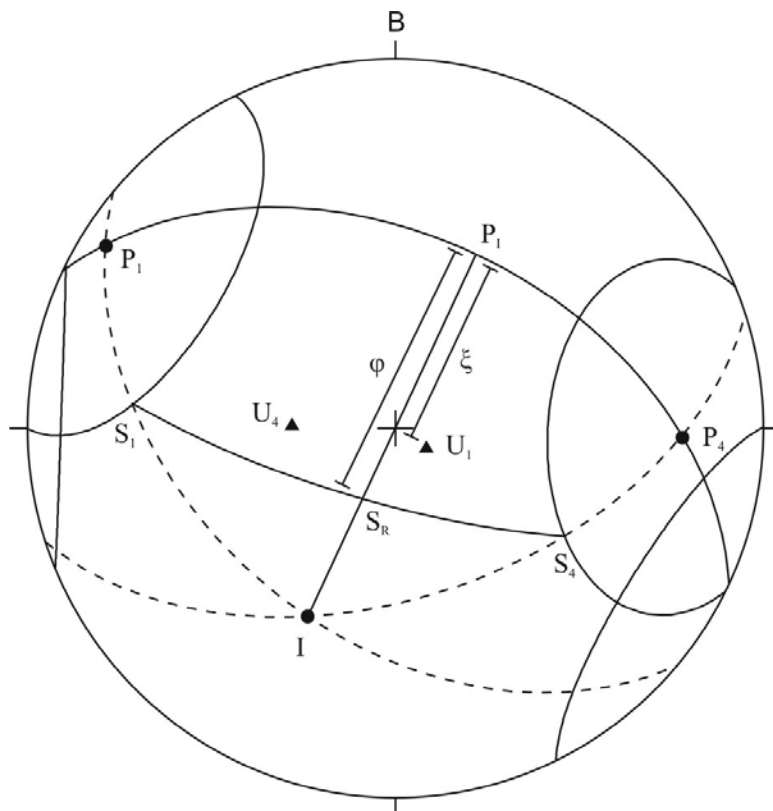
Το τμήμα Α3 του δρόμου έχει μήκος περίπου 500m, κόβει το μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο με BBA-NNΔ διεύθυνση διαμορφώνοντας πρανή με μέσο προσανατολισμό $125^{\circ}/70^{\circ}$. Το ύψος των πρανών κυμαίνεται από 3m έως 5m. Όπως μπορούμε να δούμε και στο σχήμα 5.14 δημιουργούνται βραχοσφήνες από την τομή των συνόλων ασυνεχειών 1-2, 1-3 και 2-3. Οι παραπάνω βραχοσφήνες αξιολογήθηκαν και προέκυψαν οι παρακάτω τιμές: α) βραχοσφήνα I1-2: $\varphi=20^{\circ}$, $\xi=59^{\circ}$ και $F=0,22$ (Σχ. 5.20), β) βραχοσφήνα I1-3: $\varphi=61^{\circ}$, $\xi=41^{\circ}$ και $F=2,08$ (Σχ. 5.21), γ) βραχοσφήνα I2-3: $\varphi=30^{\circ}$, $\xi=57^{\circ}$ και $F=0,37$ (Σχ. 5.22). Προκύπτει ότι υπάρχει σοβαρός κίνδυνος αστοχίας των πρανών αυτού του τμήματος του δρόμου λόγω βέβαιης ολίσθησης βραχοσφηνών από τις τομές των συνόλων ασυνεχειών 1-2 και 2-3.



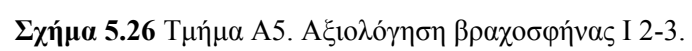
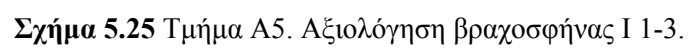
Σχήμα 5.20 Τμήμα Α3. Αξιολόγηση βραχοσφήνας I 1-2.

Τμήμα Α4

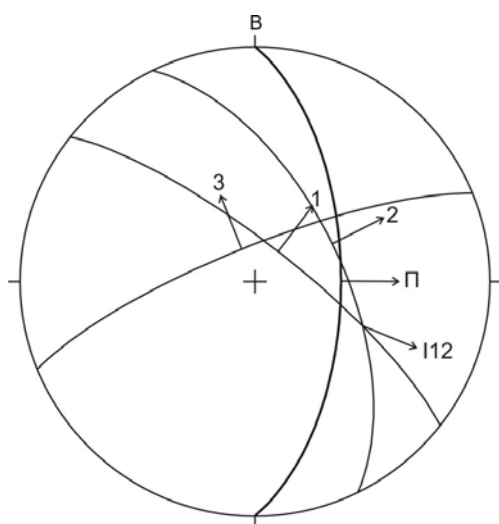
Το τμήμα Α4 του δρόμου έχει μήκος περίπου 350m, κόβει τον κατώτερο ανθρακικό ορίζοντα με BBA-NNΔ διεύθυνση διαμορφώνοντας πρανή με μέσο προσανατολισμό $130^{\circ}/75^{\circ}$. Το ύψος των πρανών κυμαίνεται από 5m έως 20m. Στο σχήμα 5.15 βλέπουμε ότι η τομή των συνόλων ασυνεχειών 1 και 4 καθώς και η τομή του συνόλου ασυνεχειών 2 με τη φύλλωση του πετρώματος δημιουργούν βραχοσφήνες οι οποίες αξιολογήθηκαν και προέκυψαν οι παρακάτω τιμές: α) βραχοσφήνα I1-4: $\varphi=60^{\circ}$, $\xi=43^{\circ}$ και $F=1,86$ (Σχ. 5.23), β) βραχοσφήνα I2-Φ: $\varphi=45^{\circ}$, $\xi=22^{\circ}$ και $F=2,48$ (Σχ. 5.24). Παρά το μεγάλο ύψος του πρανούς σε αυτό το τμήμα του δρόμου δεν φαίνεται να προκύπτουν προβλήματα αστοχίας των πρανών λόγω ολίσθησης βραχοσφηνών.



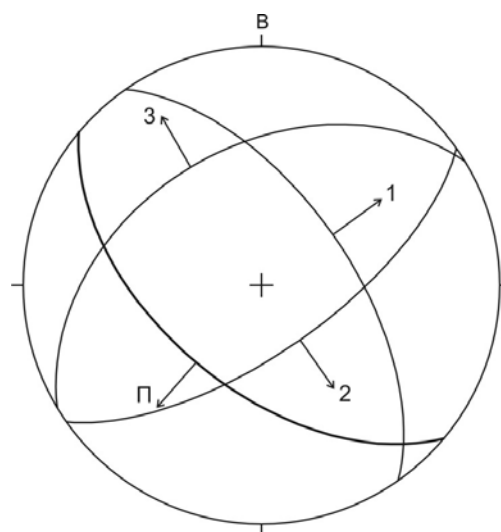
Σχήμα 5.23 Τμήμα Α4. Αξιολόγηση βραχοσφήνας I 1-4.



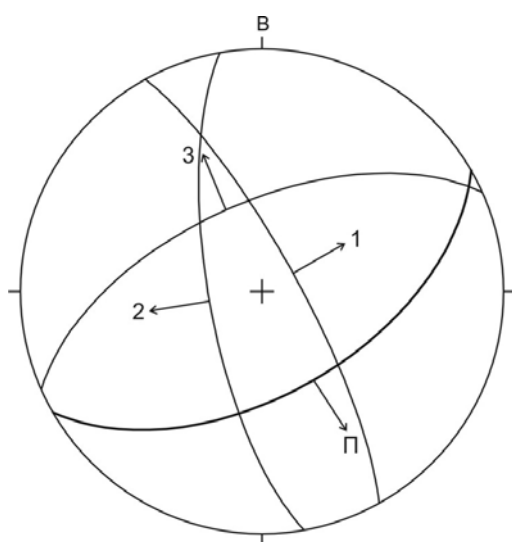
Τμήμα Β (χάρτης 3)



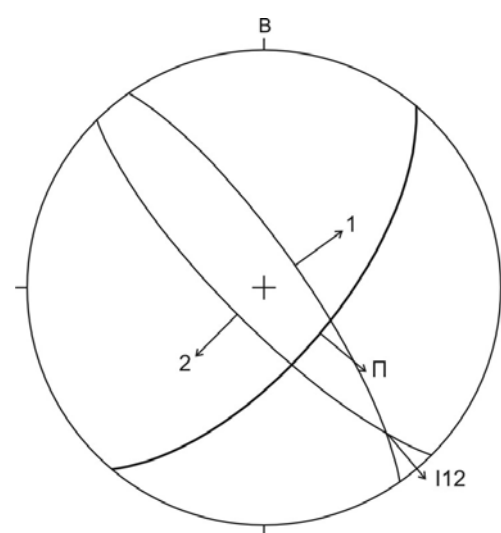
Σχήμα 5.27 Τμήμα Β1.



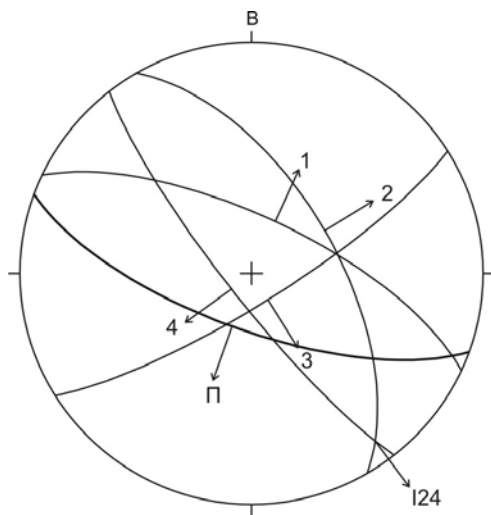
Σχήμα 5.28 Τμήμα Β2.



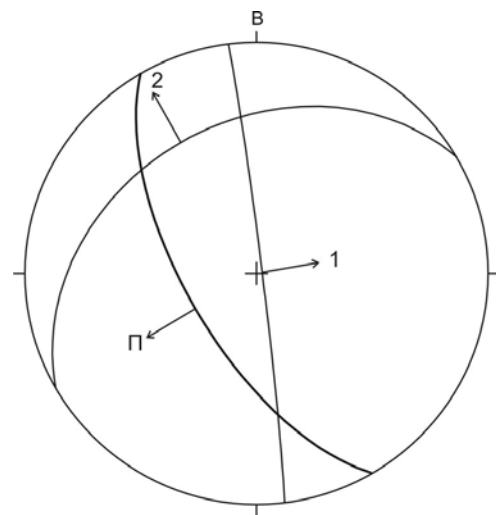
Σχήμα 5.29 Τμήμα Β3.



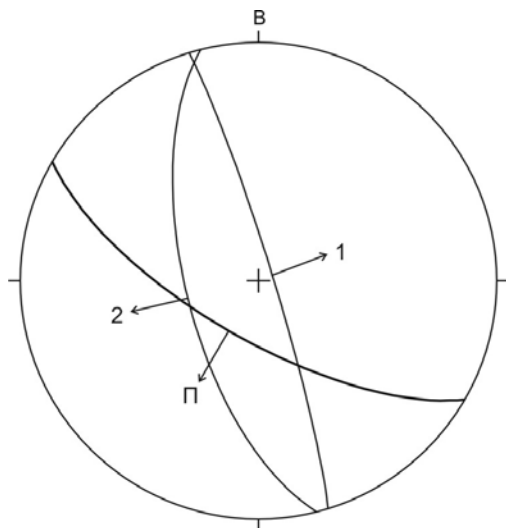
Σχήμα 5.30 Τμήμα Β4.



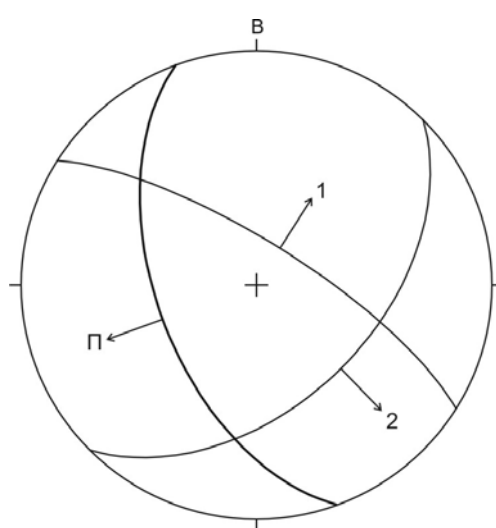
Σχήμα 5.31 Τμήμα B5.



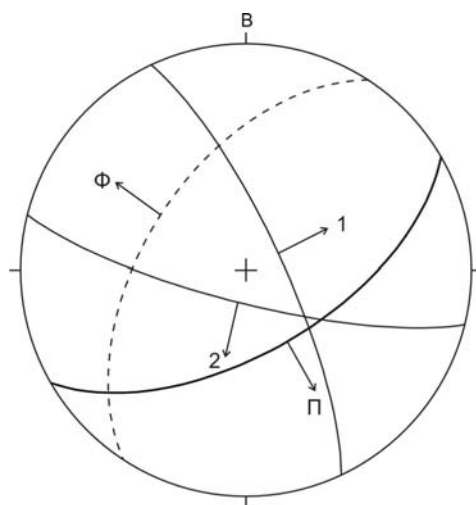
Σχήμα 5.32 Τμήμα B6.



Σχήμα 5.33 Τμήμα B7.



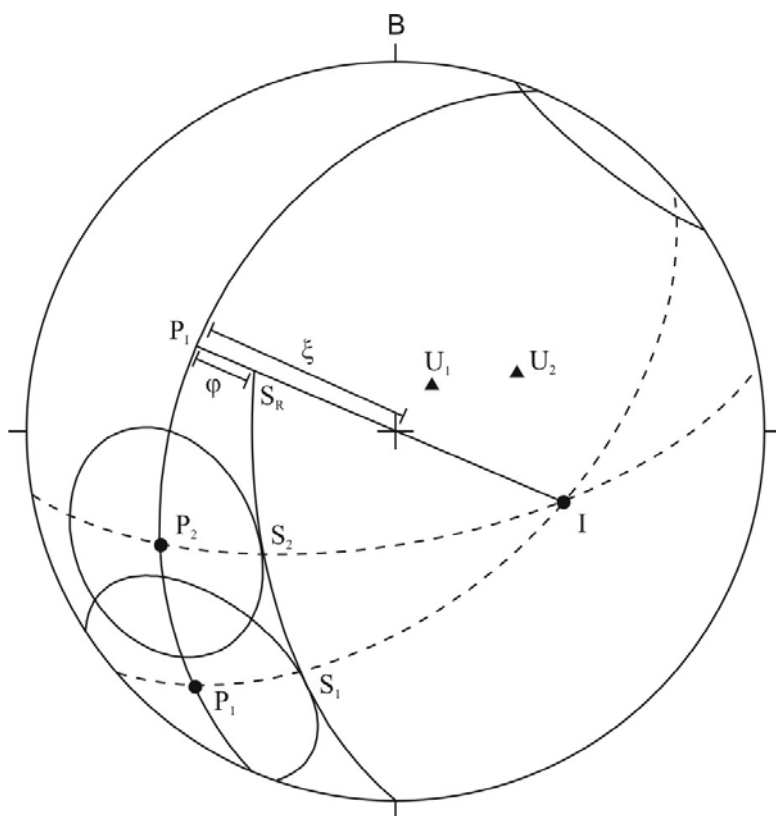
Σχήμα 5.34 Τμήμα B8.



Σχήμα 5.35 Τμήμα B9.

Τμήμα B1

Το τμήμα B1 του δρόμου έχει μήκος περίπου 530m και κόβει το γνεύσιο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση B-N. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $90^{\circ}/60^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 2m και 4m. Στο σχήμα 5.27 βλέπουμε ότι η τομή των συνόλων ασυνεχιών 1 και 2 δημιουργεί βραχοσφήνες των οποίων η αξιολόγηση έδωσε τις παρακάτω τιμές: $\varphi=15^{\circ}$, $\xi=49^{\circ}$ και $F=0,23$ (Σχ. 5.36). Φαίνεται ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου υπάρχει σοβαρός κίνδυνος αστοχίας των πρανών λόγω ολίσθησης βραχοσφηνών που δημιουργούνται από την τομή των συνόλων ασυνέχιων 1 και 2.



Σχήμα 5.36 Τμήμα B1. Αξιολόγηση βραχοσφήνας I 1-2.

Τμήμα B2

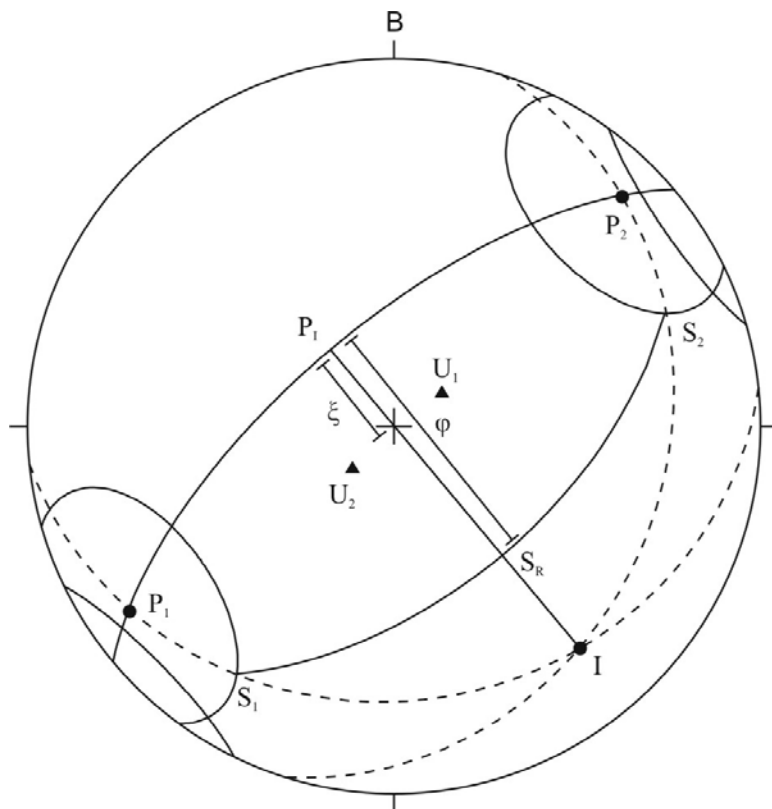
Το τμήμα B2 του δρόμου έχει μήκος περίπου 180m και κόβει το γνεύσιο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $220^{\circ}/55^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 1m και 3m. Στο σχήμα 5.28 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

Τμήμα B3

Το τμήμα B3 του δρόμου έχει μήκος περίπου 200m και κόβει το γνεύσιο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $150^{\circ}/55^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 1m και 3m. Στο σχήμα 5.29 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

Τμήμα B4

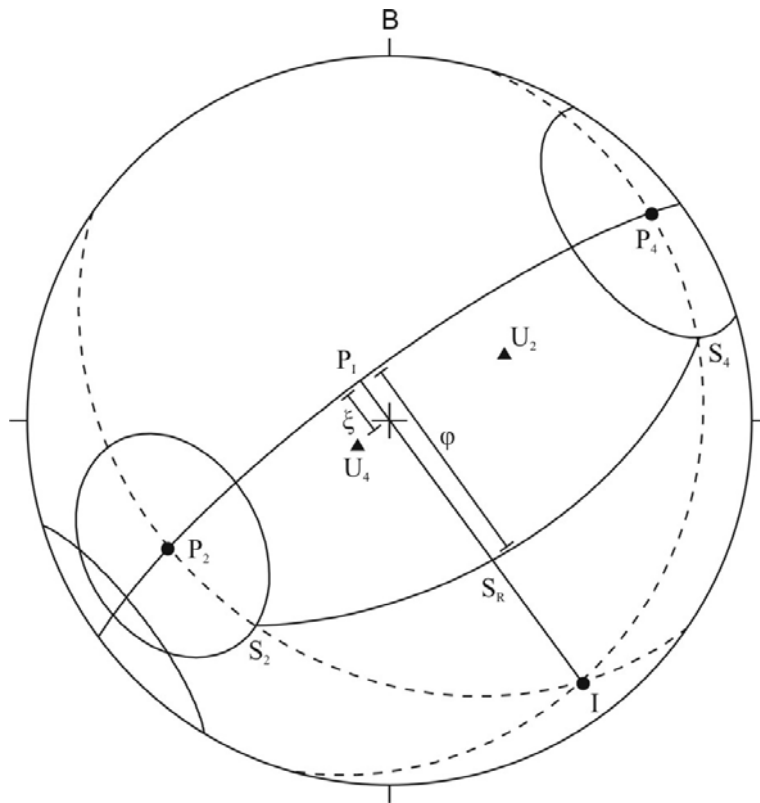
Το τμήμα B4 του δρόμου έχει μήκος περίπου 200m και κόβει το γνεύσιο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $130^{\circ}/65^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 2m και 4m. Στο σχήμα 5.30 βλέπουμε ότι από την τομή των συνόλων ασυνεχιών 1 και 2 δημιουργούνται βραχοσφήνες των οποίων η αξιολόγηση έδωσε τις παρακάτω τιμές: $\phi=60^{\circ}$, $\xi=22^{\circ}$ και $F=4,29$ (Σχ. 5.37). Προκύπτει οι βραχοσφήνες που δημιουργούνται από την τομή των συνόλων ασυνεχιών 1 και 2 δεν ολισθαίνουν και τα πρανή που διαμορφώνει ο δρόμος σε αυτό το τμήμα του δεν αντιμετωπίζουν προβλήματα αστοχιών.



Σχήμα 5.37 Τμήμα B4. Αξιολόγηση βραχοσφήνας I 1-2.

Τμήμα B5

Το τμήμα B5 του δρόμου έχει μήκος περίπου 750m και κόβει το γενεύσιο διαμορφώνοντας πρηνή με γενική διεύθυνση ΔΒΔ-ΑΝΑ. Τα πρηνή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $200^{\circ}/70^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 8m και 12m. Στο σχήμα 5.31 βλέπουμε ότι από την τομή των συνόλων ασυνεχειών 2 και 4 δημιουργούνται βραχοσφήνες των οποίων η αξιολόγηση (Σχ. 5.38) έδωσε τις παρακάτω τιμές: $\varphi=51^{\circ}$, $\xi=11^{\circ}$ και $F=6,35$. Προκύπτει ότι οι βραχοσφήνες που δημιουργούνται σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να ολισθαίνουν και τα πρηνή που διαμορφώνονται είναι ασφαλή.



Σχήμα 5.38 Τμήμα B5. Αξιολόγηση βραχοσφήνας I 2-4.

Τμήμα B6

Το τμήμα B6 του δρόμου έχει μήκος περίπου 150m και κόβει το γενεύσιο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση BBA-NNA. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $240^\circ/65^\circ$ και ύψος περίπου 3m. Στο σχήμα 5.32 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

Τμήμα B7

Το τμήμα B7 του δρόμου έχει μήκος περίπου 150m και κόβει το γρανατούχο σχιστόλιθο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση BA-NΔ. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $210^\circ/70^\circ$ και ύψος περίπου 3m. Στο σχήμα 5.33 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

Τμήμα B8

Το τμήμα B8 του δρόμου έχει μήκος περίπου 250m και κόβει το μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση BBA-NNA. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $250^{\circ}/55^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 2m και 3m. Στο σχήμα 5.34 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

Τμήμα B9

Το τμήμα B9 του δρόμου έχει μήκος περίπου 900m και κόβει το μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο διαμορφώνοντας πρανή με γενική διεύθυνση BA-NA. Τα πρανή που διαμορφώνονται έχουν μέσο προσανατολισμό $150^{\circ}/60^{\circ}$ και ύψος που κυμαίνεται μεταξύ 1m και 3m. Στο σχήμα 5.35 βλέπουμε ότι σε αυτό το τμήμα του δρόμου δε φαίνεται να προκύπτουν συνθήκες που να ευνοούν αστοχίες στα πρανή.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην περιοχή μελέτης χαρτογραφήθηκαν πέντε Αλπικοί και Προ-Αλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί που από τον κατώτερο προς τον ανώτερο είναι οι εξής: α) ορθογενέσιοι – μεταγρανίτες, β) γρανατούχοι διμαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, γ) κατώτερος ανθρακικός ορίζοντας, δ) μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι, ε) ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας. Οι παραπάνω σχηματισμοί κλίνουν από ΒΔ έως ΒΑ με μικρές γωνίες κλίσης.

Στην ευρύτερη περιοχή χαρτογραφήθηκαν δύο κύρια συστήματα ρηγμάτων, ένα ΒΒΔ–ΝΝΑ διεύθυνσης και ένα ΒΑ–ΝΔ διεύθυνσης. Στα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα, τα οποία κλίνουν στο σύνολό τους προς τα ΝΑ διαμορφώνοντας συνθετικές συζυγείς ρηξιγενείς ζώνες φαίνεται να οφείλεται η προς τα ΝΑ διαμόρφωση της πλαγιάς του βουνού.

Η διερεύνηση της ευστάθειας των υφισταμένων πρανών της εθνικής οδού πραγματοποιήθηκε μέσω της τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης δύο τμημάτων αυτής, από την οποία προέκυψαν τα παρακάτω:

α) Η εθνική οδός κόβει όλους του Αλπικούς και Προ-Αλπικούς γεωλογικούς σχηματισμούς που συναντώνται στην ευρύτερη περιοχή και διαμορφώνει πρανή που στην πλειονότητα τους ανήκουν στην κατηγορία των βραχωδών πρανών.

β) Στην περιοχή αναγνωρίζονται πέντε κύρια σύνολα διακλάσεων J1, J2, J3, J4, J5, τα χαρακτηριστικά εμφάνισης των οποίων εξαρτώνται από με το λιθολογικό τύπο στον οποίο συναντώνται.

γ) Τα πετρώματα που κόβει η εθνική οδός χαρακτηρίζονται γενικά ως υγιή έως λίγο αποσθρωμένα, αλλά χαρτογραφήθηκαν ορισμένες θέσεις στο γρανιτικό γνεύσιο, στις οποίες η αποσάθρωση του πετρώματος εμπίπτει στην τάξη IV-V.

δ) Τα υφιστάμενα πρανή γενικά δεν παρουσιάζουν μεγάλο ύψος (<10m). Από την αξιολόγηση των μηχανισμών ολίσθησης των βροχοσφηνών σ' αυτά, όπως πραγματοποιήθηκε για κάθε επιμέρους τμήμα, προκύπτουν συντελεστές ασφαλείας στα πρανή, οι οποίοι δείχνουν ότι τα πρανή της εθνικής οδού στα οποία είναι πιθανό να προκύψουν αστοχίες από την ολίσθηση βροχοσφηνών εντοπίζονται κυρίως στα τμήματα Α2, Α3, Α5 και Β1 της εθνικής οδού.

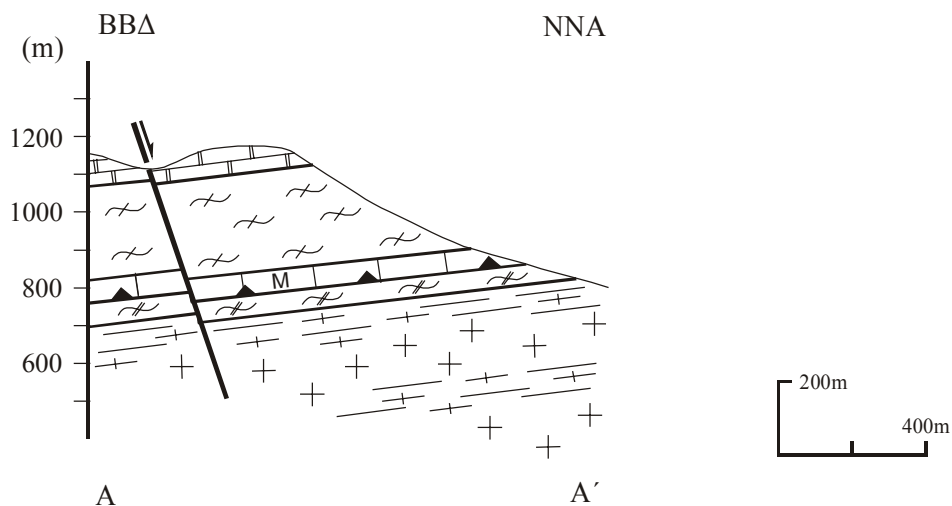
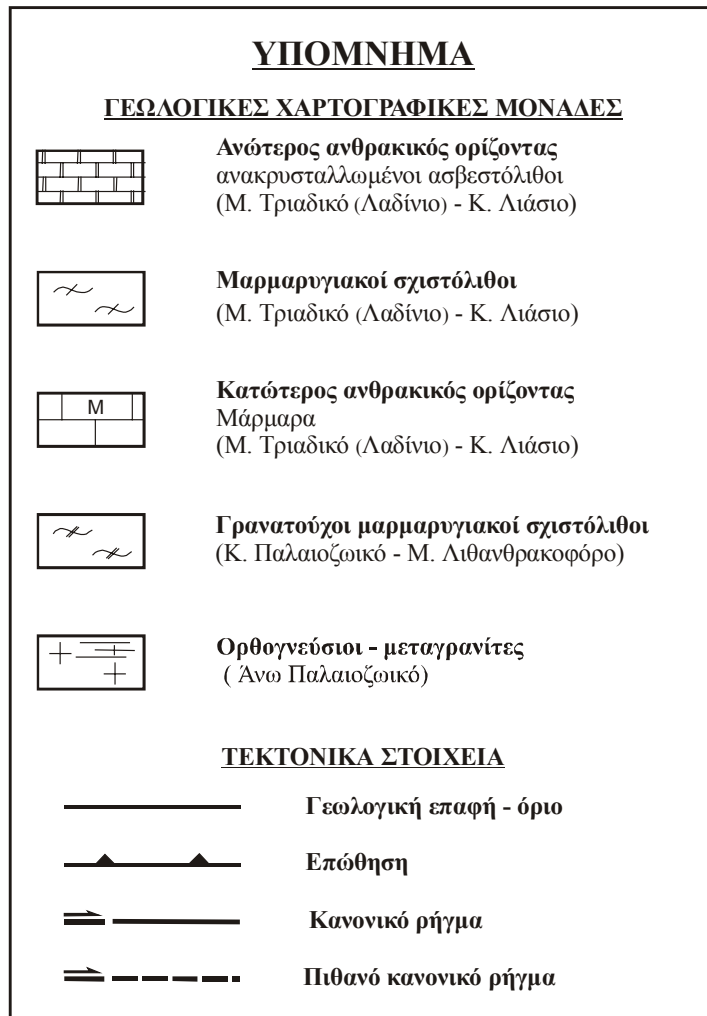
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

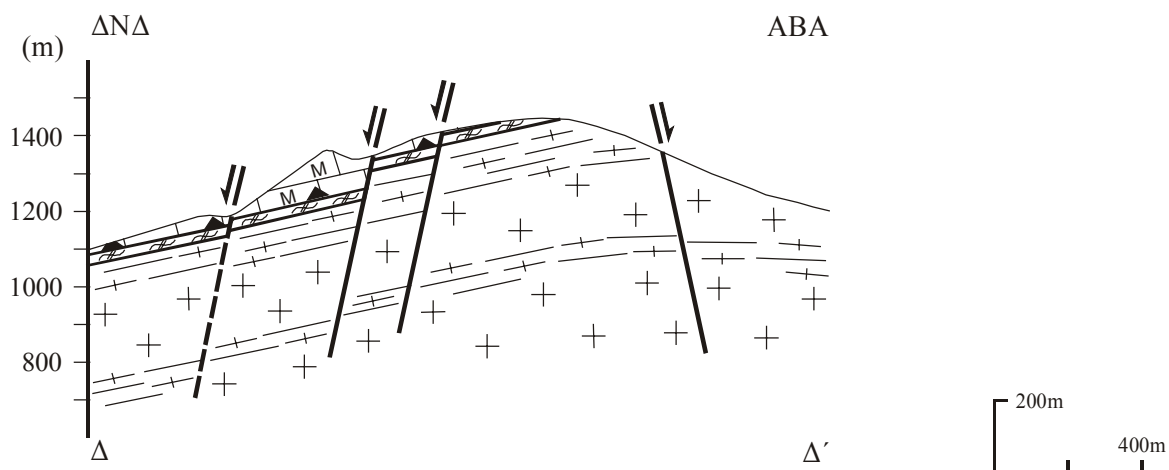
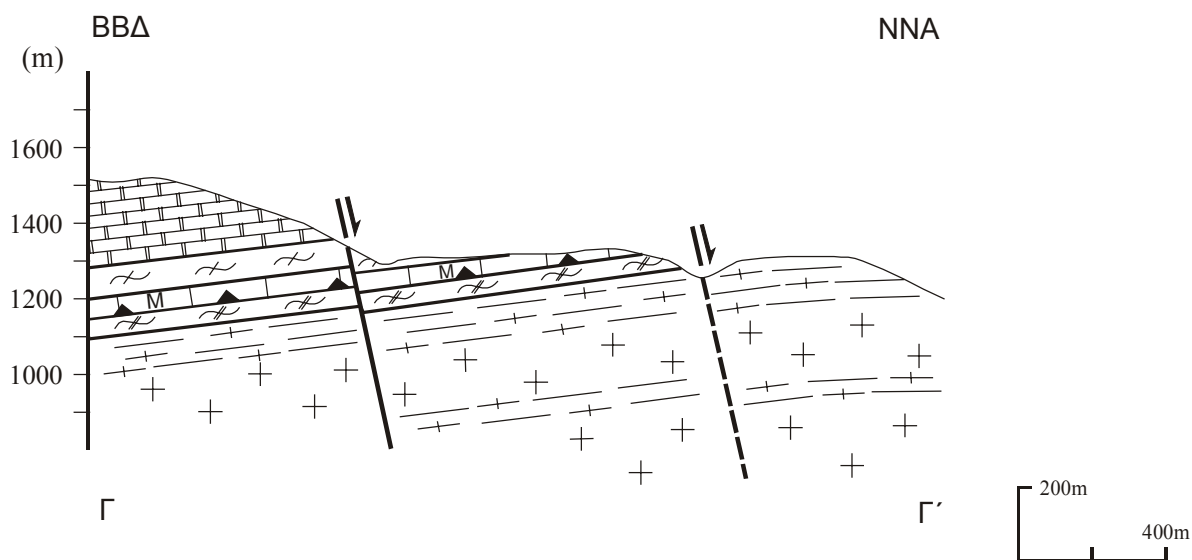
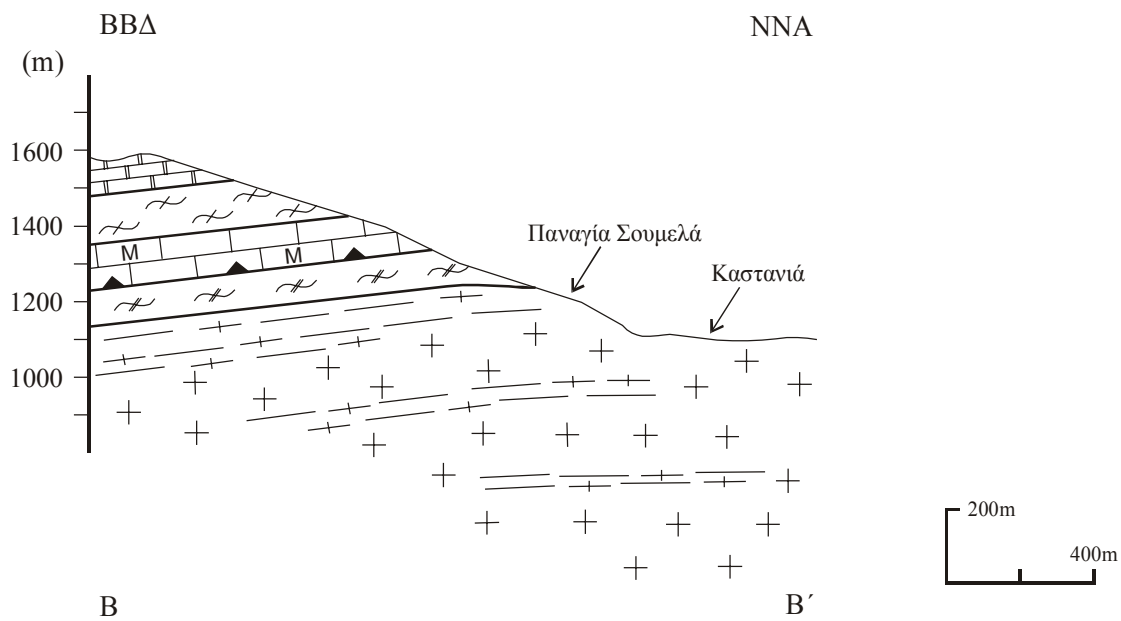
- Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού. (1970). Φύλλο χάρτη Βελβενδός.
- Δημόπουλος, Γ., (1993). Ασκήσεις τεχνικής γεωλογίας και υποδείγματα σύνταξης γεωλογικών μελετών. ΑΠΘ, τμήμα εκδόσεων.
- Ι.Γ.Μ.Ε. Φύλλο χάρτη Βελβενδός (Υπό έκδοση).
- Κίλιας, Α., (2001). Εισαγωγή στην τεκτονική γεωλογία. ΑΠΘ υπηρεσία δημοσιευμάτων. 312 σελ.
- Κίλιας, Α., Μουντράκης, Δ., (1989). Το τεκτονικό κάλυμμα της Πελαγονικής. Τεκτονική, μεταμόρφωση και μαγματισμός. Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρ. Τομ. XXIII/1, σελ 29-46.
- Κορωνάιος, Α., Τσούτσικα, Π., Ελευθριάδης, Γ., Siedel, E., (2000). Ορυκτολογία, Πετρολογία και γεωχημεία του πλουτωνίτη της Καστανίας (Βέρμιο). Πρακτικά 1^{ου} Συνεδρίου της επιτροπής οικονομικής γεωλογίας, ορυκτολογίας και γεωχημείας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας. Κοζάνη. σελ. 223 – 242.
- Μουντράκης, Δ., (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. University studio press, Θεσσαλονίκη. 207 σελ.
- Μουντράκης, Δ., (1988). Συνοπτική γεωτεκτονική εξέλιξη του ευρύτερου ελληνικού χώρου. ΑΠΘ τμήμα εκδόσεων. 116 σελ.
- Ουζούνης, Α., (2002). Ανάλυση της παραμόρφωσης του Πελαγονικού καλύμματος στα όρη Βέρμιο και Πιέρια στη Βόρεια Ελλάδα (Διαχείριση των δεδομένων με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών). Διατριβή ειδίκευσης. ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Παπαζάχος, Β., Παπαζάχου, Κ., (2002). Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- Aftewell, B., P. and Farmer, W., I., (1976). Principles of Engineering Geology. Chapman and Hall Ltd.
- Bell, G., F., (1983). Fundamentals of engineering geology. Butterworth & Co. Ltd.

- Davis, H., G., Reynolds, J., S., (1996). Structural geology of rocks and regions. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- Hoek, E., Bray, W., J., (1981). Rock slope engineering, 3rd edition. Institution of mining and metallurgy. 358pp.
- Mposkos, E., Perraki, M., (2001). High pressure alpine metamorphism of the Pelagonian allochthon in the Kastania area (Southern Vermion), Greece. Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXIV/3. 939-947.
- Ouzounis, A., Kiliadis, A., Mountrakis, D., (2002). The use of Digital Elevation Models (D.E.M.) and Geographic Information System (G.I.S.) in geological mapping. A case study in the Southern Vermion Mountain (SW Macedonia, Greece). Proceedings of 6th Pan-Hellenic Geographical Conference of the Hellenic Geographical Society Vol. II. 193-200.
- Photiades, A., Skourtsis-Coroneou, V., Grigoris, P., (1998). The stratigraphic and paleogeographic evolution of the eastern pelagonian margin during the Late Jurassic – Cretaceous interval (Western Vermion mountain – Western Macedonia, Greece). Bull. Geol. Soc. Greece, Vol. XXXII/1. 71-77.
- Yarwood, A., G., Aftalion, M., (1976). Field relations and U-Pb geochronology of a granite from the Pelagonian zone of the Hellenides (High Pieria, Greece). Bull. Soc. Geol. France (7), t. XVIII N° 2.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΤΟΜΕΣ





ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτ. 1 Γενική άποψη της διαδοχής των σχηματισμών που χαρτογραφήθηκαν, όπως εμφανίζονται στην περιοχή Σκυλόβρυση (βλέπε χάρτη 1).



Φωτ. 2 Ο σχηματισμός των κορημάτων (χάρτης 1).



Φωτ. 3 Ανώτερος ανθρακικός ορίζοντας.



Φωτ. 4 Μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος.



Φωτ. 5 Γρανατούχος διμαρμαρυγιακός σχιστόλιθος.



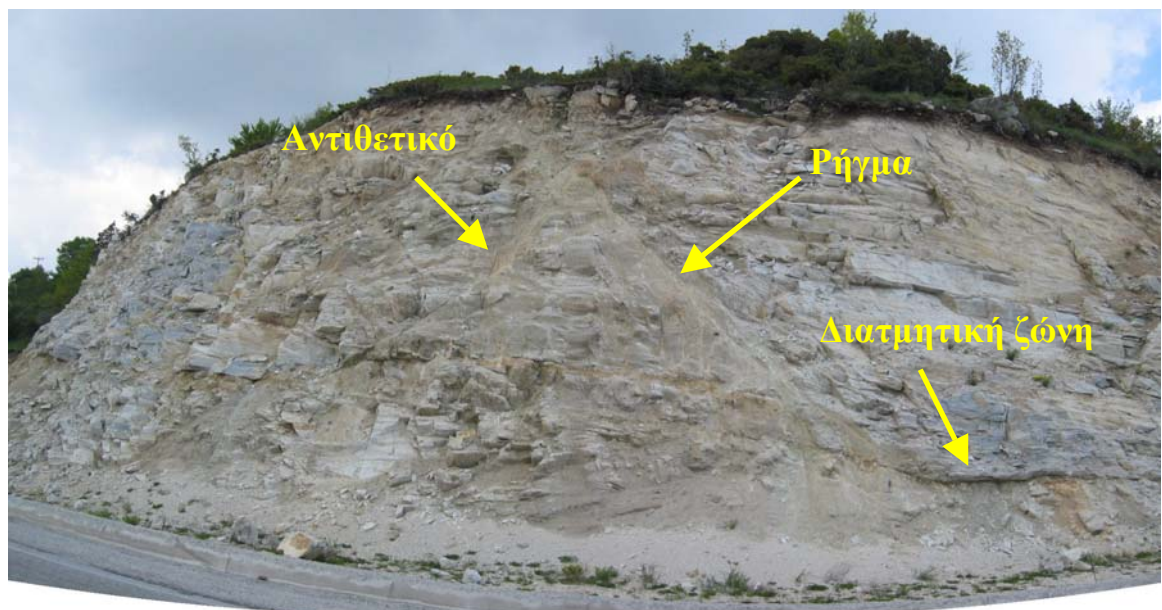
Φωτ. 6 Τεκτονική επαφή του υποκείμενου γρανατούχου διμαρμαρυγιακού σχιστόλιθου και του υπερκείμενου κατώτερου ανθρακικού ορίζοντα και διακλάσεις του συνόλου J₄.



Φωτ. 7 Αποψη των διακλάσεων των συνόλων ασυνεχειών J_2 και J_5 στον ορθογνεύσιο (χάρτης 3, τμήμα B5).



Φωτ. 8 Άλλη άποψη των διακλάσεων της φωτ. 7 (χάρτης 3, τμήμα B5).



Φωτ. 9 Ρήγμα στον ορθογνέσιο που μετατοπίζει ημιθραυστιγενής διατμητική ζώνη υποπαράλληλη στη φύλλωση. Διακρίνεται επίσης τα αντιθετικό του (χάρτης 3, τμήμα Β5).



Φωτ. 10 Ζώνη διάρρηξης ΑΒΑ-ΔΝΔ διεύθυνσης στον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο (χάρτης 2).



Φωτ. 11 Αποσαθρώματα πάνω από τον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο (χάρτης 2).



Φωτ. 12 Ασταθής ζώνη σε σχηματισμό πλευρικών κορημάτων (χάρτης 2).



Φωτ. 13 Κατολίσθηση στην ασταθή ζώνη που χαρτογραφήθηκε στον ορθογενεύσιο (χάρτης 3).



Φωτ. 14 Μικροί κώνοι κορημάτων από καταπτώσεις βράχων στην ασταθή ζώνη που χαρτογραφήθηκε στον ορθογενεύσιο (χάρτης 3).



Φωτ. 15 Ζώνη διάρρηξης BA-NΔ διεύθυνσης στον κατώτερο ανθρακικό ορίζοντα (χάρτης 2).



Φωτ. 16 Ασυνέχειες του συνόλου J_1 στον κατώτερο ανθρακικό ορίζοντα (χάρτης 2).



Φωτ. 17 Κατοπτρική επιφάνεια ρήγματος στον ορθογνέσιο.



Φωτ. 18 Υπολειμματικό τμήμας του ανώτερου ανθρακικού ορίζοντα πάνω στον μαρμαρυγιακό σχιστόλιθο