

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΠΡΑΝΟΥΣ ΣΤΟΝ ΚΟΜΒΟ Κ8
ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΟΔΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



**Επιβλέπων καθηγητής:
Κος ΧΡΗΣΤΑΡΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

**Φοιτητής:
ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ
Α.Ε.Μ.:3919**



Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 1 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 2 -
ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	- 3 -
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.....	- 6 -
Πίνακας 1	- 6 -
• ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ	- 7 -
• ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ.....	- 10 -
• ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	- 13 -
• ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ	- 16 -
• ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΗΣ ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑΣ	- 19 -
ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ	- 22 -
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ MARKLAND (1972) ΚΑΙ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ HOCKING (1976).....	- 29 -
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (POINT LOAD TEST)-	33 -
ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ	- 36 -
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΣ FELLENIUS.....	- 42 -
ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ.....	- 48 -
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝ ΜΙΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ.....	- 49 -
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ.....	- 52 -
ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΣΤΗΡΙΞΗΣ.....	- 55 -
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	- 61 -
ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ	- 63 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 64 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	- 65 -

Η συγγραφή της εργασίας αυτής έγινε στα πλαίσια του μαθήματος διπλωματική εργασία, με υπεύθυνο καθηγητή τον κ. Χρηστάρα Βασίλειο, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την ανάθεση του θέματος στα πλαίσια του οποίου μελετήσαμε την ευστάθεια του βραχώδους πρηνούς στον κόμβο Κ8 της περιφερειακής οδού Θεσσαλονίκης.

Με αφορμή την παραπάνω προσπάθεια πραγματοποιήθηκαν εργασίες υπαίθρου, εργαστηριακά πειράματα, καθώς και τεχνικογεωλογικά προγράμματα Η/Υ.

Τέλος θερμές ευχαριστίες σε όσους με βοήθησαν από το εργαστήριο της τεχνικής γεωλογίας και για τις πολύτιμες συμβουλές τους καθώς και τον κ. Μπελέση στο οποίο το εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν οι εργαστηριακές δοκιμές.

Η παρούσα έρευνα εκτελέστηκε στο πλαίσιο μελέτης ευστάθειας βραχωδών πρανών του Περιφερειακού δρόμου της Θεσσαλονίκης στον κόμβο K-8. Η παρούσα έκθεση αφορά τη διεύρυνση του Περιφερειακού δρόμου στον κόμβο K-8. Αντικείμενο της έρευνας ήταν να μελετηθεί γεωλογικά το παραπάνω πρανές, με στόχο την ευστάθεια του και την επιλογή των κατάλληλων μέτρων προστασίας του.

Το περιεχόμενο της γεωλογικής έρευνας, στο παραπάνω πρανές, περιελάμβανε τις παρακάτω διεργασίες:

- 1) Μελέτη της γεωλογίας της ευρύτερης περιοχής.
- 2) Αποτύπωση ασυνεχειών. Καταγράφηκαν τα παρακάτω στοιχεία: είδος ασυνέχειας, προσανατολισμός, έκταση, απόσταση ασυνεχειών, τραχύτητα, παρουσία νερού, σχιστότητα. Προβλήθηκαν σε στερεοδιαγράμματα Schmidt 102 πόλοι ασυνεχειών.
- 3) Τα τεκτονικά στοιχεία (102 πόλοι) επεξεργάστηκαν στατιστικά και κατασκευάστηκαν τεκτονικά διαγράμματα Schmidt, στα οποία κατά περίπτωση αποτυπώθηκαν οι διακλάσεις, η σχιστότητα, η διεύθυνση και γωνία κλίσης είτε ως συγκεντρώσεις πόλων είτε ως μέγιστοι κύκλοι.
- 4) Με βάση τα τεκτονικά διαγράμματα και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πρανούς, έγινε αποτύπωση των πιθανών μηχανισμών ολίσθησης και καθορίστηκαν οι διευθύνσεις των δυνητικών ολισθήσεων, με βάση τη δοκιμή Markland (1972) και τη βελτίωση Hocking (1976).
- 5) Έγινε γεωτεχνική ταξινόμηση της βραχομάζας κατά Biehlowski (RMR).
- 6) Έγινε ο προσδιορισμός της αντοχής σε σημειακή φόρτιση (Point Load Test).
- 7) Κοκκομετρική ανάλυση (συντελεστής περατότητας, ομοιομορφία εδάφους
- 8) Δοκιμή διάτμησης βραχώδους δείγματος, προσδιορισμός της γωνιάς τριβής.
- 9) Ευστάθεια πρανούς - Μέθοδος fellenious.
- 10) Παράγοντες που προκαλούν κατολίσθηση.
- 11) Χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων που χρησιμοποιούνται ως βάση για τη διάγνωση τους και την ταξινόμηση τους.
- 12) Τρόποι αντιστήριξης.

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται γεωλογικά στην Περιροδοπική Ζώνη. Η Περιροδοπική θεωρείται η πιο εσωτερική Αλπική Ελληνική ζώνη και διαχωρίστηκε μάλλον πρόσφατα στη γεωλογική βιβλιογραφία σαν μια ζώνη κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Σερβομακεδονικής. Η παλαιογεωγραφική της θέση καθορίσθηκε ότι αντιπροσώπευε την ηπειρωτική κατωφέρεια από τις ηπειρωτικές μάζες της ελληνικής ενδοχώρας (Ροδόπη και Σερβομακεδονική) προς την ωκεάνια περιοχή της Ζώνης Αξιού.

Η Περιροδοπική εκτείνεται ως ζώνη πλάτους 10-20 km, με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ στη δυτική πλευρά της Σερβομακεδονικής. Από τα Ελληνογιουγκοσλαβικά σύνορα η ζώνη προεκτείνεται προς τα ΝΑ στη λίμνη Λαγκαδά, τον κορμό της Χαλκιδικής και τη χερσόνησο της Σιθωνίας όπου κάμπτεται προς τα ΒΑ και με διεύθυνση ΝΔ-ΒΑ περνάει από την άκρη της χερσονήσου του Αθω και προεκτείνεται υποθαλάσσια προς το νησί της Σαμοθράκης και την περιοχή Αλεξανδρούπολης - Έβρου.

Η κύρια παλαιογραφική και γεωτεκτονική σημασία της Περιροδοπικής ζώνης είναι ότι αποτελούσε στη διάρκεια του Ιουρασικού την ηπειρωτική κατωφέρεια της ηπειρωτικής ελληνικής ενδοχώρας και κυρίως της Σερβομακεδονικής μάζας, η οποία κατωφέρεια κατέληγε σε μια βαθιά αύλακα, περιφερειακή της ηπειρωτικής μάζας.

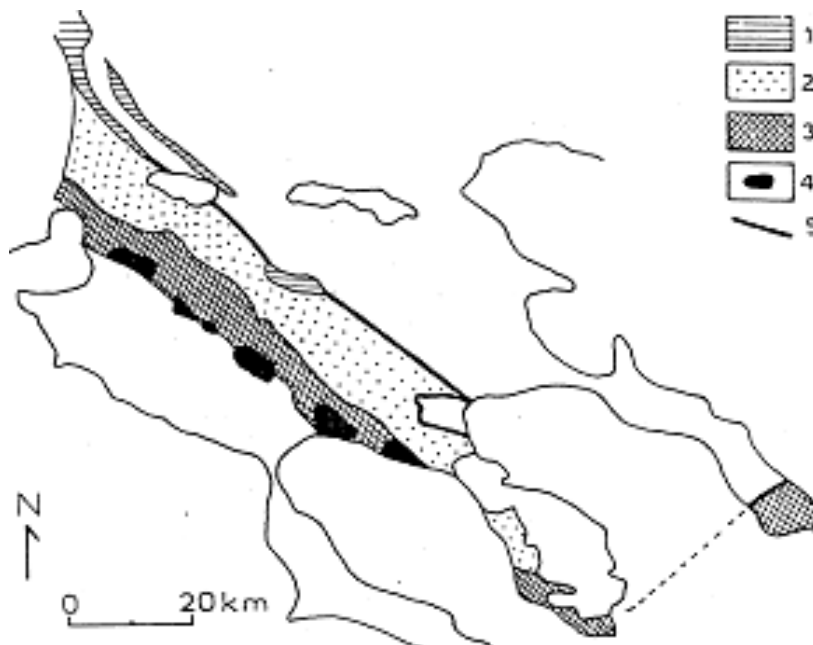
Σύμφωνα με τα βασικότερα σύγχρονα γεωτεκτονικά μοντέλα εξέλιξης του Ελληνικού χώρου, αυτή η περιφερειακή αύλακα ήταν η θέση βύθισης (subduction) της ωκεάνιας περιοχής της ζώνης Αξιού κάτω από την Ευρωπαϊκή ηπειρωτική πλάκα, το περιθώριο της οποίας αποτελούσαν οι μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής.

Οι τρεις βασικές ενότητες που συγκροτούν την Περιροδοπική ζώνη, με γενική διάταξη των σχηματισμών τους ΒΔ-ΝΑ, είναι από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά:

1. Η ενότητα Ντεβέ Κοράν-Δουμπιά
2. Η ενότητα Μελισχωρίου-Χολομώντα
3. Η ενότητα Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη

Η περιοχή της μελέτης βρίσκεται στην ενότητα Άσπρης Βρύσης-

Είναι λωρίδα παράλληλη με την ενότητα Μελισσοχωρίου-Χολομώντα, πλάτους 4-8 km, που αρχίζει βόρεια της Θεσσαλονίκης, διέρχεται από το Χορτιάτη, φτάνει στο νότιο άκρο της Σιθωνίας, όπου κάμπτεται και αποκτά ΑΒΑ κατεύθυνση και επεκτείνεται έτσι μέχρι το άκρο του Αγίου Όρους.



Σχ. 1. Χάρτης της Περιοδοπικής ζώνης με τις τρεις ενότητες της και τις σημαντικότερες οφειολιθικές εμφανίσεις. 1: Ενότητα Ντεβέ Κοράω – Δουμπιά. 2: Ενότητα Μελισσοχωρίου – Χολομώντα, 3: Ενότητα Άσπρης Βρήσης – Χορτιάτη, 4: οφειόλιθοι, 5: όριο της ζώνης με την Σερβομακεδονική. (Κατά Kockel et al, 1971, 1977)

Η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται από μια ευγεωσυγκλινική ανάπτυξη κατά τη διάρκεια του Κάτω-Μέσου Ιουρασικού.

Τα κατώτερα τμήματα της ενότητας είναι Πέρμιο-Τριαδικής ηλικίας μετακλαστικά καινηριτικά ανθρακικά ιζήματα.

Ο ανώτερος ορίζοντας αποτελείται από ιζήματα βαθιάς θάλασσας όπως μαύροι κερατόλιθοι, κόκκινοι αργιλικοί σχιστόλιθοι, μαύροι γραφιτικοί φυλλίτες, μάργες και χαλαζιακοί σχιστόλιθοι. Μέσα στα ιζήματα αυτά παρεμβάλλονται συχνά οφειολιθικά σώματα με βασικά και υπερβασικά πετρώματα (γάββροι, διορίτες, σερπεντινίτες, διάβασες).

Επίσης μέσα σ' αυτή την ιζηματογενή σειρά παρεμβάλλονται και πετρώματα μεταμορφωμένα όξινης μαγματικής προέλευσης. Πρόκειται για παλιούς διορίτες, γρανοδιορίτες και γρανίτες που μεταμορφώθηκαν στην

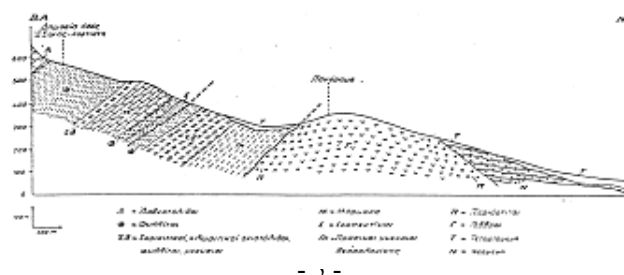
Τμήμα πρασινοσχιστολιθική φάση και δημιούργησαν τους σημερινούς πράσινους επιγνεύσιους της Θεσσαλονίκης (ακτινολιθικοί επιδοιτικοί χλωριτικοί γνεύσιοι και αμφιβολιτικοί, βιοιτικοί γνεύσιοι) που εναλλάσσονται με τα μεταϊζήματα, φυλλίτες, σερικιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα, σιπολίνες, χλωριτικούς-επιδοιτικούς σχιστόλιθους, πρασινοσχιστόλιθους.

Οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι πετρώματα με σαφή συνήθως φολίδωση και σχιστότητα, που περιέχουν ως θεμελιώδη συστατικά αλβίτη, επίδοτο και χλωρίτη, ενώ πολύ συχνά περιέχουν και ακτινόλιθο. Άλλα συστατικά των πρασινόλιθων, με μικρότερη συνήθως ποσοτική συμμετοχή, μπορεί να είναι: βιοτίτης, χαλαζίας, ασβεστίνης, στυλπινομέλας, τιτανίτης, σιδητοπυρίτης κ.α. Η παραγένεση: χλωρίτης + αλβίτης + επίδοτο $\pm$ ακτινόλιθος $\pm$ χαλαζίας είναι η τυπικότερη. Οι πρασινοσχιστόλιθοι ονομάζονται και χλωριτικοί σχιστόλιθοι (chlorite schists) όταν είναι ιδιαίτερα πλούσιοι σε χλωρίτη και η σχιστότητα τους είναι μακροσκοπικά ιδιαίτερα εμφανής, ή πρασινίτες (greenstones), όταν έχουν ατελή σχιστότητα ή όταν αυτή λείπει τελείως.

Οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι κατά κανόνα λεπτόκοκκα πετρώματα, μεσόκοκκα, οι αδρόκοκκοι τύποι είναι σπάνιοι. Το χρώμα τους είναι συνήθως γκριζο, γκριζοπράσινο, καστανοπράσινο ή πράσινο. Ο ιστός τους είναι λεπίδο βλαστικός, διαβλαστικός ή βλαστοφιτικός.

Οι πρασινοσχιστόλιθοι είναι προϊόντα περιοχικής μεταμόρφωσης χαμηλού βαθμού. Αρχικά υλικά τους είναι κυρίως βασικά πυριγενή (βασάλτες, γάββροι, δολερίτες). Χλωριτικοί σχιστόλιθοι μπορεί να έχουν σχηματιστεί και με ανάδρομη μεταμόρφωση από αρχικούς βιοκτικούς σχιστόλιθους ή αμφιβολίτες.

Τα πετρώματα της ενότητας Άσπρης Βρύσης-Χορτιάτη καλύπτουν γενικά τον ευρύτερο χώρο της πόλης της Θεσσαλονίκης. Μια αντιπροσωπευτική τομή ίδου ανατολικού τμήματος του χώρου αυτού δίνεται στο σχήμα 2.



Σχ. 2. Γεωλογική τομή της ανατολικής περιοχής της Θεσσαλονίκης (Κατά Σαπουντζή 1969)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Έγινε στατιστική ανάλυση των διακλάσεων και των λοιπών δομών του πρανούς.

Το αποτέλεσμα της παραπάνω επεξεργασίας επέτρεψε την ομαδοποίηση των μετρήσεων και τον προσδιορισμό μέσων αντιπροσωπευτικών διευθύνσεων για κάθε σύνολο τεκτονικών μετρήσεων. Τα αποτελέσματα της έρευνας δίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1

Τεκτονικά στοιχεία	Μέσες τιμές
Κύριες διακλάσεις (J1)	155/80°
Δευτερεύουσες διακλάσεις (J2)	247/68°
Διαγώνιες διακλάσεις (J3)	152/60°
Σχιστότητα (S)	140/69°
Διεύθ. κλίσης / Γωνία κλίσης	28/50°

Η έκταση του πρανούς είναι 475m². 58m μήκος και 7.70m ύψος. Έχουμε μέτρια κλίση 50°-60° και διεύθυνση του πρανούς ΒΑ-ΝΔ.

Το πρανές αποτελείται από πρασινοσχιστόλιθο, ελαφρά αποσθρωμένο με χαλαζιακές φλέβες.

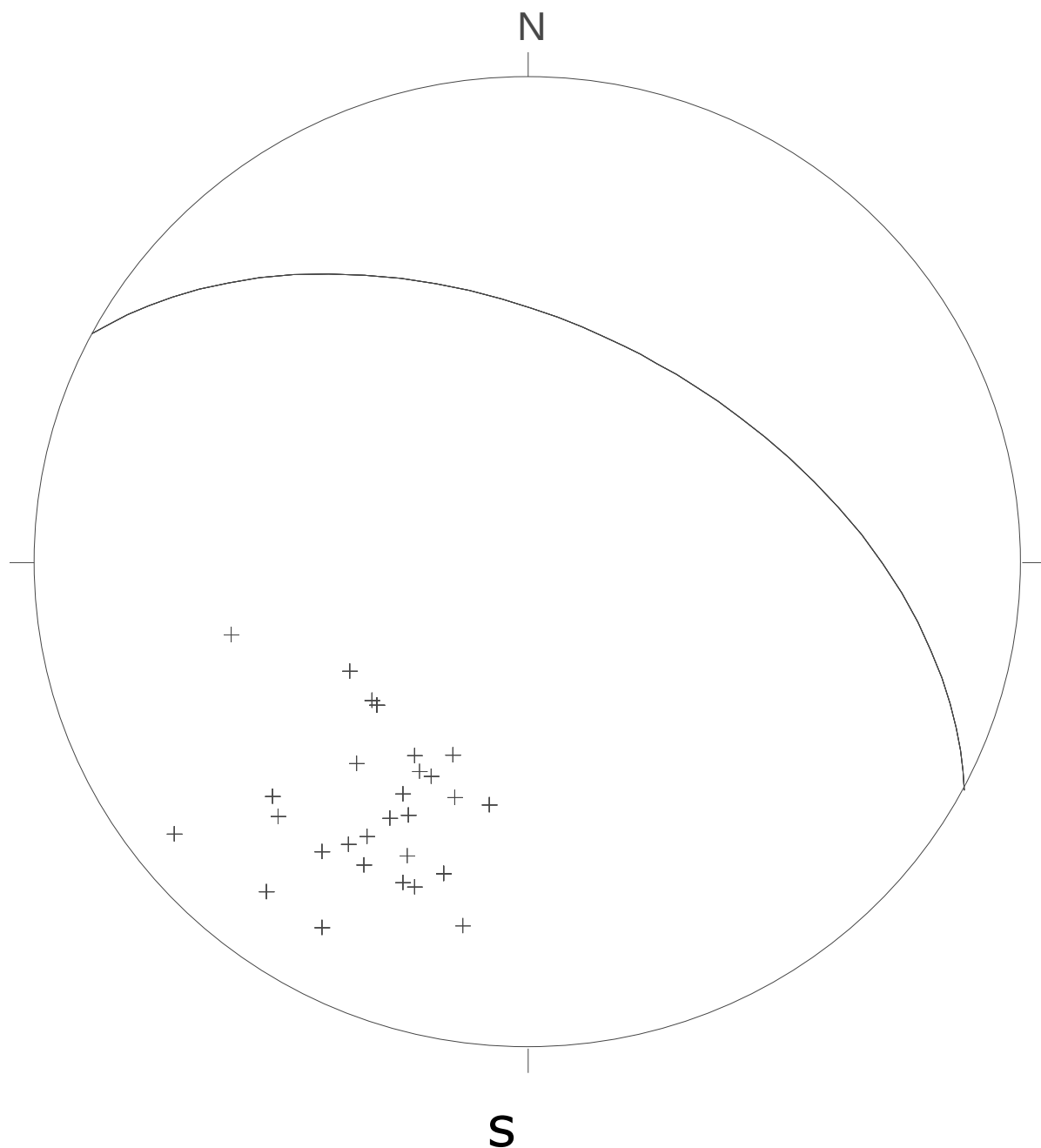
Από τη στατιστική επεξεργασία των τεκτονικών μετρήσεων εντοπίστηκαν τρία κύρια σύνολα ασυνεχειών με στοιχεία: κύριες διακλάσεις (155/80°), δευτερεύουσες διακλάσεις (247/68°) και διαγώνιες διακλάσεις (152/60°).

Οι στερεογραφικές προβολές Schmidt με τις πυκνότητες και τις μέσες επιφάνειες των ασυνεχειών δίνονται στη συνέχεια.

Το πρώτο σύνολο των κύριων διακλάσεων είναι πιο πυκνό σε σχέση με το δεύτερο και το τρίτο, των δευτερευουσών και διαγώνιων διακλάσεων.

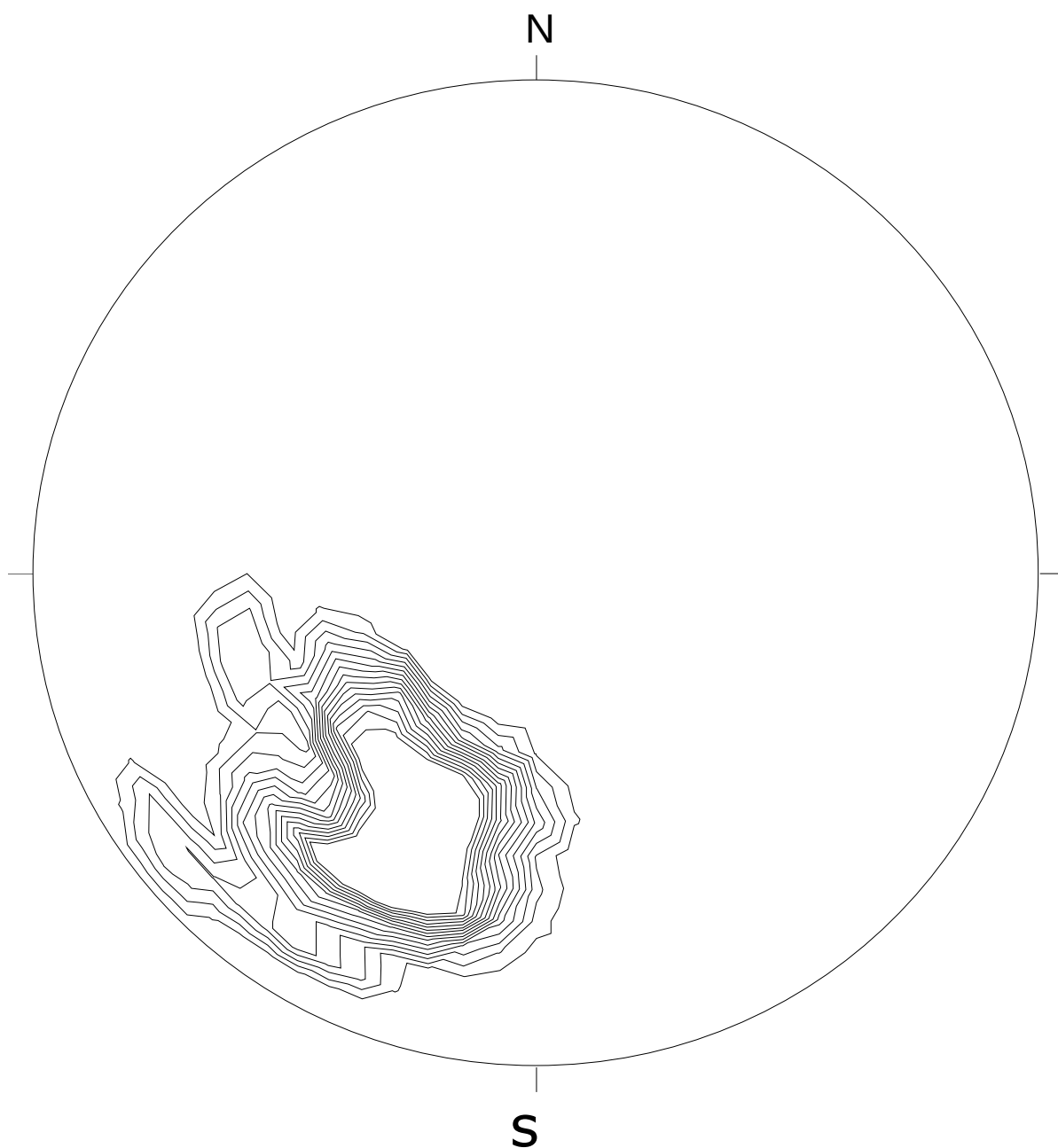
ΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΚΛΙΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (°)
10	65
22	55
27	40
17	42
35	62
48	35
19	60
28	45
21	35
76	52
28	60
15	56
21	60
9	42
58	35
30	38
40	45
47	60
29	75
46	35
15	56
38	75
24	40
52	80
25	48
32	58
44	62
30	55



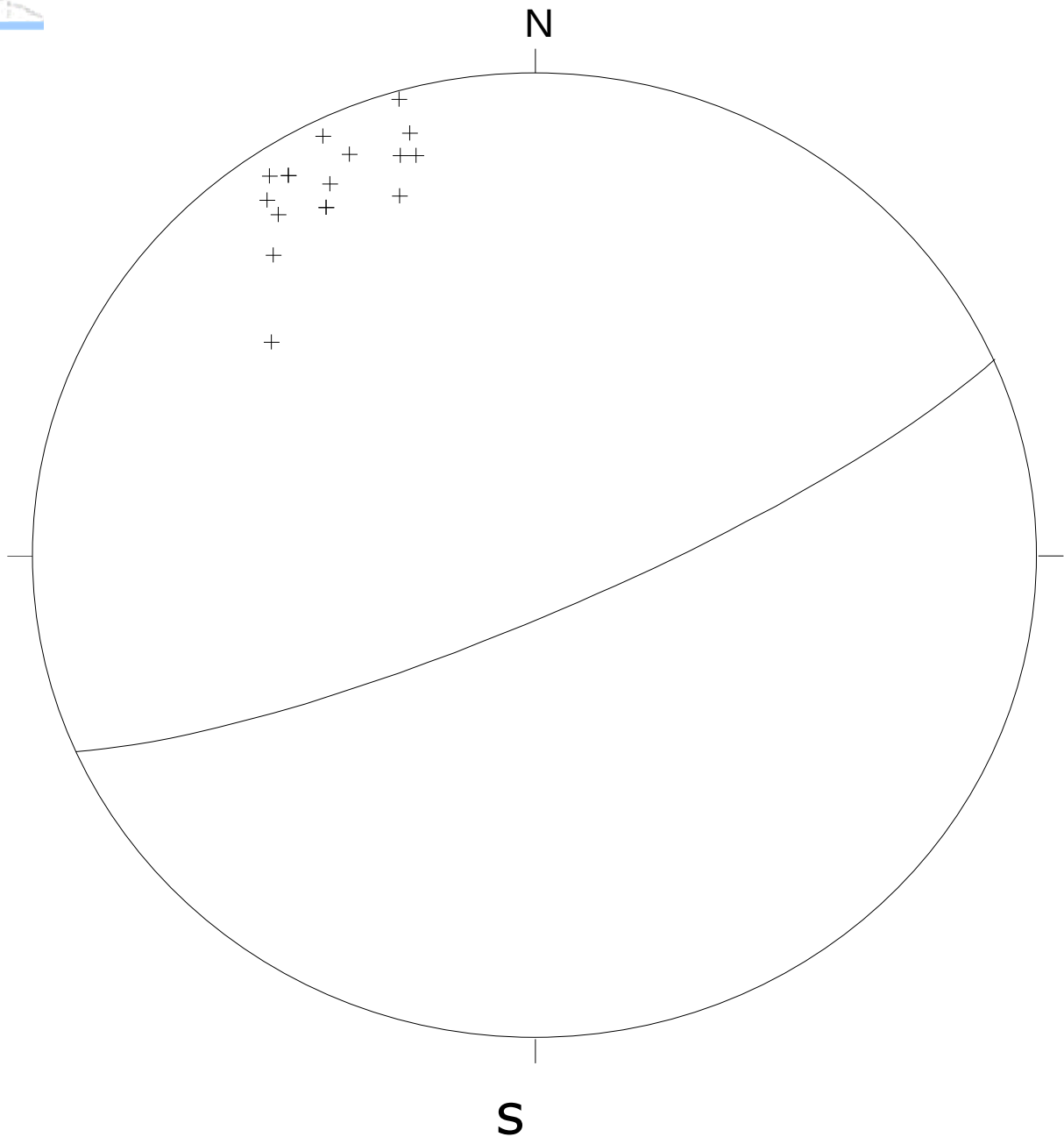
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ / ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ:

Μ.Ο.: 28 / 50



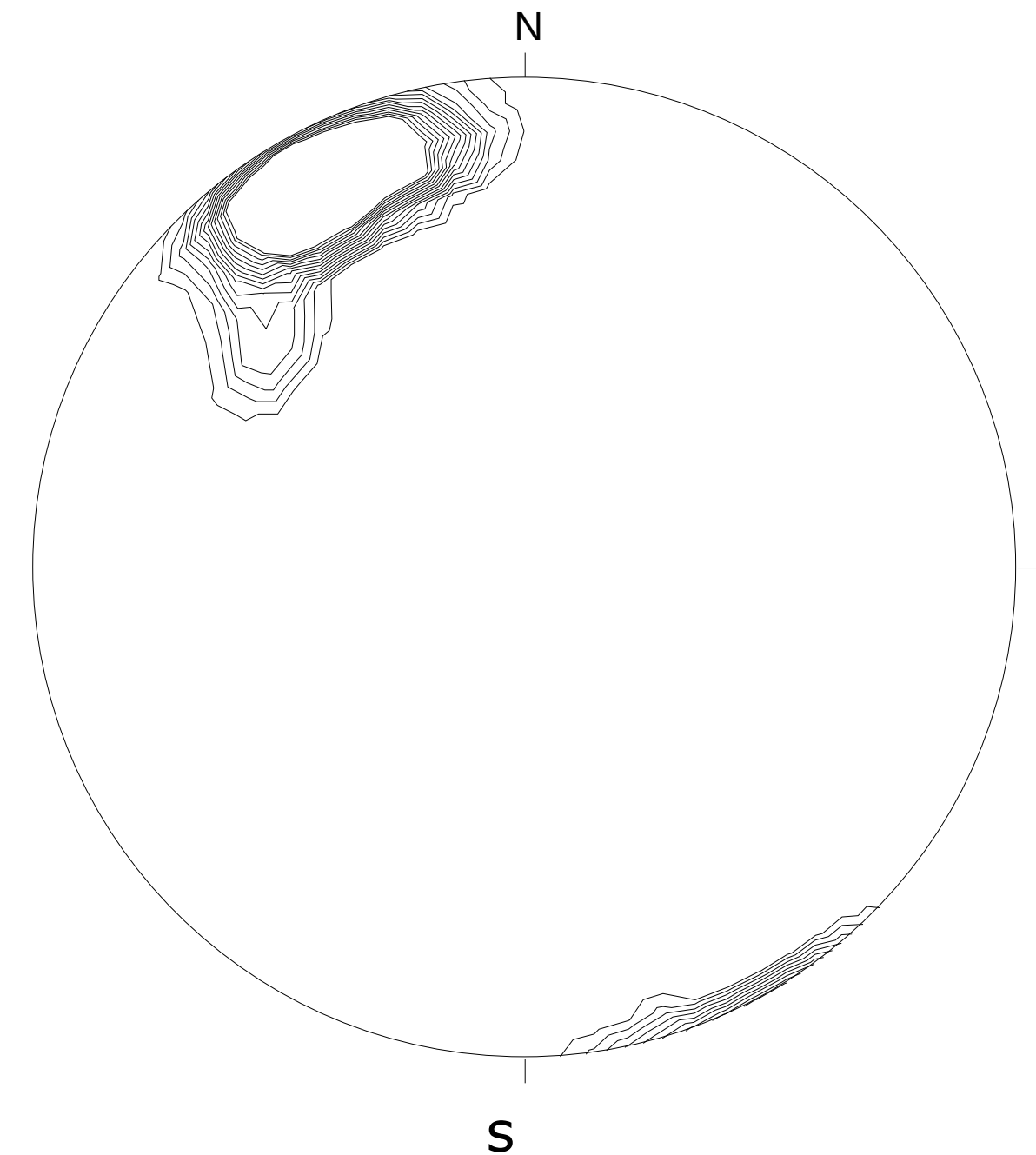
ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (°)
144	76
164	80
154	86
144	80
164	75
156	80
164	88
146	84
150	72
148	82
162	76
140	70
150	72
148	82
160	68
130	58
152	76



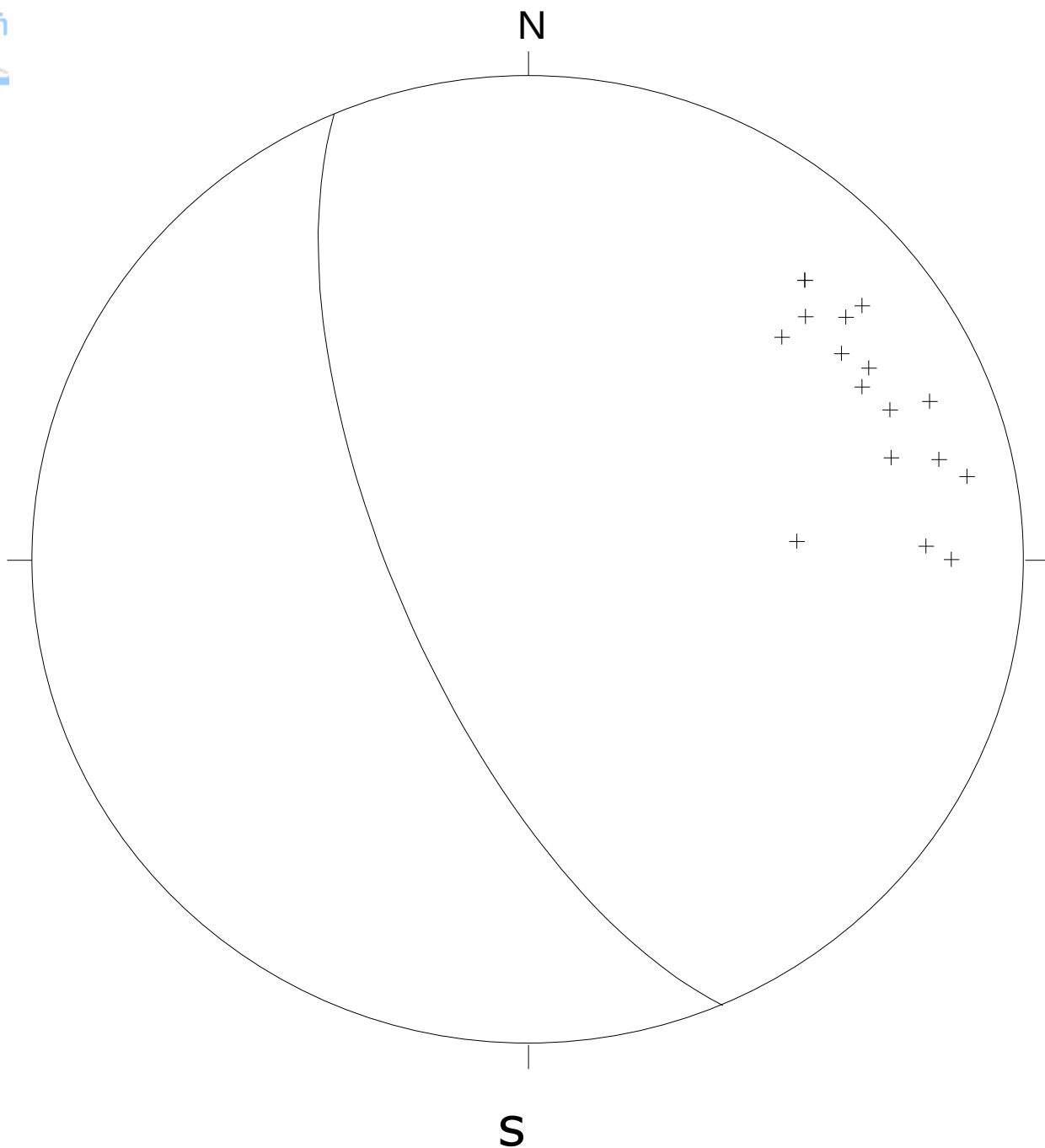
ΚΥΡΙΑ ΔΙΑΚΛΑΣΗ (j1)

M.o:155 / 80



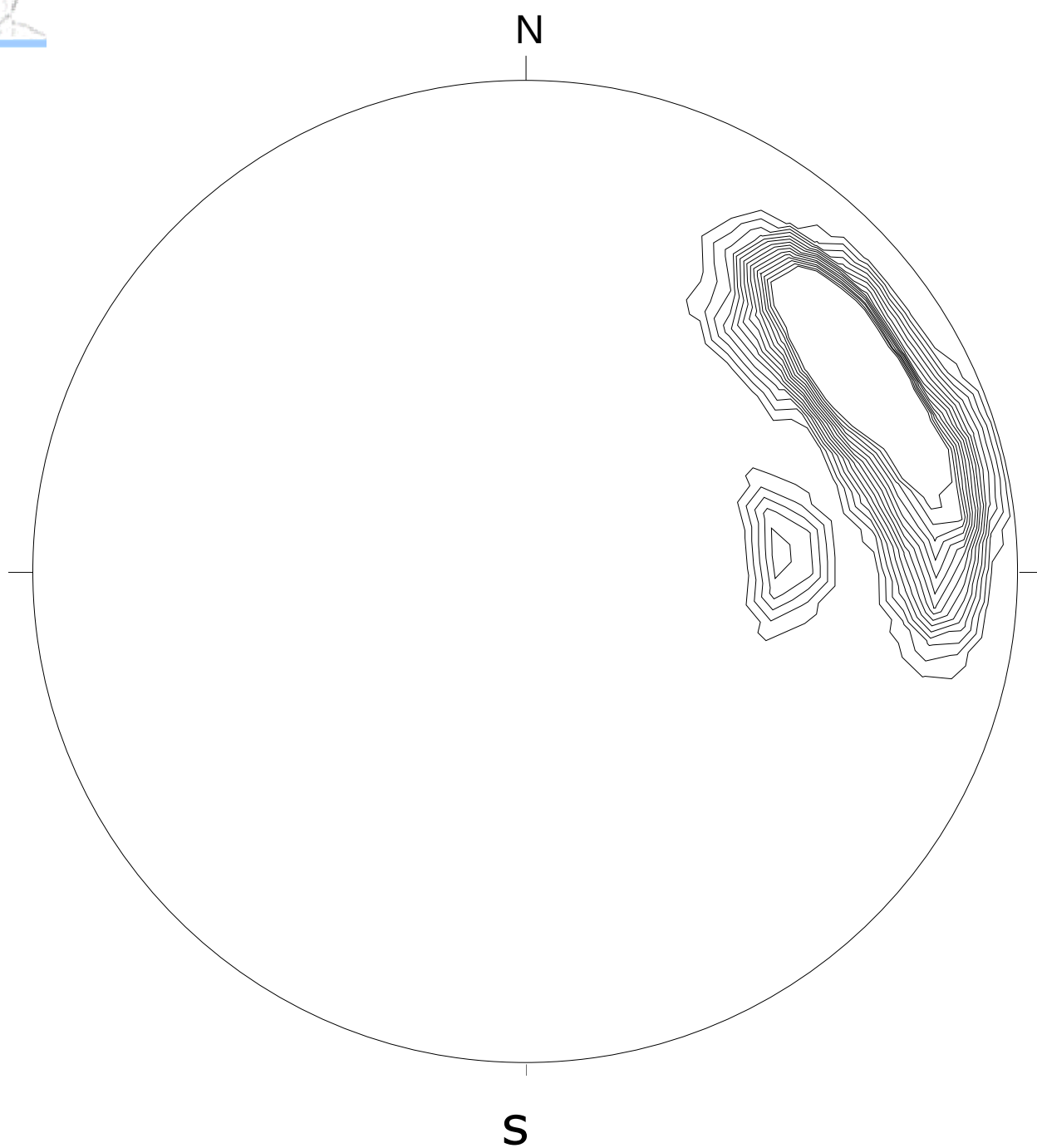
ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (°)
224	69
266	45
248	76
256	74
242	65
228	64
260	80
259	79
236	65
240	68
224	69
232	74
268	69
228	58
270	74
254	65
232	70



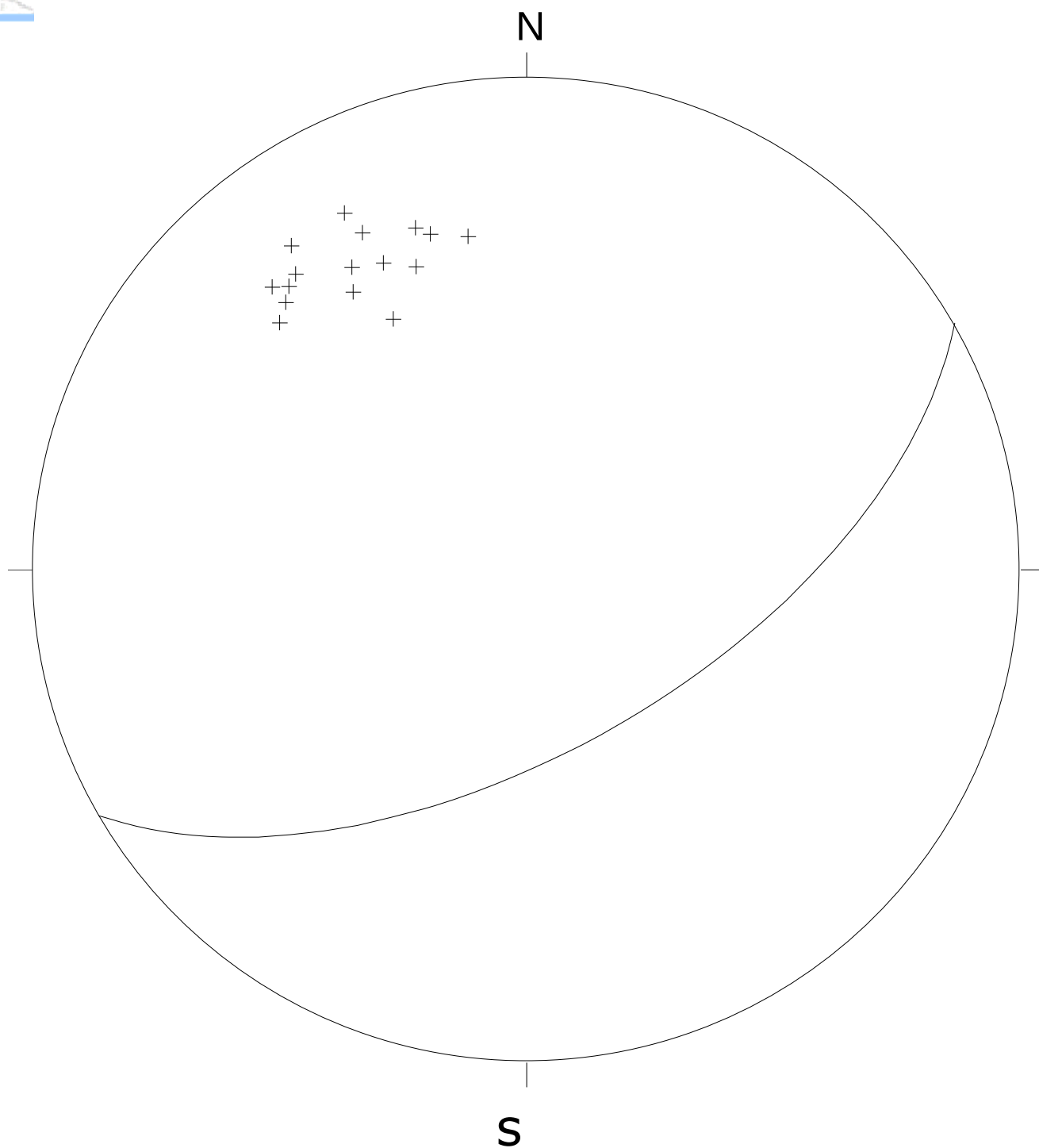
ΔΕΥΤΕΡΕΥΟΥΣΕΣ ΔΙΑΚΛΑΣΕΙΣ

Γ.Κ:247 Δ.Κ:68

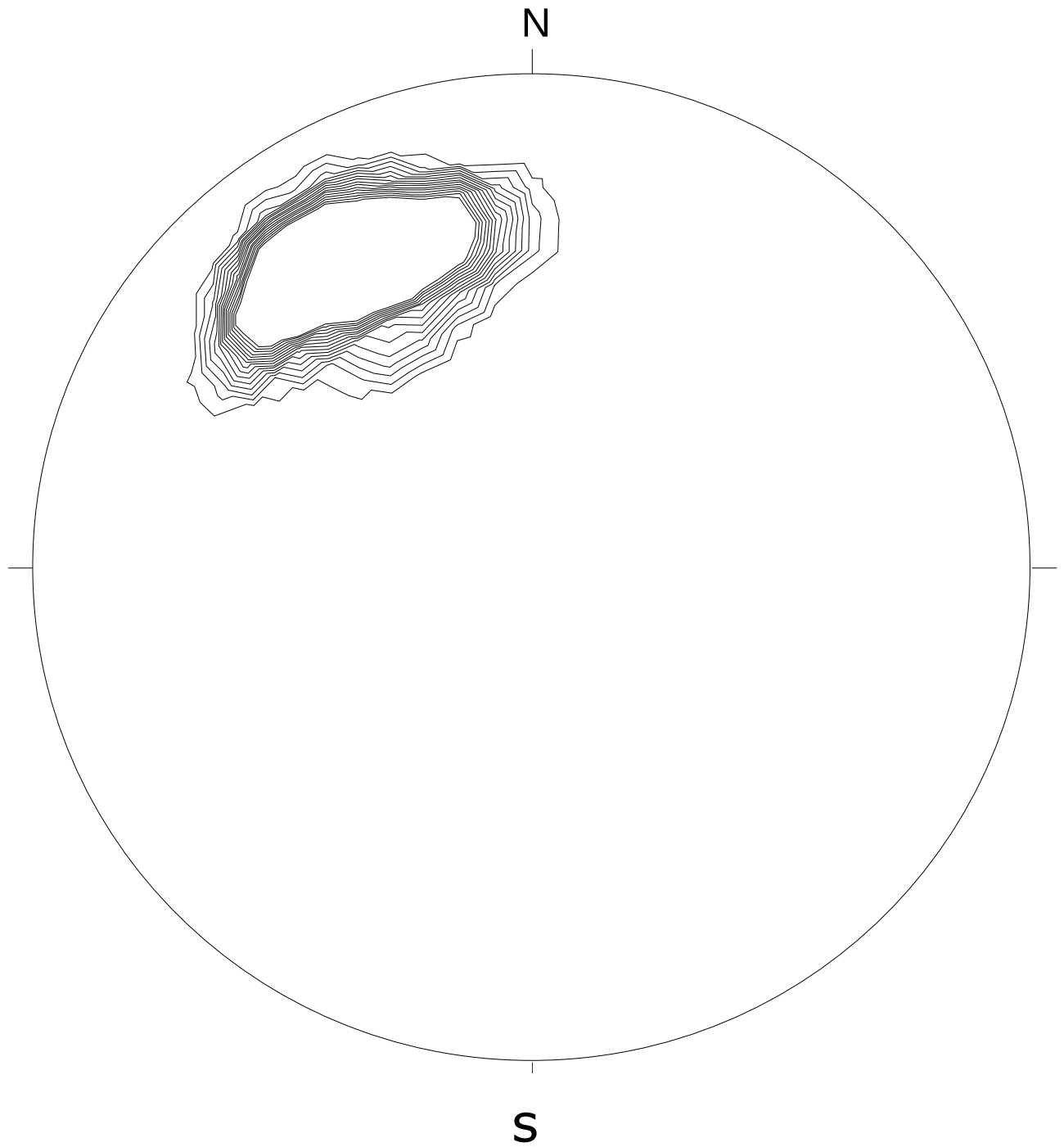


ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΓΩΝΙΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (°)
138	62
140	64
155	58
160	55
152	48
142	65
164	60
153	70
148	56
154	65
162	62
150	60
170	58
135	60
144	70
138	66

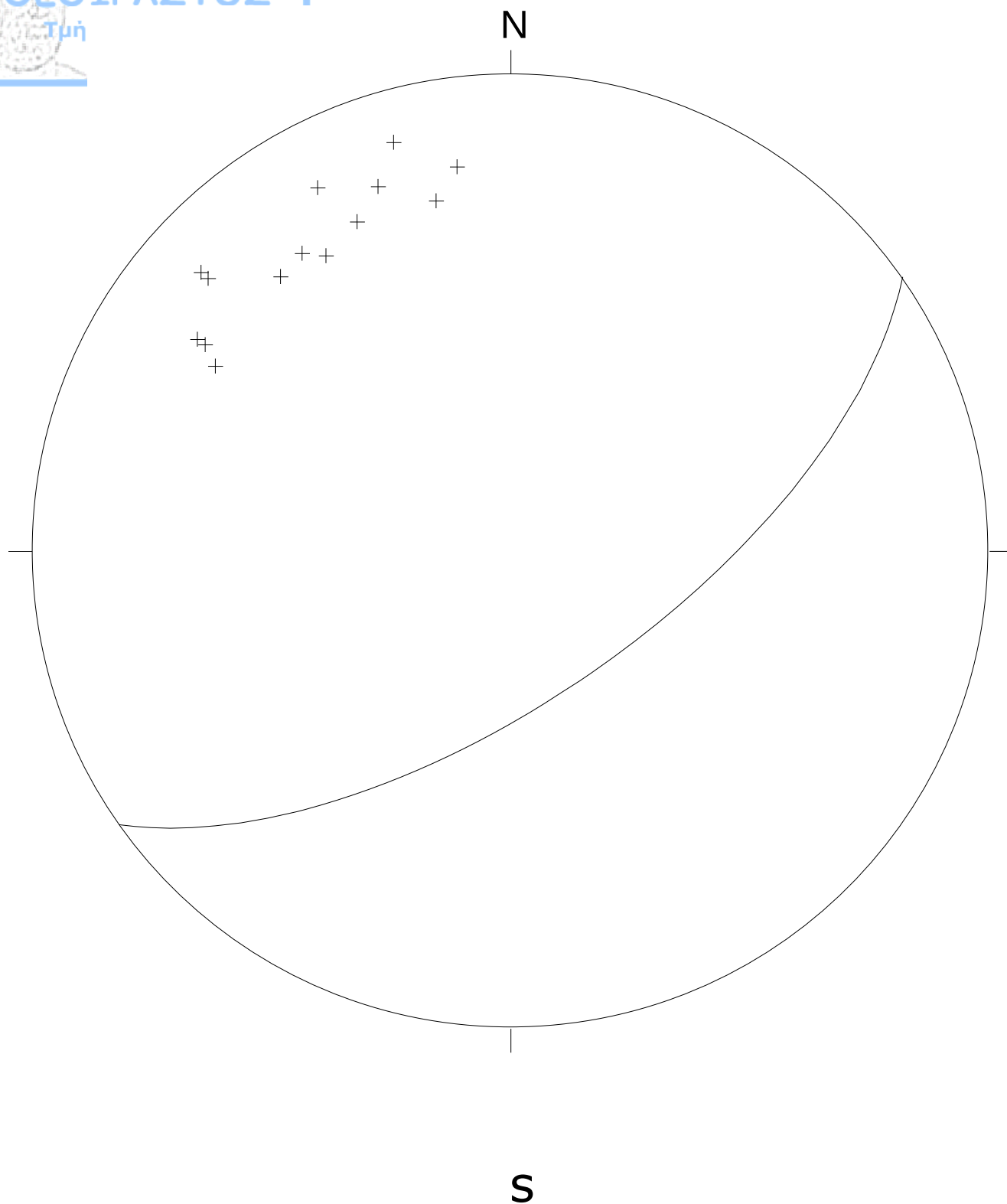


ΔΙΑΓΩΝΙΕΣ ΔΙΑΚΛΑΣΕΙΣ
Γ.Κ:152 Δ.Κ:60

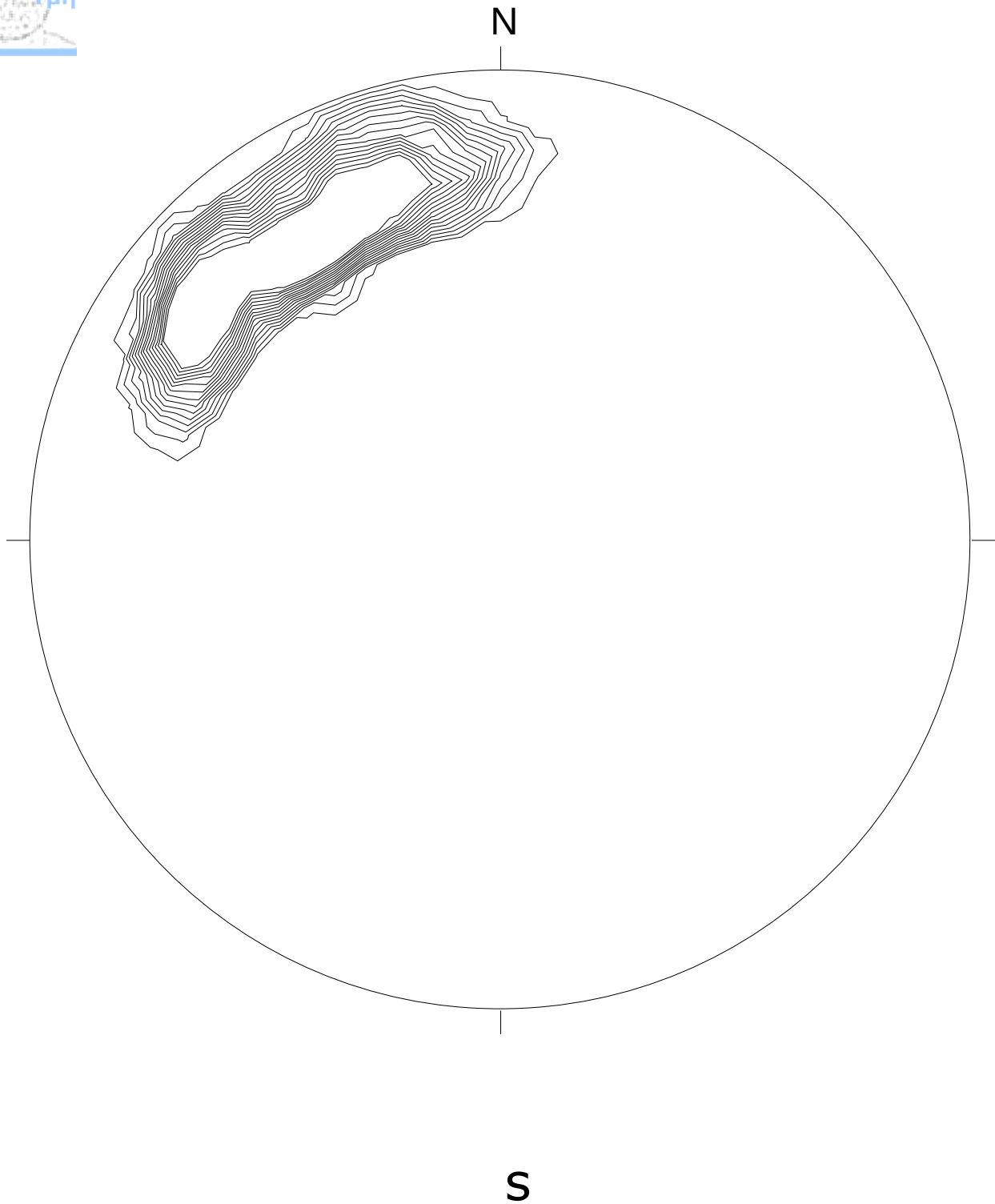


ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΕΣ ΚΛΙΣΗ ΤΗΣ ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΛΙΣΗΣ (°)	ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ (°)
148	62
152	75
132	74
145	65
122	62
155	65
172	70
168	64
124	68
132	76
140	64
164	78
160	70
124	66



ΣΧΙΣΤΟΤΗΤΑ
Γ.Κ:140 Δ.Κ:69



ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Σκοπός της περιγραφής της βραχομάζας είναι η εκτίμηση των ποιοτικών και μηχανικών χαρακτηριστικών της και της ταξινόμησης της με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά, ώστε να είναι εφικτή η ορθή εκτίμηση των μέτρων υποστήριξης που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για να ενισχύσουν τη βραχομάζα και να υποστηρίξουν την κατασκευή. Χρησιμοποιούνται πολλές και ποικίλες μέθοδοι ταξινόμησης των βράχο μαζών εκ των οποίων οι πιο ευρέως διαδεδομένες είναι τρεις: 1) Η ταξινόμηση κατά Bieniawski, 2) Η ταξινόμηση κατά Barton, 3) Η ταξινόμηση GSI (Tallon, 1982).

Γεωτεχνική ταξινόμηση βραχομάζας με τη μέθοδο RMR (Bieniawski, (1989))

Ο Bieniawski προτείνει μέθοδο κατατάξεως των βράχων, η οποία μπορεί να έχει εφαρμογή στη διάνοιξη και υποστήριξη των σπηραγγών.

Σύμφωνα με τη μέθοδο RMR. Οι ιδιότητες που χρησιμοποιούνται για ταξινόμηση βραχομάζας είναι οι παρακάτω (Bieniawski. 1989):

- Αντοχή ακέραιου βράχου: Υπολογίζεται με μονοαξονική συμπίεστική δύναμη δειγμάτων πυρηνοληψίας ή με τον δείκτη σημειακής αντοχής κατά τη σημειακή φόρτιση βραχωδών δειγμάτων χαμηλής αντοχής.
- Δείκτης κερματισμού RQD: Είναι το ποσοστό του μήκους των κομματιών του πυρήνα μιας γεώτρησης, μήκους τουλάχιστον 10cm έκαστο, ανά μέτρο πυρήνα γεώτρησης. Ο προσδιορισμός των τιμών του RQD για υπαίθρια μέτρηση χωρίς τη βοήθεια γεώτρησης σε βραχομάζα που δεν έχει άργιλο κατά μήκος της σήραγγας δίνεται από τη σχέση (Palmstrom, 1982):

$$RQD\% = 115 - 3,3J_v$$

Όπου: J_v = συνολικός αριθμός διακλάσεων στο κυβικό μέτρο της βραχομάζας $J_v = 13$

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot 13 = 72,1 \text{ (μέτρα)}$$

- Αποστάσεις ασυνεχειών.
- Ανάπτυξη ασυνεχειών: Το αδιαίρετο μήκος των ασυνεχειών μέσα στη διατομή της σήραγγας (Deere & Deere 1988).
- Διαχωρισμός ασυνεχειών: Η απόσταση των επιφανειών των ασυνεχειών.
- Τραχύτητα επιφανειών ασυνεχειών
- Υλικό πλήρωσης: Σκληρότητα και πάχος του υλικού πλήρωσης των ασυνεχειών.
- Αποσάθρωση πετρώματος στις παρειές των ασυνεχειών.
- Συνθήκες υπόγειου νερού
- Προσανατολισμός διεύθυνσης και κλίσης ασυνεχειών και ιδιαίτερα τεκτονικών στοιχείων για την ευστάθεια της σήραγγας.

Με βαθμολόγηση καθεμιάς από τις παραπάνω παραμέτρους μέσα σε ορισμένα όρια και άθροιση όλων των επιμέρους βαθμολογήσεων, κατατάσσονται τα πετρώματα σε πέντε κατηγορίες.

Οι θέσεις ταξινόμησης επιλέχθηκαν ώστε να δίνουν την κατά δυνατόν αντιπροσωπευτική εικόνα του πρανούς από άποψη ποιότητας και ευστάθειας.

Τα έντυπα καταγραφής των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στη βαθμονόμηση RMR δίνονται παρακάτω.

Πίνακας Α: Γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR (Bieniawski, 1989, Κούκης & Σαρπατακάκης, 2002)

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ΒΕΝΙΑΩΣΚΙ ΑΝΤΟΧΗ ΑΚΕΡΑΙΟΥ ΒΡΑΧΟΥ						
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ	ΑΝΤΟΧΗ	ΔΕΙΚΤΗΣ				ΒΑΘΜΟΙ RMR
Πολύ υψηλή	>250	>10	+			15
Υψηλή	100-250	4-10	+			12
Μέση	50-100	2-4				7
Μέτρια	25-50	1-2				4
Μικρή	5-25	<1				2
Πολύ μικρή	1-5					1
	<1					0
RQD						
Εξαιρετική	90-100%					20
Καλή	75-90%					17
Μέτρια	50-75%	+				13
Πτωχή	25-50%					8
Πολύ πτωχή	<25%					3
		J 1	J2	J3		
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ αραιή	>2m					20
Αραιή	0,6-2,0m					15
Μέτρια	200-600mm	+	+	+		10
Πυκνή	60-200mm					8
Πολύ πυκνή	<60mm					5
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ λίγη	<1m					6
Λίγη	1-3m	+	+	+		4
Μέση	3-10m		+	+		2
Υψηλή	10-20m					1
Πολύ υψηλή	>20m					0
ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ κλειστές						6
Κλειστές	<0,1mm					5
Μέτριες Ανοιχτές	0,1-1,0mm					4
Ανοιχτές διακλάσεις	1-5mm	+	+	+		1
Πολύ ανοικτές	>5mm					0
ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Πολύ τραχείες						6
Τραχείες						5
Ελαφρώς τραχείες		+	+	+		3
Λείες						1
Διατμημένες						0
ΥΛΙΚΟ ΠΛΗΡΩΣΗΣ						
Πολύ κλειστές						6
<5mm-Σκληρό υλικό						4
>5mm-Σκληρό υλικό						2
<5mm-Μαλακό υλικό			+			2
>5mm-Μαλακό υλικό		+		+		0
ΠΕΤΡΩΜΑ ΣΤΙΣ ΠΑΡΕΙΕΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ						
Υγιές						6
Ελαφρώς αποσαρθρωμένο						5
Μετρίως αποσαρθρωμένο		+	+	+		3
Πολύ αποσαρθρωμένο						1
Πλήρως αποσαρθρωμένο						0
ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ						
	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΚΛΙΣΗΣ			ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ		
	ΜΕΣΗ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	80		
J1	155	144	164	68		
J2	247	210	283	60		
J3	152	135	165			
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΥ						
Πολύ ευμενής					+	0
Ευμενής						-2
Μέτριος					+	-5
Δυσμενής						-10
Πολύ δυσμενής						-12
ΒΑΘΜΟΣ RMR	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΡΑΧΟ ΜΑΖΑΣ		ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ		ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	
44	III		ΜΕΤΡΙΑ		Συστηματικές ηλιάσεις μήκους 4m, με αραιώση 1,5-2m στην οροφή και στους τοίχους και πλέγμα στην οροφή.	

- Άθροιση βαθμονόμησης των παραπάνω ιδιοτήτων της βραχομάζας και εύρεση βαθμού RMR (Πίνακας Β) (Bieniawski, 1976).

Πίνακας Β: Ποιότητα βραχομάζας σύμφωνα με τη γεωτεχνική ταξινόμηση κατά RMR

Τάξη βράχο μάζας	Ποιότητα βραχομάζας	RMR
I	Πολύ καλή	80-100
II	Καλή	61-80
III	Μέτρια +	41-60 +
IV	Φτωχή	21-40
V	Πολύ φτωχή	0-20

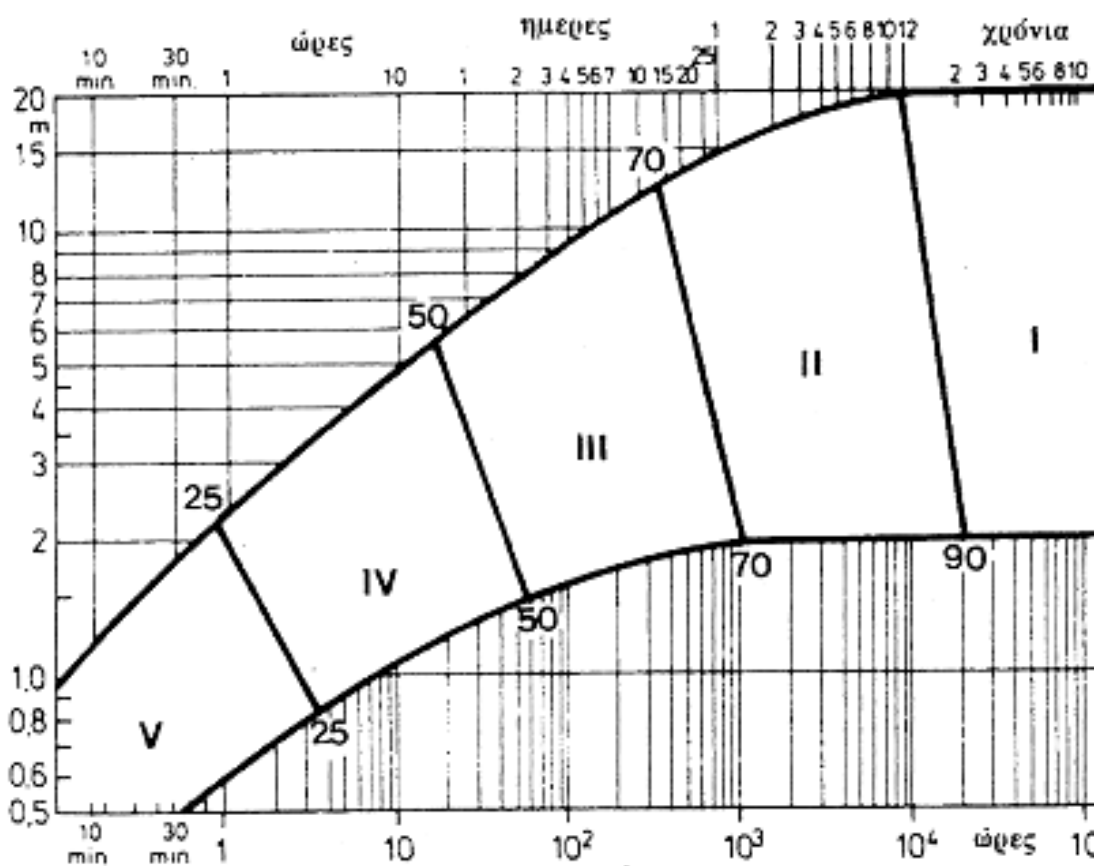
- Παράμετροι αντοχής βραχομάζας (Πίνακας Γ):

Πίνακας Γ: Παράμετροι αντοχής βραχομάζας

Κατηγορία ποιότητας βραχομάζας	I	II	III +	IV	V
Συνοχή (Kpa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Γωνία εσωτερικής τριβής (°)	>45	35-45	25-35	15-25	<15

**Μέτρα υποστήριξης σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά RMR
(Bieniawski, 1989)**

- ✓ Μέσος χρόνος διατήρησης της διατομής εκσκαφής χωρίς υποστήριξη (τροποποίηση από Lauffer, 1958 του Bieniawski, 1973).
- ✓ Επιλογή εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης σηράγγων διαμέτρου 10m σε μικρό βάθος (Bieniawski, 1989 (Εικ. Α, Πίνακας Δ):



Σχ. 3. Σχέση μεταξύ ενεργού ανοίγματος και του χρόνου διατήρησης της διατομής εκσκαφής χωρίς υποστήριξη, σύμφωνα με τις τιμές βαθμονόμησης RMR (Beiniawski, 1974)

Πίνακας Δ: Μέθοδος εκσκαφής και προσωρινής υποστήριξης σηράγγων μικρού βάθους (Bieniawski, 1989).

Σχήμα: Πεταλοειδής. Μέση διάμετρος εκσκαφής: 10m. Κατακόρυφες τάσει: <25Μρα (βάθος<900ιη).Μέθοδος διάνοιξης: διάτρηση και ανατίναξη.

		Εναλλακτικά συστήματα υποστήριξης σε κατασκευή με συμβατικά μέσα		
Ποιότητα βραχομάζας	Μέθοδος εκσκαφής	Ηλώσεις (διάμετρος 20mm με πλήρη πάκτωση)	Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα	Μεταλλικά πλαίσια
I	Ολομέτωπη εκσκαφή. Βήμα εκσκαφής 3m.	Δεν απαιτείται καμία υποστήριξη εκτός από περιπτωσιακές σημειακές επί τόπου αγκυρώσεις.		
II	Ολομέτωπη εκσκαφή. Βήμα εκσκαφής 1-1,5m. Ολοκλήρωση υποστήριξης 20m από το μέτωπο.	Τοπικά ηλώσεις στην οροφή μήκους 3m με αραιώση 2,5m και κατά περίπτωση πλέγμα.	50mm στην οροφή όπου χρειάζεται.	Κανένα
III	Εκσκαφή μετώπου και βαθμίδας, εκσκαφή πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1,5-3m. Έναρξη υποστήριξης μετά από κάθε ανατίναξη. Ολοκλήρωση υποστήριξης 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4m, με αραιώση 1,5-2m στην οροφή και τους τοίχους και πλέγμα στην οροφή.	50-100mm στην οροφή και 30mm στις πλευρές.	Κανένα
IV	Εκσκαφή μετώπου και βαθμίδας, εκσκαφή πρώτα στο ανώτερο τμήμα κατά 1-1,5m. Τοποθέτηση υποστήριξης συγχρόνως με την εκσκαφή. Ολοκλήρωση υποστήριξης 10m από το μέτωπο.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 4-5m, με αραιώση 1-15m στην οροφή και τους τοίχους με πλέγμα.	100-150mm στην οροφή και 100mm στις πλευρές.	Ελαφρά προς μέσα πλαίσια με αραιώση 1,5m όπου απαιτείται.
v	Τμηματική εκσκαφή πολλαπλών φάσεων. Βήμα εκσκαφής στο ανώτερο τμήμα 0,5-1,5m. Τοποθέτηση υποστήριξης συγχρόνων με την εκσκαφή. Εφαρμογή σκυροδέματος όσο το δυνατόν γρηγορότερα μετά από κάθε ανατίναξη.	Συστηματικές ηλώσεις μήκους 5-6m, με αραιώση 1-1,5m στην οροφή και τους τοίχους και χαλύβδινο πλέγμα. Ήλωση του ανάστροφου τόξου.	150-200mm στην οροφή, 150mm στις πλευρές και 50mm στο μέτωπο.	Μέσα προς βαριά, με αραιώση 0,75m με επικάλυψη λαμαρίνας και στήριξη του μετώπου. Κλείσιμο του αντίστροφου τόξου.

ГЕНІКЕЗ ТА ІНФОРМАЦІЯ

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΩΝ ΤΩΝ ΔΥΝΗΤΙΚΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ, ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΔΟΚΙΜΗ MARKLAND (1972) ΚΑΙ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ HOCKING (1976)

Το πρανές έχει ύψος περίπου 7.50m και αποτελείται από πρασινοσχιστόλιθο. Κατά μήκος του πρανούς έγινε εντοπισμός των πιθανών δυνητικών ολισθήσεων σε αντιπροσωπευτικές θέσεις, με βάση τους υπολογισμούς της γεωμετρίας των ασυνεχειών.

Διαφορετικοί τύποι διαρρήξεων πρανών συνδέονται με διαφορετικούς τύπους γεωλογικών δομών και είναι σημαντικό ο σχεδιαστής των πρανών να είναι σε θέση να αναγνωρίσει τα πιθανά προβλήματα της ευστάθειας στα αρχικά στάδια μιας μελέτης.

Για την 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.

Το τεστ Markland σχεδιάστηκε για να καθορίζει την πιθανότητα διάρρηξης σφήνας κατά την οποία προκύπτει ολίσθηση κατά μήκος της τομής δύο επιπέδων ασυνεχειών.

Ο συντελεστής ασφάλειας του πρανούς εξαρτάται από την διεύθυνση τομής, την διατμητική αντοχή των επιφανειών των ασυνεχειών και τη γεωμετρία της σφήνας. 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 βύθισης της γραμμής τομής υπερβαίνει την γωνία εσωτερικής τριβής για τις επιφάνειες των πρανών.

Μια βελτίωση του τεστ Markland έχει προταθεί από το Hocking και αυτή η βελτίωση έχει εισαχθεί για να επιτρέπει στο χρήστη να κάνει τη διαφοροποίηση ανάμεσα στην ολίσθηση μιας σφήνας κατά μήκος της γραμμής τομής και κατά μήκος του ενός εκ των δύο επιπέδων που σχηματίζουν τη βάση της σφήνας.

Σε ένα δίκτυο Schmidt μεταφέρουμε τους πόλους των πυκνώσεων και φέρνουμε τους μέγιστους κύκλους για κάθε πόλο. Οι τιμές που πήραμε είναι:

- 1) Παράταξη / γωνία Κλίσης Διεύθυνση κλίσης 105/60° BA
- 2) Κύριες διακλάσεις 253/78° BΔ
- 3) Δευτερεύουσες διακλάσεις 162/74° BA
- 4) Διαγώνιες διακλάσεις 64/50° BΔ
- 5) Σχιστότητα 45/72° BΔ

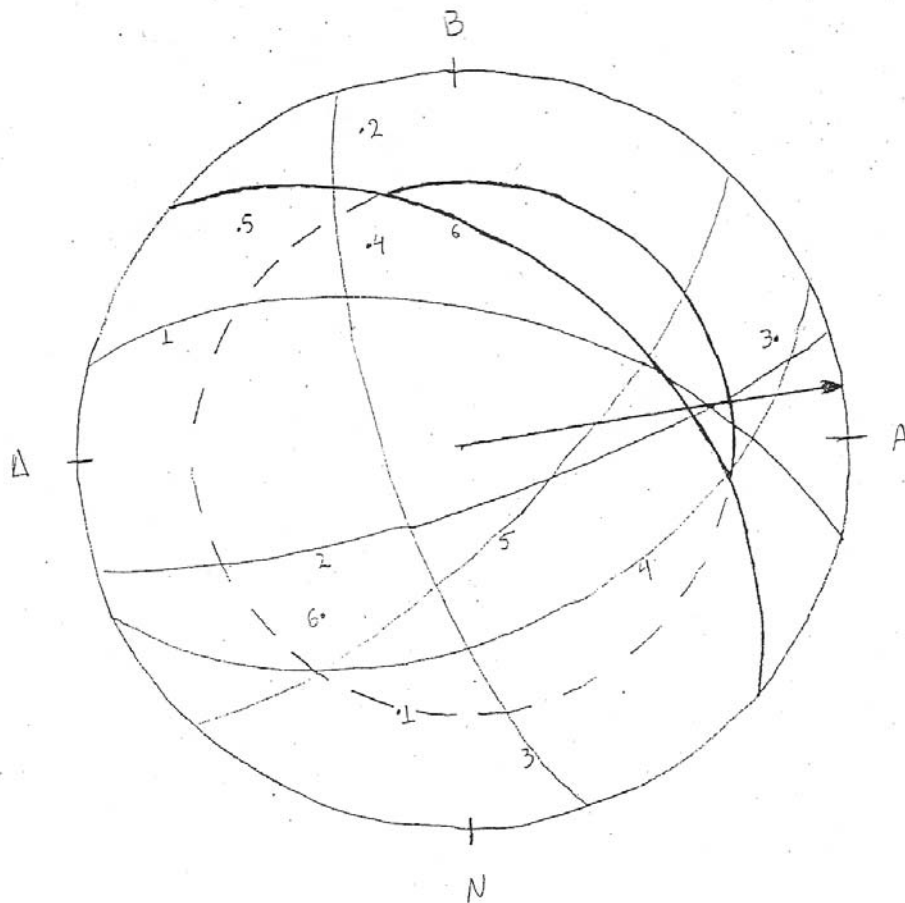
Φέρνουμε το επίπεδο του πρηνούς:

- 6) Πράνες 132/48° BA

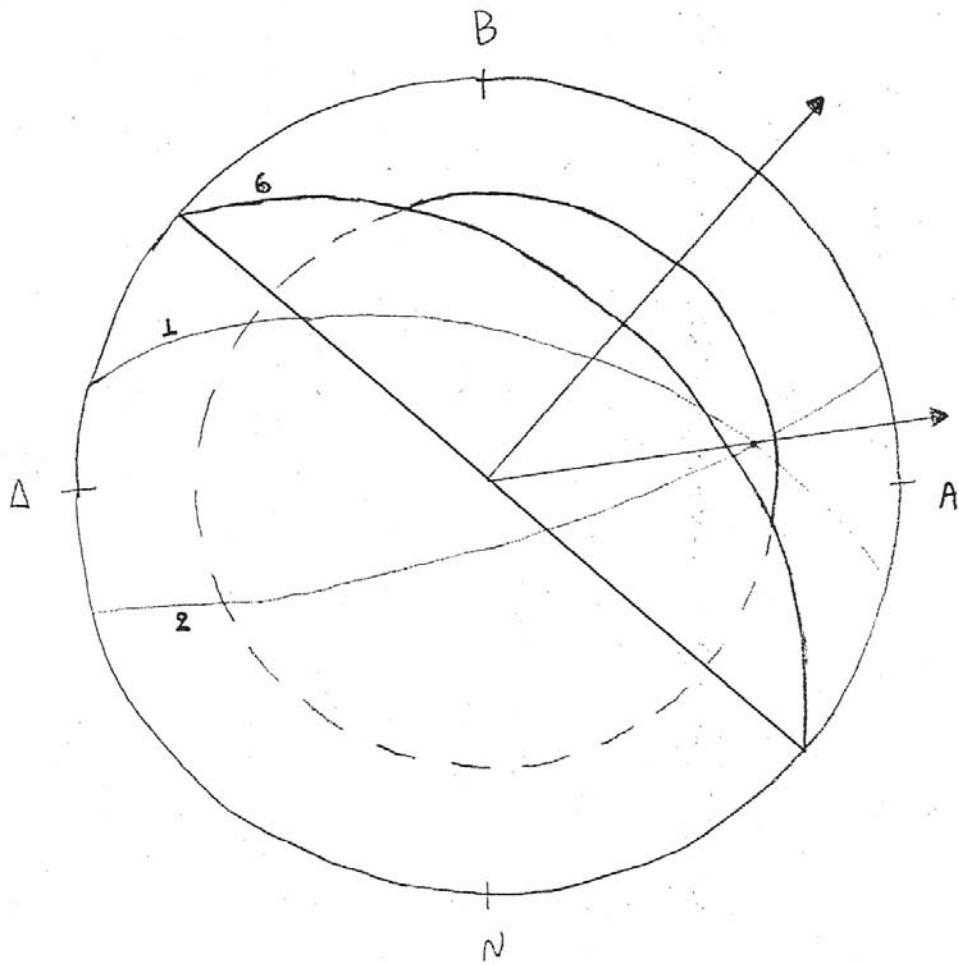
Φέρνουμε ομόκεντρο κύκλο με γωνιακή ακτίνα από το κέντρο 90°-φ όπου ($\varphi=30^\circ$ για διακλάσεις).

Η διεύθυνση ολίσθησης της σφήνας δημιουργήθηκε από την παράταξη και την κύρια διάκλαση που τέμνονται στο κομμάτι που βρίσκεται μπροστά από το μέγιστο κύκλο του πρηνούς και του ομόκεντρου κύκλου.

Κάνοντας τη βελτίωση Hocking βλέπουμε ότι οι διευθύνσεις κλίσεων της κύριας διάκλασης και της παράταξης δεν πέφτουν ανάμεσα στην διεύθυνση κλίσης και την διεύθυνση της γραμμής τομής. Έτσι η ολίσθηση θα προκληθεί κατά μήκος της γραμμής τομής.



- | | |
|-----------------------------|------------------------------|
| 1) Παράταξη / γωνία Κλίσης | Διεύθυνση κλίσης 105°/60° BA |
| 2) Κύριες διακλάσεις | 253°/78° BΔ |
| 3) Δευτερεύουσες διακλάσεις | 162°/74° BA |
| 4) Διαγώνιες διακλάσεις | 64°/50° BΔ |
| 5) Σχιστότητα | 45°/72° BΔ |
| 6) Πρανές | 132°/48° BA |



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΣΗΜΕΙΑΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ (POINT LOAD TEST)

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης και κατ' επέκταση για τον υπολογισμό της μονοαξονικής αντοχής των βραχωδών υλικών (Broch και Franklin 1972, Hook και Bray 1981).

Ο δείκτης αντοχής σημειακής φόρτισης I_s ισούται με το λόγο του φορτίου που προκάλεσε τη θραύση προς το τετράγωνο της διαμέτρου του δοκιμίου, και για να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς υπολογίζεται για δοκίμιο διαμέτρου 50mm $I_{s(50)}$.

Η συσκευή με την οποία πραγματοποιείται η δοκιμή αποτελείται από ένα μεταλλικό πλαίσιο, δύο μεταλλικές πλάκες που φέρουν μεταλλικά κωνικά άκρα με ακτίνα καμπυλότητας 5mm, μια χειροκίνητη υδραυλική αντλία για την επιβολή πίεσεως, ένα έμβολο για τη μετακίνηση της μιας πλάκας και ένα μανόμετρο για τη μέτρηση της πίεσης του εμβόλου ή του επιβαλλόμενου φορτίου. Η συσκευή αυτή μπορεί να είναι και φορητή.

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο αυτή είναι τεμάχια ακανόνιστου σχήματος. Ανεξάρτητα από τη σχήμα που έχουν τα δοκίμια πρέπει να μετρούνται με ακρίβεια οι διαστάσεις τους και να υπολογίζεται η ισοδύναμη διάμετρος πυρήνα, D_e . Η ισοδύναμη διάμετρος πυρήνα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης.

Κατά την πραγματοποίηση της δοκιμής, αφού το δοκίμιο μετρηθεί με ακρίβεια, τοποθετείται στη συσκευή σημειακής φόρτισης και φορτίζεται μέχρι τη στιγμή της θραύσης του. Η φόρτιση πρέπει να γίνει με αργό ρυθμό, και η θραύση πρέπει να επέλθει σε 10-60sec.

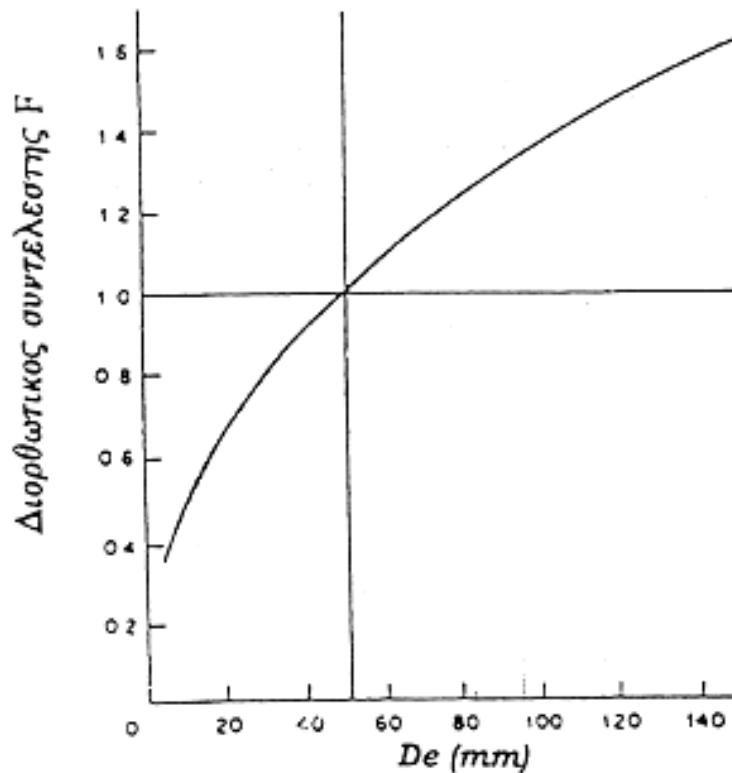
Χρησιμοποιήθηκε το εξής δοκίμιο για τον προσδιορισμό της αντοχής σε σημειακή φόρτιση:

Από το πρώτο δοκίμιο πήραμε τις εξής μετρήσεις:

Μήκος $L=129\text{mm}$

Ισοδυναμική διάμετρος πυρήνα $D_e=81\text{mm}$

Με βάση την ισοδυναμική διάμετρο πυρήνα (D_e) και σύμφωνα με την γραφική παράσταση του σχήματος 4, υπολογίζουμε τον διορθωτικό συντελεστή $F=12,2$.



Σχήμα 4. Γραφική παράσταση του συντελεστή διόρθωσης σε συνάρτηση με την ισοδύναμη διάμετρο πυρήνα (Λουπασάκης Κ., 1998, Παπαλιάγκας Θ., 1997)

Από τη συσκευή με την οποία πραγματοποιήσαμε τη δοκιμή, υπολογίσαμε την τιμή του φορτίου που προκάλεσε τη θραύση

$$P=7 \text{ KN}$$

Για τον προσδιορισμό του δείκτη της σημειακής φόρτισης πραγματοποιούμε την εφαρμογή του ακόλουθου τύπου:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2}$$

$$I_s = \frac{7}{82^2} = 1.067 \text{ MN/mm}^2$$

Για τον προσδιορισμό του δείκτη σημειακής αντοχής $I_{s(50)}$ χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$I_{s(50)} = I_s \cdot F$$

$$I_{s(50)} = 0.013 \text{ KN/mm}^2 = 13 \text{ MN/mm}^2$$

$$I_{s(50)} = 0.013 \text{ KN/mm}^2 = 13 \text{ MN/mm}^2$$

Η σχέση που συνδέει το δείκτη σημειακής αντοχής, $I_{s(50)}$ με την μονοαξονική αντοχή, σ_c , των πετρωμάτων είναι της μορφής:

$$\sigma_c = K \cdot I_{s(50)}$$

Το K είναι συντελεστής που διαφέρει ανάλογα με το είδος του πετρώματος και η πιο συχνά απαντώμενη τιμή του είναι $K=24$

$$\sigma_c = 24 \cdot 0,013$$

$$\sigma_c = 0,312 \text{ KN/mm}^2 = 312 \text{ MN/mm}^2$$

Η σχέση μεταξύ του δείκτη σημειακής φόρτισης και του εφαπτόμενου μέτρου ελαστικότητας, E_t , δίνεται από τη σχέση:

$$E_t = (0,588 I_s + 0,084) \cdot 10^4$$

$$E_t = (0,588 \cdot 1.067 + 0,084) \cdot 10^4$$

$$E_t = 7113.96 \text{ MN/mm}^2$$

ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ, ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ ΤΡΙΒΗΣ

Ονομάζουμε τάση το όριο του λόγου μιας δύναμης προς την επιφάνεια που εφαρμόζεται, όταν η επιφάνεια αυτή τείνει στο μηδέν. Στην πράξη λαμβάνεται ως τάση ο λόγος της δύναμης προς την επιφάνεια που εφαρμόζεται και εκφράζεται σε μονάδες πίεσης, δηλαδή kgf/cm^2 , KPa , MPa κ.λ.π.

Οι τάσεις διακρίνονται σε κύριες (σ) όταν εφαρμόζονται κάθετα στην επιφάνεια φόρτισης του εδαφικού σώματος (θλίψη-εφελκυσμός). Σε ορθείς (σ_H) όταν εφαρμόζονται κάθετα στο επίπεδο θραύσης του εδαφικού σώματος και σε διατμητικές ή εφαπτομενικές (τ) όταν εφαρμόζονται παράλληλα στο επίπεδο θραύσης.

Η εφαρμογή των τάσεων σ' ένα εδαφικό σχηματισμό προκαλεί είτε μετακινήσεις εδαφών π.χ. κατολισθήσεις, είτε παραμορφώσεις των εδαφών με κατακόρυφες μετατοπίσεις δηλαδή καθιζήσεις. Οι παραμορφώσεις των εδαφών, είναι συνέπεια της παραμόρφωσης και των τριών φάσεων του υλικού και κυρίως του κενού των πόρων.

Κατά τη φόρτιση μιας εδαφικής επιφάνειας, μέρος του φορτίου μεταφέρεται στη στερεά φάση και μέρος στην υγρή φάση δηλαδή στο υπάρχουν νερό των πόρων. Το γεγονός αυτό εκφράζεται με τη σχέση:

$$\sigma = \sigma' + u$$

όπου σ : η ολική τάση που αντιστοιχεί στην φόρτιση

σ' : η ενεργός τάση, δηλαδή η τάση στη στερεά φάση

u : η πίεση των πόρων που οφείλεται στο υπόγειο νερό

Άρα η τάση που προκαλεί τις παραμορφώσεις δεν είναι η σ αλλά η σ' , η τιμή της οποίας εξαρτάται από το u .

Γίνεται αντιληπτό ότι οι συνθήκες υγρασίας (φυσική υγρασία - κορεσμός - αποστράγγιση) του εδάφους επηρεάζουν τη διαδικασία παραμόρφωσης.

Η αντοχή του εδάφους εκφράζεται ως διατμητική αντοχή- τ (shear strength). Η ιδιότητα αυτή επιτρέπει σ' ένα έδαφος να παραμείνει σε ισορροπία όταν η επιφάνεια δεν είναι οριζόντια.

Η διατμητική συνοχή-τ σχετίζεται άμεσα με τη γωνία εσωτερικής τριβής-φ (angle of internal friction) και με τη συνοχή-c (cohesion) του εδαφικού υλικού. Η σχέση αυτή δίδεται με το νόμο του Coulomb

$$T = c + \sigma_n \cdot \tan \phi \quad (\text{Coulomb 1973})$$

Στην παραπάνω σχέση υπεισέρχονται δύο παράγοντες τριβής των κόκκων του υλικού. Απ' αυτούς η γωνία εσωτερικής τριβής αναφέρεται στην αντίσταση τριβής στην ολίσθηση μεταξύ των κόκκων του εδαφικού υλικού, ενώ η συνοχή αναφέρεται στις δυνάμεις έλξης μεταξύ των κόκκων που τους συγκροτούν ενωμένους σε μια μάζα χωρίς την επενέργεια εξωτερικής δύναμης.

Αξίζει να αναφερθεί ότι όπως φαίνεται και στον Πίνακα II υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες;

- α) συνεκτικά εδάφη, που εμφανίζουν μικρότερη ή μεγαλύτερη συνοχή όπως π. χ. αργιλικά εδάφη,
- β) τα χαλαρά, μη συνεκτικά εδάφη, που εμφανίζουν μηδενική συνοχή, όπως π. χ. οι άμμοι.

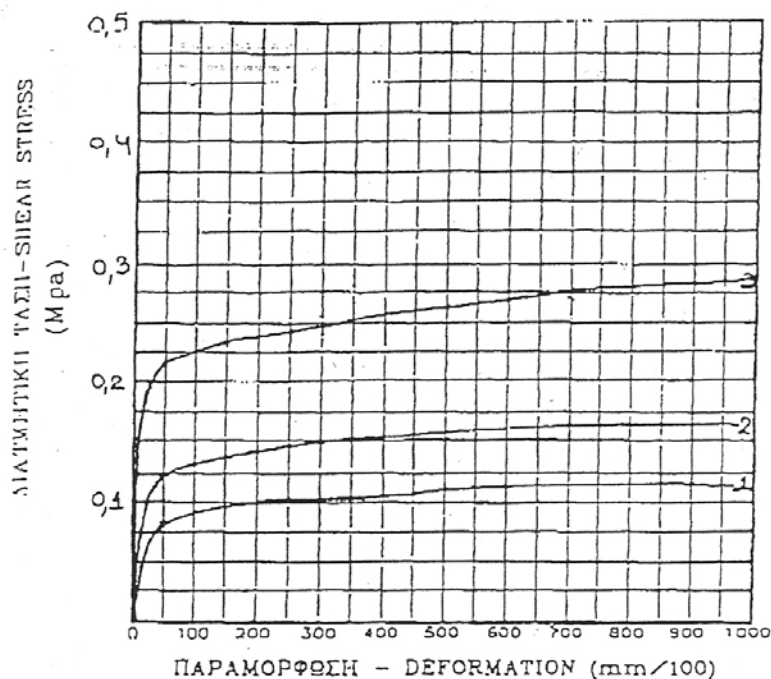
ΠΙΝΑΚΑΣ II Λεωσμένα φυσικομηχανικής συμπεριφοράς αντιπροσωπευτικών εδαφικών τύπων.

Σύμβολο IAEG 1981	Τεχνικογεωλογικός όρος	Μέση κοκκομετρία κατά I.A.E.G. (1981)				Όρια Atterberg			Φαινόμενο βάρος (γ)			Αντοχή σε διάτμηση	CBR	Μέτρο συμπίεσης	Συντελε- στής δια- περατότητας	Συμπύκνωση κατά PROCTOR	
		<2 μ %	2-6 μ %	6-20 μ %	>20 μ %	LL	PL	PI	γ t/m ³	Y %	η %	φ (°)					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
GW	Χαλίκια καλής διαβάθμισης	0	2	26	72	-	-	-	2.00 ±0.25	5 ±3	30 ±6	40 ±5	0	60-80	7	10 - 10 ⁻²	11-8
GP	Χαλίκια κακής διαβάθμισης	0	2	26	72	-	-	-	1.90 ±0.30	3 ±2	32 ±8	38 ±6	0	35-60	7	10 - 10 ⁻²	14-11
GM	Πυλώδη χαλίκια (λίγα λεπτόκοκκα)	2	8	30	60	17	13	4	2.10 ±0.25	8 ±5	28 ±8	36 ±4	0	40-80	7	10 ⁻³ -10 ⁻⁶	12-8
GC	Αργιλλώδη χαλίκια (λίγα λεπτόκοκκα)	3	9	23	65	25	15	10	2.05 ±0.20	11 ±6	32 ±6	34 ±4	0	20-40	7	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	14-9
SW	Καθαρή άμμος καλής διαβάθμισης	0	2	76	22	-	-	-	1.95 ±0.20	13 ±10	36 ±10	38 ±5	0	20-40	7	10 ⁰ - 10 ⁻³	16-9
SP	Καθαρή άμμος κακής διαβάθμισης	0	2	76	22	-	-	-	1.65 ±0.25	11 ±9	38 ±10	36 ±6	0	15-25	7	10 ⁰ - 10 ⁻³	21-12
SM	Πυλώδης άμμος (λίγα λεπτόκοκκα)	2	9	75	14	26	22	4	2.00 ±0.25	17 ±7	37 ±10	34 ±3	0	20-40	7	10 ⁻³ -10 ⁻⁶	16-11
SC	Αργιλλώδης άμμος (λίγα λεπτόκοκκα)	5	7	76	12	25	15	10	1.95 ±0.20	20 ±10	40 ±10	32 ±4	0	10-20	7	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	19-11
SH-SC	Πυλοαργιλλώδης άμμος	9	32	45	14	19	13	6	2.10 ±0.20	15 ±8	32 ±10	31 ±3	0.5 ±0.5	-	7	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	15-11
ML	Πλύς	6	64	29	1	30	26	4	1.90 ±0.25	32 ±21	47 ±15	33 ±4	0	5-15	60 - 200	10 ⁻³ -10 ⁻⁶	24-12
ML-CL	Αργιλλώδης πλύς	12	58	26	4	20	14	6	2.10 ±0.15	19 ±7	35 ±8	30 ±4	1.5 ±1.0	-	40 - 200	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁸	22-12
CL	Πυλώδης άργιλλος	20	61	16	3	33	17	16	2.00 ±0.15	25 ±10	41 ±8	27 ±4	2.0 ±1.0	5-15	20 - 200	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	24-12
CI	Άργιλλος	22	59	18	1	64	25	39	1.75 ±0.15	47 ±24	56 ±9	22 ±4	2.5 ±1.0	3-5	10 - 100	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	36-19
OL	Αργιλλώδης πλύς οργανική	8	70	21	1	42	29	13	1.70 ±0.15	48 ±13	57 ±8	25 ±4	1.0 ±0.5	4-8	15 - 100	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶	33-21
OIH	Άργιλλος οργανική	12	70	17	1	71	40	31	1.55 ±0.15	68 ±22	66 ±8	22 ±4	1.0 ±0.5	3-5	8 - 50	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	45-21
MH	Αργιλλώδης ελαστική πλύς	10	65	25	0	68	38	30	1.55 ±0.15	73 ±20	67 ±7	24 ±6	0.5 ±0.5	4-8	10 - 50	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶	40-24

ΕΡΓΟ :

ΣΕΛΙΣ :

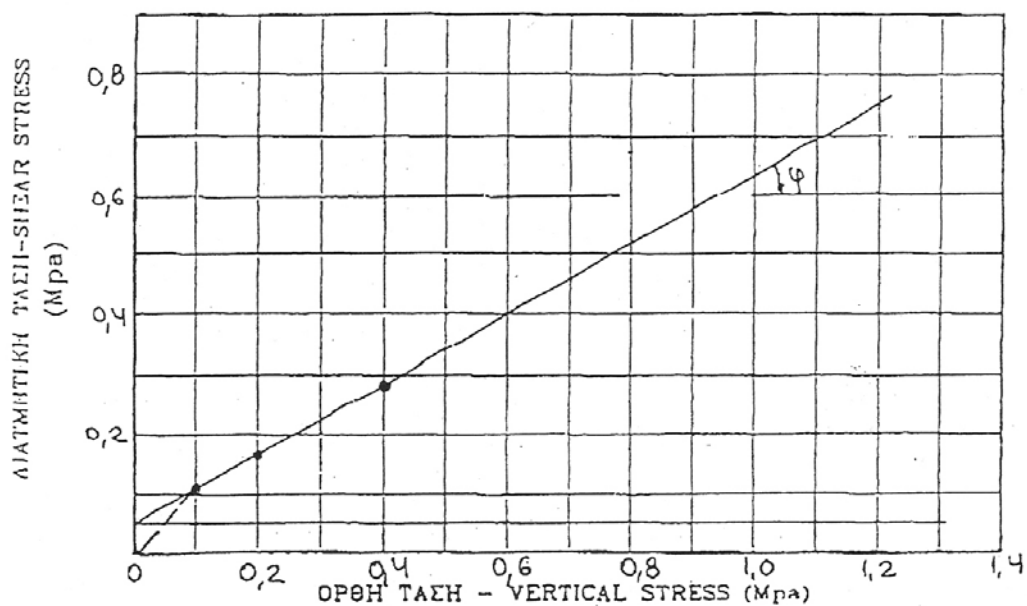
ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΟΔΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ DIRECT SHEAR TEST OF ROCK SAMPLES



ΓΕΩΤΡΗΣΗ
BOREHOLE : Β 8.3
ΔΕΙΓΜΑ
SAMPLE :
ΒΑΘΟΣ
DEPTH : 11.70-12.20

A/A	σ_{max}	τ_{max}
1	0,1	0,114
2	0,2	0,165
3	0,4	0,279
4		
5		

JRC = 6-8

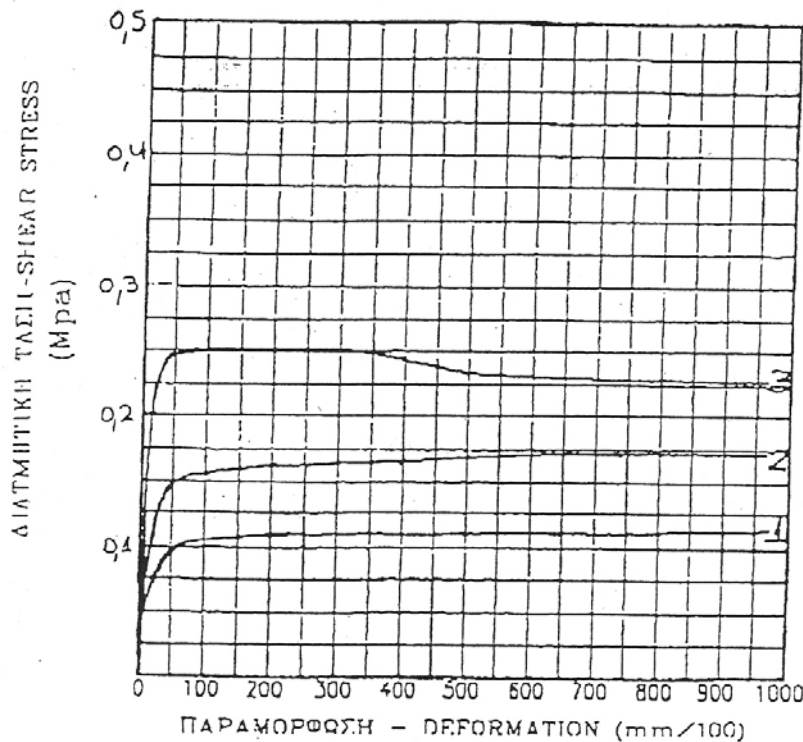


ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (°) $\phi = 31^\circ$
 ΣΥΝΟΧΗ - COHESION (MPa) $c = 0 \div 0,050$

ΕΡΓΟ :

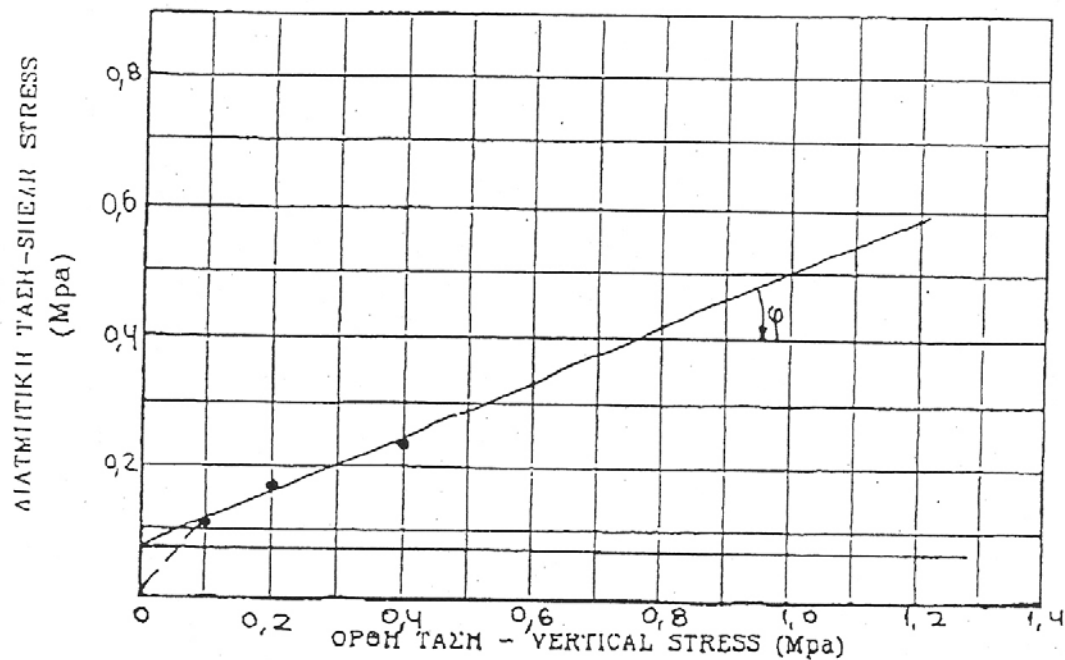
ΣΕΛΙΣ :

ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ DIRECT SHEAR TEST OF ROCK SAMPLES

ΓΕΩΤΡΗΣΗ
BOREHOLE : B. 8.3ΔΕΙΓΜΑ
SAMPLE :ΒΑΘΟΣ
DEPTH : 1400-1410

A/A	σ_{max}	τ_{max}
1	0,4	0,110
2	0,2	0,171
3	0,4	0,245
4		
5		

JRC = 8-10

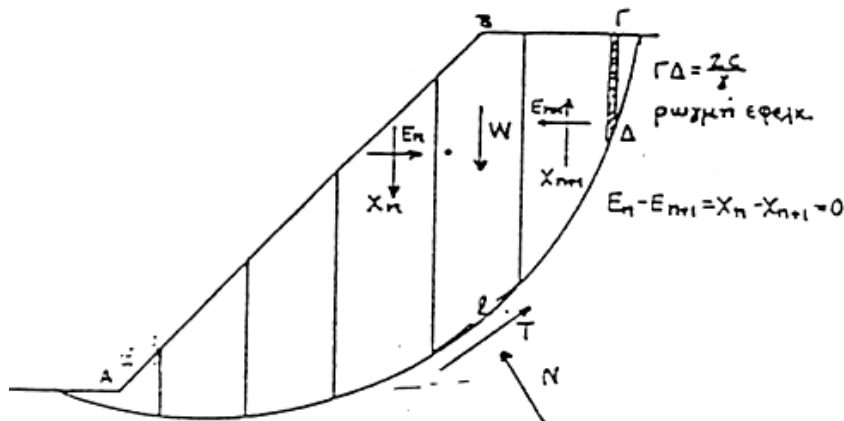
ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ (°) $\phi = 24^\circ$
ANGLE OF FRICTION (DISCONT.)ΣΥΝΟΧΗ - COHESION (Mpa) $c = 0 \div 0,075$

ΕΓΝΑΤΙΑ 57,2 Ανισόπεδοι κόμβοι Θεσ/νίκης
B 8-3

- 41 -

ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΠΡΑΝΩΝ – ΜΕΘΟΔΟΣ FELLENIUS

Σύμφωνα με την σχήμα 5 χαράσσεται κύκλος πιθανής ολίσθησης, και το μη συγκρατούμενο εδαφικό τμήμα χωρίζεται σε κατακόρυφες ζώνες και υπολογίζεται το άθροισμα των ροπών των δυνάμεων κάθε ζώνης ως προς το κέντρο του κύκλου ολίσθησης.



Σχ. 5. Μέθοδος fellenius

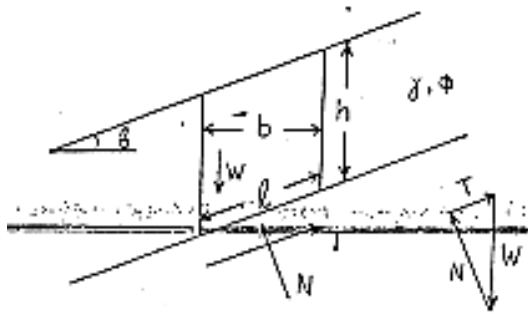
Ο συντελεστής (ή παράγοντας) ασφάλειας F δίδεται από τη σχέση:

$$F = \frac{\text{ροπή ευστάθειας}}{\text{ροπή ανατροπής}}$$

Αναλυτικότερα:

Η γενική αρχή ευστάθειας είναι ότι ο λόγος των δυνάμεων συγκράτησης προς τις δυνάμεις ανατροπής ή ολίσθησης πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας.

Ορίζουμε στο πρανές μια κατακόρυφη ολισθαίνουσα "φέτα" φαινόμενου βάρους " γ " και μικρούς πάχους " b " όπως περιγράφεται στην εικόνα 2. Ονομάζω " W " το βάρος της φέτας, " N " την κάθετη δύναμη και " T " την διατμητική δύναμη στην επιφάνεια ολίσθησης.



Σχ.6. Συνθήκη ευστάθειας πρανούς απείρου ύψους με $c=0$, $\phi \neq 0$

Με βάση τις παραδοχές αυτές, η συνθήκη ευστάθειας της φέτας, και κατ' επέκταση του πρανού, εκφράζεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Το βάρος της φέτας "W" ισούται με $W = \gamma \cdot b \cdot h$
- Η κάθετη δύναμη "N" στην επιφάνεια ολίσθησης ισούται με:
 $N = W \cdot \sin \beta = \gamma \cdot h \cdot b \cdot \sin \beta$
- Η διατμητική δύναμη T στην επιφάνεια ολίσθησης ισούται με:

$$T = W \cdot \eta \mu \beta = \gamma \cdot h \cdot b \cdot \eta \mu \beta$$

Επομένως η κάθετη ενεργός τάση "σ" ισούται με:

$$\sigma = N/l = (\gamma \cdot h \cdot b \cdot \sin \beta) / (b / \sin \beta) = \gamma \cdot h \cdot (\sin \beta)^2$$

Η διατμητική τάση "τ" ισούται με:

$$\tau = \frac{T}{l} = \frac{\gamma \cdot h \cdot b \cdot \eta\mu\beta}{b / \sigma\upsilon\nu\beta} = \gamma \cdot h \cdot \eta\mu\beta \cdot \sigma\upsilon\nu\beta$$

Η διατμητική αντοχή του σχηματισμού "s" ισούται με:

$$s = \overline{\sigma} \cdot \epsilon\phi\phi = \gamma \cdot h \cdot (\sigma\upsilon\nu\beta)^2 \cdot \epsilon\phi\phi$$

Τέλος ο συντελεστής ευστάθειας του πρανούς θα ισούται με:

$$F = \frac{s}{\tau} = \frac{\overline{\sigma} \cdot \epsilon\phi\phi}{\gamma \cdot h \cdot \eta\mu\beta \cdot \sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{\gamma \cdot h \cdot (\sigma\upsilon\nu\beta)^2 \cdot \epsilon\phi\phi}{\eta\mu\beta}$$

$$F = \frac{\epsilon\phi\phi}{\epsilon\phi\beta}$$

Επομένως η συνθήκη ευστάθειας πρανούς με c=0 είναι $\epsilon\phi\phi > \epsilon\phi\beta$.

Σύμφωνα με τον πίνακα II έχουμε

GC, αργιλώδη χαλίκια (λίγα λεπτόκοκκα)

Φαινόμενο βάρος (γ)=2,10 t/m³

Γωνία εσωτερικής τριβής: ϕ =30

Συνοχή: c=0

Γωνία κλίσης του πρανούς β =50

Το ύψος του πρανούς μας είναι H=8m.

Παίρνουμε μια φέτα η οποία έχει πάχος b=1m και ύψος h=6m

Το βάρος της φέτας "W" ισούται με $W = \gamma \cdot h \cdot b = 2,10 \cdot 6 \cdot 1$

$$W = 12,6$$

Η κάθετη δύναμη "N" στην επιφάνεια ολίσθησης ισούται με: $N = W \cdot \sigma\upsilon\nu\beta = 12,6 \cdot \sigma\upsilon\nu 50$

$$N = 8,1$$

Η διατμητική δύναμη "T" στην επιφάνεια ολίσθησης ισούται με:

$$T = W \cdot \eta\mu\beta = 12,6 \cdot \eta\mu 50$$

$$T = 9,65$$

Επομένως η κάθετη ενεργός τάση "σ" ισούται με:

$$\sigma = \frac{N}{l} = \frac{8,1}{1,55} = 5,2$$

$$l = \frac{b}{\sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{1}{\sigma\upsilon\nu 50} = 1,55m$$

Η διατμητική τάση "τ" ισούται με:

$$\tau = \frac{T}{l} = \frac{9,65}{1,55} = 6,22$$

Η διατμητική αντοχή του σχηματισμού "s" ισούται με:

$$s = \bar{\sigma} \cdot \epsilon\phi\phi = \gamma \cdot h \cdot (\sigma\upsilon\nu\beta)^2 \cdot \epsilon\phi\phi$$

$$s = 5,2 \cdot \epsilon\phi 30$$

$$s = 3,0$$

Τέλος, ο συντελεστής ευστάθειας του πρανούς θα ισούται με:

$$F = \frac{s}{T} = \frac{\bar{\sigma} \cdot \epsilon\phi\phi}{\gamma \cdot h \cdot \eta\mu\beta \cdot \sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{\gamma \cdot h \cdot (\sigma\upsilon\nu\beta)^2 \cdot \epsilon\phi\phi}{\gamma \cdot h \cdot \eta\mu\beta \cdot \sigma\upsilon\nu\beta} = \frac{\sigma\upsilon\nu\beta \cdot \epsilon\phi\phi}{\eta\mu\beta}$$

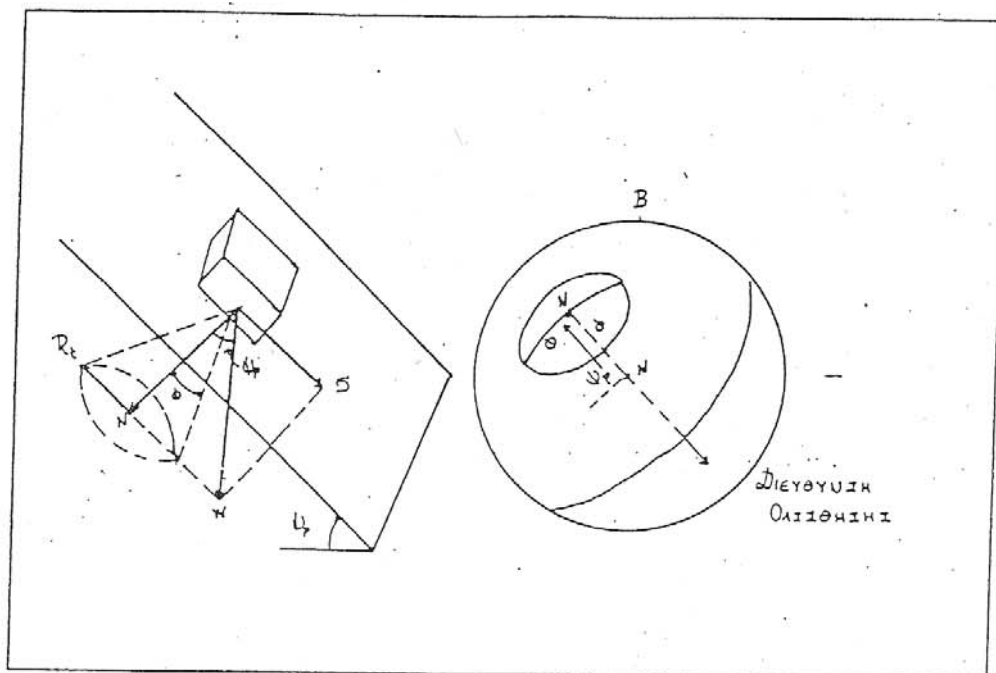
$$F = \frac{\epsilon\phi\phi}{\epsilon\phi\beta} = \frac{\epsilon\phi 30}{\epsilon\phi 50} = 0,485$$

Συμπέρασμα:

Έχουμε γωνία κλίσης του πρανούς $\beta=50$, μεγαλύτερο από τη γωνία εσωτερικής τριβής $\phi=30$ και συντελεστή ασφάλειας $F=0,485$ διαπιστώνεται ότι το πρανές είναι ασταθές.



Ευστάθεια πρανούς κατά τη διεύθυνση
κυκλιμένου επιπέδου ολίσθησης.



Σχημα 4.: Κωνος τριβής

β = γωνία κλίσης του πρανούς, $\beta=50^\circ$

φ = γωνία εσωτερικής τριβής, $\varphi=30^\circ$

S = δύναμη ολίσθησης

N = κάθετη προς την επιφάνεια δύναμη

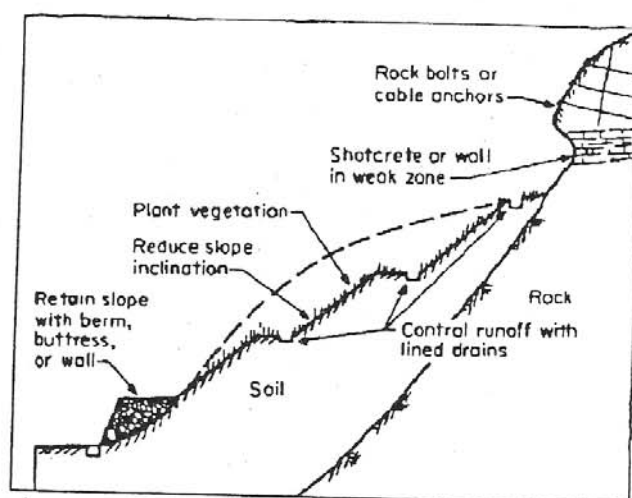
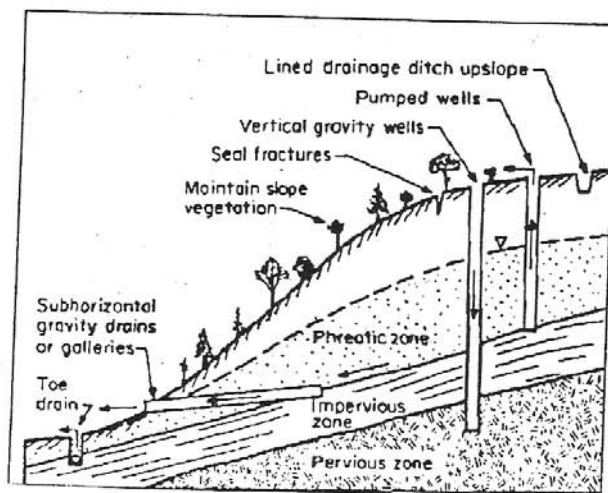
W = βάρος του μπλοκ

R_t = δύναμη που αντιδρά στην ολίσθηση

Θεωρούμε ότι ένα μπλοκ βάρους W βρίσκεται σε επαφή με κεκλιμένο επίπεδο. Οι δυνάμεις που δρουν σ' αυτό το σώμα είναι οι δυνάμεις ολίσθησης και οι δυνάμεις συγκράτησης.

Η δύναμη S που δρα προς τα κάτω παράλληλα προς την επίπεδη επιφάνεια, είναι $S=W*\eta\mu\beta$ και η κάθετη προς την επιφάνεια δύναμη N είναι $N=W*\sigma\upsilon\nu\beta$. Επειδή η συνοχή είναι μηδέν (δηλαδή έχουμε προχωρημένη επιφάνεια ολίσθησης), τότε η δύναμη R_t που αντιδρά στην ολίσθηση και προσπαθεί να συγκρατήσει το μπλοκ, θα είναι $R_t=N*\epsilon\phi\phi$ ή $R_t=W*\sigma\upsilon\nu\beta*\epsilon\phi\phi$ όπου ϕ είναι η γωνία τριβής επιφανειών. Ολίσθηση θα μπορούσε να συμβεί αν η δύναμη ολίσθησης S γίνει μεγαλύτερη από τη δύναμη ευστάθειας R_t , δηλαδή όταν θα ισχύει ότι: $W*\eta\mu\beta>W*\sigma\upsilon\nu\beta*\epsilon\phi\phi$, η οποία οδηγεί στη συνθήκη $\beta>\phi$ για ολίσθηση.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ



- ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΙΑΠΡΟΗΣ
- ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ



10. Παράγοντες που προκαλούν μια κατολίσθηση

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

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

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

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

4.Δονήσεις: Σε σεισμογενείς περιοχές δημιουργούνται εξαιτίας των σεισμών διάφοροι κραδασμοί και ταλαντώσεις των πετρωμάτων



με διαφορετική συχνότητα. Ανάλογες δράσεις μπορούν να προκαλέσουν εκρήξεις με μεγάλη περιεκτικότητα εκρηκτικών και μηχανές επίσης που προκαλούν κραδασμούς. Σε κάθε πέτρωμα δημιουργούνται μ' αυτόν τον τρόπο εφήμερες μεταβολές των τάσεων, που διακόπτουν την ισορροπία των πρανών.

5.Μεταβολή της περιεκτικότητας νερού των πετρωμάτων:

Το νερό της βροχής και του χιονιού εισέρχεται στις κατατμήσεις, όπου δημιουργείται μια υδροστατική πίεση και στα χαλαρά πετρώματα αυξάνεται η υδροστατική πίεση των πόρων. Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να ελαττώνεται η συνοχή του πετρώματος και η εσωτερική τριβή.

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

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

7.Το υπόγειο νερό:

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

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

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

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

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

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

10.Μεταβολή της βλάστησης: Σε περιοχές όπου παρατηρείται μεταβολή της βλάστησης των πρηνών που μπορεί να συμβεί από διάφορες αιτίες π.χ. πυρκαγιές ή εκχερσώσεις εδαφών, προκαλείται ελάττωση της συνοχής των πρηνών, καθότι οι ρίζες προκαλούν σταθεροποίηση του εδάφους.



11. Χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων που χρησιμοποιούνται ως βάση για τη διάγνωση τους και την ταξινόμηση τους.

1. Εξετάζεται προπαντός η θέση της κατολίσθησης σε σχέση με το ανάγλυφο και με το επίπεδο της ροής του νερού. Μια κατολίσθηση μπορεί να δημιουργηθεί τόσο στην κορυφή, όσο και στη βάση, ακόμα και στη μέση μιας κλιτύς. Μπορεί επίσης να καταλαμβάνει ολόκληρο το πρηνές. Σε σχέση με τη στάθμη ποταμού μπορεί μια κατολίσθηση να δημιουργηθεί πάνω από τη στάθμη, όσο και κάτω από τη στάθμη του νερού.

2. Η κατολίσθηση μπορεί να δημιουργηθεί, ανάλογα με τον τύπο της, σε ημικυκλική μορφή εγκάρσια προς το πρηνές.

3. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η μορφή του ανάγλυφου του πρηνούς που πρόκειται να κατολισθήσει σε επιμήκη τομή. Η δημιουργημένη από τη διάβρωση και σκεπασμένη με κορρήματα κατωφέρεια συνδέεται με την κοιλάδα με μια κανονική βαθμιαία κατερχόμενη καμπύλη.

4. Από τις μετατοπίσεις συγκοινωνιακών δρόμων, χωραφιών, σειρές δένδρων, δασικών ορίων κ.λ.π. μπορεί να υπολογιστεί το μέγεθος της κίνησης, εφόσον στη γειτονική απείραχτη κλιτύ βρίσκεται η συνέχεια του μετατοπισθέντος αυτού αντικειμένου.

5. Η επιφάνεια του ολισθαίνοντος τμήματος αναπτύσσεται είτε σε μορφή επίπεδης, κυματοειδής κατά κλίμακες ή αναβαθμίδες.

6. Η κατάσταση και η ηλικία των δένδρων της περιοχής, ιδιαίτερα η μορφή της θέσης τους, προσφέρουν επίσης στοιχεία για την πορεία της κατολίσθησης.

7. Το βάθος της κατολίσθησης συνήθως είναι διαφορετικό. Ως επιφανειακές κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται εκείνες, κατά τις οποίες



το κατερχόμενο στρώμα δεν έχει πάχος μεγαλύτερο από 1,5 μέτρα. Ως αβαθείς κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται αυτές με κατολισθαίνουσα επιφάνεια βάθους 5-10 μέτρων, ως βαθείες κατολισθήσεις αυτές με βάθος 10-20 μέτρα και ως πολύ βαθείες χαρακτηρίζονται αυτές με βάθος μεγαλύτερο από 20 μέτρα. Το βάθος της κατολίσθησης μετριέται κάθετα προς την επιφάνεια του πρσανούς.

8. Το πλήθος των επιφανειών ολίσθησης. Υπάρχουν κατολισθήσεις με μόνο μια επιφάνεια ολίσθησης, παρουσιάζονται όμως και κατολισθήσεις με δυο ή περισσότερες επιφάνειες ολίσθησης ή μία κατόπιν της άλλης.

9. Ανάλογα με την κλίση της επιφάνειας ολίσθησης, οι κατολισθήσεις χαρακτηρίζονται ως πολύ ομαλές, όταν η κλίση της επιφάνειας αυτής είναι μέχρι 5° ως ομαλές όταν αυτή είναι $5-30^\circ$ και με κλίση πάνω από 30° χαρακτηρίζονται ως απόκρημνες.

10. Ανάλογα με την ταχύτητα και το χαρακτήρα της κίνησης διακρίνουμε γρήγορες και αργές κινήσεις πρσανών και επιπλέον αν πρόκειται για μια μοναδική κίνηση, ή για περιοδικά επαναληπτικές ή αδιάλειπτες κινήσεις.

11. Παρατηρήσεις σχετικά με την κατάσταση του νερού στη βραχομάζα, το ύψος της στάθμης του υπόγειου νερού και οι μεταβολές της, η θέση των πηγών, υγρές θέσεις και υδροφόρες ρωγμές.

12. Ανάλογα με το στάδιο εξέλιξης τους οι κατολισθήσεις διακρίνονται σε πρόσφατες κατολισθήσεις, όταν αυτές ακόμη βρίσκονται σε κίνηση, σε εφησυχασμένες και απολιθωμένες κατολισθήσεις, που έγιναν κάτω από άλλες μορφολογικές και κλιματικές συνθήκες.



Πριν από το σπάσιμο η ταχύτητα της κίνησης αυξάνεται αρχικά σταθερά και λίγο πριν το σπάσιμο επιταχύνεται περισσότερο, πιθανόν εξαιτίας άλλων επιδράσεων και κυρίως των αυξημένων κατακρημνισμάτων. Από την απεικόνιση των τιμών της μετακίνησης σε σχέση με το χρόνο προκύπτει ένα λιγότερο ή περισσότερο ευκρινές σημείο καμπής.

12. Τρόποι αντιστήριξης

Η παρουσία υπόγειου νερού σε βραχώδη πρανή έχει αρνητική επίδραση στην ασφάλεια τους. Μια ανύψωση της στάθμης του νερού έχει σαν συνέπεια μια ώθηση των επιφανειών των ρηγμάτων που μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτα προβλήματα αν δεν ληφθεί υπόψη στον υπολογισμό. Έτσι εκτός από τις δυνάμεις του βάρους στο δυναμοπολύγωνο πρέπει να συμπεριληφθούν και οι υδροστατικές ωθήσεις που είτε ενεργούν αυτή τη στιγμή, είτε είναι πιθανόν να εμφανιστούν αργότερα. Για την εκτίμηση του βαθμού ασφάλειας συσχετίζεται η συνισταμένη δύναμη με την επιφάνεια ολίσθησης. Ο συντελεστής ασφάλειας προκύπτει από την σύγκριση της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στη συνισταμένη δύναμη και την κάθετο στην επιφάνεια ολίσθησης και τη γωνία τριβής.

Ο γεωλόγος προσπαθεί να αναγνωρίσει και να προσδιορίσει τις κλίσεις εκείνες που είναι επικίνδυνες για κατολίσθηση, θέσεις όπου θα μπορούσε να διαταραχτεί η ισορροπία, κατά τη διάρκεια ή μετά τη δημιουργία μιας κατασκευής. Προσπαθεί έτσι να υπολογίσει τη μέγιστη κλίση τεχνητώς δημιουργούμενων πρανών, τα οποία ακόμη συμπεριφέρονται ως σταθερά. Επειδή φέρει μια μεγάλη ευθύνη για την ασφάλεια της κατασκευής, γι' αυτό προσπαθεί χρησιμοποιώντας τις ανάλογες μεθόδους να υπολογίσει την επιτρεπόμενη σταθερότητα αυτών των πρανών.

Στις ισότροπες περιοχές της βραχομάζας οι διάφορες δυνάμεις που ενεργούν εξισορροπούνται από τη δύναμη της βαρύτητας. Αρχικά εξαιτίας στατικών και δυναμικών αλλοιώσεων, όπως είναι η δημιουργία διαφόρων τόμων και φραγμάτων, η θεμελίωση

οικοδομών, οι υδροστατικές και υδροδυναμικές μεταβολές, επιχωματώσεις, συγκοινωνιακοί δρόμοι κ.λ.π. δημιουργούνται στο υπέδαφος με την εσωτερική τριβή και συνοχή ορισμένες αντίθετες δυνάμεις. Το μέγεθος αυτών την αντίθετων δυνάμεων είναι περιορισμένο και εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους την κατάσταση του ή την πυκνότητα απόθεσης τους. Αν το άθροισμα αυτών των δυνάμεων υπερτερεί των αντίθετων εσωτερικών δυνάμεων, τότε προκαλείται σε μία ή περισσότερες επιφάνειες ολίσθησης συχνά μία διαταραχή της ισορροπίας δηλαδή η σχέση:

$$n = \frac{\text{Σδυνάμεωνσυγκράτησης}}{\text{Σδυνάμεωνολίσθησηςήθραυσμά}}\quad$$

γίνεται μικρότερη της μονάδας. Το πηλίκο αυτό n χαρακτηρίζει επομένως το βαθμό ασφάλεια ή την αντοχή απέναντι σε θραύση του πετρώματος ή σε κατολίστηση. Συνήθως η ασφάλεια απέναντι σε κατολίστηση παρουσιάζεται με την τιμή του πηλίκου $n=1,5$.

Κατά τις συνηθισμένες μεθόδους υπολογισμούς του βαθμού αυτού ασφάλειας, ξεκινάμε από το γεγονός ότι η εξίσωση των τάσεων προκύπτει σε επιφάνειες ή τεκτονικές δομές (επιφάνειες ολίσθησεις, αρμοί ολισθήσεων), όπου η σχέση των δρώντων δυνάμεων προς τις δυνάμεις αντίδρασης του σώματος λαμβάνει τη δυσμενέστερη τιμή. Συχνά η αρχή των επιφανειών ολίσθησης φαίνεται μόνο στο πάνω τμήμα μιας κατολίστησης, ενώ στη βάση της ευρισκόμενης σε κίνηση μάζας επικρατεί μια κατάσταση ροής, για την οποία δεν ισχύουν πια στατικοί, αλλά υδροδυναμικοί νόμοι. Τέτοιες μορφές ολισθήσεως παρατηρούνται ιδιαίτερα στις κλιτείς.



Η περιοχή μας είναι ελαφρά αποσαθρωμένη. Η σταθερότητα αυτών των κεκλιμένων επιφανειών των βράχων επηρεάζεται και από την παρουσία του νερού της βραχομάζας, η στάθμη του οποίου εξετάζεται στον υπολογισμό της γωνίας εσωτερικής τριβής και των δυνάμεων της αγκύρωσης τους.

Η κατακόρυφη στεγανοποίηση και η κατασκευή της κουρτίνας προκύπτει με την πυκνή διεξαγωγή τσιμεντενέσεων μέσα στο σώμα της βραχομάζας.

Με το γενικό όρο τσιμεντενέσεις εννοούμε την εισπίεση μέσα στη βραχομάζα διαφόρων υλικών, όπως αιωρημάτων, διαλυμάτων, ασφάλτου, τσιμέντου και κονιαμάτων, με τα οποία επιδιώκεται μια βελτίωση της ποιότητας του πετρώματος από τεχνικής πλευράς. Έτσι με την είσοδο τέτοιων υλικών μέσα στα πετρώματα βελτιώνεται η σταθερότητα ή η στεγανότητα ή και οι δύο παράγοντες των πετρωμάτων της βραχομάζας.

Η περισσότερο διαδεδομένη και χρησιμοποιημένη μέθοδος ενεματικών αιωρημάτων για τη βελτίωση των ιδιοτήτων ενός πετρώματος είναι η μέθοδος των "τσιμεντενέσεων" κατά την οποία εισπίζεται μέσα στο πέτρωμα ένα μίγμα νερού και τσιμέντου. Το νερό αυτό χρησιμεύει αφ' ενός για τη μεταφορά του τσιμέντου μέσα στους ανοιχτούς χώρους του πετρώματος και αφ' ετέρου για την πήξη του τσιμέντου. Η ακτίνα μεταφοράς του τσιμέντου εξαρτάται από την ποιότητα του, την ανάπτυξη των κενών χώρων του πετρώματος, το είδος του πετρώματος και από τη χρησιμοποιούμενη πίεση. Πολλές φορές πριν από τη χρησιμοποίηση αυτής της μεθόδου, προετοιμάζεται αρχικά το πέτρωμα με εισπίσεις διαφόρων χημικών διαλυμάτων, όπως πυριτικό νάτριο, θειικό αργίλιο, για το καθάρισμα των

τοιχωμάτων των κατατμήσεων και τελικά εισπιέζεται τσιμέντο, οπότε μεγαλώνει η ακτίνα μεταφοράς του μέσα στο πέτρωμα και η εισπίεση γίνεται ευκολότερη.

Εκτός από τις τσιμεντενέσεις χρησιμοποιούνται και ενέματα με αργιλικά αιωρήματα για στεγανοποιήσεις θέσεων που βρίσκονται έξω από την κρίσιμη περιοχή και για πετρώματα, τα οποία δεν μπορούν να συγκρατήσουν το τσιμέντο (π.χ. αργιλικά πετρώματα, μη αναπτυγμένες λεπτές κατατμήσεις με αργιλικά υλικά κ.α.). Η άργιλος επίσης δεν είναι ευαίσθητη σε δραστικά νερά. Με τα αργιλικά ενέματα επιτυγχάνεται μια ισχυρή ελάττωση της διαπερατότητας, σε αντίθεση όμως με τις τσιμεντενέσεις, δεν αυξάνεται η στερεότητα του πετρώματος.

Επιπλέον η αργιλική στεγανοποίηση είναι ευαίσθητη στη διάβρωση του νερού και μπορεί να καταστραφεί με τη ροή νερού μέσα στις κατατμήσεις. Για να αποφύγουμε αυτό το μειονέκτημα χρησιμοποιούμε συνηθέστερα μίγμα αργίλου - τσιμέντου ή άλλων χημικών. Σε τέτοια μίγματα μπορούμε να αντικαταστήσουμε μέχρι και 50% του τσιμέντου με άργιλο.

Έτσι οι κατολισθήσεις σταθεροποιούνται, όταν από την πάνω περιοχή της κατολίσθησης απομακρύνουμε μεγάλες μάζες και τις μεταφέρουμε στο κάτω μέρος της κατολίσθησης. Μια ελάττωση των μαζών που πρόκειται να κατολισθήσουν κατά 4% προκαλεί μια αύξηση της σταθερότητας κατά 10% περίπου. Αυτή εξαρτάται από τον τύπο και τη μορφή του ολισθαίνοντος σώματος.

Για την ελάττωση των νερών που κατακρατούνται στην ανώμαλη επιφάνεια μιας κατολίσθησης, αναπτύσσουμε ένα επιφανειακό σύστημα αποστραγγίσεων με τάφρους, χαντάκια, τα



οποία αποξηραίνουν όλες τις υγρές θέσεις, όλες οι πηγές υδρομαστεύονται και τα επιφανειακά νερά απομακρύνονται από το χώρο της κατολίσθησης.

Εκτός όμως από την αποστράγγιση αυτών των επιφανειακών νερών προκαλείται και μια βαθύτερη αποστράγγιση των νερών, καθότι οι κατολισθήσεις εξαρτώνται σημαντικά από την πολύπλευρη παρουσία του νερού.

Στην περίπτωση αυτή ανοίγονται κατακόρυφες γεωτρήσεις με μικρή διάμετρο 280-300mm. Οι εργασίες αυτές που αποτελούν μια από τις σημαντικότερες μεθόδους σταθεροποίησης των κλιτύων, έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού κόστους, παρουσιάζουν όμως και το μειονέκτημα ότι δεν προκαλείται συχνά ικανοποιητική αποστράγγιση, παρά μόνο σε περιορισμένο μήκος (περίπου 200m). Συμπληρωματικά με αύξηση βέβαια σημαντική του κόστους, ανοίγονται αποστραγγιστικές στοές ή γίνονται οριζόντιες γεωτρήσεις.

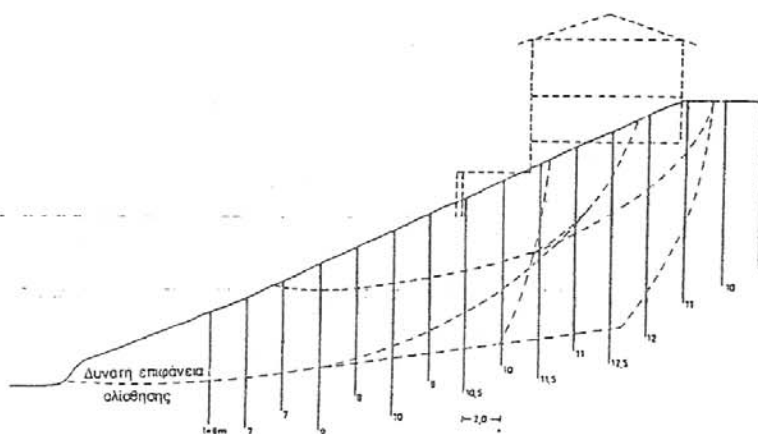
Ένα άλλο μέτρο προστασίας των πρανών από τις κατολισθήσεις είναι η ανάπτυξη πυκνής βλάστησης στην επιφάνεια που εμποδίζει την κατολίσθηση. Η εκλογή της βλάστησης που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να γίνεται σύμφωνα με τη μορφή των ριζών και την κατανάλωση νερού αυτών των φυτών (π.χ. λευκές και σημύδες και όχι κωνοφόρα).

Ένα δαπανηρό μέτρο προστασία για τοπικά περιορισμένες κατολισθήσεις είναι η δημιουργία τοιχείων, τα οποία όμως δεν θεμελιώνονται και τόσο βαθιά όσο στο ύπαιθρο. Συχνά είναι προτιμότερο ένα περίβλημα της κατολισθαίνουσας μάζας με υποσήραγγες και γεφυρώματα σε διάφορα σημεία της κατολίσθησης.

Η ασφάλεια των κλιτύων βελτιώνεται και με τη χρησιμοποίηση διαφόρων αγκυρώσεων. Η άγκυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προστασία των κατολισθήσεων, τότε όμως όταν αυτές κατά τη διάρκεια των εργασιών της αγκύρωσης βρίσκονται σε ηρεμία.

Αναφέρουμε επίσης τη στεγανοποίηση των εδαφών με τη χρησιμοποίηση διαφόρων υλικών και τσιμεντενέσεων και την προστασία των πρανών με τη βοήθεια ατσάλινων πλεγμάτων και εκτοξευόμενου σκυροδέματος που έχει σε κάθε περίπτωση διαφορετικό πάχος, όπως και με συνδυασμό των δύο παραπάνω υλικών.

Τέλος με την τοποθέτηση πυκνών μεταλλικών ατσάλινων κοντών κάθετα στην ολισθαίνουσα μάζα, που να διαπερνούν την επιφάνεια ολίσθησης και να στερεώνονται στο υγιές πέτρωμα.



Σχ. 5 Σταθεροποίηση κατολισθήσεως σε στρωματοειδές πέτρωμα με πρόσθετο βάρος με τη βοήθεια διακοειδώς τοποθετημένα μεταλλικά κοντάρια μήκους 6-12,5 μέτρων και σε αποστάσεις 2 μέτρων (κατά Prinz 1982).

Το συγκεκριμένο πρανές ανήκει στην Περιοδοπική ζώνη η οποία αποτελείτε κυρίως από σχιστόλιθους, φυλλίτες και ειδικότερα πρασινοςχιστόλιθο. Μία κατολίσθηση είναι πιθανή όταν η κλίση των επιφανειών στρώσης έχει την ίδια διεύθυνση με την κλίση της κλιτύος και στη ειδικά όταν έχουμε διάβρωση στη βάση του πρανούς ή αυτό έχει τεχνικώς αποκοπεί όπως συμβαίνει και στην πραγματικότητα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το πρανές να κρατιέται στη θέση του μόνο με τη δύναμη τριβής και να υπάρχει κίνδυνος κατολίσθησης. Ο συντελεστής τριβής είναι τόσο μεγαλύτερος όσο τραχύτερες και ανεπίπεδες είναι οι επιφάνειες στρώσεις. Το εν λόγω πρανές είναι ιδιαίτερα τεκτονισμένο όπως φαίνεται και στον Πίνακα I και λόγω της διάνοιξης του δρόμου η πιθανότητα κατολισθήσεων είναι μεγάλη κατά μήκος των τεκτονικών επιφανειών.

Για να βρούμε αν θα έχουμε ολίσθηση έγινε η δοκιμή Markland και η βελτίωση Hocking. Σύμφωνα με αυτά επειδή οι διευθύνσεις κλίσεως της κύριας διάκλασης και της παράταξης δεν πέφτουν ανάμεσα στη διεύθυνση της γραμμής τομής η ολίσθηση θα προκληθεί κατά μήκος της γραμμής τομής.

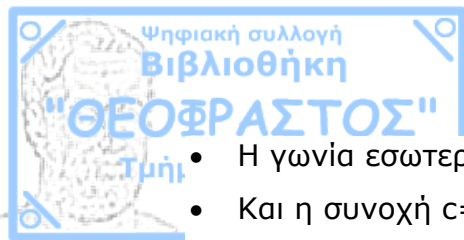
Από τη δοκιμή συμπίεσης του βραχώδους δείγματος υπολογίσαμε τα όρια Atterberg.

Ως όριο υδαρότητας (LL) ορίζεται η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή (ρευστή) κατάσταση με τιμή 25.

Το όριο πλαστικότητας (PL) αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm χωρίς αυτός να θραύεται. Η τιμή αυτού είναι 15.

Ως δείκτης πλαστικότητας ορίζεται η περιοχή ανάμεσα στο όριο υδαρότητας και στο όριο πλαστικότητας όπου το υλικό είναι εύπλαστο $PI=LL-PL=10$.

- Η τιμή του φαινόμενου βάρους (γ) είναι 2,05 0,20 (t/m³)
- Η υγρασία (m) είναι 11 6 % και
- Το πορώδες (n) είναι 32 6 %



- Η γωνία εσωτερικής τριβής είναι $\varphi=34^\circ$
- Και η συνοχή $c=0$

Τις τιμές αυτές τις πήραμε από τον Πίνακα II.

Για να διαπιστώσουμε την ευστάθεια του πρανούς, κάναμε την μέθοδο Fellenious από την οποία βρήκαμε ότι ο συντελεστής ασφαλείας F είναι ίσος με 0,485 πράγμα που σημαίνει ότι το πρανές είναι ασταθές. Συνήθως η ασφάλεια απέναντι σε κατολίσθηση παρουσιάζεται με τιμή $F=1,5$.

Με την μέθοδο της ευστάθειας πρανούς κατά την διεύθυνση κεκλιμένου επιπέδου ολίσθησης συμπεράνουμε ότι το πρανές θα ολισθήσει γιατί η γωνία τριβής του πρανούς (β), είναι μεγαλύτερη από την γωνία εσωτερικής τριβής (φ).

Με την δοκιμή σημειακής φόρτισης υπολογίσαμε τον δείκτη αντοχής σημειακής φόρτισης και την μονοαξονική αντοχή των βραχωδών υλικών. Αφού υπολογίσαμε τη τιμή του φορτίου που προκάλεσε τη θραύση, προσδιορίσαμε τον δείκτη σημειακής φόρτισης (I_s), τον δείκτη σημειακής αντοχής $I_s(50)$ και την μονοαξονική αντοχή C_c . Με βάση τα δεδομένα αυτά κάνουμε την εμπειρική ταξινόμηση της μάζας του πετρώματος κατά C.S.I.R. (Bieniaski 1979).

Ο Bieniaski προτείνει μέθοδο κατατάξεως των βράχων, η οποία μπορεί να έχει εφαρμογή στη διάνοιξη και υποστήριξη των σηράγγων. Σύμφωνα με τη μέθοδο RMR οι ιδιότητες που χρησιμοποιήθηκαν για ταξινόμηση βραχομάζας είναι: ο βαθμός RMR:44 κατηγορία βραχομάζας III.

Χαρακτηρισμός

Βραχομάζας : μέτρια, κατηγορία υποστήριξης: συστηματικές ηλώσεις μήκους 4m με αραίωση 1,5-2m στην οροφή και στους τοίχους και πλέγμα στην οροφή.

- ΒΑΘΙΑ ΦΡΕΑΤΙΑ
- ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΕΙΣ
- ΥΠΟ-ΟΡΙΖΟΝΤΙΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΕΙΣ
- ΣΤΟΕΣ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ
- ΑΝΑΚΟΠΗ ΤΑΦΡΟΥ ΑΠΟΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ
- ΑΝΑΓΛΥΦΑ ΤΑΦΡΩΝ

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ

- ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ Η ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
- ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΔΙΑΡΡΟΗΣ
- ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ
- ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΡΡΟΩΝ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

- Δεμίρη Κ.Α, (1984). Τεχνική Γεωλογία. Μέρος Β' Διερεύνηση των γεωλογικών σχηματισμών. [σελ. 172-174]
- Δημητριάδης Σαράντης, (1988). Εισαγωγή στην πετρολογία των μεταμορφωμένων πετρωμάτων. [σελ. 114]
- Δημόπουλος Γεώργιος, (1998). Ασκήσεις τεχνικής Γεωλογίας και υποδείγματα σύνταξης γεωλογικών μελετών. [σελ. 47, 48, 56, 57]
- Δημόπουλος Γεώργιος, (1986). Τεχνική Γεωλογία. [σελ. 52, 188, 191, 192, 194-197, 207, 208, 284, 285]
- Μουντράκης Δημοσθένης, (1985). Γεωλογία Ελλάδας. [σελ. 22, 51, 52, 55]
- Τεχνική Εταιρία Σωτηρόπουλος και συνεργάτες Ε.Π.Ε.
- Χρηστάρας Βασίλειος, (1998). Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής. [σελ. 24, 25, 74-78]
- Χρηστάρας Βασίλειος, (1992). Στοιχεία εδαφομηχανικής βραχομηχανικής. [σελ. 21, 83-87]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ



