



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΠΟΥ ΣΥΝΕΒΑΛΛΑΝ ΣΤΗΝ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗ ΤΗΣ  
ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΓΙΟΥ ΦΩΚΑ ΤΗΣ ΚΩ**



**ΚΑΝΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**  
**ΓΕΩΛΟΓΟΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

Καθηγητής	<b>Ζ. ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)</b>
Καθηγητής	<b>Γ. ΕΞΑΔΑΚΤΥΛΟΣ</b>
Επικ. Καθηγητής	<b>ΕΜΜ. ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ</b>

**ΧΑΝΙΑ, ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ 2006**

## **ΠΡΟΛΟΓΟΣ**

Οι κατολισθήσεις αποτελούν ένα γεωτεχνικό πρόβλημα συνυφασμένο με την ευστάθεια φυσικών ή τεχνητών πρανών.

Οι παράγοντες που τις προκαλούν είναι αλληλοεξαρτώμενοι και κεντρίζουν το ενδιαφέρον σε γεωλόγους και μηχανικούς που πρέπει να συνθέσουν το πρόβλημα και να τους βαθμονομήσουν.

Τα δεδομένα που επεξεργάστηκα δόθηκαν από τα συμπράττοντα γραφεία μελετών ΓΕΩΣΥΜΒΟΥΛΟΙ Ε.Π.Ε. και Κων. Πετράκη διευκολύνοντας σημαντικά τη μελέτη μου.

Θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Αγιουτάντη Ζαχαρία, Καθηγητή και επιβλέποντα, για τις συμβουλές του και την διόρθωση της μεταπτυχιακής μου εργασίας, καθώς και την Βικάτου Κατερίνα, γεωλόγο, για την υπομονή της και τη βοήθειά της κατά τη χρήση του σχεδιαστικού λογισμικού CAD.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στον Ελληνικό χώρο εκδηλώνονται πολυάριθμες κατολισθήσεις που προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις τόσο οικονομικές όσο και κοινωνικές.

Ενδεικτικά, κατά την μεταπολεμική περίοδο έχουν εκδηλωθεί κατά μήκος του οδικού δικτύου και σε οικιστικούς χώρους πάνω από πεντακόσιες κατολισθήσεις.

Ο μεγάλος αριθμός των αιτίων εκδήλωσής τους και η μοναδικότητα της κάθε κατολίσθησης καθιστούν δύσκολη την ερμηνεία του μηχανισμού της και του τρόπου αντιμετώπισής της.

Στην έρευνα που πραγματοποιήθηκε για συγκεκριμένη κατολίσθηση στην Ανατολική Κω συλλέχθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία και αξιολογήθηκαν για την πληρέστερη ερμηνεία της συμπεριφοράς της.

Διαμορφώθηκαν μοντέλα εξέλιξής της στο χρόνο με πιθανολογικά σενάρια ανάλογα με τις μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών και προτείνονται μέτρα αντιμετώπισής της.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Θέμα	Σελ.
<b>Πρόλογος</b> .....	ii
<b>Περίληψη</b> .....	iii
<b>Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή</b> .....	1
<b>Κεφάλαιο 2. Ταξινόμηση κατολισθήσεων και αίτια εκδήλωσής τους</b> .....	3
2.1 Ταξινόμηση κατά Varnes .....	3
2.2 Ταξινόμηση κατά Zaruba - Mencl .....	4
2.3 Παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση των κατολισθήσεων .....	4
2.3.1 Παράγοντες αύξησης της διατμητικής τάσης .....	4
2.3.2 Παράγοντες μείωσης της διατμητικής αντοχής .....	6
<b>Κεφάλαιο 3. Μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας πρηνών</b> .....	7
3.1 Γραμμικές μέθοδοι .....	8
3.1.1 Πρηνή μεγάλου ύψους με ομοιόμορφη κλίση .....	8
3.1.2 Ανάλυση σφηνοειδούς τεμάχους .....	10
3.1.3 Μέθοδος $\Phi_u = 0$ (αστράγγιστης αντοχής) .....	12
3.1.4 Μέθοδος Fellenius .....	13
3.2 Μη γραμμικές μέθοδοι .....	14
3.2.1 Μέθοδος Bishop .....	14
3.2.2 Μέθοδος Janbu .....	16
3.2.3 Μέθοδος Spencer .....	18
3.2.4 Μέθοδος Morgenstern and Price .....	19
3.3 Αριθμητικές μέθοδοι (Πεπερασμένα στοιχεία) .....	20
<b>Κεφάλαιο 4. Περιγραφή και χαρακτηριστικά περιοχής κατολίσθησης</b> ...	22
4.1 Θέση της κατολίσθησης και καταστροφές που έχει προκαλέσει .....	22
4.2 Γεωμορφολογία .....	22
4.3 Λιθολογικοί σχηματισμοί .....	26
4.4 Γεωτεκτονική εξέλιξη .....	32
4.4.1 Γεωτεκτονικές ενότητες .....	32
4.4.2 Γεωλογική ιστορία .....	35
4.5 Τεκτονικά στοιχεία .....	36
4.6 Κλιματολογικά στοιχεία .....	37
4.7 Υδρογεωλογικά στοιχεία .....	38
4.8 Σεισμολογικά στοιχεία .....	40
<b>Κεφάλαιο 5. Επεξεργασία των δεδομένων της κατολίσθησης</b> .....	45
5.1 Υπόγεια υδροφορία και διαπερατότητες στρωμάτων .....	45
5.1.1 Δοκιμές εισπίεσεων .....	46
5.2 Προσδιορισμός επιφανειών ολίσθησης με τη βοήθεια αποκλισιομέτρων ...	50
5.3 Ανάλυση φυσικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων αντοχής .....	53
5.3.1 Φυσικά χαρακτηριστικά των στρωμάτων .....	53
5.3.2 Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης SPT .....	58
5.3.3 Αποτελέσματα φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT .....	60
5.3.4 Μηχανικές ιδιότητες στρωμάτων .....	69
<b>Κεφάλαιο 6. Κατασκευή μοντέλου κατολίσθησης</b> .....	72
6.1 Κατασκευή γεωλογικών τομών στην περιοχή έρευνας .....	72
6.2 Μορφοδυναμικές ζώνες κατά μήκος κατολίσθησης .....	75
6.3 Λογισμικό πακέτο Slope/w έκδοση 5 .....	76
6.4 Χρήση λογισμικού για την έρευνα κατολίσθησης .....	78
6.4.1 Σχεδιασμός γεωμετρίας προβλήματος .....	78
6.4.2 Χαρακτηριστικά ανάλυσης .....	79
6.4.3 Καθορισμός ιδιοτήτων εδαφών .....	81



6.4.4 Σχεδιασμός.....	82
6.4.5 Προεπισκόπηση προτιμήσεων .....	83
6.4.6 Ορισμός αξόνων .....	84
6.4.7 Εμφάνιση ιδιοτήτων εδαφών .....	84
6.4.8 Ετικέτες εδαφών.....	85
6.4.9 Ετικέτα αναγνώρισης προβλήματος.....	85
6.4.10 Επαλήθευση δεδομένων προβλήματος.....	86
6.4.11 Επίλυση προβλήματος .....	87
6.4.12 Απεικόνιση αποτελεσμάτων .....	87
6.5 Μοντέλα εξέλιξης της κατολίσθησης στο χρόνο.....	94
6.5.1 Μοντέλο 1.....	95
6.5.2 Μοντέλο 2.....	98
6.5.3 Μοντέλο 3.....	102
6.5.4 Μοντέλο 4.....	104
<b>Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα και προτάσεις.....</b>	<b>108</b>
<b>Βιβλιογραφία .....</b>	<b>110</b>
<b>Παράρτημα Α: Τεκτονικά διαγράμματα .....</b>	<b>113</b>
Σχήμα Α.1 Στερεογραφική απεικόνιση πόλων της σχιστότητας φυλλιτών.....	114
Σχήμα Α.2 Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων σχιστότητας φυλλιτών .....	114
Σχήμα Α.3 Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων σχιστότητας φυλλιτών .....	115
Σχήμα Α.4 Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων σχιστότητας φυλλιτών .....	115
Σχήμα Α.5 Στερεογραφική απεικόνιση πόλων των επιπ. ασυνεχ. φυλλιτών ..	116
Σχήμα Α.6 Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων ασυνεχειών φυλλιτών .....	116
Σχήμα Α.7 Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων ασυνεχειών φυλλιτών .....	117
Σχήμα Α.8 Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων ασυνεχειών φυλλιτών .....	117
Σχήμα Α.9 Στερεογραφική απεικόνιση πόλων επ. ασυνεχ. Μ. ασβεστολίθου.	118
Σχήμα Α.10 Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου.	118
Σχήμα Α.11 Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου ...	119
Σχήμα Α.12 Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου. ..	119
Σχήμα Α.13 Στερεογραφική απεικόνιση πόλων επ. στρώσης Ασβεστολίθου ...	120
Σχήμα Α.14 Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων στρώσης Ασβεστολίθου.....	120
Σχήμα Α.15 Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων στρώσης Ασβεστολίθου .....	121
Σχήμα Α.16 Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων στρώσης Ασβεστολίθου .....	121
<b>Παράρτημα Β: Διαγράμματα μετρήσεων αποκλισιομέτρων .....</b>	<b>122</b>
Σχήμα Β.1 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ1 κατά τη διεύθυνση Β - Ν....	123
Σχήμα Β.2 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ1 κατά τη διεύθυνση Α - Δ....	124
Σχήμα Β.3 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ3 κατά τη διεύθυνση Β - Ν....	125
Σχήμα Β.4 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ3 κατά τη διεύθυνση Α - Δ....	126
Σχήμα Β.5 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ4 κατά τη διεύθυνση Β - Ν....	127
Σχήμα Β.6 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ4 κατά τη διεύθυνση Α - Δ....	128
Σχήμα Β.7 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ5 κατά τη διεύθυνση Β - Ν....	129
Σχήμα Β.8 Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ5 κατά τη διεύθυνση Α - Δ....	130
<b>Παράρτημα Γ: Μητρώα γεωτρήσεων και φρεάτων .....</b>	<b>131</b>
Σχήμα Γ.1 Μητρώο Γεώτρησης Γ1. ....	132
Σχήμα Γ.2 Μητρώο Γεώτρησης Γ2 .....	133
Σχήμα Γ.3 Μητρώο Γεώτρησης Γ3 .....	134
Σχήμα Γ.4 Μητρώο Γεώτρησης Γ4 .....	135
Σχήμα Γ.5 Μητρώο Γεώτρησης Γ5 .....	136
Σχήμα Γ.6 Μητρώο Γεώτρησης Γ6 .....	137
Σχήμα Γ.7 Μητρώο Γεώτρησης Γ7 .....	138
Σχήμα Γ.8 Μητρώο Γεώτρησης Γ8 .....	139
Σχήμα Γ.9 Μητρώο Φρέατος Φ1 .....	140

Σχήμα Γ.10 Μητρώο Φρέατος Φ2.....	141
Σχήμα Γ.11 Μητρώο Φρέατος Φ3.....	142
Σχήμα Γ.12 Μητρώο Φρέατος Φ4.....	143
Σχήμα Γ.13 Μητρώο Φρέατος Φ5.....	144
Σχήμα Γ.14 Μητρώο Φρέατος Φ6.....	145

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ευστάθεια των πρανών αποτελεί έναν κρίσιμο παράγοντα για την κατασκευή τεχνικών έργων. Οι μετακινήσεις των πρανών κοστίζουν οικονομικά στην ανθρωπότητα περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο, μεμονωμένο, γεωλογικό φαινόμενο.

Έχει επικρατήσει ανάμεσα στους γεωλόγους και τους μηχανικούς η χρησιμοποίηση του όρου “Κατολίσθηση” για την περιγραφή του φυσικού φαινομένου που συνίσταται στη μετακίνηση προς τα κάτω και προς τα έξω των υλικών που δομούν τα πρανή, των πετρωμάτων, των εδαφών, των μεταφερθέντων υλικών ή του συνδυασμού τους (Eckel, 1958).

Ο όρος αυτός όμως περιλαμβάνει και μετακινήσεις μαζών που δεν έχουν σχέση με την ολίσθηση. Ο Schuster (1978) προτείνει τον περιορισμό του όρου “Κατολίσθηση” στην ομάδα εκείνη των μετακινήσεων των πρανών όπου λαμβάνει χώρα θραύση, κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων καθορισμένων επιφανειών.

Μια σημαντική φάση για την αναγνώριση του φαινομένου είναι η γεωτεχνική έρευνα στην ύπαιθρο για να επαληθευτούν στο χώρο όσες πληροφορίες έχουν συγκεντρωθεί από μελέτες και χάρτες. Περιλαμβάνει λεπτομερή γεωτεχνική χαρτογράφηση της ευρύτερης περιοχής καθώς και τεκτονική ανάλυση με έμφαση στην καταγραφή της θέσης και του προσανατολισμού, των ρωγμών, των ρηγμάτων, της σχιστότητας και των επιπέδων στρώσης. Οι εμφανίσεις των πετρωμάτων πρέπει να εξεταστούν και να συσχετιστούν με την τεκτονική, τη λιθολογία, τα πάχη των στρωμάτων και την τοπογραφία.

Η εκτέλεση δειγματοληπτικών γεωτρήσεων είναι το μοναδικό μέσο ποσοτικοποίησης των πληροφοριών για τις λιθολογικές και γεωτεχνικές ιδιότητες του εδάφους. Στόχος της διενέργειάς τους είναι να αναγνωριστούν οι ασθενείς σχηματισμοί, ο υδροφόρος ορίζοντας, τα ανθεκτικά πετρώματα και να προσδιοριστούν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των σχηματισμών με εργαστηριακές μεθόδους.

Οι διάφορες αναλύσεις ευστάθειας καθορίζουν κάτω από ποιές συνθήκες, ένα συγκεκριμένο πρανές θα παραμείνει σταθερό. Η ευστάθεια αυτή εκφράζεται με τον συντελεστή ασφάλειας FS. Η δυνατή ευστάθεια αυξάνει καθώς η τιμή του FS αυξάνει πέρα από τη μονάδα. Αστάθεια συμβαίνει όταν αναπτυχθούν επιφάνειες ολίσθησης και εκδηλωθούν κινήσεις μέσα στη μάζα του εδάφους ή του πετρώματος.

Οι πιο συνηθισμένοι παράγοντες που συμβάλλουν στην εκδήλωση αστάθειας στα εδάφη είναι η χαμηλή διατμητική αντοχή, η ανάπτυξη ρωγμών και η υψηλή περιεκτικότητα των σχηματισμών σε νερό.

Οι μέθοδοι οριακής ισορροπίας που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση διακρίνονται στις γραμμικές και τις μη γραμμικές. Η βασική παραδοχή σε αυτές τις μεθόδους είναι ότι ικανοποιείται το κριτήριο θραύσης κατά Coulomb κατά μήκος της πιθανολογούμενης επιφάνειας θραύσης. Έτσι θεωρείται μια επιφάνεια αστοχίας του πρανούς και ξεκινώντας από γνωστές ή υποθετικές τιμές των δυνάμεων που ενεργούν πάνω σε αυτή, υπολογίζεται η διατμητική τάση που απαιτείται για να ισορροπεί το πρανές. Η διατμητική αυτή τάση συγκρίνεται τότε με την εκτιμώμενη ή διαθέσιμη διατμητική αντοχή του εδάφους, ώστε να υπάρξει μια ένδειξη του συντελεστή ασφαλείας. Ο συντελεστής ασφαλείας FS είναι ο συντελεστής εκείνος κατά τον οποίο πρέπει να ελαττωθούν οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής ( $c$ ,  $\phi$ ), ώστε να ισορροπεί το πρανές κάτω από μια κατάσταση οριακής ισορροπίας κατά μήκος ορισμένης επιφάνειας ολίσθησης (Morgenstern – Sangrey, 1978).

Ο συντελεστής ασφαλείας ορίζεται ως εξής:

$$FS = \text{Διαθέσιμη διατμητική αντοχή} / \text{Αναπτυσσόμενη διατμητική τάση}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας χρησιμοποιείται για να ληφθούν υπόψη αβεβαιότητες όπως:

- Αβεβαιότητα των παραμέτρων αντοχής λόγω μεταβολής τους.
- Αβεβαιότητα ως προς τη φόρτιση του πρανούς.
- Αβεβαιότητα πραγματικών συνθηκών στο πρανές.
- Πιθανότητα οι παραμορφώσεις να υπερβαίνουν τα αποδεκτά όρια.

Στα πλαίσια της έρευνας της κατολίσθησης στην Ανατολική Κω επί της οδού που συνδέει την περιοχή Αγίου Φωκά με την περιοχή Θέρμες περιγράφονται αναλυτικά τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής και υπολογίζονται οι φυσικές παράμετροι και τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών βάσει των οποίων γίνεται εκτίμηση των συντελεστών ασφαλείας με τη βοήθεια του λογισμικού πακέτου Geoslope.

Με τη βοήθεια δεδομένων αποκλισιομέτρων κατασκευάστηκαν τομές των κυριότερων επιφανειών ολίσθησης και διαμορφώθηκαν μοντέλα εξέλιξης της στο χρόνο με πιθανολογικά σενάρια και μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών της.

Τέλος, αναφέρονται προτάσεις αντιμετώπισης του φαινομένου λόγω των προβλημάτων που δημιουργεί στο οδικό δίκτυο της νήσου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΙΤΙΑ ΕΚΔΗΛΩΣΗΣ ΤΟΥΣ

Κατολίσθηση ονομάζεται κάθε αλλαγή, μεγάλη ή μικρή της επιφάνειας μιας κλιτύος, που χαρακτηρίζεται από μετακίνηση υλικού με ρήξη ή όχι της συνέχειάς της, αργή ή απότομη, που προέρχεται από δυνάμεις βαρύτητας και οφείλεται σε φυσικά ή τεχνητά αίτια.

Για τις κατολίσθήσεις έχουν προταθεί πολλές ταξινομήσεις ανάλογα με τους παράγοντες στους οποίους δίνουν ιδιαίτερη σημασία και έμφαση. Δύο απ' τις πληρέστερες αναλύονται στις ενότητες που ακολουθούν (Λέκκας, 1996).

#### 2.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ VARNES

Στην ταξινόμηση αυτή λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες, όπως το είδος της κίνησης, το είδος των υλικών που μετασχηματίστηκαν, η μορφή της κίνησης, κλπ. Διακρίνονται τα εξής είδη (Λέκκας, 1996):

- 1) Καταπτώσεις. Πρόκειται για αποσπάσεις μαζών διαφόρων μεγεθών από απότομα πρηνή και στη συνέχεια μετακίνησή τους λόγω βαρύτητας με τη μορφή ελεύθερης πτώσης, αναπηδήματος και κύλισης.
- 2) Ανατροπές. Είναι πτώσεις μαζών, στις οποίες η αρχική κίνηση περιλαμβάνει μία ανατροπή, δηλαδή μια περιστροφή γύρω από έναν άξονα, ο οποίος βρίσκεται κάτω από τη μάζα ή στο κάτω μέρος της.
- 3) Ολισθήσεις. Πρόκειται για μετακινήσεις που συνοδεύονται από θραύση κατά μήκος μιας ή περισσοτέρων επιφανειών. Διακρίνονται δύο τύποι, ανάλογα με το αν η μετακινούμενη μάζα έχει υποστεί μικρές ή μεγάλες παραμορφώσεις. Οι κινήσεις είναι περιστροφικές ή επίπεδες.
- 4) Ροές. Είναι γρήγορες ή αργές μετακινήσεις χαλαρών υλικών με ή χωρίς παρουσία υγρής φάσης.
- 5) Πλευρικές εκτάσεις. Είναι εκείνες στις οποίες, η κίνηση που επικρατεί είναι η πλευρική διάταση που διευκολύνεται από διατμητικές ή εφελκυστικές ρωγμές.
- 6) Σύνθετες μετακινήσεις πρηνών. Αποτελούν συνδυασμό των μετακινήσεων που περιγράφηκαν πιο πάνω είτε στα διάφορα τμήματα της μετακινούμενης μάζας είτε στα διάφορα στάδια της εξέλιξης της μετακίνησης.

## **2.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ ZARUBA - MENCL**

Στην ταξινόμηση αυτή λαμβάνονται υπόψη κυρίως τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων. Διακρίνονται τα εξής είδη (Λέκκας, 1996):

- 1) Μετακινήσεις επιφανειακών αποθέσεων.
  - Ερπυσμός κορημάτων και κάμψεις κεφαλών στρωμάτων.
  - Ολισθήσεις του επιφανειακού μανδύα αποσάθρωσης.
  - Ροές γαιών.
  - Ροές κορημάτων.
- 2) Μετακινήσεις σε αργιλικά πετρώματα.
  - Ολισθήσεις κατά μήκος κυλινδρικών επιφανειών ολίσθησης.
  - Ολισθήσεις κατά μήκος σύνθετων επιφανειών.
  - Μετακίνηση πάνω σε πλαστικά πετρώματα.
- 3) Ολισθήσεις συμπαγών πετρωμάτων.
  - Ολισθήσεις κατά μήκος των υφιστάμενων ασυνεχειών.
  - Ολισθήσεις βαρύτητας.
  - Πτώσεις βράχων.
- 4) Ειδικές περιπτώσεις μετακινήσεων.
  - Εδαφική ροή.
  - Ροή αργίλων.
  - Ημιυγρή ολίσθηση.

## **2.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΣΥΜΒΑΛΛΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΔΗΛΩΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΕΩΝ**

Για την εκδήλωση ενός κατολισθητικού φαινομένου συνήθως απαιτείται η συνύπαρξη πολλών παραγόντων, που έχουν σχέση με τις γεωλογικές, γεωτεχνικές, γεωμορφολογικές και περιβαλλοντολογικές συνθήκες καθώς και τις ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες. Ανάλογα τον τρόπο λειτουργίας τους ταξινομούνται ως εξής (Λέκκας, 1996):

### ***2.3.1 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ***

Οι παράγοντες είναι οι εξής:

- 1) Αφαίρεση υποστήριξης. Είναι δυνατό να συμβεί είτε στο πόδι της ασταθούς μάζας, είτε πλευρικά και οφείλεται στα παρακάτω αίτια:
  - Τη διαβρωτική ενέργεια του νερού.
  - Τις υποσκαφές των ακτών, λόγω δράσης κυμάτων ή παλιρροιών.

- Τις υποσκαφές λόγω μετακίνησης παγετώνων.
  - Τις υποσκαφές λόγω δράσης ανέμων.
  - Την ύπαρξη ρηγμάτων και αφαίρεση υποστήριξης στο ρηξιτέμαχος που ανυψώθηκε.
  - Τις υποσκαφές και αφαίρεση υλικών λόγω λατομικών και μεταλλευτικών έργων.
  - Την αφαίρεση έργων υποστήριξης.
- 2) Πλευρική πίεση. Οι πλευρικές τάσεις προστίθενται στις διατμητικές τάσεις όταν συντρέχουν οι παρακάτω λόγοι:
- Ψύξη του νερού στις κοιλότητες και στις ρωγμές και αύξηση του όγκου του κατά την συμπαγοποίηση.
  - Διόγκωση πετρωμάτων λόγω εμποτισμού τους από το κατεισδύον νερό.
  - Κινητοποίηση παραμενουσών τάσεων μέσα σε μάζες γεωλογικών σχηματισμών.
- 3) Πρόσθετη φόρτιση. Γρήγορες επιφορτίσεις αυξάνουν τις πιθανότητες εκδήλωσης κατολίσθησης. Αυτές πραγματοποιούνται όταν έχουμε:
- Μεταφορά και απόθεση υλικών λόγω επιφανειακού ύδατος.
  - Μεταφορά και απόθεση υλικών λόγω βαρύτητας.
  - Αύξηση της μάζας του ύδατος που κατεισδύει λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.
  - Κατασκευή μεγάλων τεχνικών έργων.
  - Απόρριψη αδρανών υλικών ή συγκέντρωση μεταλλευμάτων.
- 4) Παροδικές γήινες τάσεις. Μπορεί να οφείλονται σε σεισμικές κινήσεις ή εκρήξεις σε λατομεία κλπ.
- 5) Ηφαιστειακή δραστηριότητα. Κατολισθήσεις μέσα στον ηφαιστειακό κώνο, την καλδέρα και την ευρύτερη περιοχή λόγω μετακινήσεων μαζών.
- 6) Αύξηση κλίσης πρηνούς. Οφείλεται στην διαδικασία εξέλιξης του αναγλύφου της γης και την ανθρώπινη παρέμβαση. Οι διεργασίες αύξησης της κλίσης είναι:
- Οι ενδογενείς διεργασίες, πολύ αργές, που τείνουν να μεταβάλλουν την επιφάνεια της γης σε τεκτονικά ενεργές περιοχές.
  - Η διάβρωση λόγω της δράσης του νερού στη βάση μιας ασταθούς μάζας.
  - Η αποψίλωση της βλάστησης και η αύξηση της διάβρωσης στο πρηνές.

### **2.3.2 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

Οι παράγοντες είναι οι εξής:

- 1) Φυσικοχημικές διεργασίες – αποσάθρωση. Μεταβολή και αλλοίωση της εσωτερικής δομής των πετρωμάτων. Αυτή πραγματοποιείται με τους παρακάτω τρόπους:
  - Με ενυδάτωση αργιλικών ορυκτών και αποτέλεσμα τη μείωση της συνοχής ή τη διόγκωση.
  - Με την ξήρανση των αργίλων και τη δημιουργία ρωγμών.
  - Την φυσική αποσύνθεση κοκκωδών πετρωμάτων λόγω κυκλοφορίας νερού.
  - Τη διάλυση του συνδετικού υλικού λόγω της παρουσίας νερού.
- 2) Παρουσία νερού. Προκαλεί μείωση των τριβών μεταξύ των τμημάτων του πετρώματος και των ενεργών τάσεων.
- 3) Δράση χλωρίδας – πανίδας. Η ανάπτυξη του ριζικού συστήματος μειώνει τη διατμητική αντοχή πετρωμάτων, ενώ οι τάσεις λόγω των ανέμων μεταφέρονται δια μέσου των κορμών. Οι ζωικοί οργανισμοί επηρεάζουν λόγω δημιουργίας πυκνού επίγειου συστήματος κενών.
- 4) Γεωλογική δομή. Μειωμένες τιμές λόγω των χαρακτηριστικών των πετρωμάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:
  - Πρωτογενώς η σύσταση και η υφή των πετρωμάτων και δευτερογενώς η μεταβολή τους.
  - Η γεωμετρία πρωτογενών ασυνεχειών (στρώση, ασυμφωνία, πλευρικές μεταβάσεις) σε συνάρτηση με τον προσανατολισμό και τη γεωμετρία του πρηνούς.
  - Η ετερογένεια υλικών με εναλλαγές ψαθυρών με συμπαγή και περατών με αδιαπέρατα πετρώματα.
  - Η γεωμετρία δευτερογενών ασυνεχειών (ρήγματα, διακλάσεις, σχιστότητα, πτυχώσεις κλπ.) σε συνάρτηση με τη γεωμετρία του πρηνούς.
  - Ο προοδευτικός ερπυσμός λόγω της καταστροφής της αρχικής κατάστασης των πετρωμάτων.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΠΡΑΝΩΝ

Η ευστάθεια των πρανών μελετάται συνήθως με τη χρήση μεθόδων οριακής ισορροπίας. Αποτέλεσμα της εφαρμογής τους είναι ο προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή ασφαλείας, FS, για την δυσμενέστερη περίπτωση επιφάνειας ολίσθησης.

Η ιδέα της οριακής ισορροπίας χρησιμοποιείται εκτεταμένα στη συμβατική ανάλυση ευστάθειας εδαφικών πρανών. Η προσέγγιση αυτή θεωρεί μια συνεχή επιφάνεια ολίσθησης, κατά μήκος της οποίας το έδαφος συμπεριφέρεται ως ένα συμπαγές σώμα που ικανοποιεί το κριτήριο του Mohr-Coulomb. Η μέθοδος αποδείχτηκε υψηλής πρακτικής σημασίας ειδικά σαν ένα σχεδιαστικό εργαλείο για εδαφικά πρανή που παρουσιάζουν τέλεια πλαστική συμπεριφορά. Όταν εφαρμόζεται σε ψαθυρά εδάφη, η ίδια μέθοδος μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα αποτελέσματα.

Με βάση τον Nash (1987), οι μέθοδοι ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

1. Τις μεθόδους εκείνες στις οποίες η επίλυση γίνεται με εξισώσεις πρώτου βαθμού με μονοσήμαντη τιμή του αγνώστου και αναφέρονται ως γραμμικές μέθοδοι. Αυτές είναι:
  - η ανάλυση πρανούς μεγάλου ύψους με ομοιόμορφη κλίση
  - η ανάλυση σφηνοειδούς τεμάχους
  - η μέθοδος  $\Phi_u = 0$  (αστράγγιστης αντοχής)
  - η μέθοδος Fellenius
2. Τις μεθόδους όπου η λύση προκύπτει από εξισώσεις με δύο αγνώστους και με διαδοχικές επαναλήψεις για διάφορες τιμές του β' αγνώστου, με σκοπό την προσέγγιση του συντελεστή ασφαλείας και αναφέρονται ως μη γραμμικές μέθοδοι. Αυτές είναι:
  - η μέθοδος Bishop
  - η απλοποιημένη μέθοδος Janbu
  - η μέθοδος Spencer
  - η μέθοδος Morgenstern and Price

Τα τελευταία χρόνια έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι κατά την εφαρμογή των οποίων υπολογίζονται σε κρίσιμες θέσεις οι μέγιστες διατμητικές τάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τις αντίστοιχες αντοχές των γεωυλικών.

Ευρύτατα διαδεδομένες είναι στις μέρες μας οι αριθμητικές μέθοδοι επίλυσης για προβλήματα ελαστικότητας – πλαστικότητας σε ομογενή, ανομοιογενή, συνεχή, ασυνεχή, ισότροπα και ανισότροπα υλικά. Η πλέον εφαρμόσιμη είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Αγιουτάντης, 2002).

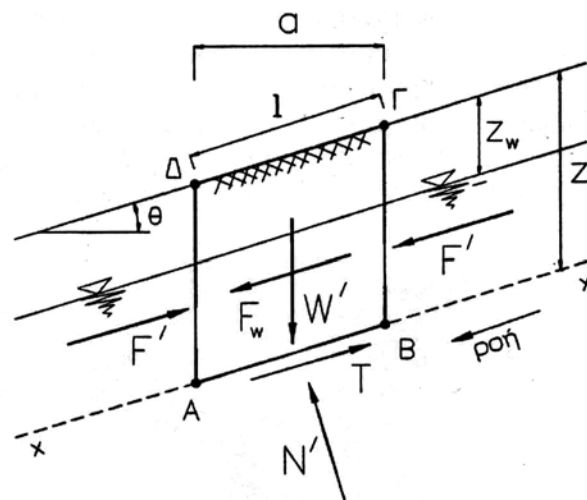
### 3.1 ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

#### 3.1.1 ΠΡΑΝΗ ΜΕΓΑΛΟΥ ΥΨΟΥΣ ΜΕ ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΚΛΙΣΗ

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται ένα πρανές μεγάλου μήκους με ομοιόμορφη κλίση ( $\theta$ ). Υπάρχει μόνιμη υδατική ροή με διεύθυνση παράλληλη προς το πρανές και ελεύθερη επιφάνεια ροής σε βάθος  $z_w$  (Καββαδάς, 2000). Λόγω του μεγάλου μήκους του πρανούς η πιθανή επιφάνεια ολίσθησης είναι παράλληλη με την επιφάνεια του πρανούς. Για το λόγο αυτό εξετάζεται η εντατική κατάσταση σε ένα επίπεδο ( $x$ ) παράλληλο με την επιφάνεια σε βάθος  $z$ . Στο εδαφικό τμήμαχος (ΑΒΓΔ) ασκούνται οι ενεργές δυνάμεις που είναι σημειωμένες. Το ενεργό βάρος του τεμάχους είναι:

$$W' = a [z_w \gamma + (z - z_w) \gamma'] \quad (3.1)$$

όπου  $\gamma$  το ολικό ειδικό βάρος και  $\gamma'$  το υπό άνωση ειδικό βάρος του εδάφους.



**Σχήμα 3.1** Πρανές μεγάλου μήκους με υδατική ροή (Καββαδάς, 2000).

Η δύναμη διήθησης είναι ίση με  $F_w = (i \gamma_w) a z$ , όπου  $i = \sin \theta$  είναι η υδραυλική κλίση. Λόγω συμμετρίας, οι δυνάμεις  $F'$  που ασκούνται στις πλευρές του τεμάχους είναι ίσες και αντίθετες. Η στατική του ισορροπία του τεμάχους δίνει:

$$T = F_w + W' \sin \theta = a (z \gamma + z_w \gamma_w) \sin \theta \quad (3.2)$$

$$N' = W' \cos \theta = a (z \gamma' + z_w \gamma_w) \cos \theta \quad (3.3)$$

Η ορθή ενεργός τάση ( $\sigma'$ ) και η διατμητική τάση ( $\tau$ ) στο επίπεδο ( $xx$ ) είναι:

$$\sigma' = N' / l = (z\gamma' + z_w \gamma_w) \cos^2 \theta \quad (3.4)$$

$$\tau = T / l = (z\gamma + z_w \gamma_w) \sin \theta \cos \theta \quad (3.5)$$

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$FS = \tau_u / \tau = \frac{c + \sigma' \tan \varphi}{\tau} = \frac{\frac{c}{\cos^2 \theta} + (z\gamma' + z_w \gamma_w) \tan \varphi}{(z\gamma + z_w \gamma_w) \tan \theta} \quad (3.6)$$

Ειδικότερα ο συντελεστής ασφαλείας έχει ως εξής:

### 1) Πρανές ξηρής άμμου.

Στην περίπτωση αυτή ισχύει ( $c = 0$ ,  $z_w = 0$ ,  $\gamma = \gamma'$ ) και ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$FS = \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} \quad (3.7)$$

Το πρανές δηλαδή αστοχεί όταν η κλίση του είναι ίση με τη γωνία τριβής της άμμου.

### 2) Πρανές άμμου με ελεύθερη επιφάνεια ροής στην επιφάνεια του εδάφους.

Στην περίπτωση αυτή ισχύει ( $c = 0$ ,  $z_w = 0$ ) και ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$FS = \frac{\gamma' \tan \varphi}{\gamma \tan \theta} \quad (3.8)$$

Η ύπαρξη ροής μειώνει το συντελεστή του πρανούς επειδή  $\gamma' < \gamma$ .

Το πρανές αστοχεί, όταν η γωνία κλίσης γίνει:

$$\theta = \arctan \left( \frac{\gamma'}{\gamma} \tan \varphi \right) < \varphi \quad (3.9)$$

### 3) Πρανές άμμου με ροή.

Στην περίπτωση αυτή ισχύει ( $c = 0$ ) και ο συντελεστής ασφαλείας είναι:

$$FS = \frac{z\gamma' + z_w \gamma_w}{z\gamma + z_w \gamma_w} \cdot \frac{\tan \varphi}{\tan \theta} \quad (3.10)$$

- Όταν  $\tan \theta < \frac{\gamma'}{\gamma} \tan \varphi$ , το πρανές δεν αστοχεί.

- $$z_{cr} = z_w \frac{\gamma_w (\tan \varphi - \tan \theta)}{\gamma \tan \theta - \gamma' \tan \varphi} \quad (3.11)$$

- 4) Πρανές συνεκτικού υλικού με ροή.

$$FS = \frac{\frac{c}{\cos^2 \theta} + (z\gamma' + z_w \gamma_w) \tan \phi}{(z\gamma + z_w \gamma_w) \tan \theta} \quad (3.12)$$
$$z_{cr} = \frac{\frac{c}{\cos^2 \theta} + z_w \gamma_w (\tan \phi - \tan \theta)}{\gamma \tan \theta - \gamma' \tan \phi} \quad (3.13)$$

10

$$\text{Το βάρος της σφήνας είναι ίσο με: } W = \frac{1}{2} \gamma \cdot (BC) \cdot \frac{H}{\sin \beta} \sin(\beta - \theta)$$

Η υπάρχουσα ασφάλεια εκτιμάται εάν συγκριθεί η κατά μήκος της επιφάνειας BC πραγματική αντοχή προς την αντοχή που απαιτείται για την ισορροπία της σφήνας, σύμφωνα με το δυναμοπολύγωνο. Για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να είναι γνωστές οι τιμές των παραμέτρων αντοχής  $\phi$  και  $c$  κατά μήκος της BC.

Τα βήματα της επίλυσης είναι (Τσότσος, 1991):

- Επιλέγεται μια αρχική τιμή της γωνίας τριβής,  $\phi_d$ , κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης έτσι ώστε  $\phi_d < \phi$  και από το δυναμοπολύγωνο υπολογίζεται η απαιτούμενη τιμή της συνοχής  $c_d$ :

$$c_d = W \frac{\sin(\theta - \phi_d)}{\cos \phi_d} \quad (3.14)$$

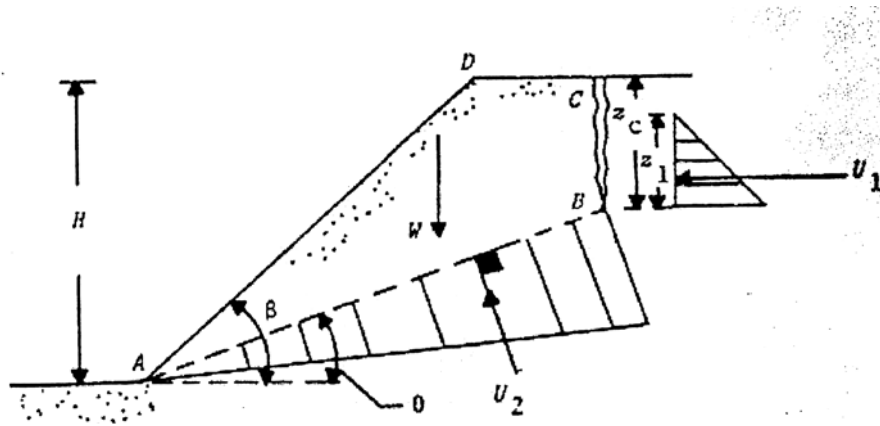
- Εκτιμώνται οι τιμές των προσωρινών επιμέρους συντελεστών ασφαλείας:

$$F_\phi = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_d}, \quad F_c = \frac{c}{c_d} \quad (3.15)$$

Ως αρχική τιμή της δοκιμαστικής γωνίας τριβής χρησιμοποιείται η τιμή  $\phi_d = \phi$  οπότε  $F_\phi = 1$  και εάν προκύπτει ο  $F_c$  μεγαλύτερος του 1, γίνεται μια πρώτη εκτίμηση κατά πόσον η σφήνα είναι σταθερή ή όχι.

- Η υπολογιστική διαδικασία επαναλαμβάνεται με στόχο να καταλήξει σε ίσες τιμές των συντελεστών ασφαλείας. Ο γενικός συντελεστής ασφαλείας,  $F$ , είναι ίσος με την κοινή τιμή τους.

Στη φύση το πρόβλημα διαφοροποιείται από την ανάπτυξη μεγάλου βάθους ρωγμών στη άνω ελεύθερη επιφάνεια. Στη σφήνα ABCD ενεργούν οι δυνάμεις (Σχήμα 3.3):



**Σχήμα 3.3** Πρανές περιορισμένου ύψους με βαθιές ρωγμές (Τσότσος, 1991).

- το βάρος της σφήνας  $W$
- η κάθετη στην κατακόρυφη ρωγμή υδροστατική δύναμη  $U_1$   

$$U_1 = \frac{1}{2} \gamma_w z_1^2$$
- η κάθετη στο επίπεδο ολίσθησης δύναμη  $U_2$   

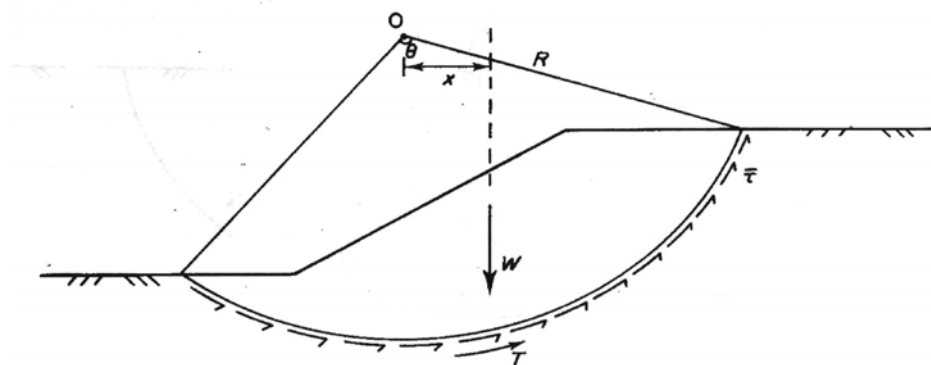
$$U_2 = \frac{1}{2} \gamma_w z_1 \cdot (AB)$$
- η κινούσα δύναμη  $T$ , ισούται με  $T = W \sin \theta + U_1 \cos \theta$
- η μέγιστη αντίσταση με  $S$ , ισούται με  $S = c (AB) + (W \cos \theta + U_1 \sin \theta - U_2) \tan \phi$

Ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με:

$$FS = \frac{S}{T} = \frac{c \frac{(H - z_c)}{\cos \theta} + (W \cos \theta - U_1 \sin \theta - U_2) \tan \phi}{(W \sin \theta + U_1 \cos \theta)} \quad (3.16)$$

### 3.1.3 ΜΕΘΟΔΟΣ $\Phi_u = 0$ (αστράγγιστης αντοχής)

Είναι η απλούστερη μέθοδος με κυκλική επιφάνεια θραύσης (Nash, 1987). Η θραύση υποτίθεται ότι γίνεται με περιστροφή ενός τμήματος του εδάφους κατά μήκος μιας κυλινδρικής επιφάνειας στην οποία η αντοχή είναι ίση με την αστράγγιστη αντοχή  $c_u$  του εδάφους (Σχήμα 3.4).



**Σχήμα 3.4** Μέθοδος  $\Phi_u = 0$  (Nash, 1987).

Οι ροπές ως προς σημείο O είναι:

$$\text{Ροπή ανατροπής} = Wx \text{ και Ροπή αντίστασης} = T R$$

Ισχύουν ακόμη  $T = \tau L$  και  $L = R \theta$

Θραύση επέρχεται όταν  $\tau_f = c_u$  και τότε ο συντελεστής ασφαλείας ισούται με:

$$FS = \frac{T_f}{T} \quad (3.17)$$

δηλαδή  $\tau = \frac{c_u}{F}$ .

Σε κατάσταση ισορροπίας ισχύει:

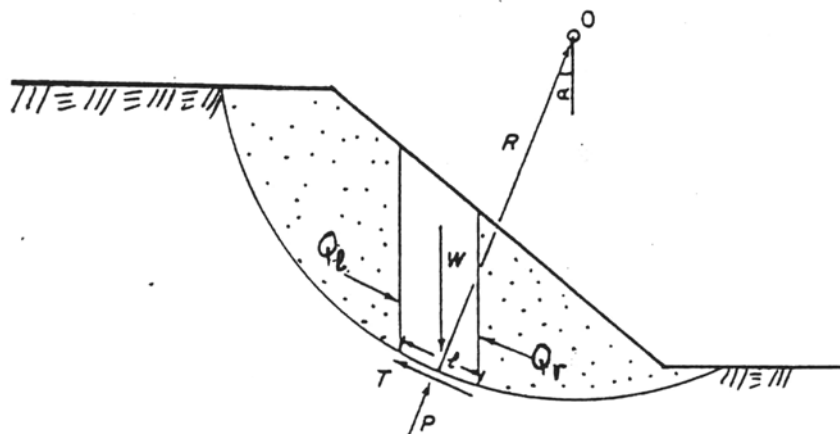
$$Wx = T R \Rightarrow Wx = \frac{c_u LR}{F} \Rightarrow FS = \frac{c_u LR}{Wx} \quad (3.18)$$

Η χρήση της αστράγγιστης αντοχής προϋποθέτει ότι δεν υπάρχει αρκετός χρόνος ώστε οι πιέσεις πόρων και οι ενεργές τάσεις να φτάνουν σε μια κατάσταση ισορροπίας κάτω από την ενέργεια κάποιου φορτίου. Είναι κατάλληλη για την κατάσταση στο τέλος μιας κατασκευής π.χ. βραχυχρόνια ευστάθεια φράγματος σε μαλακή άργιλο.

### 3.1.4 ΜΕΘΟΔΟΣ FELLENIUS

Στον υπολογισμό με ενεργές τάσεις, η διατμητική αντοχή συνδέεται με την ορθή τάση με τη σχέση Mohr – Coulomb και επομένως πρέπει να προσδιοριστεί η μεταβολή της ορθής τάσης κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης. Αυτό γίνεται με χωρισμό της ολισθαίνουσας μάζας σε ένα αριθμό μικρότερων τμημάτων.

Η θραύση επέρχεται με περιστροφή ενός τμήματος του πρανούς κατά μήκος μιας κυλινδρικής επιφάνειας με κέντρο O (Σχήμα 3.5).



**Σχήμα 3.5** Μέθοδος Fellenius (Τσόγκας και Τσόγκα, 2000).

Σε τυχαία λωρίδα στη βάση της ασκούνται: η ολική ορθή τάση  $\sigma$ , η διατμητική  $\tau$  και η πίεση νερού πόρων  $u$ .

Το κριτήριο θραύσης είναι  $\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$  και ισχύει  $FS = \frac{T_f}{T}$

Επειδή  $P = \sigma l$  και  $T = \tau l$  ισχύει:

$$T = \frac{(c'l + (P - ul) \tan \phi')}{F} \quad (3.19)$$

Υποθέτοντας ότι η συνισταμένη των πλευρικών δυνάμεων  $Q$  είναι παράλληλη προς τη βάση της θα ισχύει  $P = W \cos \alpha$

Η συνθήκη ροπών όλων των δυνάμεων ως προς το σημείο  $O$  δίνει:

$$\sum WR \sin \alpha = \sum TR \quad (3.20)$$

δηλαδή:

$$\sum W \sin \alpha = \sum T \Rightarrow \sum W \sin \alpha = \sum \frac{(c'l + (P - ul) \tan \phi')}{F}$$

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι ίσος με:

$$FS = \frac{\sum (c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (3.21)$$

Η παραδοχή ότι οι δυνάμεις μεταξύ των λωρίδων είναι μηδενικές δεν είναι ορθή και αυτό οδηγεί σε υποεκτίμηση του συντελεστή ασφαλείας μέχρι και 60%.

## 3.2 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ BISHOP

Ο συντελεστής ασφαλείας για δεδομένη κυκλική επιφάνεια είναι ίσος με:

$$FS = \frac{\sum_{k=1}^N \frac{X_k}{(1 + Y_k / FS)}}{\sum_{k=1}^N Z_k + Q} \quad (3.22)$$

όπου:

$N$ : Ο αριθμός των λωρίδων

$$X = (c' + (\gamma h - \gamma_n h_w) \tan \phi') \frac{\Delta x}{\cos \alpha}$$

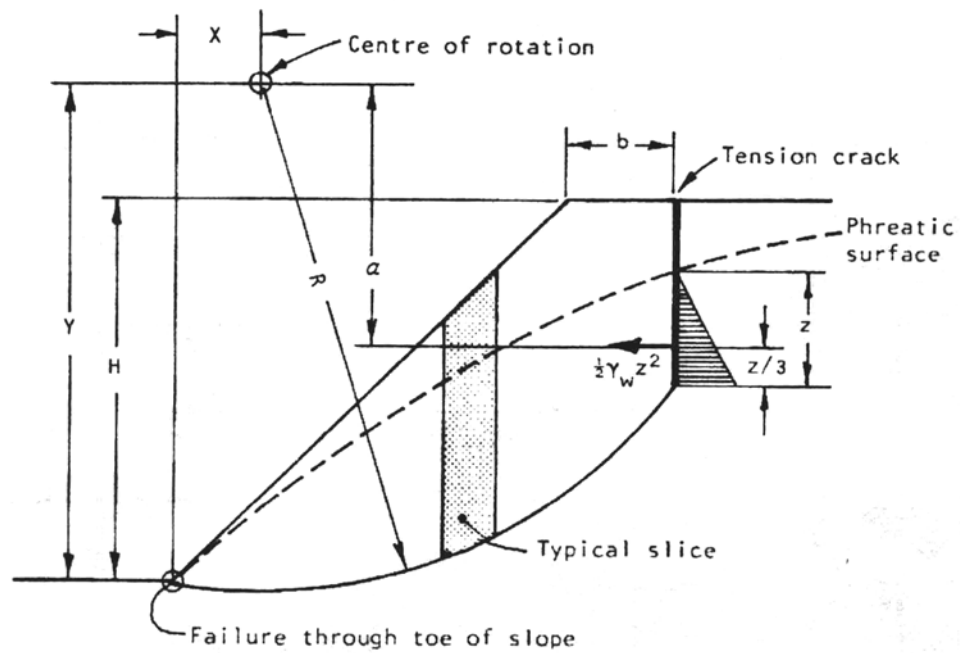
$$Y = \tan \alpha \tan \phi'$$

$$Z = \gamma h \Delta x \sin \alpha$$

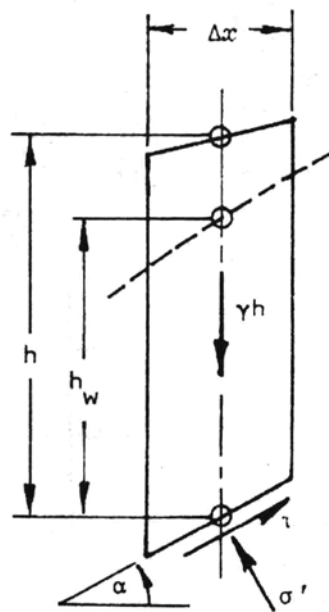
$$Q = \frac{1}{2} \gamma_w z^2 \frac{a}{R}$$



Οι μεταβλητές υπολογίζονται βάση των σχημάτων 3.6 και 3.7 .



**Σχήμα 3.6** Μέθοδος Bishop (Bishop, 1955).



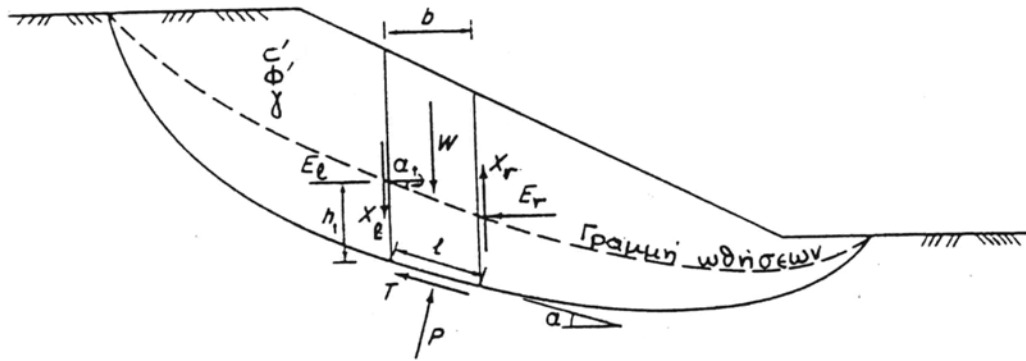
**Σχήμα 3.7** Λωρίδα μεθόδου Bishop (Bishop, 1955).

$$\text{Ισχύουν οι περιορισμοί } \sigma' = \frac{\gamma h - \gamma_w h_w - c' \tan \alpha / FS}{1 + Y / FS} \text{ και } \cos \alpha (1 + Y / FS) > 0.2$$

Οι πλευρικές διατμητικές δυνάμεις έχουν παραλειφθεί.

Η απλοποιημένη μέθοδος του Bishop είναι μία επαναληπτική μέθοδος όπου θέτοντας ως αρχική εκτίμηση τον συντελεστή ασφαλείας ίσο με 1, υπολογίζεται η νέα εκτίμηση του. Από τον νέο συντελεστή υπολογίζεται εκ νέου μια καλύτερη εκτίμηση





**Σχήμα 3.9** Μέθοδος Janbu (Τσόγκας και Τσόγκα, 2000).

Συνθήκη ισορροπίας στον κάθετο άξονα:

$$P = (W - (X_r - X_1) - (c'l \sin \alpha - ul \tan \phi') / FS) / m_a \quad (3.24)$$

όπου  $m_a = \cos \alpha (1 + (\tan \phi' \tan \alpha) / FS)$  (Σχήμα 3.10).

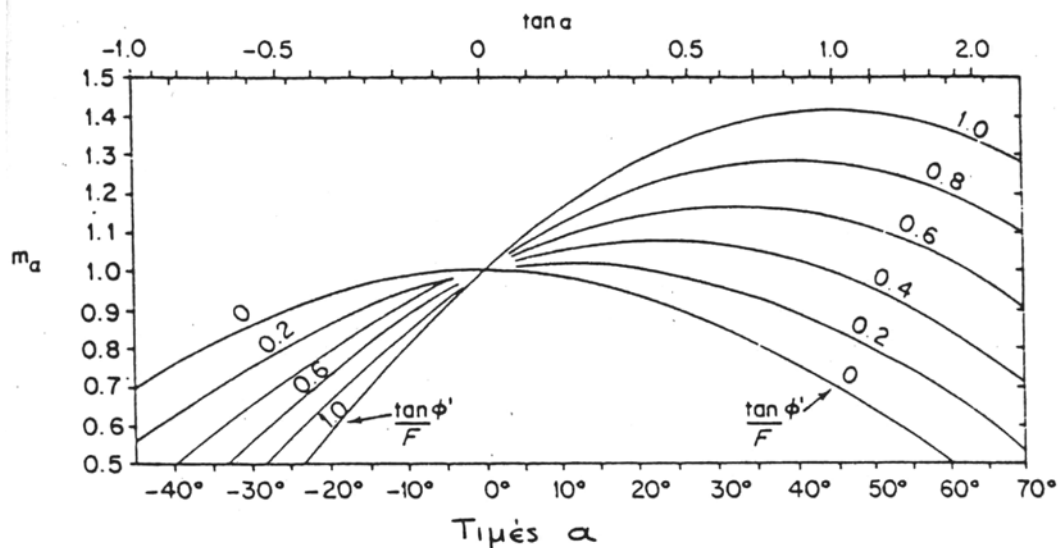
Συνθήκη ισορροπίας στον οριζόντιο άξονα του τεμάχους:

$$E_r - E_l = P \sin \alpha - ((c'l - (P - ul) \tan \phi') \cos \alpha) / FS \quad (3.25)$$

Συνθήκη ισορροπίας όλων των οριζόντιων δυνάμεων:

$$\sum (P \sin \alpha) - \sum (T \cos \alpha) + \sum (KW) - \sum (E_r - E_l) + (A_r - A_l) + L \cos \omega = 0 \quad (3.26)$$

$$\sum (E_r - E_l) = 0 \quad (E_r, E_l \text{ είναι εσωτερικές δυνάμεις}) \quad (3.27)$$



**Σχήμα 3.10** Τιμές  $m_a$  για διάφορες τιμές του συντ. ασφαλείας (Τσόγκας και Τσόγκα, 2000).

Ο συντελεστής ασφαλείας δίνεται από τη σχέση:

$$F_f = \frac{\sum (c' l \cos \alpha + (P - ul) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum (P \sin \alpha) + \sum (KW) + (A_r - A_l) + L \cos \omega} \quad (3.28)$$

Ο παραπάνω συντελεστής ισχύει στην απλοποιημένη μέθοδο Janbu που αγνοεί τις διατμητικές δυνάμεις. Στη συνέχεια παίρνοντας ροπές ως προς το μέσο της βάσης της κάθε λωρίδας, που παίρνεται σχετικά λεπτή, ικανοποιείται η συνθήκη ροπών όλων των δυνάμεων του ολισθαίνοντος τμήματος και μπορεί να υπολογιστούν οι πλευρικές διατμητικές δυνάμεις.

$$X_l = E_l \tan \alpha_t - (E_l - E_r) f_l / b + KW / b (h/2) \quad (3.29)$$

όπου:

$f_l$  και  $f_r$  : οι κατακόρυφες αποστάσεις γραμμής ωθήσεων από βάση λωρίδας.

$\alpha_t$  : η γωνία γραμμής ωθήσεων από οριζόντιο.

Οι ορθές πλευρικές δυνάμεις προσδιορίζονται από την σχέση:

$$E_l - E_r = (W - (X_l - X_r)) \tan \alpha - T / \cos \alpha + KW \quad (3.30)$$

Λόγω αοριστίας δεν υπάρχει μοναδική λύση. Ο ελάχιστος συντελεστής ασφαλείας μπορεί να προσδιοριστεί εξετάζοντας διάφορες θέσεις της γραμμής ωθήσεων.

### 3.2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ SPENCER

Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει ότι οι γωνίες κλίσης των συνισταμένων πλευρικών δυνάμεων  $Q$  είναι σταθερή.

δηλαδή:

$$\tan \theta = X_l / E_l = X_r / E_r = \text{σταθερό για όλες τις λωρίδες.}$$

$$X_l - X_r = (E_l - E_r) \tan \theta \quad (3.31)$$

Συνθήκη ισορροπίας στον κάθετο άξονα:

$$P = (W - (X_r - X_l) - (c' l \sin \alpha - ul \tan \phi' \alpha) / FS) / m_a \quad (3.32)$$

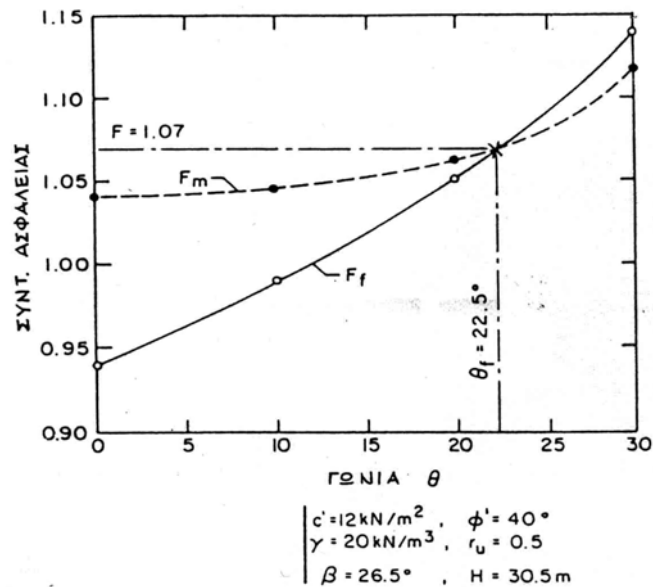
$$\text{όπου } m_a = \cos \alpha (1 + (\tan \phi' \tan \alpha) / FS)$$

Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον συντελεστή ασφαλείας  $F_m$  που αναφέρεται στην συνθήκη ροπών και τον συντελεστή ασφαλείας  $F_f$  που αναφέρεται στην συνθήκη ισορροπίας δυνάμεων.

$$F_m = \frac{\sum (c' l R + (P - ul) R \tan \phi')}{\sum (Wx) + \sum (KWk) - (A_l a_l - A_r a_r) + L_j - \sum (Pf)} \quad (3.33)$$

$$F_f = \frac{\sum (c' l \cos \alpha + (P - ul) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum (P \sin \alpha) + \sum (KW) + (A_r - A_l) + L \cos \omega} \quad (3.34)$$

Σαν τελική τιμή λαμβάνεται αυτή που αντιστοιχεί στην τιμή του  $\theta$  για την οποία  $F_m = F_f$  (Σχήμα 3.11).



**Σχήμα 3.11** Διάγραμμα γωνίας  $\theta$  – συντελεστή ασφαλείας (Τσόγκας και Τσόγκα, 2000).

### 3.2.4 ΜΕΘΟΔΟΣ MORGENSTERN AND PRICE

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η γωνία  $\theta$  μεταβάλλεται κατά μήκος της ολισθαίνουσας μάζας σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tan \theta = X/E = \lambda \cdot f(x) \quad (3.35)$$

όπου:

$\lambda$ : ο συντελεστής κλίμακας

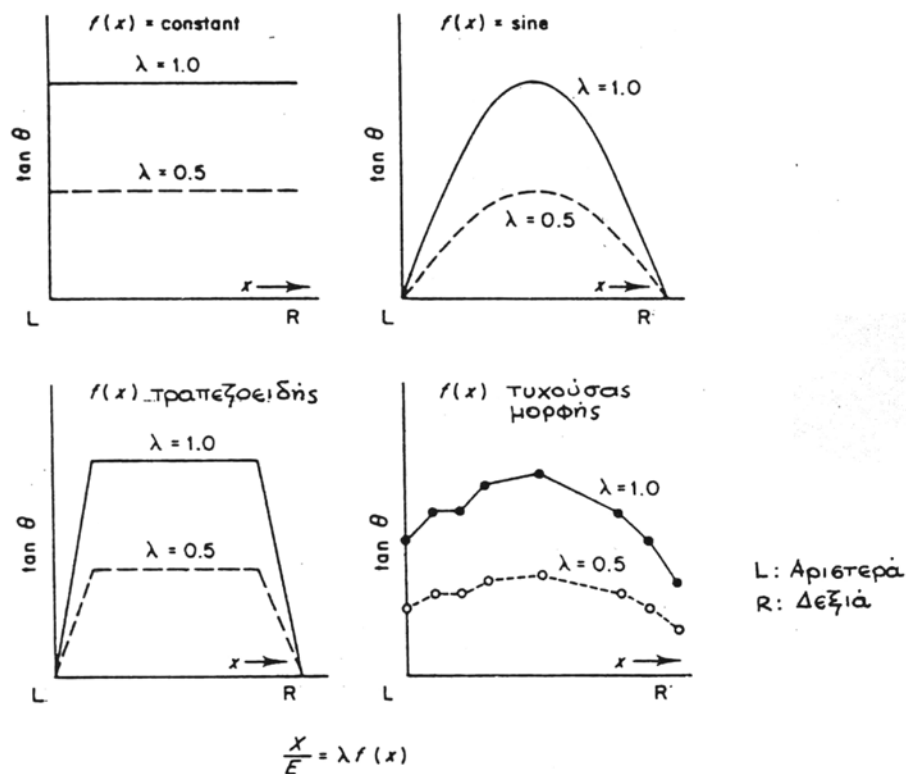
$f(x)$ : η συνάρτηση μεταβολής σε σχέση με την απόσταση  $x$ .

Για δεδομένη συνάρτηση προσδιορίζονται οι τιμές των  $\lambda$  και  $F$  για τις οποίες ισχύει:

$$F = F_m = F_f$$

- $f(x) = 0$ , η λύση είναι ίδια με του Bishop
- $f(x) = \text{σταθερό}$ , η λύση είναι ίδια με του Spencer

Στο σχήμα 3.12 φαίνονται διάφορες συναρτήσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν.



**Σχήμα 3.12** Συναρτήσεις μεθόδου Morgenstern and Price (Τσόγκας και Τσόγκα, 2000).

### 3.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ)

Έστω ένα σώμα του οποίου ζητείται να βρεθεί η κατανομή μιας άγνωστης μεταβλητής όπως για παράδειγμα η μετατόπιση (Fagan, 1996).

Το σώμα διαιρείται σε σύνολο μικρότερων γεωμετρικών μορφών (elements). Τα στοιχεία αυτά είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους σε συγκεκριμένα σημεία τα οποία ονομάζονται κόμβοι (nodes). Η παραπάνω διαδικασία ονομάζεται διακριτοποίηση.

Ανάλογα με τον αριθμό και το είδος των στοιχείων που έχουν επιλεγεί να περιγράψουν το σώμα, η ζητούμενη άγνωστη μεταβλητή θεωρείται ότι επιδρά σε κάθε στοιχείο με κάποιο καθορισμένο τρόπο. Η κατανομή των μεταβλητών σε κάθε στοιχείο ορίζεται από μαθηματικές σχέσεις.

Μετά από τη διαδικασία της διακριτοποίησης υπολογίζονται οι εξισώσεις ισορροπίας που διέπουν κάθε στοιχείο, με βάση τη μέθοδο των μετατοπίσεων και σχηματίζεται ένα σύστημα εξισώσεων.

Το σύστημα έχει τη μορφή:  $[K] \{U\} = \{F\}$

$[K]$ : Τετραγωνικός πίνακας (μητρώο ακαμψίας του σώματος)

$\{U\}$  : Το διάνυσμα των αγνώστων μετατοπίσεων στους κόμβους

$\{F\}$  : Οι δυνάμεις που ασκούνται στους κόμβους

Η επίλυση της παραπάνω εξίσωσης ως προς το διάνυσμα των μετατοπίσεων θα αποδώσει τις τιμές των αγνώστων μεταβλητών, αφού πρώτα οριστούν οι συνοριακές συνθήκες. Η αναστροφή του μητρώου ακαμψίας δεν είναι εύκολη διαδικασία και τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη των υπολογιστών έχει γίνει εφικτή η επίλυση αυτών των εξισώσεων σε ικανοποιητικά χρονικά όρια.

Όταν βρεθούν οι άγνωστες μετατοπίσεις για κάθε κόμβο είναι εύκολος ο υπολογισμός των παραμορφώσεων και των τάσεων στα στοιχεία και μετά σε όλο το σώμα.

Η διάρθρωση της μεθόδου περιλαμβάνει (Spyrakos, 1996):

- Την προεπεξεργασία, όπου γίνεται η διακριτοποίηση και δημιουργείται το μοντέλο. Εισάγονται οι εξισώσεις που διέπουν τους κόμβους, τα χαρακτηριστικά των υλικών και οι συνοριακές συνθήκες.
- Την επεξεργασία, όπου υπολογίζονται τα μητρώα και τα διανύσματα για κάθε στοιχείο. Από τις εξισώσεις που δημιουργούνται ορίζονται το μητρώο ακαμψίας και τα διανύσματα του μοντέλου.
- Την μετα-επεξεργασία, όπου γίνεται επεξεργασία των αποτελεσμάτων για να παρασταθούν στο μοντέλο οι τάσεις και οι παραμορφώσεις.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ**

#### **4.1 ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΠΡΟΚΑΛΕΣΕΙ**

Η κατολισθαίνουσα περιοχή βρίσκεται στις νότιες ακτές της Ανατολικής Κω, στις ΝΑ παρυφές του όρους Σύμπετρο, σε υψόμετρο 100 - 50 m και σε απόσταση 200 m από τη θάλασσα. Η θέση απέχει 1,4 km από τη περιοχή Άγιος Φωκάς και 1,5 km από την περιοχή Θέρμες (Φωτ. 4.1).

Η κύρια κατολίσθηση έχει μορφή πεταλοειδή με μήκος τόξου 160 m, διεύθυνση μετώπου ΑΒΑ-ΔΝΔ και κίνηση προς τα ΝΝΑ. Καλύπτει έκταση 27 στρεμμάτων και η επιφάνεια ολίσθησης φαίνεται να είναι κυκλοειδής. Στο άνω όριο της κατολίσθησης το μέγιστο άλμα φτάνει τα 0,20 m περίπου με παράλληλες διαρρήξεις ανοίγματος 0,02 - 0,07 m. Οι πλευρικές διαρρήξεις, όπου υπάρχουν, εμφανίζουν μέγιστο άλμα 0,10 - 0,60 m και ανοίγματα που κυμαίνονται από 0,03 - 0,12 m (Φωτ. 4.2).

Μέσα στην κατολισθαίνουσα μάζα υπάρχουν δευτερεύουσες θραύσεις ανάντη του δρόμου με διεύθυνση μετώπου Α-Δ περίπου και κίνηση προς τα ΝΝΑ.

Στη θέση του δρόμου παρατηρούνται παράλληλες διαρρήξεις ανοίγματος 0,05 - 0,20 m και μεγίστου άλματος 0,50 m (Φωτ. 4.3).

#### **4.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ**

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται ως λοφώδης με έντονο ανάγλυφο και υψομετρικά δεν ξεπερνά τα 150 m (Φωτ. 4.4, 4.5).

Τα πρανή είναι ομοιόμορφα και εμφανίζουν λίγες μορφολογικές αναβαθμίδες. Ψηλότερα από το δρόμο εμφανίζουν κλίσεις που κυμαίνονται από 9 έως 45 μοίρες, οι οποίες διακόπτονται μόνο σε θέσεις βραχωδών εξάρσεων, όπου τα πρανή είναι κατακόρυφα.

Χαμηλότερα του δρόμου οι κλίσεις κυμαίνονται από 14 έως 26 μοίρες. Στις θέσεις των ρεμάτων και κοντά στη θάλασσα τα πρανή είναι σχεδόν κατακόρυφα.

Η περιοχή εμφανίζει αραιή κάλυψη με θάμνους και οι δύο δρόμοι, ο κεντρικός ασφάλτινος και ο παλιός ιταλικός χωμάτινος, βρίσκονται αντίστοιχα σε υψόμετρα 70 και 86 m.





**Φωτ. 4.1** Γενική άποψη της περιοχής του έργου από ΒΔ.





**Φωτ. 4.2** Εμφάνιση πλευρικής διάρρηξης στο δυτικό όριο της κύριας κατολίσθησης.



**Φωτ. 4.3** Χαρακτηριστικές διαρρήξεις στο οδόστρωμα λόγω της κατολίσθησης.





**Φωτ. 4.4** Γενική άποψη του χώρου από ανατολικά.



**Φωτ. 4.5** Γενική άποψη του χώρου από νοτιοανατολικά.

#### 4.3 ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Η χαρτογράφηση της περιοχής έρευνας εντόπισε τους παρακάτω σχηματισμούς:

1) Υλικά Επιχώσεων

Μη συνεκτικά υλικά που προήλθαν από τη διάνοιξη του δρόμου, απορρίμματα και κατά θέσεις φυσικό εδαφικό υλικό. Το πάχος δεν ξεπερνά τα 4 m (Φωτ. 4.6).

2) Ασύνδετες αμμοχαλικώδεις αποθέσεις

Εδαφικός μανδύας και αλλούβια που έχουν προέλθει από έντονη επιφανειακή διάβρωση. Αποτελούνται από χάλικες και λίθους ποικίλης σύστασης (ιλυολιθικοί, φυλλιτικοί, ψαμμιτικοί) χωρίς συνοχή. Το πάχος τους δεν ξεπερνά το 1 m (Φωτ. 4.7).

3) Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις

Εμφανίζονται στις κοίτες και αποτελούνται από χάλικες, λίθους και ογκολίθους ποικίλλης σύστασης (ιλυολιθικοί, φυλλιτικοί, ψαμμιτικοί και ασβεστολιθικοί).

4) Πλευρικά κορήματα

Ασβεστολιθικά και κερατολιθικά κορήματα με αργιλοαμμώδες συνδετικό υλικό, με λίθους και ογκολίθους κατά θέσεις.

5) Αλλουβιακές αποθέσεις με συνοχή

Αποθέσεις αποτελούμενες από αμμόδη άργιλο στιφρή με χαλίκια ασβεστολιθικά, κερατολιθικά, σκοτεινού καστανού χρώματος. Το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 2 m.

6) Ολισθόλιθοι

Τεμάχια λευκότεφρου ασβεστολίθου με ενστρώσεις κερατολίθου. Πρόκειται για υπολειμματικό σχηματισμό που εμφανίζεται υπό μορφή ογκολίθων ή κατακερματισμένων και εξαλλοιωμένων ζωνών. Έχουν προέλθει από ολίσθηση τεμαχίων από υψηλότερες υψομετρικά θέσεις, όπου επικρατεί σχηματισμός πλακωδών ασβεστολίθων με κερατολιθικές ενστρώσεις. Είναι διάσπαρτοι στην περιοχή μελέτης και εμφανίζονται μέχρι και μέσα στη θάλασσα.

7) Ασβεστόλιθοι

- Πλακώδης ασβεστόλιθος με κερατολίθους

Ασβεστόλιθος λευκότεφρος ως τεφρός με ενστρώσεις ή/και φακούς κερατολίθου καστανού ως καστανέρυθρου χρώματος. Ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται πλακώδης σε στρώσεις πάχους 10 - 50 cm, ενώ οι

κερατόλιθοι σε στρώσεις που δεν ξεπερνούν σε πάχος τα 20 cm. Εμφανίζονται πτυχωμένοι κατά θέσεις και η αντοχή τους χαρακτηρίζεται υψηλή (Φωτ. 4.8).

- Μικριτικός ασβεστόλιθος

Ασβεστόλιθος άστρωτος, μικριτικός, μικροκρυσταλλικός, με χαλαζιακές φλέβες, τεφρού-τεφροπράσινου ως τεφροκύανου χρώματος. Είναι συμπαγής και χαρακτηρίζεται ως πολύ υψηλής αντοχής, κατά θέσεις εμφανίζεται κατακερματισμένος (Φωτ. 4.9).

#### 8) Λατυποπαγές

Συνεκτικό τεκτονικό λατυποπαγές, με λατύπες ποικίλης σύστασης (περιδοιτικές, διοριτικές, ασβεστιτικές), υποπράσινου χρώματος. Εμφανίζεται στη βάση του μικριτικού ασβεστολίθου και το ορατό του πάχος δεν ξεπερνά τα 40 - 50 cm.

#### 9) Ηφαιστειοϊζηματογενής ακολουθία

Πρόκειται για ανεστραμμένη σειρά ηφαιστειοϊζηματογενών σχηματισμών, στη περιοχή μελέτης μας εμφανίζεται το Μεσοζωικό της κομμάτι που αποτελείται από τα ακόλουθα μέλη:

- Εξαλλοιωμένη ενότητα

Εξαλλοιωμένοι φυλλίτες, πηλίτες και ψαμμίτες υπό τη μορφή αργιλώδους άμμου με χαλίκια έως αργιλώδους αμμοχάλικου με χαλίκια ποικίλης σύστασης (ιλυολιθικά, ψαμμιτικά, φυλλιτικά), καστανότεφρου χρώματος (Φωτ. 4.10 α,β).

- Ενότητα μεταηφαιστιτών

Διαβάσης έως Δολερίτης, μικρής έως μέσης αποσάθρωσης, τεφροπράσινος-καστανέρυθρος (Φωτ. 4.11).

- Ενότητα φυλλιτών

Φυλλίτης έως Σχιστόλιθος κατά θέσεις, με χαλαζιακές και ασβεστιτικές φλέβες πάχους 0,3 - 0,4 cm, φυλλώδης έως πλακώδης με πάχη στρώσεων από 1 - 15 cm. Η αποσάθρωσή του κυμαίνεται από μικρή έως μέτρια ενώ από πλευράς κερματισμού χαρακτηρίζεται λίγο κερματισμένος έως κατακερματισμένος. Εμφανίζει αποχωρισμό πλακώδη έως φυλλώδη παράλληλα με τις στρώσεις. Είναι οξειδωμένος στις



εξωτερικές επιφάνειες. Το χρώμα του ποικίλει από καστανότεφρο-μελανότεφρο έως τεφροκύανο-τεφροπράσινο (Φωτ. 4.12).

- Ενότητα πηλινών  
Πηλίνης με διακλάσεις πληρωμένες με ανθρακικό υλικό και φλέβες χαλαζία, κερματισμένος, υψηλής αντοχής και μικρής αποσάθρωσης, τεφροπράσινος έως καστανότεφρος.
- Ενότητα ψαμμιτών  
Ψαμμίτης υψηλής αντοχής και μικρής αποσάθρωσης, κατά θέσεις κερματισμένος, με φλέβες χαλαζία, τεφρός-τεφροπράσινος έως καστανότεφρος.



**Φωτ. 4.6** Επιφανειακή εμφάνιση υλικών επιχώσεων.





**Φωτ. 4.7** Εμφάνιση χαλαρών αμμοχαλικώδων αποθέσεων.



**Φωτ. 4.8** Εμφάνιση ασβεστολίθων με κερατολιθικές ενστρώσεις.





**Φωτ. 4.9** Επιφανειακή εμφάνιση μικριτικών ασβεστολίθων.



**Φωτ. 4.10 α** Εμφάνιση εξαλλ. στρώματος ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας.





**Φωτ. 4.10 β** Εμφάνιση εξαλλ. στρώματος ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας.



**Φωτ. 4.11** Επιφανειακή εμφάνιση μεταηφαιστιτών.





**Φωτ. 4.12** Επιφανειακή εμφάνιση μελανότεφρου φυλλίτη.

#### **4.4 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ**

##### **4.4.1 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ**

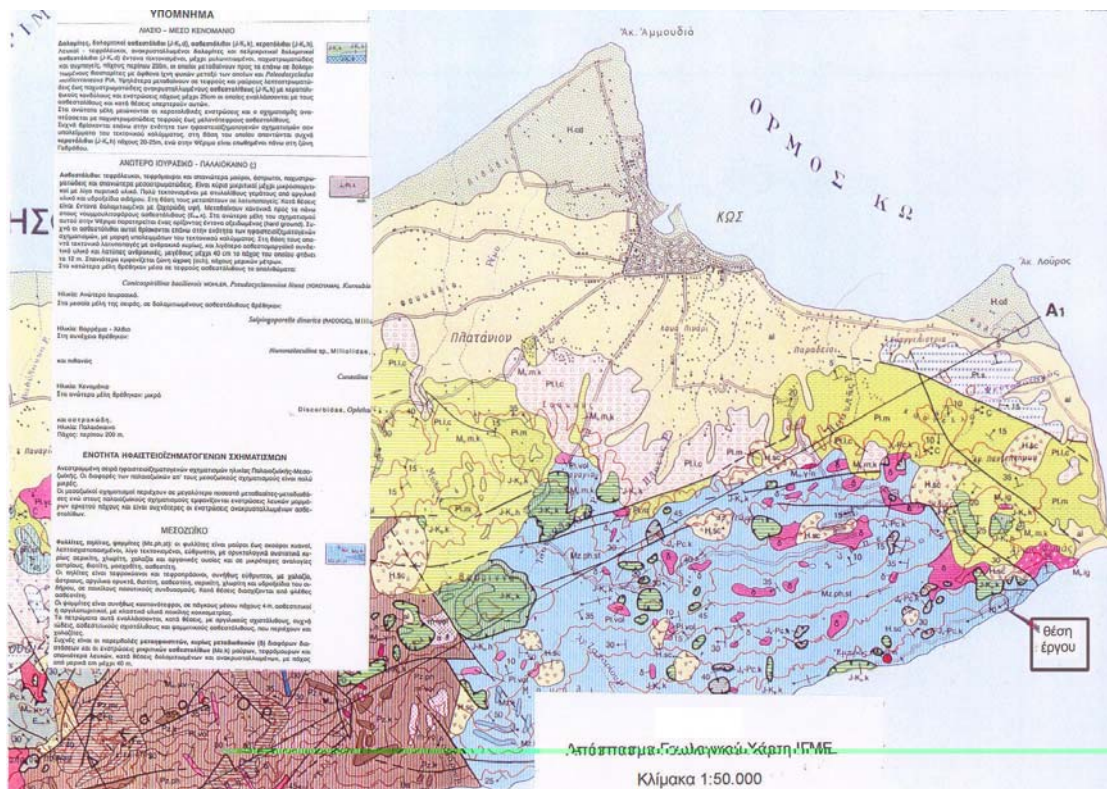
Αντιπαραβάλλοντας τον γεωλογικό χάρτη της περιοχής (Σχήμα 4.1) και την σύνθετη στρωματογραφική κολώνα (Σχήμα 4.2) του Ι.Γ.Μ.Ε με την γεωλογική χαρτογράφηση κλίμακας 1:1000 (Σχήμα 4.3) που πραγματοποιήθηκε οι ενότητες που χαρτογραφήθηκαν στη περιοχή είναι οι εξής:

1) Ηφαιστειοϊζηματογενής σειρά.

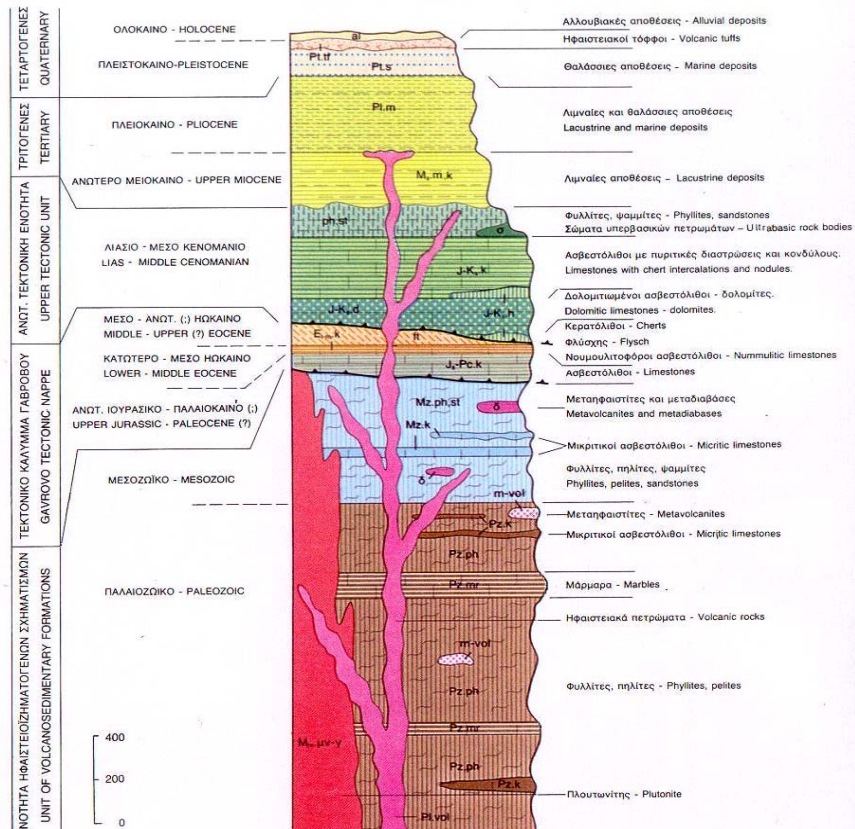
Η αυτόχθονη σειρά Μεσοζωικής ηλικίας που αποτελεί την στρωματογραφική συνέχεια των Παλαιοζωικής ηλικίας σχηματισμών που επικρατούν νοτιοδυτικότερα. Οι σχηματισμοί υποδηλώνουν ρηχό θαλάσσιο περιβάλλον και χαμηλής ενέργειας. Το ορατό πάχος της σειράς ξεπερνά τα 500 m.

2) Ενότητα Γαβρόβου - Τριπόλεως.

Αλλόχθονος σχηματισμός που επωθήθηκε πάνω στην ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία. Πρόκειται για Μικριτικό ασβεστόλιθο ηλικίας Ιουρασικού-Παλαιοκαίνου που εμφανίζεται με τη μορφή τεκτονικών ρακών.

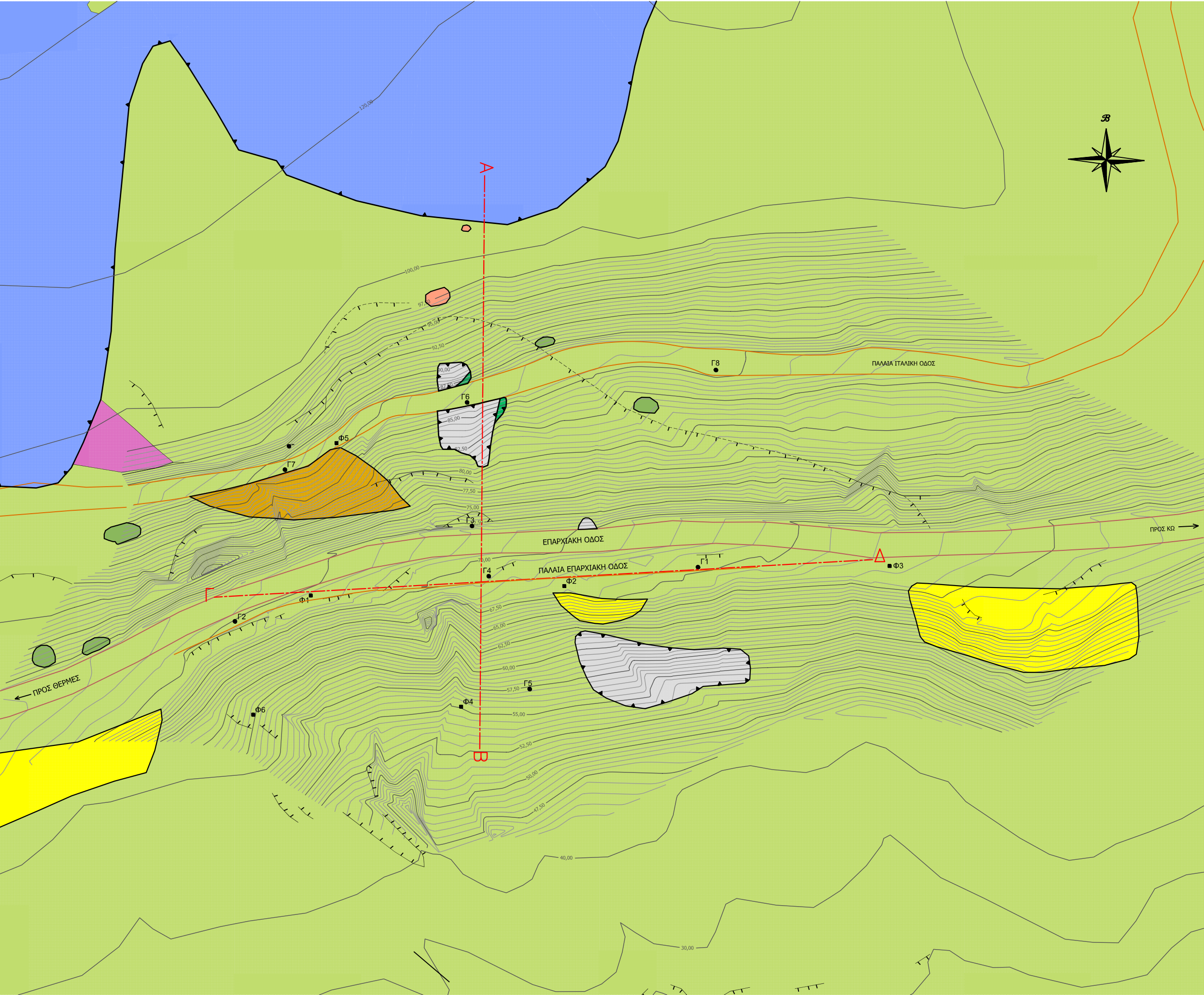


**Σχήμα 4.1** Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής κλίμακας 1:50.000 (Ι.Γ.Μ.Ε.).



**Σχήμα 4.2** Σύνθετη στρωματογραφική κολώνα Ανατολικής Κω (Ι.Γ.Μ.Ε.).





**ΥΠΟΜΝΗΜΑ**

**ΚΑΙΝΟΖΩΙΚΟΣ ΟΛΟΚΑΙΝΟ**

- Υλικά Επιχώσεων. Μη συνεκτικός σχηματισμός αποτελούμενος από υλικά ποικίλης σύστασης (απορρίμματα, οικοδομικά υλικά κ.λ.π.)
- Ασύνδετες αλλουβιακές και ελλουβιακές αποθέσεις που έχουν προέλθει από έντονη διάβρωση. Χάλικες και λίθοι ποικίλης σύστασης χωρίς συνοχή.
- Αλλουβιακές αποθέσεις αποτελούμενες από σφιγρή αμμώδη άργιλο με ασβεστολιθικά και κερατολιθικά χαλίκια, σκοτεινού καστανού χρώματος.
- Ολισθόλθοι. Τεμάχια ασβεστόλθου με κερατολιθικές ενστρώσεις. Υλικά που προήλθαν από την ολίσθηση τεμαχίων από υψηλότερες υψομετρικά θέσεις όπου επικρατεί ο σχηματισμός αυτός.

**ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΙΝΔΟΥ**

**ΛΙΑΣΙΟ - ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ**

- Ασβεστόλθος τεφρός ως λευκότεφρος με ενστρώσεις ή/και φακούς κερατολθου καστανού ως καστανέρυθρου χρώματος.

**ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΑΒΡΟΒΟΥ**

**ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ-ΠΑΛΑΙΟΚΑΙΝΟ**

- Μικρικός Ασβεστόλθος, άσπριτος, συμπαγής, τεφρού ως τεφροκίανου χρώματος.
- Συνεκτικό τεκτονικό κροκαλοαυτοπαγές υποπράσινου χρώματος.

**ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ**

**ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ**

- Ηφαιστειοζηματογενής ακολουθία, αποτελούμενη από φυλλίτες, πηλίτες, ψαμμίτες και παρεμβολές ηφαιστειακών σχηματισμών.
- Διαβάσεις έως Δολερίτης τεφροπράσινου χρώματος.

Οριο επώθησης ορατό

Οριο κατολισθήσεως/θραύσεως ορατό

Οριο κατολισθήσεως/θραύσεως πιθανό

Ορια λιθολογικών σχηματισμών

Γεωλογική τομή

Γ<sub>i</sub>

Θέση γεώτρησης

Φ<sub>i</sub>

Θέση ερευνητικού φρέατος

Θέση πηγής

**ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1000**

Σχήμα 4.3 Λεπτομερής γεωλογική χαρτογράφηση περιοχής ενδιαφέροντος.

Στη βάση του παραπάνω σχηματισμού απαντάται τεκτονικό κροκαλοπαγές που δημιουργήθηκε λόγω των κινήσεων των εκατέρωθεν τεμαχών κατά το στάδιο της επώθησης.

### 3) Ενότητα Πίνδου.

Αλλόχθονος σχηματισμός επωθημένος στην ενότητα Γαβρόβου - Τριπόλεως και την ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία. Είναι ασβεστόλιθος με στρώσεις ή/και φακούς κερατολίθων, ηλικίας Κατωτέρου Κρητιδικού (Λιάσιο) έως Ανωτέρου Κρητιδικού (Κενομάνιο - Μαιστρίχτιο).

## **4.4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΙΣΤΟΡΙΑ**

Κατά τη διάρκεια του Παλαιοζωικού ξεκινά η ιζηματογένεση για την ηφαιστειοϊζηματογενή σειρά σε περιβάλλον ρηχής θάλασσας (Κατσικάτσος, 1992).

Από το Άνω Τριαδικό σε συνθήκες πελαγικής έως βαθιάς θάλασσας, στη ζώνη της Πίνδου αρχίζει η ιζηματογένεση που συνεχίζεται αδιάλλειπτα μέχρι το τέλος του Ιουρασικού (Δάνιο), όπου αρχίζει η απόθεση του φλύσχη.

Την ίδια χρονική περίοδο (Άνω Τριαδικό) ξεκινά και η ιζηματογένεση της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης με συνεχή ιζήματα νηριτικής φάσης μέχρι το Μέσο Ηώκαινο, όπου ξεκινά η απόθεση του φλύσχη.

Μετά την απόθεση του φλύσχη και στις δύο ζώνες ξεκινά η οριστική ανάδυση για το στάδιο της τελικής ορογένεσης στο Τριτογενές.

Η ορογένεση ήταν σταδιακή και εκδηλώθηκε ως κύμα τεκτονισμού και πτύχωσης από τα ανατολικά προς τα δυτικά.

Η ανάδυση της ζώνης της Πίνδου λαμβάνει χώρα Κάτω Ολιγόκαινο, ενώ η αντίστοιχη της ζώνης Γαβρόβου-Τρίπολης στο τέλος του Ολιγοκαίνου. Παράλληλα ή λίγο αργότερα αναδύεται και η ηφαιστειοϊζηματογενής που βέβαια μέχρι τότε είναι καθαρά ιζηματογενής και δεν έχει διαμορφωθεί σε ηφαιστειακή.

Ακολουθεί περίοδος διάβρωσης και αμέσως μετά συντελείται η επώθηση των δύο ζωνών υπό μορφή τεκτονικών καλυμμάτων πάνω στην διαβρωμένη επιφάνεια της ιζηματογενούς ακολουθίας.

Η ηφαιστειακή δράση πραγματοποιείται κατά το Άνω Μειόκαινο πλήττοντας το χώρο του Ανατολικού Αιγαίου και της Μικράς Ασίας και μετατρέπει την ιζηματογενή ακολουθία σε ηφαιστειοϊζηματογενή, με τη διείσδυση ηφαιστειακών φλεβών. Την

περίοδο αυτή η ηπειρωτική Ελλάδα ήταν ενωμένη με το χώρο του Αιγαίου που ήταν επίσης ξηρά.

Μέχρι το Κάτω Πλειόκαινο στην περιοχή επιδρούν ισχυρές συμπίεστικές τάσεις BA - ΝΔ διεύθυνσης.

Κατά το Πλειόκαινο στο εσωτερικό τμήμα του Αιγαίου, που αποτελούσε μία αβαθή θάλασσα με πολλά νησιά, αναπτύσσονται ισχυρές εφελκυστικές τάσεις διεύθυνσης BA - ΝΔ. Αποτέλεσμα αυτών των τάσεων είναι η δημιουργία κανονικών ρηγμάτων ΒΔ - ΝΑ διεύθυνσης.

Την περίοδο του Πλειο-Πλειστοκαίνου μέχρι το Κάτω Πλειστόκαινο διαπιστώνεται πάλι η δράση συμπίεστικών τάσεων διεύθυνσης B - N. Αποτέλεσμα των συμπίεσεων αυτών ήταν να αποσυρθεί η θάλασσα από το μεγαλύτερο μέρος του Αιγαίου.

Από το Μέσο Πλειστόκαινο μέχρι σήμερα παρατηρείται δράση εφελκυστικών τάσεων διεύθυνσης B - N έως BBA - NND. Οι τάσεις αυτές δημιουργούν μεγάλα κανονικά ρήγματα όπως αυτό νότια της νήσου Κω. Τα ρήγματα αυτά προκαλούν μεγάλες καταβυθίσεις σε όλη την έκταση του Αιγαίου και σε αυτά οφείλεται η σεισμική δραστηριότητα της περιοχής.

Αλλουβιακοί και ελλουβιακοί σχηματισμοί καλύπτουν την περίοδο του Ολοκαίνου.

#### **4.5 ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Οι κύριες τεκτονικές μορφές που απαντώνται στον γεωλογικό χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε είναι οι εξής:

- 1) Οι τεκτονικές επαφές (επωθήσεις) των σχηματισμών Γαβρόβου - Τρίπολης και Πίνδου πάνω στην ηφαιστειοϊζηματογενή ακολουθία.
- 2) Το μεγάλο κανονικό ρήγμα διεύθυνσης BA - ΝΔ, κατά μήκος των νοτίων ακτών της Κω, που συνεχίζεται στο χώρο της Μικράς Ασίας, ελαφρά καμπτόμενο με διεύθυνση ABA - NND. Το νότιο τμήμα του ρήγματος βυθίζεται διαμορφώνοντας το θαλάσσιο χώρο μεταξύ των νήσων Κω και Νισήρου (Σχήμα 4.4).
- 3) Το κατακόρυφο ρήγμα διεύθυνσης BBA - NND, που φέρνει σε επαφή το Παλαιοζωικό και το Μεσοζωικό κομμάτι της στρωματογραφικής στήλης της ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας (Σχήμα 4.4).





Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 18,7° C, με μέση ελάχιστη τους 5,0° C και μέση μέγιστη τους 37,8° C.

Με βάση τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής από τον τύπο του Turc, έχει διαπιστωθεί ότι το μεγαλύτερο μέρος του ετήσιου ύψους βροχής, σε ποσοστό 74%, εξατμίζεται και διαπνέεται. Το υπόλοιπο ποσοστό απορρέει στο μεγαλύτερο μέρος του επιφανειακά και κατεισδύει.

Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως ημίξηρο, με μέτρια βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς μήνες και μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες γύρω στους 10 βαθμούς Κελσίου και υψηλότερες που φτάνουν τους 23 βαθμούς Κελσίου το χειμώνα και τους 38 βαθμούς Κελσίου τους καλοκαιρινούς μήνες.

#### **4.7 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Ανάλογα τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά τους και την έκταση που καταλαμβάνουν, οι διάφοροι λιθολογικοί σχηματισμοί μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω κατηγορίες (Κουκουβέλας, 1998):

- Υδροπερατοί. Είναι τα ασβεστολιθικά καλύμματα, οι χαλαρές αμμώδεις και χειμάρριες αποθέσεις.
- Ημιπερατοί έως περατοί σχηματισμοί. Ανήκουν οι ψαμμίτες και τα συνεκτικά κροκαλοπαγή.
- Ημιπερατοί. Είναι τα πλευρικά κορήματα, τα εξαλλοιωμένα μέλη της ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας και οι ολισθόλιθοι λόγω της πεπερασμένης έκτασης που καταλαμβάνουν.
- Αδιαπέρατοι. Ανήκουν οι φυλλίτες, οι πηλίτες και οι αργιλικής σύστασης αλλουβιακές αποθέσεις.

Λόγω της ανομοιομορφίας της ηφαιστειοϊζηματογενούς σειράς, με ανάμικτα αδρομερή και λεπτομερή υλικά, δημιουργούνται οι προϋποθέσεις για τη γένεση πηγών μικρής δυναμικότητας από την εναλλαγή περατών και στεγανών σχηματισμών. Μία τέτοια πηγή εμφανίζεται επί της παλαιάς ιταλικής οδού, σε επαφή ψαμμίτη με εξαλλοιωμένο φυλλίτη (Φωτ. 4.13). Η παροχή της βρέθηκε να είναι 0,25 lit/ημέρα.



**Πίνακας 4.1** Τεκτονικά στοιχεία στρώσεων και ασυνεχειών των στρωμάτων.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ/ΚΕΡΑΤΟΛΙΘΩΝ				ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΜΙΚΡΙΤΙΚΩΝ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΩΝ				ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ (ΦΥΛΛΙΤΗΣ)			
Στοιχεία στρώσεων				Στοιχεία ασυνεχειών				Στοιχεία στρώσεων		Στοιχεία ασυνεχειών	
Διεύθυνση κλίσης	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Κλίση	Διεύθυνση κλίσης	Κλίση
137	15	332	51	168	63	35	63	138	15	320	32
130	25	335	39	170	61	35	77	124	16	200	25
300	57	326	42	358	76	332	76	130	15	250	60
310	58	332	56	180	70	95	32	120	15	238	60
305	75	336	45	91	85	285	60	52	32	315	50
105	30	340	55	205	76	284	55	78	29	230	51
117	36	332	38	155	58	262	24	162	15	110	73
127	39	65	34	130	80	250	33	65	15	278	40
127	30	112	51	212	53	80	75	75	5	270	30
120	35	110	42	175	39	310	30	75	19	266	19
135	18	112	55	105	74	42	71	105	22	260	8
131	16	115	71	160	85	65	43	80	16	265	13
122	22	104	74	160	73	20	43	100	29	352	48
290	64	115	72	260	88	270	44	100	10	335	58
62	32	120	78	67	76	76	39	90	20	305	41
52	39	334	44	40	29	38	64	88	32	158	22
108	51			340	60	105	26	80	10	180	18
110	57			35	53			62	15	12	75
100	41			5	46			78	8	15	75
115	37			70	75			328	25	10	74
145	51			213	79			280	15	252	13
95	40			28	35			345	20	0	35
117	35			42	34			350	9	170	90
140	37			45	72			112	10	180	20
125	37			31	34			110	18	181	18
120	33			160	77			114	14	12	75
131	31			283	73			80	14	134	32
92	46			162	72			25	10	154	8
95	39			165	89			45	30	162	62
150	66			35	35			50	25	80	51
121	37			240	26			45	5	194	30
149	48			184	47			100	30	235	20
142	50			322	84			260	25	226	20
158	53			65	40			234	29	218	20
89	55			50	39			320	5	65	26
55	65			285	82			158	22	75	28
80	68			85	18			148	24	90	31
90	56			290	75			155	10	106	22
75	60			272	22			145	32		
119	40			30	65			128	23		
109	49			260	67			67	10		
112	58			30	71			351	15		
90	30			33	54			18	20		
110	38							82	16		
110	55							104	27		
129	54							74	30		
119	31							90	14		
125	33							93	13		
118	37							98	15		
118	49							84	18		
127	50							95	17		
132	41							340	42		
102	40							350	39		
130	47							353	38		
118	44										
118	38										
342	33										



**Φωτ. 4.13** Εμφάνιση πηγής στην επαφή ψαμμίτη με εξαλλοιωμένο φυλλίτη.

#### **4.8 ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Η νήσος Κως αποτελεί το ανατολικότερο άκρο του ηφαιστειακού τόξου του νοτίου Αιγαίου και πλήττεται συχνά από σεισμούς. Οι εφελκυστικές τάσεις στο χώρο όπου λαμβάνει χώρα η καταβύθιση της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία σεισμών επιφανειακού ή ενδιαμέσου βάθους.

Τα στοιχεία των σεισμών με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο των 5,0 βαθμών της κλίμακας Richter, της ευρύτερης περιοχής εμφανίζονται στον (Πίνακα 4.2) και συλλέχθηκαν από βάση δεδομένων του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

**Πίνακας 4.2** Μεγέθη σεισμών  $M_s \geq 5,0$  της περιοχής.

Έτος		Μήνας	Ημέρα	Ώρα	φ°	λ°	Εστιακό Βάθος h (km)	$M_s$	Πληγείσα Περιοχή
411	π.Χ.				36,8	27,4		7,0	Κως
142	μ.Χ.				36,6	28,0		7,0	Δ. Τουρκία
554	μ.Χ.	8	15		37,0	27,6		7,0	Δ. Τουρκία
1303	μ.Χ.	8	8	7 0 0,0	36,3	27,3		8,0	Ρόδος
1493	μ.Χ.	8	18		36,7	27,0		6,8	Κως
1843	μ.Χ.	10	18		36,3	27,7		6,5	Χάλκη
1846	μ.Χ.	6	21		37,6	27,0		6,0	Δ. Τουρκία
1862	μ.Χ.	3	24		36,6	27,9		6,4	Δ. Τουρκία
1863	μ.Χ.	4	22	21 30 0,0	36,4	27,7		7,8	Ρόδος
1869	μ.Χ.	4	18	4 0 0,0	36,5	27,6	33	6,7	Σύμη
1874	μ.Χ.	11	16		36,4	27,8		7,0	Ρόδος
1896	μ.Χ.	10	27		36,6	27,9		6,7	Δ. Τουρκία
1918	μ.Χ.	11	13	10 13 27,0	37,5	27,5		5,3	Δ. Τουρκία
1918	μ.Χ.	11	25	12 38 48,0	36,4	27,5	10	5,0	Ρόδος
1919	μ.Χ.	8	24	18 16 36,0	36,8	27,9		5,2	Δ. Τουρκία
1920	μ.Χ.	4	2	15 34 26,0	36,7	26,6		5,4	Κως
1926	μ.Χ.	2	8	19 48 32,0	36,8	27,1		5,4	Κως
1926	μ.Χ.	6	26	19 46 34,0	36,5	27,5	100	8,0	Ρόδος
1926	μ.Χ.	7	5	9 21 54,0	36,5	27,0		5,6	Νίσυρος
1929	μ.Χ.	3	27	7 41 46,0	36,7	26,5		5,9	Κως
1929	μ.Χ.	11	11	7 36 15,0	36,8	26,5		5,2	Κως
1932	μ.Χ.	12	7	7 55 46,0	36,8	27,5		5,0	ΝΔ Τουρκία
1933	μ.Χ.	4	23	5 57 37,0	36,8	27,3		6,6	Κως
1933	μ.Χ.	5	15	20 1 42,0	36,2	26,6	10	5,1	Ν. Αιγαίο
1936	μ.Χ.	4	28	23 15 23,0	36,7	26,7		5,7	Κως
1938	μ.Χ.	1	16	13 37 15,0	36,5	27,2		5,3	Νίσυρος
1942	μ.Χ.	6	21	4 38 44,0	36,0	27,0	90	6,3	Κάρπαθος

**Πίνακας 4.2** Μεγέθη σεισμών  $M_s \geq 5,0$  της περιοχής.

Έτος		Μήνας	Ημέρα	Ώρα	φ°	λ°	Εστιακό Βάθος h (km)	$M_s$	Πληγείσα Περιοχή
1942	μ.Χ.	9	1	9 42 15,0	36,4	27,4		5,8	ΝΔ Τουρκία
1943	μ.Χ.	10	16	13 8 53,0	36,5	27,5	110	6,3	Ρόδος
1944	μ.Χ.	1	5	5 5 3,0	36,4	27,4	150	5,0	ΝΔ Τουρκία
1944	μ.Χ.	1	5	7 44 4,0	36,4	27,4		5,6	ΝΔ Τουρκία
1944	μ.Χ.	5	27	23 52 30,0	36,0	27,5	100	6,2	Ρόδος
1952	μ.Χ.	10	22	4 14 55,0	36,7	27,9		5,3	Δ. Τουρκία
1954	μ.Χ.	8	3	18 18 0,0	36,0	27,0		6,1	Καρπάθιο Π.
1954	μ.Χ.	9	4	4 19 23,4	36,6	27,1	160	5,1	Κως
1955	μ.Χ.	7	16	7 7 10,0	37,6	27,2		6,9	Δ. Τουρκία
1955	μ.Χ.	8	28	13 39 0,0	37,6	27,2		5,1	Δ. Τουρκία
1958	μ.Χ.	5	9	2 40 56,8	36,6	27,6	67	5,9	Κως
1958	μ.Χ.	6	30	8 42 44,0	36,4	27,3		6,0	Σύμη
1958	μ.Χ.	9	4	2 51 6,2	36,4	27,0	140	5,3	Νίσυρος
1961	μ.Χ.	2	23	21 45 55,4	36,8	27,0	42	5,5	Κως
1961	μ.Χ.	2	27	21 54 38,9	36,7	27,0	48	5,5	Κως
1962	μ.Χ.	4	16	7 19 6,0	36,2	27,2	140	5,6	Τήλος
1962	μ.Χ.	4	28	11 19 2,9	36,2	26,8	56	6,4	Ν. Αιγαίο
1962	μ.Χ.	4	28	12 43 52,0	36,1	26,9	51	5,9	Ν. Αιγαίο
1965	μ.Χ.	1	7	10 22 17,0	36,5	26,5	0	5,3	Κως
1965	μ.Χ.	11	28	5 26 5,0	36,1	27,4	73	6,0	Ρόδος
1967	μ.Χ.	12	5	5 20 3,1	36,5	26,9	137	6,3	Κως
1968	μ.Χ.	2	7	22 22 21,0	36,6	26,8	150	5,0	Κως
1968	μ.Χ.	10	31	3 22 0,0	36,6	26,9	0	5,7	Νίσυρος
1968	μ.Χ.	11	12	3 37 35,0	36,8	27,3	0	5,1	Νίσυρος
1968	μ.Χ.	11	12	6 8 55,6	36,6	27,2	24	5,4	Νίσυρος
1968	μ.Χ.	12	5	7 52 11,0	36,6	26,9	0	6,0	Νίσυρος

**Πίνακας 4.2** Μεγέθη σεισμών  $M_s \geq 5,0$  της περιοχής.

Έτος		Μήνας	Ημέρα	Ώρα	φ°	λ°	Εστιακό Βάθος h (km)	$M_s$	Πληγείσα Περιοχή
1970	μ.Χ.	2	20	20 19 32,0	36,6	27,3	20	5,3	Νίσυρος
1972	μ.Χ.	1	20	2 15 6,9	36,6	27,3	34	5,3	Νίσυρος
1974	μ.Χ.	2	5	15 5 25,0	36,7	26,9	156	5,7	Νίσυρος
1975	μ.Χ.	9	23	21 34 14,1	36,6	26,8	158	5,0	Κως
1976	μ.Χ.	8	17	17 37 55,2	36,7	27,1	160	5,6	Κως
1976	μ.Χ.	8	18	17 6 34,8	36,7	27,4	157	5,0	Κως
1976	μ.Χ.	9	12	0 42 18,6	36,6	27,0	154	5,0	Νίσυρος
1977	μ.Χ.	11	28	2 59 11,0	36,0	27,5	85	5,2	Ρόδος
1981	μ.Χ.	11	16	11 39 44,7	36,6	26,8	161	5,1	Κως
1983	μ.Χ.	9	27	23 59 38,8	36,6	27,0	165	5,2	Νίσυρος
1989	μ.Χ.	4	27	23 6 52,2	37,1	28,0	5	5,0	Δ. Τουρκία
1989	μ.Χ.	4	28	13 30 19,6	37,1	27,9	5	5,1	Δ. Τουρκία
1990	μ.Χ.	8	28	20 21 21,2	36,4	27,2	5	5,0	Νίσυρος
1995	μ.Χ.	3	7	5 59 0,0	36,8	27,9		5,1	Δ. Τουρκία
1996	μ.Χ.	4	12	15 39 11,6	36,6	27,1	156	5,0	Νίσυρος
1996	μ.Χ.	4	26	7 1 29,9	36,4	28,0	63	5,3	Ρόδος
1996	μ.Χ.	7	20	0 0 39,8	36,1	27,5	38	6,1	Ρόδος
1998	μ.Χ.	3	9	11 21 21,7	36,0	28,5	54	5,0	Ανατ. Ρόδος
2001	μ.Χ.	5	29	04 44 00,5	35,6	27,8	5	5,1	Νότια Ρόδος
2001	μ.Χ.	6	23	06 52 44,7	35,6	28,2	56	5,2	Νότια Ρόδος
2003	μ.Χ.	4	10	00 40 16,5	38,2	26,8	29	5,3	Δ. Τουρκία
2003	μ.Χ.	4	17	22 34 22,5	38,2	26,9	5	5,0	Δ. Τουρκία
2003	μ.Χ.	7	26	08 36 49,0	38,1	28,8	5	5,0	Τουρκία
2004	μ.Χ.	2	7	21 17 24,2	36,0	26,9	25	5,0	Νότια Κως
2004	μ.Χ.	8	4	03 01 07,6	36,9	27,7	20	5,4	Δ. Τουρκία
2004	μ.Χ.	8	4	14 18 47,7	37,0	27,7	5	5,1	Δ. Τουρκία
2004	μ.Χ.	10	7	01 05 13,3	36,5	26,8	126	5,2	ΝΔ. Κως

Η περιοχή ανήκει στη Σεισμική ζώνη 9α, που περιλαμβάνει το δεξιό τμήμα του ηφαιστειακού τόξου από τη Σαντορίνη μέχρι τη Κω (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).

Στατιστικά για αυτή τη ζώνη ισχύουν τα παρακάτω:

- ❑ Το μέγιστο παρατηρηθέν μέγεθος σεισμού είναι 7,5 βαθμοί της κλίμακας Richter.
- ❑ Ο ετήσιος αριθμός σεισμών μεγέθους  $M > 5,0$  είναι ίσος με 0,33.
- ❑ Η μέση περίοδος επανάληψης κρίσιμου σεισμού μεγέθους  $M = 6,3$  είναι τα 33 χρόνια.
- ❑ Το πιθανότερο μέγιστο μέγεθος σεισμού σε χρονικό διάστημα 50 ετών είναι 6,4 βαθμοί της κλίμακας Richter.
- ❑ Η μέση περίοδος επανάληψης του μέγιστου παρατηρηθέντος σεισμού ( $M = 7,5$ ) είναι τα 300 χρόνια.

Ο νέος αντισεισμικός κανονισμός (ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ, 1999) εντάσσει την περιοχή στη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας III, το δε έδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία σεισμικής επικινδυνότητας Β (στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας σε πάχος μεγαλύτερο των 5 m).

Η σεισμική επιτάχυνση για τη ζώνη III είναι κατά ΕΑΚ  $A = 0,24g$ , και οι χαρακτηριστικές περίοδοι για την κατηγορία εδάφους Β είναι  $T_1 = 0,15 \text{ sec}$  και  $T_2 = 0,60 \text{ sec}$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

#### 5.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Κατά το στάδιο των γεωτρήσεων στην περιοχή, εμφανίστηκε υδροφορία. Οι αρχικές μετρήσεις επηρεάστηκαν από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διάτρησης, ενώ οι μεταγενέστερες αντιπροσωπεύουν την πραγματική εικόνα του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα (Πίνακας 5.1).

**Πίνακας 5.1** Στάθμες υδροφόρου ορίζοντα στις γεωτρήσεις.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΩΡΑ	ΒΑΘΟΣ Υ.Υ.Ο. (m)
Γ1	14.12.2000	8:30	7.40
	03.05.2001	9:00	8.70
	13.12.2001	10:00	8.80
Γ2	31.08.2000	14:30	4.80
	02.09.2000	13:15	9.00
	03.09.2000	10:20	9.30
	04.09.2000	13:30	9.40
	06.09.2000	10:40	9.50
	08.09.2000	9:00	9.60
	09.09.2000	16:00	9.60
	11.09.2000	12:10	9.60
	14.12.2000	14:20	9.50
	03.05.2001	11:00	9.60
	13.12.2001	8:50	8.50
Γ3	11.09.2000	8:20	11.20
	14.12.2000	12:00	18.90
	03.05.2001	12:30	18.90
	13.12.2001	9:00	18.90
Γ4	14.12.2000	10:00	12.50
	03.05.2001	11:00	12.45
	13.12.2001	9:30	12.40
Γ5	02.09.2000	8:20	-
	14.12.2000	13:00	-
	03.05.2001	14:00	-
	13.12.2001	8:00	-
Γ6	07.09.2000	16:00	9.80
	08.09.2000	16:30	10.60
	09.09.2000	14:50	11.30
	11.09.2000	12:30	12.30
	14.12.2000	14:20	18.90
	03.05.2001	11:30	18.90
	13.12.2001	11:00	18.90

Στις γεωτρήσεις Γ2 και Γ6 (Σχήμα 4.3) έχουν τοποθετηθεί πιεζομετρικοί φιλτροσωλήνες πωματισμένοι στο κάτω άκρο τους, διάτρητοι σε όλο το μήκος τους και κλειστοί στο άνω άκρο με πώμα και κλειδαριά. Στις υπόλοιπες γεωτρήσεις που παρατίθενται αποτελέσματα στάθμης έχουν τοποθετηθεί αποκλισιόμετρα.

Επίσης εκτελέστηκαν επί τόπου δοκιμές εισπιάσεων Maag και Lefranc κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων, ανάλογα με την φύση των διατρυόμενων σχηματισμών.

#### **5.1.1 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΙΣΠΙΕΣΕΩΝ**

Η δοκιμή Maag εκτελείται σε σχετικά μικρής διαπερατότητας σχηματισμούς και είναι δοκιμή υδροπερατότητας μεταβλητού φορτίου (μέτρηση ταχύτητας πτώσης στάθμης προστεθέντος νερού μέσα στη γεώτρηση).

Όταν φτάσει στο επιθυμητό βάθος η γεώτρηση, γίνεται εξαγωγή της διατρητικής στήλης και ανύψωση της εξωτερικής σωλήνωσης ώστε να δημιουργηθεί θύλακας (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

Στην συνέχεια γίνεται πλήρωση με νερό της σωλήνωσης και μετριέται ο ρυθμός πτώσης της στάθμης με το χρόνο.

Η διαπερατότητα υπολογίζεται από την σχέση:

$$k = \frac{A}{C(t_2 - t_1)} \cdot \ln (h_1 / h_2) \quad (5.1)$$

όπου:

k: ο συντελεστής υδροπερατότητας

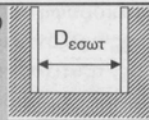
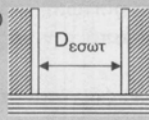
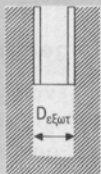
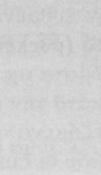

A: η διατομή της στήλης νερού ίση με  $\pi \cdot D_{\text{εσωτ}}^2 / 4$

C: ο συντελεστής θύλακα ανάλογα τη γεωμετρική μορφή του (Πίνακας 5.2)

$h_1, h_2$ : οι στάθμες του νερού ανάλογα τη θέση υδροφόρου τις χρονικές στιγμές  $t_1$  και  $t_2$



**Πίνακας 5.2** Εκτίμηση συντελεστή θύλακα  $C$ , για διαφορετικές μορφές (Κούκης και Σαρπατακάκης, 2002).

ΜΟΡΦΗ ΘΥΛΑΚΑ		ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΥΛΑΚΑ	
(1)		Το άκρο των σωλήνων επένδυσης σε επαφή με το έδαφος στον πυθμένα της γεώτρησης. Η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης είναι $D_{εσωτ}$	$C = 2.75 D_{εσωτ}$
(2)		Το άκρο των σωλήνων επένδυσης στην επαφή αδιαπέρατου και διαπερατού στρώματος. Η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης είναι $D_{εσωτ}$ .	$C = 2.0 D_{εσωτ}$
(3)		Το άκρο των σωλήνων επένδυσης σε απόσταση $L$ από τον πυθμένα της γεώτρησης. Η διάμετρος της γεώτρησης είναι $D_{εξωτ}$ .	$C = \frac{2\pi L}{\ln(2L / D_{εξωτ})}$ για $L > 4 D_{εξωτ}$
(4)		Το άκρο των σωλήνων επένδυσης σε απόσταση $L$ από τον πυθμένα της γεώτρησης. Το έδαφος παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση οριζόντιας ( $k_h$ ) και κατακόρυφης υδροπερατότητας ( $k_v$ ). Η διάμετρος της γεώτρησης είναι $D_{εξωτ}$ .	Για τον υπολογισμό του $k_h$ $C = \frac{2\pi L}{\ln(2Lm / D_{εξωτ})}$ $m = (k_h / k_v)^{1/2}$ για $L > 4 D_{εξωτ}$ Ο λόγος $k_h / k_v$ μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά με εργαστηριακές δοκιμές.
(5)		Το άκρο των σωλήνων επένδυσης σε απόσταση $L$ από τον πυθμένα της γεώτρησης. Το έδαφος μέχρι το άκρο των σωλήνων επένδυσης είναι πρακτικά αδιαπέρατο. Η διάμετρος της γεώτρησης είναι $D_{εξωτ}$ .	$C = \frac{2\pi L}{\ln(4L / D_{εξωτ})}$ για $L > 4 D_{εξωτ}$

Ανάλογα με τη θέση του εισπιεζόμενου τμήματος σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα (Σχήμα 5.1) ισχύουν τα παρακάτω:

- 1) Όταν η στάθμη του υδροφόρου είναι χαμηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_1 = H_B + L/2 + u - \omega_1 \quad (5.2)$$

όπου:

$H_B$ : το βάθος της σωλήνωσης

$L/2$ : το μισό του εισπιεζόμενου τμήματος

$u$ : το μήκος του σωλήνα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους

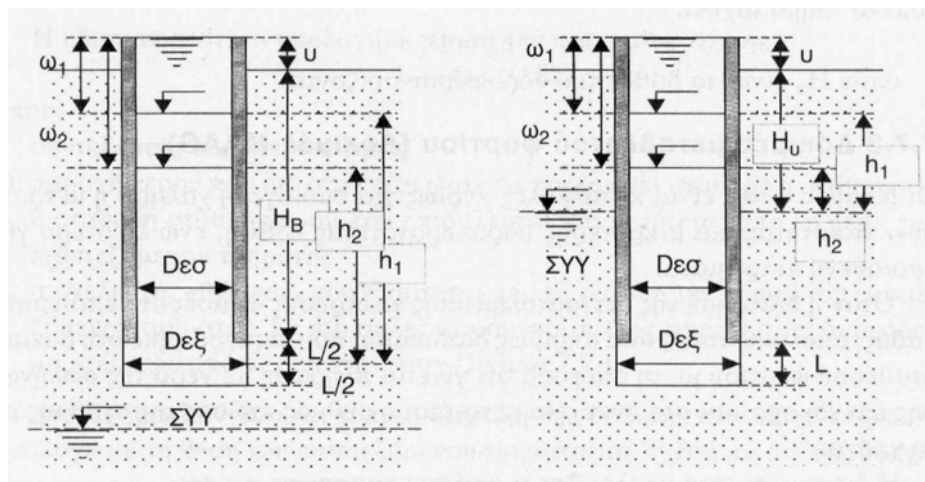
$\omega_i$ : η μετρούμενη στάθμη από το άκρο του σωλήνα τη χρονική στιγμή  $t_i$

- 2) Όταν η στάθμη του υδροφόρου είναι υψηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_1 = H_u + u - \omega_1 \quad (5.3)$$

όπου:

$H_u$ : το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα



**Σχήμα 5.1** Διάταξη δοκιμής Maag ανάλογα με τη θέση του υδροφόρου (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

Η δοκιμή Lefranc εκτελείται σε σχετικά διαπερατούς σχηματισμούς και είναι δοκιμή υδροπερατότητας σταθερού φορτίου (μέτρηση παροχής προστιθέμενου νερού για τη διατήρηση της στάθμης σε συγκεκριμένη θέση πάνω από τον υδροφόρο).

Μετά τη δημιουργία θύλακα ρυθμίζεται η παροχή του νερού που διοχετεύεται στη γεώτρηση ώστε η στάθμη του μέσα στη σωλήνωση να είναι σταθερή. Συνήθως γίνεται πλήρωση μέχρι το άνω άκρο της σωλήνωσης.

Η υδροπερατότητα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = Q / (C \cdot h_c) \quad (5.4)$$

όπου:

$k$ : ο συντελεστής υδροπερατότητας

$Q$ : Η παροχή του νερού που διοχετεύεται

$C$ : ο συντελεστής θύλακα (Πίνακας 5.2)

$h_c$ : Η στάθμη του νερού ανάλογα τη θέση υδροφόρου

Ανάλογα με τη θέση του εισπνεζόμενου τμήματος σε σχέση με τον υδροφόρο ορίζοντα (Σχήμα 5.2) ισχύουν τα παρακάτω:

- 1) Όταν η στάθμη του υδροφόρου είναι χαμηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_c = H_B + L/2 + u \quad (5.5)$$

όπου:

$H_B$ : το βάθος της σωλήνωσης

$L/2$ : το μισό του εισπιεζόμενου τμήματος

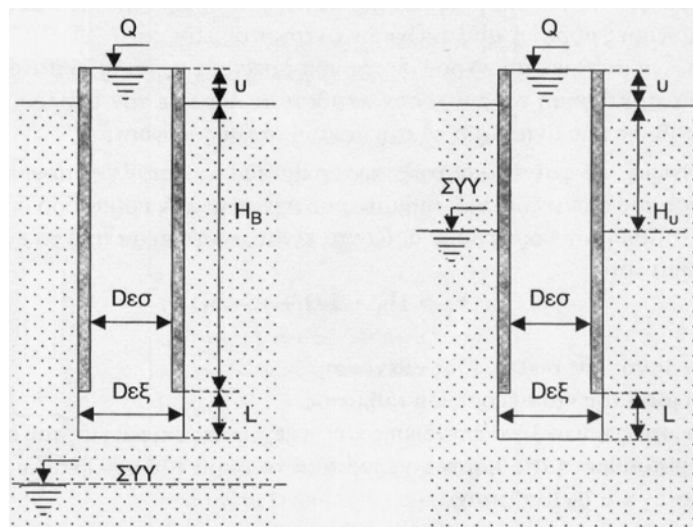
$u$ : το μήκος του σωλήνα πάνω από την επιφάνεια του εδάφους

- 2) Όταν η στάθμη του υδροφόρου είναι υψηλότερα από το εισπιεζόμενο τμήμα τότε:

$$h_c = H_u + u \quad (5.6)$$

όπου:

$H_u$ : το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα



**Σχήμα 5.2** Διάταξη δοκιμής Lefranc ανάλογα με τη θέση του υδροφόρου (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2002).

Τα αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.3 .

**Πίνακας 5.3** Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών υδροπερατότητας.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ	ΒΑΘΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	ΤΥΠΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ	k (m/s)
Γ1	2.20-4.00	Lefranc	$2.7 \times 10^{-5}$
	4.10-6.30	Lefranc	$8.0 \times 10^{-5}$
	6.30-8.30	Lefranc	$6.1 \times 10^{-5}$
Γ3	0.00-2.10	Maag	$9.0 \times 10^{-7}$
	2.10-4.00	Maag	$1.4 \times 10^{-7}$
	4.10-6.10	Maag	$3.9 \times 10^{-8}$
	6.20-8.20	Maag	$7.4 \times 10^{-7}$
Γ4	0.00-1.90	Maag	$1.5 \times 10^{-6}$
	2.70-4.10	Lefranc	$6.0 \times 10^{-5}$
	4.30-6.20	Lefranc	$2.6 \times 10^{-5}$
	6.40-8.40	Lefranc	$7.7 \times 10^{-6}$
Γ5	0.00-2.15	Maag	$1.5 \times 10^{-7}$
	2.20-4.25	Lefranc	$8.4 \times 10^{-5}$
	6.60-9.80	Lefranc	$7.6 \times 10^{-6}$
Γ6	3.60-5.60	Lefranc	$7.8 \times 10^{-6}$
	5.50-7.40	Maag	$8.4 \times 10^{-7}$
Γ7	0.00-1.80	Maag	$1.4 \times 10^{-5}$
Γ8	0.00-1.90	Maag	$4.7 \times 10^{-7}$

## 5.2 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΑΠΟΚΛΙΣΙΟΜΕΤΡΩΝ

Η μελέτη των βασικών παραμέτρων των εδαφικών μετακινήσεων της θέσης της κύριας κατολίσθησης, δηλ. του βάθους του επιπέδου ή των επιπέδων ολίσθησης, της διεύθυνσης της κίνησης, του ρυθμού εξέλιξης των μετακινήσεων και των περιόδων έντασης ή ανάσχεσης τους, γίνεται δυνατή με την εγκατάσταση και παρακολούθηση αποκλισιομέτρων.

Με την εφαρμογή τους καθορίζονται και ελέγχονται έγκαιρα οι παράγοντες που επιδρούν στους μηχανισμούς εδαφικής αστάθειας και στη μεταβολή των ωθήσεων, καθώς και η αποτελεσματικότητα των εφαρμοζομένων έργων και μέτρων ανάσχεσης.

Το αποκλισιόμετρο είναι ένα ηλεκτρονικό εκκρεμές, που έχει τη δυνατότητα να μετρά σε διάφορα βάθη, εντός της στήλης αναφοράς, την απόκλιση από την κατακόρυφο, ελέγχοντάς την σε σχέση με την αρχική της θέση (πρώτη μέτρηση αναφοράς).

Για την τοποθέτηση του οργάνου διανοίγεται γεώτρηση και εντός της οπής τοποθετείται η στήλη των σωλήνων του αποκλισιομέτρου.

Η στερέωση του κλισιομετρικού σωλήνα στην οπή της γεώτρησης έγινε με ένεμα (τσιμέντο Portland, μπετονίτη και νερό) και έχει σκοπό να ενσωματώσει το όργανο στο περιβάλλον έδαφος, έτσι ώστε κάθε μετακίνηση να μεταδίδεται αναλλοίωτη. Η πλήρωση της οπής έγινε από τον πυθμένα της γεώτρησης προς τα επάνω με τη βοήθεια εγχυτήρα πλαστικού σωλήνα μικρής διαμέτρου που είχε προσαρμοσθεί στην εξωτερική επιφάνεια των κλισιομετρικών σωλήνων.

Οι κλισιομετρικοί σωλήνες έχουν εσωτερικά αύλακες σε γωνία 90°, μέσα στους οποίους ολισθαίνει το όργανο μέτρησης (τορπίλη).

Αποκλισιόμετρα τοποθετήθηκαν στις γεωτρήσεις Γ1, Γ3, Γ4 και Γ5 και οι ημερομηνίες διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν 14/12/2000, 3/5/2001, 13/12/2001 και 19/11/2002.

Κατά μήκος των σωλήνων εισάγεται στη γεώτρηση συσκευή με το εκκρεμές («τορπίλη αποκλισιομέτρου») μέχρι τη τελική στάθμη και ανεβαίνει σε βαθμίδες των 50 cm μέχρι την επιφάνεια.

Το όργανο συνδέεται με καλώδιο που καταλήγει στην επιφάνεια σε ψηφιακό ηλεκτρονικό καταγραφέα στο οποίο αναγράφονται οι μετρήσεις σε κάθε στάθμη. Οι ενδείξεις του ποτενσιόμετρου στον ηλεκτρονικό καταγραφέα είναι ανάλογες της κλίσης του οργάνου στο επίπεδο του ηλεκτρονικού εκκρεμούς. Οι μετρήσεις καταγράφονται κάθε φορά στα ίδια βάθη και με τον ίδιο προσανατολισμό της τορπίλης για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα.

Η συχνότητα των μετρήσεων εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα εξέλιξης του φαινομένου.

Οι μετρήσεις έγιναν με εξοπλισμό της εταιρείας Slope indicator και χρησιμοποιήθηκε τορπίλη διαξονικού αισθητήρα, που συνδέεται μέσω κατάλληλου καλωδίου με τη ψηφιακή συσκευή καταγραφής.

Με τη συσκευή αυτή μετράται η απόκλιση εδαφικού τμήματος από την κατακόρυφο για κάθε γεώτρηση, ανά διάστημα (βάθος) 50cm και η ενδεχόμενη απόκλιση προς τις τέσσερις (4) διευθύνσεις του ορίζοντα σε άξονες Β - Ν και Α - Δ.

Οι μετρήσεις της απόκλισης είναι της τάξης από υποπολλαπλάσια του χιλιοστού (mm) και μεγαλύτερες, ενώ το εύρος σφάλματος, που οριοθετεί ο κατασκευαστής του οργάνου, είναι  $\pm 10^{-3}$  rad ή  $\pm 10^{-3}$  mm περίπου.

Οι σειρές μετρήσεων αποτυπώθηκαν σε διαγράμματα του EXCEL (Παράρτημα Β), με τη μορφή οριζόντιων αποκλίσεων σε σχέση με την κατακόρυφο και τους δύο άξονες.

Τα βάθη στα οποία παρατηρήθηκε το επίπεδο ολίσθησης της κύριας κατολίσθησης σε κάθε γεώτρηση είναι τα παρακάτω:

**Γ1:** 7,00 m , **Γ3:** 5,00 m , **Γ4:** 10,00 m και **Γ5:** 9,50 m.

Για την δευτερεύουσα κατολίσθηση τα αντίστοιχα βάθη είναι:

**Γ3:** 2,00 m , **Γ4:** 5,50 m , **Γ5:** 2,50 m.

Οι μετακινήσεις είναι της τάξης των 15 έως 25 mm ανά έτος και για τις δύο ολισθήσεις με άξονα διεύθυνσης Β – Ν. Σύμφωνα με την ταχύτητα αυτή οι ολισθήσεις χαρακτηρίζονται ως εξαιρετικά αργές (Πίνακας 5.4) (Στουρνάρας, 1985).

**Πίνακας 5.4** Κλίμακα ρυθμού μετακίνησης των πρανών (Varnes, 1978)

Ταχύτητα μετακίνησης	Χαρακτηρισμός της μετακίνησης
---3m/sec	έξαιρετικά γρήγορη
---0,3m/min	πολύ γρήγορη
---1,5m/d	γρήγορη
---1,5m/μήνα	μέτρια
---1,5m/χρόνο	αργή
---0,6m/χρόνο	πολύ αργή
	έξαιρετικά αργή

### 5.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ

Στην περιοχή έρευνας πραγματοποιήθηκαν 8 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και 6 ερευνητικά φρέατα (Πίνακας 5.5).

**Πίνακας 5.5** Ημερομηνίες και χαρακτηριστικά γεωτρήσεων - φρεάτων.

ΓΕΩΤΡΗΣΗ/ ΦΡΕΑΡ	ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΒΑΘΟΣ (m)	ΠΙΕΖΟ- ΜΕΤΡΟ	ΑΠΟΚΛΙ- ΣΙΟΜΕΤΡΟ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ
Γ1	+67.70	15.00	Όχι	Ναι	4-5/9/2000
Γ2	+72.70	15.00	Ναι	Όχι	30-31/8/2000
Γ3	+70.90	20.20	Όχι	Ναι	9-11/9/2000
Γ4	+69.60	15.00	Όχι	Ναι	2-3/9/2000
Γ5	+57.20	15.00	Όχι	Ναι	31/8-2/9/2000
Γ6	+86.20	20.00	Ναι	Όχι	5-7/9/2000
Γ7	+89.30	10.00	Όχι	Όχι	8-9/9/2000
Γ8	+85.20	10.00	Όχι	Όχι	7-8/9/2000
Φ1	+71.80	2.40	-	-	1/9/2000
Φ2	+68.20	3.00	-	-	1/9/2000
Φ3	+66.20	3.50	-	-	1/9/2000
Φ4	+55.00	3.50	-	-	1/9/2000
Φ5	+88.20	2.20	-	-	1/9/2000
Φ6	+62.80	1.80	-	-	1/9/2000

Η περιγραφή των δειγμάτων και των επί τόπου μετρήσεων και παρατηρήσεων των γεωτρήσεων και φρεάτων δίνονται μαζί με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών στα αντίστοιχα μητρώα τους (Παράρτημα Γ).

#### 5.3.1 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Οι εργαστηριακές δοκιμές εκτελέστηκαν σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ που συμφωνούν με τις αντίστοιχες προδιαγραφές του Α.Α.Σ.Η.Τ.Ο και του Α.Σ.Τ.Μ .

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργαστηριακές δοκιμές:

1. Κοκκομέτρηση με κόσκινα : (Αριθμ.δειγμάτων 41). Γίνονται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 422-63 (1992) της Α.Σ.Τ.Μ σε αντιπροσωπευτικά εδαφικά δείγματα. Η κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα γίνεται στο ποσοστό του υλικού που συγκρατείται από το κόσκινο Νο.200 (0,074 mm) και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με τη μορφή καμπυλών.

2. Προσδιορισμός φυσικής υγρασίας : (Αριθμ.δειγμάτων 41). Γίνεται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 2216-90 (1992) της A.S.T.M .
3. Προσδιορισμός Ορίων Atterberg : (Αριθμ.δειγμάτων 41).
  - Όριο Υδαρότητας (LL). Γίνεται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 4318-84 (1992) της A.S.T.M σε υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No.40 (0,42 mm).
  - Όριο Πλαστικότητας (PL). Γίνεται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 4318-84 (1992) της A.S.T.M σε υλικό που διέρχεται από το κόσκινο No.40 (0,42 mm).
  - Προσδιορισμός Δείκτη Πλαστικότητας (PI). Ορίζεται ίσος με τη διαφορά των ορίων υδαρότητας και πλαστικότητας.
4. Κοκκομέτρηση με αραιόμετρο : (Αριθμ.δειγμάτων 4). Γίνεται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 422-63 (1992) της A.S.T.M στο μέρος του υλικού που διέρχεται από το κόσκινο No.200 (0,074 mm).
5. Προσδιορισμός Ειδικού βάρους κόκκων ( $G_s$ ) : (Αριθμ.δειγμάτων 4). Ο προσδιορισμός γίνεται σύμφωνα με την πρότυπη μέθοδο D 854-91 (1992) της A.S.T.M.

Από τα αποτελέσματα των γεωτρήσεων είναι εμφανής η ύπαρξη δύο στρωμάτων της ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας.

- Το ανώτερο εξαλλοιωμένο μέλος της ακολουθίας υπό μορφή αργιλώδους άμμου (SC) με χαλίκια, ποικίλης κοκκομετρικής διαβάθμισης (Στρώμα 1). Η διακύμανση των παραμέτρων των εδαφικών δειγμάτων του στρώματος έχει υπολογιστεί (Πίνακας 5.6).
- Το υγιές μέλος της ακολουθίας με φυλλίτες και ιλυολίθους κατακερματισμένους (Στρώμα 2).



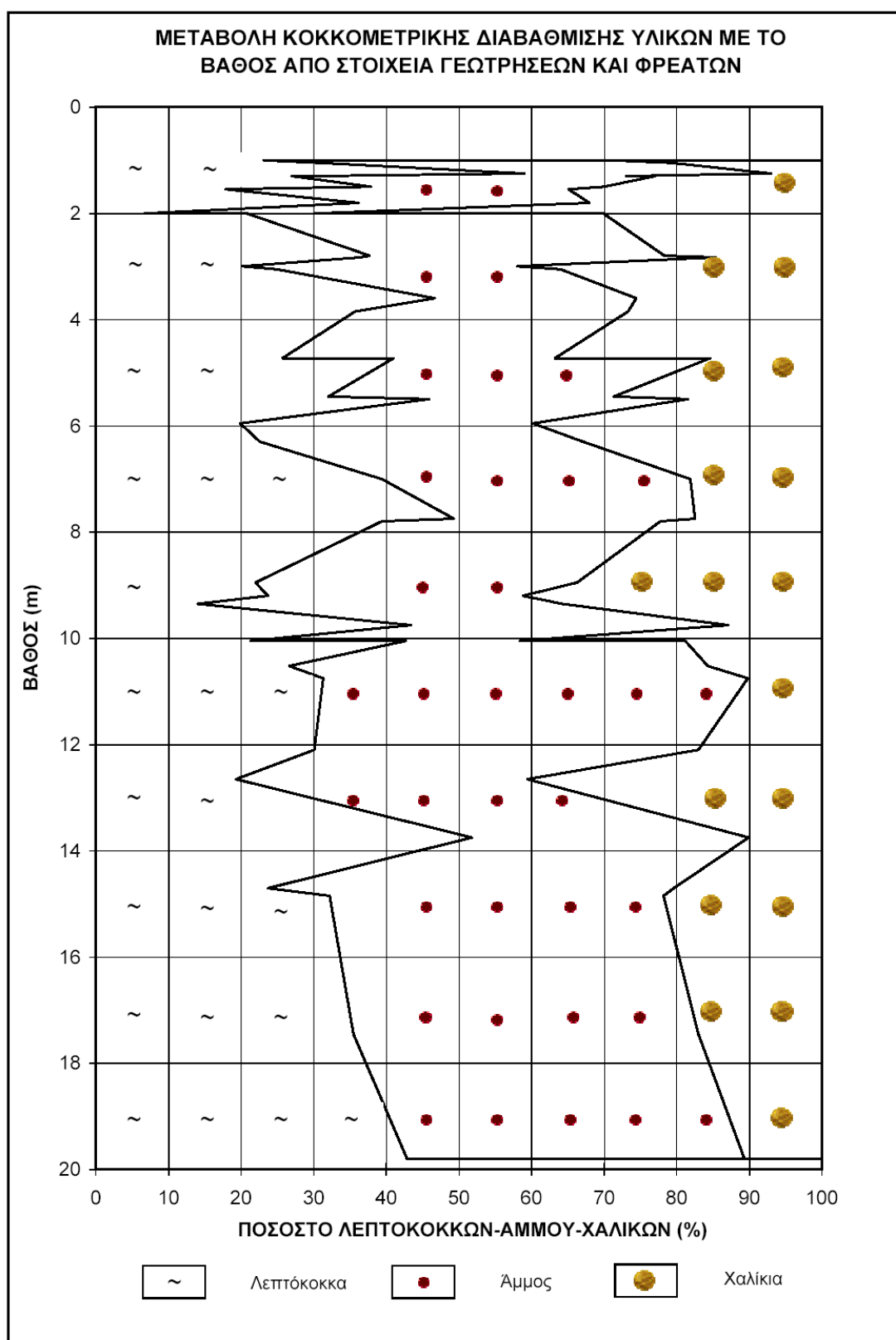
**Πίνακας 5.6** Διακύμανση παραμέτρων εδαφικών δειγμάτων Στρώματος 1.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	min	max	M.O.	Σύνολο τιμών
Όρια Atterberg:				
• Όριο υδαρότητας (LL)	16.8%	37.7%	22.9%	41
• Όριο πλαστικότητας (PL)	9.4%	16.7%	12.4%	41
• Δείκτης πλαστικότητας (PI)	7.2%	21.0%	10.5%	41
Φυσική υγρασία (w)	2.2%	17.7%	8.9%	41
Χαλίκια (συγκρατούμενο #4)	7%	70%	27%	41
Άμμος (διερχόμενο #4 - #200)	23%	59%	42%	41
Λεπτόκοκκα (διερχόμενο #200)	7%	59%	31%	41
Ποσοστό αργίλου	16%	25%	21%	4
Ειδικό βάρος στερεών (Gs)	2.64	2.77	2.72	4

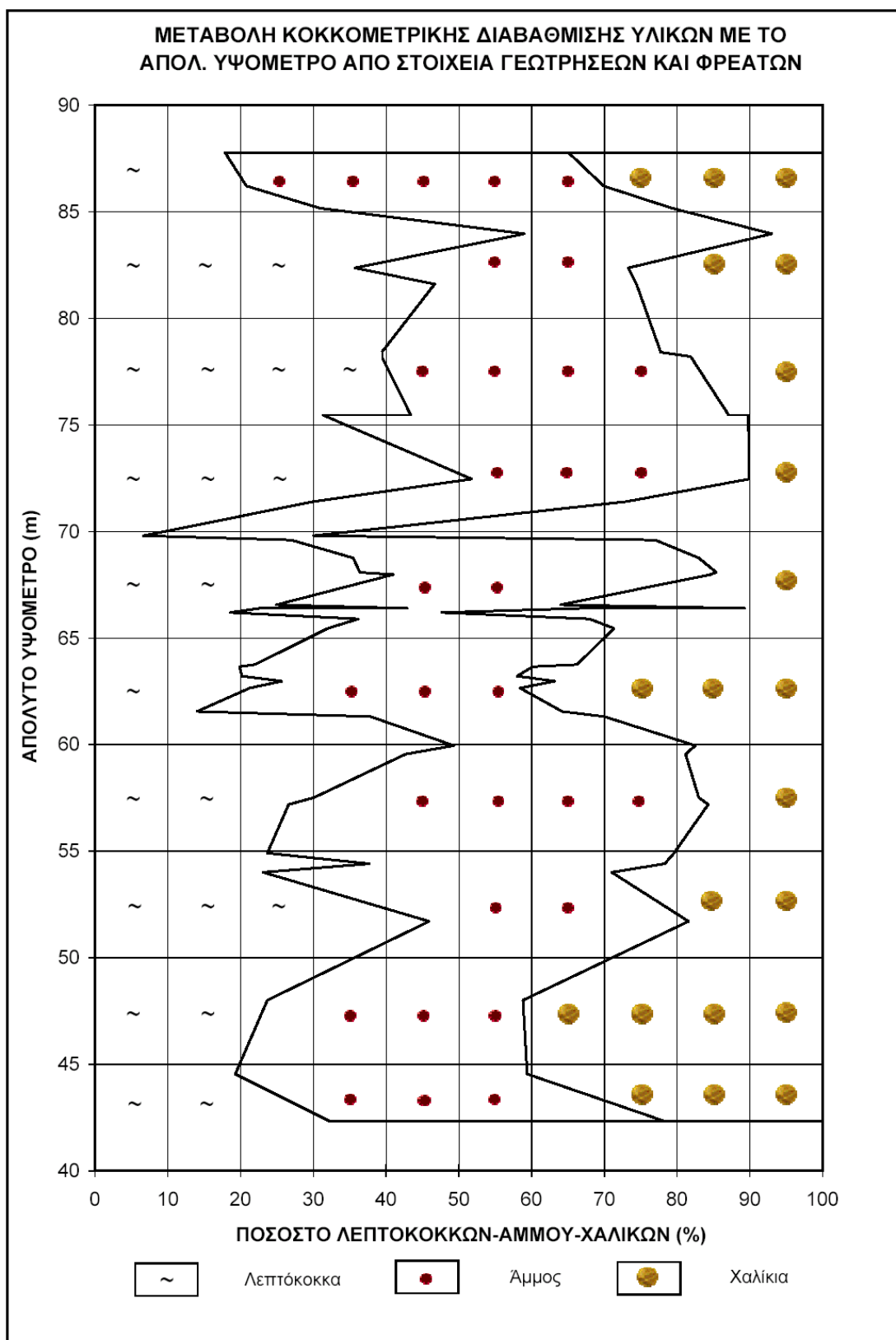
Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα (Σχήματα 5.3 και 5.4) της μεταβολής της κοκκομετρικής διαβάθμισης του Στρώματος 1 σε σχέση τόσο με το απόλυτο υψόμετρο αλλά και το βάθος, υπάρχει ανομοιογένεια στις τιμές πλευρικά αλλά και με το βάθος.

Η μέση ποσοστιαία αναλογία λεπτοκόκκων, άμμου και χαλίκων είναι η εξής:

Λεπτόκοκκα	Άμμος	Χάλικες
30%	50%	20%



**Σχήμα 5.3** Μεταβολή κοκκομετρικής διαβάθμισης Στρώματος 1 σε σχέση με το βάθος.

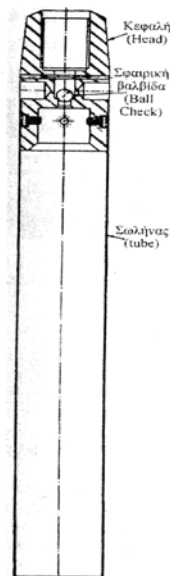


**Σχήμα 5.4** Μεταβολή κοκκομετρικής διαβάθμισης Στρώματος 1 σε σχέση με το απ. υψόμετρο.

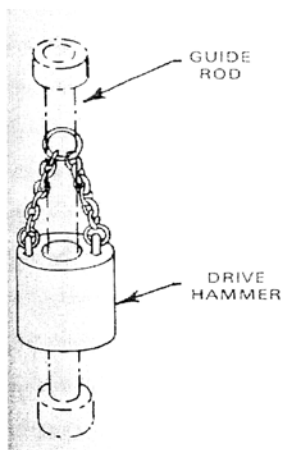
### 5.3.2 ΠΡΟΤΥΠΗ ΔΟΚΙΜΗ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ SPT

Κατά την διάρκεια των γεωτρήσεων εκτελέστηκαν πρότυπες δοκιμές διείσδυσης (SPT). Η δοκιμή βασίζεται στην προχώρηση του ειδικού διαιρετού δειγματολήπτη Terzaghi (Σχήμα 5.5), με πτώση βάρους 63,4 kg από ύψος 76 cm (Σχήμα 5.6). Κατά την δοκιμή μετράται ο αριθμός των κρούσεων  $N$  που απαιτείται για την προώθηση του δειγματολήπτη κατά 30 cm, μετά από μία αρχική προώθηση 15 cm κατά την οποία δεν συνυπολογίζεται ο αριθμός των κρούσεων.

Το διαταραγμένο εδαφικό δείγμα ανακτάται από το εσωτερικό του δειγματολήπτη και στην περίπτωση που ο αριθμός των κρούσεων υπερβεί τις 50 χωρίς να υπάρξει προχώρηση 15 cm τότε η δοκιμή διακόπτεται λέγοντας ότι υπάρχει άρνηση εισχώρησης και αναγράφεται το βάθος διείσδυσης σε εκατοστά, για 50 κρούσεις.

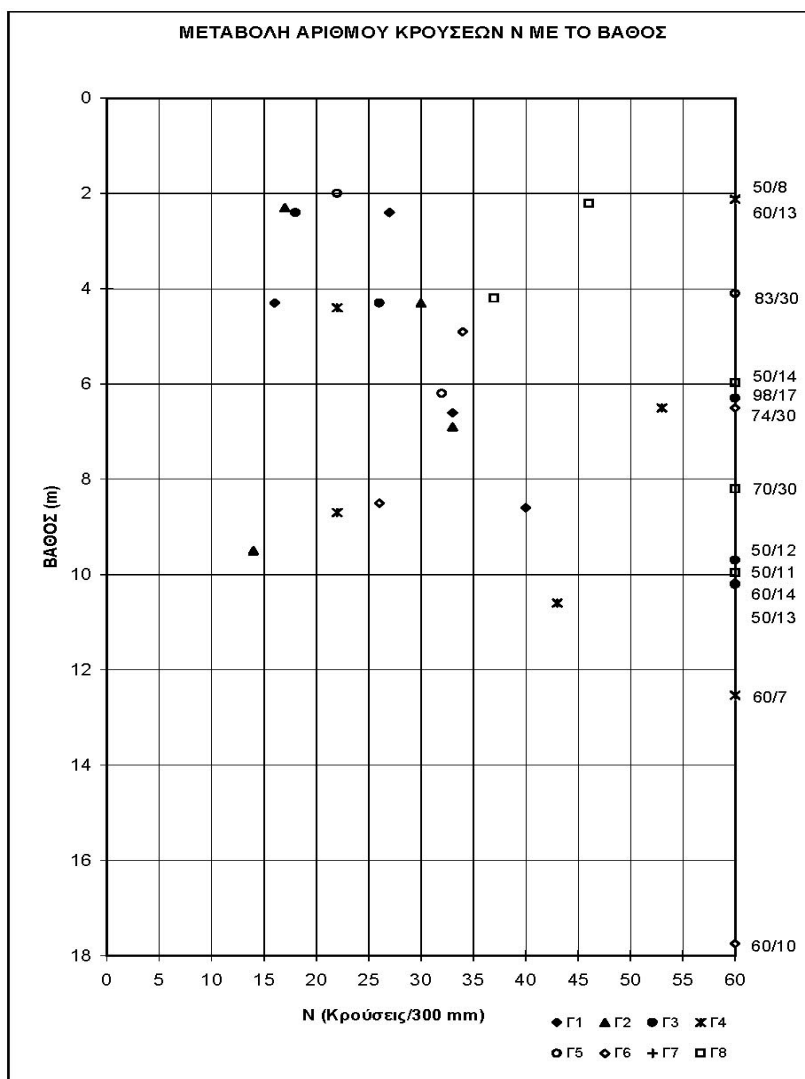


**Σχήμα 5.5** Δειγματολήπτης τύπου Shelby για Terzaghi (Παπαχαρίσης, 2001).



**Σχήμα 5.6** Οδηγός δοκιμής SPT (Sew, 2001).

Σε κάθε γεώτρηση πραγματοποιήθηκε η παραπάνω δοκιμή ανά 2,0 m περίπου και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα φαίνονται στο (Σχήμα 5.7) .



**Σχήμα 5.7** Μεταβολή αριθμού κρούσεων με το βάθος για όλες τις γεωτρήσεις.

### **5.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SPT**

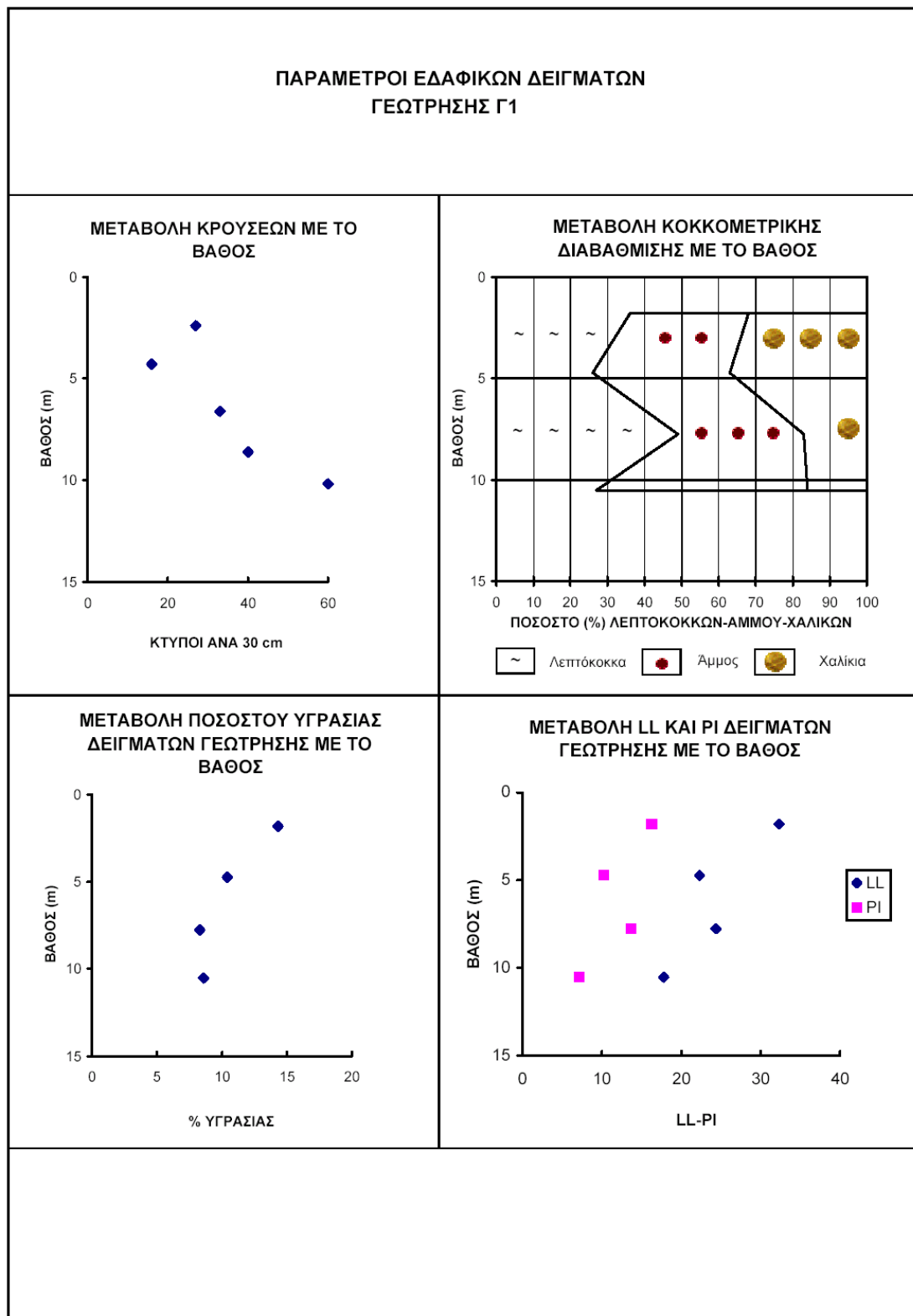
Για κάθε γεώτρηση έχουν αποτυπωθεί οι παράμετροι των εδαφικών δειγμάτων σε συνάρτηση με το βάθος σε διαγράμματα:

- Μεταβολής κρούσεων.
- Μεταβολής κοκκομετρικής διαβάθμισης.
- Μεταβολής ποσοστού υγρασίας.
- Μεταβολής LL και PI.

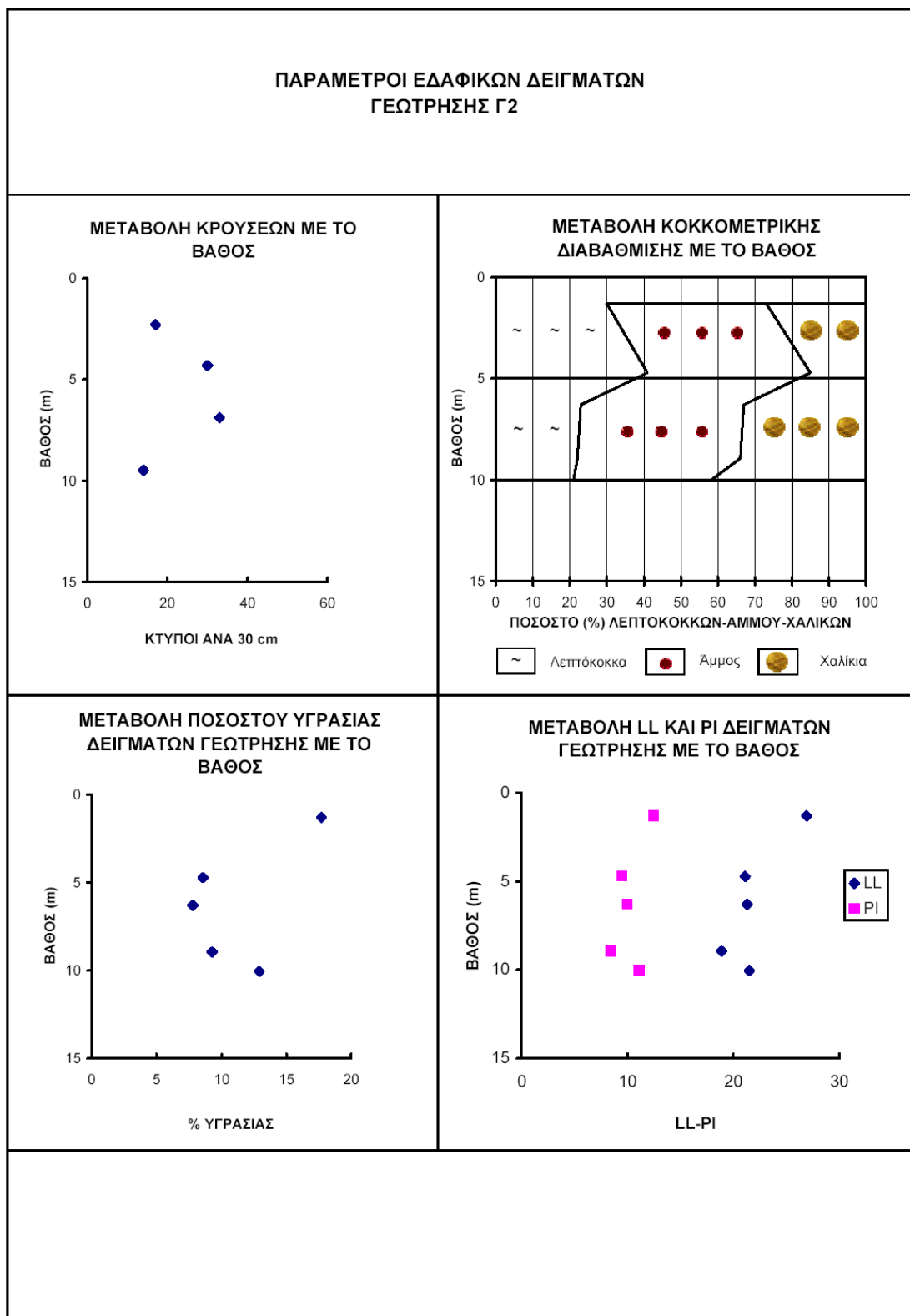
Η τιμή του δείκτη πλαστικότητας (~10%) των εδαφικών δειγμάτων υποδεικνύει περιορισμένη περιοχή πλαστικότητας για το Στρώμα 1.

Η μέση υγρασία του επιφανειακού στρώματος είναι 9% δηλώνοντας ότι το ποσοστό του νερού που δεσμεύεται από το αργιλικό κλάσμα είναι μεγαλύτερο από το παραπάνω ποσοστό που αναφέρεται στο σύνολό του και το έδαφος βρίσκεται σε ημιστερεή – πλαστική κατάσταση.

Τα αποτελέσματα αποτυπώνονται στα σχήματα 5.8 – 5.15.

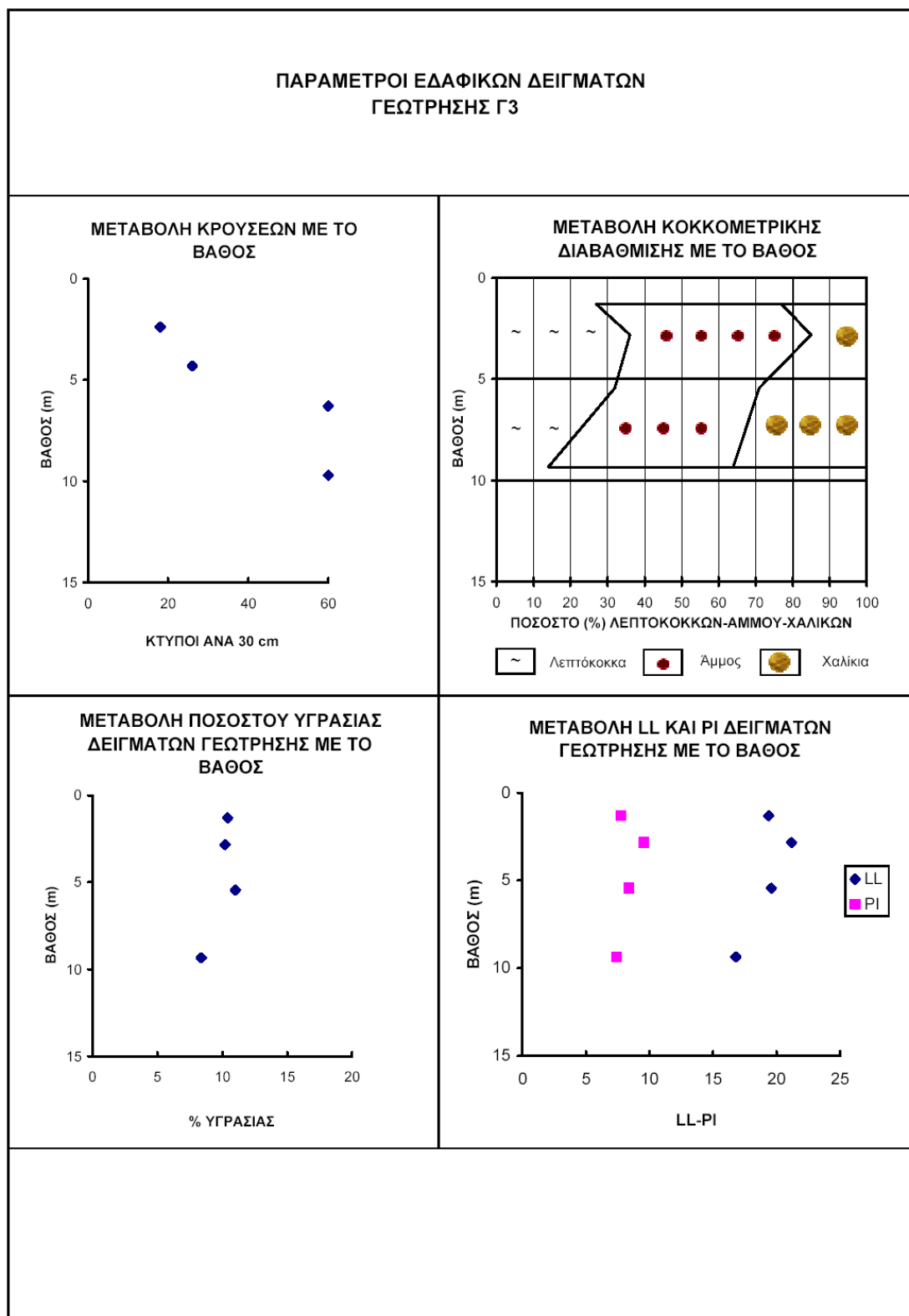


**Σχήμα 5.8** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ1.

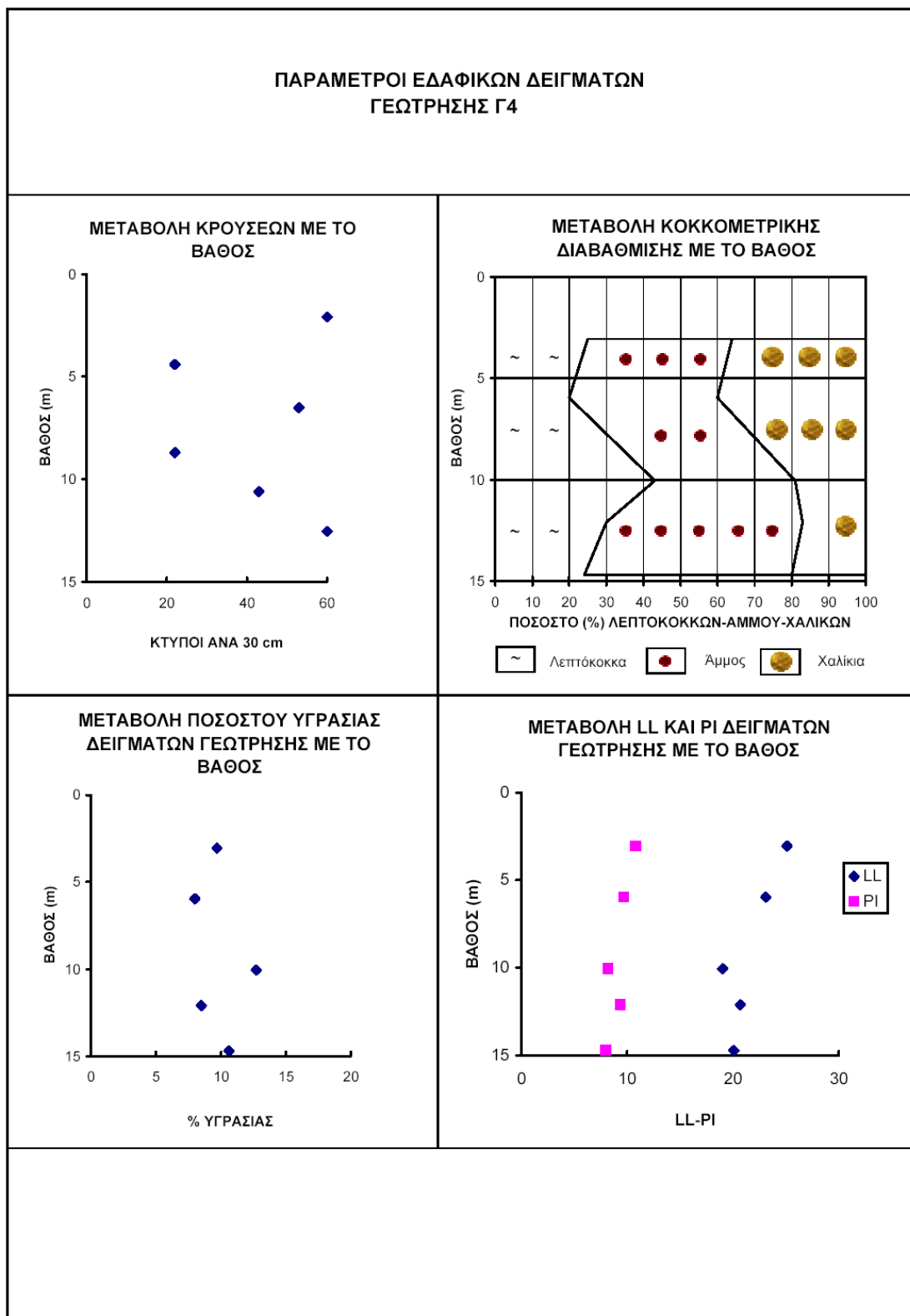


**Σχήμα 5.9** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ2.

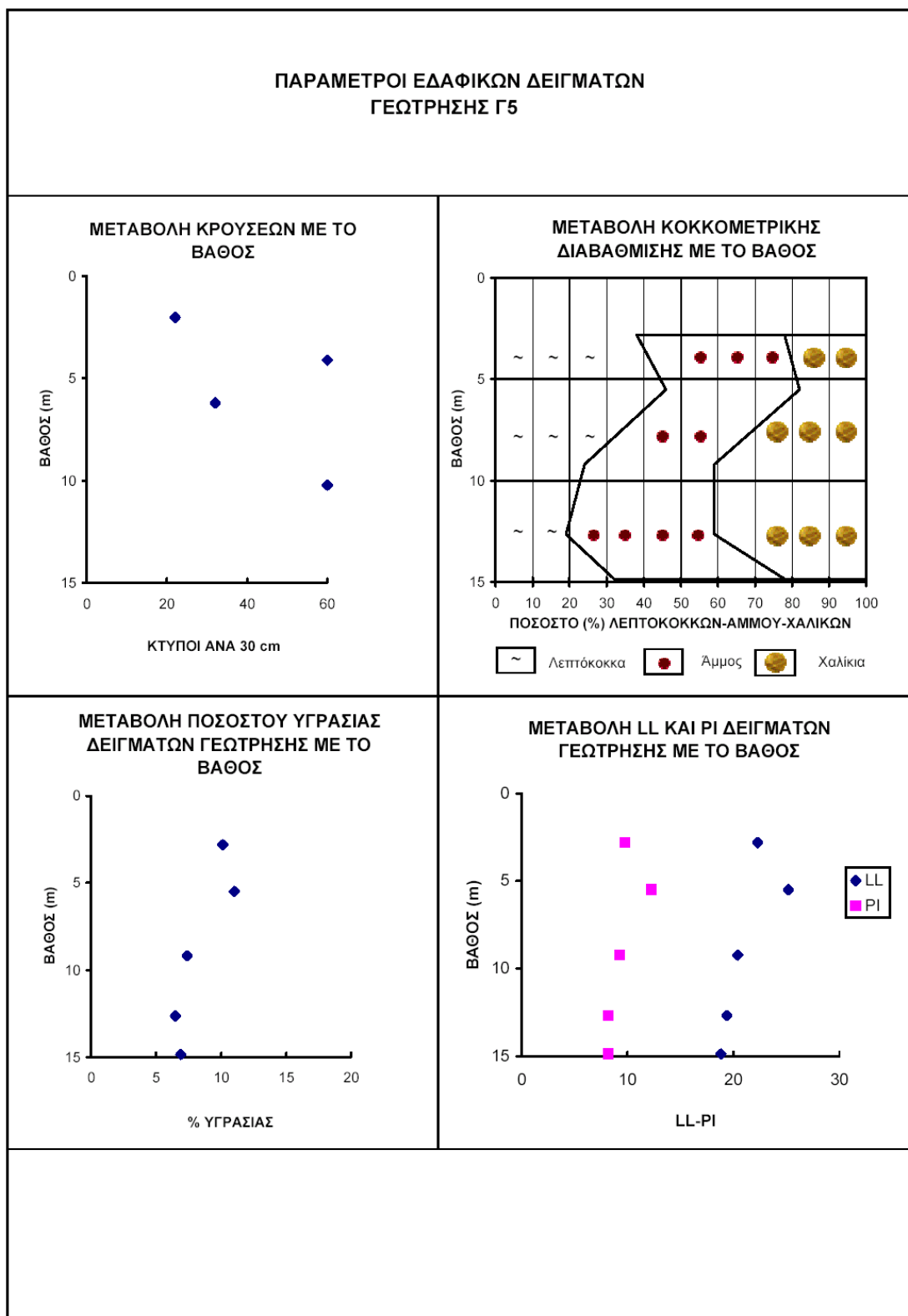




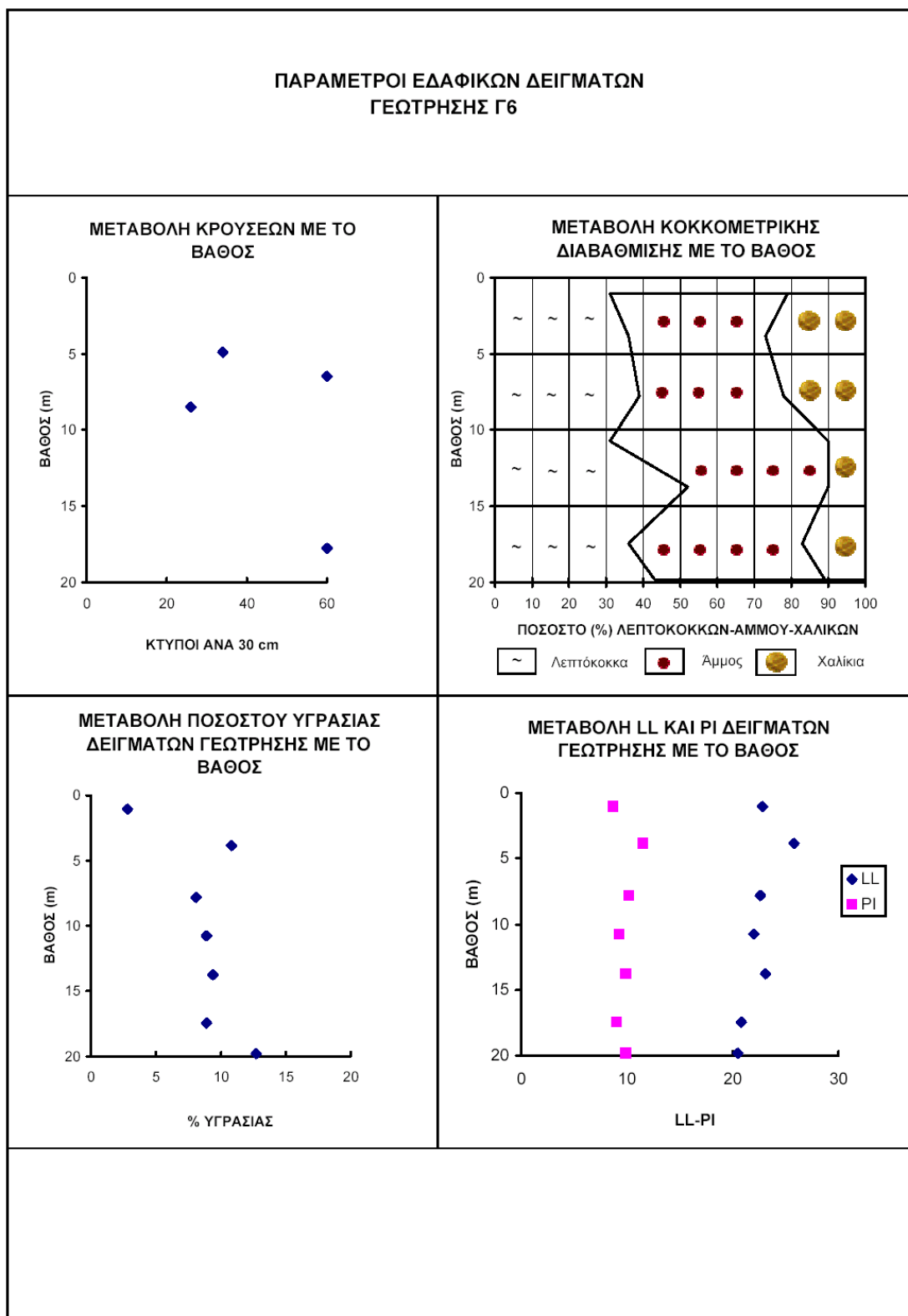
**Σχήμα 5.10** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ3.



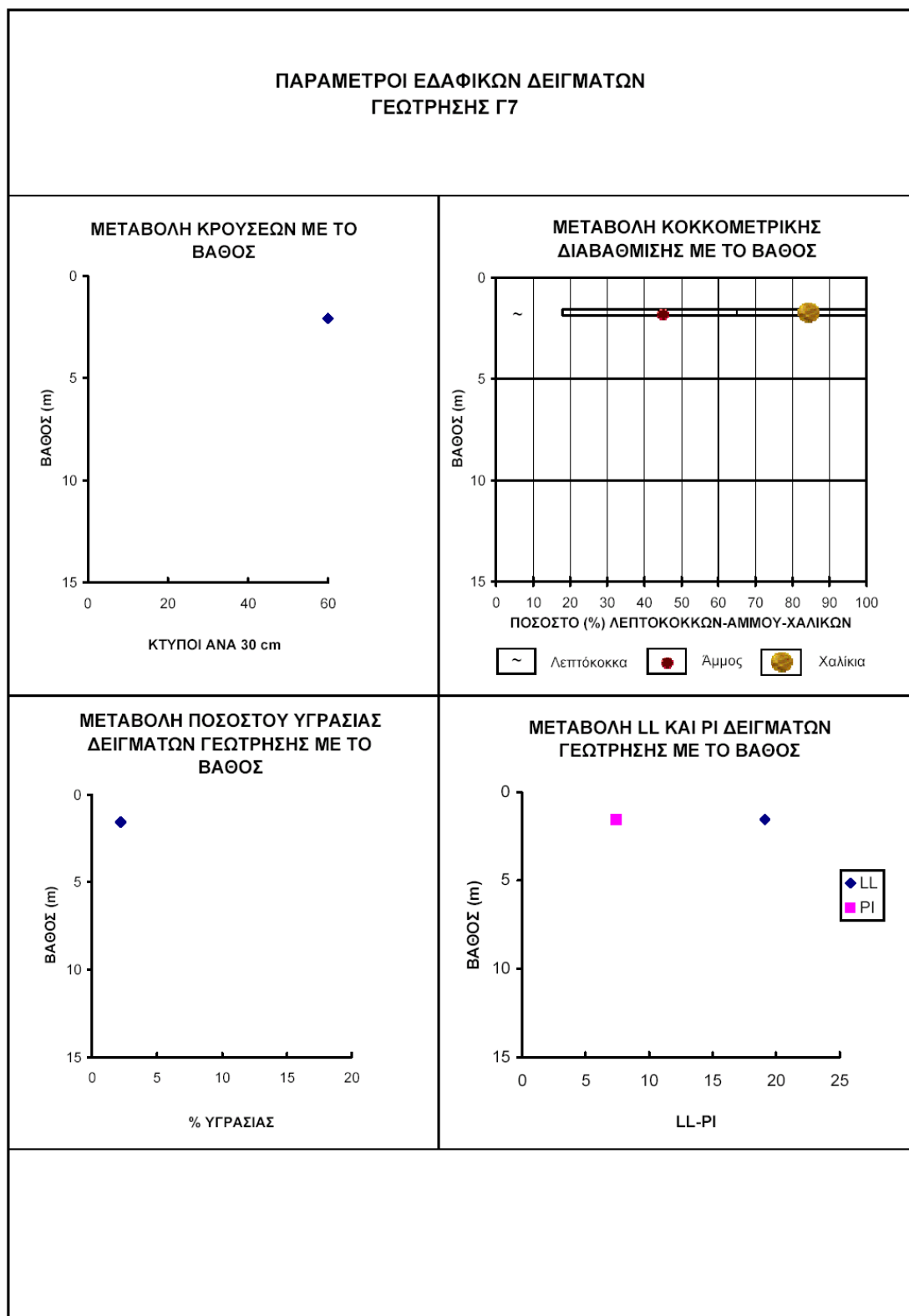
**Σχήμα 5.11** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ4.



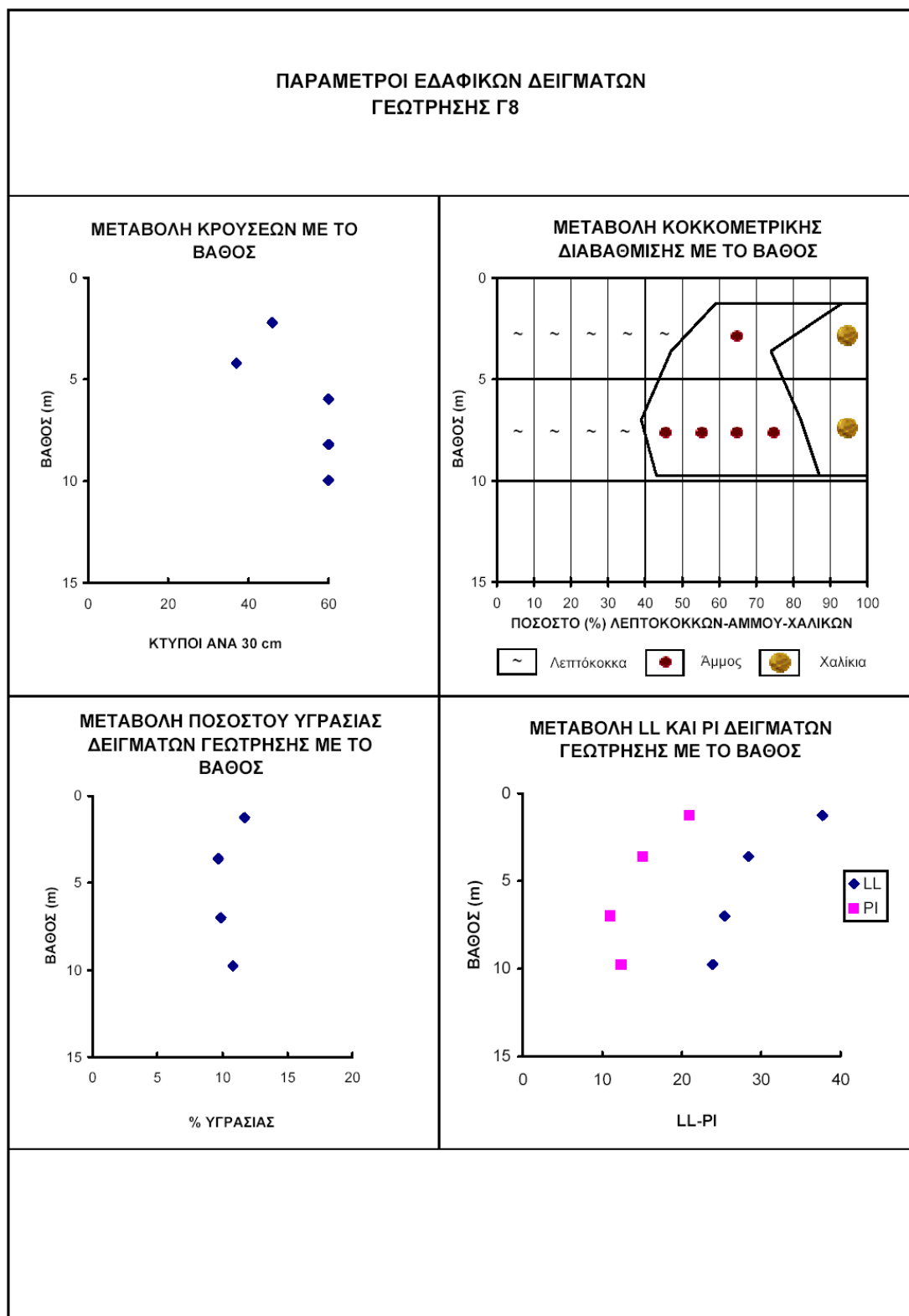
**Σχήμα 5.12** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ5.



**Σχήμα 5.13** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ6.



**Σχήμα 5.14** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ7.

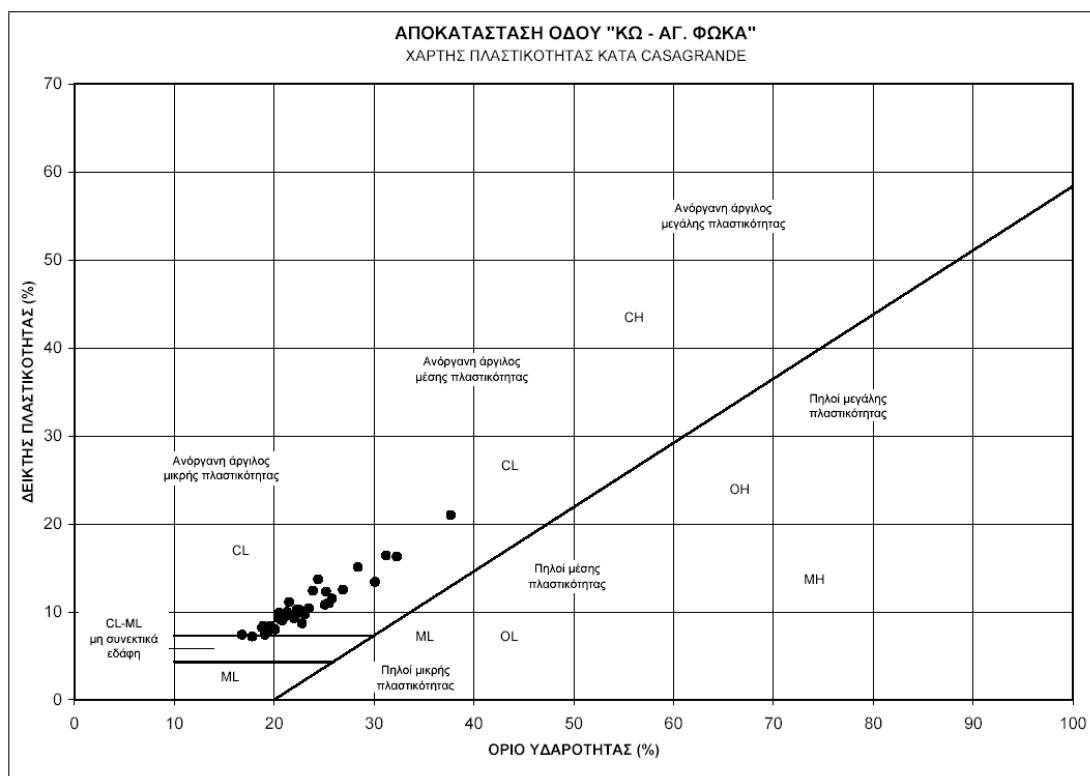


**Σχήμα 5.15** Αποτύπωση φυσικών παραμέτρων και δεδομένων SPT γεώτρησης Γ8.

### 5.3.4 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Η διατμητική αντοχή του εδαφικού υλικού του Στρώματος 1 περιγράφεται και υπολογίζεται με βάση δύο κύριες παραμέτρους, τη συνοχή και τη γωνία εσωτερικής τριβής του.

- Η συνοχή του υλικού εξαρτάται από την κοκκομετρική διαβάθμισή του και την παρουσία ενεργών ορυκτών στο αργιλικό κλάσμα. Λόγω της παρουσίας των λεπτοκόκκων σε ποσοστό 30% και της χαμηλής τιμής του PI που χαρακτηρίζει αργίλους χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας (CL) (Σχήμα 5.16) προσεγγίζεται η τιμή σε 20 kPa για δεδομένη υγρασία της τάξης του 10%.

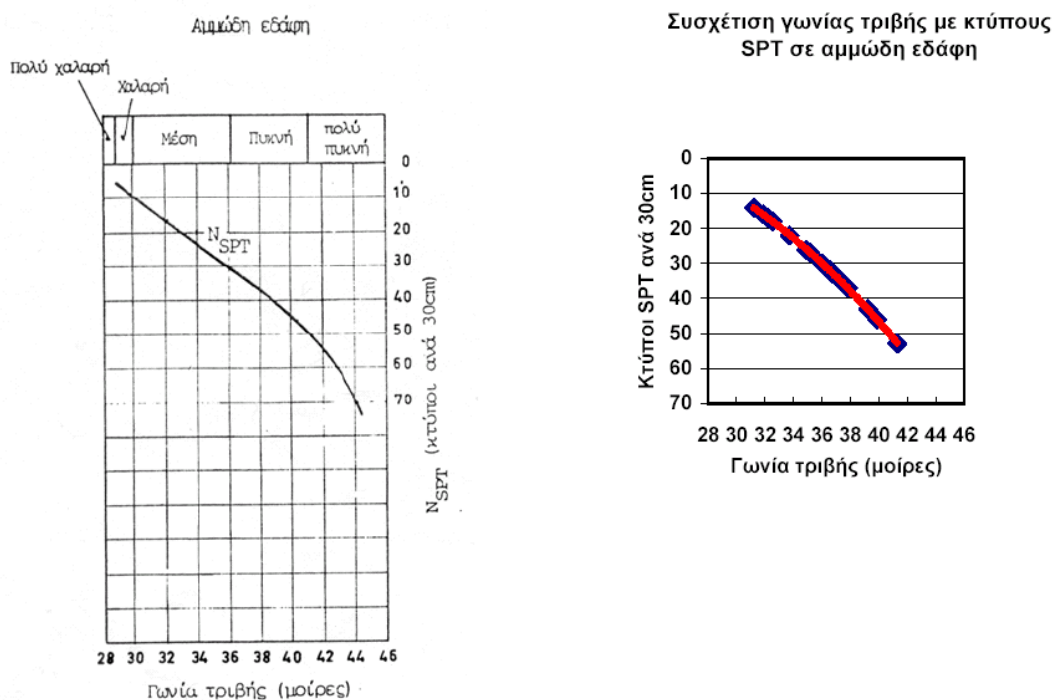


**Σχήμα 5.16** Χάρτης πλαστικότητας κατά Casagrande των δειγμάτων.

- Η γωνία εσωτερικής τριβής μπορεί να συσχετιστεί με βάση εμπειρικούς τύπους και διαγράμματα που αφορούν δοκιμή SPT σε αμμώδη εδάφη λαμβάνοντας υπόψη όμως και την παρουσία του αργιλικού κλάσματος.

Για την αύξηση της αξιοπιστίας των δεδομένων αφαιρούνται τιμές με αυξημένο αριθμό κτύπων λόγω της παρουσίας χαλίκων στο υπάρχον υλικό.

1) Σύμφωνα με το διάγραμμα των Peck-Hanson-Thornburn βρέθηκε η συνάρτηση μεταξύ κτύπων SPT και γωνίας τριβής και δημιουργήθηκε το διάγραμμα για τα δεδομένα του Στρώματος 1 στην ίδια κλίμακα. Η συχνότητα των τιμών δίνει την περιοχή μεταξύ  $31^\circ$  και  $37^\circ$  για τη γωνία τριβής (Σχήμα 5.17).



**Σχήμα 5.17** Διάγραμμα συσχετισμού των κτύπων SPT με τη γωνία τριβής.

2) Εμπειρική συσχέτιση του αριθμού κτύπων  $N$  και της σχετικής πυκνότητας ( $D_r$ ) για κοκκώδη εδάφη κατά Terzaghi and Peck δίνει την τιμή  $D_r(\%) = 50$  για μια μέση τιμή κτύπων ίση με 20 (Πίνακας 5.7).

**Πίνακας 5.7** Συσχέτιση αριθμού κτύπων  $N$  με τη σχετική πυκνότητα  $D_r$ .

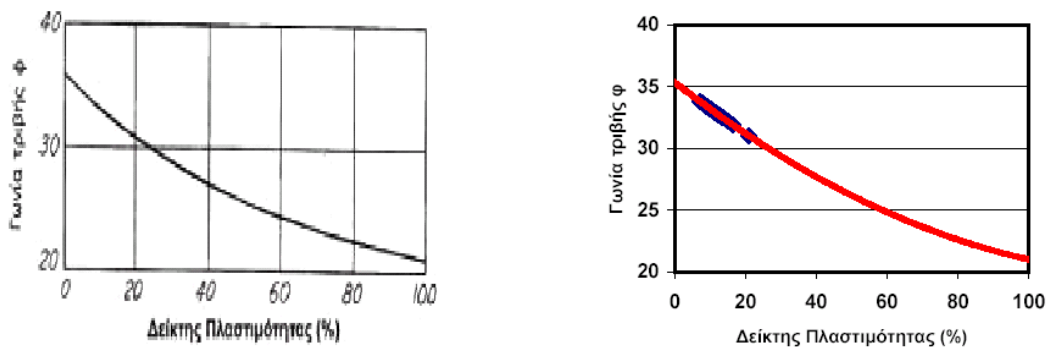
$N$	Χαρακτηρισμός	$D_r(\%)$
0 - 4	πολύ χαλαρή	0 - 15
4 - 10	χαλαρή	15 - 35
10 - 30	μέση	35 - 65
30 - 50	πυκνή	65 - 85
> 50	πολύ πυκνή	85 - 100



Η έμμεση συσχέτιση της σχετικής πυκνότητας και της γωνίας τριβής για έδαφος με προσμίξεις συνεκτικών > 5% κατά Meyerhof είναι:

$$\varphi^{\circ} = 25^{\circ} + 15 * D_r = 32,5^{\circ} \quad (5.7)$$

3) Το συνεκτικό κλάσμα του εδαφικού υλικού συσχετίζεται τον δείκτη πλαστικότητας με τη γωνία τριβής του με μέση τιμή τις  $32^{\circ}$  (Σχήμα 5.18).



**Σχήμα 5.18** Διάγραμμα συσχέτισης του δείκτη πλαστικότητας με την γωνία τριβής.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η γωνία εσωτερικής τριβής του Στρώματος 1 προσεγγίζει την τιμή των  $32^{\circ}$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

#### 6.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

Με βάση τα μητρώα των γεωτρήσεων Γ1 έως Γ8 (Παράρτημα Β) βασικό στοιχείο για τον διαχωρισμό της ηφαιστειοϊζηματογενούς ακολουθίας σε δύο στρώματα είναι η πυρηνοληψία.

Τα δύο στρώματα που προέκυψαν είναι:

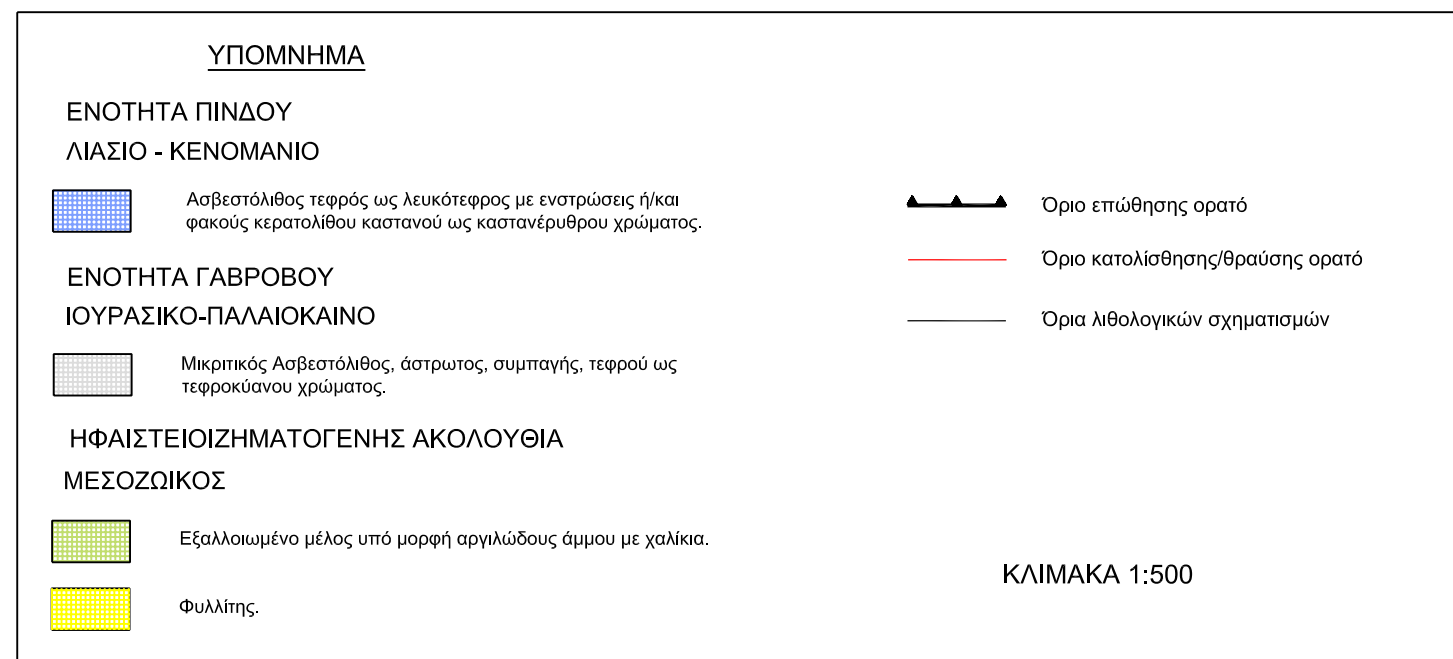
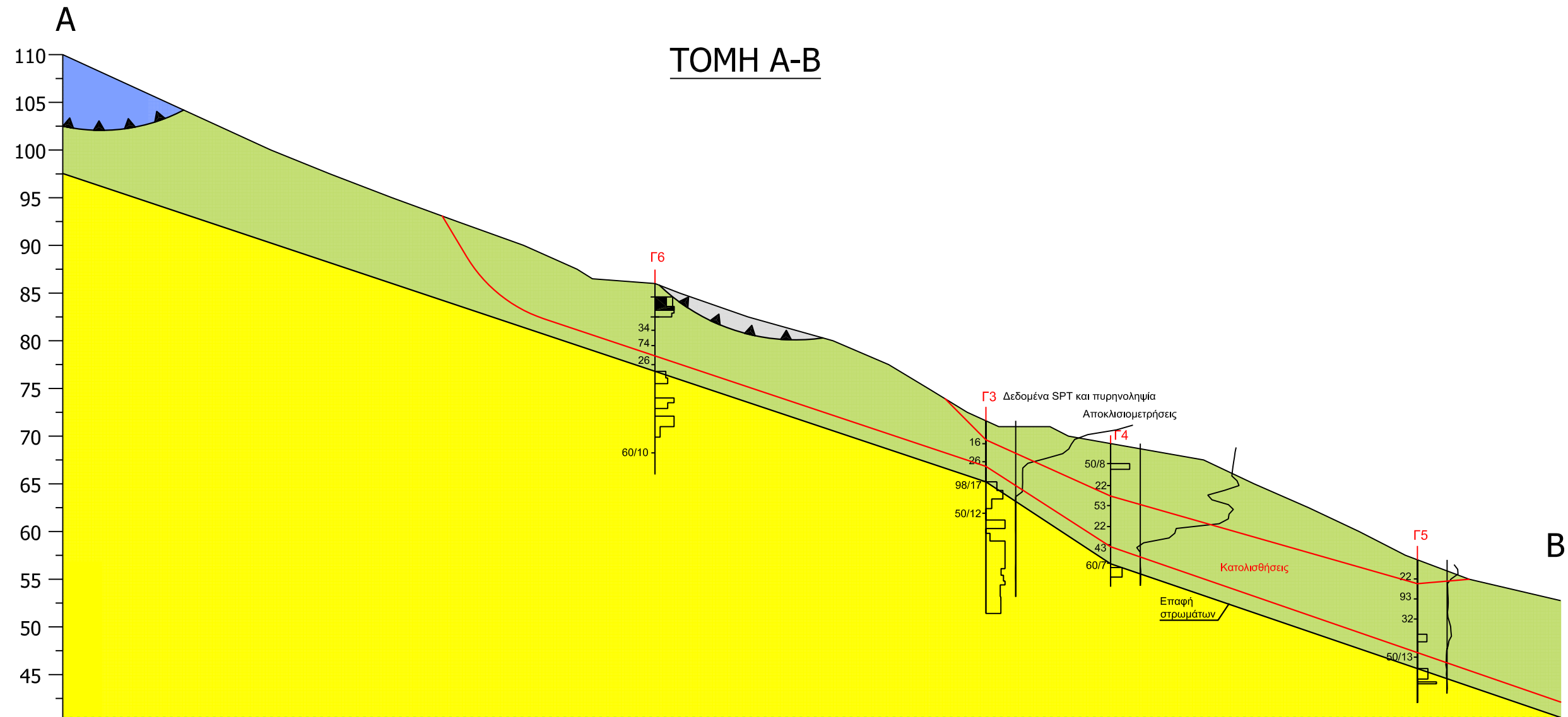
- Το ανώτερο εξαλλοιωμένο μέλος της ακολουθίας υπό μορφή αργιλώδους άμμου (SC) με χαλίκια (Στρώμα 1).
- Το υγιές μέλος της ακολουθίας με φυλλίτες και ιλυολίθους κατακερματισμένους (Στρώμα 2).

Οι επιφάνειες ολίσθησης που εντοπίστηκαν είναι δύο και παρατηρούνται στα εξής βάθη των γεωτρήσεων :

Κύρια κατολίσθηση: **Γ1**: 7,00 m , **Γ3**: 5,00 m , **Γ4**: 10,00 m και **Γ5**: 9,50 m.

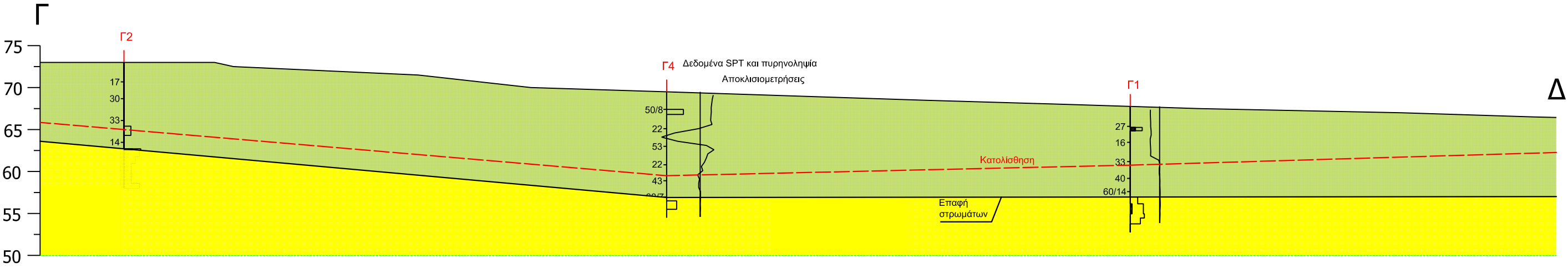
Δευτερεύουσα κατολίσθηση: **Γ3**: 2,00 m , **Γ4**: 5,50 m , **Γ5**: 2,50 m.

Κατασκευάστηκαν δύο γεωλογικές τομές Α-Β και Γ-Δ, η μία κατά μήκος του άξονα των κατολισθήσεων και η άλλη κάθετα σε αυτόν, με διευθύνσεις Β - Ν και Α - Δ αντίστοιχα (Σχήματα 6.1 και 6.2).



Σχήμα 6.1 Γεωλογική τομή A-B

ΤΟΜΗ Γ-Δ



ΥΠΟΜΝΗΜΑ

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗΣ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ  
ΜΕΣΟΖΩΙΚΟΣ

Εξαλλοιωμένο μέλος υπό μορφή αργιλώδους άμμου με χαλίκια.

Φυλλίτης.

Όριο επώθησης ορατό

Όριο κατολίσθησης/θραύσης ορατό

Όρια λιθολογικών σχηματισμών

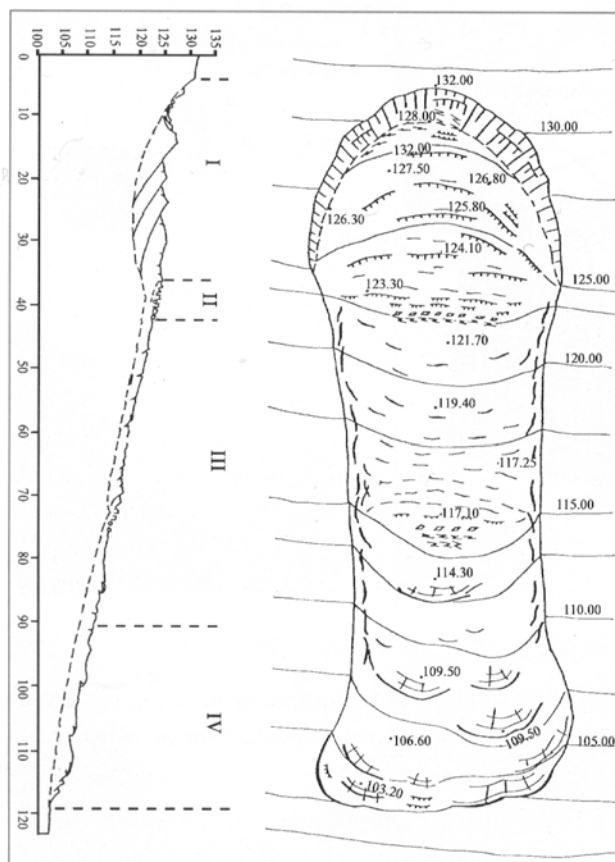
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:500

Σχήμα 6.2 Γεωλογική τομή Γ-Δ

## 6.2 ΜΟΡΦΟΔΥΝΑΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

Οι μορφοδυναμικές ζώνες που αναπτύσσονται κατά μήκος μιας τυπικής κατολίσθησης, η οποία εξελίσσεται σε ροή εδάφους (Σχήμα 6.3) είναι οι εξής (Λέκκας, 1996):

- Περιοχή I, εκεί οι διατμητικές τάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία τυπικής περιστροφικής κατολίσθησης με γεωμετρικά διευθετημένες επιφάνειες ολίσθησης και τη δημιουργία κόγχης.
- Περιοχή II, εμφανίζεται μόνο στην περίπτωση που το κατώτερο αόρατο περιθώριο της κόγχης βρίσκεται σε στερεό υπόβαθρο.
- Περιοχή III, χαρακτηρίζεται από διαφορικές κινήσεις της μάζας που κατολισθαίνει και αρμονικές μετατοπίσεις. Η συμπίεση της μάζας δημιουργεί συνεχείς πτυχώσεις και ασυνεχείς παραμορφώσεις.
- Περιοχή IV, οφείλει την παρουσία της στην αύξηση της τριβής της κατολισθαίνουσας μάζας πάνω στο υπόβαθρο. Λόγω της συμπίεσης δημιουργούνται πτυχές και κυματώσεις.



**Σχήμα 6.3** Απεικόνιση μορφοδυναμικών περιοχών κατολίσθησης (Λέκκας, 1996).

### 6.3 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ SLOPE/W έκδοση 5

Το λογισμικό SLOPE/W της εταιρίας GEOSLOPE είναι ένα προϊόν που διαχειρίζεται τις αναλύσεις ευστάθειας πρανών.

Ειδικότερα περιλαμβάνει:

- 1) Έξι μεθόδους οριακής ισορροπίας (Fellenius, Bishop, Janbu, Morgenstern – Price, Spencer, General Limit Equilibrium)
- 2) Πολυάριθμες επιφάνειες ολίσθησης, κυκλική, σύνθετη, καθορισμένες μορφές, διαμορφωμένα μπλοκ με τρία γραμμικά τμήματα.
- 3) Συνθήκες πίεσης νερού καθορισμένες με την πιεζομετρική γραμμή.
- 4) Καθορισμό 10 εδαφικών στρωμάτων.
- 5) Εδαφική διατμητική αντοχή ορισμένη ως αστράγγιστη, συνεκτική και τριβής, μηδενική και υψηλή λόγω βραχώδους υποβάθρου.
- 6) Επιπρόσθετες επιφανειακές πιέσεις.
- 7) Συγκεντρωμένες γραμμικές φορτίσεις.
- 8) Δύο μέθοδους θραύσης.
- 9) Οριζόντιο και κατακόρυφο σεισμικό συντελεστή.

Το λογισμικό περιέχει τρία εκτελέσιμα προγράμματα:

#### 1. DEFINE (Σχεδιασμός): Σχεδιασμός του μοντέλου

Το πρόγραμμα σχεδιασμού δίνει τη δυνατότητα παρουσίασης του πρόβληματος. Ξεκινά με τον ορισμό της περιοχής σχεδίασης δηλαδή το μέγεθος χαρτιού, την κλίμακα και την αρχή των αξόνων. Προεπιλεγμένες τιμές υπάρχουν για τα παραπάνω. Ο σχεδιασμός γίνεται χρησιμοποιώντας γραμμές, κύκλους και τόξα. Είναι δυνατή η εισαγωγή εικόνας ως βοήθεια για τον σχεδιασμό του αναγλύφου.

Όταν τελειώσει η σχεδίαση ορίζονται οι ιδιότητες των υλικών, η γεωμετρία του πρανούς με σημεία και γραμμές, οι δοκιμαστικές επιφάνειες ολίσθησης, οι συνθήκες πίεσης νερού και εφαρμόζονται συνθήκες πίεσης. Οι περισσότερες εντολές είναι διαθέσιμες από το μενού Draw ενώ οι ιδιότητες των υλικών εισάγονται από το μενού keyin. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει πέντε γραμμές εργαλείων για διαφορετικές ομάδες εργαλείων. Αποθηκεύοντας το πρόβλημα δημιουργείται ένα αρχείο Define που μετά διαβάζεται από το πρόγραμμα SOLVE.

## 2. SOLVE (Επίλυση): Υπολογισμοί

Επιλέγοντας την εντολή Start από το κεντρικό παράθυρο του προγράμματος SOLVE ξεκινάνε οι υπολογισμοί.

## 3. CONTOUR (Περιγραφή): Αποτύπωση αποτελεσμάτων

Το πρόγραμμα CONTOUR αναπαριστά γραφικά όλες τις δοκιμαστικές επιφάνειες ολίσθησης και τους συντελεστές ασφαλείας που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα SOLVE. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται ως ισοϋψείς συντελεστών ασφαλείας, διαγράμματα δύναμης, πολύγωνα δυνάμεων για κάθε λωρίδα, γραφικά και υπολογισμένες παράμετροι κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης και πιθανολογική κατανομή των συντελεστών ασφαλείας.

Η ανασκόπηση των δεδομένων είναι δυνατή χρησιμοποιώντας τις εντολές από τα μενού View και Draw. Το μενού View περιέχει εντολές που αφορούν την εμφάνιση των συντελεστών ασφαλείας βάσει μεθόδου, τις αριθμητικές πληροφορίες για σημεία και ιδιότητες υλικών καθώς και δυνάμεις για κάθε λωρίδα. Το μενού Draw περιλαμβάνει εντολές που αφορούν τη γραφική αποτύπωση των αποτελεσμάτων.

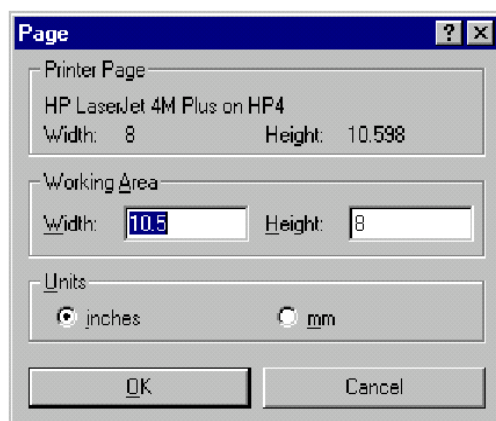
Ο συντελεστής ασφαλείας κάθε ορισμένης επιφάνειας ολίσθησης μπορεί να εμφανιστεί και να βαθμονομηθούν οι ισοϋψείς. Οι υπολογισμένες ιδιότητες κάθε λωρίδας εμφανίζονται γραφικά είτε σε σχέση με την απόσταση είτε σε σχέση με τον αριθμό της λωρίδας κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης.

Το πρόγραμμα είναι βασισμένο σε δύο συνθήκες εξισώσεων συντελεστών ασφαλείας. Οι εξισώσεις αυτές βασίζονται στη στιγμιαία ισορροπία (ροπές) και την ισορροπία δυνάμεων κάθε λωρίδας. Η απλοποιημένη μέθοδος Bishop χρησιμοποιεί οριζόντιες δυνάμεις αλλά όχι διατμητικές μεταξύ των λωρίδων ( $\lambda=0$ ) και ικανοποιεί μόνο την στιγμιαία ισορροπία (ροπές). Ομοίως η απλοποιημένη μέθοδος Janbu δεν χρησιμοποιεί διατμητικές δυνάμεις και ικανοποιεί την ισορροπία δυνάμεων ( $\lambda=0$ ). Οι μέθοδοι Morgenstern - Price και GLE χρησιμοποιούν οριζόντιες και διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των λωρίδων και ικανοποιούν και τις δύο εξισώσεις ( $\lambda>0$ ).

## 6.4 ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

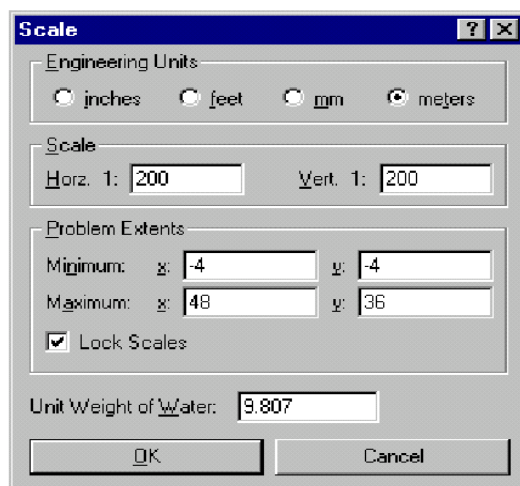
### 6.4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Επιλέγοντας το SLOPE/W εμφανίζεται το παράθυρο DEFINE. Αρχικά επιλέγεται το μέγεθος της επιφάνειας όπου θα εξεταστεί το πρόβλημα (Πλάτος: 13,296 in και Ύψος: 8,408 in). Η περιοχή εργασίας μπορεί να είναι μεγαλύτερη, ίση ή μικρότερη από τη σελίδα εκτύπωσης (Σχήμα 6.4).



Σχήμα 6.4 Παράθυρο διαλόγου σελίδας.

Χρησιμοποιείται η κλίμακα που επιτρέπει στο σχέδιο να είναι εντός των πλαισίων της σελίδας. Επιλέγεται η τιμή κλίμακας και για τους δύο άξονες ίση με 1: 600 και μονάδες m δίνοντας αρνητικές τιμές στα ελάχιστα των τιμών x και y και υπολογίζονται βάση αυτών οι μέγιστες. Όταν το πρόβλημα είναι ορισμένο σε μέτρα και kN, το ειδικό βάρος του νερού θα είναι ίσο με 9,807 kN/m<sup>3</sup> (Σχήμα 6.5).

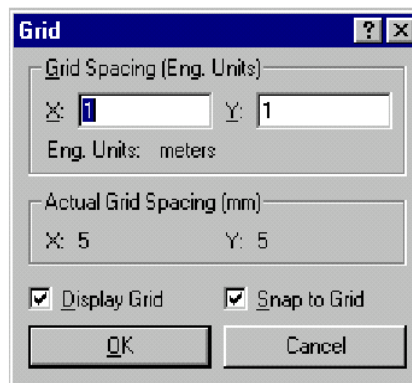


Σχήμα 6.5 Παράθυρο διαλόγου κλίμακας.

Για τον σχεδιασμό είναι απαραίτητη η ύπαρξη κανάβου σημείων έτσι ώστε σημεία και γραμμές να έχουν ακριβείς συντεταγμένες. Χρήσιμη βάση της κλίμακας ήταν η



τοποθέτηση ανά διαστήματα των 0,25 m των σημείων του πλέγματος στους άξονες x και y. Επιλέγεται η εμφάνιση του πλέγματος και η δυνατότητα να έλκεται ο δρομέας από τα πιο κοντινά σημεία (Σχήμα 6.6).



**Σχήμα 6.6** Παράθυρο διαλόγου πλέγματος.

Το πρανές αποτελείται από δύο στρώματα. Το Στρώμα 1 με μέσο πάχος 9 - 14 m και το Στρώμα 2 βραχώδες υπόβαθρο.

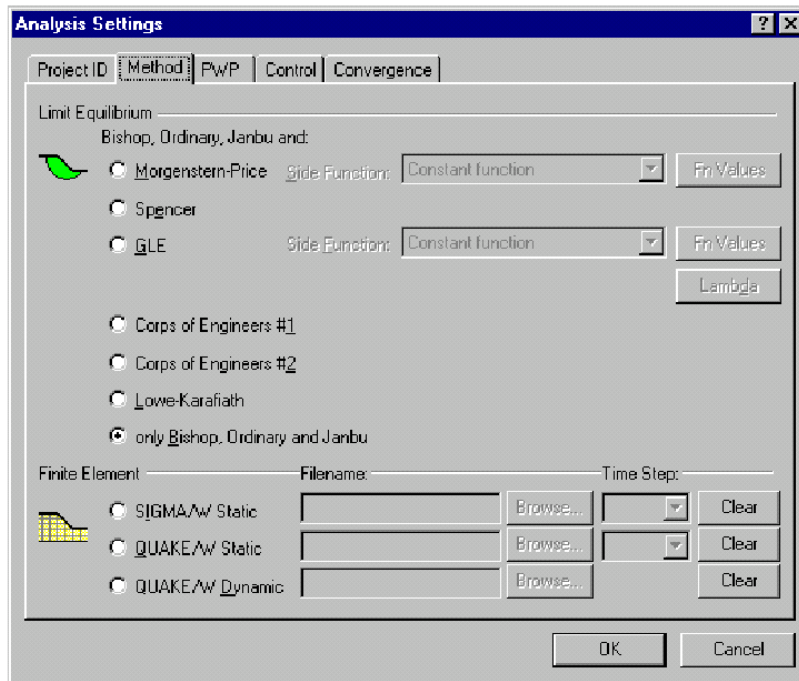
Το σχέδιο ξεκινά με τον σχεδιασμό των γραμμών από το μενού draw. Εισάγεται με την εντολή Import Image αρχείο της μορφής R12.DXF του Autocad που εμφανίζει την γεωλογική τομή του προβλήματος και προσαρμόζεται με τη βοήθεια της εντολής Modify Objects στην κλίμακα του προγράμματος. Υπάρχει η δυνατότητα να εισαχθούν εικόνες μορφής αρχείων (DXF) Autocad, (BMP) Window bitmap, (EMF) metafile και (WMF) Window metafile.

Επιλέγοντας την εντολή Sketch Lines και χρησιμοποιώντας το ποντίκι, με αρχή από πάνω αριστερά επιλέγονται τα σημεία που περικλείουν το σχέδιο, πατώντας το αριστερό πλήκτρο μέχρι να κλείσει η γραμμή, με φορά προς τα δεξιά και τερματίζοντας με δεξί πλήκτρο. Κατόπιν σχεδιάζονται η γραμμή επαφής των δύο στρωμάτων με τον ίδιο τρόπο.

#### **6.4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

##### **1) ΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

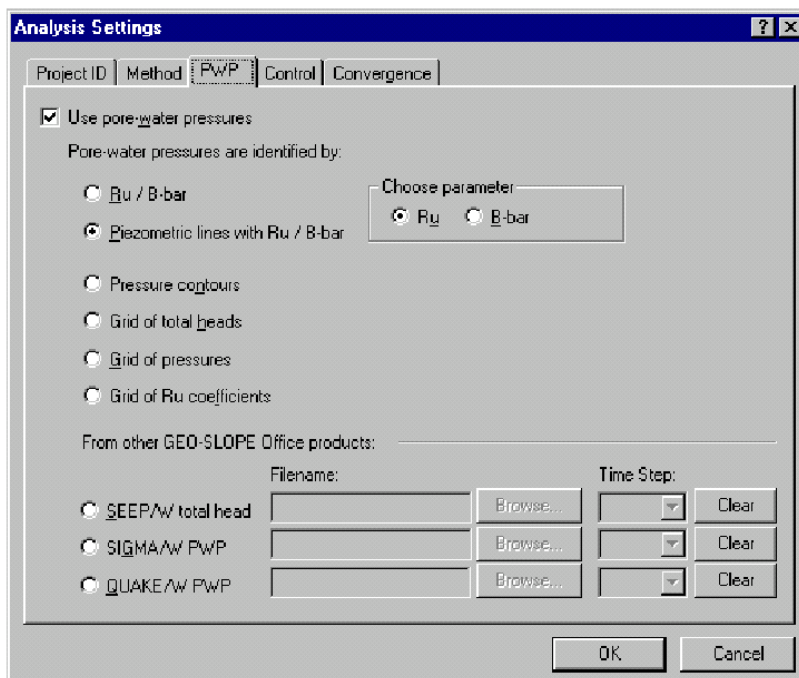
Από το μενού keyin επιλέγονται οι μέθοδοι ανάλυσης, Bishop, Ordinary, Janbu και Morgenstern- Price ( $f(x)$ : ημιτονοειδής) (Σχήμα 6.7).



**Σχήμα 6.7** Παράθυρο διαλόγου μεθόδων ανάλυσης.

## 2) ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΙΛΟΓΩΝ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Επιλέγοντας το παράθυρο διαλόγου πίεσης πόρων νερού (pwp) γίνεται ορισμός της πιεζομετρικής επιφάνειας του υδροφόρου (Σχήμα 6.8).



**Σχήμα 6.8** Παράθυρο διαλόγου πίεσης πόρων νερού.

Επιλέγεται κίνηση της επιφάνειας ολίσθησης από αριστερά προς δεξιά και ορίζονται το πλέγμα και οι ακτίνες των κύκλων για την ανάλυση (Σχήμα 6.9).

The 'Analysis Settings' dialog box contains the following elements:

- Tabs: Project ID, Method, PWP, Control, Convergence.
- ☐ Apply Probabilistic Analysis
- # of Monte Carlo Trials: 1000
- Slip Surface Option:
  - Specify: Grid and Radius
  - Min. Slip Surface Thickness: 0
- Tension Crack Option:
  - Specify: (none)
- Direction of Movement:
  - ☒ Left to Right (with a green arrow pointing right)
  - ☐ Right to Left (with a green arrow pointing left)
- Buttons: OK, Cancel

**Σχήμα 6.9** Παράθυρο διαλόγου πλέγματος και ακτίνων κύκλων.

#### **6.4.3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ**

Από το μενού keyin επιλέγονται οι ιδιότητες των εδαφών. Πληκτρολογώντας τον αριθμό 1 για το ανώτερο στρώμα, επιλέγεται κριτήριο θραύσης, όνομα και βασικές ιδιότητες όπως φαινόμενο βάρος, γωνία τριβής και συνοχή. Με την εντολή copy εισάγονται στη λίστα οι παράμετροι και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία για τις ιδιότητες του βραχώδους υποβάθρου με αριθμό 2 (Σχήμα 6.10).

The 'KeyIn Soil Properties' dialog box contains the following elements:

- Table with 4 columns: Soil, Strength Model, Description, Color.
 

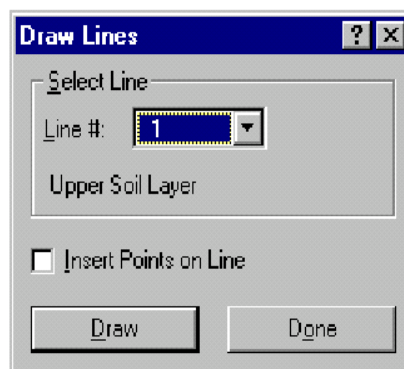
Soil	Strength Model	Description	Color
1	Mohr-Coulomb	Upper Soil Layer	Yellow
2	Mohr-Coulomb	Lower Soil Layer	Light Green
3	Bedrock	Bedrock	Dark Green
- Below the table: A dropdown menu set to 'Mohr-Coulomb', an empty text field, and a 'Set...' button.
- Basic Parameters section:
  - Unit Weight: 0
  - Phi: 0
  - Cohesion: 0
- Advanced Parameters section (disabled):
  - Unit Wt. above WT: 0
  - Phi B: 0
  - Anisotropic Fr: 0
- Buttons: Copy, Insert, Delete, OK, Cancel

**Σχήμα 6.10** Παράθυρο διαλόγου ιδιοτήτων των στρωμάτων.

#### 6.4.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

##### 1) ΟΡΙΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

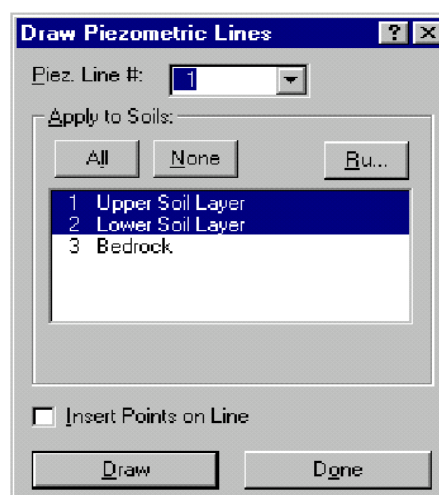
Η κάθε γραμμή αντιστοιχεί στην άνω επιφάνεια του στρώματος που καθορίζεται από το παράθυρο διαλόγου. Η συνήθης πρακτική είναι να καθοριστούν πρώτα οι ανώτερες γραμμές από αριστερά προς τα δεξιά προσδιορίζοντας την επιφάνεια ανεξάρτητα αν αλλάζει το στρώμα ή όχι κατά την κίνηση αυτή. Επιλέγοντας την εντολή lines από το μενού draw σχεδιάζονται οι γραμμές 1 και 2. Με την εντολή done το Στρώμα 1 χρωματίζεται (Σχήμα 6.11).



**Σχήμα 6.11** Παράθυρο διαλόγου σχεδιασμού γραμμών στρωμάτων.

##### 2) ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Επιλέγεται η πίεση πόρων νερού από το μενού draw και σχεδιάζεται η πιεζομετρική γραμμή η οποία θα διέρχεται από τα στρώματα που θα δηλωθούν (Σχήμα 6.12).

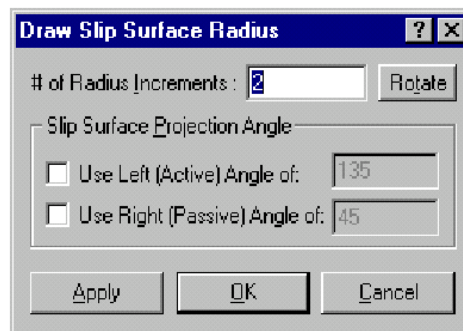


**Σχήμα 6.12** Παράθυρο διαλόγου σχεδιασμού πιεζομετρικών γραμμών.

### 3) ΚΥΚΛΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ

- Σχεδιασμός γραμμών ακτίνων

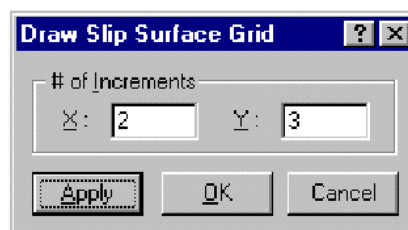
Επιλέγοντας την επιφάνεια ολίσθησης (slip surface) από το μενού draw επιλέγεται η ένδειξη ακτίνα (radius). Σχηματίζεται το παραλληλόγραμμο και γίνεται αποδοχή της προεπιλεγμένης τιμής αύξησης των ακτίνων. Οι κύκλοι θα εφάπτονται σε αυτές τις γραμμές (Σχήμα 6.13).



**Σχήμα 6.13** Παράθυρο διαλόγου επιφάνειας που εφάπτονται οι κύκλοι.

- Σχεδιασμός πλέγματος ακτίνων κύκλων

Επιλέγοντας την επιφάνεια ολίσθησης (slip surface) από το μενού draw επιλέγεται η ένδειξη πλέγμα (grid). Σχηματίζεται το παραλληλόγραμμο και ορίζεται ο αριθμός των σημείων στον x και y άξονα που θα υποδιαιρεθεί κάθε πλευρά (Σχήμα 6.14).

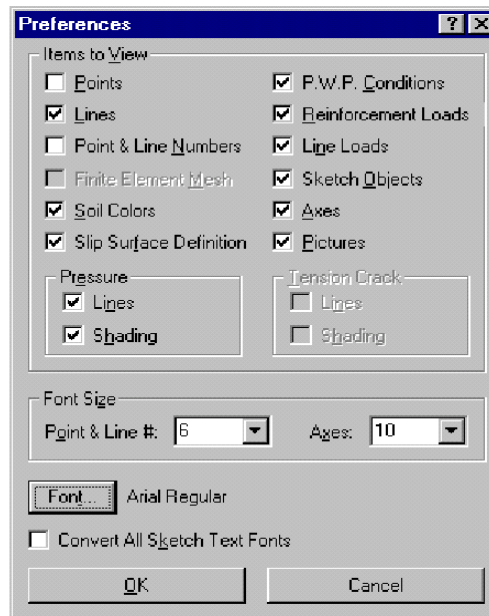


**Σχήμα 6.14** Παράθυρο διαλόγου πλέγματος ακτίνων κύκλων.

Ένα πλέγμα με 12 σημεία κέντρων έχει οριστεί στο παράθυρο σχεδιασμού του προβλήματος και θα χρησιμοποιηθεί για την επίλυσή του.

#### **6.4.5 ΠΡΟΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΠΡΟΤΙΜΗΣΕΩΝ**

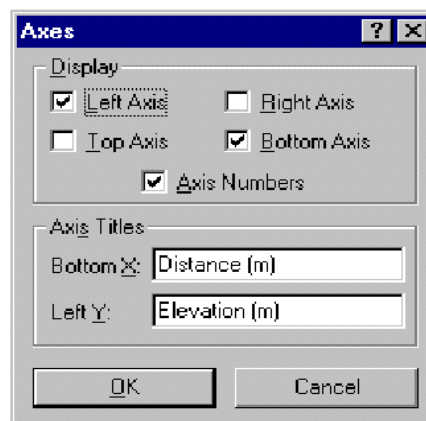
Επιλέγοντας τις προτιμήσεις (preferences) από το μενού view είναι δυνατή η εμφάνιση ή όχι σημείων, αριθμών γραμμών, αξόνων, εικόνων κ.α. (Σχήμα 6.15).



**Σχήμα 6.15** Παράθυρο διαλόγου προεπισκόπησης προτιμήσεων.

#### **6.4.6 ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΩΝ**

Αφού επιλεγεί η δυνατότητα εμφάνισης του πλέγματος καθορίζονται οι άξονες από το μενού sketch. Ορίζονται οι ενδείξεις: αριστερού άξονα, κάτω άξονα και αριθμών αξόνων καθώς και η ονομασία τους (Σχήμα 6.16).

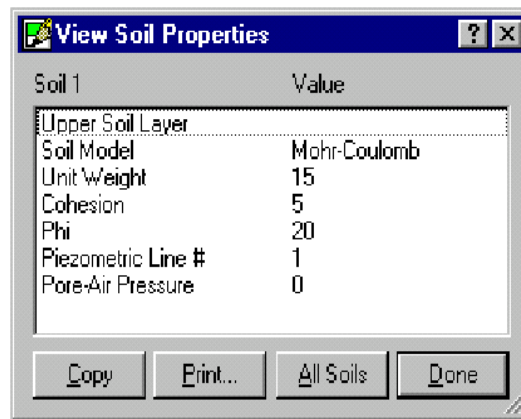


**Σχήμα 6.16** Παράθυρο διαλόγου ορισμού αξόνων.

Μετά την επιλογή των ρυθμίσεων σχηματίζεται παραλληλόγραμμο με αρχή των αξόνων το (0,0) και τέλος εκεί που απελευθερώνεται το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού.

#### **6.4.7 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ**

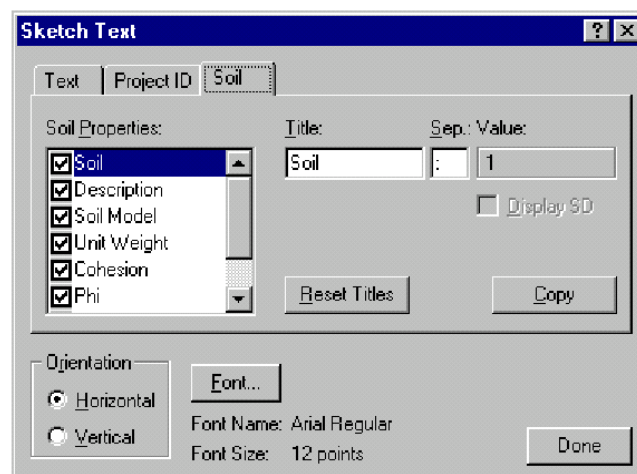
Επιλέγοντας τις ιδιότητες εδαφών από το μενού view εμφανίζεται το παράθυρο (Σχήμα 6.17) μαζί με σταυρόνημα. Οι ιδιότητες όλων των στρωμάτων μπορούν να εμφανιστούν, να αντιγραφούν και να εκτυπωθούν μετά τον ορισμό τους.



**Σχήμα 6.17** Παράθυρο διαλόγου εμφάνισης ιδιοτήτων εδαφών.

#### **6.4.8 ΕΤΙΚΕΤΕΣ ΕΔΑΦΩΝ**

Οι ιδιότητες των εδαφών μπορούν να τοποθετηθούν στο σχέδιο και να εκτυπωθούν αφού πρώτα επιλεγεί η εντολή κειμένου από το μενού sketch. Αρχικά επιλέγεται η ετικέτα έδαφος και με το σταυρόνημα καθορίζεται ο σχηματισμός για τον οποίο θα εμφανιστούν οι ιδιότητες (Σχήμα 6.18).



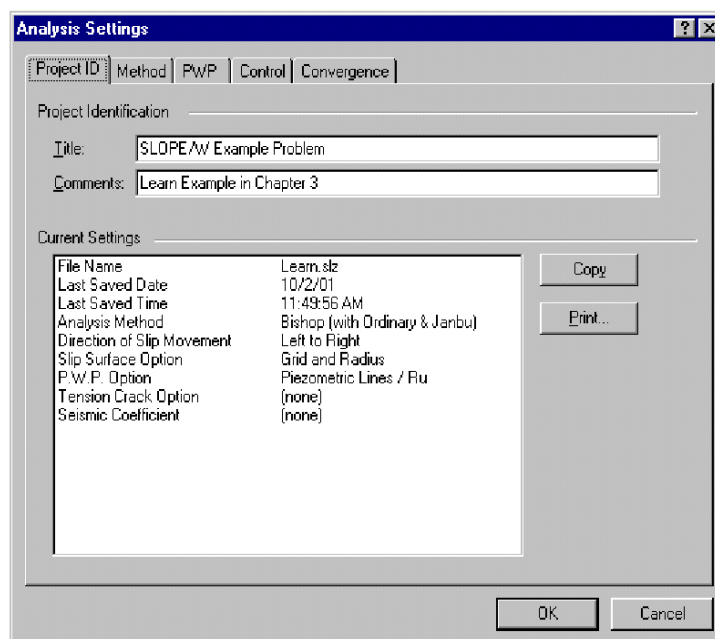
**Σχήμα 6.18** Παράθυρο διαλόγου ετικετών.

Μετά την επιλογή των ιδιοτήτων που κρίνεται απαραίτητο να εμφανιστούν στο σχέδιο μετακινείται το σταυρόνημα στην περιοχή του στρώματος όπου θα τοποθετηθεί η ετικέτα. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα υπόλοιπα στρώματα και τερματίζεται με την εντολή done.

#### **6.4.9 ΕΤΙΚΕΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

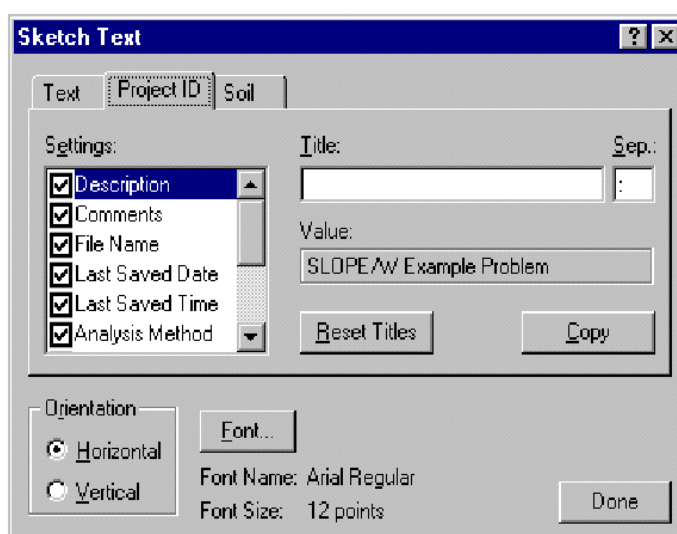
Η ταυτότητα του προβλήματος καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά ανάλυσης του μενού keyin. Εισάγονται ο τίτλος, τα σχόλια και τα στοιχεία του προβλήματος όπως φαίνονται στο (Σχήμα 6.19).





**Σχήμα 6.19** Παράθυρο διαλόγου ανάλυσης προβλήματος.

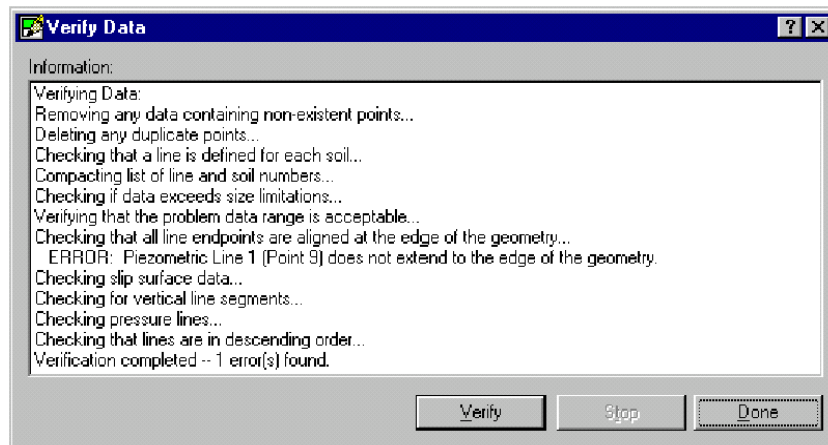
Τα στοιχεία μπορούν να εισαχθούν στο σχέδιο επιλέγοντας την εντολή κειμένου από το μενού sketch και μετά να τοποθετηθούν σε θέση που θα επιλεγεί με τη βοήθεια του σταυρονήματος (Σχήμα 6.20).



**Σχήμα 6.20** Παράθυρο διαλόγου στοιχείων προβλήματος.

#### **6.4.10 ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

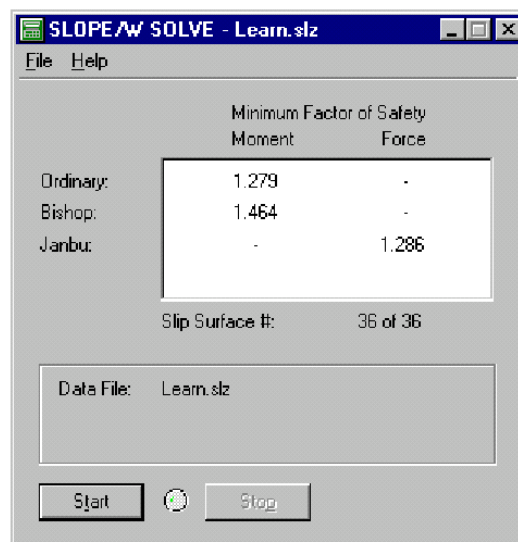
Η σαφήνεια του προβλήματος ελέγχεται για να εντοπιστούν τυχόν λάθη στα δεδομένα που εισάγονται. Η διαδικασία ξεκινά επιλέγοντας την επαλήθευση από το μενού tools. Το παράθυρο διαλόγου θα εντοπίσει τα λάθη και θα ενημερώσει ποιά δεδομένα είναι σε επίπεδα ανεκτά για την επίλυση του προβλήματος (Σχήμα 6.21).



**Σχήμα 6.21** Παράθυρο διαλόγου επαλήθευσης δεδομένων προβλήματος.

#### **6.4.11 ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ**

Ο υπολογισμός των συντελεστών ασφαλείας ξεκινά επιλέγοντας από την βασική εργαλειοθήκη το πλήκτρο SOLVE. Το παράθυρο διαλόγου που εμφανίζεται έχει την δυνατότητα να ανοίξει αρχεία τύπου (\*.slz) και να εμφανίσει τα αποτελέσματα αρχείων (\*.slp) της επίλυσης (Σχήμα 6.22).



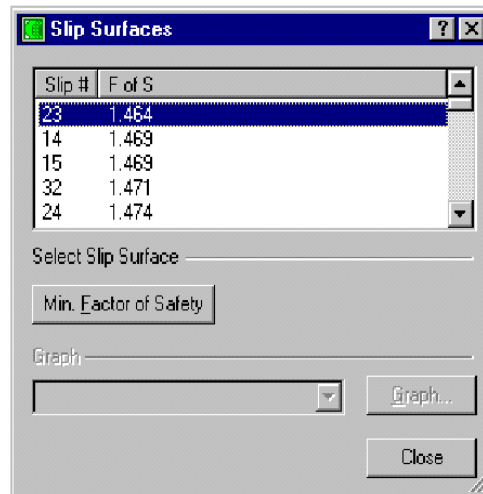
**Σχήμα 6.22** Παράθυρο διαλόγου επίλυσης προβλήματος.

#### **6.4.12 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων αρχίζει με την επιλογή από την βασική εργαλειοθήκη του πλήκτρου CONTOUR.

##### **1) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ**

Επιλέγοντας τις επιφάνειες ολίσθησης από το μενού draw εμφανίζεται το παράθυρο διαλόγου με τον αριθμό των επιφανειών και τον αντίστοιχο συντελεστή ασφαλείας (Σχήμα 6.23).



**Σχήμα 6.23** Παράθυρο διαλόγου επιφανειών ολίσθησης.

Μετακινώντας τον δρομέα κοντά σε ένα κέντρο κύκλων ολίσθησης και πατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού εμφανίζεται η επιφάνεια με τον μικρότερο συντελεστή ασφαλείας για το συγκεκριμένο κέντρο.

## 2) ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

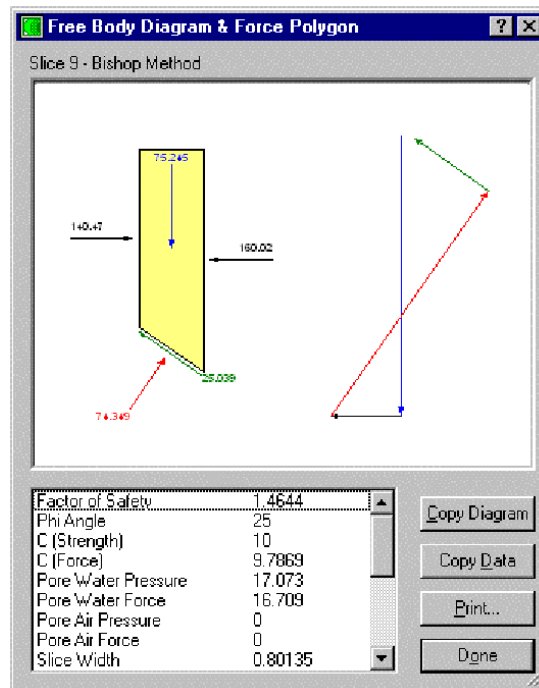
Ως προεπιλογή, κατά την εμφάνιση των αποτελεσμάτων η μέθοδος ανάλυσης που επιλέγεται είναι η Bishop. Για την αλλαγή της μεθόδου επιλέγεται η μέθοδος από το μενού view (Σχήμα 6.24).



**Σχήμα 6.24** Παράθυρο διαλόγου εμφάνισης μεθόδων.

## 3) ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε λωρίδα υπάρχει η δυνατότητα να εμφανιστούν επιλέγοντας τις δυνάμεις λωρίδων από το μενού view (Σχήμα 6.25).



**Σχήμα 6.25** Παράθυρο διαλόγου εμφάνισης δυνάμεων λωρίδων.

Με τη βοήθεια του σταυρονήματος ορίζεται η λωρίδα για την οποία σχεδιάζονται το πολύγωνο και οι τιμές των δυνάμεων. Τα διαγράμματα και τα δεδομένα μπορούν να αντιγραφούν και να εκτυπωθούν.

#### 4) ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΙΣΟΨΩΝ

Επιλέγοντας τις ισοΨείες από το μενού draw εμφανίζονται οι προεπιλεγμένες ρυθμίσεις αύξησης της τιμής των συντελεστών ασφαλείας και ο αριθμός των ισοΨών που απαιτούνται για να καλύψουν την διακύμανση όλων των τιμών (Σχήμα 6.26). Οι παραπάνω τιμές αφορούν συγκεκριμένη μέθοδο ανάλυσης και μπορούν να αλλαχθούν.

**Draw Contours**

Data Range  
Min.: 1.4644      Max.: 1.5323

Contour Range  
Starting Contour Value: 1.46  
Increment by: 0.005  
Number of Contours: 15  
Ending Contour Value: 1.53

Buttons: Apply, OK, Cancel

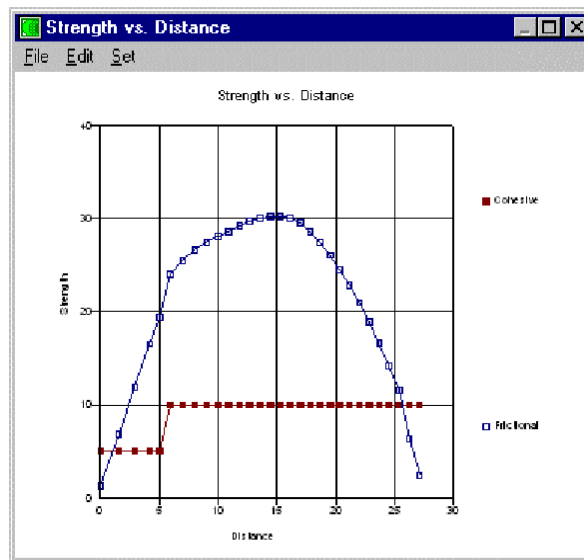
**Σχήμα 6.26** Παράθυρο διαλόγου σχεδιασμού ισοΨών.

## 5) ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΙΣΟΨΩΝ

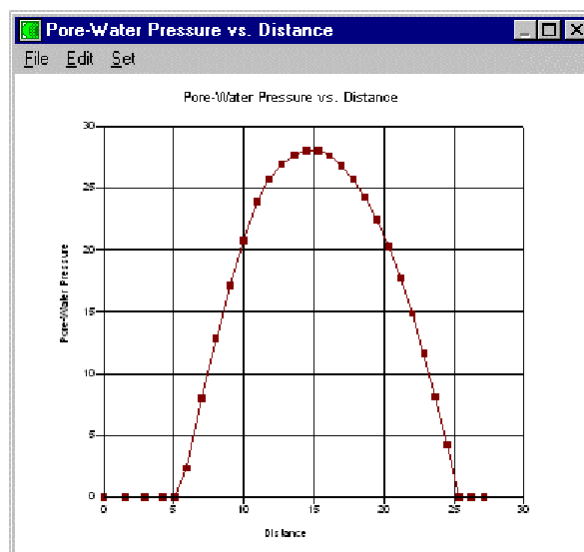
Οι σχεδιασμένες ισοΨείς μπορούν να βαθμονομηθούν από το μενού draw. Μετακινώντας τον δρομέα πάνω σε ένα σημείο της ισοΨούς και πατώντας το αριστερό πλήκτρο του ποντικιού εμφανίζεται η τιμή η οποία μπορεί να αφαιρεθεί με επανάληψη της επιλογής του πλήκτρου.

## 6) ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Τα γραφήματα επιλέγονται από το μενού draw, αφορούν δυνάμεις κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης (Σχήμα 6.27) και της πίεσης νερού πόρων (Σχήμα 6.28). Υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας των χαρακτηριστικών τους και της εκτύπωσής τους.



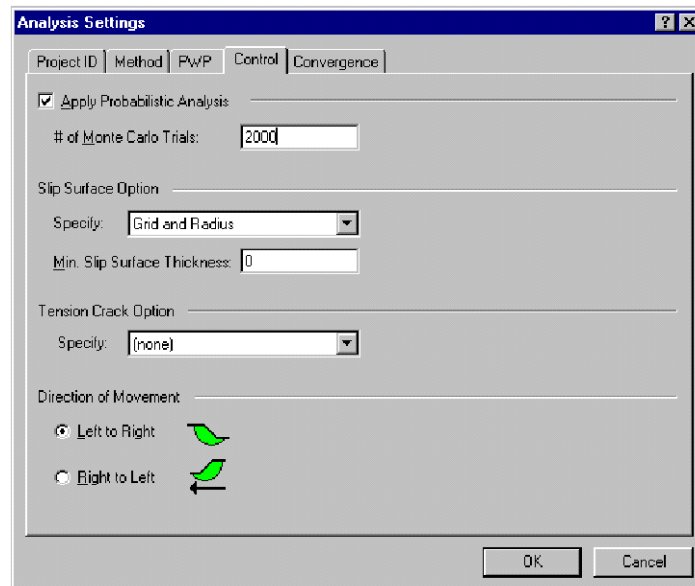
**Σχήμα 6.27** Παράθυρο διαλόγου γραφήματος δυνάμεων.



**Σχήμα 6.28** Παράθυρο διαλόγου γραφήματος πίεσης νερού πόρων.

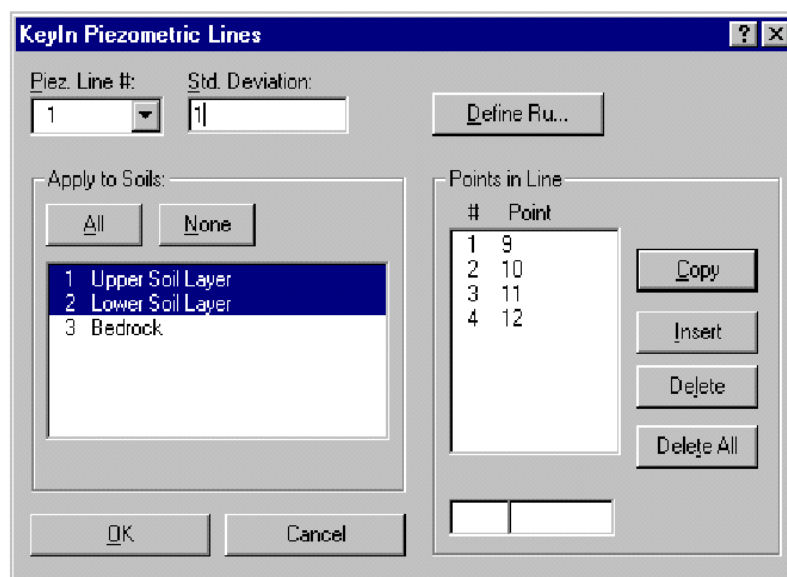
## 7) ΠΙΘΑΝΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Για να οριστεί μία πιθανολογική ανάλυση αρχικά επιλέγονται τα χαρακτηριστικά ανάλυσης από το μενού *keyin* και την ετικέτα έλεγχος. Εφαρμόζεται η συγκεκριμένη ανάλυση και ορίζεται ο αριθμός των δοκιμών της μεθόδου Monte Carlo (Σχήμα 6.29).



**Σχήμα 6.29** Παράθυρο διαλόγου επιλογής πιθανολογικής ανάλυσης.

Κατόπιν, με την επιλογή πιεζομετρικές γραμμές του μενού *keyin* καθορίζεται το βήμα μεταβολής του βάθους της επιφάνειας του υδροφόρου ορίζοντα (Σχήμα 6.30) ενώ οι αντίστοιχες μεταβολές στα χαρακτηριστικά των στρωμάτων πραγματοποιούνται από τις εδαφικές ιδιότητες του μενού *keyin* (Σχήμα 6.31).



**Σχήμα 6.30** Παράθυρο διαλόγου μεταβολής επιφάνειας υδροφόρου.

Soil	Strength Model	Description	Color
1	Mohr-Coulomb	Upper Soil Layer	Yellow
2	Mohr-Coulomb	Lower Soil Layer	Green
3	Bedrock	Bedrock	Green

1	Mohr-Coulomb	Upper Soil Layer	Yellow	Set...
---	--------------	------------------	--------	--------

**Basic Parameters**

Unit Weight	Phi
15	20
S.D. 1	3
Cohesion	
5	
S.D. 2	

☐ **Advanced Parameters**

Unit Wt. above WT	Phi B	Anisotropic Fr.
0	0	0
S.D. 0	0	
GrPhi Corr. Coef.		
0		

Copy Insert Delete OK Cancel

**Σχήμα 6.31** Παράθυρο διαλόγου μεταβολής χαρακτηριστικών των στρωμάτων.

Η επίλυση ξεκινά μετά την αποθήκευση της πιθανολογικής ανάλυσης σε αρχείο τύπου (\*.slz) επιλέγοντας το πλήκτρο SOLVE. Χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες τιμές των παραμέτρων υπολογίζονται οι συντελεστές ασφαλείας για κάθε μέθοδο. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται από το βαθμό διακύμανσης των παραμέτρων και τον αριθμό δοκιμών της μεθόδου Monte Carlo (Σχήμα 6.32).

	Mean Factor of Safety	Moment	Force
Ordinary:	1.333	-	-
Bishop:	1.460	-	-
Janbu:	-	1.319	-
M - P:	1.462	1.467	-

Monte C. Trial #: 2000 of 2000

Data File: Learn2.slz

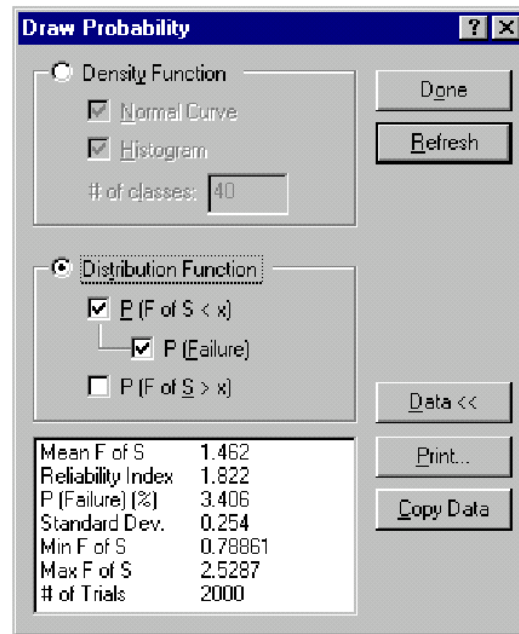
Start Stop

**Σχήμα 6.32** Παράθυρο διαλόγου επίλυσης πιθανολογικής ανάλυσης.

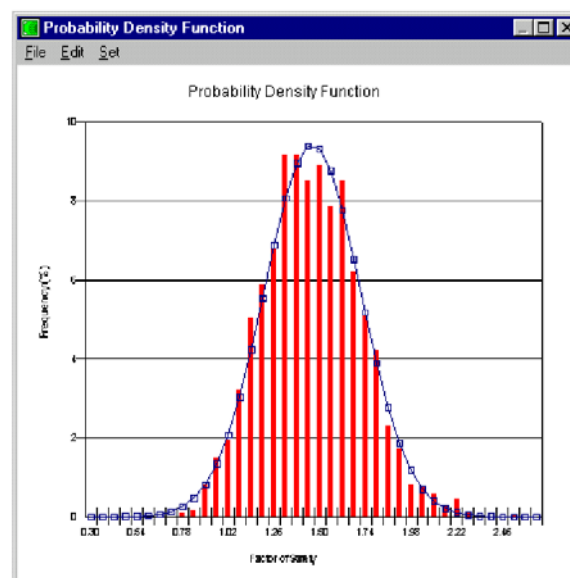
Για να εξαχθούν τα αποτελέσματα της πιθανολογικής ανάλυσης ενεργοποιείται το πρόγραμμα CONTOUR και επιλέγεται ο σχεδιασμός από το μενού draw. Ορίζεται ο



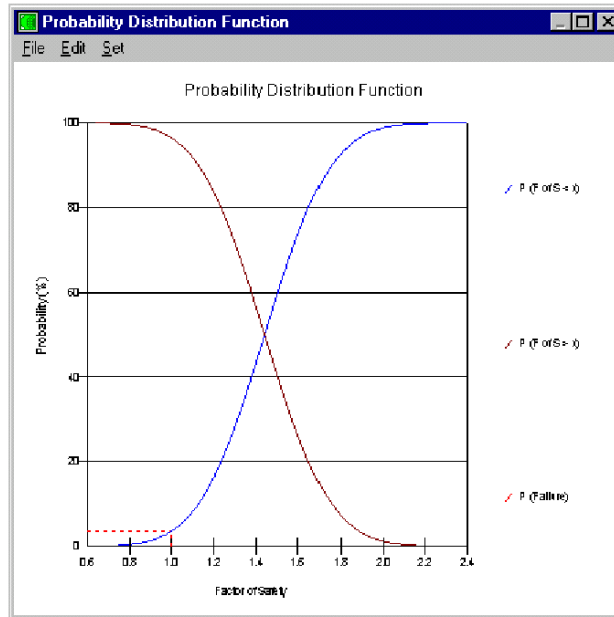
αριθμός των ομάδων ή η διανομή συνάρτησης (Σχήμα 6.33) για το διάγραμμα συντελεστή ασφάλειας – συχνότητας (Σχήμα 6.34) και το διάγραμμα συντελεστή ασφάλειας – πιθανότητας (Σχήμα 6.35).



**Σχήμα 6.33** Παράθυρο διαλόγου σχεδιασμού διαγραμμάτων.



**Σχήμα 6.34** Παράθυρο διαλόγου διαγράμματος συντ.ασφαλείας - συχνότητας.



**Σχήμα 6.35** Παράθυρο διαλόγου διαγράμματος συντ.ασφαλείας - πιθανότητας.

## 6.5 ΜΟΝΤΕΛΑ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΤΗΣ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΣΤΟ ΧΡΟΝΟ

Οι θλιπτικές τάσεις που ενεργούν σε ένα οποιοδήποτε σημείο μιας εδαφικής μάζας συνίστανται από τις “ενεργές τάσεις” που ασκούνται μεταξύ των εδαφικών κόκκων και τις “πιέσεις πόρων” λόγω των πιέσεων του νερού που υπάρχει στους πόρους. Η συνολική τάση που αποτελείται από το άθροισμα της ενεργού τάσης και της πίεσης πόρων σε συγκεκριμένο σημείο καλείται ολική τάση.

Οι επιβαλλόμενες διατμητικές τάσεις μπορούν να εξουδετερωθούν μόνο από τις αναπτυσσόμενες ενεργές τάσεις επειδή το νερό δεν εμφανίζει διατμητική αντίσταση. Η διατμητική αντοχή σε οποιαδήποτε θέση του πρανούς εξαρτάται από την ορθή τάση που αναπτύσσεται μεταξύ των κόκκων στη συγκεκριμένη θέση, σύμφωνα με τη σχέση:

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (6.1)$$

όπου:

$\tau$ : η διατμητική αντοχή

$c'$  και  $\phi'$ : η συνοχή και η γωνία εσωτερικής τριβής βάσει ενεργών τάσεων

$\sigma$ : ολική ορθή τάση στην επιφάνεια θραύσης

$u$ : πίεση πόρων νερού

$\sigma'$ : ενεργός τάση στην επιφάνεια θραύσης

Μία σύντομη περιγραφή της συμπεριφοράς ενός συνεκτικού εδάφους και του τρόπου ανάπτυξης της διατμητικής αντοχής, σε συνάρτηση με την επιβαλλόμενη παραμόρφωση είναι η εξής:

Η διατμητική αντοχή αυξάνει παράλληλα με την παραμόρφωση μέχρι μία μέγιστη τιμή. Η τιμή αυτή είναι σταθερή κάτω από το ίδιο ενεργό φορτίο και καλείται μέγιστη διατμητική αντοχή. Στη συνέχεια παρατηρείται ότι μετά από μικρές σχετικά μετατοπίσεις η διατμητική αντοχή μειώνεται μέχρι τη τιμή της πλήρως χαλαρωμένης αντοχής και μετά από μεγάλες μετατοπίσεις, τείνει να πάρει μία ελάχιστη σταθερή τιμή που καλείται παραμένουσα διατμητική αντοχή. Αυτή η αντοχή έχει μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον διότι αντιπροσωπεύει τη διατμητική αντοχή που έχει κάποιο έδαφος το οποίο έχει ήδη ολισθήσει.

#### **6.5.1 MONTELO 1**

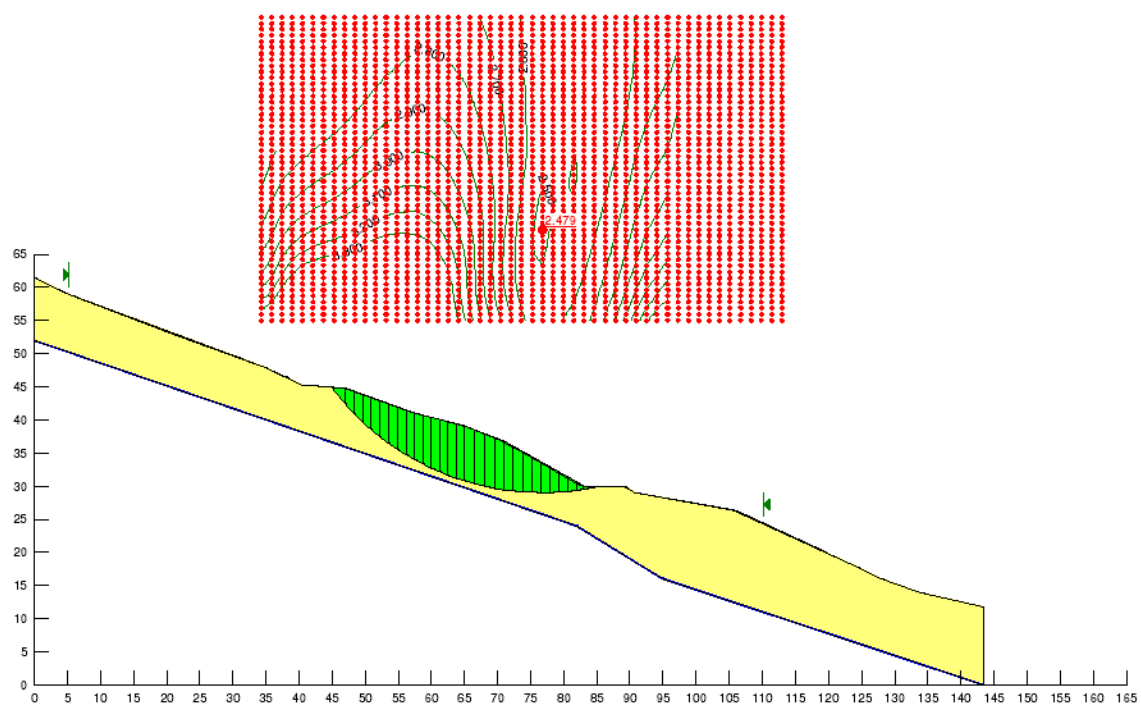
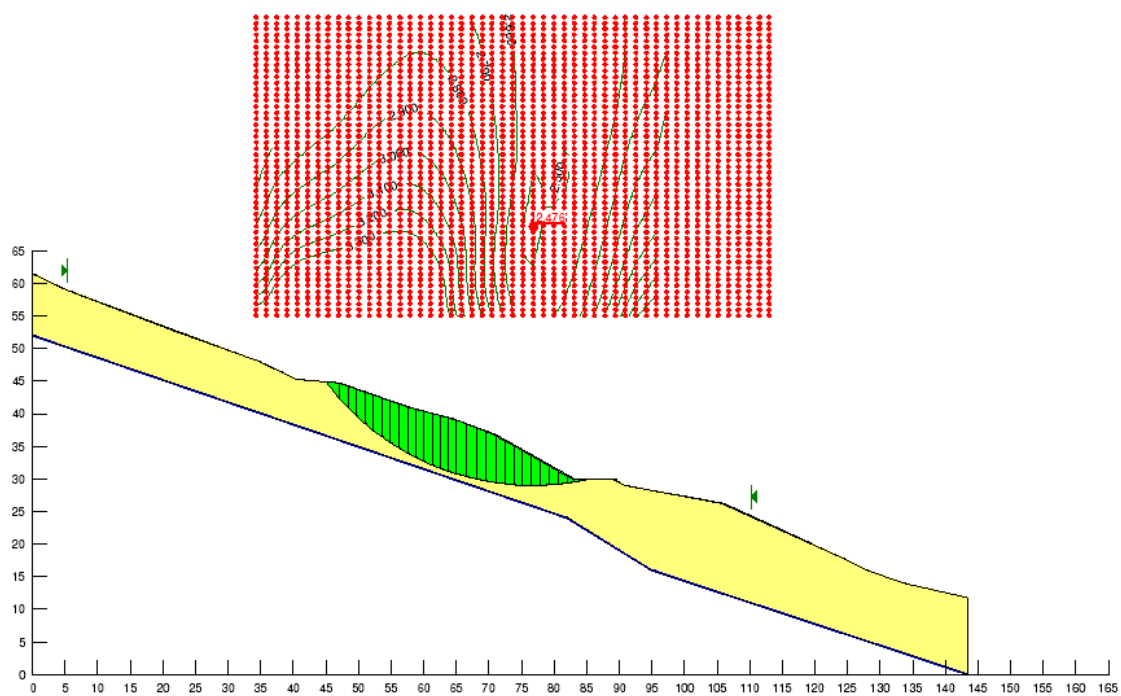
Η διατμητική αντοχή στα συνεκτικά εδάφη εξαρτάται από τις ενεργές τάσεις. Λόγω της παρουσίας λεπτοκόκκων σε ποσοστό 30%, το εδαφικό υλικό του Στρώματος 1 προσεγγιστικά θα εμφανίζει συνοχή 20 kPa ενώ η γωνία εσωτερικής τριβής του βάσει εμπειρικών τύπων και διαγραμμάτων θα είναι ίση με 32° (βλέπε ενότητα 5.3.4).

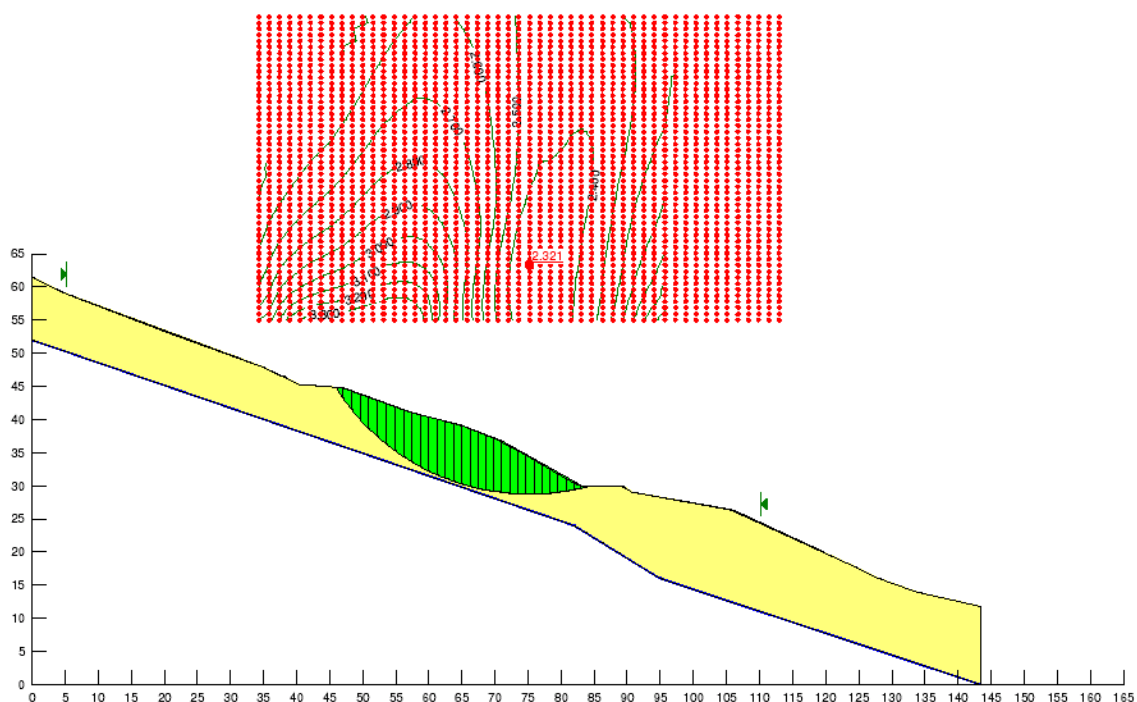
Με αυτά τα δεδομένα εξετάζεται το φαινόμενο της κατολίσθησης όταν η στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα είναι κοντά στην επαφή του αδιαπέρατου υποβάθρου με το Στρώμα 1 και υπολογίζονται οι ελάχιστες τιμές των συντελεστών ασφαλείας για τις μεθόδους Morgenstern – Price, Bishop και Janbu (Πίνακας 6.1).

**Πίνακας 6.1** Ελάχιστες τιμές συντελεστών ασφαλείας Μοντέλου 1.

Morgenstern - Price	Bishop	Janbu
2,47	2,47	2,32

Για κάθε μέθοδο ελέγχονται διάφορες υποθετικές επιφάνειες ολίσθησης και προσδιορίζεται εκείνη που δίνει το μικρότερο συντελεστή ασφαλείας. Παράλληλα δημιουργούνται καμπύλες ίσης τιμής συντελεστών ασφαλείας (Σχήματα 6.36, 6.37 και 6.38).



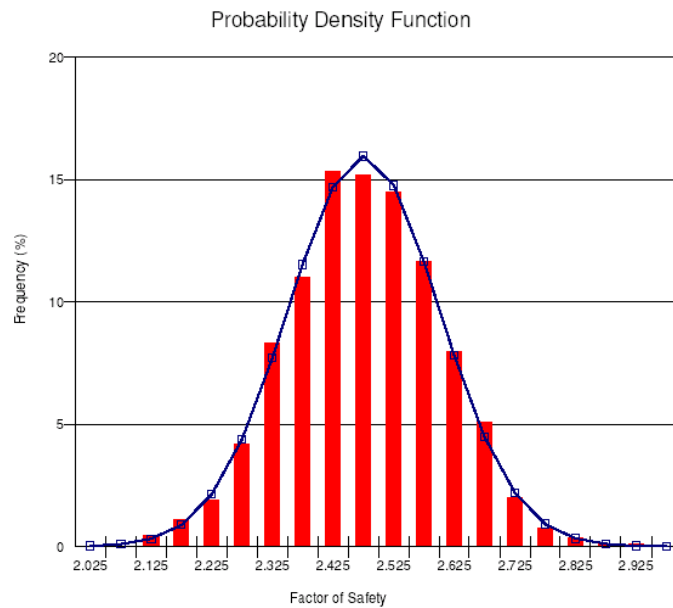


**Σχήμα 6.38** Αποτελέσματα μεθόδου Janbu για Μοντέλο 1.

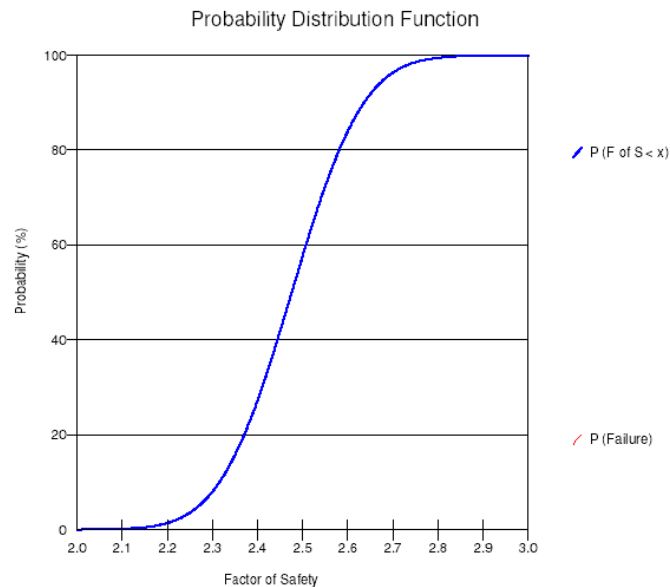
Πιθανολογική ανάλυση Monte Carlo εφαρμόστηκε στη μέθοδο Morgenstern – Price ορίζοντας τις παρακάτω παραμέτρους:

Αριθμός δοκιμών Monte Carlo	Βήμα μεταβολής Υ.Υ.Ο	Βήμα μεταβολής Φ.Β	Βήμα μεταβολής γωνίας εσωτ.τριβής	Βήμα μεταβολής συνοχής
3000	1	1	2	2

Τα διαγράμματα συντελεστή ασφαλείας – συχνότητας (Σχήμα 6.39) και συντελεστή ασφαλείας – πιθανότητας (Σχήμα 6.40) αποκλείουν το ενδεχόμενο να ξεκινήσει το φαινόμενο με τις παραπάνω προϋποθέσεις.



**Σχήμα 6.39** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – συχνότητας Μοντέλου 1.



**Σχήμα 6.40** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – πιθανότητας Μοντέλου 1.

### 6.5.2 MONTELO 2

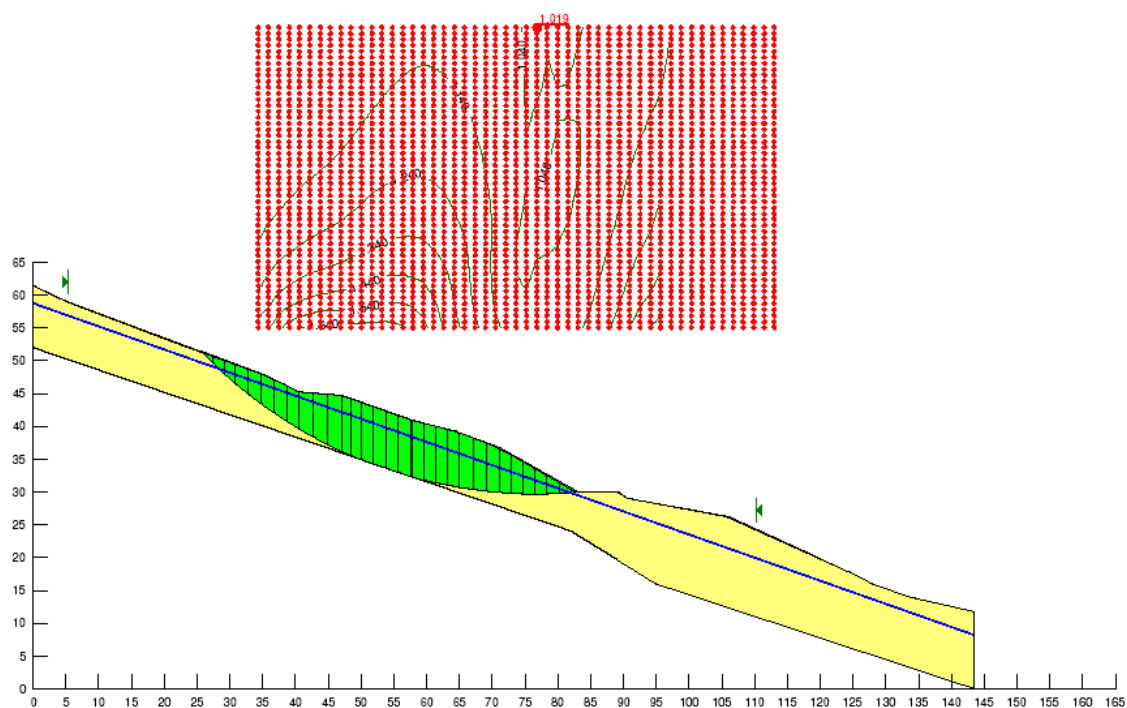
Χρησιμοποιώντας τη λογική της ανάστροφης ανάλυσης (back analysis) με τις παραδοχές ότι η επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα έχει ανέλθει και ο συντελεστής ασφάλειας για να υπάρξει ολίσθηση πρέπει να είναι μικρότερος από 1 προέκυψαν οι εξής τιμές για τις παραμέτρους των μηχανικών ιδιοτήτων του Στρώματος 1:

Συνοχή ( $c'$ )	Γωνία εσωτερικής τριβής ( $\phi'$ )
10 kPa	19°

Για τις παραπάνω τιμές υπολογίστηκαν οι ελάχιστες τιμές των συντελεστών ασφαλείας για τις μεθόδους Morgenstern – Price, Bishop και Janbu (Πίνακας 6.2) και αποτυπώθηκαν τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου (Σχήματα 6.41, 6.42 και 6.43).

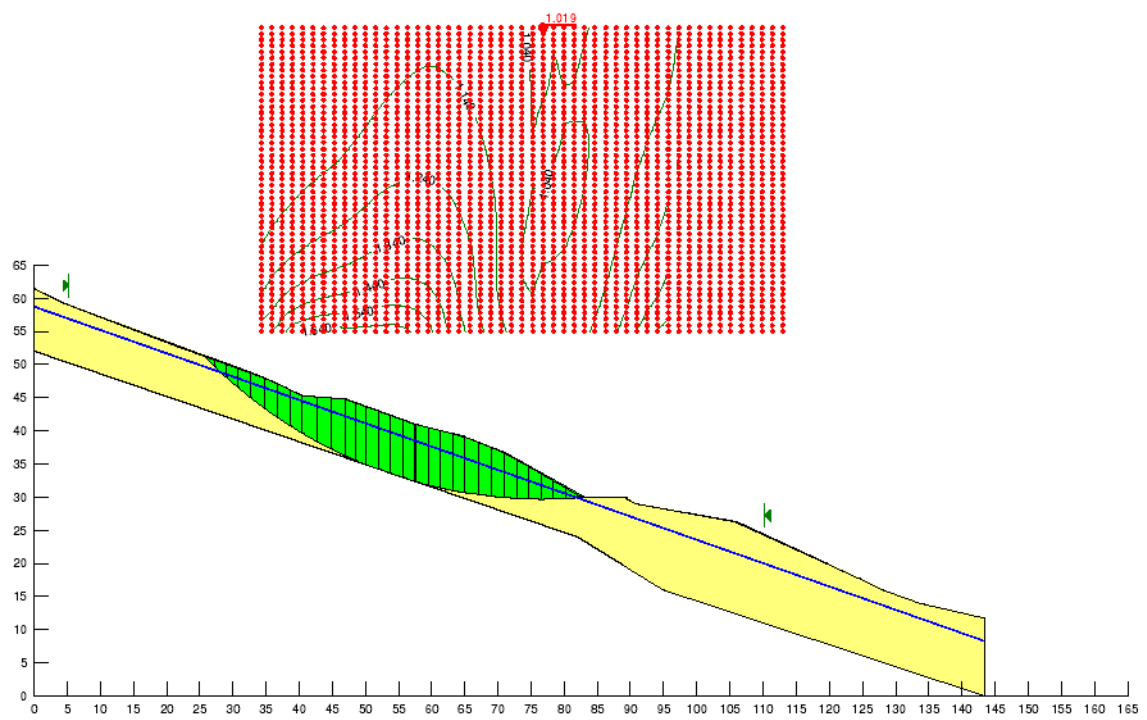
**Πίνακας 6.2** Ελάχιστες τιμές συντελεστών ασφαλείας Μοντέλου 2.

Morgenstern - Price	Bishop	Janbu
1,02	1,02	0,95

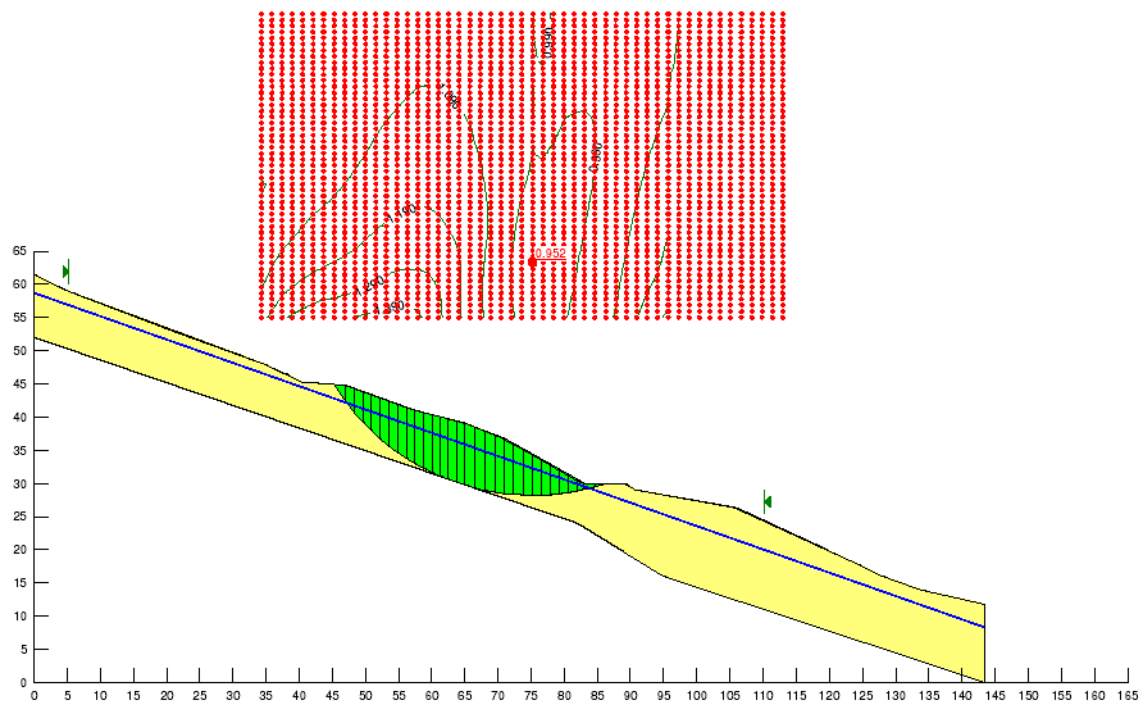


**Σχήμα 6.41** Αποτελέσματα μεθόδου Morgenstern – Price για Μοντέλο 2.





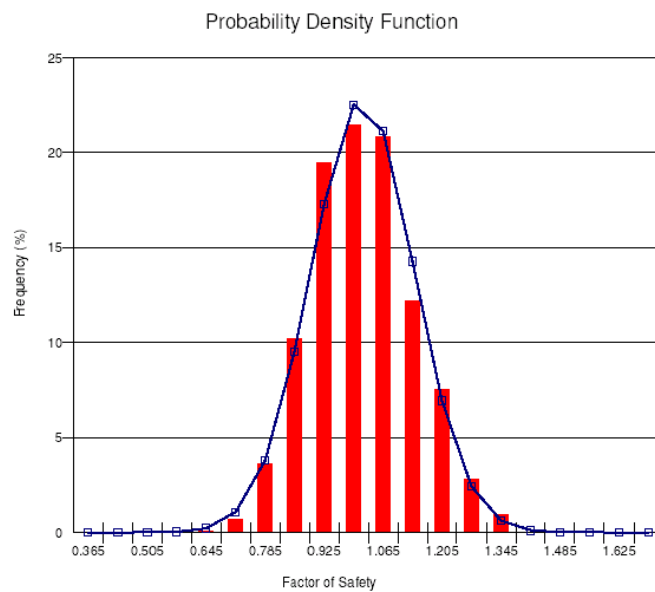
**Σχήμα 6.42** Αποτελέσματα μεθόδου Bishop για Μοντέλο 2.



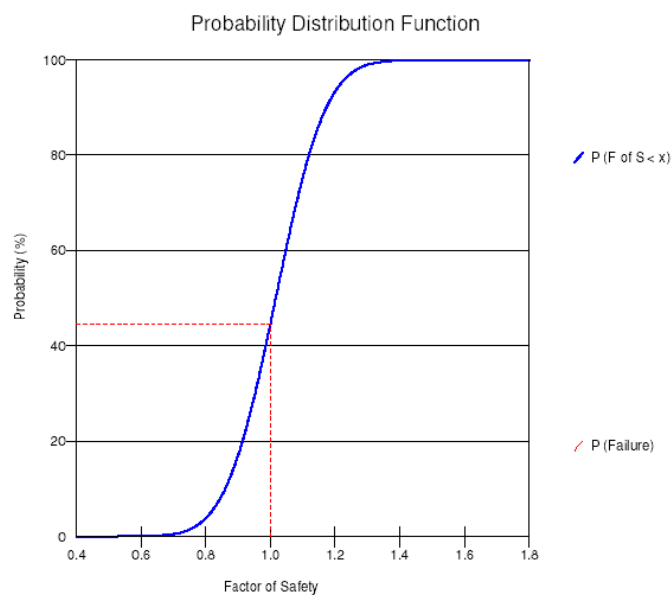
**Σχήμα 6.43** Αποτελέσματα μεθόδου Janbu για Μοντέλο 2.

Παρατηρείται και στις τρεις μεθόδους μετατόπιση των κέντρων κύκλων προς τα άνω με αποτέλεσμα η επιφάνεια ολίσθησης να είναι ευρύτερη με εξαίρεση τη μέθοδο Janbu. Αξιοσημείωτη είναι η ταύτιση της επιφάνειας ολίσθησης με την διαπιστωμένη από μετρήσεις αποκλισιομέτρων κύρια κατολίσθηση της περιοχής έρευνας.

Πιθανολογική ανάλυση με τα ίδια χαρακτηριστικά με το Μοντέλο 1 δίνει συχνότητα της τάξης του 60% για τιμές του συντελεστή ασφαλείας κοντά στην τιμή 1 και πιθανότητα 45% για τιμή συντελεστή ασφαλείας μικρότερη του 1 (Σχήματα 6.44 και 6.45).



**Σχήμα 6.44** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – συχνότητας Μοντέλου 2.



**Σχήμα 6.45** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – πιθανότητας Μοντέλου 2.

### 6.5.3 MONTELO 3

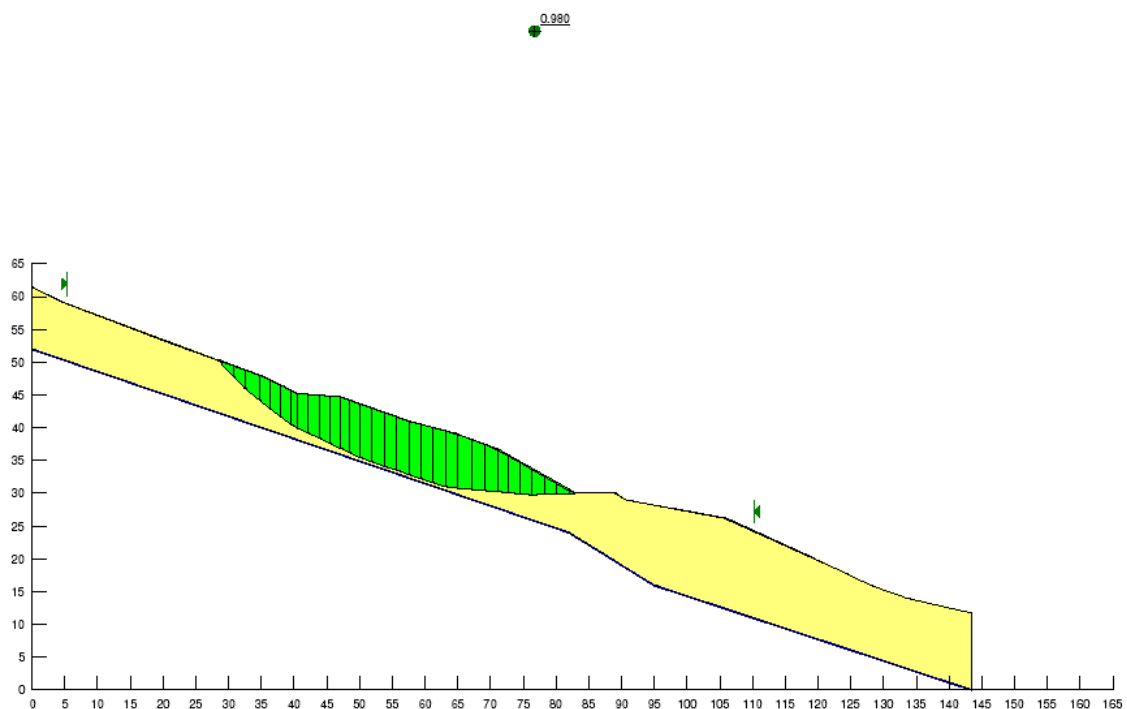
Με δεδομένη την ολίσθηση πάνω σε καθορισμένη επιφάνεια εξετάζεται η επαναδραστηριοποίηση της κατολίσθησης με βάση την παραμένουσα διατμητική αντοχή του Στρώματος 1. Η συνοχή του υλικού είναι πρακτικά μηδενική ενώ η παραμένουσα γωνία εσωτερικής τριβής θα είναι μικρότερη των  $19^\circ$  και προσεγγίζεται στην τιμή των  $17^\circ$ .

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι το κέντρο κύκλου της ολίσθησης και η αντίστοιχη επιφάνεια ολίσθησης που έχουν σχεδιαστεί από το μενού draw μετά την επιλογή της πλήρους καθορισμένης επιφάνειας στα χαρακτηριστικά ανάλυσης. Υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μέθοδο (Πίνακας 6.3) με την επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου να εντοπίζεται στην επαφή των στρωμάτων:

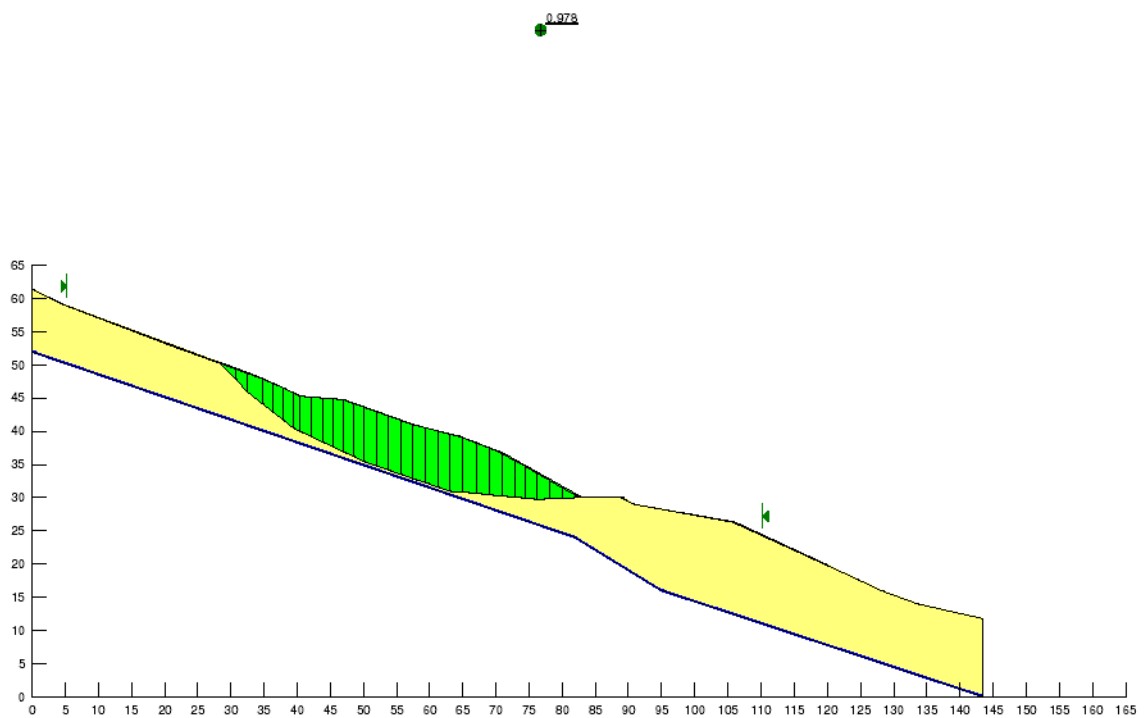
**Πίνακας 6.3** Τιμές συντελεστών ασφαλείας Μοντέλου 3.

Morgenstern - Price	Bishop	Janbu
0,98	0,98	0,94

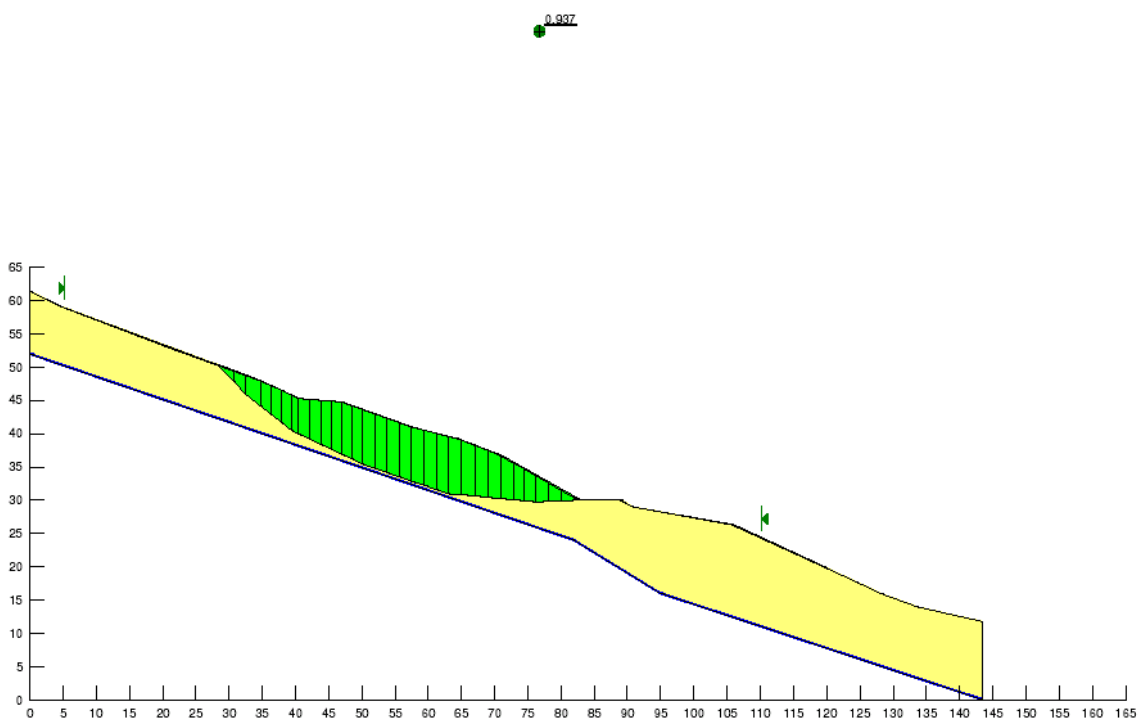
Τα γραφικά αποτελέσματα για κάθε μέθοδο είναι τα εξής (Σχήματα 6.46, 6.47 και 6.48):



**Σχήμα 6.46** Αποτελέσματα μεθόδου Morgenstern – Price για Μοντέλο 3.



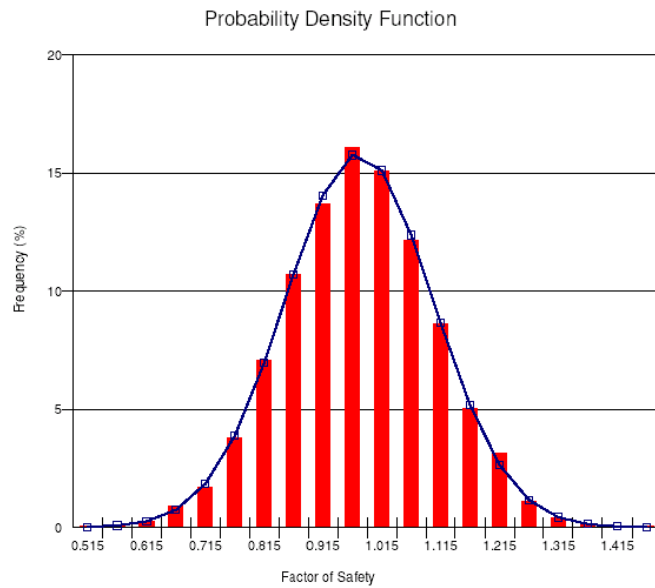
**Σχήμα 6.47** Αποτελέσματα μεθόδου Bishop για Μοντέλο 3.



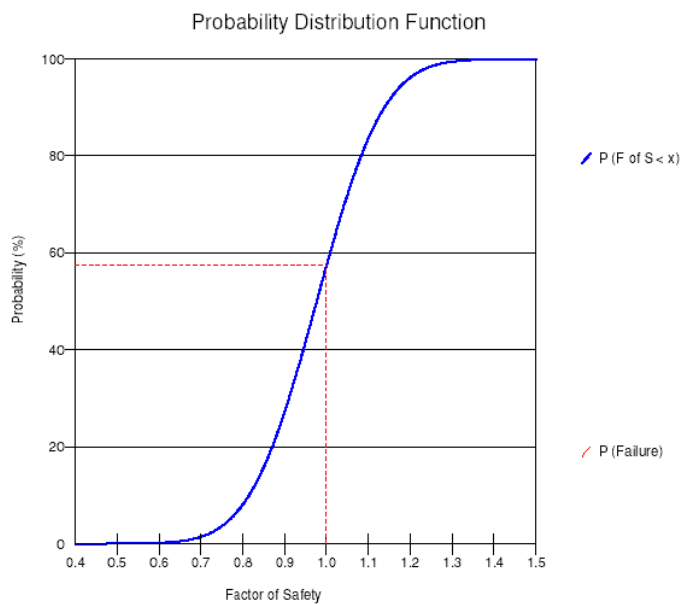
**Σχήμα 6.48** Αποτελέσματα μεθόδου Janbu για Μοντέλο 3.

Η πιθανολογική ανάλυση με τα σταθερά χαρακτηριστικά δίνει ποσοστό συχνότητας μεγαλύτερο του 60% για τιμές του συντελεστή ασφαλείας κοντά στην τιμή 1 και πιθανότητα 58% για τιμή συντελεστή ασφαλείας μικρότερη του 1 (Σχήματα 6.49

και 6.50). Είναι φανερή η οριακή κατάσταση του πρανούς μετά την δραστηριοποίηση της κατολίσθησης.



**Σχήμα 6.49** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – συχνότητας Μοντέλου 3.



**Σχήμα 6.50** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – πιθανότητας Μοντέλου 3.

#### **6.5.4 MONTELO 4**

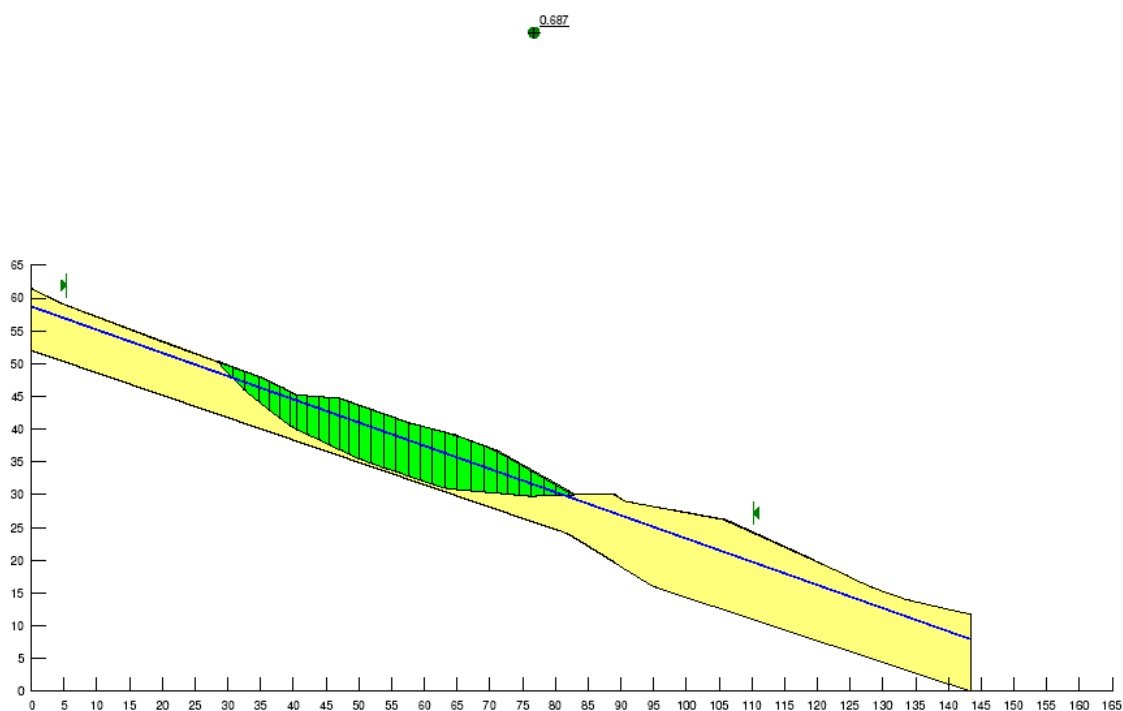
Η επαναδραστηριοποίηση της κατολίσθησης, με βάση την παραμένουσα διατμητική αντοχή του Στρώματος 1 δηλαδή συνοχή πρακτικά μηδενική και παραμένουσα γωνία εσωτερικής τριβής να προσεγγίζεται στην τιμή των  $17^\circ$  εξετάζεται σε συνθήκες ανόδου του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι το κέντρο κύκλου της ολίσθησης με την αντίστοιχη επιφάνεια ολίσθησης και υπολογίζονται οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας για κάθε μέθοδο (Πίνακας 6.4) με την επιφάνεια του υπόγειου υδροφόρου να εντοπίζεται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους:

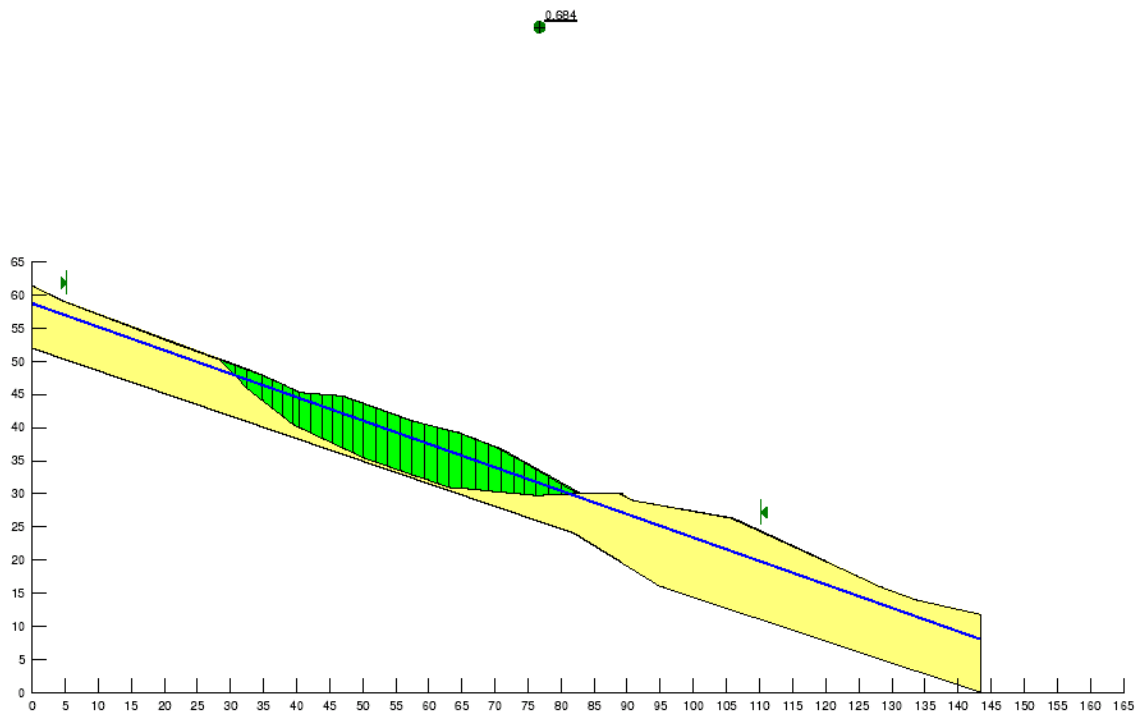
**Πίνακας 6.4** Τιμές συντελεστών ασφαλείας Μοντέλου 4.

Morgenstern - Price	Bishop	Janbu
0,69	0,68	0,65

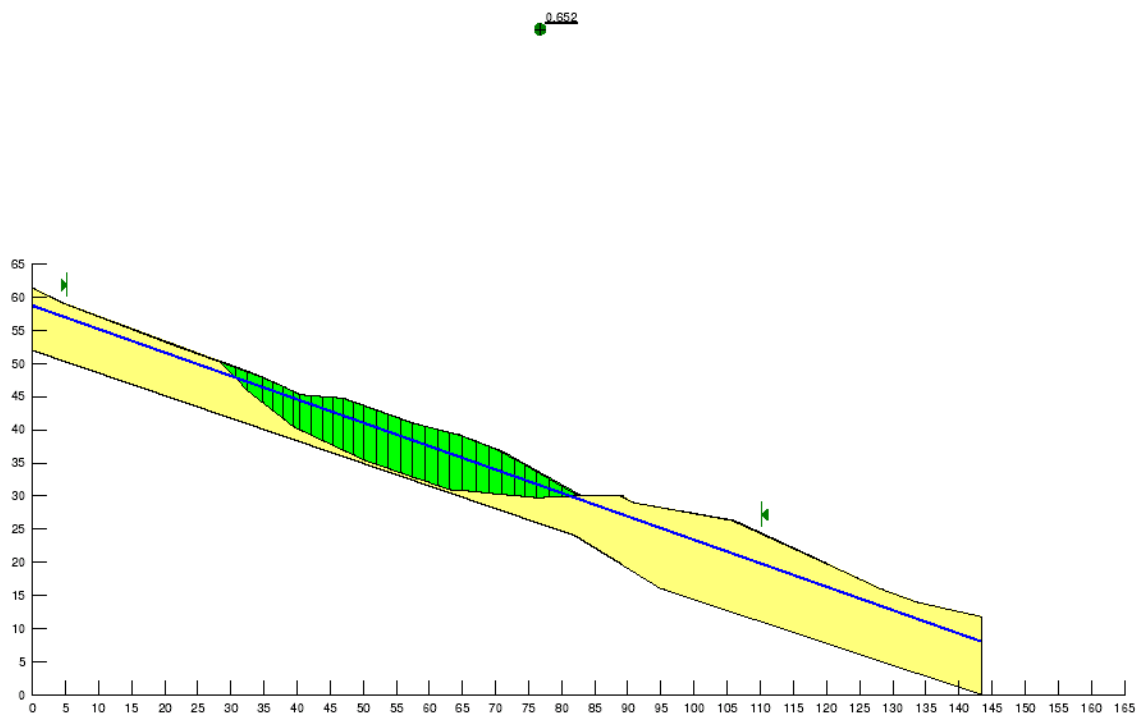
Τα γραφικά αποτελέσματα για κάθε μέθοδο είναι τα εξής (Σχήματα 6.51, 6.52 και 6.53):



**Σχήμα 6.51** Αποτελέσματα μεθόδου Morgenstern – Price για Μοντέλο 4.



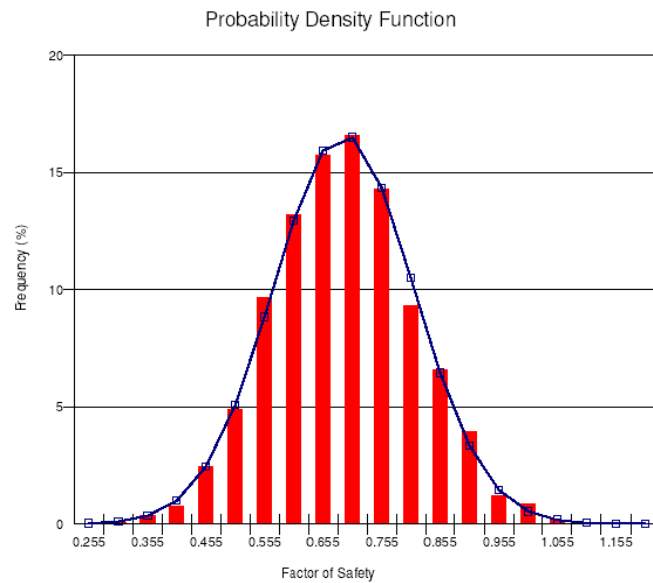
**Σχήμα 6.52** Αποτελέσματα μεθόδου Bishop για Μοντέλο 4.



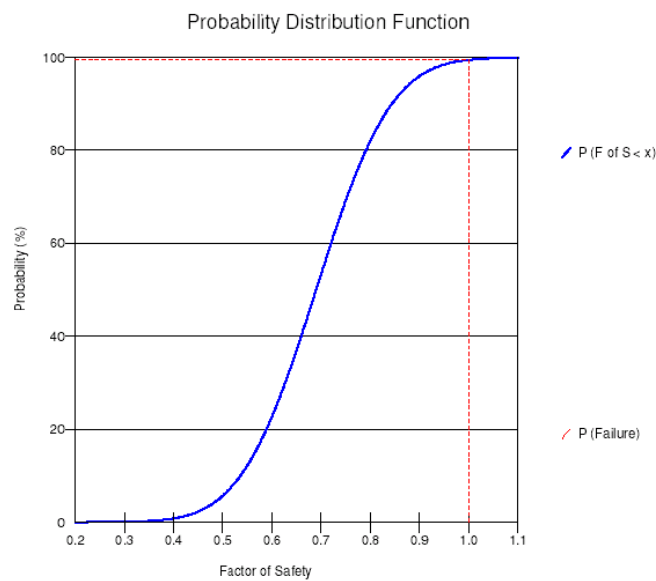
**Σχήμα 6.53** Αποτελέσματα μεθόδου Janbu για Μοντέλο 4.

Η πιθανολογική ανάλυση με τα σταθερά χαρακτηριστικά, δίνει ποσοστό συχνότητας μεγαλύτερο του 95% για τιμές του συντελεστή ασφαλείας κοντά στην τιμή

1 και πιθανότητα 100% για τιμή συντελεστή ασφαλείας μικρότερη του 1 (Σχήματα 6.54 και 6.55) υποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει δυνατότητα να μην ολισθήσει το πρανές.



**Σχήμα 6.54** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – συχνότητας Μοντέλου 4.



**Σχήμα 6.55** Διάγραμμα συντ.ασφαλείας – πιθανότητας Μοντέλου 4.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Από τα μοντέλα εξέλιξης της κύριας κατολίσθησης και τις υφιστάμενες γεωλογικές συνθήκες της περιοχής υπάρχει αδυναμία στο να υποστηριχτεί η θεωρία ανόδου υπόγειου υδροφόρου λόγω της χαμηλής υδροπερατότητας του επιφανειακού στρώματος και της θέσης της κατολίσθησης. Τα σενάρια που μπορεί να στηρίξουν την εξέλιξη του φαινομένου είναι τα εξής:

- 1) Ύπαρξη επικρεμάμενου υδροφόρου ορίζοντα στο επιφανειακό στρώμα που προκάλεσε αύξηση του βάρους του και τελικά επαναενεργοποίησε παλαιότερη κατολίσθηση όπου η επιφάνεια θραύσης είχε την ελάχιστη διατμητική αντοχή.
- 2) Εκατέρωθεν της κατολίσθησης υπάρχουν ρήγματα διεύθυνσης BBA – NND που μπορεί να λειτούργησαν σαν περιοχές κατείσδυσης μετεωρικών υδάτων που με την σειρά τους συνέβαλλαν στην επαναενεργοποίηση παλαιότερου κατολισθητικού φαινομένου.
- 3) Ο μεγάλος όγκος ασβεστολίθων της Πίνδου που βρίσκεται ανάντι της περιοχής μπορεί να τροφοδοτεί πηγές που εκφορτίζουν στον επιφανειακό σχηματισμό αυξάνοντας έτσι τις ποσότητες νερού.

Οι εναλλαγές υδροπερατών και αδιαπέρατων στρωμάτων του επιφανειακού στρώματος καθώς και η σεισμικότητα της περιοχής δυσχεραίνουν την ευστάθεια.

Προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης της κατολίσθησης είναι τα εξής:

1. Αφαίρεση κατολισθημένης εδαφικής μάζας δευτερεύουσας κατολίσθησης και κατασκευή τοίχου αντιστήριξης στον πόδα του πρανούς που είναι επιρρεπές σε διάβρωση και ολισθήσεις.
2. Συστοιχία φρεατοπασσάλων διαμέτρου ενός μέτρου που συνδέονται με κεφαλόδεσμο και εγκάρσιες δοκούς για τη δημιουργία φορέων πλαισιωτής λειτουργίας κατά μήκος του δρόμου.
3. Ανοικτή επενδεδυμένη τάφρος ανάντη των ορίων της κύριας κατολίσθησης για συλλογή επιφανειακών υδάτων και αποχέτευσή τους στα κατάντη της κατολίσθησης.
4. Ανοικτή επενδεδυμένη τάφρος στον πόδα του πρανούς για συγκέντρωση επιφανειακών υδάτων από ανάντη και από το δρόμο.

5. Σφράγιση όλων των επιφανειακών ανοικτών ρωγμών με άργιλο χαμηλής πλαστικότητας.
6. Ενίσχυση οδοστρώματος με δύο στρώσεις γεωπλεγμάτων εντός των στρώσεων βάσης και υπόβασης.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ελληνική

1. Αγιουτάντης, Ζ. (2002). *Στοιχεία Γεωμηχανικής Μηχανική Πετρωμάτων*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
2. Ι.Γ.Μ.Ε, (1998). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας (1:50.000), Φύλλο Ανατολική Κως, Αθήνα (Χαρτογράφηση από τον Μ.Τριανταφύλλη).
3. Ι.Γ.Μ.Ε, Νεοτεκτονικός χάρτης της Ελλάδας (1:100.000), Αθήνα.
4. Καββαδάς, Μ. (2000). Στοιχεία Εδαφομηχανικής, Σημειώσεις, Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα.
5. Καβουσάνος, Ε. (2003). Αξιολόγηση γεωτρητικών δεδομένων και εξαγωγή γεωτεχνικών παραμέτρων για την αριθμητική προσομοίωση ευστάθειας πρανών, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. Καλογήρου, Ε. (2003). Παραμετρική ανάλυση ευστάθειας εδαφικών πρανών με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, Μεταπτυχιακή διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. Κατσικάτσος, Γ. (1992). *Γεωλογία της Ελλάδας*, Αθήνα.
8. Κούκης, Γ. και Σαμπατακάκης, Ν. (2002). *Τεχνική Γεωλογία*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα.
9. Κούκης, Γ. και Χριστοδουλοπούλου, Τ. (1997). *Εδαφικοί και Βραχώδεις σχηματισμοί*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, Πάτρα.
10. Κουκουβέλας, Κ.Ι. (1998). *Τεκτονική Γεωλογία*, Αθήνα.
11. Λέκκας, Ευθ. (1996). *Φυσικές και Τεχνολογικές καταστροφές*, Εκδόσεις Access Pre – Press, Αθήνα.
12. Λεοντάρης, Σ. (1970). Η γεωμορφολογική ανάπτυξη και εξέλιξη της νήσου Κω, *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 1970, vol xxii, pag 40.
13. Μαραγκάκη, Α. (2003). Μελέτη ευστάθειας του δυτικού πρανού του όρους Αιγάλεω με ανάδρομη ανάλυση δεδομένων κλισιομέτρων, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
14. Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ. (1989). *Οι σεισμοί της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη.

15. Παπαχαρίσης, Ν. και Μάνου – Ανδρεάδη, Ν. και Γραμματικόπουλος, Ι. (1999). *Γεωτεχνική Μηχανική*, Εκδόσεις Αδελφοί Κυριακίδη Α.Ε., Θεσσαλονίκη.
16. Στουρνάρας, Γ.Κ. (2001). *Τεχνική Γεωλογία, Σημειώσεις*, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα.
17. Τσόγκας, Χ.Ε. και Τσόγκα, Ε.Χ. (2000). *Υδροδυναμικά Έργα – Φράγματα*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα.
18. Τσότσος, Σ. (1991). *Εδαφομηχανική*, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
19. ΥΠ.Ε.ΧΩ.ΔΕ (1999). Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός, Απόφαση Δ17α/141/3/Φ.Ν 275/15.12/20.12.1999 (Φ.Ε.Κ. 2184 Β'), όπως διορθώθηκε με το Φ.Ε.Κ. 423Β'/12.4.2001.

### **Διεθνής**

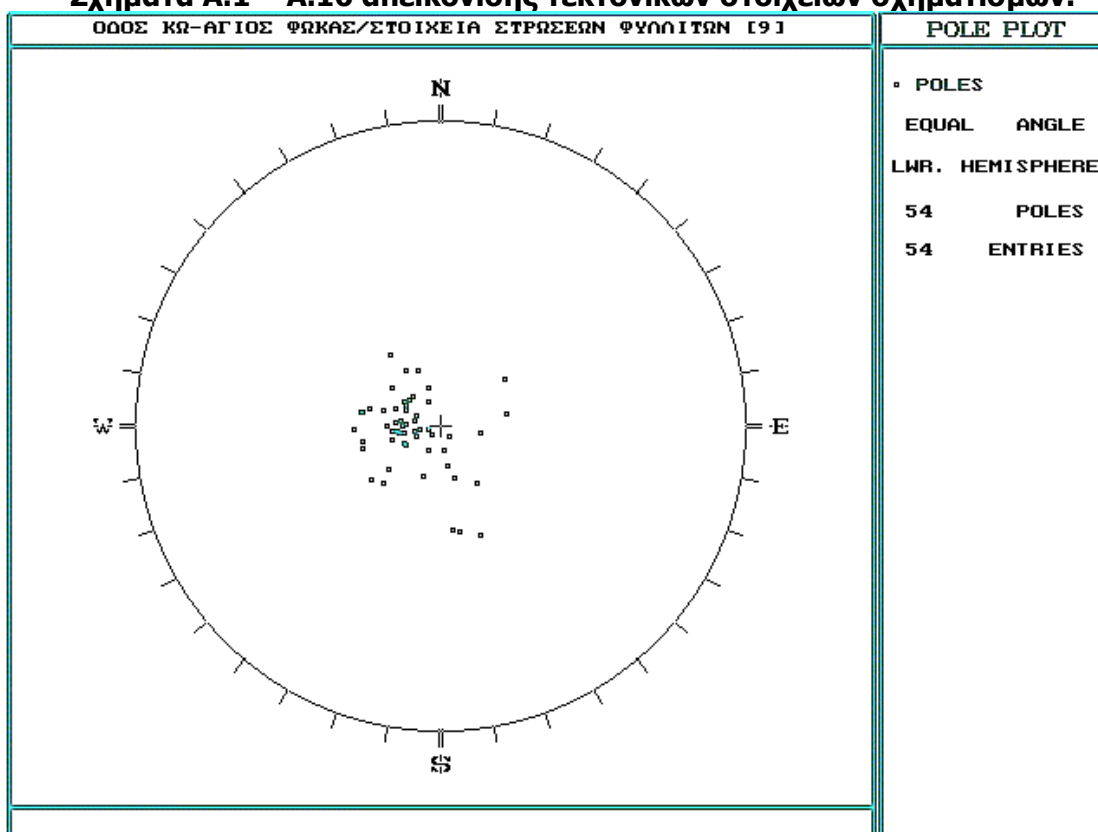
1. Al-Shayea, N.A. (2001). The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils, *Engineering Geology*, 62, pp 319 – 342.
2. Bishop, A.W. (1955). The use of slip circle in the stability analysis of slopes, *Geotechnique*, 5, pp 7 -17.
3. Chin, I.T. and Sew, G.S. (2001). The determination of shear strength in residual soils for slope stability analysis, *Cerun Kenbangasaan*.
4. Clayton, C.R.I. and Milititsky, J. (1986). *Earth pressure and earth-retaining structures*, Surrey University Press, Glasgow.
5. Craig, R.F. (1992). *Soil Mechanics*, Department of Civil Engineering, University of Dundee, sixth edition, E and FN SPON, London.
6. Fagan, M.J. (1996). *Finite Element Analysis, Theory and Practice*, Longman.
7. Morgenstern, N.R. and Price V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces, *Geotechnique*, 15, pp 79 – 93.
8. Nash, D. (1987). *A comparative review of limit equilibrium methods of stability analysis, Slope stability*, chapter 2, Department of Civil Engineering, University of Bristol, London.
9. Sanglerat, G. (1972). The Penetrometer and Soil exploration, *Developments in geotechnical engineering*, v.1, Elsevier Pub. Co, New York.

10. Slope/w, (2002). User's Manual for version 5.0, Geoslope International Ltd, Calgary, Alberta, Canada.
11. Spyrakos, C.C. (1996). *Finite Element Modeling in Engineering Practice*, Algor Publishing Division, Pittsburgh.

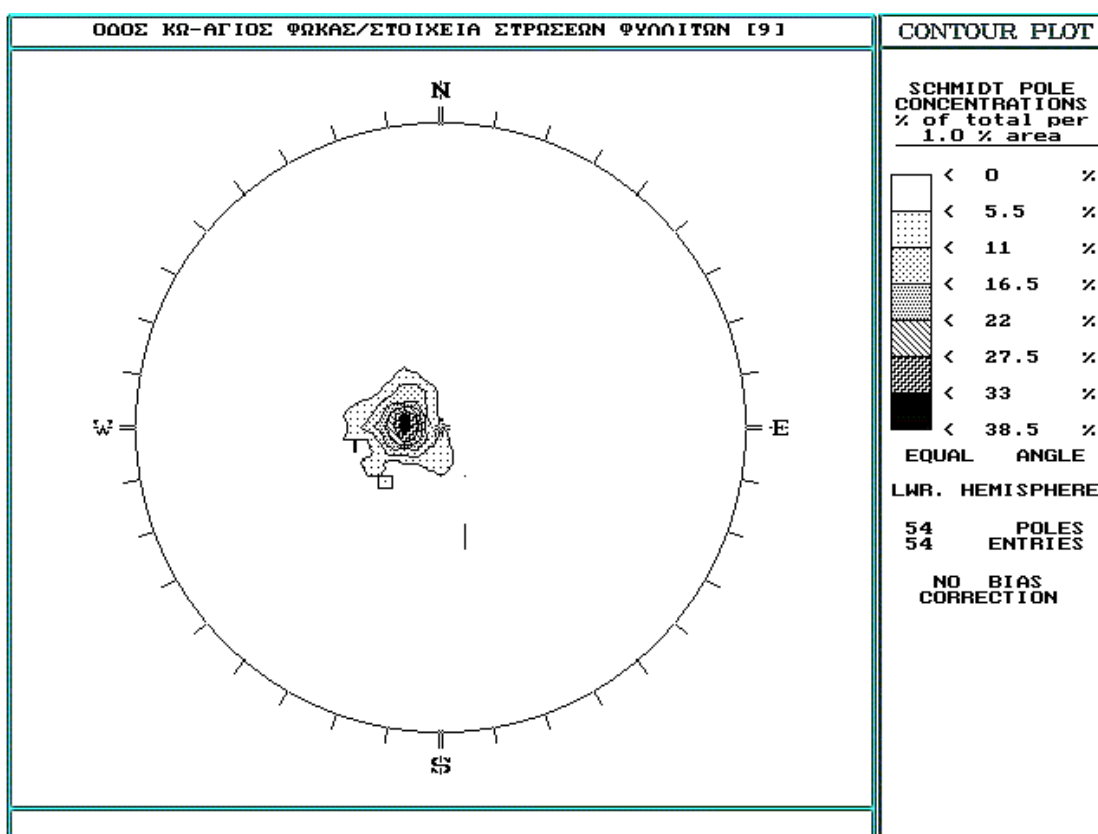
# Παράρτημα Α:

## Τεκτονικά διαγράμματα

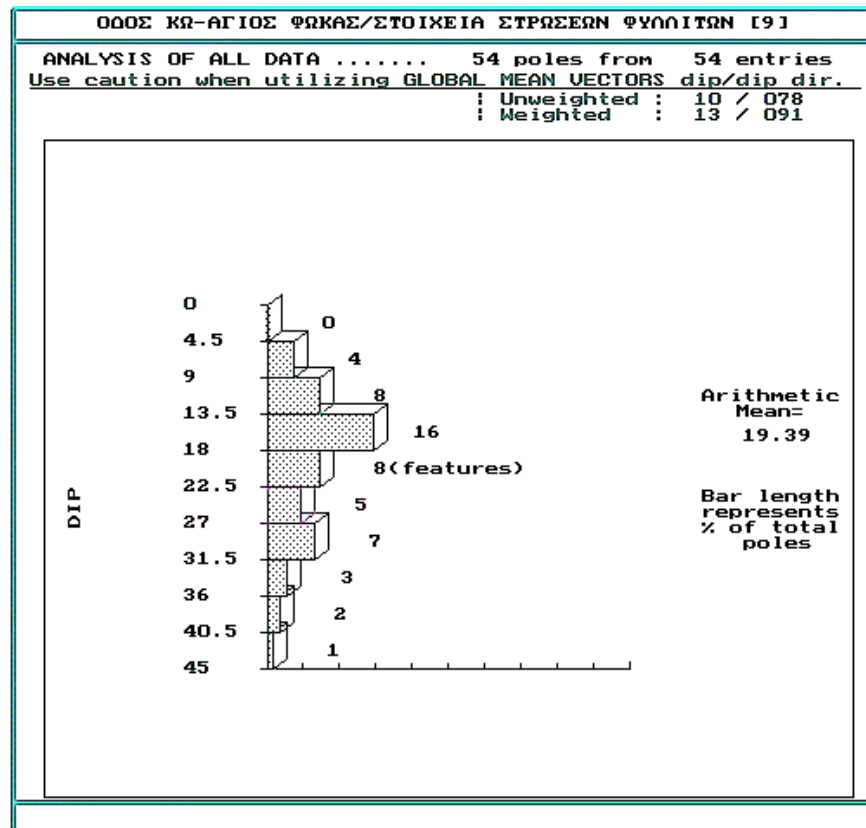
### Σχήματα A.1 – A.16 απεικόνισης τεκτονικών στοιχείων σχηματισμών.



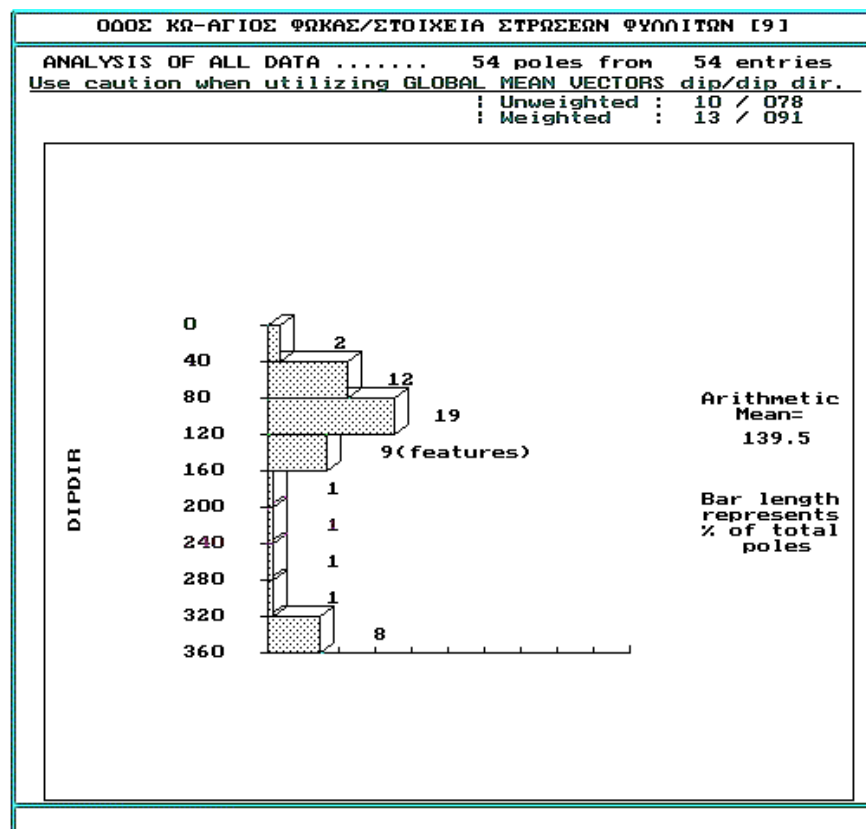
**Σχήμα A.1** Στερεογραφική απεικόνιση πόλων των επιπέδων σχιστότητας φυλλιτών.



**Σχήμα A.2** Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων σχιστότητας φυλλιτών.

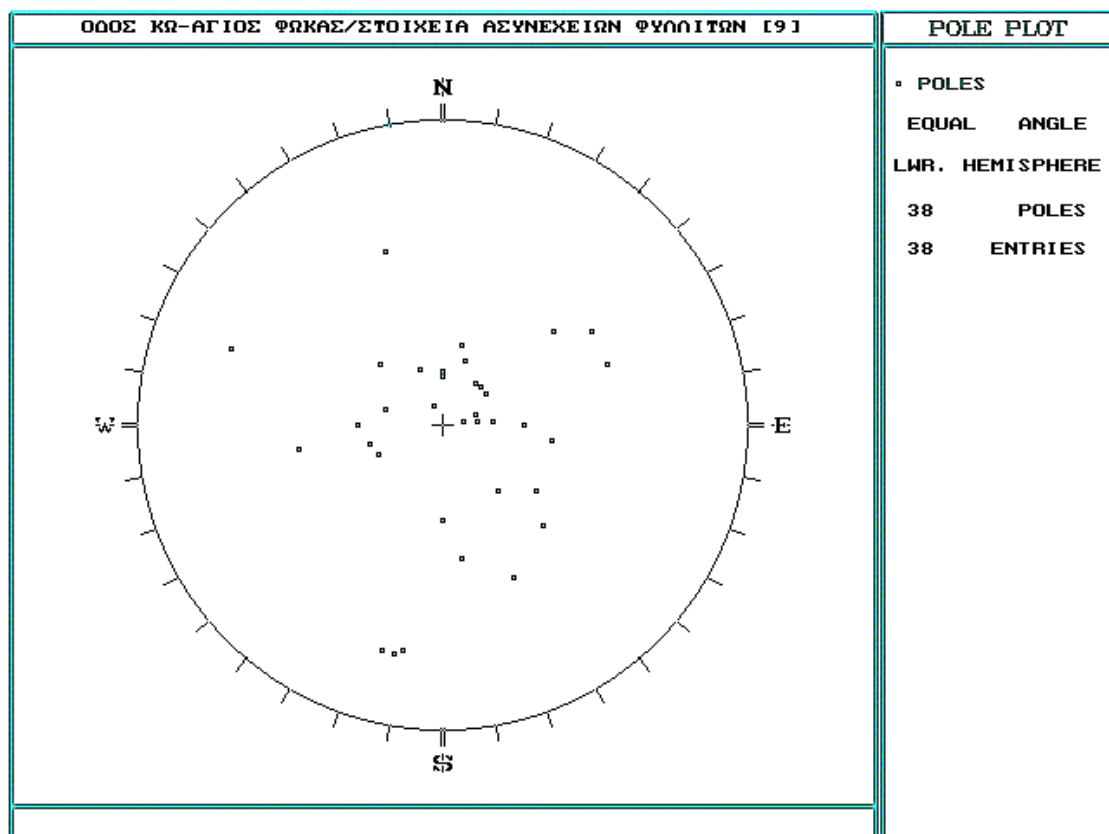


**Σχήμα A.3** Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων σχιστότητας φυλλιτών.

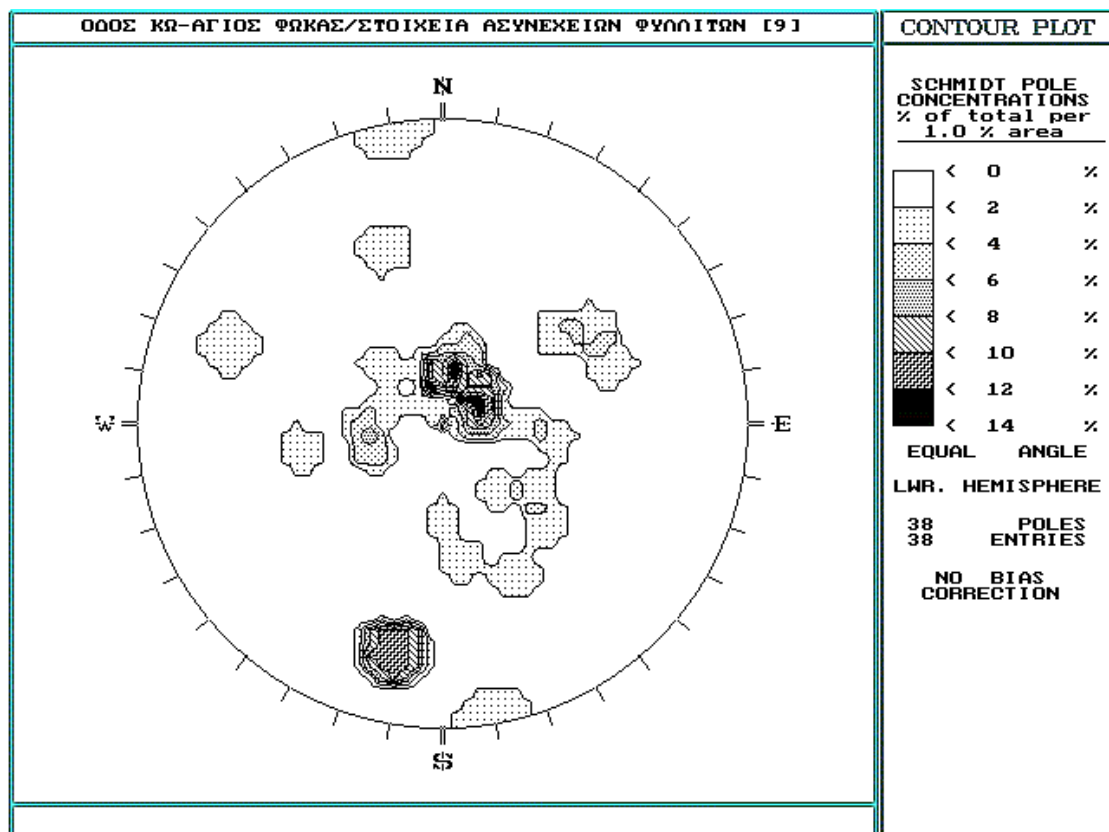


**Σχήμα A.4** Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων σχιστότητας φυλλιτών.

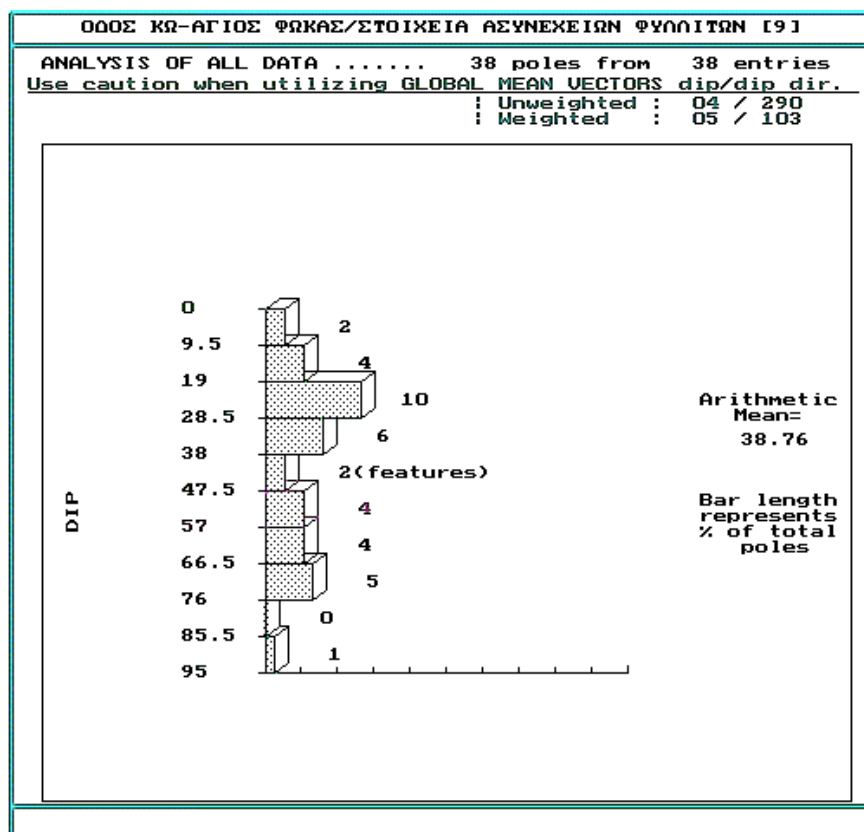




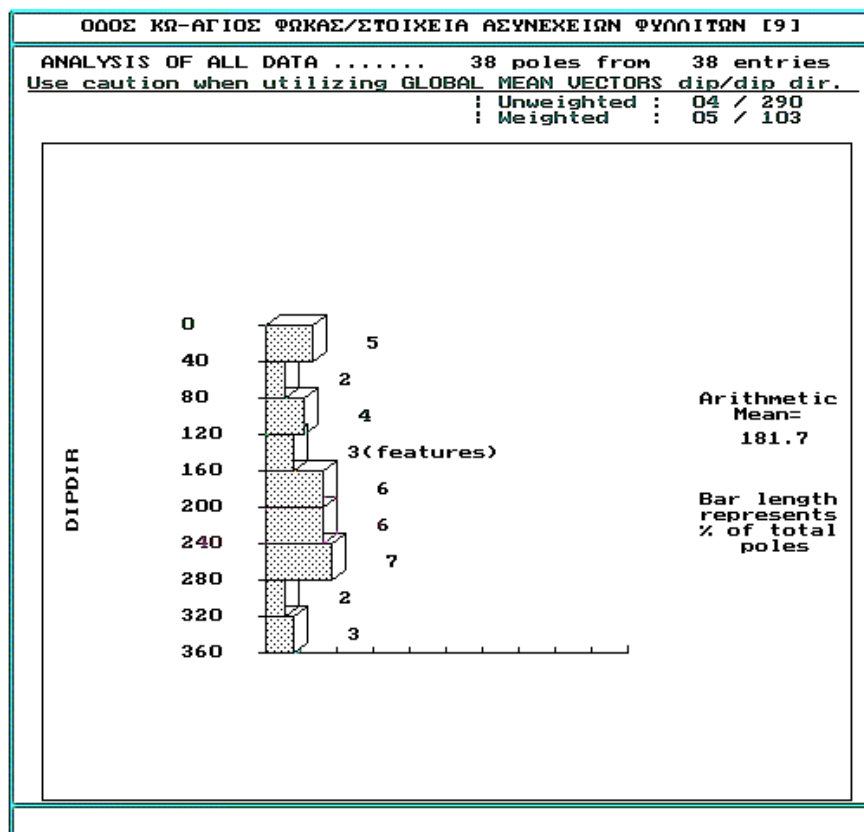
**Σχήμα A.5** Στερεογραφική απεικόνιση πόλων των επιπέδων ασυνεχείων φυλλιτών.



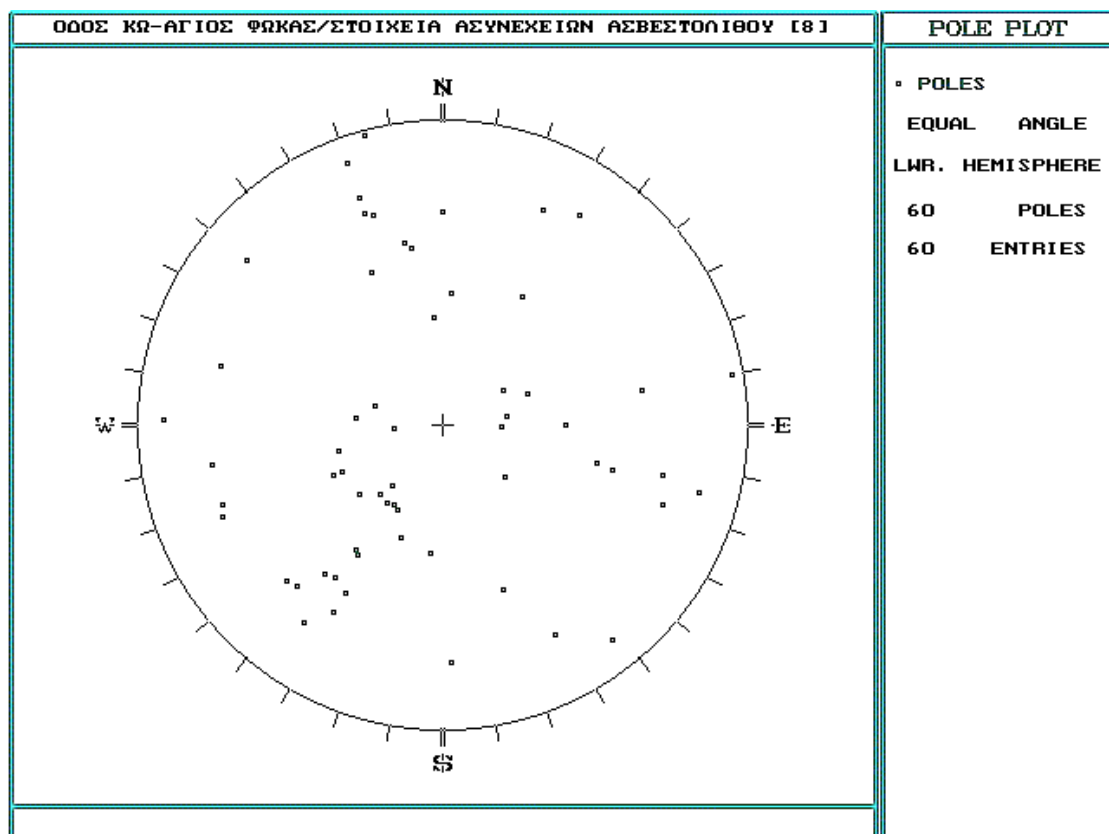
**Σχήμα A.6** Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων ασυνεχείων φυλλιτών.



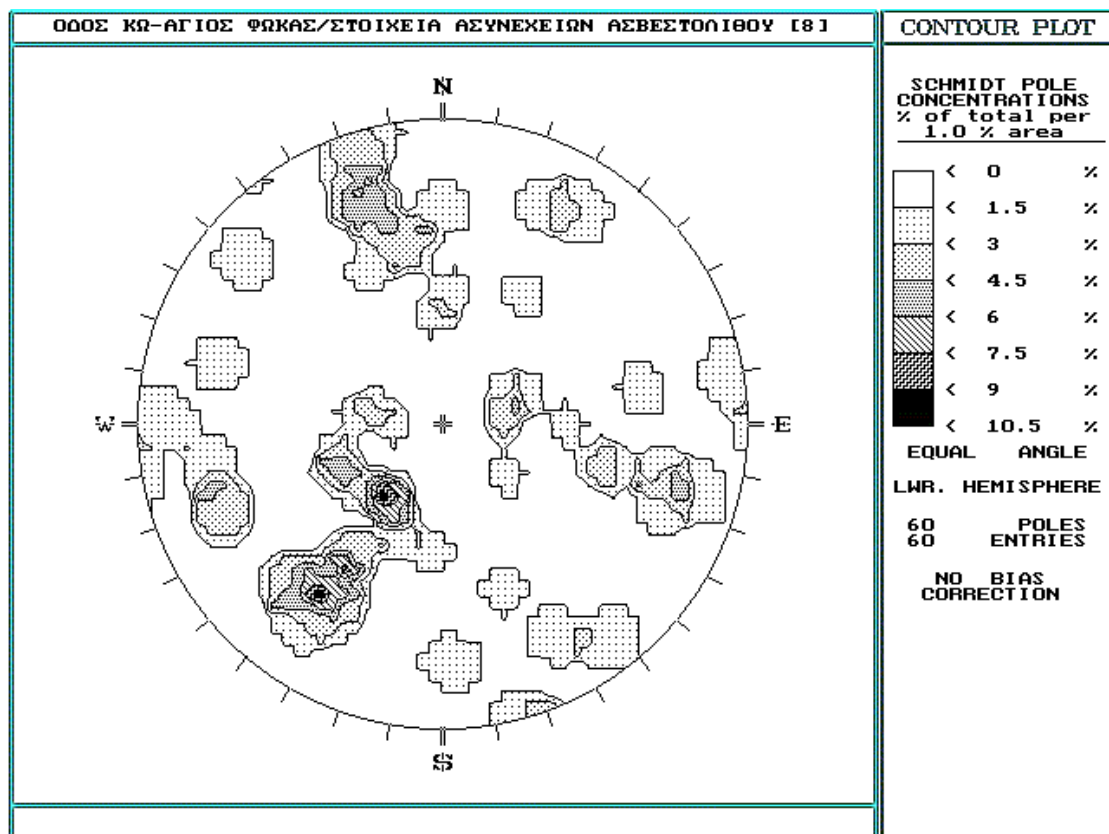
**Σχήμα A.7** Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων ασυνεχειών φυλλιών.



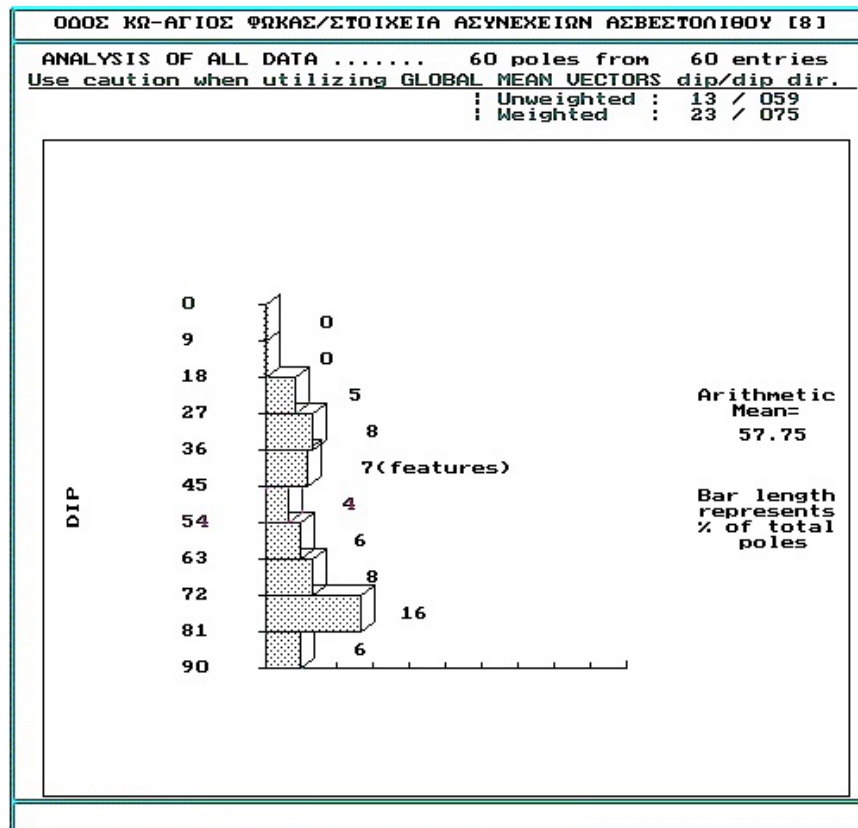
**Σχήμα A.8** Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων ασυνεχειών φυλλιών.



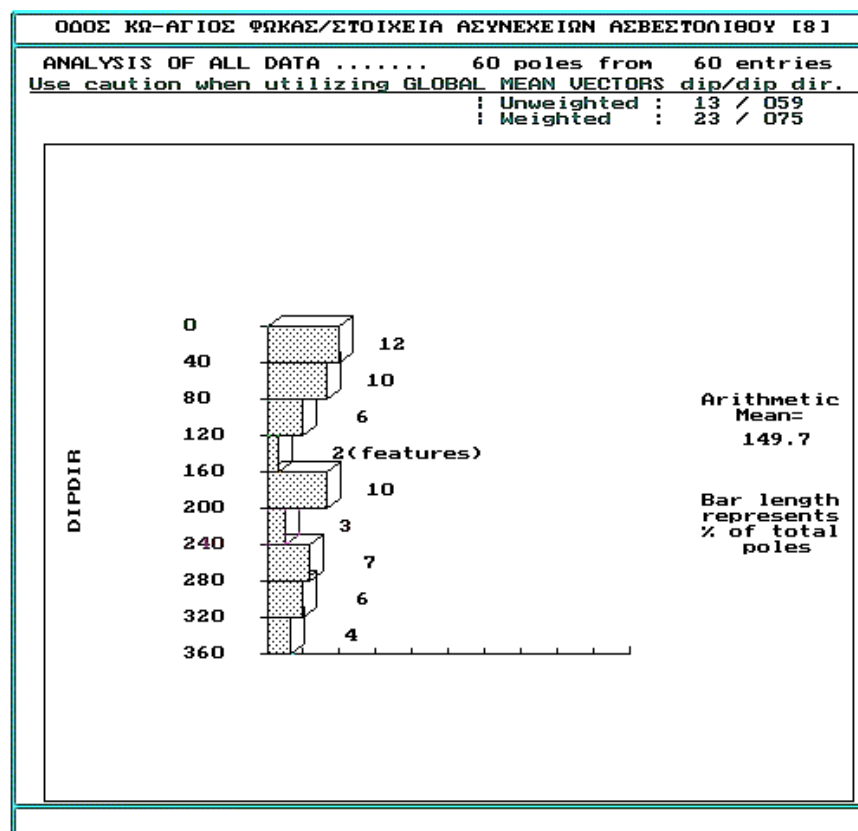
**Σχήμα A.9** Στερεογραφική απεικόνιση πόλων των επιπέδων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου.



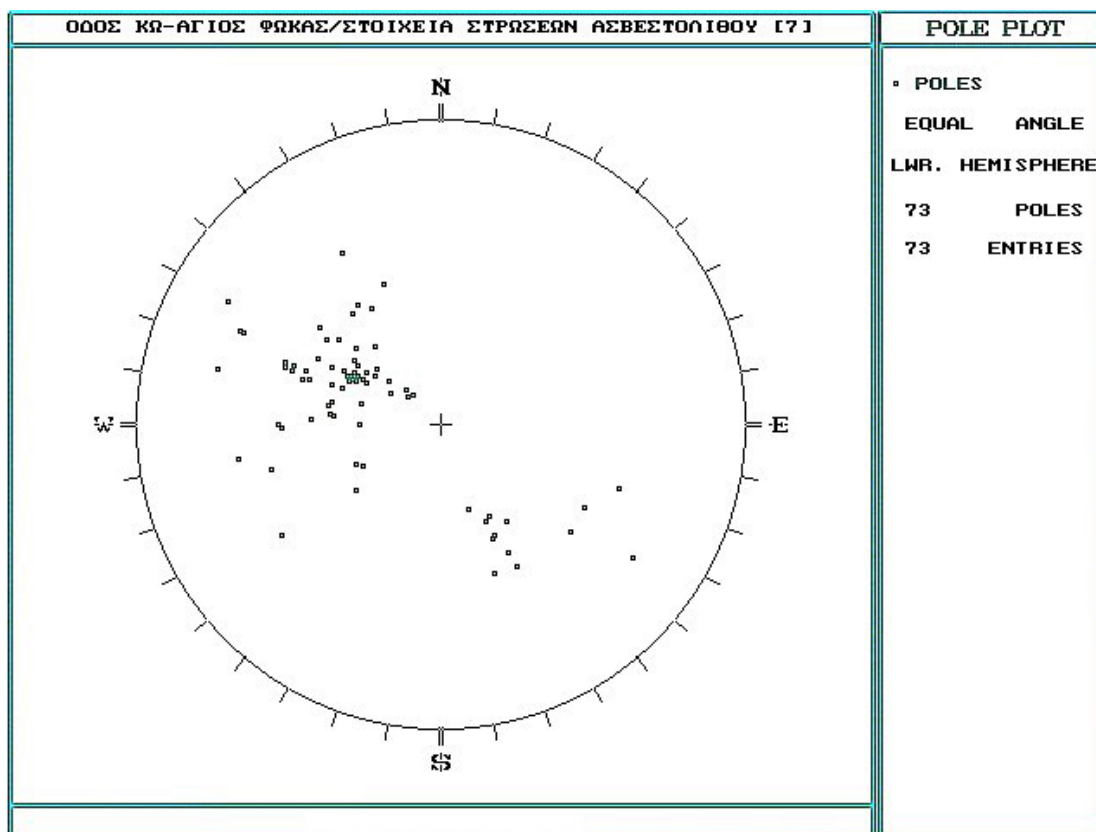
**Σχήμα A.10** Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου.



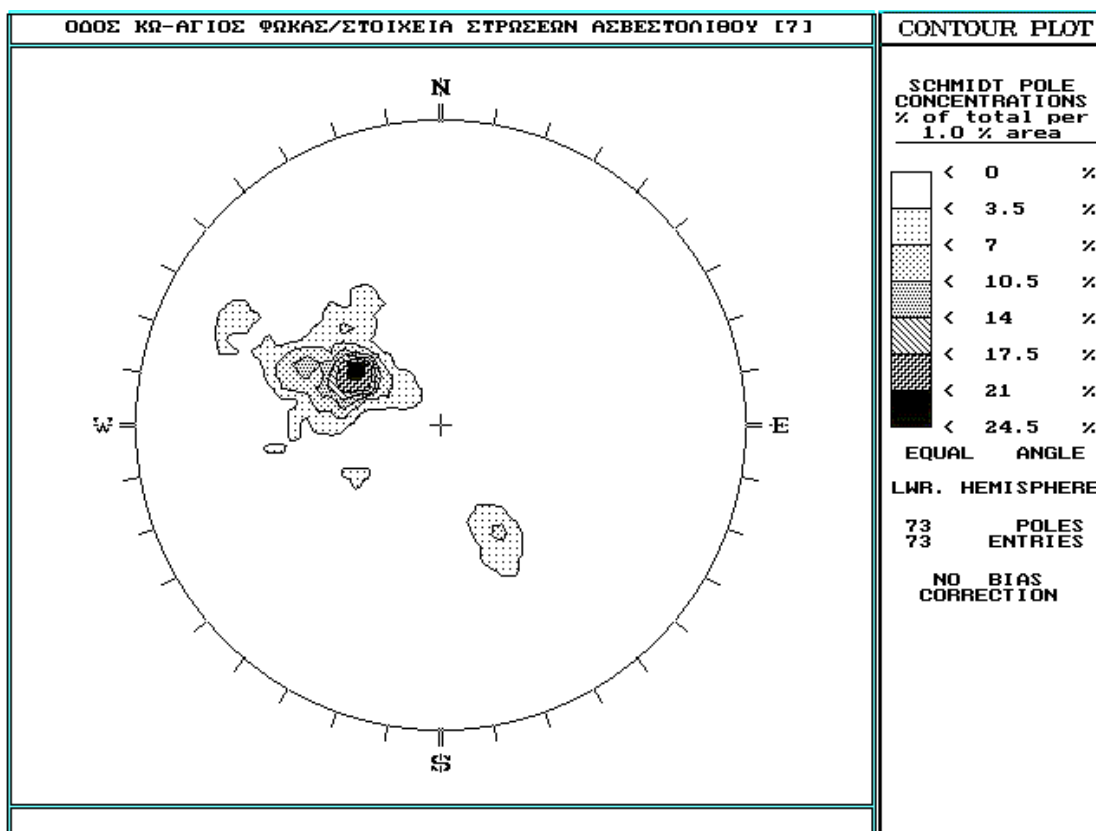
Σχήμα A.11 Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου.



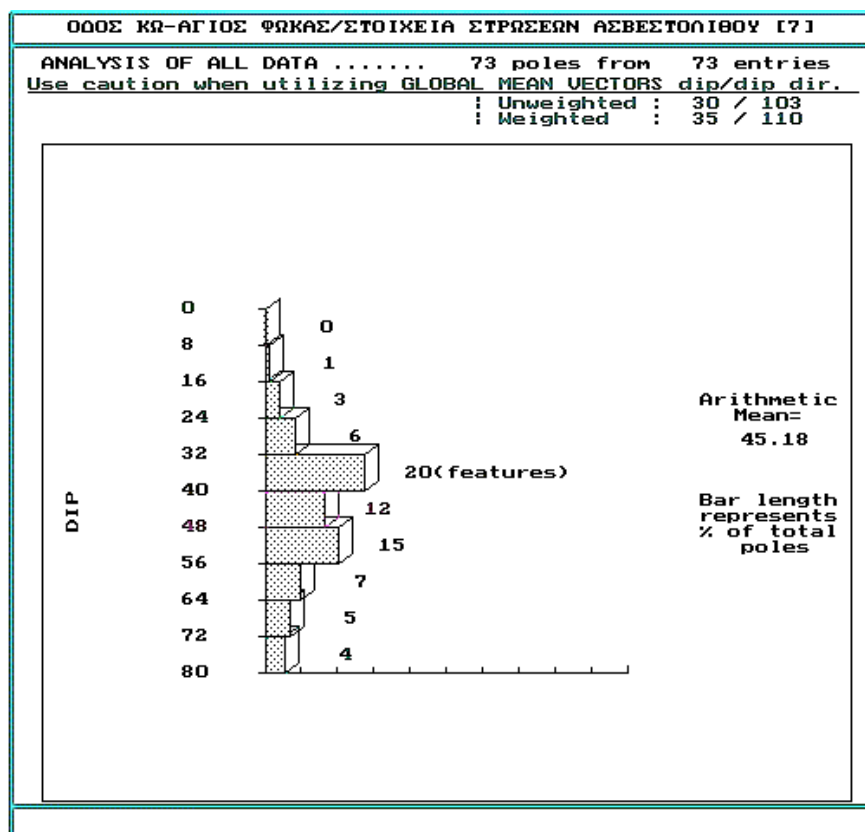
Σχήμα A.12 Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων ασυνεχειών Μ. ασβεστολίθου.



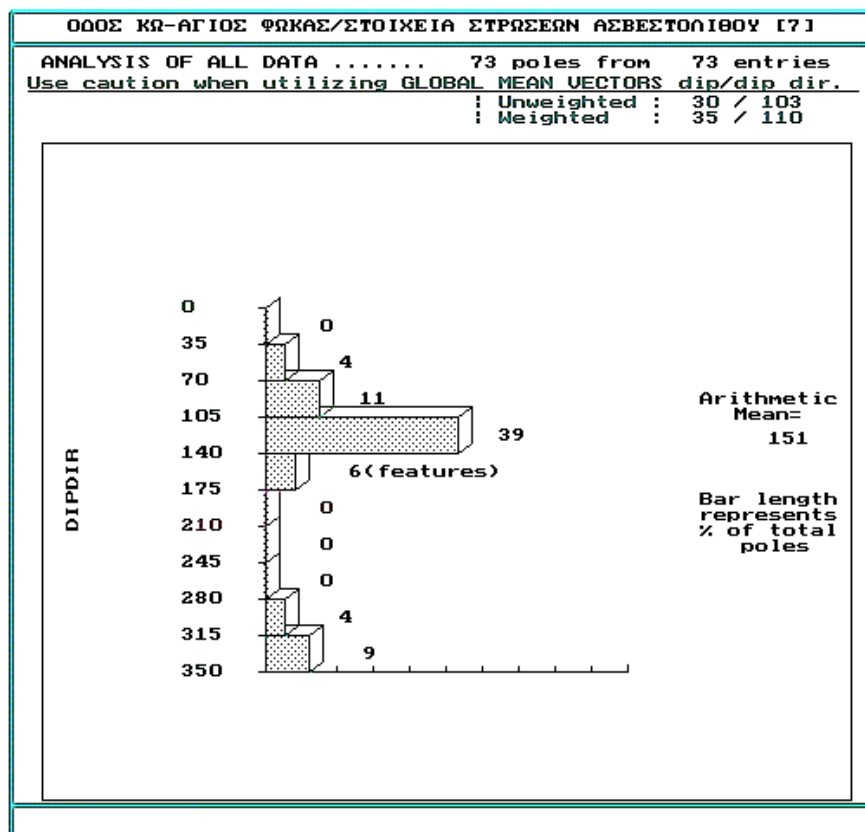
**Σχήμα A.13** Στερεογραφική απεικόνιση πόλων των επιπέδων στρώσης Ασβεστολίθου.



**Σχήμα A.14** Ισοπεριεκτικές επιφάνειες πόλων στρώσης Ασβεστολίθου.



**Σχήμα A.15** Ιστόγραμμα πυκνότητας πόλων στρώσης Ασβεστολίθου.

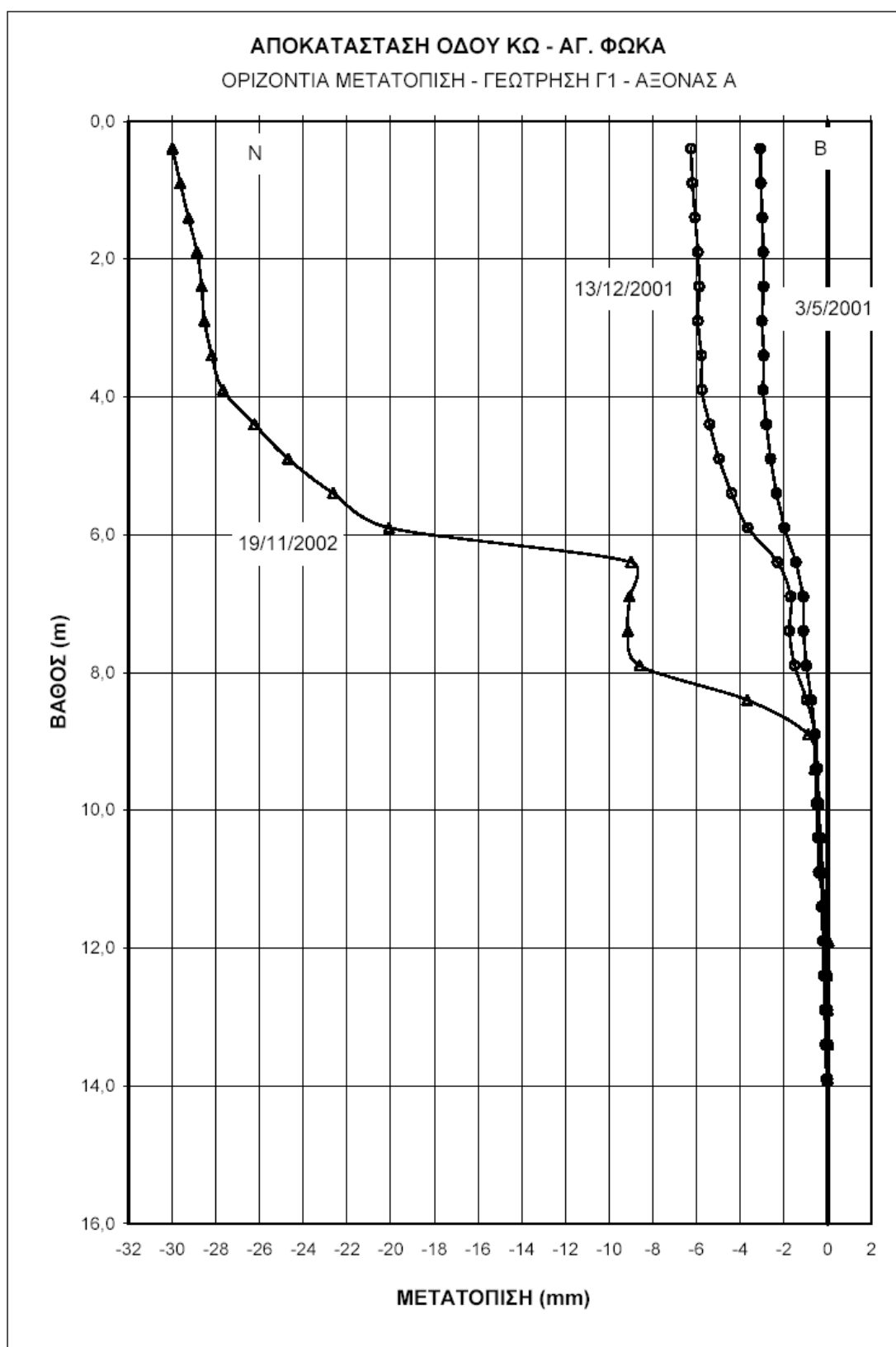


**Σχήμα A.16** Ιστόγραμμα συχνότητας πόλων στρώσης Ασβεστολίθου.

Παράρτημα Β:

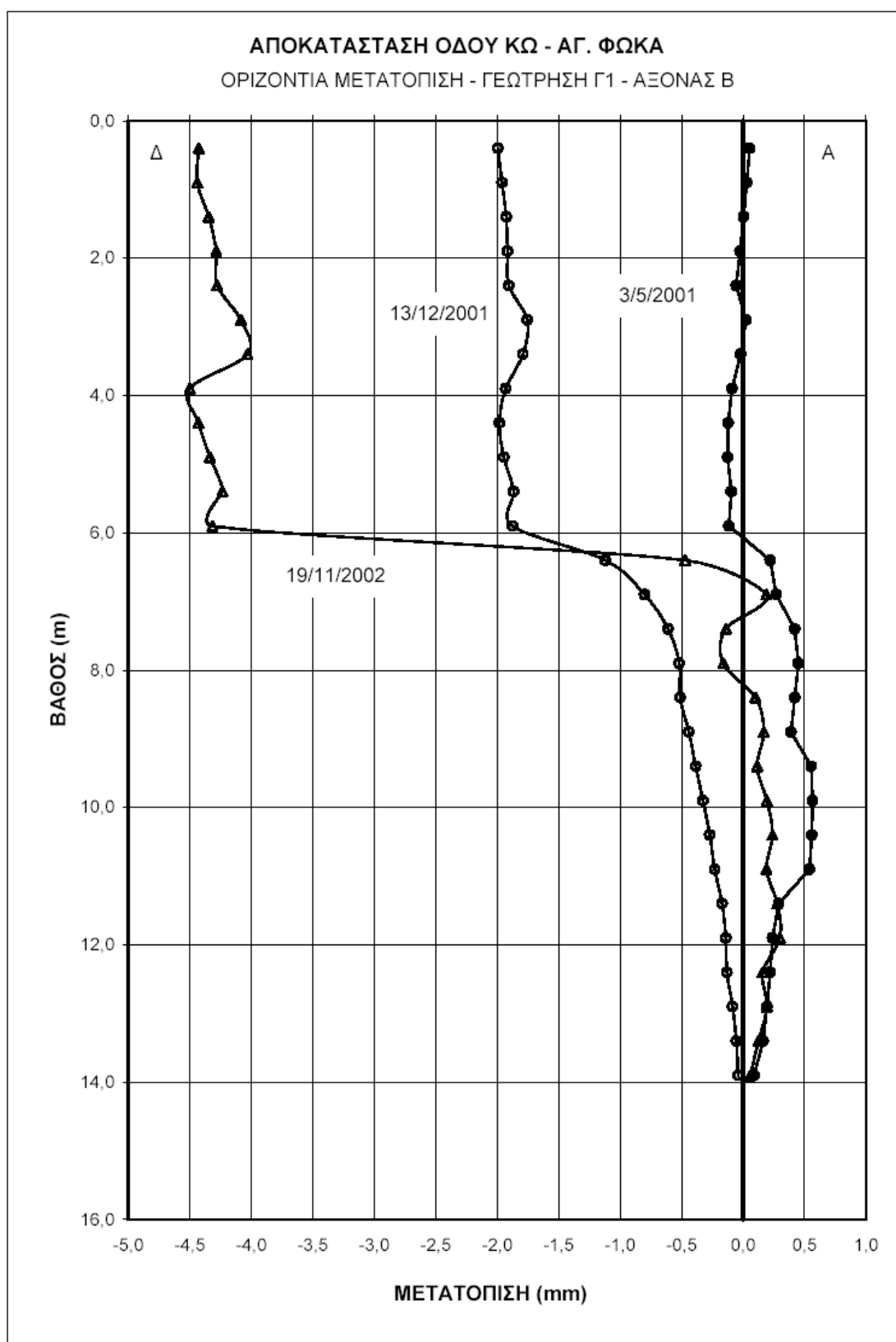
Διαγράμματα μετρήσεων  
αποκλισιομέτρων

**Σχήματα Β.1 – Β.8 απεικόνισης αποκλισιομετρικών μετρήσεων.**

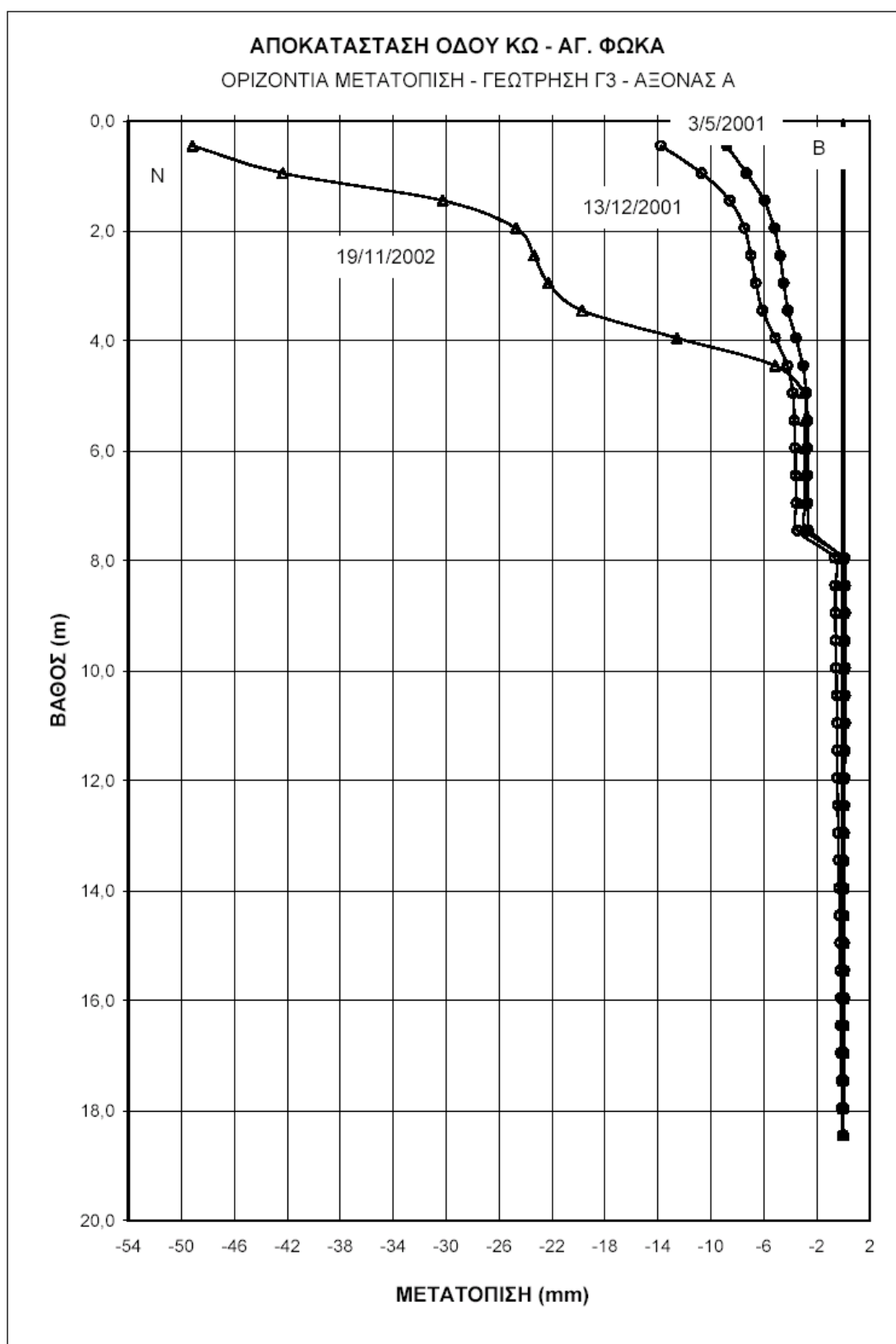


**Σχήμα Β.1** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ1 κατά τη διεύθυνση Β – Ν.

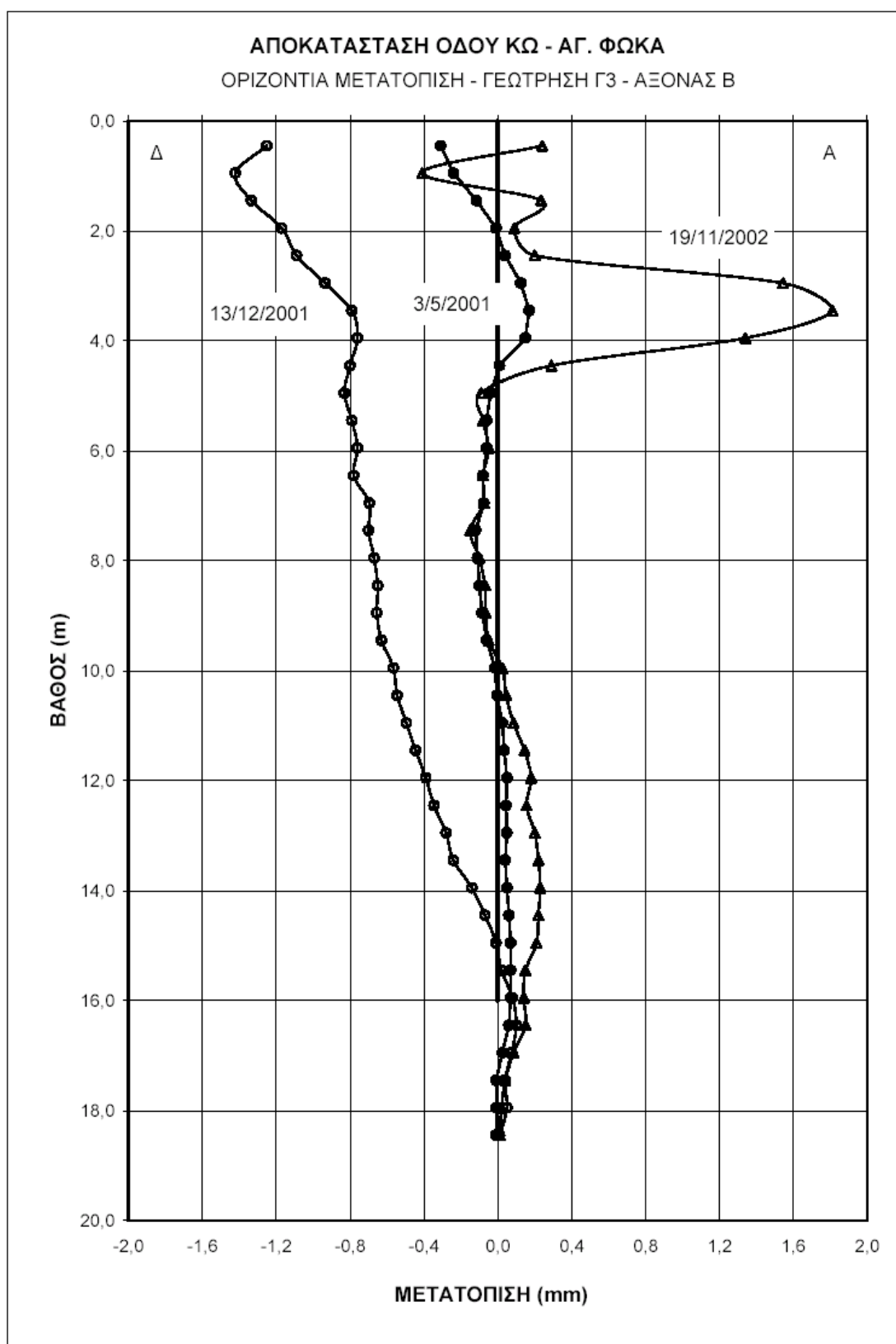




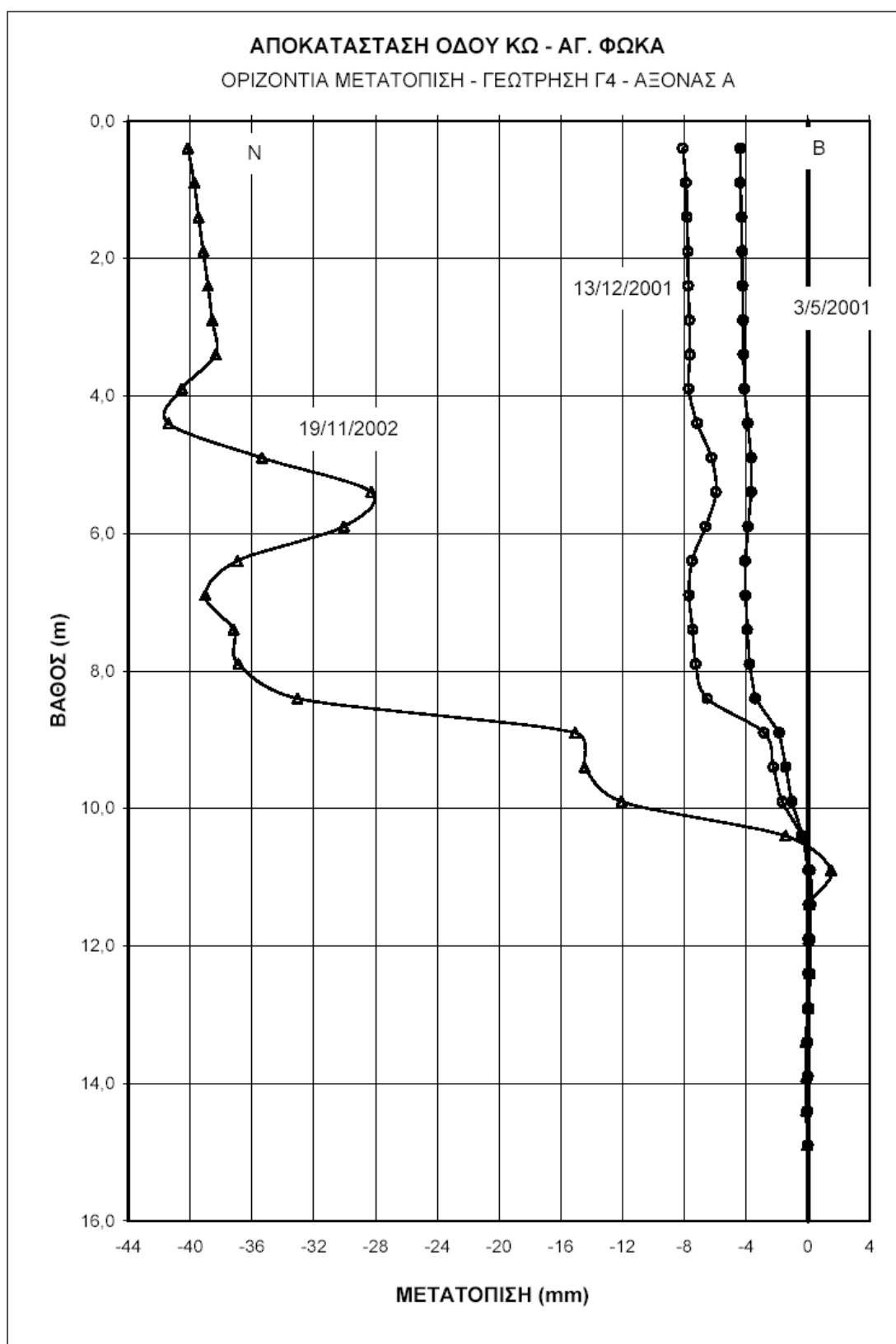
**Σχήμα Β.2** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ1 κατά τη διεύθυνση Α – Δ.



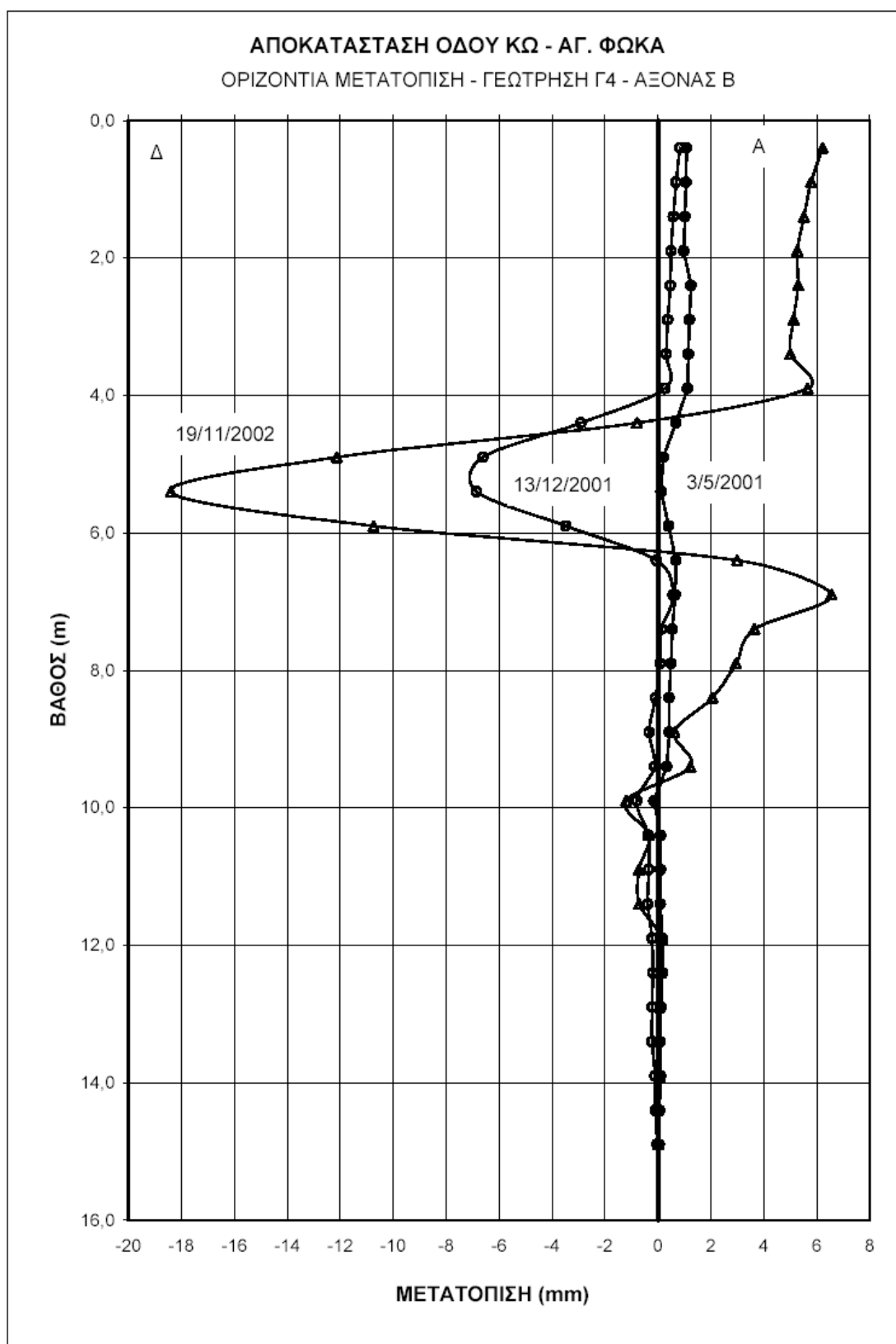
**Σχήμα Β.3** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ3 κατά τη διεύθυνση Β – Ν.



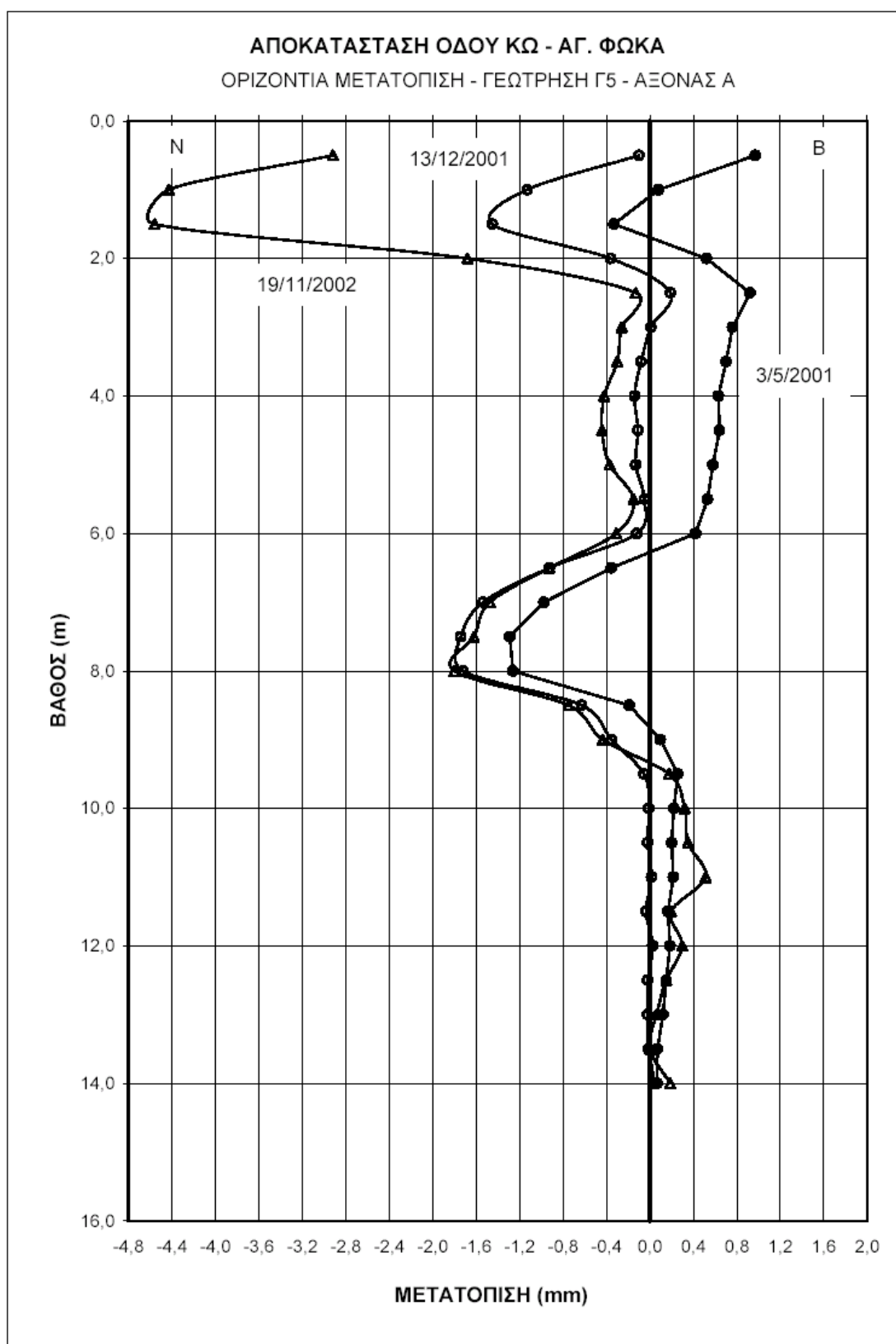
**Σχήμα Β.4** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ3 κατά τη διεύθυνση Α – Δ.



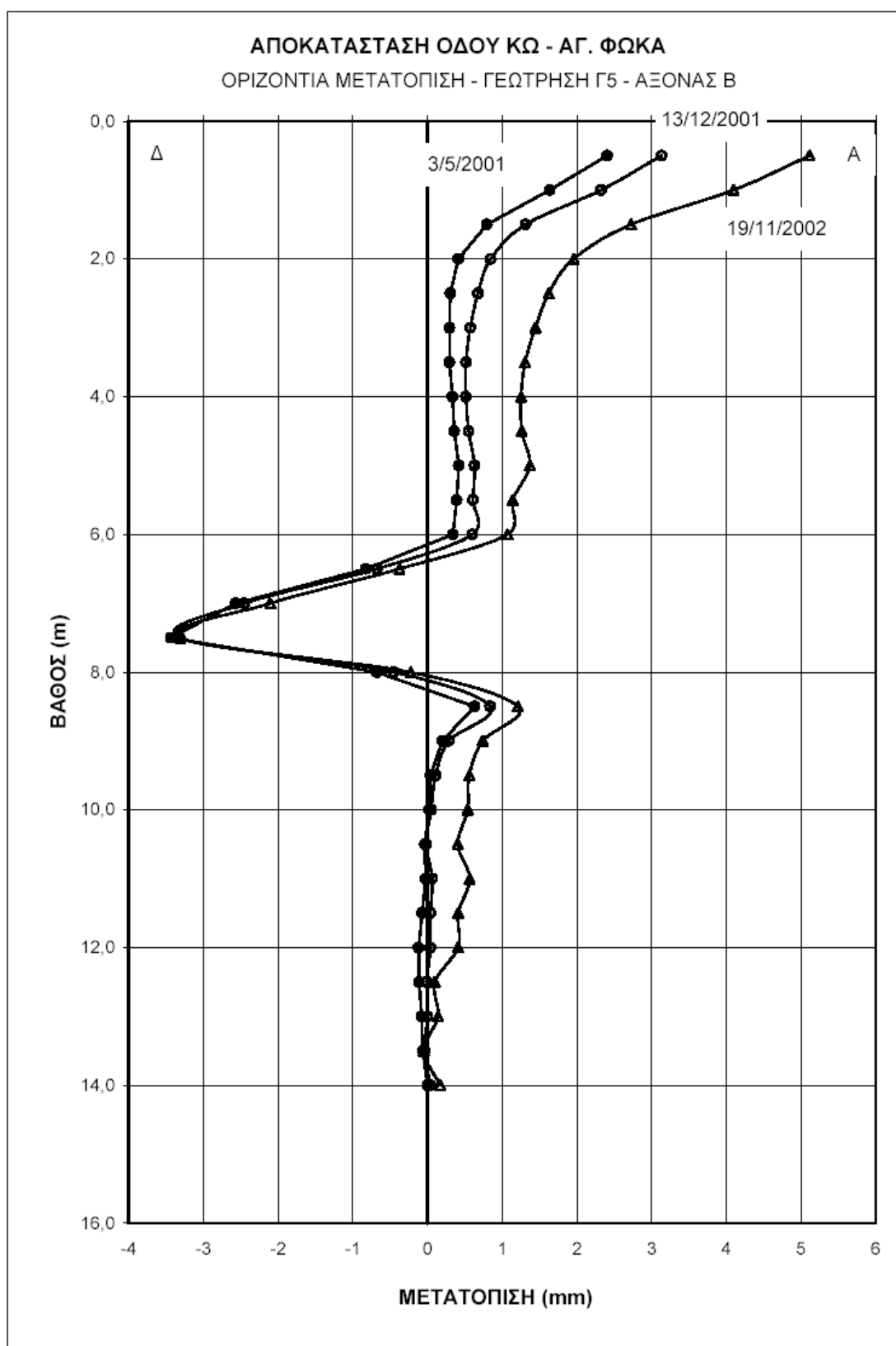
**Σχήμα Β.5** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ4 κατά τη διεύθυνση Β – Ν.



**Σχήμα Β.6** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ4 κατά τη διεύθυνση Α – Δ.



**Σχήμα Β.7** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ5 κατά τη διεύθυνση Β – Ν.



**Σχήμα Β.8** Οριζόντια μετατόπιση γεώτρησης Γ5 κατά τη διεύθυνση Α – Δ.

Παράρτημα Γ:

Μητρώα γεωτρήσεων και φρεάτων







### Σχήμα Γ.3 Μητρώο Γεώτρησης Γ3.





ΓΕΩΣΥΝΘΕΤΙΚΑ γεωτεχνικές μελέτες και έργα										ΜΗΤΡΩΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ Γ6										Σελίδα Α9 ΕΡΓΟ: ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΟΔΟΥ "ΚΟ - ΑΓ. ΦΩΚΑ"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ΓΕΩΤΡΥΠΑΝΟ: JOY-12										ΥΨΟΜΕΤΡΟ: + 86.20 m										X = - Y = -										ΔΟΚΙΜΗ ΥΔΡΟΠΕΡΑ- ΤΟΤΗΤΑΣ										ΔΟΚΙΜΕΣ ΚΑΤΑ ΤΑΞΗ										ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ										ΔΟΚΙΜΕΣ ΒΡΑΧΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ										ΠΥΡΗΝΟΔΗΜΙΑ										ROD										ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ										ΔΟΚΙΜΗ S.P.T. αριθμός κρούσεων ανά 15 cm										ΤΗΛΗΔΙΑ ΔΟΚΙΜΗΣ										ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ										K (m/s)										ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ										ΟΡΙΑ ATTERBERG										ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΤΑ A.U.S.C.S.										ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ										ΥΠΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ										ΕΠΙΡΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΒΑΡΟΣ										ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ										ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΗ ΘΑΛΗΡΑ										ΘΑΛΗΡΑ ΚΑΤΑ ΓΕΝΕΤΕΡΑ										ΣΗΜΕΙΩΝ ΦΟΡΤΗΣ										ΣΗΜΕΙΩΝ ΦΟΡΤΗΣ										ΔΙΑΤΜΕΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΣΥΜΜΕΤΡΙΩΝ										ΜΕΤΡΙΣΤΗ										ΠΡΟΣΑΡ- ΜΟΤΕΣ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1										2										3										4										5										6										7										8										9										10										11										12										13										14										15										16										17										18										19										20										21										22										23										24										25										26										27										28										29										30										31										32										33										34										35										36										37										38										39										40										41										42										43										44										45										46										47										48										49										50										51										52										53										54										55										56										57										58										59										60										61										62										63										64										65										66										67										68										69										70										71										72										73										74										75										76										77										78										79										80										81										82										83										84										85										86										87										88										89										90										91										92										93										94										95										96										97										98										99										100										101										102										103										104										105										106										107										108										109										110										111										112										113										114										115										116										117										118										119										120										121										122										123										124										125										126										127										128										129										130										131										132										133										134										135										136										137										138										139										140										141										142										143										144										145										146										147										148										149										150										151										152										153										154										155										156										157										158										159										160										161										162										163										164										165										166										167										168										169										170										171										172										173										174										175										176										177										178										179										180										181										182										183										184										185										186										187										188										189										190										191										192										193										194										195										196										197										198										199										200										201										202										203										204										205										206										207										208										209										210										211										212										213										214										215										216										217										218										219										220										221										222										223										224										225										226										227										228										229										230										231										232										233										234										235										236										237										238										239										240										241										242										243										244										245										246										247										248										249										250										251										252										253										254										255										256										257										258										259										260										261										262										263										264										265										266										267										268										269										270										271										272										273										274										275										276										277										278										279										280										281										282										283										284										285										286										287										288										289										290										291										292										293										294										295										296										297										298										299										300										301										302										303										304										305										306										307										308										309										310										311										312										313										314										315										316										317										318										319										320										321										322										323										324										325										326										327										328										329										330										331										332										333										334										335										336										337										338										339										340										341										342										343										344										345										346										347										348										349										350										351										352										353										354										355										356										357										358										359										360										361										362										363										364										365										366										367										368										369										370										371										372										373										374										375										376										377										378										379										380										381										382										383										384										385										386										387										388										389										390										391										392										393										394										395										396										397										398										399										400										401										402										403										404										405										406										407										408										409										410										411										412										413										414										415										416										417										418										419										420										421										422										423										424										425										426										427										428										429										430										431										432										433										434										435										436										437										438										439										440										441										442										443										444										445										446										447										448										449										450										451										452										453										454										455										456										457										458										459										460										461										462										463										464										465										466										467										468										469										470										471										472										473										474										475										476										477										478										479										480										481										482										483										484										485										486										487										488										489										490										491										492										493										494										495										496										497										498										499										500										501										502										503										504										505										506										507										508										509										510										511										512										513										514										515										516										517										518										519										520										521										522										523										524										525										526										527										528										529										530										531										532										533										534										535										536										537										538										539										540										541										542										543										544										545										546										547										548										549										550										551										552										553										554										555										556										557										558										559										560										561										562										563										564										565										566										567										568										569										570										571										572										573										574										575										576										577										578										579										580										581										582										583										584										585										586										587										588										589										590										591										592										593										594										595										596										597										598										599										600										601										602										603										604										605										606										607										608										609										610										611										612										613										614										615										616										617										618										619										620										621										622										623										624										625										626										627										628										629										630										631										632										633										634										635										636										637										638										639										640										641										642										643										644										645										646										647										648										649										650										651										652										653										654										655										656										657										658										659										660										661										662										663										664										665										666										667										668										669										670										671										672										673										674										675										676										677										678										679										680										681										682										683										684										685										686										687										688										689										690										691										692										693										694										695										696										697										698										699										700										701										702										703										704										705										706										707										708										709										710										711										712										713										714										715										716										717										718										719										720										721										722										723										724										725										726										727										728										729										730										731										732										733										734										735										736										737										738										739										740										741										742										743										744										745										746										747										748										749										750										751										752										753										754										755										756										757										758										759										760										761										762										763										764										765										766										767										768										769										770										771										772										773										774										775										776										777										778										779										780										781										782										783										784										785										786										787										788										789										790										791										792										793										794										795										796										797										798										799										800										801										802										803										804										805										806										807										808										809										810										811										812										813										814										815										816										817										818										819										820										821										822										823										824										825										826										827										828										829										830										831										832										833										834										835										836										837										838										839										840										841										842										843										844										845										846										847										848										849										850										851										852										853										854										855										856										857										858										859										860										861										862										863										864										865										866										867										868										869										870										871										872										873										874										875										876										877										878										879										880										881										882										883										884										885										886										887										888										889										890										891										892										893										894										895										896										897										898										899										900										901										902										903										904										905										906										907										908										909										910										911										912										913										914										915										916										917										918										919										920										921										922										923										924										925										926										927										928										929										930										931										932										933										934										935										936										937										938										939										940										941										942										943										944										945										946										947										948										949										950										951										952										953										954										955										956										957										958										959										960										961										962										963										964										965										966										967										968										969										970										971										972										973										974									









### ΦΡΕΑΡ Φ1

(Υψόμετρο: +71.80 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.S.C.S.
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-          2-          3-          4-          5-          6-	Υλικά Οδοστρώσας 0.40											
	Αργιλοίλυδες ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ (GC-GP) ανοικτού καστανότεφρου χρώματος, με λίθους κατά θέσεις	Δ1										
	2.40	Δ2	30	20	11	7	19,7	11,4	8,3	2,5		GC-GP
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:												
Διαστάσεις φρέατος: 3.60 x 0.90												
Δυσκολία στην εκσκαφή μετά τα 2.00 m												

Σχήμα Γ.9 Μητρώο Φρέατος Φ1.

## ΦΡΕΑΡ Φ2

(Υψόμετρο: +68.20 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.C.S.
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-	Αργιλοίλυδες ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ (GC) ως αμμόδης ΑΡΓΙΛΟΣ και ΧΑΛΙΚΙΑ καστανού ως καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια φυλλίτικα, ψαμμιτικά και ιλυολιθικά											
		Δ1										
2-	3.00	Δ2	48	37	24	19	30,1	16,7	13,4	6,0		GC
3-		Δ3										
4-												
5-												
6-												

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Διαστάσεις φρέατος: 3.10 x 0.90

Δυσκολία στην εκσκαφή μετά το 1.00 m

**Σχήμα Γ.10** Μητρώο Φρέατος Φ2.

### ΦΡΕΑΡ Φ3

(Υψόμετρο: +66.20 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.S.C.S
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-  												

Σχήμα Γ.11 Μητρώο Φρέατος Φ3.

### ΦΡΕΑΡ Φ4

(Υψόμετρο: +55.00 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.S.C.S
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-	Αργιλώδες ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ (SC) ως αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ και ΧΑΛΙΚΙΑ καστανού ως καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια φυλλίτικα, ψαμμιτικά και ιλυολιθικά											
		Δ1	71	55	36	23	25,5	14,5	11,0	4,6		SC
2-	3.50	Δ2										
3-	3.50	Δ3										
4-												
5-												
6-												

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Διαστάσεις φρέατος: 3.60 x 0.90

Δυσκολία στην εκσκαφή μετά το 1.50 m

**Σχήμα Γ.12** Μητρώο Φρέατος Φ4.

### ΦΡΕΑΡ Φ5

(Υψόμετρο: +88.20 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.S.C.S
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-	Αργιλοίλυδες ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ ανοικτού καστανού χρώματος 0.70											
	Αργιλοαμμώδεις ΧΑΛΙΚΕΣ ως ΑΜΜΟΧΑΛΙΚΟ (SC) καστανού ως καστανότεφρου χρώματος, με χαλίκια φυλλιτικά, ψαμμιτικά και ιλυολιθικά 2.20	Δ1										
2-	Δ2	70	55	34	21	19,3	11,1	8,2	4,2		SC	
3-												
4-												
5-												
6-												

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

Διαστάσεις φρέατος: 3.30 x 0.90

Δυσκολία στην εκσκαφή μετά το 2.20 m

**Σχήμα Γ.13** Μητρώο Φρέατος Φ5.

### ΦΡΕΑΡ Φ6

(Υψόμετρο: +62.80 m)

ΤΟΜΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΗΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG			ΦΥΣΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%)	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	A.U.C.S.
			#4 (%)	#10 (%)	#40 (%)	#200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)			
1-   <												

Σχήμα Γ.14 Μητρώο Φρέατος Φ6.