



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ –  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΓΙΑ ΤΙΣ  
ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕΧΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΩΝ, ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΥΛΑΣ  
– ΒΑΡΗΣ – ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μπλέτσας Σεραφείμ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης

Λέκτορας

ΑΘΗΝΑ, 2011







**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ –  
ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΓΙΑ ΤΙΣ  
ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕΧΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΩΝ, ΣΤΙΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΥΛΑΣ  
– ΒΑΡΗΣ – ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Μπλέτσας Σεραφείμ

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Λουπασάκης  
Λέκτορας

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις ...../...../2011

Ρόζος Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής  
(Υπογραφή).....

Ροντογιάννη – Τσιαμπάου Θεοδώρα, Αν. Καθηγήτρια  
(Υπογραφή).....

Κωνσταντίνος Λουπασάκης, Λέκτορας  
(Υπογραφή).....

ΑΘΗΝΑ, 2011

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μαθήματος «Τεχνικής Γεωλογίας» από τον Οκτώβριο μέχρι τον Ιούνιο του 2011 υπό την επίβλεψη του Λέκτορα του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, κ. Κ. Λουπασάκη.

Θέμα της ήταν η διερεύνηση των τεχνικογεωλογικών – γεωτεχνικών συνθηκών, για τις απαιτήσεις σχεδιασμού τεχνικών έργων, στις περιοχές του Δήμου Βούλας – Βάρης – Βουλιαγμένης, ανατολικής Αττικής. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η δημιουργία του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη Βούλας – Βάρης – Βουλιαγμένης που επισυνάπτεται. Το πειραματικό μέρος πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών ενώ η κατασκευή του Χάρτη έγινε με χρήση του προγράμματος ArcGIS 9.0.

Η εμπειρία δημιουργίας μιας τέτοιας βάσης γεωτεχνικών δεδομένων και η πραγματοποίηση των αντίστοιχων πειραματικών δοκιμών υπήρξε ενδιαφέρουσα και πολύτιμη γιατί μου έδωσε την ευκαιρία να εξοικειωθώ με τις πειραματικές διαδικασίες και με τον εργαστηριακό χώρο γενικότερα. Εκτός αυτού κατάφερα να αποκτήσω βασικές γνώσεις στον τρόπο υπαίθριας χαρτογράφησης και να εμπεδώσω τον τρόπο με τον οποίο η θεωρία και η πράξη συνδυάζονται επιφέροντας τα επιθυμητά αποτελέσματα.

Κλείνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Λουπασάκη, Λέκτορα της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, για το ενδιαφέρον που έδειξε κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας και για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε μέσω της καθοδήγησής του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πτυχιούχο γεωλόγο και υποψήφιο Διδάκτορα της Σχολής Μηχανικών - Μεταλλείων Μεταλλουργών Δημήτριο Κοτσάνη για τη διαρκή βοήθεια και υποστήριξή του καθώς και την υποψήφια Διδάκτορα Δάφνη Σίδερη για την ενεργή συμμετοχή της σε κάθε

στάδιο αυτού του έργου. Θερμές ευχαριστίες, επίσης, στους κ.κ.: Ρόζο Δημήτριο, Επίκουρο Καθηγητή του τομέα Γεωλογικών Επιστημών της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών και διευθυντή του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Ροντογιάννη – Τσιαμπάου Θεοδώρα, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια του τομέα Γεωλογικών Επιστημών, Νομικό Παύλο, Λέκτορα του τομέα Μεταλλευτικής, Τσαγκαράτο Πάρι, Ι.Δ.Α.Χ., Παπαντωνόπουλο Γιώργο, Ι.Δ.Α.Χ. και όλους όσους βοήθησαν να έρθει εις πέρας η παρούσα διπλωματική εργασία.

Μπλέτσας Σεραφείμ  
Ιούλιος, 2011  
Αθήνα

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>x</b>
<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>1</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</b>	<b>2</b>
<b>ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ.....</b>	<b>2</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
Γενική γεωλογική εικόνα του λεκανοπεδίου Αθηνών.....	2
1.1 ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	5
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΥΤΟΧΘΟΝΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΥ - ΑΤΤΙΚΗΣ .	5
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ	6
ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ .....	8
ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΟΧΘΟΝΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	
ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ .....	9
1.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ .....	11
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</b>	<b>24</b>
<b>ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ.....</b>	<b>24</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	24
2.1 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ .....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</b>	<b>38</b>
<b>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ</b>	
<b>ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ .....</b>	<b>38</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	38
3.1 Δοκιμή προσδιορισμού αντοχής πετρώματος σε ανεμπόδιστη θλίψη. ....	38
3.1.1 Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής.....	42
3.1.2 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας. ....	46

3.1.3 Παράγοντες διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων .....	47
3.1.4 Συμπεριφορά μετά την μέγιστη αντοχή .....	49
3.2 Δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα (δοκιμή Brazilian).....	51
3.2.1 Θεωρία της δοκιμής.....	52
3.2.2 Πρότυπη διαδικασία .....	53
3.2.3 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας .....	55
3.3 Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης (PLT).....	57
3.3.1 Θεωρία της δοκιμής.....	59
3.3.2 Πρότυπη διαδικασία .....	63
3.3.3 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας .....	65
3.4 Δοκιμή άμεσης διάτμησης .....	66
3.4.1 Πρότυπη διαδικασία .....	72
3.4.2 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας.....	80
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</b>	<b>81</b>
<b>ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ.....</b>	<b>81</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	81
4.1 Στόχοι της εργασίας .....	83
4.2 Τοπογραφικό υπόβαθρο .....	85
4.3 Γεωλογικό υπόβαθρο.....	86
4.4 Τεχνικογεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1: 10.000 .....	86
4.5 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών .....	88
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</b>	<b>92</b>
<b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ</b>	
<b>ΒΟΥΛΑΣ – ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ .....</b>	<b>92</b>
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	92
5.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	93
5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	94

5.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΚΩΝΟΙ ΚΩΡΗΜΑΤΩΝ .....	96
5.3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	98
5.4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΕΡΥΘΡΟΙ ΠΗΛΟΙ ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ.....	99
ΕΡΥΘΡΟΙ ΠΗΛΟΙ.....	99
ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ .....	109
5.4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	116
5.5 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΜΑΡΓΕΣ - ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ .....	117
ΜΑΡΓΕΣ.....	117
ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ.....	129
5.5.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	131
5.6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΟΕΙΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ.....	132
5.6.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	141
5.7 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΜΑΡΜΑΡΑ.....	142
5.7.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	143
5.8 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ .....	150
5.8.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	153
5.9 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 7: ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ ΠΙΡΝΑΡΗΣ.....	157
5.9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	160
5.10 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 8: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΑΡΗΣ.....	168
5.10.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	177
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....</b>	<b>179</b>
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>179</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>181</b>

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
3.1	Το τρυπάνι διαμόρφωσης των πυρήνων (καρότα) πετρώματος του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.	40
3.2	Ο τραπεζοκόπτης βραχωδών δειγμάτων του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας.	41
3.3	Η μηχανή λείανσης πετρωμάτων του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας.	42
3.4	Κυλινδρικό δοκίμιο τοποθετημένο εντός της μηχανής ανεμπόδιστης θλίψης.	43
3.5	Δοκίμιο σε μορφή δίσκου.	51
3.6	Η μηχανή θλίψης.	55
3.7	Το σύστημα μέτρησης των δοκιμών που χρησιμοποιήθηκε.	56
3.8	Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.	56
3.9	Η μηχανή δοκιμής σημειακής φόρτισης.	57
3.10	Αξονική σημειακή φόρτιση δοκιμίου.	58
3.11	Διαμετρική σημειακή φόρτιση δοκιμίου.	58
3.12	Δοκιμή σημειακής φόρτισης ακανόνιστου δείγματος.	59
3.13	Φορητή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής απευθείας διάτμησης (Field Shear Box, μοντέλο WF 40900).	67
3.14	Μη φορητή συσκευή απ' ευθείας διάτμησης της εταιρείας SBEL.	67
3.15	Το σύστημα επιβολής ορθής και διατμητικής δύναμης.	68
3.16	Αναλογικό μηκυσιόμετρο.	68

4.1	Το περιβάλλον του ArcMap (Αγγέλη Β. 2005).	89
4.2	Μενού επιλογών στο ArcMap (Αγγέλη Β. 2005).	90
4.3	Το interface του ArcCatalog (Αγγέλη Β. 2005).	91
5.1	Η περιοχή μελέτης όπως φαίνεται από δορυφόρο.	93
5.2	Σχηματισμός ερυθροπηλών στην οδό Μπότσαρη.	107
5.3	Σχηματισμός ερυθροπηλών στην οδό Καραϊσκάκη	107
5.4	Σχηματισμός ερυθροπηλών με σώματα ασβεστιτικού υλικού στην οδό Αλαμάνας	108
5.5	Σχηματισμός ερυθροπηλών στη Λ. Καραμανλή.	108
5.6	Σχηματισμός κροκαλοπαγούς στην Βούλα.	109
5.7	Σχηματισμός κροκαλοπαγούς σε πρανές της Λ. Βουλιαγμένης.	110
5.8	Εμφάνιση κροκαλοπαγούς σε θεμελίωση οικίας στη Βούλα.	110
5.9	Εμφάνιση κροκαλοπαγούς σε θεμελίωση οικίας στη Βούλα.	111
5.10	Εμφάνιση κροκαλοπαγούς και η υπερκείμενη ζώνη ρωγμάτωσης.	111
5.11	Τέμαχος κροκαλοπαγούς σε εκσκαφή πολυκατοικίας της οδού Σοφοκλέους.	112
5.12	Κυλινδρικό δοκίμιο κροκαλοπαγούς για μονοαξονική θλίψη.	114
5.13	Το δοκίμιο τοποθετημένο στην θλιπτική μηχανή πριν την δοκιμή.	114
5.14	Το ίδιο δοκίμιο μετά τη δοκιμή.	115
5.15	Μάργες εύθρυπτες και αποσαθρωμένες τεφρόλευκου χρώματος.	125
5.16	Μάργες εύθρυπτες και αποσαθρωμένες τεφρόλευκου χρώματος.	125
5.17	Μάργες καστανοκίτρινες, μέτρια αποσαθρωμένες.	126
5.18	Ορίζοντας μαργαϊκών ασβεστόλιθων εντός των μαργών.	126
5.19	Πρανές τεφρόλευκης παράκτιας μάργας	127



5.20	Ερυθροκίτρινη μάργα	127
5.21	Λεπτομέρεια ερυθροκίτρινου μαργαϊκού ασβεστόλιθου.	128
5.22	Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.	132
5.23	Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.	133
5.24	Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.	133
5.25	Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.	134
5.26	Τραβερίτης στην περιοχή της Βουλιαγμένης.	134
5.27	Τραβερίτης στο Καβούρι.	135
5.28	Τραβερίτης στο Καβούρι.	135
5.29	Τραβερίτης στην παραλία Καβουρίου.	136
5.30	Δοκίμιο τραβερίτη τοποθετημένο στην θλιπτική μηχανή.	138
5.31	Το ίδιο δοκίμιο μετά την μοναξονική θλίψη.	139
5.32	Τα διαμορφωμένα δισκία του τραβερίτη πριν και μετά την δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα (Brazilian).	140
5.33	Τα κυλινδρικά δοκίμια τραβερίτη για την δοκιμή σημειακής φόρτισης.	140
5.34	Μάρμαρο τεφρόλευκο στην περιοχή Πηγαδάκια της Βούλας.	144
5.35	Μάρμαρο ροδόλευκο στην περιοχή της Βούλας.	144
5.36	Μάρμαρο στη Βούλα.	145
5.37	Μάρμαρο και η υπερκείμενη ζώνη αποσάθρωσής του.	145
5.38	Λευκό μάρμαρο στα σύνορα Βάρης – Βουλιαγμένης.	146
5.39	Μάρμαρο σε πρανές βορειοανατολικά της Λεωφόρου Βουλιαγμένης.	146
5.40	Ροδόλευκο μάρμαρο στη Βουλιαγμένη.	147
5.41	Ροδόλευκο μάρμαρο στη Βουλιαγμένη.	147
5.42	Λεπτομέρεια λευκού μαρμάρου.	148
5.43	Μάρμαρο στη Βούλα.	148
5.44	Λεπτομέρεια μαρμάρου.	149
5.45	Λεπτομέρεια μαρμάρου.	149
5.46	Σχιστόλιθος.	154
5.47	Σχιστόλιθος.	154
5.48	Αποσαθρωμένη ζώνη σχιστολίθου.	155
5.49	Πρανές πλήρως κατακερματισμένου σχιστολίθου στην	155

	περιοχή Πηγαδάκια.	
5.50	Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος.	156
5.51	Δολομίτες Πιρναρής.	157
5.52	Δολομίτης Πιρναρής όπως εμφανίζεται σε εκσκαφή που πραγματοποιήθηκε για τις απαιτήσεις θεμελίωσης οικίας στην οδό Πριάμου.	158
5.53	Επιφάνεια ρήγματος εντός δολομίτη.	158
5.54	Κατακερματισμένος δολομίτης.	159
5.55	Τα δισκία δολομίτη για θραύση κατά γενέτειρα (Brazilian).	161
5.56	Οι δολομίτες μετά την θραύση Brazilian.	162
5.57	Κυλινδρικά δοκίμια δολομίτη για δοκιμή σημειακής φόρτισης (PLT).	162
5.58	Δολομίτης σε αξονική σημειακή φόρτιση κάθετα στις στρώσεις του.	163
5.59	Δολομίτης σε διαμετρική σημειακή φόρτιση παράλληλα στις στρώσεις του.	163
5.60	Οι δολομίτες μετά την σημειακή φόρτιση.	164
5.61	Κυλινδρικό δοκίμιο δολομίτη με προσαρμοσμένους τους μετρητές ελαστικής παραμόρφωσης.	164
5.62	Μετρητής κάθετης ελαστικής παραμόρφωσης.	165
5.63	Μετρητής οριζόντιας ελαστικής παραμόρφωσης.	165
5.64	Ο δολομίτης στην μηχανή μονοαξονικής θλίψης.	166
5.65	Τα υπολείμματα δολομίτη μετά τη θλίψη.	166
5.66	Κυλινδρικό δοκίμιο δολομίτη διαμορφωμένο για την εκτέλεση δοκιμών προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.	167
5.67	Δολομίτης πριν και μετά την εκτέλεση δοκιμής προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.	167
5.68	Σχιστόλιθος Βάρης στο Λυκόρεμα.	169
5.69	Σχιστόλιθος Βάρης.	169
5.70	Σχιστόλιθος Βάρης και η υπερκείμενη ζώνη αποσάθρωσής του.	170
5.71	Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.	170
5.72	Πλήρως αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.	171
5.73	Πλήρως αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.	171
5.74	Σχιστόλιθος Βάρης στην οδό Καρδίτσας στο Πανόραμα Βούλας.	172
5.75	Τα δοκίμια σχιστολίθου για την δοκιμή σημειακής φόρτισης (PLT).	173

5.76	Τα ίδια δοκίμια μετά την δοκιμή.	173
5.77	Δοκίμια σχιστολίθου Βάρης για δοκιμή θραύσης κατά γενέτειρα (Brazilian).	174
5.78	Σχιστόλιθος Βάρης πριν και μετά την θραύση.	174
5.79	Τα δοκίμια μετά την θραύση κατά γενέτειρα.	174

## ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
2.1	Κατάλογος σεισμών μεγέθους $M_s \geq 5,0$ της κλίμακας Richter που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή (ακτίνας 100km) του Δήμου Αθηναίων κατά την περίοδο 550 π.Χ.-1900μ.Χ.	31
2.2	Κατάλογος σεισμών μεγέθους $M_s \geq 5,0$ της κλίμακας Richter που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή (ακτίνας 100km) του Δήμου Αθηναίων κατά την περίοδο 1901 έως 31-05-04.	33
2.3	Κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με Ε.Α.Κ. 2000	37
3.1	Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης $I_s(50)$ σε MPa (Bieniawski, 1975).	62
5.1	Φυσικά – μηχανικά χαρακτηριστικά.	96
5.2	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τους κώνους κορημάτων.	98
5.3	Ομάδα CL	100
5.4	Ομάδα CH	101
5.5	Ομάδα SC	101
5.6	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για το κροκαλοπαγές.	116
5.7	Ομάδα CL	118
5.8	Ομάδα CH	118
5.9	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τα λατυποπαγή.	131
5.10	Μονοαξονική θλίψη.	137
5.11	Φόρτιση κατά γενέτειρα (Brazilian).	137
5.12	Σημειακή φόρτιση (PLT).	137
5.13	Διάτμηση	137
5.14	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον τραβερτίνη	141
5.15	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαρμάρου.	142

5.16	PLT σχιστολίθου σε ακανόνιστα δείγματα.	152
5.17	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον σχιστόλιθο.	153
5.18	Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά δολομίτη.	159
5.19	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον δολομίτη.	160
5.20	Αποτελέσματα σημειακής (PLT) και κατά γενέτειρα φόρτισης (Brazilian).	172
5.21	Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον σχιστόλιθο Βάρης.	177

## ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΣΧΗΜΑ	ΤΙΤΛΟΣ	ΣΕΛΙΔΑ
1.1	Γεωλογικός χάρτης της Εύβοιας, της Αττικής και των Β. Κυκλάδων (κατά Κατσικάτσο, 1977)	4
1.2	Η θέση της τεκτονικής ενότητας Τουρκοβουνίων στο γεωλογικό οικοδόμημα της Αττικής. (Από το Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος κλίμ. 1:50.000, φύλλο "Κηφισιά", Ι.Γ.Μ.Ε., με τροποποιήσεις).	10
1.3	Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Κορωπί – Πλάκα. Η γεωλογική χαρτογράφηση έγινε από τον γεωλόγο του ΙΓΜΕ Χ. Λατσούδα κατά τα έτη 1976, 1977, 1979, 1991 και 1992. Τους πετρογραφικούς προσδιορισμούς επιμελήθηκε η Ε. Παπαζέτη.	19
1.4	Ο ίδιος χάρτης του σχ. 1.3 εστιασμένος αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη). Η περιγραφή των απεικονιζόμενων σχηματισμών έχει προηγηθεί στο αναλυτικό κείμενο του παρόντος κεφαλαίου.	20
1.5	Ο γεωλογικός χάρτης Μεσογείων Αττικής. Η χαρτογράφηση έγινε από τον Ν. Κατσιαβριά και οι πετρογραφικοί προσδιορισμοί επιμελήθηκαν από την Ε. Παπαζέτη. Πρώτη έκδοση: Νοέμβριος 2007.	21
1.6	Ο ίδιος χάρτης του σχ. 1.5 εστιασμένος αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη).	22
1.7	Οι στρωματογραφικές στήλες του χάρτη του σχ. 1.5.	23
2.1	Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του χώρου του Αιγαίου και των γύρω περιοχών (Papazachos et al., 1986).	24
2.2	Χάρτης ισοβλαβών καμπυλών για το σεισμό της Αθήνας της 7 <sup>ης</sup> Σεπτεμβρίου του 1999.	30
2.3	Χωρική κατανομή επικέντρων σεισμών μεγέθους Ms>5 στην ευρύτερη περιοχή έρευνας από το 550 π.Χ. έως το 1900 μ.Χ.	32
2.4	Χωρική κατανομή επικέντρων σεισμών μεγέθους Ms>5 στην ευρύτερη περιοχή έρευνας από το 1901 έως το 2004.	35
2.5	Οι τρεις κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο Ελληνικός	36

	χώρος, σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση.	
3.1	Γραφικός προσδιορισμός διαφόρων μέτρων ελαστικότητας	44
3.2	Επικόλληση των μετρητών παραμορφώσεων.	44
3.3	Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης πετρώματος (Τσουτρέλης et al., 2000).	45
3.4	Επίδραση του καταναγκασμού των άκρων στις τάσεις και παραμορφώσεις του δοκιμίου (Σοφιανός & Νομικός, 2008).	47
3.5	Επίδραση της λυγηρότητας στις καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων (Brown & Gonano, 1975).	48
3.6	Σχήμα καμπάνας της καμπύλης τάσεων – παραμορφώσεων (Brady & Brown, 1993).	49
3.7	Καμπύλες τάσεις παραμόρφωσης τύπου I και II (Waversick & Fairhurst, 1970)	50
3.8	Μεταβολή της εφελκυστικής και της θλιπτικής τάσης κατά μήκος της διαμέτρου Y-Y' για φόρτιση υπό γωνία $2\theta=9.5\sigma$ (Fairhurst, 1964).	52
3.9	Πειραματική διάταξη δοκιμής αντιδιαμετρικής θλίψης.	54
3.10	Αποτελέσματα δοκιμών σημειακής φόρτισης για διάφορες De και γραφικός υπολογισμός του P50.	61
3.11	Διάγραμμα γραφικού υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F.	62
3.12	Αριστερά: Τύποι δοκιμής σημειακής φόρτισης: (a) Διαμετρική δοκιμή, (b) Αξονική δοκιμή, (c) Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο και (d) Δοκιμή σε ακανόνιστο δοκίμιο. Δεξιά: Τυπικές μορφές αστοχίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή σημειακής φορτίσεως: (a) Αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (b) Αποδεκτή αξονική δοκιμή, (c) Αποδεκτή δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο, (d) Μη αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (e) Μη αποδεκτή αξονική δοκιμή (Σοφιανός - Νομικός, 2008).	64
3.13	Φορητή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής απευθείας διάτμησης (Field Shear Box, μοντέλο WF 40900).	66
3.14	Εγκιβωτισμός του δοκιμίου με κατάλληλο υλικό σύνδεσης.	69

3.15	Διαγράμματα διατμητικής τάσης – διατμητικής μετατόπισης που προκύπτουν από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης.	71
3.16	Διάγραμμα μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης στο επίπεδο διάτμησης.	71
3.17	Καμπύλες στερεοποίησης.	77
5.1	Ο Τεχνικογεωλογικός Χάρτης της περιοχής έρευνας.	95
5.2	Διάγραμμα πλαστικότητας κατά CASA-GRANDE για τους ερυθρούς πηλούς.	100
5.3.α	Αριθμός κρούσεων προς αριθμό δειγμάτων.	102
5.3.β	Συσχέτιση ορίου υδαρότητας με αριθμό δειγμάτων.	102
5.3.γ	Συσχέτιση δείκτη πλαστικότητας με αριθμό δειγμάτων.	103
5.3.δ	Συσχέτιση υγρασίας με αριθμό δειγμάτων.	103
5.3.ε	Συσχέτιση αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με αριθμό δειγμάτων.	104
5.3.στ	Συσχέτιση λόγου κενών με αριθμό δειγμάτων.	104
5.4	Συσχέτιση των αριθμών κρούσεων NSPT και της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για τους ερυθρούς πηλούς.	105
5.5	Συσχέτιση του δείκτη συμπιεστότητας $C_c$ και του λόγου κενών $e$ για τους ερυθρούς πηλό.	106
5.6	Διάγραμμα πλαστικότητας κατά Casagrande.	119
5.7.α	Όριο υδαρότητας προς αριθμό δειγμάτων.	121
5.7.β	Δείκτης πλαστικότητας προς αριθμό δειγμάτων.	122
5.7.γ	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη προς αριθμό δειγμάτων.	122
5.7.δ	Υγρασία προς αριθμό δειγμάτων.	123
5.7.ε	Λόγος κενών προς αριθμό δειγμάτων.	123
5.8	Λόγος κενών προς δείκτη συμπιεστότητας.	124
5.9	Συσχέτιση υγρασίας με δείκτη συμπιεστότητας.	124



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τις γεωτεχνικές συνθήκες των εδαφικών σχηματισμών στην περιοχή του Δήμου Βούλας – Βάρης – Βουλιαγμένης. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στο Λεκανοπέδιο Αττικής, στη σεισμικότητα που επηρεάζει την Αττική, στις πρότυπες πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη μέτρηση των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών, στη διάκριση των γεωτεχνικών ενότητων και τέλος στα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε η έρευνα όπως αυτά αποτυπώνονται στον επισυναπτόμενο τεχνικογεωλογικό χάρτη. Οι τεχνικογεωλογικές ενότητες είναι:

1<sup>η</sup> Κώνοι Κορημάτων

2<sup>η</sup> Ερυθροί Πηλοί – Κροκαλοπαγή

3<sup>η</sup> Μάργες – Λατυποπαγή

4<sup>η</sup> Τραβερτινοειδείς Ασβεστόλιθοι

5<sup>η</sup> Μάρμαρα

6<sup>η</sup> Σχιστόλιθος

7<sup>η</sup> Δολομίτες Πιρναρής

8<sup>η</sup> Σχιστόλιθος Βάρης

Αναλυτικότερα για την περιοχή μελέτης (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη) πραγματοποιήθηκαν τα εξής:

- Χαρτογράφηση και σύντομη ανάλυση των γεωλογικών σχηματισμών καθώς και σύνδεση αυτών με την σεισμικότητα της ευρύτερης περιοχής.
- Συναρμογή και αξιολόγηση όλων των υπάρχοντων γεωτεχνικών πληροφοριών της περιοχής από υπάρχουσες γεωτρήσεις.
- Εργαστηριακές δοκιμές για την εξαγωγή συμπερασμάτων ως προς τα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά των προς παρατήρηση σχηματισμών.
- Διαχωρισμός των γεωλογικών σχηματισμών σε γεωτεχνικές ενότητες βάσει τεχνικογεωλογικών κριτηρίων.

- Σύνταξη σε κλίμακα 1:10.000 τεχνικογεωλογικού χάρτη όπου παρουσιάζονται οι γεωτεχνικές ενότητες.
- Προτάσεις και συμπεράσματα για μια πρώτη αναγνωριστική μελέτη των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών σε οποιοδήποτε τεχνικό έργο και της σεισμικής επικινδυνότητας.

# ABSTRACT

This thesis examines the geotechnical conditions of soil formations in the municipality of Voula - Vari - Vouliagmeni. More specifically refer to the geological conditions at the Attica Basin, the seismic activity affecting the mainland, in the standard experimental procedures followed for measuring the physicommechanical characteristics of the formations, the division of geotechnical units and finally the conclusions reached by the survey as are reflected in the attached geotechnical map. The engineering geology sections are:

1st Scree cones

2nd Red Clay - Conglomerates

3rd Marls - Breccia

4th Travertine Limestone

5th Marble

6th Slate

7th Dolomites Pirnaris

8th Slate of Vari

For more details on the study area (Voula - Vari - Vouliagmeni) were as follows:

- Mapping and brief analysis of the geological formations and connect them with the seismicity of the area.
- Assembly and evaluation of all existing geotechnical information of the area from existing wells.
- Laboratory tests to draw conclusions as to the physical and mechanical characteristics of the observed clusters.
- Separation of geological formations in geotechnical units based geotechnical criteria.
- Writing a scale 1:10.000 geotechnical map showing the geotechnical units.
- Recommendations and conclusions for a first exploratory study of the geotechnical characteristics of any technical project and seismic hazard.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική εργασία αυτή έχει σαν αντικείμενο μελέτης την διερεύνηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών και της γεωμηχανικής συμπεριφοράς των σχηματισμών των περιοχών Βούλας – Βουλιαγμένης και μέρος των Βάρης – Βάρκιζας.

Ο ενοποιημένος πλέον δήμος Βούλας – Βουλιαγμένης – Βάρης μετρά πληθυσμό κοντά στις 43000 σύμφωνα με την καταμέτρηση του 2001. Ανάλογη με την αύξηση του πληθυσμού, τα τελευταία χρόνια, υπήρξε και η ανοικοδόμηση της περιοχής. Ο σχεδιασμός βασίστηκε κατά κύριο λόγο, αν όχι αποκλειστικά, σε οικονομικά και κοινωνικά κριτήρια, χωρίς να λαμβάνονται σχεδόν καθόλου υπ' όψη το γεωλογικό υπόβαθρο και το γεωδυναμικό καθεστώς της περιοχής. Χαρακτηριστικό αυτού είναι η έλλειψη ικανοποιητικού αριθμού γεωτεχνικών μελετών ( γεωτρήσεις κλπ.) για την περιοχή, στις αρμόδιες υπηρεσίες.

Με την αύξηση της ανοικοδόμησης της περιοχής και τις ιδιαίτερες απαιτήσεις σε γεωδυναμικές πληροφορίες που αυτή επέβαλλε, δημιουργήθηκε η ανάγκη για την καταγραφή των γεωτεχνικών και γεωμηχανικών ιδιοτήτων του γεωλογικού υποβάθρου και η ερμηνεία αυτών για κατασκευαστικούς σκοπούς.

Οι ιδιαιτερότητες των σχηματισμών που απαντώνται στην περιοχή, τα προβλήματα που συνεπάγονται στον σχεδιασμό, την μελέτη και την ανάπτυξη μιας κατασκευής καθώς και η έλλειψη μιας ολοκληρωμένης και εμπειριστατωμένης τεχνικογεωλογικής χαρτογράφησης της περιοχής οδήγησαν στην ανάγκη για την δημιουργία της παρούσας διπλωματικής εργασίας με απώτερο σκοπό να αποτελέσει την βάση στην οποία θα στηριχθούν μελλοντικές μελέτες – εργασίες για την πληρέστερη, επιστημονικότερη και εκτενέστερη καταγραφή των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών της γεωλογίας της περιοχής. Ταυτόχρονα ευελπιστούμε στην δημιουργία ενός «οδηγού» για την καλύτερη πολεοδομική εξάπλωση της περιοχής.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΓΕΝΙΚΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΑΤΤΙΚΗΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### **Γενική γεωλογική εικόνα του λεκανοπεδίου Αθηνών**

Το λεκανοπέδιο Αττικής βρίσκεται στο κέντρο του νομού Αττικής και καλύπτεται ως επί το πλείστον από την πόλη της Αθήνας και τους γειτονικούς δήμους. Έχει διεύθυνση άξονα ΒΑ – ΝΔ και η κορυφή του βρίσκεται στον αυχένα μεταξύ Πάρνηθας και Πεντέλης. Έχει μήκος περίπου 22 χιλιόμετρα και πλάτος περίπου 11 χιλιόμετρα.

Το δυτικό και μεγαλύτερο τμήμα του λεκανοπεδίου Αθηνών διαρρέεται από τον Κηφισό ποταμό που πηγάζει από την Πεντέλη, περιοχή απ' όπου γινόταν η υδροδότηση της παλιάς πόλης των Αθηνών. Το τμήμα αυτό ήταν εύφορο και καλλιεργήσιμο. Αντίθετα το ανατολικό τμήμα, άγονο και πετρώδες, διαρρέεται από τον Ιλισό ποταμό, οι πηγές του οποίου βρίσκονται στον Υμηττό, που είχε όμως λίγο νερό και ήταν ακατάλληλος για ύδρευση.

Η ανάγλυφη μορφή του λεκανοπεδίου μεταβάλλεται από ορεινή σε λοφώδη, πεδινή και παράλια. Υδρογραφικά η Αττική διατρέχεται από ορισμένες γραμμές διάβρωσης, όπως εκείνη του Κηφισού πρωτίστως, του Ιλισού, του Ηριδανού και της Πικροδάφνης δευτερευόντως. Σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτού του δικτύου έχει επιχωθεί πια στα πλαίσια της οικιστικής ανάπτυξης.

Ο πρώτος ο οποίος μελέτησε συστηματικά την γεωλογία της Αττικής ήταν ο Lepsius (1893) που συνέταξε και τον πρώτο γεωλογικό χάρτη της περιοχής, κλίμακας 1: 25000. Από τότε πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν με την Αττική, όπως οι Kober (1929), Sindowski, Niedermeyer (1973), Freyberg (1951), Petraschek (1956), Μαρίνος (1956), Τρικαλινός, Χαραλαμπάκης (1951), Παρασκευόπουλος (1957,1963), Μαριολάκος (1971,1972), Λέκκας (1992), Κατσιακάτσος (1991) κ.ά. Όλοι αυτοί οι ερευνητές διατύπωσαν πολλές απόψεις σχετικά με την στρωματογραφική και τεκτονική διάταξη των γεωλογικών σχηματισμών της Αττικής (Γεωργαλάς Λ. ,1997).

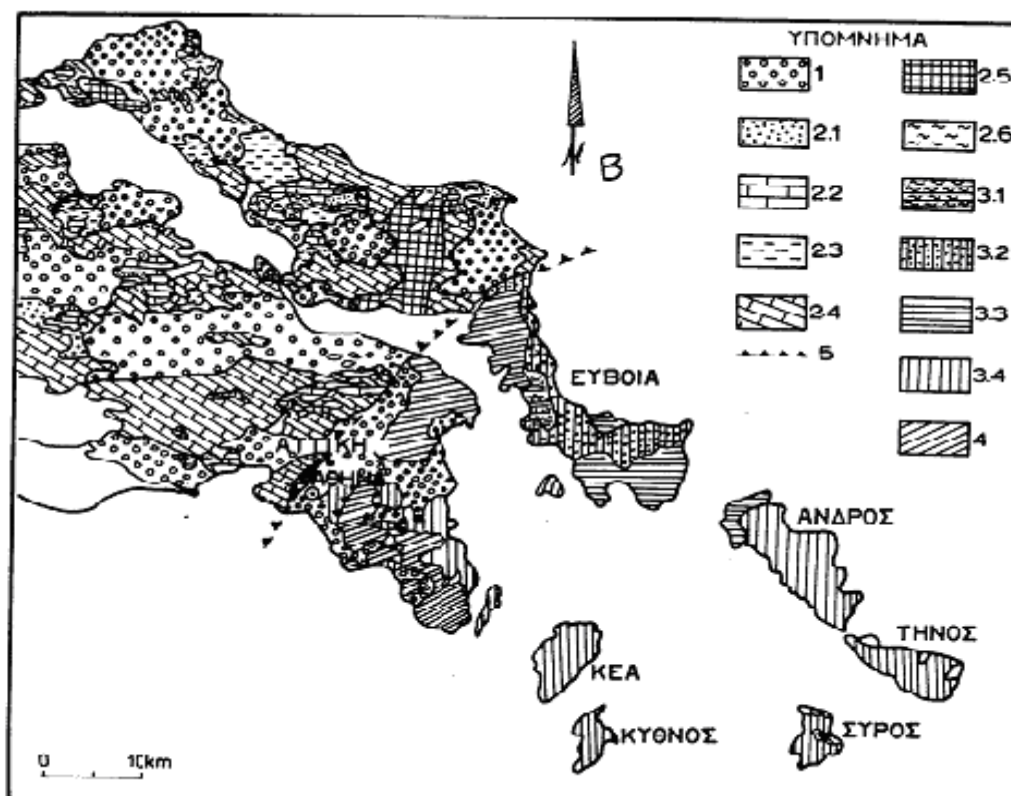
Όπως έχουν υποστηρίξει κατά καιρούς οι Aubuin, Brunn, Dercourt, Mercier κ.ά. η περιοχή ανήκει στην κρυσταλλοσχιστώδη αττικοκυκλαδική μάζα, που αποτελεί μέρος της Πελαγονικής Ζώνης. Στο μοντέλο του Aubuin, οι Γεωτεκτονικές Ζώνες αντιστοιχούσαν σε παλαιές υποθαλάσσιες τάφρους ή υβώματα που είχαν την μορφή γεωσυγκλίνων και γεωαντικλίνων παραλλήλως διατεταγμένων, από τα οποία, κατά το Παλαιογενές, σχηματίστηκαν με πτυχώσεις όλες οι οροσειρές της Ελλάδας (Πανεπιστήμιο Καλιφόρνια, 1985). Σχεδόν ολόκληρη η γεωλογική χαρτογράφηση της Ελλάδας, σε κλίμακα 1:50.000, που πραγματοποιήθηκε από το ΙΓΜΕ κατά το δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα, βασίστηκε ουσιαστικά στο μοντέλο του Aubuin. Το μοντέλο αυτό, όπως μεταφέρθηκε στους γεωλογικούς χάρτες του ΙΓΜΕ, εξακολουθεί και σήμερα να διδάσκεται σε όλα τα Πανεπιστήμια και να αποτελεί το βασικό εργαλείο αναφοράς για την γεωλογία της Ελλάδας (Σαμπατακάκης, 1991).

Οι Τάταρης (1965), Καλλέργης (1969), Κούνης (1970) διακρίνουν μέσα στον χώρο ανάπτυξης της ζώνης ανατολικής Ελλάδας μια υποζώνη, την υποζώνη Αττικής – Νοτίου Αιγαίου Πελάγους, όπου εντάσσεται η περιοχή.

Ο Παπανικολάου (1986), εντάσσει την περιοχή στην ενότητα της « Αττικής » που είναι σχετικά αυτόχθονη και πάνω της βρίσκονται επωθημένες οι τεκτονικές ενότητες της ανατολικής Ελλάδας, του Λαυρίου και του Αλμυροποτάμου.

Ο Μουντράκης (1985) στο γεωτεκτονικό σχήμα των ελληνίδων ζωνών που δίνει, εντάσσει το λεκανοπέδιο και το βόρειο τμήμα της Αττικής στην υποπελαγονική ζώνη ενώ το υπόλοιπο της περιοχής εντάσσεται στην αττικοκυκλαδική.

Ο Κατσιακάτσος (1986) εντάσσει την περιοχή στην ενότητα Αλμυροποτάμου – Αττικής (σχ. 1.1). Αυτή η ενότητα, σύμφωνα με τις τελευταίες απόψεις, ανήκει στη ζώνη Γαβρόβου – Τριπόλεως, η οποία εμφανίζεται στον χώρο των εξωτερικών ελληνίδων ζωνών με την μορφή τεκτονικών παραθύρων, όπως αυτά του Ολύμπου – Όσας, Κρανιάς – Ελασσόνας, Αλμυροποτάμου – Αττικής, Κερκετέα – Φούρνων. Η τελευταία άποψη – ανάλογη με αυτή του Kober (1929) – είναι η επικρατούσα τα τελευταία χρόνια.



Σχήμα 1.1 Γεωλογικός χάρτης της Εύβοιας, της Αττικής και των Β. Κυκλάδων (κατά Κατσικάσο, 1977)

### Υπόμνημα:

1. Νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί
2. Σχηματισμοί της Πελαγονικής Ζώνης (2.1 φλύσχης, 2.2 ασβεστόλιθοι του Αν. Κρητιδικού, 2.3 σχηματισμοί Ηωελληνικού καλύμματος, 2.4 ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Μέσου - Αν. Τριαδικού έως και Αν. Ιουρασικού, 2.5 σχηματισμοί του Νεοπαλαιοζωικού - Μ. Τριαδικού, 2.6 κρυσταλλικό υπόβαθρο)
3. Νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα (3.1 σχιστόλιθοι Τσακαίων, 3.2 μάρμαρα - σιπολίνας Στύρων, 3.3 σχηματισμοί Όχης, 3.4 ενοποιημένοι σχηματισμοί του νεοελληνικού τεκτονικού καλύμματος)
4. Αυτόχθονη ενότητα Αλμυροποτάμου - Αττικής
5. Γραμμή επώθησης

## 1.1 ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Σύμφωνα με τους Κατσιακάτσο κ.ά. (1976, 1986) το σύστημα των πετρωμάτων των μη μεταμορφωμένων σχηματισμών της Πάρνηθας – Αιγάλεω, που αποτελούν μέρος της πελαγονικής ζώνης, έχει επωθηθεί πάνω στις τεκτονικές ενότητες της Αττικής (αυτόχθονη σειρά που μέρος της αποτελούν η Πεντέλη, ο Υμηττός και το νεοελληνικό τεκτονικό κάλυμμα). Η περιοχή Αττικής αποτελείται από τις εξής ενότητες (όπως φαίνεται και στον χάρτη πιο πάνω):

### **ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΥΤΟΧΘΟΝΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΥ - ΑΤΤΙΚΗΣ**

Πρόκειται για τη μεγάλη Ενότητα σχηματισμών, που εμφανίζεται στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών με μορφή τεκτονικών παραθύρων, η οποία ανήκει στην τεράστια πλατφόρμα της γεωτεκτονικής ζώνης Γαβρόβου - Τρίπολης.

Αποτελείται από μια σειρά μεσοζωικών μέχρι και μεσοηωκαινικών μαρμάρων, μεγάλου πάχους, που συνοδεύεται από σχηματισμούς μεταφλύσχη και στους μεταμορφωμένους κατω-μεσοτριάδικούς και πιθανώς στους νεοπαλαιοζωϊκούς σχηματισμούς, που αποτελούν το υπόβαθρό της. Σχηματισμοί της Ενότητας αυτής απαντώνται τόσο στη Νότια Εύβοια (Σειρά Αλμυροποτάμου), όσο και στην Αττική (Σειρά Αττικής). Στο φύλλο "Κηφισιά", διακρίθηκαν, από πάνω προς τα κάτω:

- Σχηματισμοί Μεταφλύσχη με ενστρώσεις μαρμάρων.
- Μάρμαρα ΒΑ/κής Αττικής που φιλοξενούν κοιτάσματα σιδηρομεταλ-λεύματος.
- Σχιστολιθικοί σχηματισμοί ΒΑ/κής Αττικής με ενστρώσεις μαρμάρων και σερπενπνιτών.
- Μάρμαρα Πεντέλης.



## **ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΝΕΟΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΤΕΚΤΟΝΙΚΟΥ ΚΑΛΥΜΜΑΤΟΣ**

Σχηματισμοί της Ενότητας αυτής απαντώνται στις περιοχές Βαρνάβα - Λίμνης Μαραθώνα - Αγίου Στεφάνου και Υμηττού, σε μικρές, γενικά, εμφανίσεις, επειδή ο κύριος όγκος αυτών καλύπτεται από μεταλλικές αποθέσεις. Είναι επωθημένοι πάνω στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της αυτόχθονης ενότητας Αλμυροποτάμου - Αττικής και αποτελούν τμήμα του μεγάλου Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της Νότιας Εύβοιας, και σημαντικό τμήμα της Νότιας Αττικής,

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής έχουν ως εξής:

-Σχηματισμοί Βαρνάβα - Λίμνης Μαραθώνα - Αγίου Στεφάνου – Υμηττού: αποτελούν την προς τα νότια συνέχεια των εμφανιζόμενων στο φύλλο Ερέτρια σχηματισμών του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος. Γενικά, από περιοχή σε περιοχή εμφανίζουν ορισμένες λιθο-οψικές διαφορές:

Περιοχή Βαρνάβα: κυρίως γλαυκοφανιτικοί, μοσχοβιτικοί, χλωριτικοί και ασβεστιτικοί σχιστόλιθοι, με πολλές ενστρώσεις λεπτοστρωματώδων μαρμάρων και σιπολινομαρμάρων, από τις οποίες οι μεγαλύτερες έχουν διαχωριστεί. Κατά θέσεις, απαντώνται, επίσης, μικρά σώματα σερπεντινιτών. Ορατό πάχος 250μ. περίπου.

Περιοχή Λίμνης Μαραθώνα: απαντώνται οι σχηματισμοί της παλαιότερα διακριθείσης «Ενότητας Κοτρών» (G. KATSIKATSOS, 1977), οι οποίοι, γενικά, αποτελούν την προς την περιοχή αυτήν προέκταση των σχηματισμών του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος της περιοχής Βαρνάβα.

Συνίστανται από εναλλασσόμενους γλαυκοφανιτικούς, μοσχοβιτικούς, ασβεστιτικούς, επιδοτικούς και χλωριτικούς σχιστολίθους, με ενστρώσεις και φακούς μαρμάρων, ποικίλου χρώματος, λεπτο - έως και παχυστρωματώδων, με διαστρώσεις και κονδύλους πυριτολίθων, που μεταπίπτουν πολλές φορές σε σιπολινομάρμαρα. Απαντώνται, επίσης, κατά θέσεις, εν μέρει σχιστοποιημένα βασικά ηφαιστειακά καθώς και μικρά σώματα σερπεντινιτών. Ορατό πάχος 350μ. περίπου.

Περιοχή Αγίου Στεφάνου: απαντάται μικρή εμφάνιση κρυσταλλικών ασβεστολίθων που καταλαμβάνουν το λόφο που βρίσκεται στη ΝΑ/κή παρυφή του Αγίου Στεφάνου. Είναι σκουρότεφροι, μεσοστρωματώδεις, και βρίσκονται επωθημένοι πάνω στους

σηματισμούς της Αυτόχθονης Ενότητας Αλμυροποτάμου - Αττικής, με μικρά σώματα σερπεντινιτών στο επίπεδο της επώθησής τους. Ορατό πάχος 80μ. περίπου.

Περιοχή Υμηττού: Στη βόρεια απόληξη του Υμηττού (περιοχή Σταυρού) καθώς και σε ολόκληρη τη δυτική παρυφή του βουνού αυτού εμφανίζονται σχηματισμοί του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος. Πρόκειται για τα «Στρώματα Καρά» και τους «Ασβεστολίθους Αλεποβουνίου», της «Κατώτερης Ασβεστολιθικής Βαθμίδας» του R. LEPSIUS. Ως σύνολο, οι σχηματισμοί αυτοί είναι επωθημένοι πάνω στους μεταμορφωμένους σχηματισμούς της Αυτόχθονης Ενότητας Αλμυροποτάμου - Αττικής, ενώ πάνω σ' αυτούς είναι επωθημένοι οι Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι και οι υπερκείμενοι σ' αυτούς σχηματισμοί της πόλης των Αθηνών.

Το Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα στην περιοχή του Υμηττού (Σταυρού) αποτελείται κυρίως από μοσχοβιτικούς και ασβεστιτικούς σχιστολίθους, φυλλίτες, χαλαζίτες και βασικά μεταφαιστειακά πετρώματα, με μικρού πάχους ενστρώσεις κρυσταλλικών ασβεστολίθων, κατά κανόνα αγγεριτωμένων καθώς και με παρεμβολές σερπεντινιτών, μικρών, συνήθως, διαστάσεων.

Οι σχηματισμοί του Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος της περιοχής Υμηττού, εκτός από την εμφάνισή τους στη δυτική παρυφή του Υμηττού, προεκτείνονται και προς τα Ν.ΝΑ/κ.ά, κάτω από τους μεταλλικούς σχηματισμούς της περιοχής, και επανεμφανίζονται, σε μεγάλη έκταση, στη Νότια Αττική, όπου αυτοί αναφέρονται από τους Γ. MAPINO & W, E. PETRASCHECK (1956) ως «Επωθημένο Φυλλιτικό Κάλυμμα». Ορατό πάχος 250μ. περίπου.

## **ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ**

Οι αλπικοί σχηματισμοί της Πελαγονικής ζώνης στην περιοχή του φύλλου "Κηφισιά" είναι εξ ολοκλήρου αμεταμόρφωτοι και συνιστούν δύο Τεκτονικές Ενότητες: την Τεκτονική Ενότητα Σφενδάλης και την Τεκτονική Ενότητα Μαυρηνόρας - Κατσιμιδίου.

Η Τεκτονική Ενότητα Σφενδάλης είναι επιπευμένη πάνω στην Ενότητα Μαυρηνόρας - Κατσιμιδίου και αποτελείται από: α) Φλύσχη, ηλικίας Ανώτερου Μαιστρίχτιου - Παλαιόκαινου και ορατό πάχος 80m περίπου, β) Ανωκρητιδικούς επικλυσιογενείς ασβεστόλιθους που στην περιοχή Σφενδάλης διακρίνονται σε δύο τμήματα: ένα Ανώτερο και ένα Κατώτερο, συνολικού πάχους της τάξης των 450μ. περίπου. Στη βάση των ανωκρητιδικών επικλυσιογενών ασβεστολίθων απαντούν Λατεριτικά κοιτάσματα σιδηρονικελιούχου μεταλλεύματος, γ) Ασβεστόλιθοι Σφενδάλης που αποτελούν το δάπεδο των σιδηρονικελιούχων κοιτασμάτων της περιοχής Αυλώνα. Είναι ανοικτότεφροι, μεσοστρωματώδεις, καλά στρωμένοι, με μέτρια καρστικοποίηση και πάχος 100μ. περίπου, δ) Δολομίτες οι οποίοι υπόκεινται, με συμφωνία, των Ασβεστολίθων Σφενδάλης, με ορατό πάχος 80μ. περίπου.

Η Τεκτονική Ενότητα Μαυρηνόρας - Κατσιμιδίου καταλαμβάνει μεγάλη έκταση και μαζί με το νεοπαλαιοζωϊκό της υπόβαθρο είναι επωθημένη πάνω στην Ενότητα Αφιδνών - Τουρκοβουνίων (βλ παρακάτω). Αποτελείται από: α) Φλύσχη ηλικίας Ανώτερου Μαιστρίχτιου - Παλαιοκαίνου που απαντάται με μικρό πάχος και σε μικρές εμφανίσεις β) Ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους με κυμαινόμενο πάχος, γ) από Ασβεστόλιθους Μαυρηνόρας - Μπελετσίου, ηλικίας Μέσου Τριαδικού - κατ. Ιουρασικού, με πάχος περίπου 400μ, δ) Σειρά εναλλασσόμενων αργιλοψαμμιτικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων - Ανώτερο τμήμα - (C-P-T) με ενστρώσεις ασβεστολίθων και Κατώτερο τμήμα που αποτελείται από εναλλασσόμενους αργιλικούς, σερικιτικούς χλωριτικούς και αρκοζικούς σχιστολίθους. Ορατό πάχος 250μ. περίπου.

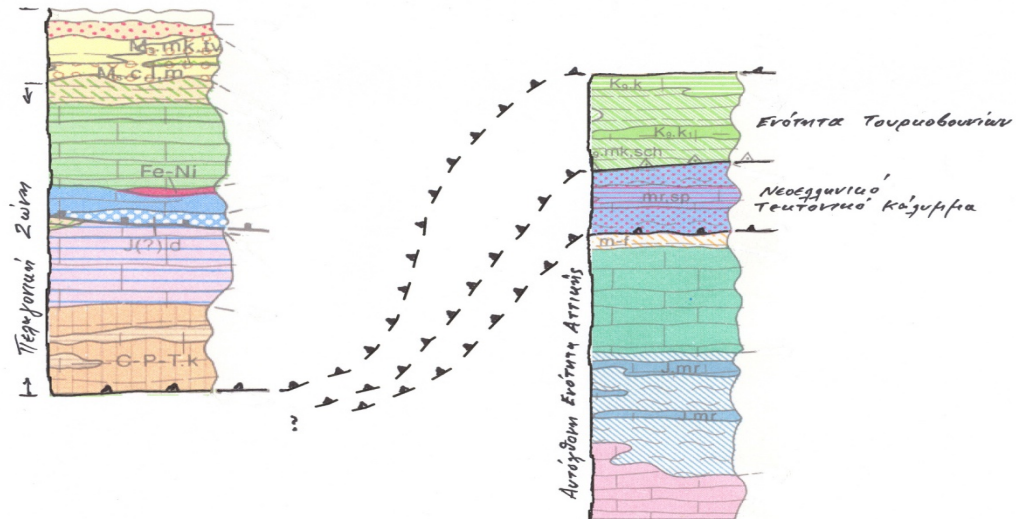
## **ΑΛΠΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕΤΑΞΥ ΑΥΤΟΧΘΟΝΗΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ ΑΛΜΥΡΟΠΟΤΑΜΟΥ ΑΤΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΕΛΑΓΟΝΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ**

Στη μεταξύ της Αυτόχθονης Ενότητας Αλμυροποτάμου - Αττικής και της Πελαγονικής ζώνης περιοχή απαντάται ένα σύνολο σχηματισμών που ανήκουν στις Εξωτερικές ζώνες και διακρίνονται σε δύο μεγάλα σύνολα: την Ενότητα Αφιδνών - Τουρκοβουνίων και την Ενότητα Νεοελληνικού Τεκτονικού Καλύμματος (βλ. Σχήμα 1.2). Οι σχηματισμοί της πρώτης Ενότητας είναι αμεταμόρφωτοι και, κατά πάσα πιθανότητα, αποτελούν μέλη της Βοιωτικής ζώνης, ενώ οι σχηματισμοί της δεύτερης είναι μεταμορφωμένοι.

Οι Σχηματισμοί της Ενότητας Αφιδνών - Τουρκοβουνίων, απαντώνται στις περιοχές Αφιδνών (Κιούρκων) και Τουρκοβουνίων (Αθηνών), οι οποίοι μεταξύ τους παρουσιάζουν ορισμένες λιθο-οψικές διαφορές στις περιοχές αυτές.

Περιοχή Αφιδνών: στην περιοχή αυτή απαντάται ένα σύνολο μη μεταμορφωμένων σχηματισμών, οι οποίοι, παλαιότερα, είχαν περιληφθεί από τον Κ. ΚΤΕΝΑ (1930) στην ονομασθείσα από αυτόν «Ζώνη Βερόρι-Σπάτι». Αργότερα, η «Ζώνη» αυτή διακρίθηκε σε δύο Ενότητες σχηματισμών: Την «Ενότητα Κοκκινόβραχου» (υπερκείμενη) και την «Ενότητα Κοτρώνι» (υποκείμενη), οι οποίες βρίσκονται σε τεκτονική μεταξύ τους επαφή και οι δύο, ως σύνολο, βρίσκονται επωθημένες πάνω στους σχηματισμούς του Μεταμορφωμένου Συστήματος της ΒΑ/κής Αττικής (G. KATSIKATSOS, 1977).

Οι σχηματισμοί της «Ενότητας Κοκκινόβραχου» ανήκουν στην υπό εξέταση Ενότητα Αφιδνών - Τουρκοβουνίων (KATSIKATSOS, 1977), ενώ οι σχηματισμοί της «Ενότητας Κοτρώνι» στο Νεοελληνικό Τεκτονικό Κάλυμμα (βλ. παρακάτω). Σχηματισμοί της «Ενότητας Κοκκινόβραχου» απαντώνται κυρίως στην ανατολικά των Αφιδνών περιοχή καθώς και στην περιοχή Κοκκινόβραχου - Βερόρι. Είναι εξ ολοκλήρου μη μεταμορφωμένοι, και, στο σύνολό τους, αποτελούν μια σειρά φλυσχοειδών σχηματισμών από εναλλασσόμενα στρώματα σερικιτικών ψαμμιτών, αργιλικών σχιστόλιθων και ψηφιδοπαγών, με ενστρώσεις ψαμμούχων ή κρυσταλλικών ή και μικριτικών ασβεστόλιθων, ποικίλου πάχους, ανωκρητιδικής - παλαιοκαινικής ηλικίας. Τοπικά απαντώνται, επίσης, μάζες διαβασών, μικρών, συνήθως, διαστάσεων.



Σχήμα 1.2. Η θέση της τεκτονικής ενότητας Τουρκοβουνίων στο γεωλογικό οικοδόμημα της Αττικής. (Από το Γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος κλίμ. 1:50.000, φύλλο "Κηφισιά", Ι.Γ.Μ.Ε., με τροποποιήσεις).

## 1.2 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Παρά τις διάφορες απόψεις που έχουν κατά καιρούς διατυπωθεί, η στρωματογραφική διάρθρωση του Lepsius (1893) (βλ. και σχ. 1.7) διατηρείται σχεδόν αμετάβλητη μέχρι σήμερα και έχει ως εξής (από τους νεότερους προς τους παλαιότερους σχηματισμούς):

### I ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ

#### II ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

α) ανώτερο τριτογενές

β) κατώτερο τριτογενές

#### III ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

α) ανώτερος ασβεστόλιθος

β) αθηναϊκός σχιστόλιθος

#### IV ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ – ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ

α) κατώτερος ασβεστόλιθος

β) στρώματα καρρά

#### V ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

α) ανώτερο μάρμαρο

β) σχιστόλιθος Καισαριανής

γ) κατώτερο μάρμαρο

δ) δολομίτης πιρναρής

ε) σχιστόλιθος Βάρης

### **Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση λεκανοπεδίου**

Γεωτεκτονικά το λεκανοπέδιο χωρίζεται σε δύο ζώνες: το **βορειοανατολικό και νοτιοανατολικό τμήμα** που αποτελείται από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού και παρατηρούνται μεταμορφωμένα πετρώματα και το **βορειοδυτικό τμήμα** που αποτελείται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από ιζηματογενείς μη μεταμορφωμένους σχηματισμούς. Η περιοχή που εξετάζεται στην παρούσα εργασία (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη) ανήκει στο πρώτο τμήμα.

Σε γενικές γραμμές, στην περιοχή που εξετάζουμε (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη), ισχύει η διάρθρωση του Lepsius όπως έχει δοθεί παραπάνω.

Αναλυτικότερα:

#### **I ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ:**

α) Ολόκαινο: Οι ολοκαινικοί σχηματισμοί αποτελούνται από ερυθρές αργίλους, κροκάλες και άμμο. Το πάχος τους στο πεδινό τμήμα το εφαπτόμενο των παρυφών του Υμηττού φθάνει τα λίγα μέτρα.

β) Πλειστόκαινο: Αποτελείται από λατυποκροκαλοπαγή, λατυποπαγή και ερυθρές αργίλους. Από τους Μαριολάκο – Λέκκα (1974) διακρίνεται, στην ευρύτερη περιοχή του Κορωπίου σε δύο ορίζοντες:

1) Κατώτερος ορίζοντας: Επικάθεται σε ασυμφωνία στο υπόβαθρό του, το οποίο σε ορισμένα σημεία είναι το μεταμορφωμένο σύστημα και σε άλλα το νεογενές. Το λατυποκροκαλοπαγές του ορίζοντα αυτού είναι πολύ συνεκτικό, αποτελείται δε από μεγάλες λατύπες και κροκάλες του κατώτερου μαρμάρου και του δολομίτη. Ο βαθμός αποστρογγύλωσης και το μέγεθός τους, που ποικίλει, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι πρόκειται για αποθέσεις χειμάρρων. Το πάχος τους κυμαίνεται από 10 – 15 μέτρα, σε ορισμένες θέσεις όμως ξεπερνά τα 25 μέτρα.

2) Ανώτερος ορίζοντας: Αποτελείται από ερυθρές αργίλους και λατύπες μικρότερου μεγέθους, που προέρχονται από τα μεταμορφωμένα πετρώματα. Πρόκειται για αποθέσεις μικρότερου βαθμού συνεκτικότητας σε σχέση με αυτές του κατώτερου ορίζοντα.

## II ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ

Το τριτογενές αντιπροσωπεύεται μόνο από νεογενείς αποθέσεις και διακρίνεται σε:

α) Θαλάσσιους και παράκτιους σχηματισμούς του ανώτερου πλειόκαινου, αποτελούμενους από ψαμμούχες μάργες, ψαμμίτες, κροκαλολατυποπαγή και κλαστικούς τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους με ορατό πάχος περί τα 20 μέτρα.

β) Λιμναίους σχηματισμούς του κατώτερου πλειόκαινου – ανώτερου μειόκαινου, αποτελούμενους από ψαμμίτες, μάργες, πηλούς και κροκαλοπαγή. Ενδιάμεσα παρουσιάζονται παρεμβολές από κοκκινοχώματα και τραβερτινοειδείς ασβεστολίθους. Στους σχηματισμούς αυτούς ανήκουν και οι γνωστές αποθέσεις του Πικερμίου και της Ραφήνας. Το πάχος τους είναι σημαντικό και πρέπει να φτάνει τα 150 μέτρα.

## III ΕΠΩΘΗΜΕΝΟ ΚΑΛΥΜΜΑ

Βρίσκεται επάνω στο αυτόχθον σύστημα και περιλαμβάνει σύμφωνα με τον LEPSIUS, στρώματα του Ιουρασικού και Κρητιδικού με τον κατώτερο ασβεστόλιθο και επ' αυτού τον αθηναϊκό σχιστόλιθο. Το σύστημα αυτό είναι ένα τεκτονικό κάλυμμα εξ επωθήσεως επάνω στο αυτόχθονο σύστημα. Στην περιοχή των Μεσογείων αντιστοιχεί σε έκταση με τον αθηναϊκό σχιστόλιθο.

Διακρίνονται ( κατά Κατσικάτσο ):

1) Τα στρώματα του Αλεποβουνίου: Τα ανώτερα μέλη τους αποτελούν ασβεστόλιθοι άσπροι, κιτρινωποί, καστανόχρωμοι, σε κάποιες θέσεις κρυσταλλικοί κοκκώδεις, καρστικοί, δολομιτωμένοι. Σε ορισμένες θέσεις περιέχουν πυριτόλιθους. Το ανώτερο αυτό τμήμα είναι πάχους 80 μέτρων και σενωνίου ηλικίας με διάφορα απολιθώματα.

Τα κατώτερα μέλη τους αποτελούνται από κιτρινόχρωμους, καστανόχρωμους, λεπτοστρωματώδεις ασβεστολίθους, μαργαϊκούς ασβεστολίθους και ασβεστιτικές μάργες. Τα στρώματα αυτά έχουν πάχος μέχρι 15 μέτρα.

2) Οφιόλιθοι: Στη βάση των στρωμάτων του Αλεποβουνίου και σε ορισμένες θέσεις, παρατηρούνται έντονα τεκτονισμένα σώματα από υπερβασικά εκρηξιγενή, κυρίως σερπεντινίτες.



3) Φυλλιτικό σύστημα: Αποτελείται από πρασινωπούς, τεφρόμαυρους, μαρμαρυγιακούς, χλωριτικούς σχιστολίθους και φυλλίτες που περιέχουν διαστρώσεις από χαλαζίτες και μικρά σώματα από πρασινίτες. Σε ορισμένες θέσεις έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη γλαυκοφανούς. Επίσης υπάρχουν ενστρώσεις από ασβεστολίθους, τεφρούς, κρυσταλλικούς, λεπτοστρωματώδεις

#### IV ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

- Ανώτερο μάρμαρο: Είναι κυρίως λεπτοπλακώδες τεφρόλευκο, κυανό έως τεφρό και καρστικοποιημένο. Περιλαμβάνει λεπτά στρώματα σχιστολίθου, όπως επίσης λεπτά στρώματά του, περιέχονται μέσα στον υποκείμενό του σχιστόλιθο Καισαριανής. Αυτή η εικόνα δεν συνηγορεί στον χαρακτηρισμό του ως ανεξάρτητου συστήματος επικειμένου του σχιστολίθου. Σε ορισμένες όμως θέσεις έχει σημαντικό πάχος και αυτό δίνει την εντύπωση αυτοτελούς σχηματισμού. Επίσης σε ορισμένες περιπτώσεις το ανώτερο μάρμαρο βρίσκεται απ' ευθείας επάνω στο κατώτερο μάρμαρο χωρίς να παρεμβάλλεται ο σχιστόλιθος Καισαριανής, όπως σε διάσπαρτα σημεία στη Βούλα.
- Σχιστόλιθος Καισαριανής: Το σύστημα αυτό αποτελείται από τεφρούς έως μαύρους στιλπνούς μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους και φυλλίτες, πολλές φορές πλούσιους σε ασβεστίτη. Συχνά περικλείουν φακούς και διαστρώσεις από χαλαζία ή ασβεστίτη. Αρκετά συχνές είναι και οι διαστρώσεις από μάρμαρο, σιπολίτη και δολομιτικό μάρμαρο. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 50 ως 350 μέτρα. Είναι χαρακτηριστικό ότι οι Lepsius και Sindowski δέχονται την ύπαρξη ενός ορίζοντα μαρμάρου μεταβαλλόμενου πάχους, τον οποίο μάλιστα ο Sindowski θεωρεί ως ανεξάρτητο στρωματογραφικό ορίζοντα και τον χαρακτηρίζει ως ενδιάμεσο μάρμαρο που χωρίζει τον σχιστόλιθο σε δυο ορίζοντες. Ο Μαρσιολάκος και οι περισσότεροι ερευνητές παρατήρησαν πάντως την ύπαρξη περισσότερων των δύο οριζόντων στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης περιοχής. Το φαινόμενο της παρουσίας διαστρώσεων μαρμάρων γίνεται εντονότερο όσο πλησιάζουμε προς τα μάρμαρα, ώστε

να δημιουργείται μια μεταβατική κατάσταση από το σχιστόλιθο προς το μάρμαρο. Οι σχιστόλιθοι Καισαριανής περιέχουν τα εξής ορυκτά: χαλαζία, μοσχοβίτη, σερεκίτη, ασβεσίτη, ορθόκλαστο, αλβίτη, μικροκλινή, γραφίτοειδή, χλωρίτη, τουρμαλίνη, σιδηροπυρίτη, τρεμολίνη, ρουτίλιο και σε κάποιες περιπτώσεις γλαυκοφανή.

- Κατώτερο μάρμαρο: Το κατώτερο μάρμαρο αποτελεί τον πυρήνα του όρους της Πεντέλης και στρωματογραφικά τον κατώτερο σχηματισμό που εμφανίζεται στην περιοχή της μεταμορφωμένης Αττικής. Εκτός από την ευρεία εμφάνιση του στην Πεντέλη, έχει εντοπισθεί στη νότια Αττική και συγκεκριμένα στην περιοχή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Πρόκειται για λευκό, ροδόχρουν ή κυανότεφο μάρμαρο. Συνήθως παρουσιάζει κανονική στρώση. Ορυκτολογικά αποτελείται κυρίως από ασβεσίτη ο οποίος σε κάποια σημεία συνυπάρχει με μοσχοβίτη. Συχνά περιέχει χλωρίτη, σιδηροπυρίτη, μαγνητίτη, ακτινόλιθο και επίδοτο (Μαρίνος, Petraschek). Λόγω διακλάσεων είναι κατακεραματισμένο. Είναι σημαντικά καρστικοποιημένο, κάτι που είναι φανερό από το πλήθος των δολίνων. Το πάχος του φθάνει μέχρι τα 500 μέτρα.

- Δολομίτες Πιρναρής: Πρόκειται για υπόλευκους δολομίτες και δολομιτικούς ασβεστόλιθους. Σε κάποιες θέσεις παρουσιάζονται στρώσεις από μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους. Επίσης σε ορισμένα σημεία, όπως στην περιοχή πέριξ του Λυκορέματος στο Πανόραμα Βούλας εμφανίζονται έντονα εξαλλοιωμένοι και εύθρυπτοι λόγω μυλωνιτίωσης. Το πάχος τους κυμαίνεται από 100 ως 300 μέτρα.

- Σχιστόλιθος Βάρης: Ο σχιστόλιθος αυτός αποτελείται από χαλαζία, ασβεσίτη, δολομίτη, μοσχοβίτη, χλωρίτη, επίδοτο, πράσινους αμφιβόλους, ορθόκλαστο, αλβίτη, μικροκλινή, ρουτίλιο κ.ά. ( Μαρίνος, Petraschek). Τα ανώτερα τμήματα του εξελίσσονται σε ασβεστιτικούς και δολομιτικούς μαρμαρυγικούς σχιστολίθους, που εναλλάσσονται με δολομιτικούς ασβεστολίθους και δολομίτες. Το πάχος τους είναι 100 μέτρα περίπου.

Πάνω στα πετρώματα αυτά ο Lepsius τοποθετεί με στρωματογραφική ασυμφωνία τον «κατώτερο ασβεστόλιθο» και τα «στρώματα Καρά» που εμφανίζονται στους βόρειους και δυτικούς πρόποδες του Υμηττού. Στη συνέχεια τοποθετεί με ασυμφωνία τον σχιστόλιθο Αθηνών και τον ανώτερο ασβεστόλιθο του Λυκαβηττού.

Στο παραπάνω σύστημα μεταμορφωμένων πετρωμάτων, το οποίο βρίσκεται όχι μόνο σε Υμηττό και Πεντέλη αλλά και στο νότιο και ανατολικό τμήμα της Αττικής, έχει παρατηρηθεί ότι σε διάφορες περιοχές επικρατούν άλλοτε τα μάρμαρα και άλλοτε οι σχιστόλιθοι. Το αδύνατο της κανονικής διάκρισης των επάλληλων στρωμάτων μαρμάρου και σχιστόλιθου διαπιστώθηκε αργότερα από ερευνητές όπως οι Τρικκαλινός (1955), Μαρίνος (1956) κ.ά.

Ο Μαρίνος (1956) διακρίνει στη νότια Αττική ένα αυτόχθονο σύστημα και πάνω σ' αυτό ένα φυλλιτικό κάλυμμα. Το αυτόχθονο σύστημα ανταποκρίνεται κατά προσέγγιση στη στρωματογραφική διάρθρωση του Lepsius με τη διαφορά ότι οι διαπλάσεις μαρμάρων σχιστόλιθων υποκαθιστούν η μια την άλλη χωρίς κανονικότητα. Το αυτόχθονο σύστημα χωρίζεται σε τρεις βαθμίδες:

- Στο κατώτερο μάρμαρο, που αποτελεί τον κύριο όγκο της περιοχής μας
- Στον μαρμαρυγικό σχιστόλιθο Καισαριανής που αποτελείται από τεφρούς μαρμαρυγικούς σχιστόλιθους και ασβεστιτικούς φυλλίτες
- Στο ανώτερο μάρμαρο

Ο διαχωρισμός αυτός, βέβαια, είναι καθαρά ενδεικτικός αφού η διάκριση σε διαφορετικούς ορίζοντες είναι τοπικού μόνο χαρακτήρα

Το επωθημένο φυλλιτικό κάλυμμα, σύμφωνα με τους Μαρίνο και Petraschek, αποτελείται κυρίως από φυλλίτες ασβεστόλιθους μέχρι μάρμαρα, χαλαζίτες, πρασινίτες. Μέρος του καλύμματος αποτελούν τα στρώματα του Καρά.

Τώρα, όσον αφορά το **βορειοδυτικό τμήμα** του λεκανοπεδίου, συνοπτικά έχουμε να αναφέρουμε τα εξής:

Η περιοχή αυτή σύμφωνα με τις σημερινές απόψεις για την διάρθρωση του Ελλαδικού χώρου σε γεωτεκτονικές ζώνες, ανήκει στην πελαγονική ζώνη μη μεταμορφωμένων σχηματισμών. Η ζώνη αυτή στην περιοχή της Πάρνηθας – Αιγάλεω και γενικότερα της βόρειας – βορειοδυτικής περιοχής χαρακτηρίζεται από ένα ελαφρά μεταμορφωμένο νεοπαλαιοζωικό υπόβαθρο από κλαστικούς κυρίως σχηματισμούς με ανθρακικές ενστρώσεις, πάνω στο οποίο αναπτύσσεται μια σειρά ανθρακικών κυρίως πετρωμάτων, τριαδικής – ιουρασικής ηλικίας, η οποία μαζί με το υπόβαθρο έχει δεχθεί τη δράση της πρώιμης ορογένεσης του ανώτερου ιουρασικού – κατώτερου κρητιδικού, με αποτέλεσμα πάνω σ' αυτή την τεκτονική τοποθέτηση οφιολιθικών πετρωμάτων και την χέρσευση της τότε περιοχής. Στην προς τα πάνω συνέχεια της στρωματογραφικής στήλης της εν λόγω ζώνης απαντούν επικλυσιογενείς ασβεστόλιθοι του μέσου – ανώτερου κρητιδικού και ακολουθούν ιζήματα φλύσχη.

Οι σχηματισμοί της πελαγονικής ζώνης μη μεταμορφωμένων σχηματισμών της βόρειας – βορειοδυτικής Αττικής είναι επωθημένοι προς τα νότιο – νοτιοανατολικά πάνω στους αλπικούς σχηματισμούς του λεκανοπεδίου και γενικότερα του μεταμορφωμένου συστήματος της νοτιοανατολικής Αττικής.

Σε γενικές γραμμές, από στρωματογραφικής απόψεως, για το βορειοδυτικό τμήμα και συγκεκριμένα για την περιοχή του Αιγάλεω, μπορούμε να δώσουμε την παρακάτω διάρθρωση [ κατά Παρασκευαΐδη, Χωριανόπουλο, Δούνα, Γαϊτανάκη (1981) ] :

- Νεοπαλαιοζωικό – Μ. τριαδικό
- Μ. τριαδικό – Κ. ιουρασικό
- Κενομάνιο – σενόνιο

Αντίστοιχα για την Πάρνηθα έχουμε:

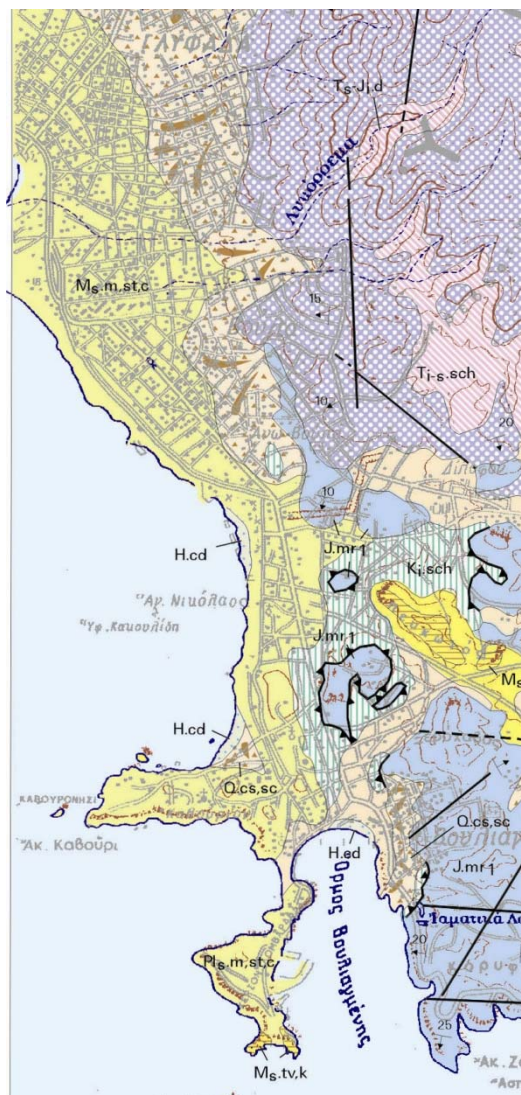
- Νεοπαλαιοζωικό
- Τριαδικό
- Ανώτερο κρητιδικό

Στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται οι χάρτες [επίσημος χάρτης ΙΓΜΕ φύλλο Κορωπί – Πλάκα (σχήμα 1.3), χάρτης Κατσιαβριά φύλλο Μεσόγεια (σχήμα 1.5)] που χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή των ως άνω συμπερασμάτων και αφορούν την περιοχή της Αττικής εν γένει και την στενή περιοχή μελέτης ειδικότερα.

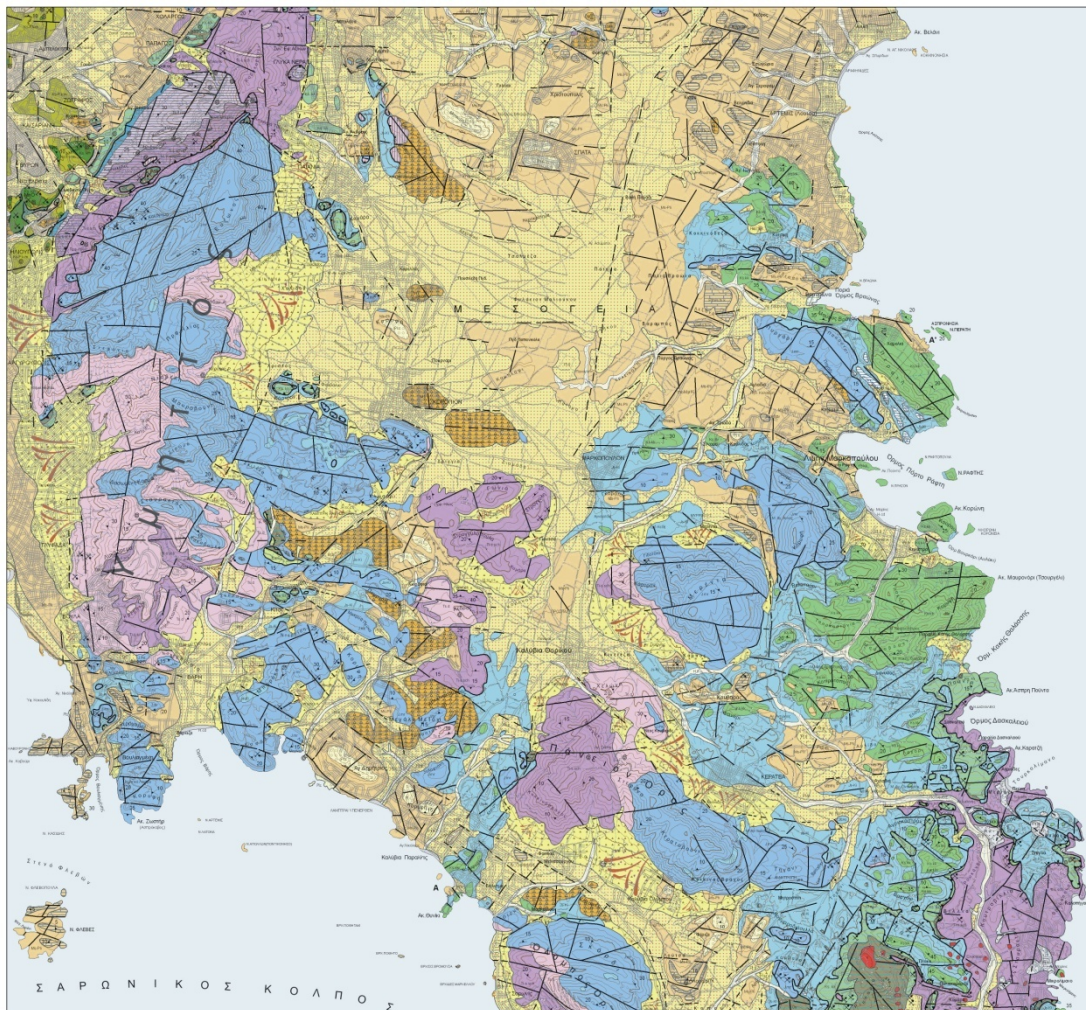


**Σχήμα 1.3.** Απόσπασμα του γεωλογικού χάρτη του ΙΓΜΕ, φύλλο Κορωπί - Πλάκα. Η γεωλογική χαρτογράφηση έγινε από τον γεωλόγο του ΙΓΜΕ Χ. Λατσούδα κατά τα έτη 1976, 1977, 1979, 1991 και 1992. Τους πετρογραφικούς προσδιορισμούς επιμελήθηκε η Ε. Παπαζέτη.



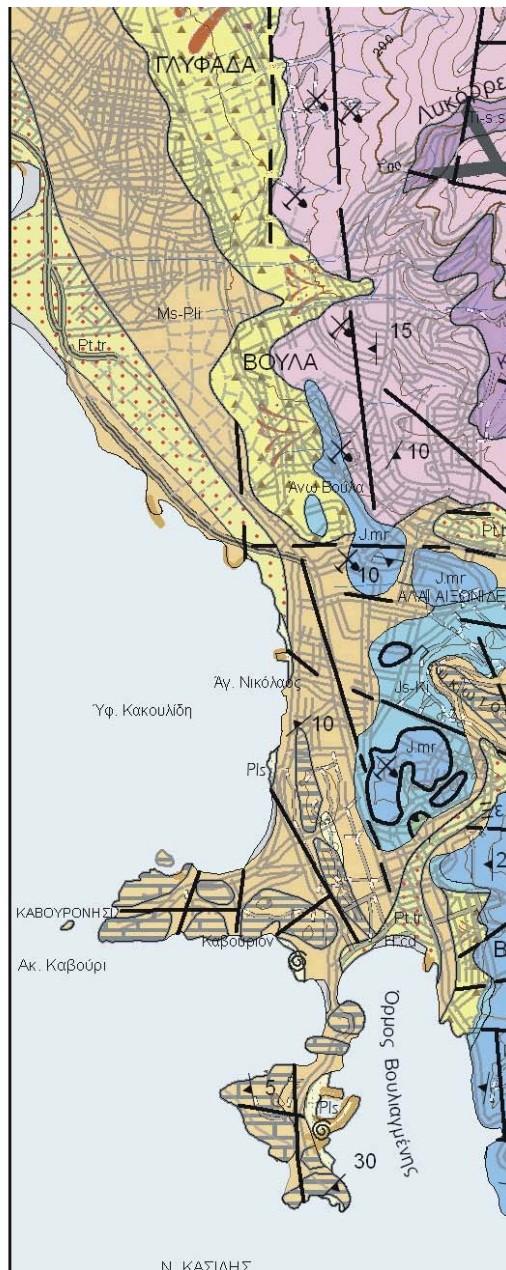


**Σχήμα 1.4.** Ο ίδιος χάρτης του σχ. 1.3 εστιασμένος αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης (Βούλα - Βάρη - Βουλιαγμένη). Η περιγραφή των απεικονιζόμενων σχηματισμών έχει προηγηθεί στο αναλυτικό κείμενο του παρόντος κεφαλαίου.

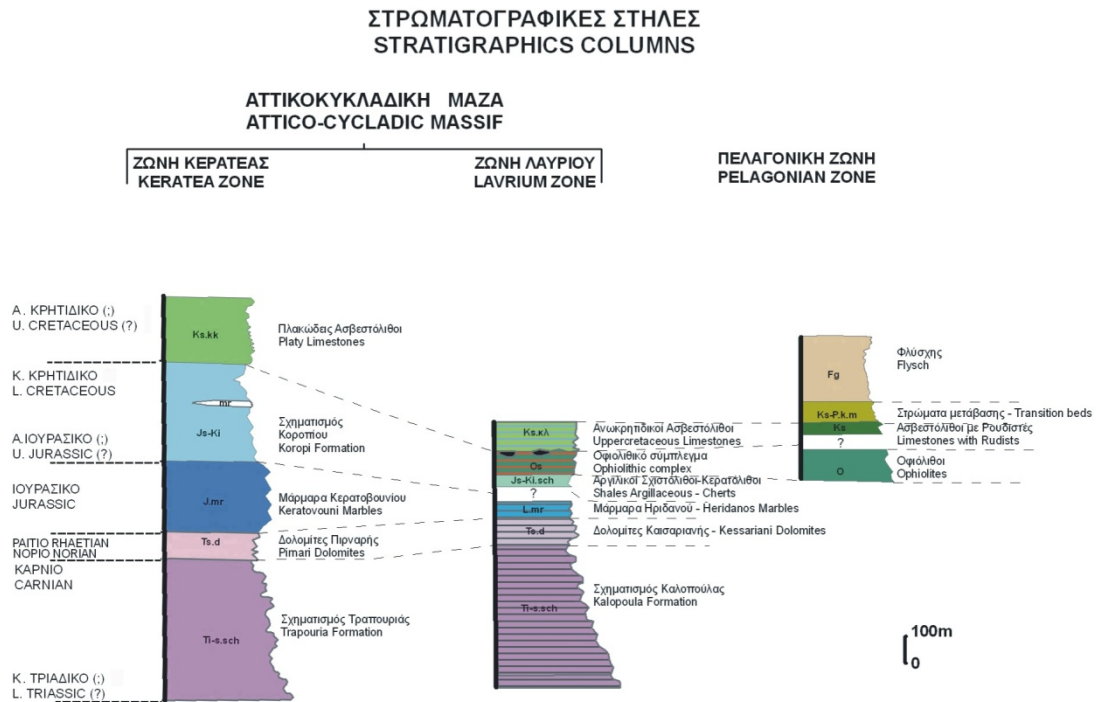


**Σχήμα 1.5.** Ο γεωλογικός χάρτης Μεσογείων Αττικής. Η χαρτογράφηση έγινε από τον Ν. Κατσιαβριά και οι πετρογραφικοί προσδιορισμοί επιμελήθηκαν από την Ε. Παπαζέτη. Πρώτη έκδοση: Νοέμβριος 2007.





Σχήμα 1.6. Ο ίδιος χάρτης του σχ. 1.5 εστιασμένος αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη).



Σχήμα 1.7 Οι στρωματογραφικές στήλες του χάρτη του σχ.1.5.

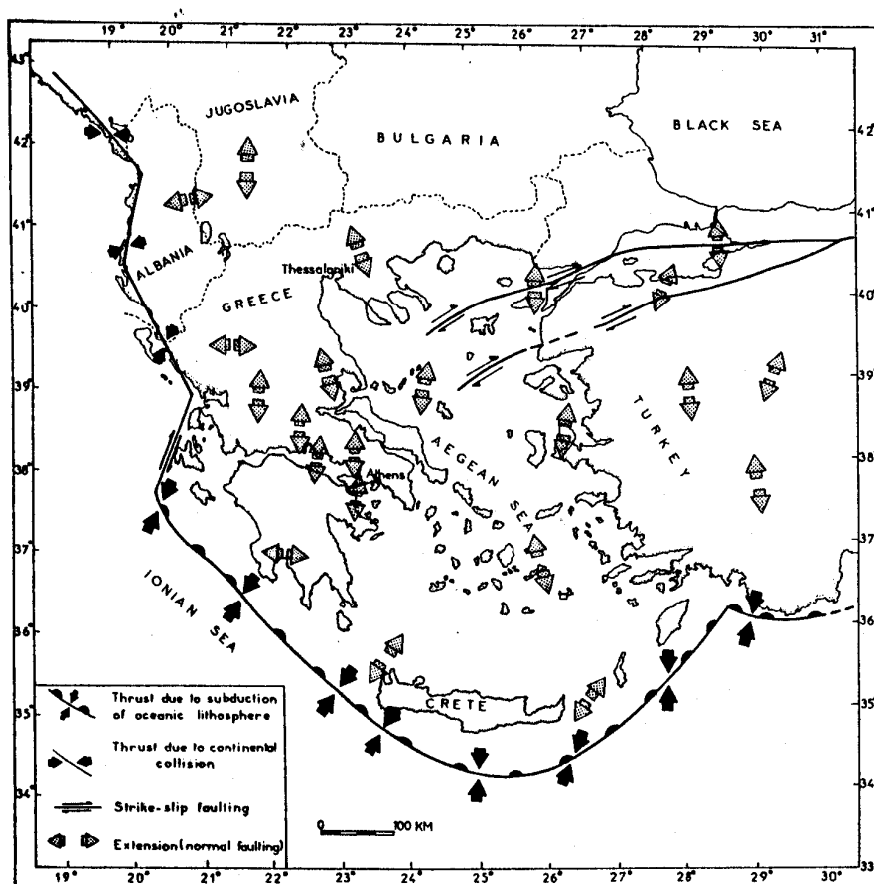
**Σημείωση:** Για την λεπτομερέστερη παρουσίαση της γεωλογίας της στενής περιοχής μελέτης (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη) γίνεται λόγος στο Κεφάλαιο 5, όπως και για την ενδελεχή παρουσίαση των υπομνημάτων των χαρτών της περιοχής που μας αφορά και πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

# ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ευρύτερος χώρος της Αττικής βρίσκεται κάτω από ένα σύγχρονο εφελκυστικό σεισμοτεκτονικό καθεστώς διεύθυνσης Β-Ν, (Σχήμα 2.1) και δεν θεωρείται από τους ιδιαίτερα σεισμογενείς στην Ελλάδα.



Σχήμα 2.1 Κύριες σεισμοτεκτονικές ιδιότητες του χώρου του Αιγαίου και των γύρω περιοχών (Papazachos et al., 1986).

## 2.1 ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΙΣΤΟΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΣΕΙΣΜΩΝ

Ακολουθεί κατάλογος ιστορικών και σύγχρονων σεισμών, οι οποίοι επηρέασαν την Αττική. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στον τελευταίο τοπικό καταστροφικό σεισμό στην Αττική αυτόν της 7ης Σεπτεμβρίου 1999.

**480 π.Χ:** Ένας ισχυρός σεισμός με επίκεντρο  $37.9^{\circ}N$ ,  $23.3^{\circ}E$ , μέγεθος  $M_s=6.3$  και ένταση σχεδόν VIII επηρέασε την Αθήνα και κυρίως το νησί Σαλαμίνα (Παπαζάχος και Παπαζάχου, 1989).

**427-426 π.Χ:** Ακολουθία ισχυρών σεισμών με επίκεντρα στη Βοιωτία επηρέασαν την πόλη των Αθηνών (Θουκιδίδης).

**424 π.Χ:** Σύμφωνα με τον Θουκιδίδη το καλοκαίρι του ίδιου χρόνου σεισμός επηρέασε την πόλη των Αθηνών. Οι Bousquet & Pechoux, υπολόγισαν την ένταση του τοπικού αυτού σεισμού περίπου στο III της κλίμακας Mercalli.

**420 π.Χ:** Ο Θουκιδίδης επίσης αναφέρει σεισμό με ένταση III τον Ιούνιο του ίδιου χρόνου λίγο καιρό πριν τους Ολυμπιακούς αγώνες.

**1η Ιουνίου 1641:** Ισχυρός σεισμός με επίκεντρο στην περιοχή της Αττικής προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε κτίρια στο κέντρο της πόλης όπως αυτές στην εκκλησία του Αγ. Διονυσίου, ενώ παρατηρήθηκαν πτώσεις βράχων στις πλαγιές του λόφου της Ακρόπολης.

**3 Σεπτεμβρίου 1705:** Ισχυρός σεισμός ( $M_s=6R$ ) προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε κτίρια της Αθήνας και στην εκκλησία του Αγ. Διονυσίου.

**16/17 Νοεμβρίου 1805:** Ισχυρός σεισμός ( $M_s=6R$ ) προκάλεσε σοβαρές ζημιές σε κτίρια στην Αθήνα. Υπήρξαν πτώσεις μαρμάρινων πλακών στον Παρθενώνα.

**30 Μαρτίου 1837:** Σεισμός με επίκεντρο  $37.4^{\circ}N$ ,  $23.6^{\circ}E$  (Υδρα) και μέγεθος 6.2R προκάλεσε ζημιές σε κτίρια της αρχαίας Αγοράς κοντά στην Ακρόπολη.

**17 Ιανουαρίου 1874:** Ισχυρός σεισμός ( $M_s=5,5R$ ) προκάλεσε ζημιές σε κτίρια και κατέστρεψε τοίχο κτισμένο από τον Ελληνικό Στρατό το 1822 στον λόφο της Ακρόπολης.

**22 Ιανουαρίου 1889:** Σεισμός προκάλεσε την κατάρρευση παλαιού οικήματος στην Αθήνα και κάποιες ζημιές στην ιστορική Μονή Δαφνιού.

**27 Απριλίου 1894:** Ένας καταστρεπτικός σεισμός μεγέθους  $M_s=7R$ . με επίκεντρο στην

περιοχή της Αταλάντης (Λοκρίδα,  $38.7^{\circ}\text{N}$ ,  $23.0^{\circ}\text{E}$ ) προκάλεσε ζημιές στην Αθήνα. Στην επικεντρική περιοχή έχασαν τη ζωή τους 255 άνθρωποι και 3783 σπίτια καταστράφηκαν ολοσχερώς (Σκούφος, 1894). Στην Αθήνα η δόνηση ήταν επίσης πολύ ισχυρή και προκάλεσε ρηγματώσεις στους τοίχους των οικοδομών και ζημιές στο κτίριο του Πανεπιστημίου Αθηνών. Ο Μητσόπουλος (1894) περιγράφει ότι στην πλατεία Συντάγματος και στην Οδό Ερμού ‘‘-αισθανθήκαμε το έδαφος να κινείται σα βάρκα σε κυματώδη θάλασσα και βλέπαμε τα σπίτια να σείονται όπως τα δένδρα από ισχυρό άνεμο‘. Στον Πειραιά η δόνηση ήταν περισσότερο ισχυρή, οι κάτοικοι τρομοκρατήθηκαν από το κτύπημα των καμπάνων των εκκλησιών κατά τη διάρκεια του σεισμού και επίσης παρατηρήθηκαν πτώσεις τοίχων και καμινάδων.

**17 Οκτωβρίου 1914:** Σεισμός μεγέθους  $M_s=6R$  με επίκεντρο στη Βοιωτία ( $38.3^{\circ}\text{N}$ ,  $23.4^{\circ}\text{E}$ ) προκάλεσε μικρές ζημιές σε κάποια κτίρια της Αθήνας (ρωγμές σε τοίχους) και του Πειραιά. Η δόνηση ήταν επίσης ισχυρή κατά μήκος των ακτών και στο λόφο της Καστέλας όπου παρατηρήθηκαν πτώσεις βράχων.

**22 Απριλίου 1928:** Σεισμός μεγέθους  $M_s=6,3R$  στην περιοχή της Κορίνθου προκάλεσε μικρές ζημιές σε κτίρια στην Αθήνα και τον Πειραιά (κυρίως ρωγμές στην τοιχοποιία).

**17 Ιουλίου, 1964:** Ισχυρός σεισμός καταγράφηκε στην περιοχή των Αθηνών ( $38.0^{\circ}\text{N}$ ,  $23.6^{\circ}\text{E}$ ), μεγέθους  $M_s=6,2R$ , έντασης IV και εστιακού βάθους 155 χλμ.

**24 Φεβρουαρίου 1981:** Ακολουθία ισχυρών σεισμών στο ανατολικό τμήμα του Κορινθιακού κόλπου τον Φεβρουάριο και Μάρτιο του 1981. Τα σεισμικά γεγονότα άρχισαν στις 24 Φεβρουαρίου με τον κύριο σεισμό μεγέθους  $M_s=6,7R$ , τον οποίο ακολούθησε ισχυρός μετασεισμός μεγέθους  $M_s=6,4R$  6 ώρες αργότερα.

Τα επίκεντρα των δύο αυτών δονήσεων εντοπίζονται περίπου 60χλμ. από την Αθήνα κοντά στα νησάκια Αλκωνίδες. Οι ζημιές επικεντρώνονται περισσότερο στην Κορινθία και την Αττική όπου 20 άνθρωποι σκοτώθηκαν και περίπου 500 τραυματίστηκαν (Παπαζάχος et. al., 1981).

Ο τρίτος ισχυρός σεισμός που ακολούθησε με μέγεθος  $M_s=6,2R$  έλαβε χώρα στις 4 Μαρτίου και προκάλεσε σοβαρές ζημιές στην περιοχή της Βοιωτίας, όπου 4 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και 150 τραυματίστηκαν. Το επίκεντρο ήταν κοντά στις νοτιοανατολικές ακτές της Βοιωτίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτών των σεισμών ήταν η απουσία προσεισμών και η παρουσία ισχυρής ακολουθίας μετασεισμών. Υπολογίστηκε ότι τουλάχιστον 290 μετασεισμοί με μέγεθος μεγαλύτερο από 3R συνέβησαν στις πρώτες 24 ώρες μετά την κύρια δόνηση στις 24 Φεβρουαρίου. Η μετασεισμική ακολουθία συνεχίστηκε για δύο χρόνια. Οι τιμές της επιτάχυνσης που καταγράφηκαν από τον κύριο σεισμό στην πόλη της Κορίνθου ήταν περίπου 0,24g κατά την επιμήκη διεύθυνση και 0.30g κατά την εγκάρσια. Οι σεισμοί συνοδεύτηκαν από αξιοσημείωτες εδαφικές διαρρήξεις στην επικεντρική περιοχή. Αυτές οι επιφανειακές διαρρήξεις ακολούθησαν προϋπάρχουσες ζώνες ρηγμάτων, οι οποίες είχαν δράσει κατά το Νεογενές με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαδοχικών υποπαράλληλων τεκτονικών κεράτων και βυθισμάτων, σε γενική διεύθυνση Α-Δ. Η πρώτη από αυτές τις εδαφικές διαρρήξεις εκδηλώθηκε ανάμεσα στα χωριά Περαιχώρα και Σχίνος με συνολικό μήκος περίπου 20χλμ., διεύθυνσης ΑΒΑ-ΔΝΔ και κλίσης 800-900 προς τα ΒΔ. Η δεύτερη που δημιουργήθηκε κατά το σεισμό της 4ης Μαρτίου στην κοιλάδα μεταξύ Κιθαιρώνα και Κορομπιλίου είχε μήκος περίπου 15χλμ. Η κύρια διεύθυνση της ήταν Α-Δ και η κλίση της 70<sup>0</sup>-90<sup>0</sup> προς Ν. Δευτερογενή σεισμικά φαινόμενα υπήρξαν μέσα και γύρω στην επικεντρική περιοχή, όπως: κατολισθήσεις, πτώσεις βράχων, εδαφικές ρωγμές, ρευστοποιήσεις και καταβυθίσεις ακτών.

7 Σεπτεμβρίου, 1999 στις 11:56 GMT (14:56 τοπική ώρα) καταστροφικός σεισμός μεγέθους  $M_5=5.9K$  έπληξε την πόλη της Αθήνας. Το επίκεντρο ήταν (σύμφωνα με το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών) στο νοτιοδυτικό τμήμα της οροσειράς της Πάρνηθας (38.15<sup>0</sup>N, 23.60<sup>0</sup>E) και το εστιακό του βάθος περίπου 29χλμ. Η επίλυση του μηχανισμού γένεσης του κυρίου σεισμού έδειξε και τα δύο επίπεδα σε διεύθυνση Δ.ΒΔ-Α..ΝΑ/κή και κλίσεις ΝΔ και ΒΑ καθώς και Β.ΒΑ-Ν.ΝΔ/κή διεύθυνση εφελκυσμού.

Ο απολογισμός του σεισμού αυτού, σύμφωνα με στοιχεία του ΟΑΣΠ, ήταν 143 νεκροί, 400 περίπου τραυματίες, 37 καταρρεύσεις κτιρίων ενώ καταγράφηκαν εκτεταμένες βλάβες σε κτίρια των δυτικών, βορειοδυτικών και νοτιοδυτικών περιοχών της Αττικής. 85 άνθρωποι απεγκλωβίστηκαν ζωντανοί μέσα από τα ερείπια.

Το Ι.Γ.Μ.Ε. μετά το σεισμό της 7ης Σεπτεμβρίου 1999 στην ΑΤΤΙΚΗ εκπόνησε λεπτομερή σεισμοτεκτονική μελέτη με σκοπό τον προσδιορισμό του καινούργιου νεοτεκτονικού καθεστώτος που διαμορφώθηκε στην περιοχή.

Τα κυριότερα συμπεράσματα, τα οποία προέκυψαν από την ανωτέρω μελέτη παρατίθενται στα επόμενα:

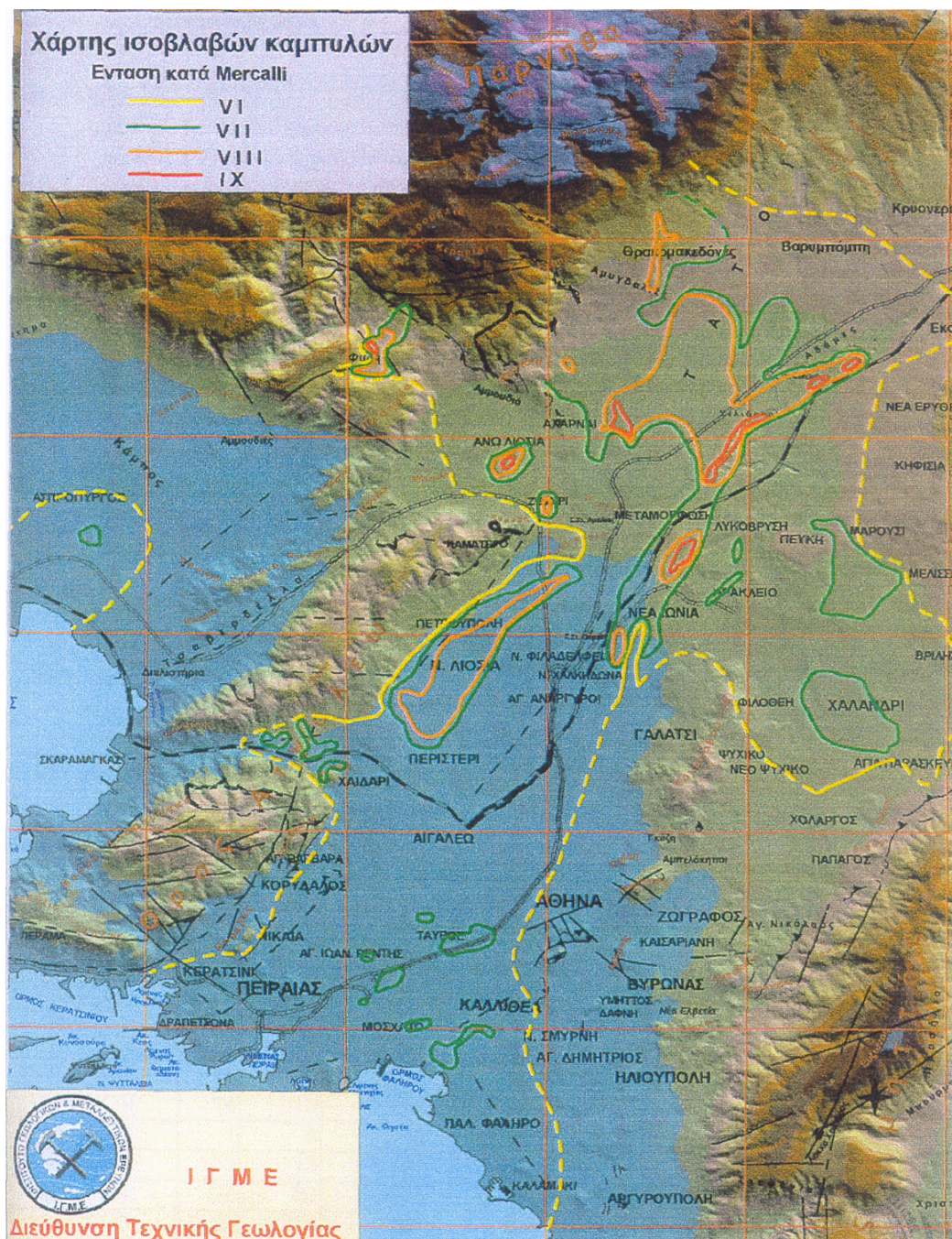
- Από την αξιολόγηση των υπαίθριων παρατηρήσεων, την κατανομή των ισοβλαβών καμπυλών (Σχήμα 2.2) και τις καταγραφές των σεισμικών επικέντρων επιβεβαιώνεται η Δ.ΒΔ-Α.ΝΑ/κή διεύθυνση του σεισμικού ρήγματος στην περιοχή της Πάρνηθας.
- Η κατανομή και το είδος των βλαβών επηρεάζονται από τη φυσική κατάσταση, το πάχος του σχηματισμού καθώς και από τις γενικότερες γεωλογικές-γεωτεχνικές συνθήκες στο χώρο στον οποίο θεμελιώνονται οι κατασκευές.
- Το ρήγμα στο Βόρειο περιθώριο του Θριάσιου πεδίου δεν θεωρείται ότι είναι το σεισμογόνο δεδομένου ότι δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές ζημιές στις αστικές περιοχές του Θριάσιου πεδίου όπως είναι ο Ασπρόπυργος, η Ελευσίνα, η Μάνδρα, η Μαγούλα κλπ, όπου σε πολλές περιπτώσεις οι χαλαροί αλλουβιακοί σχηματισμοί αποτελούν το έδαφος θεμελίωσης. Οι περιοχές αυτές θα έπρεπε να επηρεαστούν από το συγκεκριμένο σεισμό, τόσο λόγω του δυσμενούς εδάφους θεμελίωσης, όσο και επειδή θεωρητικά βρίσκονται στο κατερχόμενο τέμαχος του υπόψη ρήγματος.
- Το πιθανό ίχνος του σεισμικού ρήγματος στην επιφάνεια, θα μπορούσε να τοποθετηθεί βορειότερα (στο όρος Πάρνηθα), δεδομένου ότι οι σοβαρές ζημιές παρατηρήθηκαν βόρεια της περιοχής Βαρυμπόμπης - Εκάλης. Η παρουσία σημαντικών ζημιών ανατολικά του όρους Αιγάλεω δεν επιβεβαιώνει την άποψη ότι το βουνό αυτό μπορεί να έπαιξε ρόλο στην ανάσχεση της σεισμικής δράσης ενώ αντίθετα προς τα δυτικά οι ζημιές είναι περιορισμένες.
- Ο εντοπισμός των σοβαρών ζημιών προς τα ανατολικά της Πάρνηθας και του Αιγάλεω, αποκαλύπτει κατευθυντικότητα της σεισμικής δράσης από δυτικά προς τα ανατολικά, υποδηλώνοντας διάρρηξη στο σεισμογόνο ρήγμα από δυτικά προς τα ανατολικά (αριστερόστροφο ρήγμα).

- Η ΒΑ - ΝΔ/κή ανάπτυξη των ισοβλαβών καμπυλών μεγάλης έντασης συμπίπτει σχεδόν με την κύρια επώθηση ή κύρια τεκτονική γραμμή (σύμφωνα με ορισμένους ερευνητές) της Πάρνηθας πάνω στους σχηματισμούς που δομούν την περιοχή ανατολικότερα (όρος Πεντέλη). Συνεπώς η κύρια τεκτονική αυτή γραμμή φαίνεται ότι έπαιξε σημαντικό ρόλο στην αύξηση της σεισμικής έντασης στους οικιστικούς χώρους της Αθήνας που επλήγησαν καίρια από τους σεισμούς.

Η ευρύτερη του Δήμου Αθηναίων περιοχή, όπως προκύπτει από την ανάλυση των μηχανισμών γένεσης ισχυρών επιφανειακών σεισμών οι οποίοι έγιναν κατά την χρονική περίοδο 1956 - 1986 στον Ελληνικό χώρο, χαρακτηρίζεται όπως έχει ήδη αναφερθεί από ένα σύγχρονο εφελκυστικό σεισμοτεκτονικό καθεστώς (Parazachos et al., 1986) και ανήκει σε ένα χώρο γενικά μέτριας σεισμικής επικινδυνότητας (βλ. Σχήμα 2.1).

Για την καλύτερη κατανόηση του σεισμικού δυναμικού κρίθηκε σκόπιμο να συγκεντρωθούν τα στοιχεία των σεισμών που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το δελτίο του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Αστεροσκοπείου Αθηνών (Δ.Γ.Ι.Α.Α.), ο κατάλογος του Εργαστηρίου του Αριστοτέλειου Παν/μίου Θεσσαλονίκης και πλήθος βιβλιογραφικών αναφορών. Τα στοιχεία των σεισμικών συμβάντων μεγέθους  $M_s \geq 5,0$  που εκδηλώθηκαν σε μια περιοχή ακτίνας 100km από το Δήμο Αθηναίων, κατά την περίοδο 550π.Χ.- 1900μ.Χ. καθώς και αυτών με μέγεθος  $M_s \geq 5,0$  από το 1901 έως 31-05-04, απεικονίζονται στα Σχήματα 2.3 και 2.4 ενώ τα σχετικά στοιχεία συνοψίζονται στους Πίνακες 2.1 και 2.2 αντίστοιχα. Η παρατήρηση των χαρτών αυτών μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η περιοχή έχει πληγεί κατά το παρελθόν από μεγάλους σεισμούς.



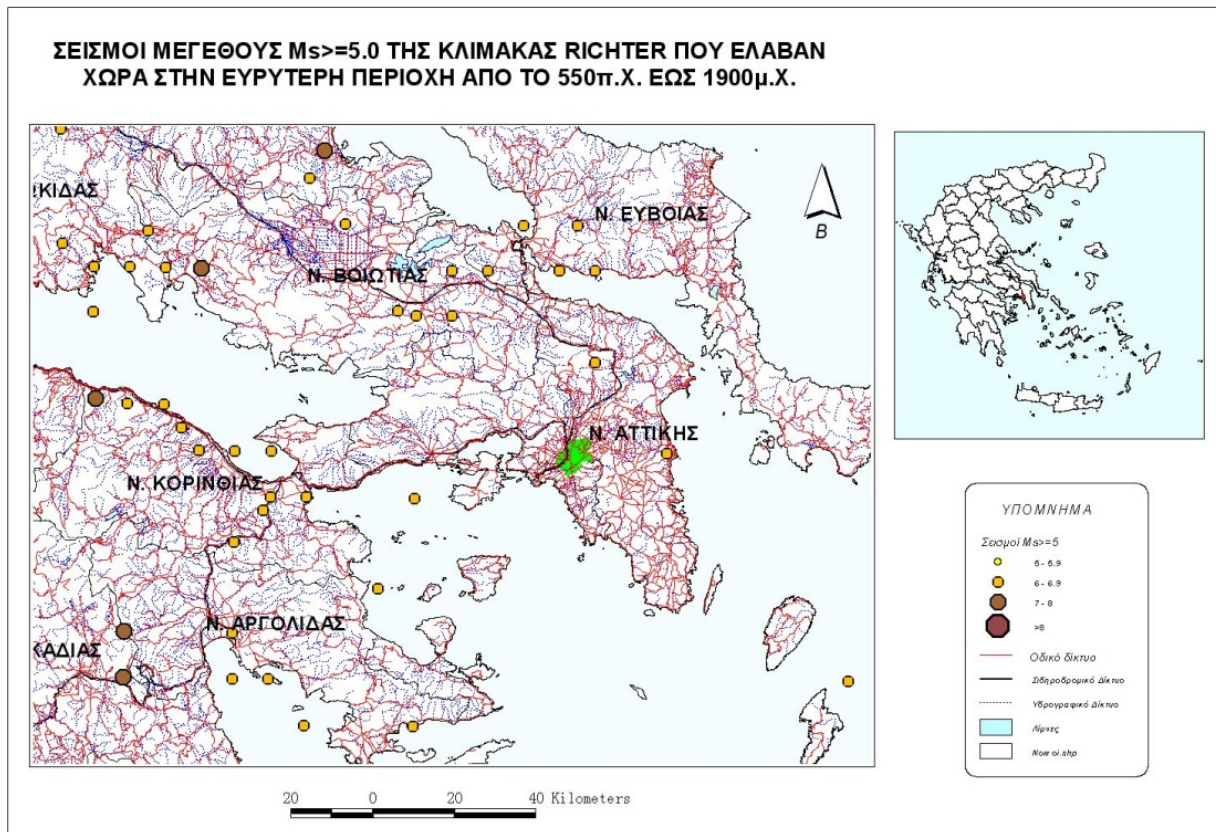


Σχήμα 2.2 Χάρτης ισοβλαβών καμπυλών για το σεισμό της Αθήνας της 7ης Σεπτεμβρίου του 1999.

**Πίνακας 2.1** Κατάλογος σεισμών μεγέθους  $M_s \geq 5,0$  της κλίμακας Richter που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή (ακτίνας 100km) του Δήμου Αθηναίων κατά την περίοδο 550 π.Χ.- 1900μ.Χ.

ΧΡΟΝΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΑ	ΔΕΥΤ/ΤΑ	ΠΛΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
-489						37,70	23,20		6,00
-480						37,90	23,30		6,30
-427						38,50	23,10		6,00
-420						38,00	22,80		6,00
-414						37,80	22,80		6,00
-388						37,60	22,80		6,20
-347						38,40	22,50		6,00
-303						38,00	22,70		6,60
-279						38,40	22,40		6,80
-198						38,40	23,70		6,60
74	JUN	20				37,90	22,90		6,30
361						38,40	22,60		6,90
521						38,00	22,90		6,30
543						38,00	22,80		6,20
580						38,00	22,80		6,30
996						38,30	22,40		6,80
1321						38,30	23,30		6,30
1402	JUN					38,11	22,41		7,00
1417	AUG					38,40	23,80		6,40
1421	JAN	21				37,50	22,90		6,50
1660	MAR					38,30	22,40		6,40
1694	JUN					38,40	23,70		6,20
1705	SEP	3				38,20	23,80		6,20
1725						37,90	23,00		6,00
1726						38,50	23,60		6,00
1753	MAR	6				38,10	22,50		6,20
1775	APR	16				37,90	22,90		6,40
1785	JUN	24				38,40	23,50		6,00
1788	ΟΚΤ	15				37,50	22,80		6,10
1794	JUN	11				38,30	22,40		6,70
1853	AUG	18	8	30	0,00	38,40	23,40		6,60
1853	SEP	29	11	45	0,00	38,30	23,40		6,30
1858	FEB	21	9	0	0,00	37,87	22,88		6,50
1870	AUG	1	0	41	0,00	38,48	22,55		6,80
1873	JUL	25				37,70	23,20		6,00
1874	MAR	18	5	0	0,00	38,50	23,75		6,00
1876	JUN	26				37,80	22,80		6,10
1887	ΟΚΤ	3	22	53	0,00	38,05	22,65		6,50
1891	MAY	11				37,50	24,50		6,40
1893	MAY	23	22	2	0,00	38,31	23,25		6,30
1894	APR	20	16	52	0,00	38,60	23,00		6,70
1894	APR	27	19	21	0,00	38,66	23,04		7,20
1897	MAY	28	22	35	0,00	37,50	22,50		7,00
1898	JUN	2	21	40	0,00	37,60	22,50		7,20





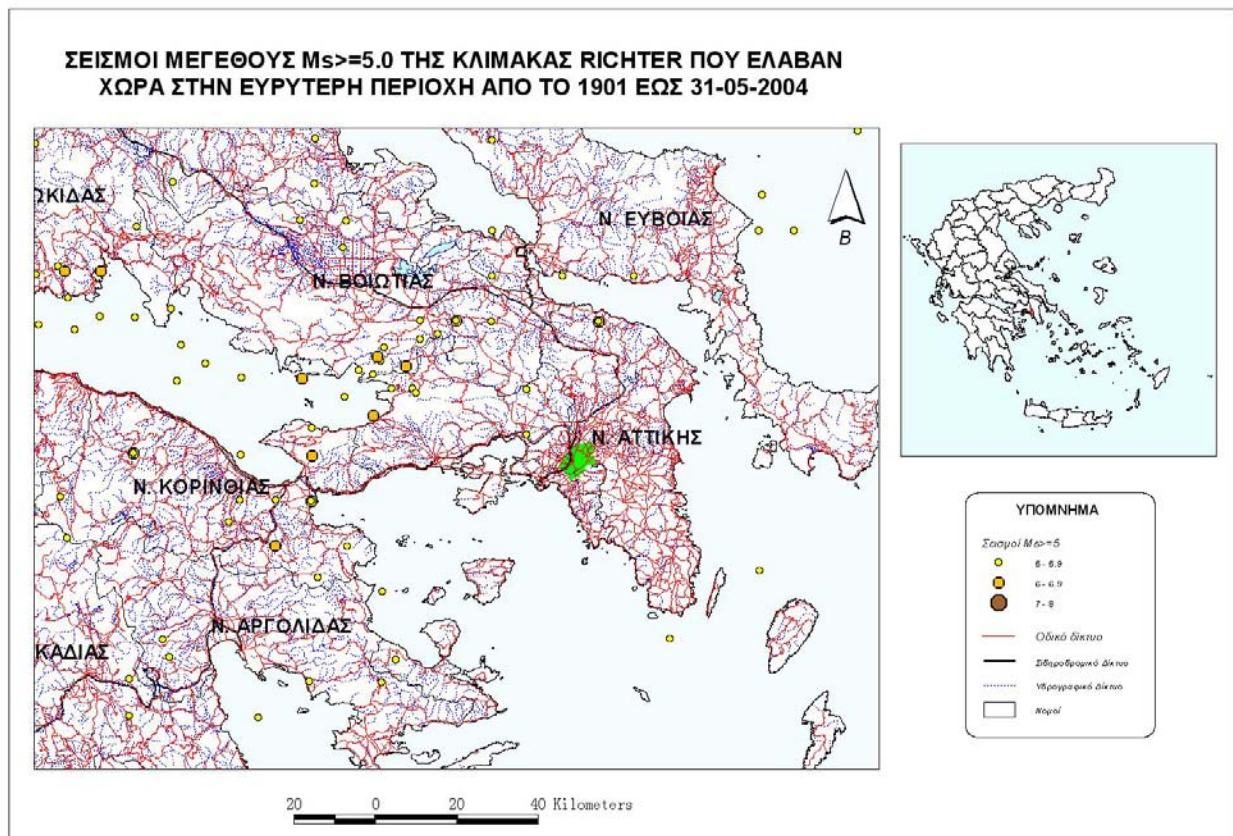
**Σχήμα 2.3** Χωρική κατανομή επικέντρων σεισμών μεγέθους  $M_s > 5$  στην ευρύτερη περιοχή έρευνας από το 550 π.Χ. έως το 1900 μ.Χ.

**Πίνακας 2.2.** Κατάλογος σεισμών μεγέθους  $M_s \geq 5,0$  της κλίμακας Richter που έλαβαν χώρα στην ευρύτερη περιοχή (ακτίνας 100km) του Δήμου Αθηναίων κατά την περίοδο 1901 έως 31-05-04.

ΧΡΟΝΙΑ	ΜΗΝΑΣ	ΗΜΕΡΑ	ΩΡΑ	ΛΕΠΤΑ	ΔΕΥΤ/ΤΑ	ΠΛΑΤΟΣ	ΜΗΚΟΣ	ΒΑΘΟΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ
1901	APR	11	18	35	30	38,50	23,50		5,5
1911	SEP	20	23	24	28	37,50	22,50		5,3
1912	MAR	22	18	40	24	38,30	23,30		5,1
1913	DEC	1	22	44	29	37,70	23,20		5,1
1914	OCT	17	6	22	32	38,30	23,40		6,0
1914	OCT	17	10	42	11	38,30	23,40		5,6
1915	JUN	26	4	45	34	38,40	23,70		5,0
1915	SEP	19	11	0	32	38,30	23,50		5,1
1915	OCT	8	0	30	37	38,30	23,50		5,0
1915	DEC	31	19	47	51	37,50	22,50		5,4
1916	MAY	11	16	17	42	38,00	22,80		5,0
1916	MAY	20	22	14	11	38,40	23,50		5,3
1917	SEP	23	19	45	21	38,30	23,30		5,0
1918	JAN	20	2	36	40	38,70	23,00		5,5
1919	OCT	13	13	4	49	38,40	23,90		5,1
1922	AUG	8	3	40	6	37,50	23,20		5,6
1922	AUG	15	14	53	12	37,50	23,00		5,3
1922	NOV	11	22	13	0	37,50	23,00		5,6
1924	FEB	16	9	1	6	37,50	23,00		5,3
1926	JUL	2	5	25	23	38,20	22,70		5,0
1927	DEC	12	23	57	15	38,50	22,50		5,1
1928	JAN	22	0	18	15	38,60	22,60		5,4
1928	APR	22	19	59	15	37,90	23,00		5,2
1928	APR	22	20	13	46	37,90	23,00		6,3
1928	APR	25	0	31	18	38,00	23,00		5,2
1928	APR	29	9	49	12	38,00	23,00		5,2
1929	MAR	3	10	49	30	37,90	22,80		5,0
1929	DEC	20	2	27	49	37,90	23,00		5,0
1930	APR	17	20	6	39	37,80	23,10		5,9
1930	SEP	12	8	18	33	37,70	23,20		5,0
1930	SEP	12	9	22	17	37,70	23,20		5,0
1930	SEP	12	13	33	54	37,70	23,20		5,3
1930	SEP	13	20	5	46	37,70	23,20		5,2
1931	JAN	4	0	0	35	37,90	22,90		5,6
1931	SEP	11	8	34	0	38,70	23,50		5,0
1931	SEP	11	14	34	2	38,70	23,50		5,2
1931	SEP	11	16	23	8	38,70	23,50		5,3
1931	SEP	13	6	22	2	38,70	23,50		5,0
1931	SEP	13	6	26	26	38,70	23,50		5,0
1938	JUL	20	0	23	35	38,30	23,80		6,0
1938	JUL	27	1	29	10	38,30	23,80		5,0
1938	SEP	18	3	50	38	38,00	22,50	100	6,4
1942	JUN	4	15	15	12	38,60	23,00		5,0
1949	MAR	10	21	27	8	38,00	22,50		5,0
1953	JUN	13	18	38	58	38,20	22,70	10	5,0

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ, ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ, ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΥΛΑΣ - ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ, ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

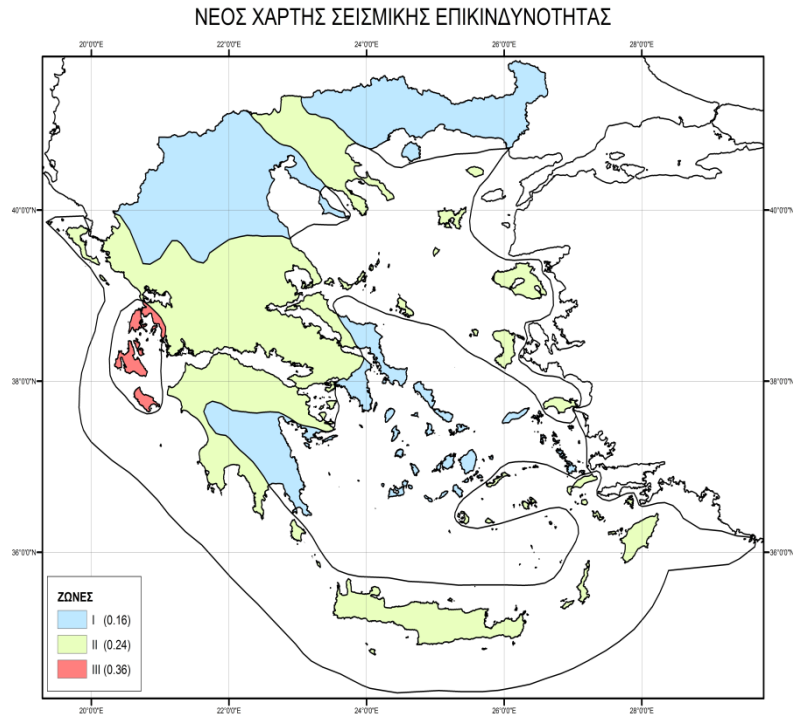
1953	SEP	5	14	18	41	38,00	23,00	10	6,0
1954	APR	17	20	52	46	37,90	22,90	10	5,3
1956	JAN	13	20	0	34	37,60	24,00	10	5,0
1956	JAN	18	3	11	42	37,75	24,25	10	5,1
1957	NOV	9	23	55	51	38,30	22,40	10	5,1
1958	MAR	29	3	0	42	38,30	22,50	10	5,0
1958	JUN	10	15	53	32	38,50	24,25	10	5,0
1962	AUG	28	10	59	56	37,80	22,90	100	6,5
1964	JUL	17	2	34	27	38,05	23,60	150	5,7
1965	JUL	6	3	18	41	38,40	22,40	10	6,2
1966	JAN	2	23	12	19	37,73	23,02	10	5,2
1968	JUL	4	21	47	53	37,55	23,24	5	5,5
1970	FEB	11	19	1	20	37,59	22,59	75	5,0
1970	APR	8	13	50	30	38,32	22,60	19	5,8
1970	APR	20	15	39	29	38,24	22,63	5	5,3
1970	APR	23	4	29	50	37,55	22,61	34	5,1
1974	NOV	14	13	22	33	38,46	23,08	5	5,2
1974	NOV	14	14	26	49	38,46	23,08	5	5,2
1974	NOV	14	15	29	44	38,52	23,09	5	5,3
1974	DEC	1	6	21	16	38,52	22,96	5	5,0
1975	JAN	8	19	32	35	38,17	22,80	25	5,2
1975	APR	24	22	58	19	37,42	22,50	30	5,0
1977	JAN	16	9	16	48	37,85	22,77	21	5,0
1979	MAR	13	13	48	60	38,50	24,35	17	5,0
1981	FEB	24	20	53	38	38,17	22,97	14	6,8
1981	FEB	25	1	57	55	38,13	23,09	5	5,7
1981	FEB	25	2	35	53	38,09	23,17	13	6,4
1981	FEB	25	5	8	15	38,21	23,19	6	5,6
1981	FEB	25	5	9	59	38,06	23,00	5	5,4
1981	FEB	28	17	6	24	38,15	23,28	9	5,0
1981	MAR	4	21	58	6	38,20	23,26	14	6,3
1981	MAR	4	23	4	48	38,19	23,13	5	5,0
1981	MAR	5	1	10	15	38,18	23,17	5	5,2
1981	MAR	5	6	59	7	38,22	23,18	6	6,1
1981	MAR	7	11	34	45	38,14	23,29	5	5,2
1981	MAR	7	11	51	36	38,26	23,30	5	5,0
1981	MAR	12	1	49	40	38,27	23,35	10	5,1
1981	MAR	18	16	55	31	38,24	23,20	5	5,2
1982	DEC	20	22	56	59	38,55	24,61	11	5,0
1988	JUL	12	2	26	53	38,78	23,44	5	5,0
1988	JUL	16	1	54	33	37,42	22,86	95	5,0
1988	SEP	11	21	45	24	38,15	23,22	13	5,0
1990	JAN	2	20	35	43	38,58	24,26	14	5,0
1993	FEB	4	2	22	56	38,16	22,62	5	5,1
1999	SEP	7	11	56	51	38,15	23,60	29	5,9
2004	MAY	31	22	19	51,50	38,72	24,53	30	5,2



**Σχήμα 2.4** Χωρική κατανομή επικέντρων σεισμών μεγέθους  $M_s > 5$  στην ευρύτερη περιοχή έρευνας από το 1901 έως το 2004.

Οι σεισμοί που ορίζουν τη σεισμικότητα και κυρίως τη σεισμική επικινδυνότητα μιας περιοχής, έχουν μέγεθος 5,5 και άνω. Η ενέργεια που εκλύεται από σεισμούς μικρότερου μεγέθους είναι σχετικά ασήμαντη ιδιαίτερα όταν η εστία τους είναι σε βάθος μικρότερο των 10 Km (Galanopoulos, 1972).

Σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000) και την απόφαση που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ Β' 1154 /12.8.2003 και ισχύει από 1.1.2004, η ευρύτερη περιοχή έρευνας κατατάσσεται στην κατηγορία I, αναφορικά με τις σεισμικές δράσεις σχεδιασμού, (Σχήμα 2.5), με σεισμική επιτάχυνση εδάφους  $A = \alpha \times g$ , όπου  $\alpha = 0,16$  και  $g$  η επιτάχυνση της βαρύτητας.



**Σχήμα 2.5.** Οι τρεις κατηγορίες (III, II, I) ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας στις οποίες χωρίσθηκε ο Ελληνικός χώρος, σύμφωνα με την τελευταία τροποποίηση.

Τέλος, επισυνάπτεται η κατάταξη των τεχνικογεωλογικών σχηματισμών στις κατηγορίες εδάφους που ορίζει ο Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός Ε.Α.Κ. 2000 (βλ. Πίνακα 2.3).

**Πίνακας 2.3** Κατηγορίες εδάφους σύμφωνα με Ε.Α.Κ. 2000

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλυοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπιεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλυοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοιλιώδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Ελπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλίσεις καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλυοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεκνώσεως ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΥ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών προσδιορίστηκαν οι παράμετροι που χαρακτηρίζουν τη μηχανική συμπεριφορά των πετρωμάτων. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν τήρησαν ελληνικά και διεθνή, πρότυπα και οδηγίες. Οι συνηθέστερες από τις δοκιμές αφορούν τον προσδιορισμό των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την αντοχή και παραμορφωσιμότητα δοκιμίων πετρώματος που καταπονούνται σε θλίψη, εφελκυσμό ή διάτμηση. Στη συνέχεια περιγράφονται όλες οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής εργασίας.

#### **3.1 Δοκιμή προσδιορισμού αντοχής πετρώματος σε ανεμπόδιση θλίψη.**

Οι δοκιμές εκτελέστηκαν σε δοκίμια από πυρήνες πετρωμάτων (καρότα) που διαμορφώθηκαν με την χρήση του ειδικού τρυπανιού (εικόνα 3.1), του κοπτικού τροχού (εικόνα 3.2) και της ειδικής λειαντικής μηχανής (εικόνα 3.3). Είναι η συνηθέστερα εκτελούμενη εργαστηριακή δοκιμή. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής  $\sigma_a$ , και των ελαστικών σταθερών  $E$  και  $\nu$  του άρρηκτου πετρώματος.

Για παρόμοιας ορυκτολογικής σύστασης πετρώματα, η μονοαξονική θλιπτική αντοχή  $\sigma_a$  μειώνεται ανάλογα με το πορώδες, το βαθμό αποσάθρωσης, τις μικρορωγματώσεις, και την περιεκτικότητα σε νερό. Γι αυτό η αντοχή δοκιμίων από τον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό δύναται να διαφέρει σημαντικά. Για παράδειγμα, η αντοχή του κροκαλοπαγούς διαφοροποιείται με το μέγεθος των κροκάλων, την πυκνότητα, τη φύση και τον βαθμό συγκόλλησης των κόκκων, και το βαθμό μεταμόρφωσης του πετρώματος. Εν τούτοις τα γενικά χαρακτηριστικά των γεωλογικών σχηματισμών δίνουν χρήσιμα στοιχεία όπως για παράδειγμα ένας σχιστόλιθος αναμένεται να

παρουσιάζει σχιστότητα και ένας χαλαζίτης θα είναι γενικά ένα σκληρό ψαθυρό υλικό.

Παρακάτω δίνονται κάποιοι βασικοί όροι που χρησιμοποιούνται για το χαρακτηρισμό της μηχανικής απόκρισης των πετρωμάτων:

- Αντοχή ή μέγιστη αντοχή, είναι η μέγιστη τάση που το πέτρωμα δύναται να αναλάβει για δεδομένες συνθήκες. Μετά την επίτευξη της μέγιστης τιμής το δοκίμιο μπορεί να εξακολουθεί να αναλαμβάνει κάποιο φορτίο.
- Παραμένουσα αντοχή, όταν επιτυγχάνεται, συμβαίνει μετά από σημαντική παραμόρφωση.
- Ψαθυρή θραύση είναι η διαδικασία κατά την οποία συμβαίνει ξαφνική απώλεια αντοχής με ελάχιστη ή μηδενική πλαστική παραμόρφωση.
- Όλκιμη παραμόρφωση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το πέτρωμα συνεχίζει να παραμορφώνεται χωρίς να χάνει τη φέρουσα ικανότητά του.
- Διαρροή ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία η καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων αποκλίνει από την ελαστική συμπεριφορά.
- Τάση διαρροής αντιστοιχεί στην έναρξη της διαρροής.
- Αστοχία είναι ένας γενικότερος όρος που άλλες φορές ταυτίζεται με την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, άλλες φορές με την αδυναμία ανάληψης των δρώντων φορτίων, άλλοτε με υπερβολικές παραμορφώσεις, κ. α.



**Εικόνα 3.1** Το τρυπάνι διαμόρφωσης των πυρήνων (καρότα) πετρώματος του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών.



**Εικόνα 3.2** Ο τραπεζοκόπτης βραχωδών δειγμάτων του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας.



Εικόνα 3.3 Η μηχανή λείανσης πετρωμάτων του εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας.

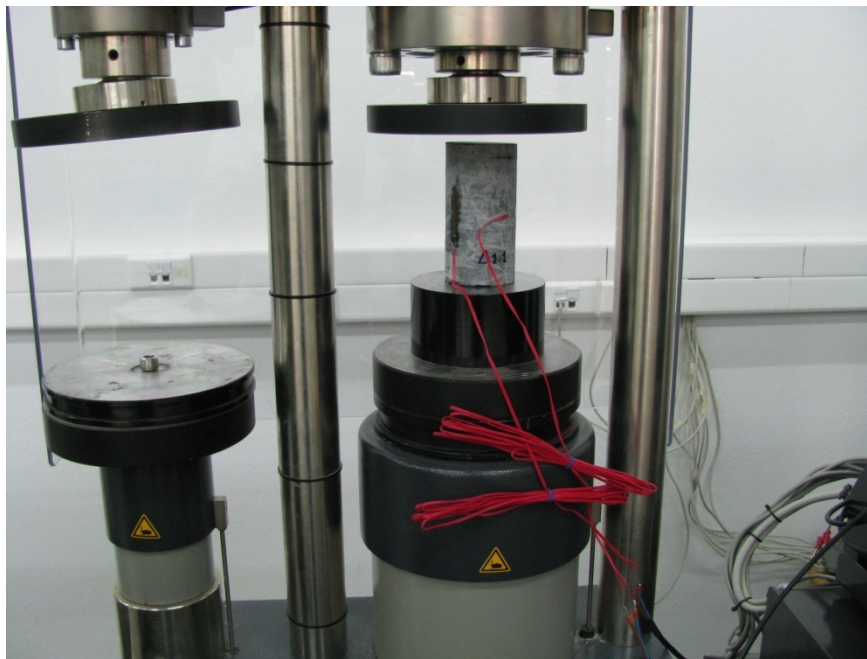
### 3.1.1 Η διαδικασία εκτέλεσης της δοκιμής.

Για την εκτέλεση της δοκιμής, κατάλληλα διαμορφωμένα κυλινδρικά δοκίμια (Εικόνα 3.4) υποβάλλονται σε μονοαξονική θλίψη με σκοπό να υπολογιστεί η αντοχή του πετρώματος, δηλαδή η μέγιστη τάση (μέση τιμή σε ένα επίπεδο) την οποία ένα πέτρωμα δύναται να αντέξει (ΑΙ Σοφιανός & ΠΠ Νομικός, 2008). Προτεινόμενες τεχνικές για τον καθορισμό της μονοαξονικής θλιπτικής αντοχής και παραμορφωσιμότητας του άρρηκτου πετρώματος δίνονται από την Επιτροπή προτυποποίησης εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών της Διεθνούς Ένωσης Βραχομηχανικής (ISRM, 1979). Βασικά χαρακτηριστικά της συνιστώμενης διαδικασίας είναι:

- Τα δοκίμια έχουν κυλινδρική μορφή (Εικόνα 3.4) με λόγο  $H/D = 2.5$  έως 3 όπου  $H$  το ύψος και  $D$  η διάμετρος του δοκιμίου.
- Η διάμετρος δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 54 mm και πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 φορές μεγαλύτερη από το μέγιστο μέγεθος κόκκου του υπό δοκιμή πετρώματος.



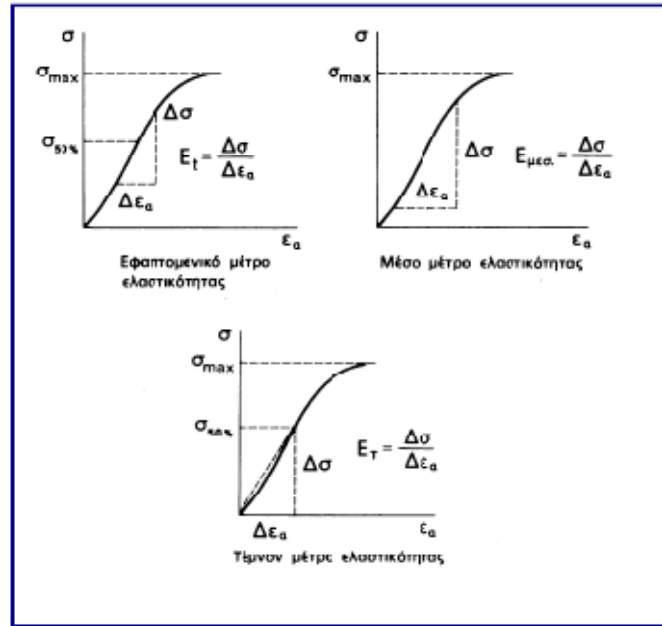
- Οι βάσεις των δοκιμίων πρέπει να είναι επίπεδες με ανοχή 0.02 mm, και κάθετες στον διαμήκη άξονα συμμετρίας του δοκιμίου με απόκλιση όχι περισσότερο από 0.001 rad ή 0.05mm στα 50mm.
- Η πλευρική επιφάνεια πρέπει να είναι λεία, με ανοχή όχι περισσότερο από 0.3 mm.
- Τα δοκίμια πρέπει να έχουν ληφθεί πριν από 30 ημέρες το πολύ από το μητρικό πέτρωμα, έτσι ώστε να διατηρούν, κατά το δυνατόν, τη φυσική τους υγρασία.
- Το φορτίο θα εφαρμόζεται στο δοκίμιο με σταθερό ρυθμό 0.5/1 MPa/s.
- Αξονικό φορτίο και ακτινικές ή διαμετρικές παραμορφώσεις θα καταγράφονται καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής.
- Θα πρέπει να εκτελούνται τουλάχιστον πέντε δοκιμές ανά δείγμα.



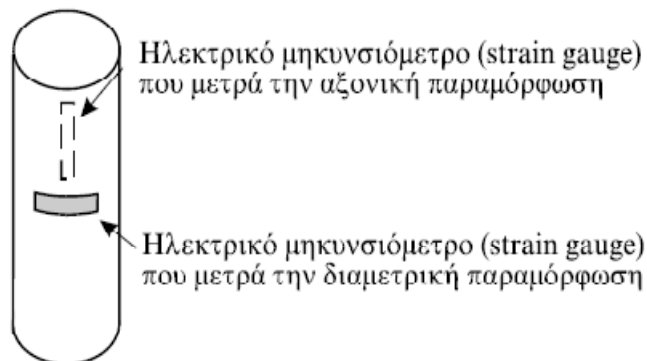
**Εικόνα 3.4** Κυλινδρικό δοκίμιο τοποθετημένο εντός της μηχανής ανεμπόδιστης θλίψης.

Επίσης με βάση το διάγραμμα (Σχήμα 3.1 ή Σχήμα 3.3) ενεργών τάσεων-τροπών (ανηγμένων παραμορφώσεων), που προκύπτει από τη δοκιμή αυτή, μπορούν να υπολογιστούν οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας  $E$  (Young's Modulus) του πετρώματος καθώς και ο λόγος του Poisson  $\nu$ . Στη συνήθη περίπτωση που δεν υφίσταται πίεση νερού των πόρων, η ενεργή τάση ταυτίζεται με την δρώσα αξονική

δύναμη διαιρεμένη με την επιφάνεια φόρτισης του δοκιμίου. Η μέτρηση των παραμορφώσεων επιτυγχάνεται συνήθως με την τοποθέτηση μετρητών παραμόρφωσης (strain gauges) που επικολλώνται με τη χρήση ειδικής κόλλας, σύμφωνα με το Σχήμα 3.2. Ο κατακόρυφος μετρητής μετράει την αξονική παραμόρφωση του δοκιμίου, και ο οριζόντιος την διαμετρική παραμόρφωση.



Σχήμα 3.1 Γραφικός προσδιορισμός διαφόρων μέτρων ελαστικότητας



Σχήμα 3.2 Επικόλληση των μετρητών παραμορφώσεων.

Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι συνεχόμενη με σταθερό ρυθμό. Η θραύση του δοκιμίου, ανάλογα με την αντοχή του, επιτυγχάνεται συνήθως μέσα σε 5 έως 10 λεπτά.

Κατά την διεξαγωγή της δοκιμής καταγράφονται οι ενδείξεις φορτίου της θλιπτικής μηχανής και οι ενδείξεις παραμορφώσεων των δύο ενισχυτών σήματος. Η αξονική και η διαμετρική παραμόρφωση  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ , δίνονται από τις σχέσεις:

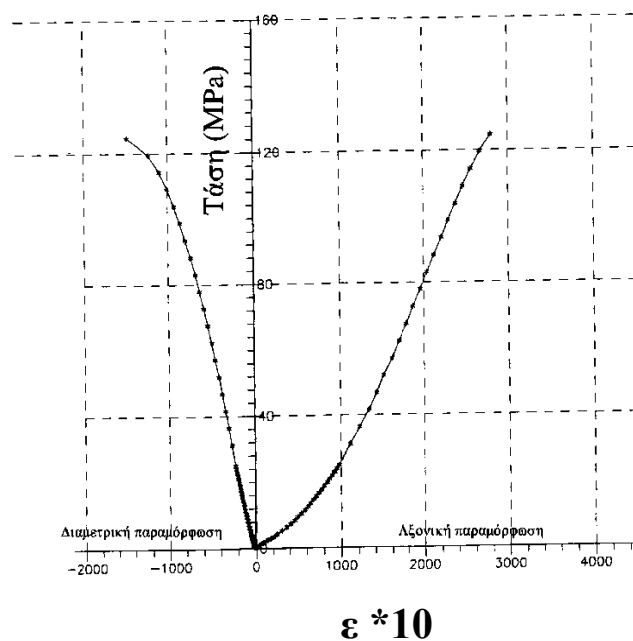
$$\varepsilon_x = \Delta l_x / l_x, \quad \varepsilon_y = \Delta l_y / l_y \quad (1)$$

όπου  $\Delta l$  η μεταβολή του μήκους που μετράει ο μετρητής και  $l$  το μήκος στο οποίο γίνεται αυτή η μέτρηση (3 cm). Για την περίπτωση των ηλεκτρικών μηκυνσιομέτρων, τα μεγέθη  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  δίνονται από τις ενδείξεις των ενισχυτών του, πολλαπλασιαζόμενες με κατάλληλο συντελεστή.

Η θλιπτική τάση με την οποία καταπονείται το δοκίμιο, δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma = P / A_0 \quad (2)$$

όπου  $P$  το θλιπτικό φορτίο σε kN, και  $A_0$  το εμβαδόν της βάσης του κυλινδρικού δοκιμίου όπως μετρίεται πριν από τη δοκιμή.



Σχήμα 3.3 Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης πετρώματος (Τσουτρέλης et al., 2000).



Το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας ( $E_t$ ) υπολογίζεται από την καμπύλη τάσης - αξονικής παραμόρφωσης ως εξής: Σε σημείο που αντιστοιχεί σε κάποιο ποσοστό της μέγιστης τάσεως (συνήθως το 50%) φέρεται η εφαπτομένη. Η κλίση της ευθείας αυτής είναι το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας ( $E_{\text{μεσο}}$ ). Το μέσο μέτρο ελαστικότητας ( $E_{\text{μεσο}}$ ) υπολογίζεται από την μέση κλίση του ευθύγραμμου χονδρικά τμήματος της ίδιας καμπύλης (Σχήμα 3.1). Το τέμνον μέτρο ελαστικότητας ( $E_t$ ) υπολογίζεται από την κλίση της ευθείας που χαράσσεται στην ίδια καμπύλη, για τιμές τάσεως μεταξύ 0 και συνήθως 50% της μέγιστης τάσεως (Σχήμα 3.1). Τα μέτρα ελαστικότητας εκφράζονται συνήθως σε GPa.

Για τον προσδιορισμό του λόγου του Poisson σχεδιάζονται οι καμπύλες αξονικής τάσης-αξονικής παραμόρφωσης και αξονικής τάσης - διαμετρικής παραμόρφωσης που φαίνονται στο Σχήμα 3.3. Σε συνέχεια υπολογίζονται οι κλίσεις τους  $\Delta\sigma/\Delta\epsilon_a$ ,  $\Delta\sigma/\Delta\epsilon_d$ . Ο λόγος του Poisson υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\nu = \frac{\Delta\sigma/\Delta\epsilon_a}{\Delta\sigma/\Delta\epsilon_d} \quad (3)$$

όπου η κλίση της καμπύλης τάσεως-διαμετρικής παραμόρφωσης υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο που υπολογίστηκε κάθε μία από τις τρεις κλίσεις της καμπύλης τάσεως-αξονικής παραμόρφωσης, για τον προσδιορισμό των μέτρων ελαστικότητας. Αποτελέσματα τέτοιων δοκιμών βρίσκονται στη βιβλιογραφία (π.χ. Lama and Voutoukouri, 1978).

### 3.1.2 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας.

Για τις απαιτήσεις της παρούσας διπλωματικής διατριβής πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη σε δείγματα δολομίτη Πιρναρής, κροκαλοπαγή και τραβερτίνη. Για την εκτέλεση των δοκιμών αυτών χρησιμοποιήθηκε μηχανή της εταιρίας Controls (Εικόνα 3.6) του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και του συστεγαζόμενου Εργαστηρίου Διάνοιξης Σηράγγων και λογισμικό της Advantest (Εικόνα 3.7 και 3.8), που αποτελείται από:

Δακτύλιο προσαρμογής του δοκιμίου, αποτελούμενο από δύο σιαγόνες φόρτισης, σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εφάπτονται στο μορφής δίσκου δοκίμιο

πετρώματος, σε δύο διαμετρικά αντίθετες επιφάνειες κατά ένα μήκος τόξου  $1^\circ$  τη στιγμή της αστοχίας (Σχήμα 3.9).

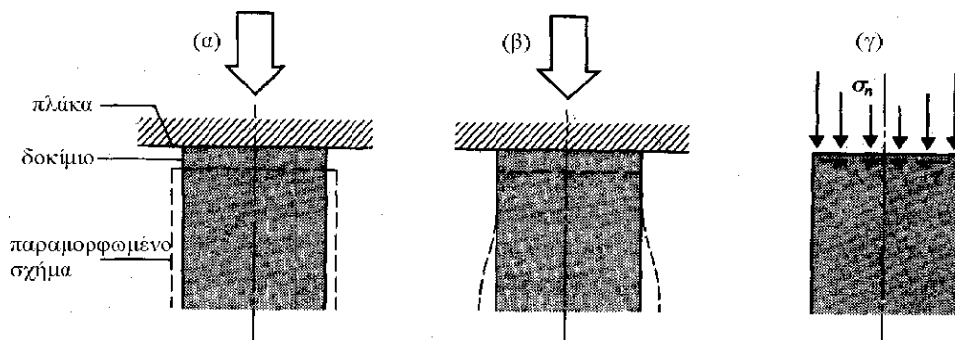
Κατάλληλη μηχανή για την εφαρμογή και μέτρηση θλιπτικού φορτίου στο δοκίμιο. Η μηχανή είναι δυναμικότητας 250 kN.

Στα επόμενα κεφάλαια παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών.

### 3.1.3 Παράγοντες διαφοροποίησης των αποτελεσμάτων

#### ➤ Επίδραση των άκρων

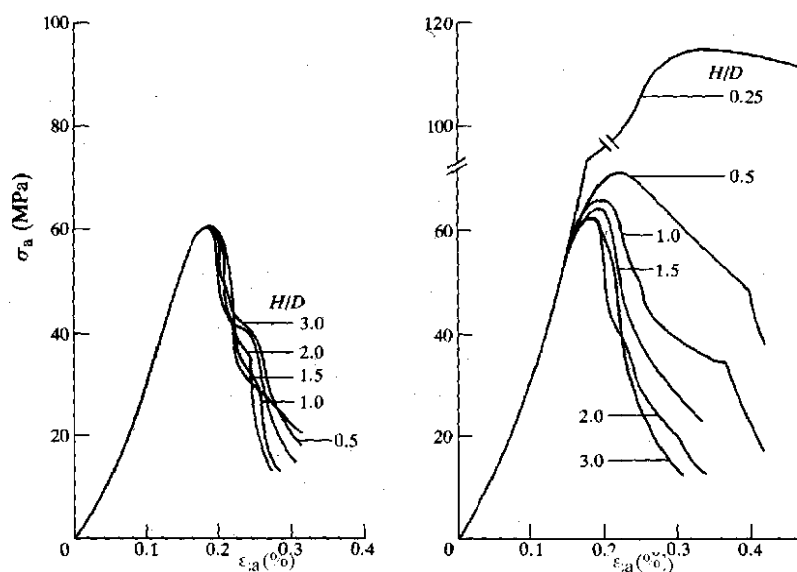
Στο Σχήμα 3.4 παρατηρούμε την επιδιωκόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου (α). Στα σχήματα (β) και (γ) παρατηρούμε την παρουσιαζόμενη συμπεριφορά του δοκιμίου λόγω πλήρους καταναγκασμού της διαστολής στα άκρα (Σοφιανός & Νομικός, 2008).



Σχήμα 3.4 Επίδραση του καταναγκασμού των άκρων στις τάσεις και παραμορφώσεις του δοκιμίου (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

#### ➤ Επίδραση της λυγηρότητας

Στο αριστερό διάγραμμα στο Σχήμα 3.5 παρατηρούμε τη μικρή επίδραση της λυγηρότητας στην απόκριση του δοκιμίου σε θλίψη, στην περίπτωση χρήσης πλακών φόρτισης με ακίδες. Αντίθετα στο δεξιό διάγραμμα παρατηρούμε τη σημαντική αύξηση της αντοχής στην περίπτωση κοντών δοκιμίων (Σοφιανός & Νομικός, 2008).



Σχήμα 3.5 Επίδραση της λυγρότητας στις καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων (Brown & Gonano, 1975).

#### ➤ Επίδραση του όγκου

Έχει παρατηρηθεί συχνά ότι για παρόμοια σχήμα του δοκιμίου, η μονοαξονική αντοχή μειώνεται με τον όγκο. Για την εξήγηση του φαινομένου έχουν προταθεί πολλές θεωρίες, χωρίς όμως γενική αποδοχή. Οι πλέον ικανοποιητικές είναι εκείνες στις οποίες η επιφανειακή ενέργεια χρησιμοποιείται ως η βασική ιδιότητα του υλικού (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

#### ➤ Επίδραση της ταχύτητας της δοκιμής

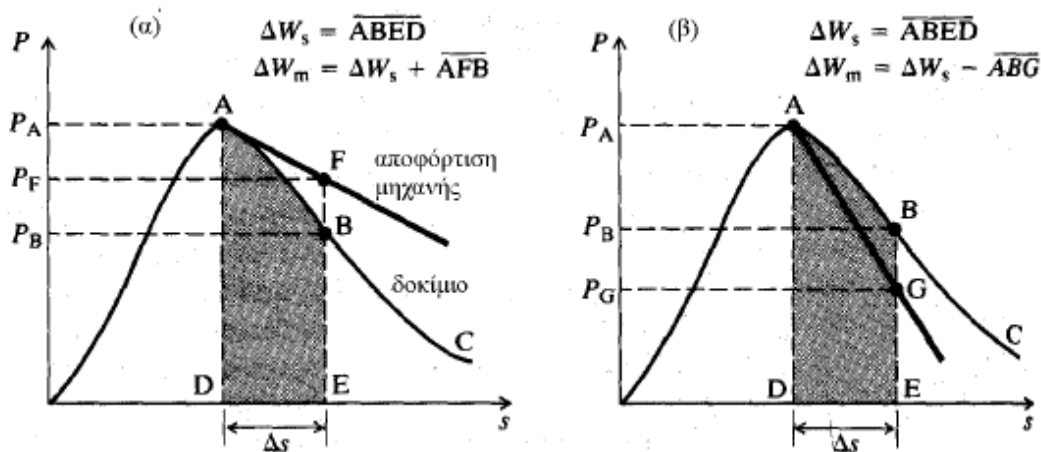
Με την αύξηση της ταχύτητας της δοκιμής αυξάνεται και η αντοχή του δοκιμίου. Εν τούτοις, μεταβολή του ρυθμού φόρτισης από  $10^{-8}/s$  σε  $10^2/s$  διπλασιάζει μόνον τη μετρούμενη αντοχή (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

### 3.1.4 Συμπεριφορά μετά την μέγιστη αντοχή

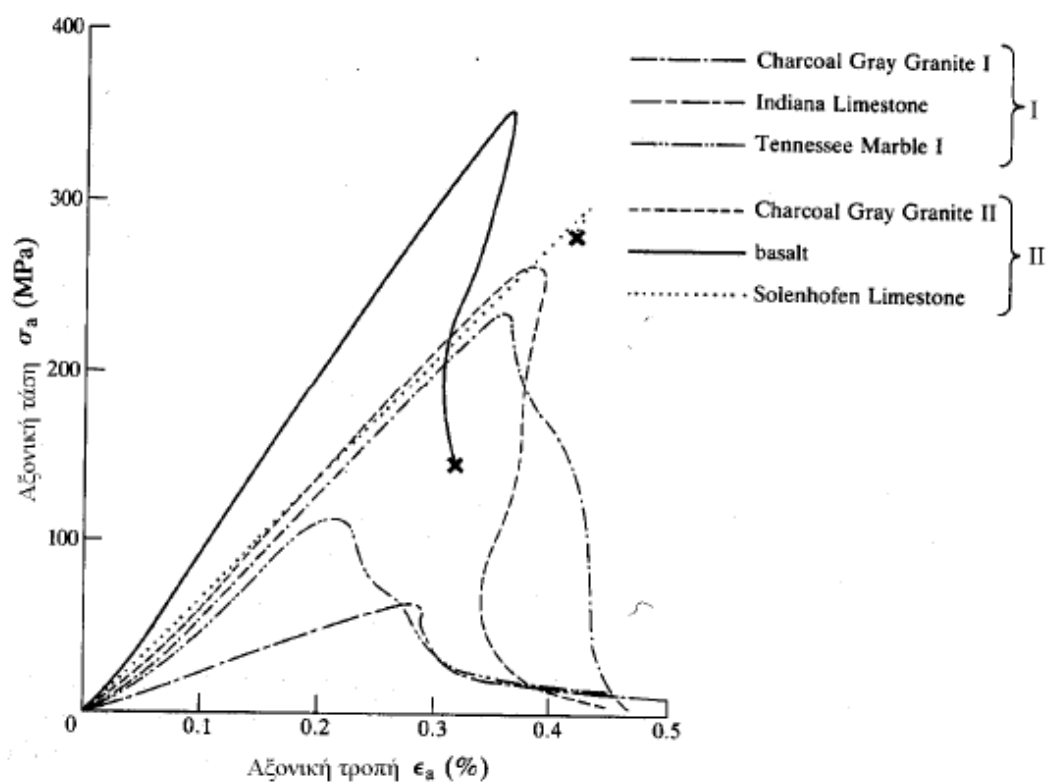
Η μέτρηση της αντοχής μετά την επίτευξη της μέγιστης τιμής απαιτεί τη χρήση δύσκαμπτων μηχανών φόρτισης.

Οι εύκαμπτες μηχανές καταστρέφουν το δοκίμιο μετά την επίτευξη της μέγιστης τιμής της αντοχής. Στο Σχήμα 3.6 παρατηρούμε το φαινόμενο.

Η μετά τη θραύση συμπεριφορά του δοκιμίου διακρίνει τα πετρώματα σε δύο τύπους (Σχήμα 3.7). Ο τύπος I, μετά τη θραύση επιτυγχάνει αύξηση των παραμορφώσεων με τη μείωση του φορτίου. Αντίθετα, ο τύπος II, μετά τη θραύση, δεν μπορεί να επιτύχει σταθερή κατάσταση με αύξηση των παραμορφώσεων (Σοφιανός & Νομικός, 2008).



Σχήμα 3.6 Σχήμα καμπάνας της καμπύλης τάσεων – παραμορφώσεων (Brady & Brown, 1993).



Σχήμα 3.7 Καμπύλες τάσεις παραμόρφωσης τύπου I και II (Waversick & Fairhurst, 1970)

### 3.2 Δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα (δοκιμή Brazilian).

Χρησιμοποιούμε τη δοκιμή αυτή για την έμμεση μέτρηση της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονικό εφελκυσμό. Ένα δοκίμιο σε μορφή δίσκου (Εικόνα 3.5) υποβάλλεται σε φόρτιση κατά γενέτειρα μέχρι θραύσης. Υπό αυτές τις συνθήκες φόρτισης το δοκίμιο αστοχεί κατά τη διάμετρο φόρτισης σε εφελκυσμό και η εφελκυστική τάση, που προκαλεί την αστοχία αυτή, θεωρείται ότι είναι ίση με την αντοχή του δοκιμίου σε μονοαξονικό εφελκυσμό (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

Τα περισσότερα πετρώματα, όταν βρεθούν σε διαξονικό εντατικό πεδίο, αστοχούν σε εφελκυσμό όταν η μία κύρια τάση είναι εφελκυστική και η άλλη κύρια τάση θλιπτική και εφ' όσον το μέγεθος της τελευταίας δεν υπερβαίνει το τριπλάσιο της κύριας εφελκυστικής τάσης. Η δοκιμή βασίζεται στο γεγονός αυτό (Σοφιανός & Νομικός, 2008).



Εικόνα 3.5 Δοκίμιο σε μορφή δίσκου.

### 3.2.1 Θεωρία της δοκιμής

Στην περίπτωση δίσκου από ομοιογενές, ισότροπο και γραμμικώς ελαστικό υλικό, ο οποίος φορτίζεται ομοιόμορφα κατά γενέτειρα, είναι δυνατό, με βάση τη θεωρία της ελαστικότητας, να υπολογισθούν οι τάσεις εφελκυσμού  $\sigma_\theta$  και θλίψεως  $\sigma_r$ , κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως Y-Y'.

Η μεταβολή των τάσεων αυτών κατά μήκος της Y-Y' δίνεται στο Σχήμα 8, για την περίπτωση όπου  $\theta = \tan^{-1}(1/12) \rightarrow 2\theta = 9,5^\circ$ . Από αυτήν προκύπτει ότι η τάση  $\sigma_\theta$ , με εξαίρεση τις αντιδιαμετρικές περιοχές φορτίσεως είναι εφελκυστική στο μεγαλύτερο τμήμα της διαμέτρου Y-Y' και ταυτόχρονα σταθερή.

Η εφελκυστική αυτή τάση δίνεται από τη σχέση:

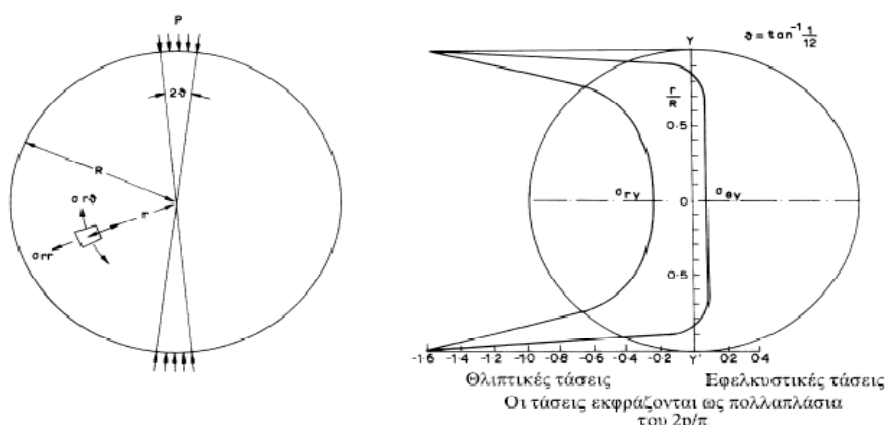
$$\sigma_\theta = -\frac{P}{\pi.R.t} \cdot \left\{ \frac{\sin 2\theta}{\theta} - 1 \right\} \quad (1)$$

όπου: P = επιβαλλόμενη δύναμη τη στιγμή της αστοχίας

R = ακτίνα του μορφής δίσκου δοκιμίου.

t = πάχος του μορφής δίσκου δοκιμίου.

$2\theta$  = τόξο γωνίας στο οποίο δρα ομοιόμορφα η δύναμη P επί του δοκιμίου.



**Σχήμα 3.8** Μεταβολή της εφελκυστικής και της θλιπτικής τάσης κατά μήκος της διαμέτρου Y-Y' για φόρτιση υπό γωνία  $2\theta=9.5^\circ$  (Fairhurst, 1964).

Η παραπάνω σχέση, για μικρές γωνίες  $2\theta$ , δίνεται με ικανοποιητική προσέγγιση από την σχέση:

$$\sigma_{\theta} = - \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot t} \quad (2)$$

όπου  $D = 2R =$  διάμετρος του δοκιμίου.

Οι σχέσεις (1) και (2) χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της αντοχής σε εφελκυσμό του πετρώματος, υπό την προϋπόθεση ότι κατά την πειραματική διαδικασία παρατηρείται έναρξη αστοχίας του δοκιμίου κατά μήκος της διαμέτρου φορτίσεως.

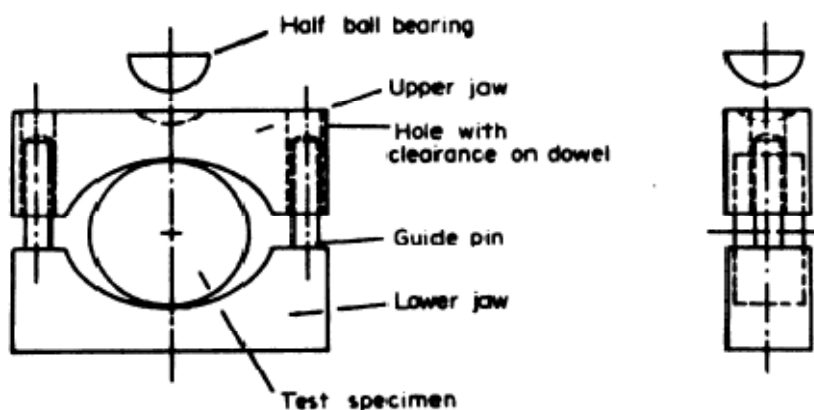
### 3.2.2 Πρότυπη διαδικασία

Σύμφωνα με τις οδηγίες της ISRM (1978), η δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε δοκίμια πετρώματος μορφής δίσκου (Εικόνα 3.5 και Σχήμα 3.9). Βάση αυτής, τα δοκίμια αποκόπηκαν και προετοιμάστηκαν με χρήση καθαρού νερού (βλ. Εικόνες 3.1 και 3.2). Οι κυλινδρικές επιφάνειες έπρεπε να είναι ελεύθερες από εμφανή σημεία των εργαλείων (χρησιμοποιώντας την λειαντική μηχανή της Εικόνας 3.3) και οι όποιες ανωμαλίες τους δεν έπρεπε να υπερβαίνουν τα 0.025 mm. Ο προσανατολισμός του δοκιμίου θα πρέπει να είναι γνωστός, ενώ η διάμετρος του δεν πρέπει να είναι μικρότερη από NX (54,7 mm), και το πάχος του ίσο με την ακτίνα του. Η φόρτιση του δοκιμίου πρέπει να είναι συνεχής και να πραγματοποιείται με σταθερό ρυθμό. Επιλέχθηκε ρυθμός φόρτισης 200 N/s (20 kgf/s).

Το δοκίμιο φορτίζεται μέχρι τη στιγμή της αστοχίας του. Ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στην μέτρηση του φορτίου αστοχίας, καθόσον υπάρχουν περιπτώσεις όπου το δοκίμιο εξακολουθεί να αναλαμβάνει αυξημένα φορτία ακόμη και ύστερα από την αστοχία του. Σημειώνεται ότι κατά την αρχική αστοχία του δοκιμίου παρατηρείται μια μικρής διάρκειας παύση στην κίνηση του σχετικού δείκτη. Παρά ταύτα, η διαφορά μεταξύ του φορτίου αρχικής θραύσεως και του τελικού φορτίου, που δύναται να αναλάβει το δοκίμιο είναι το πολύ 5 %.

Ο αριθμός των απαιτούμενων δοκιμών ανά δείγμα καθορίζεται από τη διαθέσιμη ποσότητα δείγματος. Η ISRM προτείνει 10 δοκιμές ανά δείγμα.





Σχήμα 3.9 Πειραματική διάταξη δοκιμής αντιδιαμετρικής θλίψης.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής πετρώματος, που υπολογίζεται από τη δοκιμή Brazilian επηρεάζεται από τη γωνία  $2\theta$ , στο τόξο της οποίας εφαρμόζεται το θλιπτικό φορτίο, το λόγο πάχους προς διάμετρο του δοκιμίου ( $t/D$ ), το πάχος του δοκιμίου και το ρυθμό φορτίσεως.

Η γωνία  $2\theta$  λαμβάνεται μεταξύ  $10-14^\circ$ , ο λόγος  $t/D=0.5$  και  $t=25-30$  mm. Αύξηση του λόγου  $t/D$  οδηγεί σε μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό του δοκιμίου, ενώ αύξηση του ρυθμού φορτίσεως δίνει γενικά αύξηση της αντοχής.

### 3.2.3 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας

Δοκίμια από σχιστόλιθο Βάρης, δολομίτη Πιρναρής και τραβερτίνη εξετάστηκαν με τη δοκιμή αυτή. Στον σχιστόλιθο ο προσανατολισμός της δειγματοληψίας ήταν παράλληλος προς το επίπεδο σχιστότητας, τα δε δοκίμια τοποθετήθηκαν στην συσκευή έτσι, ώστε η διάμετρος φόρτισης να είναι παράλληλη προς το επίπεδο σχιστότητας. Χρησιμοποιήθηκε μηχανή της εταιρείας Controls (Εικόνα 3.6) και λογισμικό της Advantest (Εικόνα 3.7 και 3.8), που αποτελείται από:

Δακτύλιο προσαρμογής του δοκιμίου, αποτελούμενο από δύο σιαγόνες φόρτισης, σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να εφάπτονται στο μορφής δίσκου δοκίμιο πετρώματος, σε δύο διαμετρικά αντίθετες επιφάνειες κατά ένα μήκος τόξου  $1^\circ$  τη στιγμή της αστοχίας (Σχήμα 3.9).

Κατάλληλη μηχανή για την εφαρμογή και μέτρηση θλιπτικού φορτίου στο δοκίμιο. Η μηχανή είναι δυναμικότητας 250 kN.

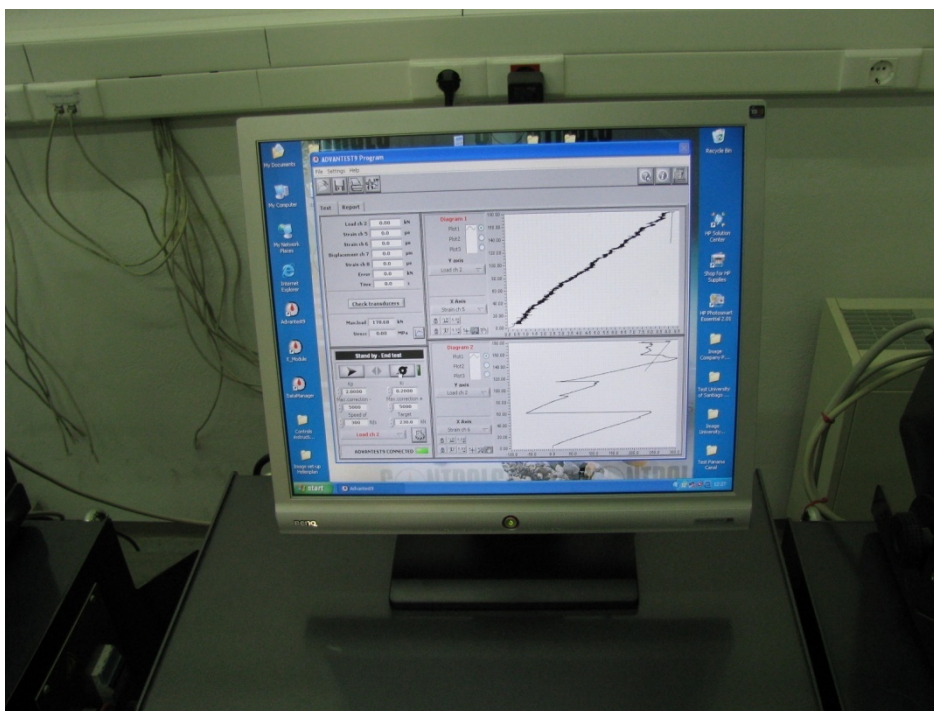
Στα επόμενα κεφάλαια παρατίθενται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών.



Εικόνα 3.6 Η μηχανή θλίψης.



Εικόνα 3.7 Το σύστημα μέτρησης των δοκιμών που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 3.8 Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.

### 3.3 Δοκιμή Σημειακής Φόρτισης (PLT)

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης (Εικόνα 3.9) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αντοχής δοκιμίων πετρωμάτων τόσο στο ύπαιθρο όσο και στο εργαστήριο. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών. Από τη δοκιμή λαμβάνεται ο Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_s(s_0)$ , ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατάταξη των πετρωμάτων από πλευράς αντοχής αλλά και για την έμμεση εκτίμηση χονδρικά της αντοχής του πετρώματος σε μονοαξονική θλίψη και μονοαξονικό εφελκυσμό. Από τα αποτελέσματα της δοκιμής σε διαφόρων διαστάσεων δοκίμια πετρώματος μπορεί επίσης να μελετηθεί και η επίδραση του όγκου του δοκιμίου στην αντοχή του (Σοφιανός & Νομικός, 2008). Η δοκιμή σημειακής φορτίσεως μπορεί να πραγματοποιηθεί σε κυλινδρικά δοκίμια αξονικά (Εικόνα 3.10) ή αντιδιαμετρικά (Εικόνα 3.11), καθώς και σε ορθογωνικά ή ακανόνιστης μορφής δοκίμια (Εικόνα 3.12).

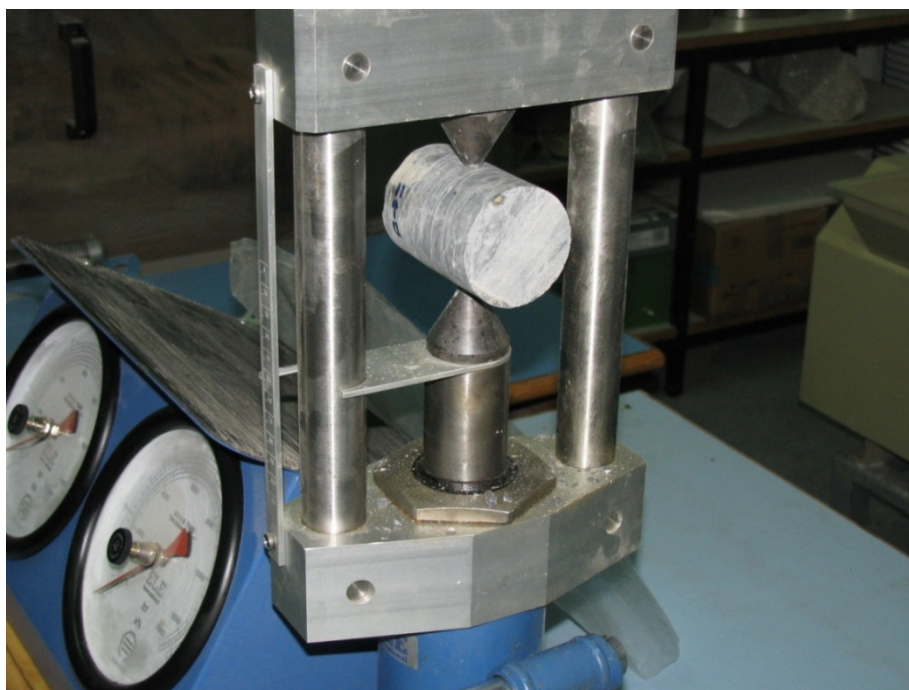


Εικόνα 3.9 Η μηχανή δοκιμής σημειακής φόρτισης.





Εικόνα 3.10 Αξονική σημειακή φόρτιση δοκιμίου.



Εικόνα 3.11 Διαμετρική σημειακή φόρτιση δοκιμίου.



Εικόνα 3.12 Δοκιμή σημειακής φόρτισης ακανόνιστου δείγματος.

### 3.3.1 Θεωρία της δοκιμής

Με τη φόρτιση του δοκιμίου μεταξύ των ακμών φόρτισης το δοκίμιο θραύεται σε εφελκυσμό κατ' αναλογία με τη δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα. Το φορτίο επομένως στο οποίο θραύεται το δοκίμιο συναρτάται άμεσα με την αντοχή του πετρώματος σε εφελκυσμό και έμμεσα με την αντοχή του σε θλίψη. Ο μη διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση (Uncorrected Point Load Strength Index)  $I_s$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (1)$$

όπου:

P το φορτίο τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου

$D_e$  η ισοδύναμη διάμετρος του δοκιμίου, η οποία υπολογίζεται ως εξής:

$D_e^2 = D^2$  για την περίπτωση διαμετρικής δοκιμής

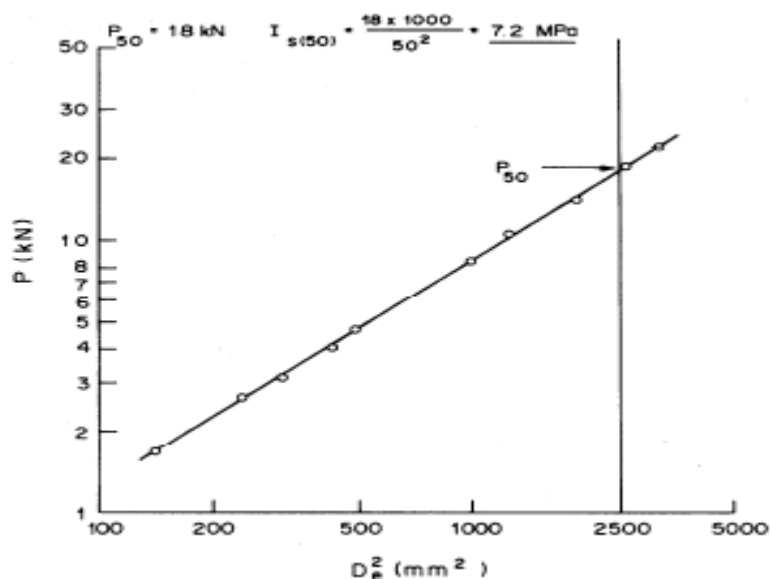
= $4A/\pi$  για την περίπτωση αξονικής δοκιμής και δοκιμής ορθογωνικού ή ακανόνιστου δοκιμίου, όπου  $A=W \times D$  η επιφάνεια του επιπέδου που διέρχεται από τα σημεία φόρτισης (Σχήμα 3.12, αριστερά).

Για να είναι συγκρίσιμα τα αποτελέσματα δοκιμών σε διάφορες διαμέτρους απαιτείται διόρθωση του ως ανωτέρω υπολογιζόμενου δείκτη  $I_s$ , ο οποίος είναι συνάρτηση της ισοδύναμης διαμέτρου  $D_e$  του δοκιμίου. Ο διορθωμένος Δείκτης Αντοχής σε Σημειακή Φόρτιση  $I_{s(50)}$  (size-corrected Point Load Strength Index) ορίζεται ως η τιμή του  $I_s$  όταν πραγματοποιείται διαμετρική δοκιμή με  $D = 50$  mm.

Η καλύτερη μέθοδος για τον υπολογισμό του  $I_{s(50)}$  είναι η πραγματοποίηση διαμετρικής δοκιμής με διάμετρο  $D$  να πλησιάζει τα 50 mm, ώστε είτε να μην απαιτείται διόρθωση ή αυτή να εισάγει ελάχιστο σφάλμα (π.χ. στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται δοκίμια διαμέτρου NX,  $D=54.7$  mm).

Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την πραγματοποίηση της διόρθωσης είναι η εκτέλεση μίας σειράς δοκιμών με διάφορες διαμέτρους  $D$  ή  $D_e$  και η γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων σε σύστημα αξόνων ( $P, D_e^2$ ) (Σχήμα 3.10). Εάν χρησιμοποιηθούν λογαριθμικές κλίμακες αξόνων η σχέση  $P - D_e^2$  είναι μία ευθεία από την οποία μπορεί να προσδιορισθεί γραφικά η τιμή  $P_{50}$ , η οποία αντιστοιχεί σε  $D_e^2=2500$  mm<sup>2</sup> ( $D_e=50$ mm). Ο δείκτης  $I_{s(50)}$  υπολογίζεται τότε από τη σχέση:

$$I_{s(50)} = \frac{P_{(50)}}{50^2} \quad (2)$$



**Σχήμα 3.10** Αποτελέσματα δοκιμών σημειακής φόρτισης για διάφορες  $D_e$  και γραφικός υπολογισμός του  $P_{50}$ .

Όταν τα παραπάνω δεν είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν, τότε η διόρθωση μεγέθους μπορεί να γίνει με τη σχέση:

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (3)$$

όπου  $F$  ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους (Size Correction Factor,  $F$ ), ο οποίος λαμβάνεται είτε από το Σχήμα 3.11, είτε από τη σχέση:

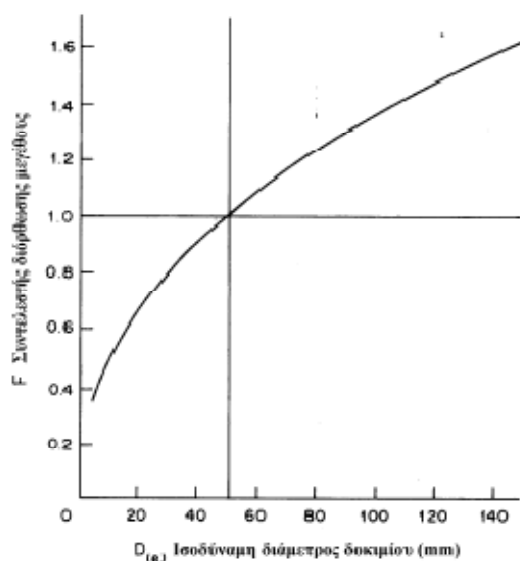
$$F = (D_e/50)^{0.45} \quad (4)$$

Όταν η ισοδύναμη διάμετρος  $D_e$  πλησιάζει τα 50 mm, τότε για τον υπολογισμό του  $F$  μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσεγγιστική σχέση:

$$F = \sqrt{(D_e/50)} \quad (5)$$

Σύμφωνα με τις οδηγίες της I.S.R.M. η παραπάνω διόρθωση μεγέθους είναι εφαρμόσιμη ανεξάρτητα από τη ύπαρξη ανισοτροπίας στο πέτρωμα και από τη διεύθυνση της φορτίσεως σε σχέση με τα επίπεδα αδυναμίας του πετρώματος. Ο Πίνακας 3.1 δίνει τον χαρακτηρισμό της αντοχής του πετρώματος με βάση την τιμή του δείκτη.





Σχήμα 3.11 Διάγραμμα γραφικού υπολογισμού του συντελεστή διόρθωσης μεγέθους F.

Πίνακας 3.1 Ταξινόμηση πετρώματος με βάση τον δείκτη σημειακής φόρτισης  $I_s(50)$  σε MPa (Bieniawski, 1975).

Περιγραφή	Δείκτης σημειακής φόρτισης $I_s(50)$ (MPa)
Πολύ υψηλής αντοχής	>8
Υψηλής αντοχής	4-8
Μέσης αντοχής	2-4
Χαμηλής αντοχής	1-2
Πολύ χαμηλής αντοχής	Δεν συνίσταται η δοκιμή (<1)

Ο Δείκτης Ανισοτροπίας της Αντοχής σε σημειακή φόρτιση  $I_a(50)$  (Strength Anisotropy Index) ορίζεται ως ο λόγος του δείκτη  $I_s(50)$  για φόρτιση κάθετα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος ως προς τον δείκτη  $I_s(50)$  για φόρτιση παράλληλα προς το επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος. Ο δείκτης  $I_a(50)$  λαμβάνει τιμές κοντά στο 1.0 για την περίπτωση σχετικά ισότροπου πετρώματος και μεγαλύτερες τιμές όταν το πέτρωμα είναι ανισότροπο.

Σύμφωνα με τους Broch and Franklin (1972) ο μέσος όρος του δείκτη  $I_{S(50)}$ , που έχει προκύψει ύστερα από την εκτέλεση σημαντικού αριθμού δοκιμών, σε κυλινδρικής μορφής δοκίμια σε διαμετρική δοκιμή, μπορεί να συσχετισθεί με τη μονοαξονική αντοχή πετρώματος σε θλίψη. Για δοκίμια με  $D=50$  mm, βρέθηκε ότι:

$$\sigma_c \approx 12,4 \cdot I_s \quad (6)$$

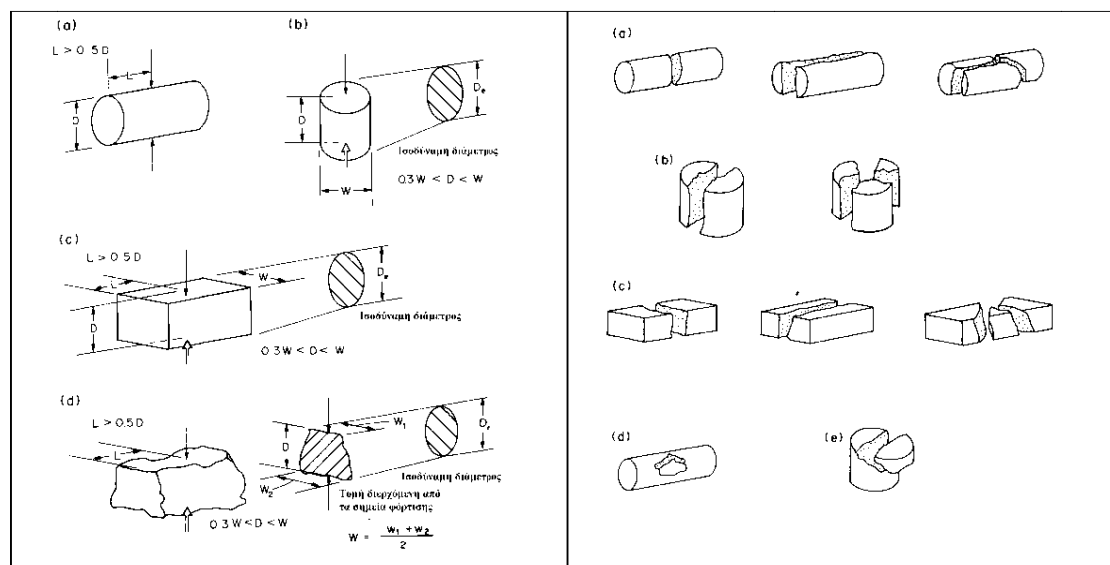
Για άλλες τιμές της διαμέτρου  $D$  απαιτείται μια σχετική διόρθωση. Ο Bieniawski (1975) προτείνει την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση μεταξύ των  $\sigma_c$ ,  $I_s$  και τη διάμετρο  $D$  (mm) του πυρήνα:

$$\sigma_c \approx (14 + 0.175 \cdot D) \cdot I_s \quad (7)$$

### 3.3.2 Πρότυπη διαδικασία

Η ISRM (1985) δίνει οδηγίες για την εκτέλεση τεσσάρων τύπων δοκιμής, (Σχήμα 3.12): (α) Διαμετρική δοκιμή, (β) Αξονική δοκιμή, (γ) Δοκιμή ορθογωνικού δοκιμίου και (δ) Δοκιμή ακανόνιστου δοκιμίου.

Η διαμετρική δοκιμή, (Εικόνα 3.11, Σχήμα 3.12<sub>a</sub>) πραγματοποιείται με αντιδιαμετρική φόρτιση ενός τεμαχίου πυρήνα μέχρι θραύσης με ένα ζεύγος χαλύβδινων ακμών. Κατάλληλα δοκίμια για την εκτέλεση της δοκιμής θεωρούνται αυτά με λόγο μήκους προς διάμετρο μεγαλύτερο από 1.0. Η απόσταση  $D$  μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με τη διάμετρο του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10-60 sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 3.12<sub>d</sub>, δεξιά).



**Σχήμα 3.12** Αριστερά: Τύποι δοκιμής σημειακής φόρτισης: (a) Διαμετρική δοκιμή, (b) Αξονική δοκιμή, (c) Δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο και (d) Δοκιμή σε ακανόνιστο δοκίμιο. Δεξιά: Τυπικές μορφές αστοχίας του δοκιμίου κατά τη δοκιμή σημειακής φορτίσεως: (a) Αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (b) Αποδεκτή αξονική δοκιμή, (c) Αποδεκτή δοκιμή σε ορθογωνικό δοκίμιο, (d) Μη αποδεκτή διαμετρική δοκιμή, (e) Μη αποδεκτή αξονική δοκιμή (Σοφριανός - Νομικός, 2008).

Η αξονική δοκιμή πραγματοποιείται με φόρτιση του δοκιμίου παράλληλα προς τον άξονά του (Σχήμα 3.12b). Τα χρησιμοποιούμενα δοκίμια πρέπει να έχουν λόγο ύψους προς διάμετρο 0.3/1.0. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως, που εδώ είναι ίση με το μήκος του δοκιμίου, καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το πλάτος του δοκιμίου W κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5\%$ . Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10 - 60 sec. Η δύναμη P στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης (Σχήμα 3.12e, δεξιά).

Η Δοκιμή Ορθογωνικού και Ακανόνιστου Δοκιμίου (Block Test and Irregular Lump Test) πραγματοποιείται σε δοκίμια ορθογωνικής ή ακανόνιστης μορφής που πρέπει να έχουν μέγεθος  $50 \pm 35$  mm και να είναι της μορφής που δίνεται στο Σχήμα 3.12c και Σχήμα 3.12d αντίστοιχα. Ο λόγος D/W πρέπει να είναι μεταξύ 0.3 και 1.0 και προτιμάται να πλησιάζει το 1.0. Η απόσταση L (Σχήμα 3.12c και Σχήμα 3.12d) πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5W. Η απόσταση D μεταξύ των ακμών φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 2\%$ . Το μικρότερο πλάτος του δοκιμίου W κάθετα προς τη διεύθυνση φορτίσεως καταγράφεται με ακρίβεια  $\pm 5\%$ . Εάν οι πλευρές του δοκιμίου δεν είναι

παράλληλες τότε το  $W$  υπολογίζεται ως  $W=(W1 + W2) / 2$  όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.12<sub>d</sub>. Το φορτίο αυξάνεται σταδιακά ώστε το δοκίμιο να αστοχήσει σε χρόνο 10/60 sec. Η δύναμη  $P$  στην οποία θραύεται ο πυρήνας δίνεται από το δείκτη καταγραφής φορτίου. Η δοκιμή δεν είναι αποδεκτή εάν η επιφάνεια αστοχίας του δοκιμίου διέρχεται μόνο από το ένα σημείο φόρτισης.

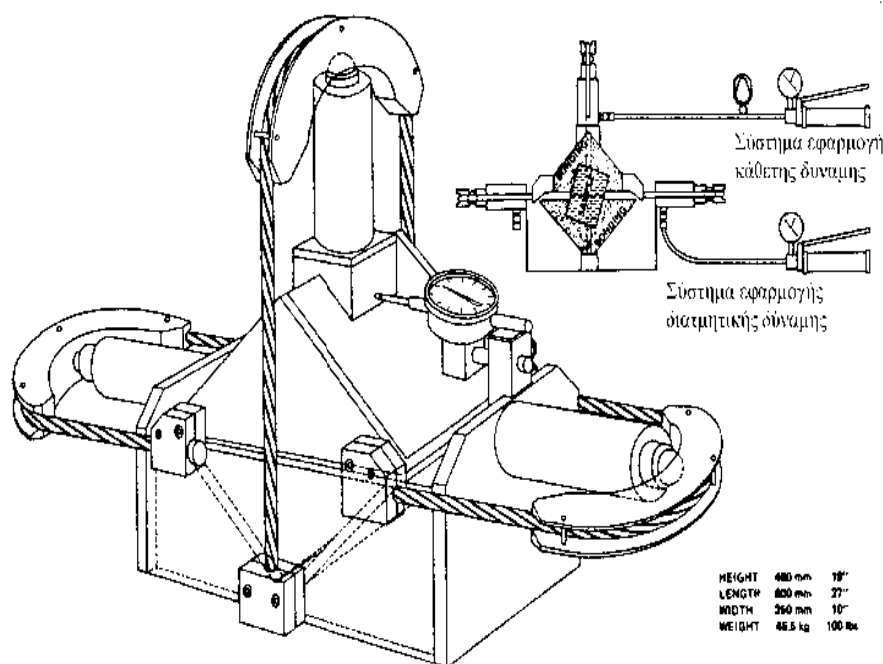
### **3.3.3 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας**

Η εργαστηριακή μηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι της εταιρείας ELE International, τύπου EL77- 0110 (Εικόνα 9). Η μηχανή διαθέτει κατάλληλο σύστημα φόρτισης (αποτελούμενο από πλαίσιο φόρτισης, αντλία, έμβολο και ακμές φορτίσεως), αναλογικό σύστημα μέτρησης του επιβαλλόμενου φορτίου και σύστημα μέτρησης της απόστασης μεταξύ των ακμών φόρτισης. Σε επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται αναλυτικά όλες οι δοκιμές σημειακής φόρτισης που πραγματοποιήθηκαν.

### 3.4 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Χρησιμοποιούμε την δοκιμή άμεσης διάτμησης με σκοπό να προσδιορίσουμε την μέγιστη και παραμένουσα διατμητική αντοχή σε συνάρτηση με την ορθή τάση στο επίπεδο διάτμησης. Παρόλο που μπορούμε να εφαρμόσουμε την συγκεκριμένη δοκιμή για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής δοκιμίων άρρηκτου πετρώματος, συνήθως το επίπεδο διάτμησης ταυτίζεται με ένα επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος (π.χ. μία ασυνέχεια).

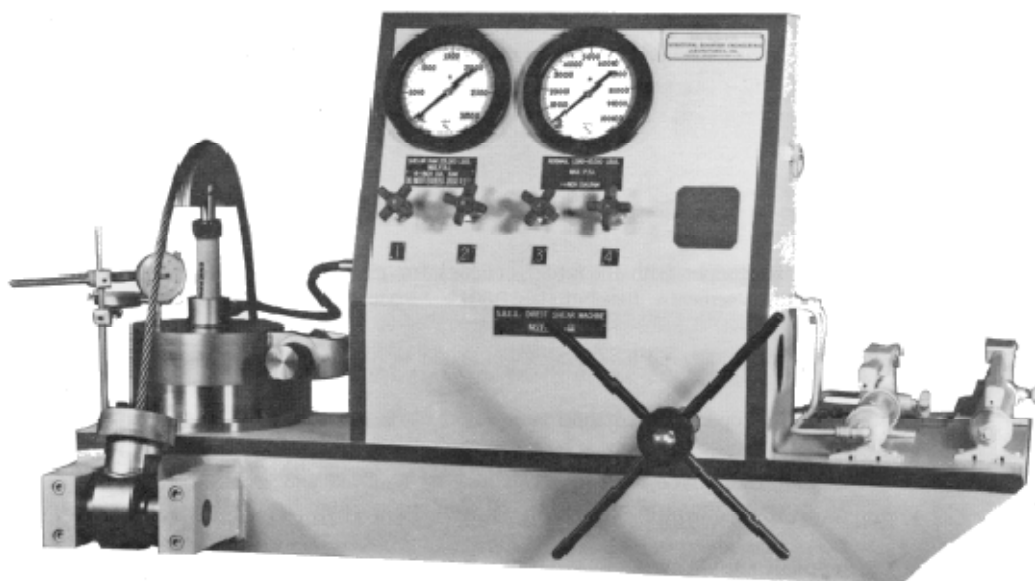
Η εργαστηριακή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής διάτμησης, μπορεί να είναι φορητή (σχήμα 3.13 και εικόνα 3.13) ή σταθερή σε μόνιμη θέση στο εργαστήριο (εικόνα 3.14).



**Σχήμα 3.13** Φορητή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής απευθείας διάτμησης (Field Shear Box, μοντέλο WF 40900).



Εικόνα 3.13 Φορητή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής απευθείας διάτμησης (Field Shear Box, μοντέλο WF 40900).



Εικόνα 3.14 Μη φορητή συσκευή απ' ευθείας διάτμησης της εταιρείας SBEL.

Η συσκευή πρέπει να περιλαμβάνει κατάλληλο σύστημα επιβολής ορθής και διατμητικής δύναμης (εικόνα 3.15) καθώς και σύστημα μέτρησης των δυνάμεων αυτών. Οι αναγνώσεις της κάθετης και διατμητικής μετατόπισης μπορεί να λαμβάνονται οπτικά [με αναλογικά βελόμετρα (εικόνα 3.16)] ή να προσαρμοσθεί κατάλληλο σύστημα αυτοματοποίησης, το οποίο να δίνει τις επιθυμητές ψηφιακές ενδείξεις.



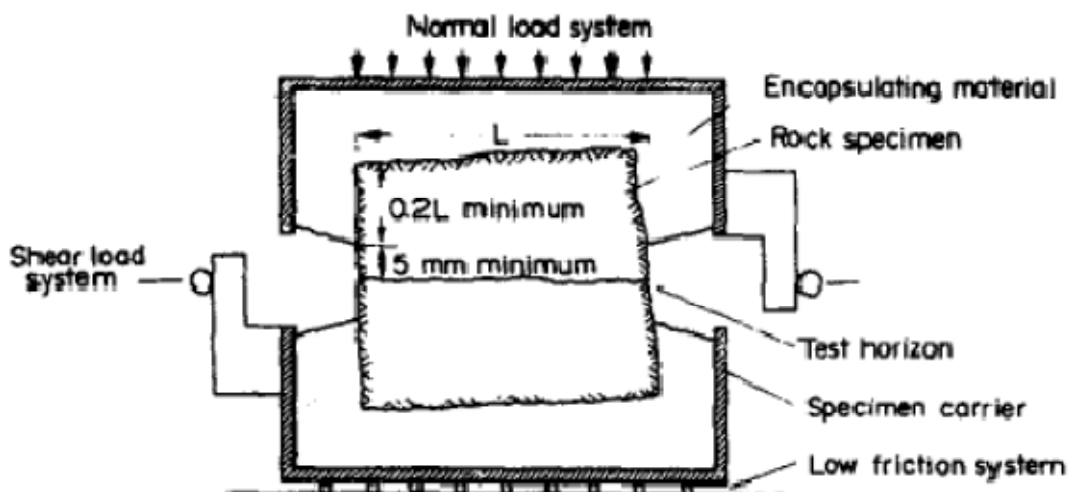
Εικόνα 3.15 Το σύστημα επιβολής ορθής και διατμητικής δύναμης.



Εικόνα 3.16 Αναλογικό μηκυσιόμετρο.

Η συσκευή που χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο της σχολής είναι φορητού τύπου. Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν είναι κυλινδρικά. Οι διαστάσεις τους και ο τρόπος μόρφωσης τους είναι τέτοια ώστε να μη χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία τους στο εργαστήριο. Το επίπεδο διατμήσεως πρέπει να είναι τετράγωνο ή κυκλικό με ελάχιστη επιφάνεια 2500 mm. Τα δύο τεμάχια του δοκιμίου εκατέρωθεν του επιπέδου αδυναμίας διατηρούνται σε επαφή μέχρι την στιγμή πραγματοποίησης της δοκιμής. Αυτό επιτυγχάνεται με το δέσιμο των τεμαχίων με μεταλλικό σύρμα μικρής διαμέτρου ή με πλαστική ταινία.

Τα δύο τεμάχια του δοκιμίου τοποθετούνται στη συσκευή, και εγκιβωτίζονται με κατάλληλο υλικό στερεώσεως του δείγματος (γύψος, τσιμέντο, ή ειδική ρητίνη), (σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.14 Εγκιβωτισμός του δοκιμίου με κατάλληλο υλικό σύνδεσης.



Η δοκιμή αρχίζει με την εφαρμογή της ορθής δύναμης (το στάδιο αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και σχετική στερεοποίηση) και στη συνέχεια της διατμητικής. Η αντίστοιχη ορθή και διατμητική τάση υπολογίζονται από τις σχέσεις:

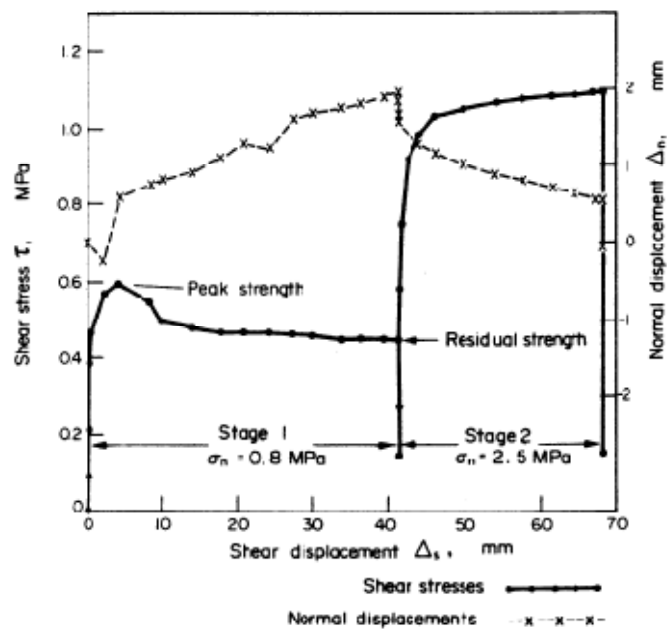
$$\text{Διατμητική τάση: } \tau = \frac{P_s}{A}$$

$$\text{Κάθετη τάση: } \sigma_n = \frac{P_n}{A}$$

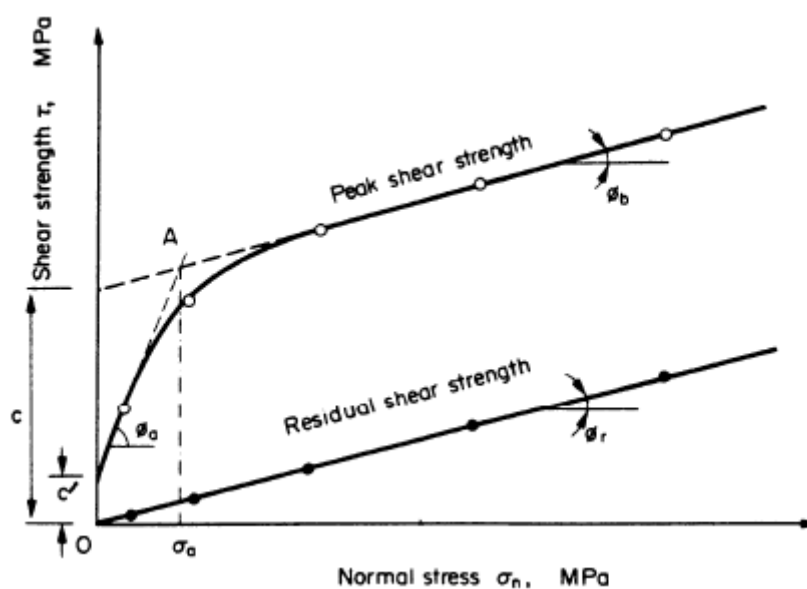
όπου  $P_s$  η ασκούμενη διατμητική δύναμη,  $P_n$  η ασκούμενη κάθετη δύναμη και  $A$  η επιφάνεια του επιπέδου διατμήσεως που είναι ενεργή την κάθε δεδομένη στιγμή.

Για κάθε δοκιμή κατασκευάζονται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης - διατμητικής μετατόπισης και ορθής τάσης - διατμητικής μετατόπισης. Από αυτά λαμβάνονται οι τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής και οι τιμές των αντίστοιχων ορθών και διατμητικών μετατοπίσεων. Εάν εκτελεστεί μία σειρά δοκιμών με διάφορες ορθές τάσεις τότε μπορούν να κατασκευαστούν διαγράμματα μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης, από τα οποία εξάγονται αποτελέσματα για τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής της ασυνέχειας. Συγκεκριμένα υπολογίζονται:

- Η παραμένουσα γωνία τριβής  $\Phi_r$  (residual friction angle).
- Η φαινόμενη γωνία τριβής  $\Phi_w$  για τιμές της ορθής τάσεως μικρότερες της τιμής  $\sigma_a$  (δηλαδή στην κλίμακα εκείνη των ορθών τάσεων που δεν καταστρέφεται πρακτικά η τραχύτητα της ασυνέχειας).
- Η φαινόμενη γωνία τριβής  $\Phi_b$ , για τιμές της κάθετης τάσεως μεγαλύτερες της τιμής  $\sigma_a$  (δηλαδή στην κλίμακα εκείνη των ορθών τάσεων που καταστρέφεται πρακτικά η τραχύτητα της ασυνέχειας). Η  $\Phi_b$  είναι συνήθως ίση, ή περίπου ίση, με την  $\Phi_r$ .
- Η συνοχή του επιπέδου της ασυνέχειας  $c'$  όπως υπολογίζεται από την καμπύλη της μέγιστης διατμητικής αντοχής. Η τιμή της  $c'$  είναι συχνά μηδενική.
- Η συνοχή του επιπέδου της ασυνέχειας  $c$  (παράμετρος διατμητικής αντοχής).



Σχήμα 3.15 Διαγράμματα διατμητικής τάσης – διατμητικής μετατόπισης που προκύπτουν από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης.



Σχήμα 3.16 Διάγραμμα μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης στο επίπεδο διάτμησης.

### 3.4.1 Πρότυπη διαδικασία

Προτεινόμενη από την ISRM μέθοδος προσδιορισμού της άμεσης διατμητικής αντοχής

#### Σκοπός

(α) Με τη δοκιμή αυτή μετρώνται η μέγιστη και παραμένουσα άμεση διατμητική αντοχή συναρτήσει της ορθής τάσης στο επίπεδο διάτμησης. Τα αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν π.χ. στην ανάλυση οριακής ισορροπίας προβλημάτων ευστάθειας πρανών ή για την ανάλυση ευστάθειας της θεμελίωσης φραγμάτων (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(β) Η κλίση του δοκιμίου σε σχέση με το επί τόπου πέτρωμα και ο προσανατολισμός κατά την στερέωση στη συσκευή της δοκιμής επιλέγονται συνήθως έτσι ώστε το επίπεδο διάτμησης να ταυτίζεται με ένα επίπεδο αδυναμίας του πετρώματος, όπως π.χ. μία ασυνέχεια, επίπεδο στρώσης, σχιστότητα ή σχισμός, ή με τη διεπιφάνεια εδάφους και πετρώματος ή πετρώματος και σκυροδέματος υποστήριξης (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(γ) Ο προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής θα πρέπει κατά προτίμηση να περιλαμβάνει τουλάχιστο πέντε (5) δοκιμές με τον ίδιο προσανατολισμό δείγματος με κάθε δοκίμιο να υποβάλλεται σε διαφορετική αλλά σταθερή κατά τη διάρκεια της δοκιμής ορθή τάση (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(δ) Κατά την εφαρμογή των αποτελεσμάτων της δοκιμής, οι συνθήκες πίεσης του νερού των πόρων και η πιθανότητα προοδευτικής αστοχίας πρέπει να συνεκτιμώνται κατά το σχεδιασμό καθώς μπορεί να διαφοροποιούνται από τις συνθήκες της δοκιμής (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

### Εργαστηριακή συσκευή

Ο εξοπλισμός για τη λήψη των δειγμάτων περιλαμβάνει:

(α) εξοπλισμό για την κοπή του δείγματος. Για παράδειγμα ένα δειγματολήπτη μεγάλης διαμέτρου, δίσκους κοπής, γεωλογικό σφυρί και καλέμι, καθώς και εξοπλισμό για τη μέτρηση της κλίσης, της διεύθυνσης κλίσης, της τραχύτητας και άλλων χαρακτηριστικών στοιχείων του επιπέδου διάτμησης (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(β) υλικά για τη συγκράτηση του δοκιμίου, π.χ. σύρμα ή μεταλλικά τσέρκια (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(γ) υλικά για την προστασία του δοκιμίου από μηχανική διαταραχή ή μεταβολές της φυσικής υγρασίας τόσο κατά τη διάρκεια της κοπής όσο και κατά τη μεταφορά στο εργαστήριο. Για παράδειγμα προστατευτικές συσκευασίες και μουσαμάδες ή παρόμοια υδατοστεγή υλικά (Σοφιανός & Νομικός, 2008) .

Εξοπλισμός προσαρμογής/στερέωσης του δοκιμίου συμπεριλαμβανομένων:

(α) φορείς του δείγματος που να σχηματίζουν ένα αποσυναρμολογούμενο τμήμα του εξοπλισμού της συσκευής (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

(β) τσιμέντο, γύψο, ρητίνη ή παρόμοια ισχυρά υλικά ενθυλάκωσης μαζί με κατάλληλα μέσα ανάμιξης (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

Εξοπλισμό εκτέλεσης της δοκιμής που να περιλαμβάνει:

(α) κατάλληλο μέσο για την εφαρμογή του ορθού φορτίου, τυπικά υδραυλικό, πνευματικό ή βασιζόμενο σε βάρη σύστημα, κατάλληλα σχεδιασμένο ώστε να εξασφαλίζεται ότι το φορτίο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το επίπεδο διάτμησης. Η συνισταμένη δύναμη πρέπει να δρα κάθετα στο επίπεδο διάτμησης και να διέρχεται από το κέντρο της διατμητικής επιφάνειας. Το σύστημα θα πρέπει να έχει διαδρομή φόρτισης μεγαλύτερη από την αναμενόμενη διαστολή ή συρρίκνωση και να είναι ικανό να διατηρήσει την ορθή δύναμη σταθερή εντός ποσοστού 2 % της επιλεγμένη τιμής καθ' όλη τη διάρκεια της δοκιμής.

(β) κατάλληλο μέσο για την εφαρμογή του διατμητικού φορτίου, τυπικά ένα υδραυλικό έμβολο ή ένα μηχανικό σύστημα, σχεδιασμένο ώστε το φορτίο να κατανέμεται ομοιόμορφα στη μία επιφάνεια διάτμησης και η συνισταμένη ορθή δύναμη να εφαρμόζεται στο επίπεδο διάτμησης. Ο εξοπλισμός θα πρέπει να είναι σχεδιασμένος για διαδρομή παράλληλα στο επίπεδο διάτμησης μεγαλύτερη από 10% του μήκους του δοκιμίου. Η διατμητική αντίσταση λόγω της κίνησης της συσκευής πρέπει να είναι μικρότερη από το 1% της μέγιστης διατμητικής δύναμης που εφαρμόζεται στη δοκιμή.

(γ) εξοπλισμό για την ανεξάρτητη μέτρηση των διατμητικών και ορθών δυνάμεων με ακρίβεια καλύτερη από  $\pm 2$  % των μέγιστων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη δοκιμή. Πρόσφατα δεδομένα βαθμονόμησης της συσκευής πρέπει να προσαρτώνται στην έκθεση των αποτελεσμάτων της δοκιμής.

(δ) εξοπλισμό για τη μέτρηση της διατμητικής, της ορθής και της πλευρικής μετατόπισης, για παράδειγμα αναλογικά βελόμετρα ή ηλεκτρικοί μοροτροπείς. Το σύστημα μέτρησης της διατμητικής μετατόπισης πρέπει να έχει διαδρομή μεγαλύτερη από 10% του μήκους του δοκιμίου και ακρίβεια 0.1 mm. Τα συστήματα μέτρησης της ορθής και της πλευρικής μετατόπισης πρέπει να έχουν διαδρομή μεγαλύτερη από 20 mm και ακρίβεια καλύτερη από 0.05 mm. Μηδενισμός των ενδείξεων των οργάνων κατά τη διάρκεια της δοκιμής θα πρέπει εάν είναι δυνατόν να αποφεύγεται. Εάν

χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί μορφοτροπείς ή ένα αυτόματο καταγραφικό σύστημα τότε μία πρόσφατη βαθμονόμηση πρέπει να περιλαμβάνεται στην έκθεση των αποτελεσμάτων (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

### Διαδικασία

- Προετοιμασία

(α) Επιλέγεται το επίπεδο της δοκιμής και καταγράφεται η κλίση, η διεύθυνση κλίσης και άλλα σχετικά γεωλογικά χαρακτηριστικά. Δείγματα (τεμάχια ή πυρήνες) που περιέχουν το επίπεδο διάτμησης συλλέγονται με μεθόδους ώστε να ελαχιστοποιείται η διαταραχή και εάν είναι δυνατόν με τρόπο ώστε να διατηρείται η φυσική υγρασία του δείγματος. Οι διαστάσεις του δείγματος και η θέση του επιθυμητού επιπέδου διάτμησης μέσα στο δείγμα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν, αν είναι δυνατόν, την απευθείας προσαρμογή του δείγματος στη συσκευή χωρίς περεταιίρω κοπή στο εργαστήριο, ενώ θα πρέπει να μένει αρκετός χώρος για την ενθυλάκωση του δείγματος. Το επίπεδο της δοκιμής θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι τετραγωνικό με επιφάνεια 2500 mm<sup>2</sup>. Η μηχανική ακεραιότητα του δείγματος πρέπει να προστατεύεται δένοντας σφικτά το δείγμα με μεταλλικό σύρμα ή ταινία που πρέπει να παραμένει στη θέση του μέχρι τη στιγμή της δοκιμής.

(β) Τα δείγματα που δε ενθυλακώνονται άμεσα για δοκιμή πρέπει να προστατεύονται με υδατοστεγή περιβλήματα, να χαρακτηρίζονται και να συσκευάζονται ώστε να αποφεύγεται η καταστροφή τους κατά τη μεταφορά στο εργαστήριο. Τα εύθρυπτα δείγματα απαιτούν ειδική μεταχείριση, όπως π.χ. συσκευασία με αφρό πολυουρεθάνης.

(γ) Η προστατευτική συσκευασία εκτός από το μεταλλικό σύρμα αφαιρείται και το τέμαχος στηρίζεται στον ένα από τους δύο φορείς του δείγματος ώστε το επίπεδο της δοκιμής να έχει σωστή θέση και προσανατολισμό. Περιχύνεται το υλικό ενθυλάκωσης και μετά τη σκλήρυνση του το άλλο μισό του δείγματος ενθυλακώνεται με παρόμοιο τρόπο. Μία ζώνη τουλάχιστο 5 mm εκατέρωθεν του επιπέδου διάτμησης πρέπει να μένει ελεύθερη (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

- Στερεοποίηση

(α) Η φάση στερεοποίησης επιτρέπει την αποτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων του πετρώματος και του τυχόν υλικού πλήρωσης στην περιοχή πλησίον του επιπέδου διάτμησης υπό πλήρη ορθή φόρτιση πριν την έναρξη της διάτμησης. Η συμπεριφορά του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης μπορεί επίσης να επιβάλλει ένα επιτρεπτό όριο στο ρυθμό της διάτμησης.

(β) Μετά την τοποθέτηση του δείγματος στο διατμητικό κιβώτιο ελέγχονται όλοι οι μετρητές και εφαρμόζεται ένα δοκιμαστικό φορτίο καταγράφοντας τις αναγνώσεις των φορτίων και των μετατοπίσεων.

(γ) Το ορθό φορτίο ανυψώνεται στην πλήρη προκαθορισμένη τιμή για τη δοκιμή, καταγράφοντας της ορθές μετατοπίσεις (στερεοποίηση) του δοκιμίου συναρτήσει του χρόνου και του εφαρμοζόμενου φορτίου.

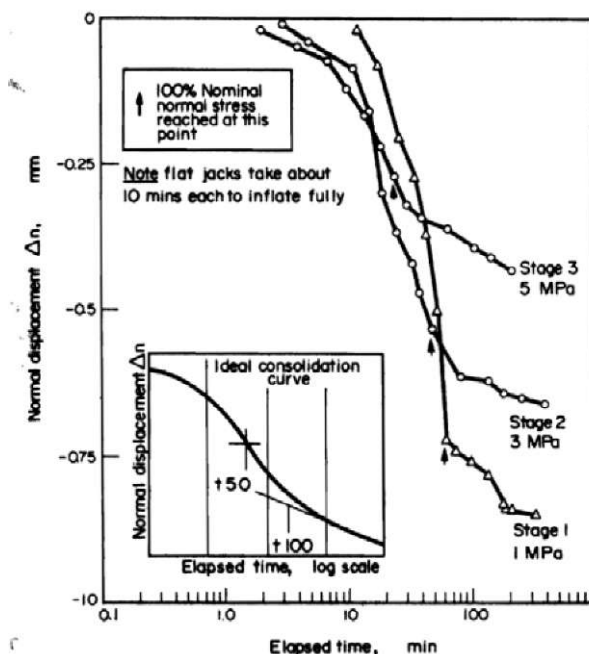
(δ) Η φάση της στερεοποίησης θεωρείται ότι ολοκληρώνεται όταν ο ρυθμός μεταβολής της ορθής μετατόπισης είναι μικρότερος από 0.05 mm σε διάστημα 10 min. Η διατμητική φόρτιση μπορεί τότε να εφαρμοσθεί (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

- Διάτμηση:

(α) Σκοπός της διάτμησης είναι ο καθορισμός της μέγιστης και παραμένουσας άμεσης διατμητικής αντοχής του επιπέδου της δοκιμής.

(β) Η διατμητική δύναμη μπορεί να εφαρμόζεται επαυξητικά, συνήθως όμως εφαρμόζεται συνεχώς με τέτοιο τρόπο ώστε να ελέγχεται ο ρυθμός της διατμητικής μετατόπισης.

(γ) Κατά προσέγγιση 10 σειρές αναγνώσεων θα πρέπει να λαμβάνονται πριν από την επίτευξη της μέγιστης αντοχής. Ο ρυθμός διατμητικής μετατόπισης θα πρέπει να είναι μικρότερος από 0.1 mm/min σε ένα διάστημα 10 min πριν από τη λήψη μίας σειράς αναγνώσεων. Ο ρυθμός αυτός μπορεί να αυξάνεται μέχρι 0.5 mm/min μεταξύ των αναγνώσεων εφόσον εξασφαλίζεται ότι μπορεί να καταγραφεί επαρκώς η μέγιστη αντοχή. Για δοκιμές υπό στραγγιζόμενες συνθήκες και ειδικότερα όταν δοκιμάζονται ασυνέχειες με αργιλικό υλικό πλήρωσης, ο συνολικός χρόνος για την επίτευξη της μέγιστης αντοχής θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από  $t_{100}$  όπως προσδιορίζεται από την καμπύλη στερεοποίησης. Εάν είναι απαραίτητο ο ρυθμός της διάτμησης θα πρέπει να μειώνεται ή ο χρόνος μεταξύ των βημάτων αύξησης της διατμητικής δύναμης να παρατείνεται ώστε να ικανοποιηθεί η προηγούμενη απαίτηση.



Σχήμα 3.17 Καμπύλες στερεοποίησης.

(δ) Μετά την επίτευξη της μέγιστης αντοχής, οι αναγνώσεις να πρέπει να λαμβάνονται σε κάθε αύξηση της διατμητικής μετατόπισης κατά 0.5 έως 5 mm, όπως απαιτείται για τον επαρκή καθορισμό των διαγραμμάτων δύναμης-μετατόπισης. Ο ρυθμός της διατμητικής μετατόπισης θα πρέπει να είναι μεταξύ 0.02-0.2 mm/min στο χρονικό διάστημα των 10 min πριν από την λήψη μιας σειράς αναγνώσεων και μπορεί να αυξηθεί μέχρι 1 mm/min μεταξύ των αναγνώσεων.



(ε) Είναι δυνατόν να καθορισθεί η τιμή της παραμένουσας διατμητικής αντοχής όταν το δείγμα υποβάλλεται σε διάτμηση υπό σταθερή ορθή δύναμη και τουλάχιστο τέσσερις σειρές αναγνώσεων δείχνουν μεταβολή της διατμητικής τάσης μικρότερη από 5 % για διατμητική μετατόπιση 1 cm.

(στ) Έχοντας καθορίσει μία τιμή για την παραμένουσα διατμητική αντοχή η ορθή τάση μπορεί να αυξηθεί ή να μειωθεί και η διάτμηση να συνεχισθεί για την λήψη επιπλέον τιμών παραμένουσας διατμητικής αντοχής. Το δείγμα πρέπει να στερεοποιείται ύστερα από την εφαρμογή κάθε νέας ορθής τάσης και η διάτμηση να συνεχίζεται σύμφωνα με την παράγρ 7 (γ) έως (ε).

(ζ) Ύστερα από την ολοκλήρωση της δοκιμής το επίπεδο διάτμησης θα πρέπει να περιγράφεται πλήρως. Το εμβαδό της επιφάνειας διάτμησης μετρείται και λαμβάνονται τυχόν απαιτούμενες φωτογραφίες. Δείγματα του πετρώματος του υλικού πλήρωσης και θραύσματα λόγω της διάτμησης θα πρέπει να λαμβάνονται για δοκιμές κατάταξης (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

- Υπολογισμοί

(α) Μία καμπύλη στερεοποίησης σχεδιάζεται κατά τη διάρκεια της φάσης στερεοποίησης. Ο χρόνος  $t_{100}$  για την ολοκλήρωση της "αρχικής στερεοποίησης" προσδιορίζεται φέροντας τις επαπτόμενες στην καμπύλη. Το χρονικό διάστημα από την έναρξη της διάτμησης μέχρι την επίτευξη της μέγιστης αντοχής πρέπει να είναι μεγαλύτερο από  $6t_{100}$  ώστε να είναι δυνατή η αποτόνωση της πίεσης πόρων.

(β) Υπολογίζονται οι μέσες τιμές των διατμητικών και ορθών μετατοπίσεων  $\Delta s$  και  $\Delta n$ . Οι πλευρικές μετατοπίσεις καταγράφονται μόνο για την εκτίμηση της συμπεριφοράς του δοκιμίου κατά τη διάρκεια της δοκιμής, παρόλο που εάν είναι σημαντικές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της επιφάνειας επαφής.

(γ) Η διατμητική και η ορθή τάση υπολογίζονται ως ακολούθως:

$$\text{ορθή τάση : } \sigma_n = \frac{P_n}{A}$$

$$\text{διατμητική τάση : } \tau = \frac{P_s}{A}$$

όπου  $P_s$  η ολική διατμητική δύναμη,  $P_n$  η ολική ορθή δύναμη,  $A$  το εμβαδό της επιφάνειας του επιπέδου διάτμησης σε επαφή (διορθωμένο ώστε να λαμβάνεται υπόψη η διατμητική μετατόπιση)

(δ) Για κάθε δοκίμιο σχεδιάζονται τα διαγράμματα διατμητικής τάσης (ή διατμητικής δύναμης) και ορθής μετατόπισης συναρτήσει της διατμητικής μετατόπισης με σημειωμένη την ονομαστική ορθή τάση και τυχόν μεταβολές αυτής κατά τη διάτμηση. Οι τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής και η αντίστοιχη ορθή τάση, διατμητική μετατόπιση και ορθή μετατόπιση λαμβάνονται από τα διαγράμματα αυτά.

(ε) διαγράμματα της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης σχεδιάζονται συνδυάζοντας τα αποτελέσματα από όλα τα δείγματα. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής  $\Phi_a$ ,  $\Phi_b$ ,  $\Phi_r$ ,  $c'$  και  $c$  εξάγονται από αυτά τα διαγράμματα (Σοφριανός & Νομικός, 2008).

#### Έκθεση των αποτελεσμάτων

Η έκθεση των αποτελεσμάτων περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

(α) Ένα διάγραμμα και περιγραφή του εξοπλισμού της δοκιμής και μία περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη, τη συσκευασία, τη μεταφορά, την αποθήκευση, την προσαρμογή στη συσκευή και την δοκιμή των δειγμάτων. (αναφορά στην προτεινόμενη μέθοδο της ISRM παραθέτοντας μόνο τις διαφοροποιήσεις από τις προδιαγεγραμμένες τεχνικές).

(β) Για κάθε δείγμα μία πλήρης γεωλογική περιγραφή του άρρηκτου πετρώματος, της διατμημένης επιφάνειας, του υλικού πλήρωσης και των θραυσμάτων της διάτμησης κατά προτίμηση συνοδευόμενα από δεδομένα σχετικών δοκιμών κατάταξης ( προφίλ τραχύτητας, όρια Atterberg, περιεκτικότητα σε υγρασία και κατανομή μεγέθους κόκκων των υλικών πλήρωσης)

(γ) Διαγράμματα και φωτογραφίες που δείχνουν την θέση δειγματοληψίας, την κλίση και τη διεύθυνση κλίσης του επιπέδου της δοκιμής, καθώς επίσης τις διαστάσεις και οποιαδήποτε χαρακτηριστικό γνώρισμα των δειγμάτων

(δ) Για κάθε δείγμα μία σειρά από πίνακες δεδομένων, ένα διάγραμμα στερεοποίησης και διαγράμματα διατμητικής τάσης και ορθής μετατόπισης συναρτήσει της διατμητικής μετατόπισης. Οι εξαγόμενες τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής πινακοποιούνται με τις αντίστοιχες τιμές της ορθής τάσης, της διατμητικής μετατόπισης και της ορθής μετατόπισης.

(ε) Για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής συνολικά, τα διαγράμματα και οι πινακοποιημένες τιμές της μέγιστης και παραμένουσας διατμητικής αντοχής συναρτήσει της ορθής τάσης, μαζί με τις εξαγόμενες τιμές για τις παραμέτρους διατμητικής αντοχής (Σοφιανός & Νομικός, 2008).

#### **3.4.2 Εφαρμογή δοκιμής σε δείγματα της περιοχής έρευνας.**

Η δοκιμή εφαρμόστηκε σε κυλινδρικό δείγμα τραβερτίνη και χρησιμοποιήθηκε φορητή συσκευή για την εκτέλεση δοκιμής απευθείας διάτμησης (Field Shear Box, μοντέλο WF 40900). Σε επόμενο κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης δοκιμής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΥΝΤΑΞΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΧΑΡΤΗ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τους Αγγελόπουλο – Χατζηνάκο (1997) και τον Ρόζο (2007), η πλέον ολοκληρωμένη προσπάθεια παρουσίασης των γενικών αρχών των τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων έγινε το 1976 με τον οδηγό τεχνικογεωλογικών χαρτών που συνέταξε η επιτροπή τεχνικογεωλογικών χαρτογραφήσεων της I.A.E.G. (International Association for Engineering Geology) και εξέδωσε η UNESCO. Οι γενικές αρχές θεώρησης, πάνω στις οποίες διαμορφώθηκε ο οδηγός αυτός, είναι οι ακόλουθες (Dearman - Matula, 1976):

- α) Ο Τεχνικογεωλογικός χάρτης πρέπει να παρουσιάζει τις πληροφορίες που περιέχει με τέτοιο τρόπο, ώστε να γίνονται εύκολα κατανοητές από επαγγελματίες χρήστες, που μπορεί να μην είναι γεωλόγοι.
- β) Οι πληροφορίες που περιέχει πρέπει να είναι αυτές ακριβώς που χρειάζονται για τον ακριβή προσδιορισμό των τεχνικογεωλογικών παραμέτρων του περιβάλλοντος αναφοράς του χάρτη και
- γ) Πρέπει να διευκολύνει την πρόβλεψη των μεταβολών στο τεχνικογεωλογικό περιβάλλον, που είναι δυνατόν να συμβούν από την επίδραση της εκάστοτε κατασκευαστικής δραστηριότητας.

Θα πρέπει εδώ να αναφερθεί ότι οι προσπάθειες βελτίωσης των επί μέρους περιεχομένων του οδηγού είναι συνεχείς.

Με βάση πάντως τις αρχές του οδηγού της UNESCO/ I.A.E.G.(1976) οι διάφοροι τεχνικογεωλογικοί χάρτες ταξινομούνται σύμφωνα με :

- α) τον σκοπό για τον οποίο συντάσσονται,
- β) το περιεχόμενο και
- γ) την κλίμακα.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για τη προπαρασκευή των τεχνικογεωλογικών χαρτών είναι η σωστή ταξινόμηση των γεωλογικών σχηματισμών (πετρωμάτων και εδαφών) σε τεχνικογεωλογικές ενότητες. Ο κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ταξινόμηση αυτή, είναι φυσικά η κλίμακα του χάρτη. Έτσι, σύμφωνα με την ομάδα εργασίας της Ι.Α.Ε.Γ., για χάρτες κλίμακας 1:10.000 έως 1:5.000 χρησιμοποιείται ο όρος Λιθολογικός τύπος, που περιλαμβάνει υλικά με το μεγαλύτερο βαθμό φυσικής ομοιογένειας. Ανταποκρίνεται δηλαδή σε υλικά με ομοιόμορφο λιθολογικό χαρακτήρα και φυσική κατάσταση, με αποτέλεσμα να είναι δυνατόν να δοθούν εύρος τιμών προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων.

Ο τεχνικογεωλογικός χάρτης που συντάχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής εργασίας, έγινε σε τοπογραφικό υπόβαθρο 1:5.000 και η παρουσίαση σε κλίμακα 1:10.000. Η τεχνικογεωλογική διάρθρωση των γεωλογικών σχηματισμών, καταβλήθηκε προσπάθεια να ανταποκρίνεται στη διεθνή πρακτική θεώρηση, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί μέχρι σήμερα, προσαρμοσμένη πάντως στις ιδιαιτερότητες της γεωτεκτονικής εξέλιξης και των γεωμορφολογικών χαρακτήρων του Ελληνικού χώρου και φυσικά των φυσικομηχανικών δεικτών των σχηματισμών που συναντώνται στην περιοχή μελέτης.

Συνεπώς πρόκειται για Τεχνικογεωλογικό χάρτη μεγάλης κλίμακας (1:10.000) και πολλαπλού σκοπού. Αναφορικά με το περιεχόμενό του περιγράφονται όλες οι βασικές πτυχές του τεχνικογεωλογικού περιβάλλοντος, όπως αυτές απορρέουν από τη γεωδυναμική - γεωμορφολογική εξέλιξη του χώρου και τους φυσικομηχανικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που απαντούν στην περιοχή (Αγγελόπουλος & Χατζηνάκος, 1997) .

#### 4.1 Στόχοι της εργασίας

Τέθηκαν για την παρούσα διπλωματική εργασία οι ακόλουθοι στόχοι:

- Η οργάνωση, επεξεργασία και εισαγωγή των διαθέσιμων / δημοσιευμένων γεωτεχνικών πληροφοριών για την περιοχή ενδιαφέροντος.
- Η μεταφορά των προαναφερόμενων πληροφοριών σε Χάρτη κλίμακας 1: 10.000, με την ανάλογη ακρίβεια.
- Η σύνταξη Τεχνικογεωλογικού Χάρτη 1:10.000 σε όλη την έκταση της περιοχής, με πληροφόρηση ομοιόμορφης, κατά το δυνατόν, αξιοπιστίας και πυκνότητας.
- Η εξεύρεση και εισαγωγή στην εργασία ενός ικανοποιητικού αριθμού γεωτρήσεων. Διευκρινίζεται ότι για τις ανάγκες της εργασίας μελετήθηκε και αξιολογήθηκε μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων, από τις οποίες κρίθηκε σκόπιμο να εισαχθούν οι πλέον αξιόπιστες και αντιπροσωπευτικές.
- Η φωτογραφική αποτύπωση και εισαγωγή των φωτογραφιών για μεγάλο αριθμό επιφανειακών εκσκαφών και πρανών στο πλαίσιο θεμελίωσης ιδιωτικών έργων, δεδομένου ότι η πληροφόρηση αυτή παρουσιάζει κυρίως πρακτικό, αλλά και θεωρητικό ενδιαφέρον.

Με βάση τα παραπάνω κρίνεται ότι ο Χάρτης που συντάχθηκε, αποτελεί κατάλληλη υποδομή για ένα πλήθος χρήσεων.

Ειδικότερα μπορεί να αποτελέσει εργαλείο για όλες τις φάσεις σχεδιασμού αναφορικά με τα αναπτυξιακά έργα, την ασφάλεια των πολιτών απέναντι στους φυσικούς κινδύνους, την προστασία και αναβάθμιση του περιβάλλοντος, την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων, τη διαρκή ενημέρωση των πολιτών και των μελετητών, αλλά και τη βέλτιστη αξιοποίηση της αποκτηθείσας γνώσης για την αναβάθμιση της ποιότητας ζωής. Επισημαίνεται ότι ο Τεχνικογεωλογικός Χάρτης σε κλίμακα 1: 10.000 προσφέρει την πληροφόρηση που μπορεί να υποστηρίξει η κλίμακά του και **δεν υποκαθιστά τη γεωτεχνική έρευνα που απαιτείται για ειδικούς σκοπούς και τη διερεύνηση τοπικών γεωτεχνικών συνθηκών** (π.χ. σε κλίμακα 1: 2.000 ή και μεγαλύτερη). Επομένως δεν καθιστά προαιρετικά, ούτε ακυρώνει τα οριζόμενα από το υπάρχον θεσμικό πλαίσιο για τα δημόσια και ιδιωτικά έργα, αλλά δρα **καθοδηγητικά, υποστηρικτικά και ενισχυτικά** (Αγγελόπουλος – Χατζηνάκος, 1997).

Με το σύνολο των πληροφοριών που συγκεντρώνει η παρούσα διπλωματική εργασία, είναι πλέον δυνατό να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία των διαθέσιμων παραμέτρων για ποικίλες εφαρμογές (συσχετισμοί, ζωνοποιήσεις, εντοπισμός περιοχών με συγκεκριμένο κριτήριο κλπ).

## 4.2 Τοπογραφικό υπόβαθρο

Το τοπογραφικό υπόβαθρο του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη 1: 10.000, δημιουργήθηκε με βάση το τοπογραφικό υπόβαθρο που μας δόθηκε από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού σε κλίμακα 1:5.000. Η προαναφερθείσα αναλογική μορφή των χαρτών ψηφιοποιήθηκε ώστε να αποτελέσει ένα επικαιροποιημένο ψηφιακό υπόβαθρο της περιοχής, που περικλείεται από τα όριά της με τις Νομαρχίες Ανατολικής Αττικής, Δυτικής Αττικής και Πειραιά αντίστοιχα, καθώς επίσης και από την ακτογραμμή προς τα νότια και τα δυτικά. Έχει κατασκευαστεί με ακρίβεια κλίμακας 1: 10.000 και περιλαμβάνει οικοδομικά τετράγωνα, οδικό δίκτυο, καθώς επίσης και τα όρια των 3 Δήμων (πριν γίνει η ενοποίηση του σχεδίου «Καλλικράτη»), που είναι οι εξής:

### ΔΗΜΟΙ

- ΒΟΥΛΑΣ
- ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ
- ΒΑΡΗΣ



### **4.3 Γεωλογικό υπόβαθρο**

Το γεωλογικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε και αναφέρεται και στο Κεφάλαιο 1 Γενικής Γεωλογίας Αττικής, είναι αυτό πάνω στο οποίο βασίστηκε ένα μεγάλο μέρος της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες:

α) Γεωλογικός Χάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακας 1: 50.000, φύλλο «ΚΟΡΩΠΙ - ΠΛΑΚΑ» (βλ. Κεφάλαιο 1, σχ. 1.3 ).

β) Γεωλογικός Χάρτης του Κατσιαβριά κλίμακας 1:50.000, φύλλο «ΜΕΣΟΓΕΙΑ» (βλ. Κεφάλαιο 1, σχ. 1.5)

### **4.4 Τεχνικογεωλογικός Χάρτης κλίμακας 1: 10.000**

Για τη σύνταξη του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη 1: 10.000, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό τοπογραφικό υπόβαθρο που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο, πάνω στο οποίο έγινε η σχεδίαση με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε περιβάλλον ArcGIS 9.0 (βλ. παράγραφο 4 του παρόντος κεφαλαίου). Τα ψηφιακά δεδομένα είναι σε μορφή -shp αρχείων, ενώ τα εκτυπώσιμα αρχεία έχουν επέκταση - mxd. Για τη δημιουργία των ψηφιακών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το επίσημο προβολικό σύστημα της χώρας ΕΓΣΑ87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς, 1987). Με την Τεχνικογεωλογική χαρτογράφηση αποτυπώθηκαν τα όρια των τεχνικογεωλογικών σχηματισμών, όπως αυτοί διακρίνονται με βάση τη γεωτεχνική τους συμπεριφορά και την απαιτούμενη από την κλίμακα του Χάρτη ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε εργασία πεδίου, η οποία έλαβε υπόψη βιβλιογραφικές πηγές (όπως αναφέρονται αναλυτικά στην βιβλιογραφία), αλλά κυρίως τρεις πηγές:

α) Τη Διδακτορική Διατριβή του Ν. Σαμπατακάκη με τίτλο «Τεχνικογεωλογική έρευνα του Λεκανοπεδίου Αθηνών» (Πανεπιστήμιο Πατρών, 1991)

β) Τον Γεωλογικό Χάρτη του ΙΓΜΕ κλίμακας 1: 50.000, φύλλο «ΚΟΡΩΠΙ - ΠΛΑΚΑ».

γ) Τον Γεωλογικό Χάρτη του Κατσιαβριά κλίμακας 1:50.000, φύλλο «ΜΕΣΟΓΕΙΑ».

Ακόμη το φύλλο του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη 1: 10.000, περιλαμβάνει αναλυτικό υπόμνημα των 8 τεχνικογεωλογικών σχηματισμών οι οποίοι διακρίθηκαν. Η περιγραφή του κάθε σχηματισμού περιλαμβάνει τόσο τους ιδιαίτερους χαρακτήρες που προκύπτουν από τη μακροσκοπική περιγραφή, όσο και ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους που προέρχονται από εργαστηριακές δοκιμές. Επισημαίνεται ότι **το εύρος τιμών που δίνεται για επιλεγμένες παραμέτρους είναι ενδεικτικό** και προσδιορίστηκε τόσο από τη βιβλιογραφία, όσο και από τις μελέτες που έχουν εισαχθεί στη βιβλιογραφία του Τεχνικογεωλογικού Χάρτη. Επίσης συνεκτιμήθηκε και πλήθος άλλων Μελετών οι οποίες συγκεντρώθηκαν και αναφέρονται σε γειτονικές περιοχές εκτός των ορίων των αναφερόμενων δήμων.

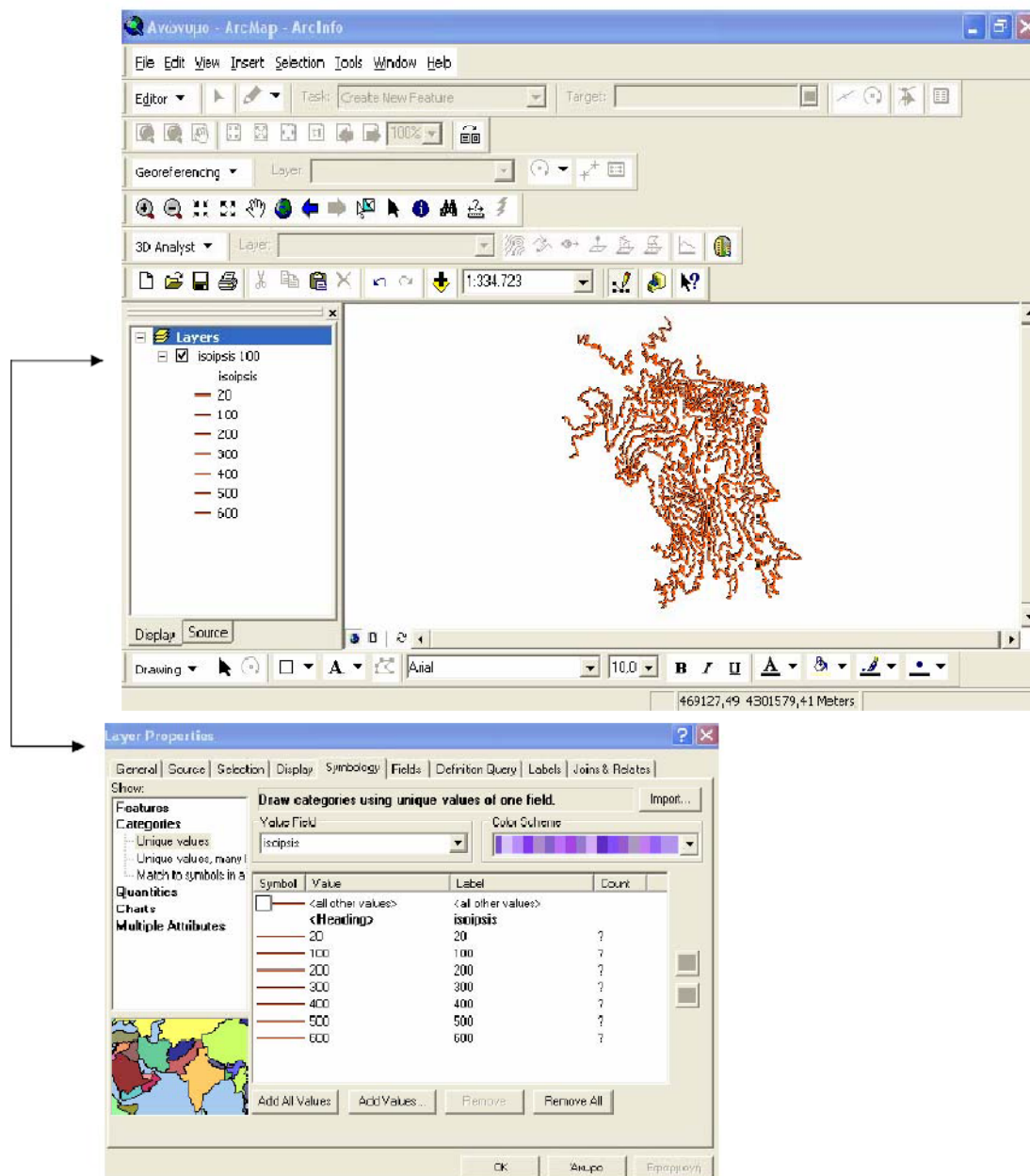
## 4.5 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ή ArcGIS υπάρχουν σε τρεις εκδόσεις που αναφέρονται ως ArcView, ArcEditor και ArcInfo. Και οι τρεις εκδόσεις βασίζονται στις ίδιες αρχές και επομένως λειτουργούν παρόμοια, διαφέρουν όμως ως προς τις δυνατότητες που έχει η καθεμία. Το ArcInfo έχει τις περισσότερες δυνατότητες και το ArcView τις λιγότερες. Το ArcInfo έχει περισσότερα εργαλεία, κυρίως ανάλυσης χωρικών δεδομένων. Κάθε έκδοση του ArcGIS περιέχει τις εξής τρεις βασικές εφαρμογές : ArcMap, ArcCatalog και ArcToolbox, καθώς και μια σειρά από προαιρετικά προϊόντα όπως Spatial Analyst, 3D Analyst, Geostatistical Analysis. ArcPress (Αγγέλη Βασιλική, 2005).

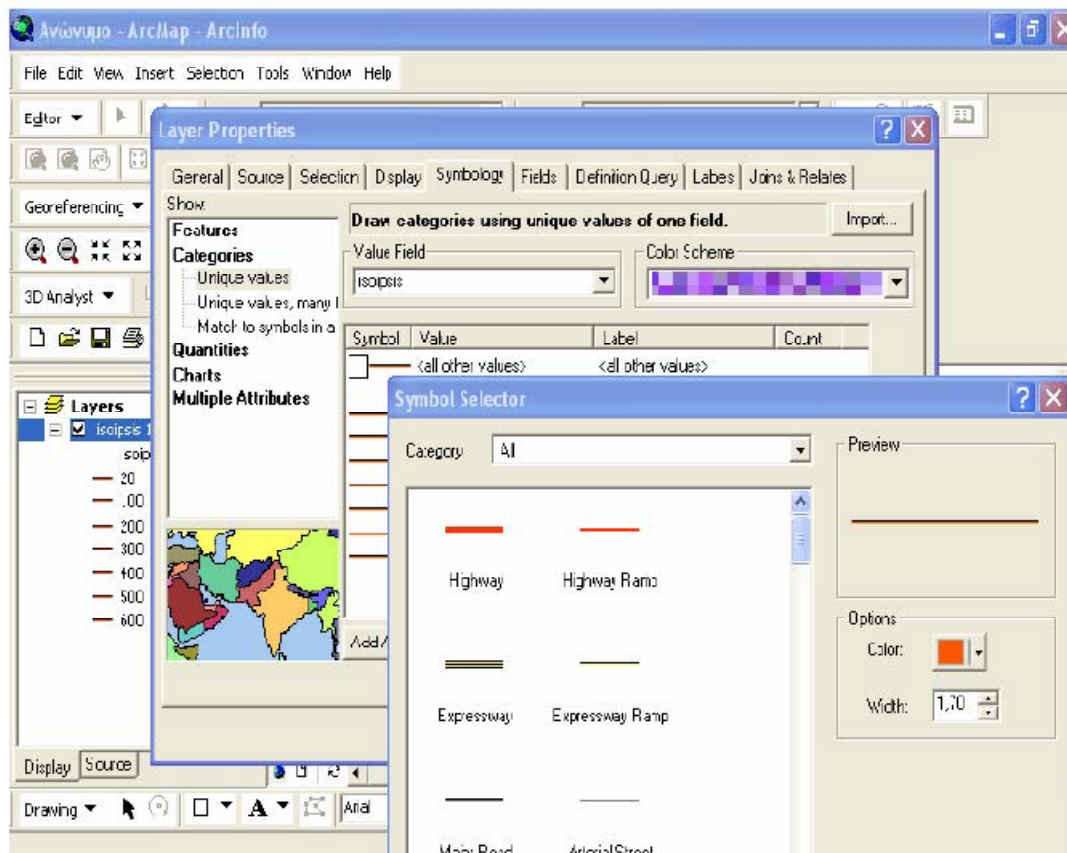
Όσον αφορά τις τρεις βασικές εφαρμογές του ArcGIS, αναλυτικά αυτές είναι :

- Το ArcMap (εικόνα 4.1) αφορά εφαρμογές που σχετίζονται με χάρτες (Map). Το ArcMap δίνει τη δυνατότητα να δημιουργηθούν χάρτες από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, να αναλυθούν χωρικές σχέσεις και να επιλεγούν μέσα από αναζητήσεις, χωρικά και μη χωρικά στοιχεία. Επίσης μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν διαφορετικές απεικονίσεις ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς (εικόνα 4.2).
- Το ArcCatalog (εικόνα 4.3) είναι μια εφαρμογή διαχείρισης γεωγραφικών δεδομένων. Με το ArcCatalog μπορεί κανείς να διερευνήσει χωρικά δεδομένα στο δίσκο του υπολογιστή, σ' ένα τοπικό δίκτυο ή στο διαδίκτυο. Πιο συγκεκριμένα μπορεί εύκολα να διαγράψει, να αντιγράψει ή να μετονομάσει ένα θεματικό επίπεδο ή ένα σύνολο δεδομένων. Μπορεί ακόμα να δημιουργήσει νέα δεδομένα. Το σημαντικότερο όμως είναι ότι μπορεί να βλέπει τα δεδομένα προτού αποφασίσει την ενέργεια που θα κάνει με αυτά, για παράδειγμα να τα προσθέσει στο ArcMap.
- Το ArcToolbox συμπληρώνει τις άλλες δύο εφαρμογές του ArcGIS και περιέχει διάφορα εργαλεία γεωεπεξεργασίας. Με την εφαρμογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα, μέσω κάποιων εργαλείων, να μετατρέψει χωρικά δεδομένα από μια μορφή (data format) σε άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του. Η τρίτη έκδοση, το ArcInfo περιλαμβάνει περίπου 150 εργαλεία για γεωεπεξεργασία, μετατροπή δεδομένων, διαχείρισης χαρτογραφικών φύλλων, αλληλεπίθεσης επιπέδων,

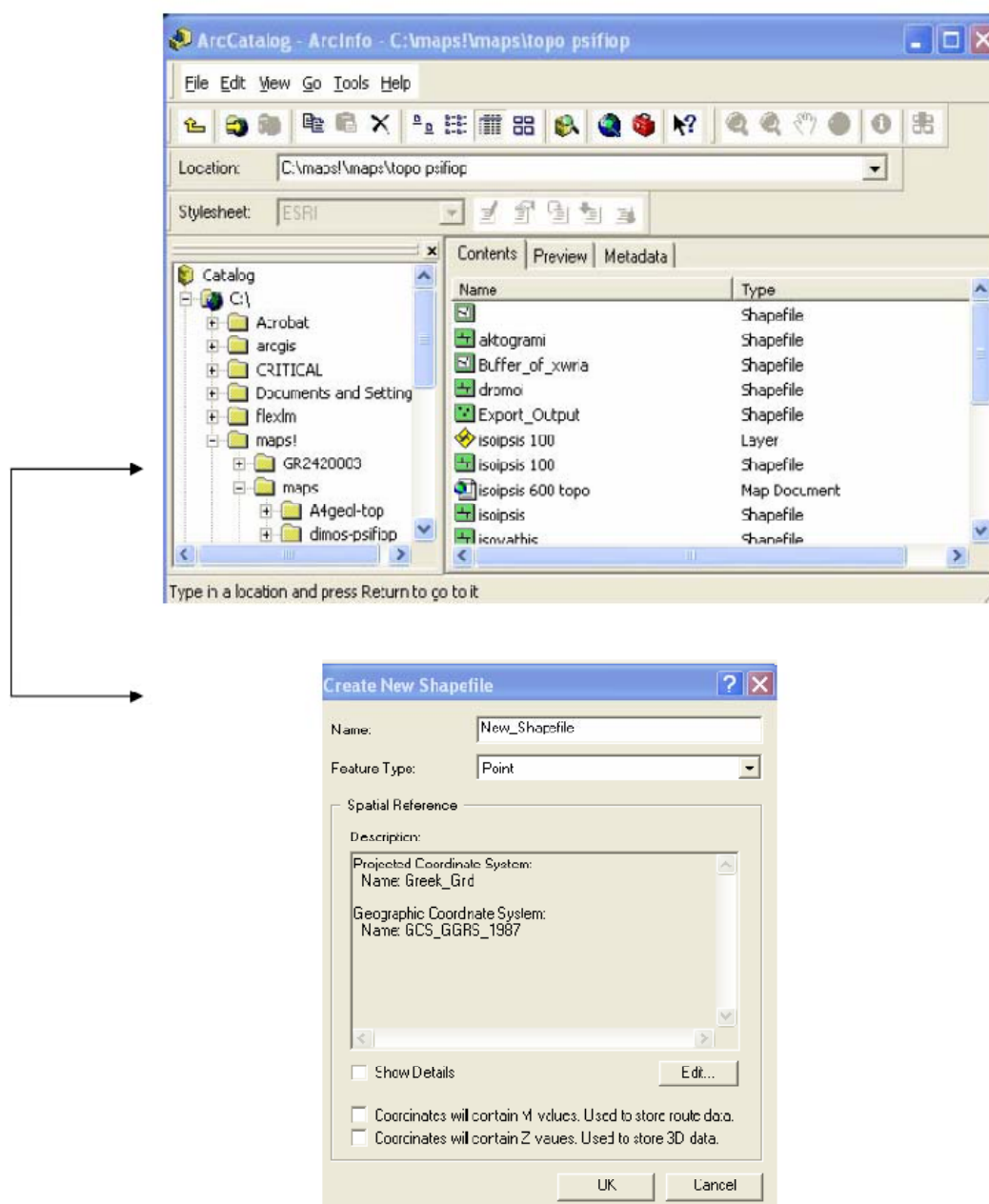
χαρτογραφικών προβολών και γενικά εργαλεία για χωρική ανάλυση. (Κουτσόπουλος, Ανδρουλακάκης)



Εικόνα 4.1 Το περιβάλλον του ArcMap (Αγγέλη Β. 2005).



Εικόνα 4.2 Μενού επιλογών στο ArcMap (Αγγέλη Β. 2005).



Εικόνα 4.3 Το interface του ArcCatalog (Αγγέλη Β. 2005).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

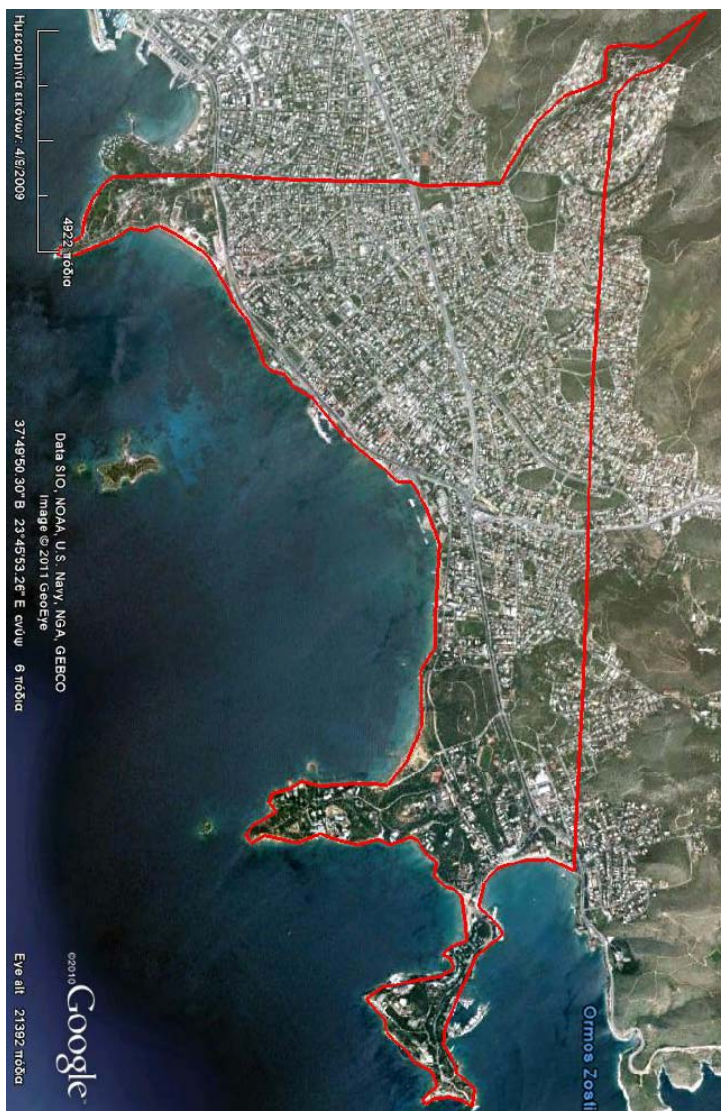
### **ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΒΟΥΛΑΣ – ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ**

#### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται οι γεωλογικές - γεωτεχνικές ενότητες της περιοχής έρευνας (Βούλα – Βάρη – Βουλιαγμένη) όπως είχε προαναγγελθεί στο Κεφάλαιο 1, καθώς και η σαφής οριοθέτηση της περιοχής με φωτογραφίες και χάρτες. Εδώ εξετάζεται η περιοχή τόσο γεωλογικά όσο και, κυρίως, γεωτεχνικά όπως θα δούμε παρακάτω. Περιγράφονται οι γεωλογικοί σχηματισμοί, ενοποιούνται σύμφωνα με την μηχανική τους συμπεριφορά και παρουσιάζονται τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους προέκυψαν από την εκτέλεση δοκιμών στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής καθώς και από την συγκέντρωση βιβλιογραφικών πηγών. Την παράθεση των χαρακτηριστικών ακολουθούν η ταξινόμηση των σχηματισμών κατά Bieniawski και τα συμπεράσματα της συμπεριφοράς του σχηματισμού.

## 5.1 ΟΡΙΟΘΕΤΗΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή μελέτης, που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, περιλαμβάνει τους Δήμους Βούλας, Βάρης και Βουλιαγμένης που από την 1/1/2011 είναι ένας ενιαίος Καλλικρατικός Δήμος. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται ακριβώς η περιοχή.

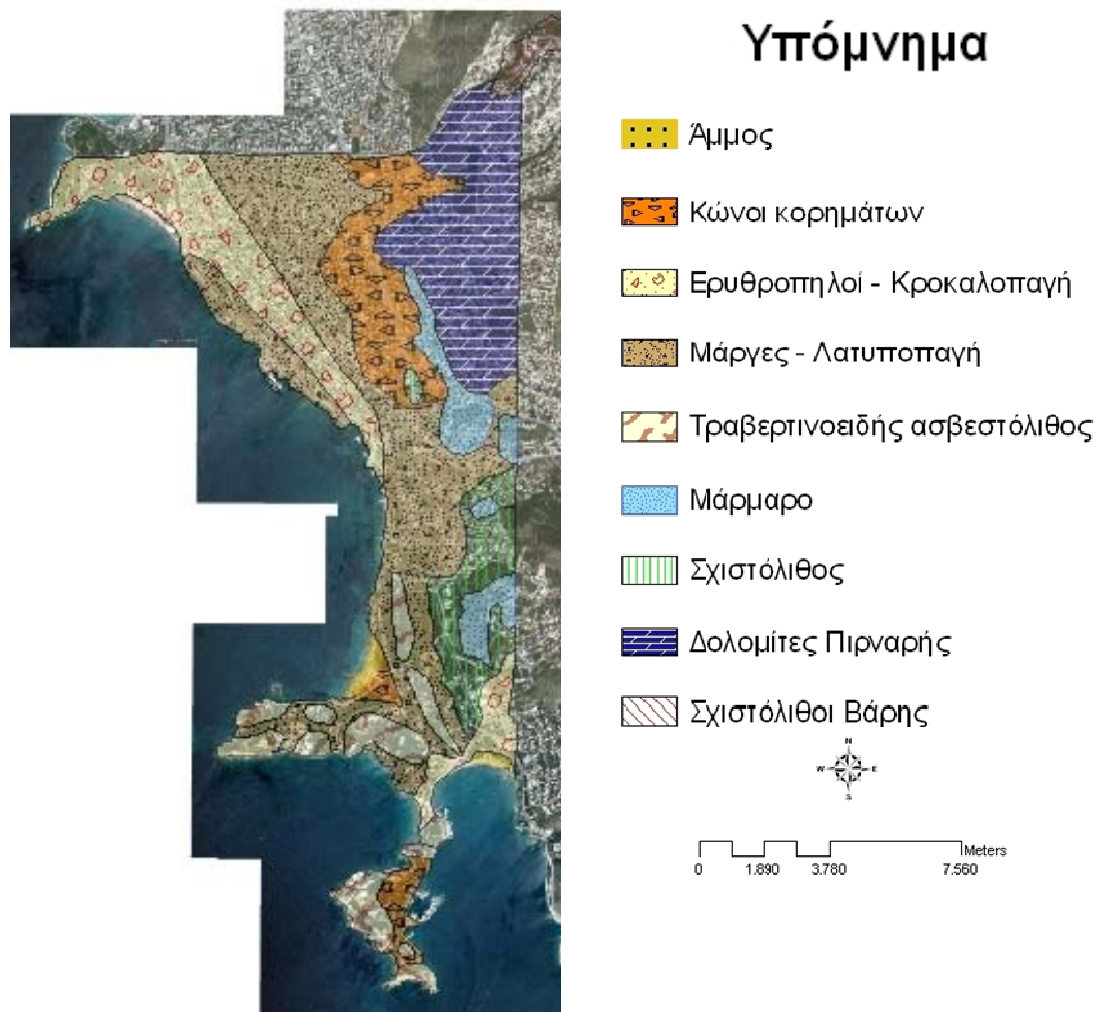


Εικόνα 5.1 Η περιοχή μελέτης όπως φαίνεται από δορυφόρο.



## 5.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΣΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Για την μελέτη της γεωλογίας της περιοχής χρησιμοποιήθηκαν ως αρχική και βασική πηγή πληροφόρησης οι χάρτες του ΙΓΜΕ και του Κατσιαβριά που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Τα όρια των γεωτεχνικών ενοτήτων που παρουσιάζονται στον γεωτεχνικό χάρτη που σχεδιάστηκε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής διατριβής επιβεβαιώθηκαν από την επι τόπου και επαναλαμβανόμενη έρευνα στην περιοχή ενδιαφέροντος. Ο γεωτεχνικός χάρτης που προέκυψε είναι κλίμακας 1:10.000 και για την καλύτερη κατανόηση της χωρικής κατανομής των γεωτεχνικών ενοτήτων παρουσιάζεται σε σμίκρυνση στο σχήμα 5.1. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεωτεχνικές ενότητες καθώς και τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών που τις αποτελούν.



**Σχήμα 5.1** Ο τεχνικογεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

### 5.3 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 1: ΚΩΝΟΙ ΚΟΡΗΜΑΤΩΝ

Η γεωτεχνική αυτή ενότητα περιλαμβάνει χαλαρά πλευρικά κορήματα και κώνους κορημάτων των λόφων της Βούλας και των γύρω βουνών καθώς επίσης και παλαιούς κώνους κορημάτων που εξελίσσονται σε συνεκτικά λατυποπαγή.

Είναι κυρίως αργιλοαμμώδη υλικά καστανού - καστανότεφρου χρώματος που περιέχουν χαλίκια, κροκάλες, θραύσματα και ογκόλιθους κυρίως ασβεστόλιθων και μαρμάρων αλλά και άλλων υλικών (σχιστολίθων, φυλλιτών κλπ.). Ταξινομούνται συνήθως κατά USCS σαν GC, GM, GM-GC και κατά θέσεις SC, SM-SC ή και CL, δηλ. σαν αργιλόδη - αργιλοϊλύδη χαλίκια και αμμάργιοι, αμμοϊλύες ή και τοπικά άργιοι. Κατά θέσεις παρουσιάζουν ασθενή συγκόλληση προς χαλαρά λατυποπαγή.

Από τις εργαστηριακές δοκιμές στο ακέραιο πέτρωμα [Πίνακας 5.1, (Σαμπατακάκης, 1991)] εκτιμήθηκαν τα φυσικά - μηχανικά χαρακτηριστικά που συνοπτικά φαίνονται παρακάτω:

**Πίνακας 5.1** Φυσικά – μηχανικά χαρακτηριστικά.

Χαρακτηριστικό	$\sigma_c$ MPa	$E_L$ GPa	$P_d$ KN/m <sup>3</sup>	$I_s (50)$ MPa
Μέγιστη τιμή	61.2	20.0	25.7	4.7
Ελάχιστη τιμή	5.2	1.7	19.6	1.8
Μέσος όρος	21.4	8.5	23.8	2.9
Αριθμός δοκιμών	19	17	18	10

Από γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή έχουμε (Κυνηγαλάκη – Χατζηνάκου – Αποστολίδη, 1996) :

Χαρακτηριστικό	Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης (MPa)
Δοκιμή 1	18
Δοκιμή 2	30,57
Δοκιμή 3	64,3
Δοκιμή 4	62,3
Μέσος όρος	43,8

### 5.3.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 5.2 Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τους κώνους κορημάτων.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	<b>Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη</b>	5,2 - 64 MPa *	2 - 7 *
	<b>RQD</b>	25 - 50 %	8
	<b>Απόσταση ασυνεχειών</b>	<60 mm ή 60-200 mm ή 200-600 mm *	5 ή 8 ή 10 *
	<b>Μήκος ασυνεχειών</b>	<1 – 3 m	5
	<b>Άνοιγμα ασυνεχειών</b>	< 0,1 mm	5
	<b>Τραχύτητα ασυνεχειών</b>	Τραχείες	5
	<b>Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών</b>	Κανένα	6
	<b>Βαθμός αποσάθρωσης</b>	Ελαφρά αποσαθρωμένο	5
	<b>Υπόγειο νερό</b>	Εντελώς Ξηρό	15
<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>	43 - 58 *		
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>	Μέτρια (III)		

**\*Σημ:** Η αντοχή σε μοναξονική θλίψη έχει μεγάλη απόκλιση τιμών η οποία οφείλεται στην παρουσία πολλών ή λιγότερων ασυνεχειών κατά περιοχές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κύμανση του βαθμού RMR μεταξύ 43, 53 και 58 χωρίς όμως να έχει επίδραση στον χαρακτηρισμό της βραχομάζας ως 3<sup>ης</sup> τάξης.

Συγκρίνοντας τη μέση τιμή της μοναξονικής θλίψης και του δείκτη σημειακής φόρτισης, από τη σχέση  $\sigma_c = K \cdot I_s(50)$  (BIENIAWSKI, 1975), εκτιμάται συντελεστής συσχέτισης K μεταξύ των μεγεθών αυτών της τάξεως του 8. Θα πρέπει, βέβαια, να σημειώσουμε ότι δεν συνίσταται δοκιμή σημειακής φόρτισης στα ιζηματογενή κλαστικά πετρώματα που αποτελούνται από αδρομερή υλικά με μαλακή συνδετική ύλη (λατυποπαγή, κροκαλοπαγή, χονδρόκοκκοι ψαμμίτες κλπ.).

Με βάση τις τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη ( $\sigma_c$ ) το ακέραιο πέτρωμα χαρακτηρίζεται σαν μέτριας αντοχής (κατηγορία III). Τα πρηνή ή οι εκσκαφές αυτής της κατηγορίας πετρωμάτων επομένως, χαρακτηρίζονται μέτρια και μερικώς ευσταθή με ένα μεγάλο πλήθος ασυνεχειών και σφηνών σχεδόν σε όλο το εύρος τους. Χρρίζουν όπως είναι επόμενο εκτεταμένης και συστηματικής υποστήριξης κατά περίπτωση.

## **5.4 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 2: ΕΡΥΘΡΟΙ ΠΗΛΟΙ ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ**

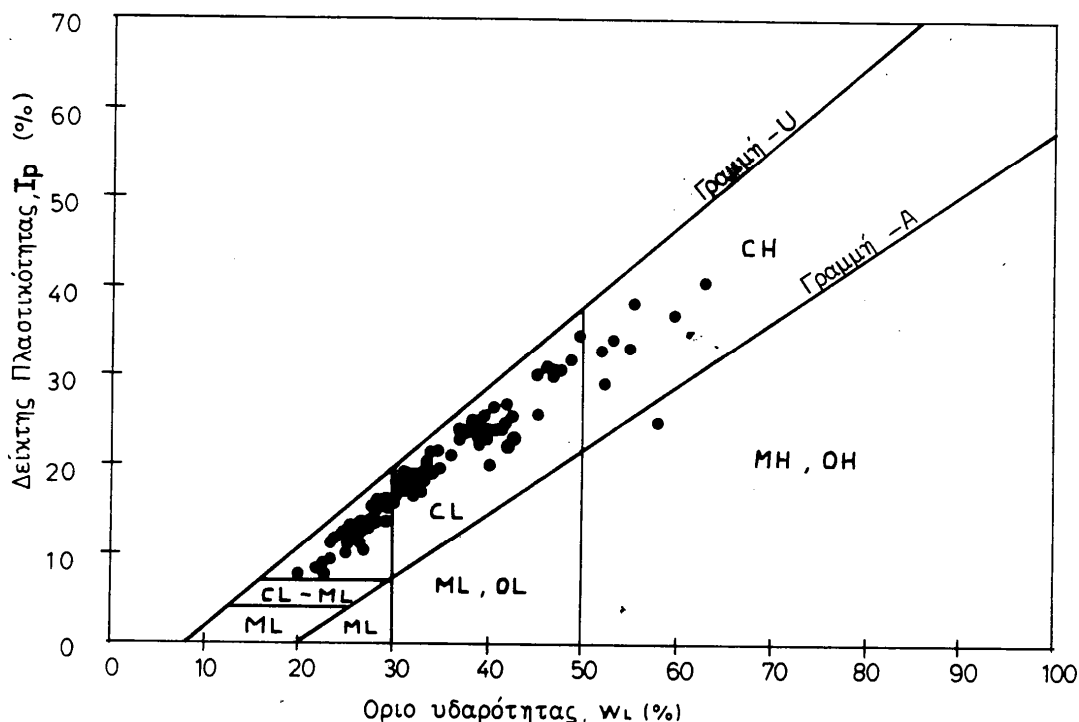
Αυτή η ενότητα περιλαμβάνει σχηματισμούς ποταμολιμναίας φάσης που αποτελούνται από καστανέρυθρη αμμώδη άργιλο (ερυθρό πηλό), και χαλαρά μέχρι μέτρια συγκολλημένα σύμμικτα (κροκάλες ποικίλης λιθολογικής σύστασης) κροκαλοπαγή, (Σαμπατακάκης, 1991).

Αργιλοπηλοί κατά το πλείστον σκούρου ερυθρού χρώματος και λιγότερο ερυθροί, υπόλευκοι, κιτρινωποί, άστρωτοι, που περιέχουν διάσπαρτες κροκάλες και λατύπες ποικίλης λιθολογικής σύστασης, σχήματος και μεγέθους. Συχνά απαντώνται κροκαλοπαγή πολυγενή, ετερομετρικά και συνεκτικά σε ενστρώσεις μικρού πάχους και έκτασης, (Κατσιαβριάς, 1990).

### **ΕΡΥΘΡΟΙ ΠΗΛΟΙ**

Συνίστανται κυρίως από καστανέρυθρη αμμώδη άργιλο με λεπτά χαλίκια και πισσόλιθους, καθώς επίσης και από ενστρώσεις αμμοχάλικων και χαλαρών κροκαλοπαγών, μικρού πάχους. Τα κροκαλοπαγή αυτά αποτελούνται από κροκάλες ασβεστόλιθων, σχιστολίθων και χαλαζία που συνδέονται με ερυθρή ασβεστομαργαϊκή συνδετική ύλη. Χαρακτηριστική είναι η παρουσία σύμμικτου, χαλαρού κροκαλολατυποπαγούς, υποκαστανού χρώματος με σχιστολιθική υφή, που συναντάται σε μερικές θέσεις στα ανώτερα μέλη του σχηματισμού. Σε μερικές θέσεις στον ερυθρό αμμώδη πηλό υπέρκεινται αργλικές μάργες. Οι ερυθροί πηλοί συναντώνται σε λίγες μόλις θέσεις επιφανειακά στις περιοχές της Βούλας και του Καβουρίου. Το πάχος τους κυμαίνεται από θέση σε θέση από λίγα μέτρα μέχρι και άνω των 10 μ.

Στο Σχ. 5.2 δίνεται το διάγραμμα πλαστικότητας κατά CASA-GRANDE των σχηματισμών αυτών που ταξινομούνται κατά USCS κυρίως σαν άργιλοι χαμηλής μέχρι υψηλής πλαστικότητας (Σαμπατακάκης, 1991). Σημειώνεται ότι τοπικά εμφανίζονται και σαν αργιλώδη χαλίκια (GS) ή και αργιλώδεις άμμοι (SC).



Σχήμα 5.2 Διάγραμμα πλαστικότητας κατά CASA-GRANDE για τους ερυθρούς πηλούς.

Από εργαστηριακές και επί τόπου (SPT) δοκιμές, (Σαμπατακάκης, 1991), που έγιναν στους ερυθρούς πηλούς, προσδιορίστηκαν τα φυσικά - μηχανικά χαρακτηριστικά που φαίνονται στη συνέχεια. Οι δοκιμές αυτές αφορούν κυρίως τις ομάδες CL και CH καθώς επίσης και την ομάδα SC.

Πίνακας 5.3 Ομάδα CL.

	$C_u$ kPa	$\varphi^\circ$	$N_{SPT}$	$W_L$ %	$I_p$ %	$q_u$ kPa	$C_c$	$W$ %	$e$
Μέγιστη τιμή	153	24	91	49.6	31.7	1081	0.15	21.7	0.74
Ελάχιστη τιμή	62	1	19	19.8	7.7	104	0.05	8.6	0.20
Μέσος όρος	108	13	57.2	34.3	19.7	455	0.09	15.2	0.40
Τυπική απόκλιση			16	7.2	6.1	223		2.4	0.09
Αριθμός δοκιμών	9	9	71	89	89	82	20	90	90

**Πίνακας 5.4** Ομάδα CH.

	CU kPa	Φ°	N <sub>SPT</sub>	W <sub>L</sub> %	I <sub>p</sub> %	Q <sub>u</sub> kPa	Cc	W %	e
Μέγιστη τιμή			67	62.6	40.6	1554	0.15	29.0	0.83
Ελάχιστη τιμή			37	51.9	25.0	171	0.10	14.1	0.42
Μέσος όρος	78	15	51	55.9	33.7	618	0.12	20.9	0.57
Αριθμός δοκιμών	1	1	4	8	8	5	2	8	7

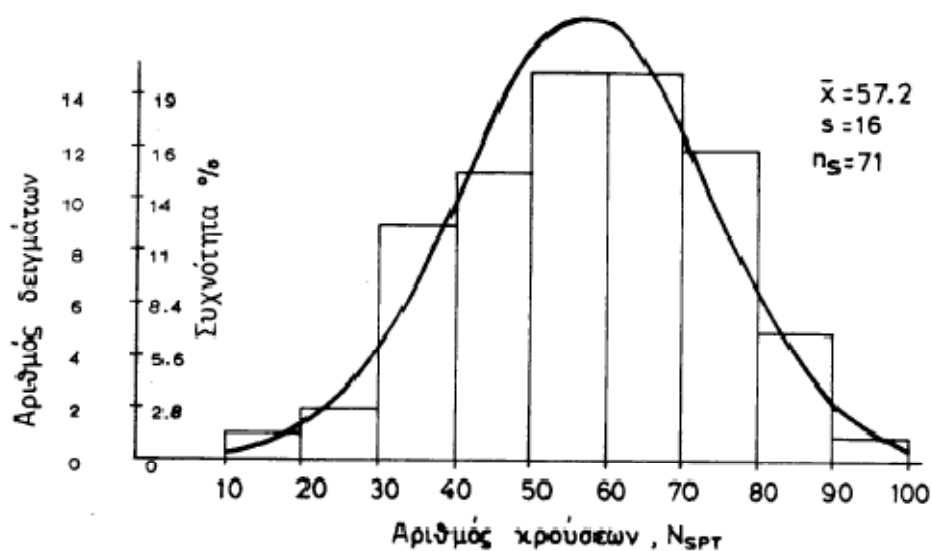
**Πίνακας 5.5** Ομάδα SC.

	N <sub>SPT</sub>	W <sub>L</sub> %	I <sub>p</sub> %	Q <sub>u</sub> kPa	Cc	W %	e
Μέγιστη τιμή		32.0	18.0	350	0.13	18.8	0.50
Ελάχιστη τιμή		22.2	8.7	219	0.10	12.0	0.30
Μέσος όρος	63	26.4	12.2	277	0.11	14.8	0.39
Αριθμός δοκιμών	1	8	8	7	2	8	8

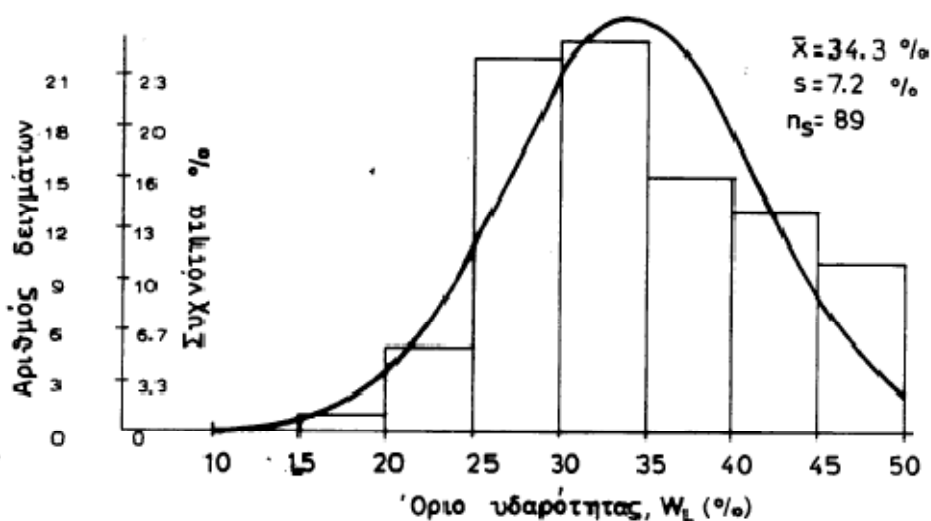


Με βάση τους μέσους όρους των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών, οι ερυθροί πηλοί γενικά ταξινομούνται σαν άργιλοι πολύ σφιχτές μέχρι σκληρές και μέσης μέχρι υψηλής πλαστικότητας.

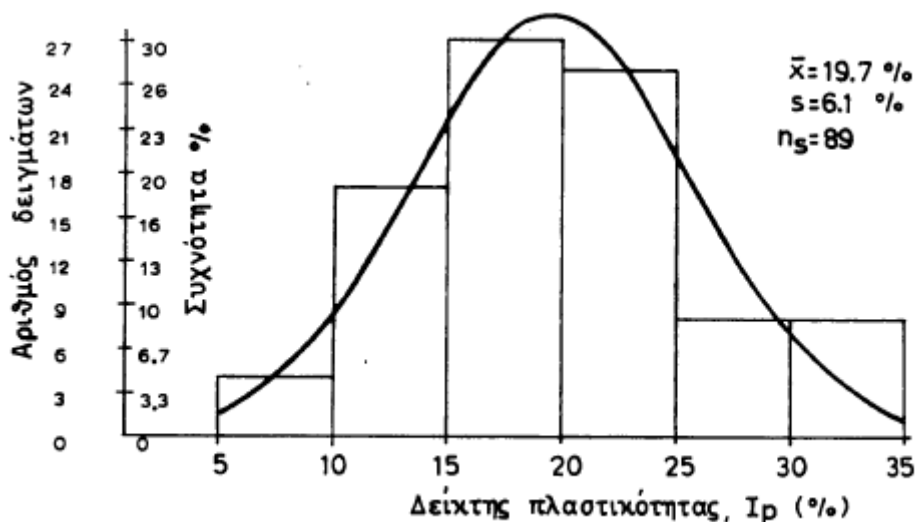
Στα Σχ. 5.3.α, 5.3.β, 5.3.γ, 5.3.δ, 5.3.ε, 5.3.στ φαίνονται τα ιστογράμματα τιμών των φυσικών - μηχανικών παραμέτρων της ομάδας CL (Σαμπατακάκης, 1991).



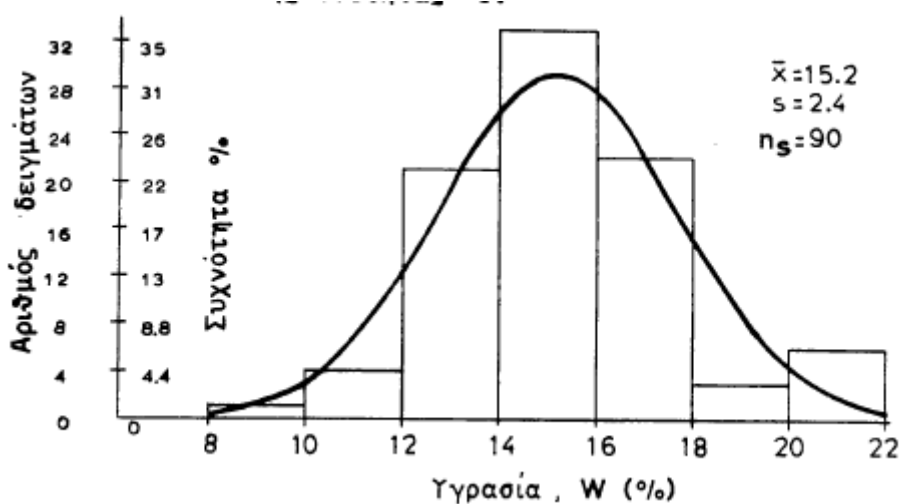
Σχήμα 5.3.α Αριθμός κρούσεων προς αριθμό δειγμάτων.



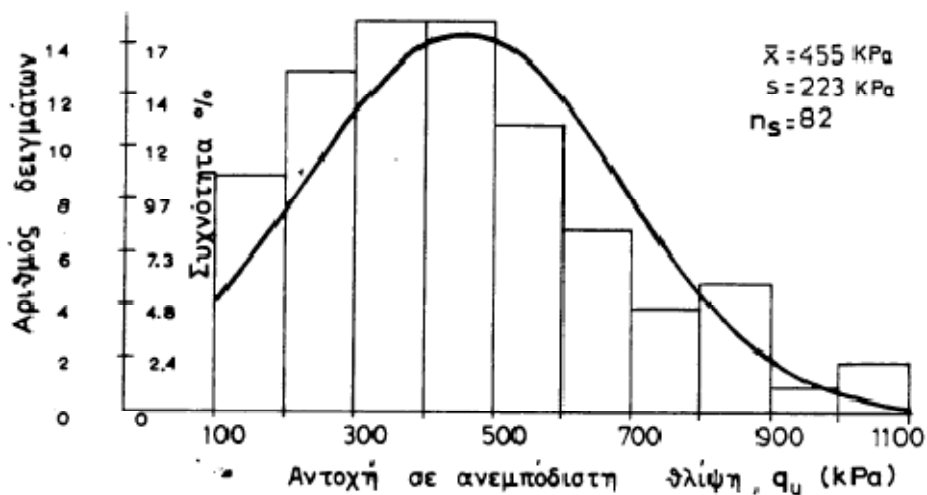
Σχήμα 5.3.β Συσχέτιση ορίου υδαρότητας με αριθμό δειγμάτων.



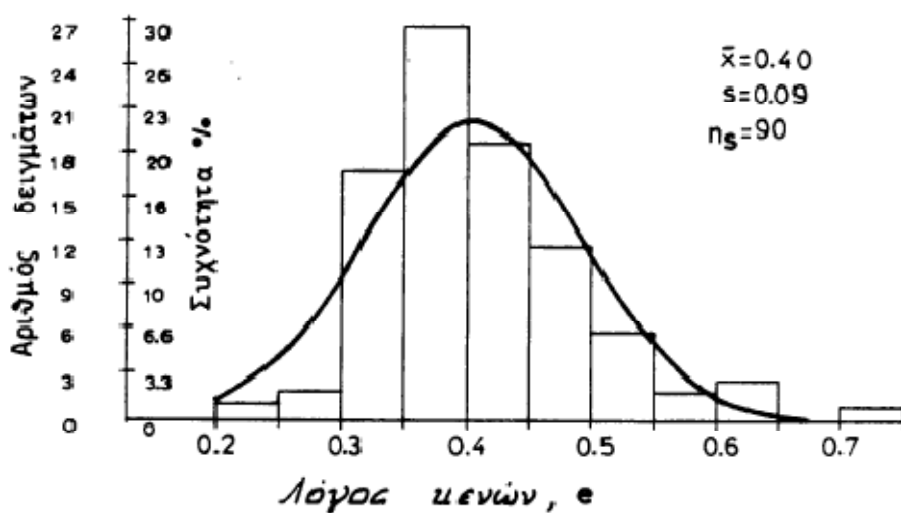
Σχήμα 5.3.γ Συσχέτιση δείκτη πλαστικότητας με αριθμό δειγμάτων.



Σχήμα 5.3.δ Συσχέτιση υγρασίας με αριθμό δειγμάτων.

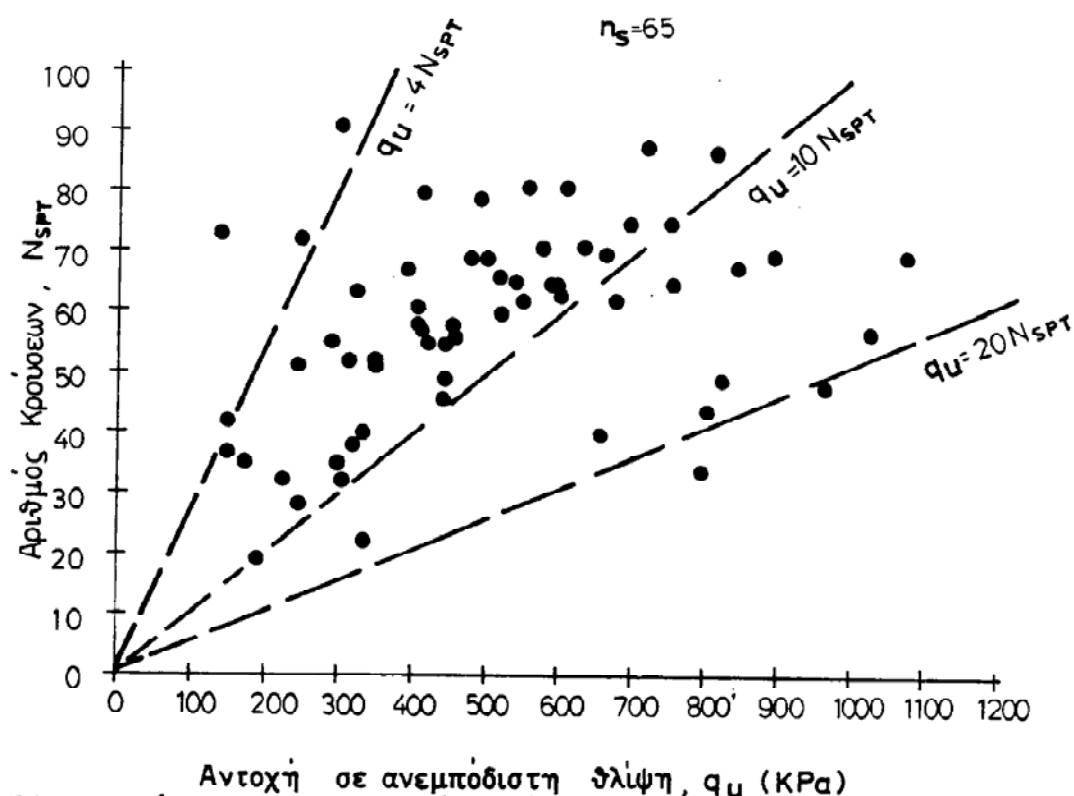


Σχήμα 5.3.ε Συσχέτιση αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη με αριθμό δειγμάτων.



Σχήμα 5.3.στ Συσχέτιση λόγου κενών με αριθμό δειγμάτων.

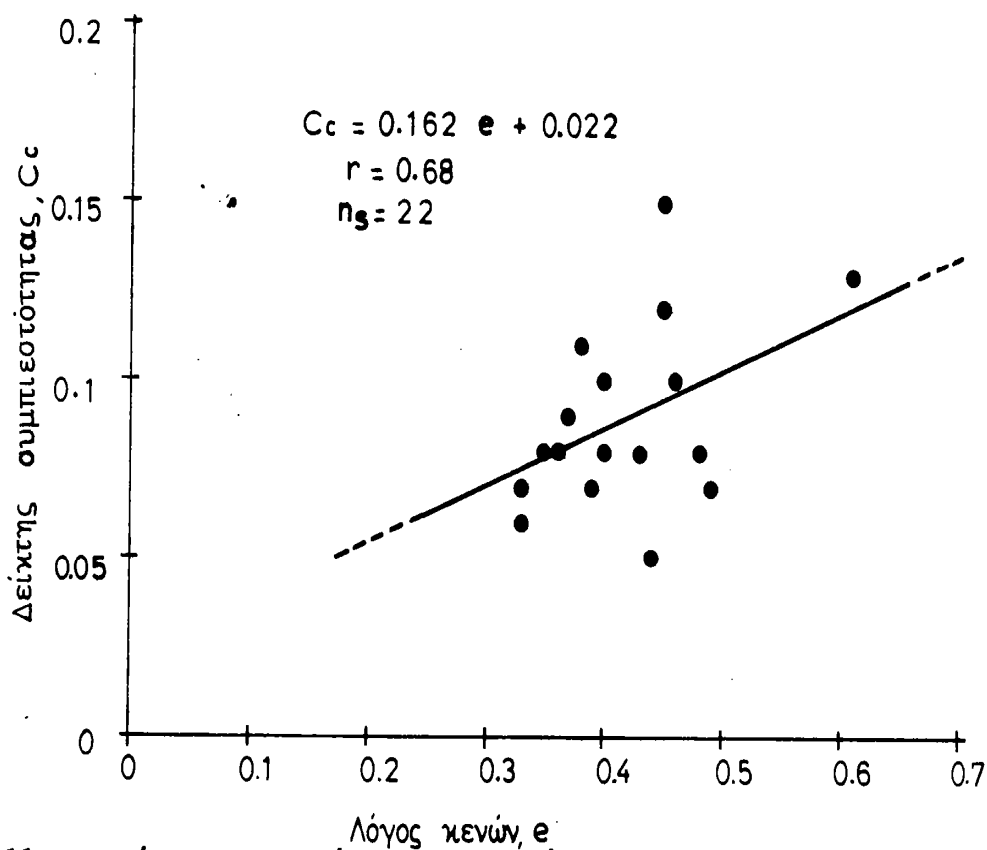
Στο Σχ. 5.4 δίνεται το διάγραμμα της σχέσης της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη και των τιμών του  $N_{SPT}$  (Σαμπατακάκης, 1991). Γενικά, θα πρέπει να τονιστεί ότι οι εκτιμήσεις που βασίζονται στην δοκιμή πρότυπης διείδυσης (SPT) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με επιφύλαξη και μόνο για προκαταρκτικές μελέτες. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ότι η ανεμπόδιστη θλίψη ( $q_u$ ) σε kPa είναι 4 μέχρι 20 φορές το  $N_{SPT}$ . Το 60% περίπου των σημείων όμως παρατηρείται ότι εμπίπτουν στην περιοχή που τα όριά της δίνονται από τις σχέσεις  $q_u = 10N_{SPT}$  και  $q_u = 4N_{SPT}$  και γενικά αναφέρονται σε αργίλους χαμηλής μέχρι μέσης πλαστικότητας (εγχειρίδιο U.S. Navy, DM-7.1, 1982).



Σχήμα 5.4 Συσχέτιση των αριθμών κρούσεων NSPT και της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για τους ερυθρούς πηλούς.

Με βάση τις τιμές του δείκτη συμπίεστικότητας  $C_c$  και του λόγου κενών ( $e$ ) εκτιμήθηκε η γραμμική σχέση που φαίνεται παρακάτω και συνδέει τις δύο αυτές παραμέτρους (Σχ. 5.4) με συντελεστή συσχέτισης 0.68.

$$C_c = 0,162 e + 0,022$$



Σχήμα 5.5 Συσχέτιση του δείκτη συμπίεστικότητας  $C_c$  και του λόγου κενών  $e$  για τους ερυθρούς πηλό.

Παρατίθενται ενδεικτικά κάποιες εικόνες (5.1 – 5.4) ερυθρών πηλών της περιοχής:



**Εικόνα 5.2** Σχηματισμός ερυθροπηλών στην οδό Μπότσαρη.



**Εικόνα 5.3** Σχηματισμός ερυθροπηλών στην οδό Καραϊσκάκη.





**Εικόνα 5.4** Σχηματισμός ερυθροπηλών με σώματα ασβεστιτικού υλικού στην οδό Αλαμάνας.



**Εικόνα 5.5** Σχηματισμός ερυθροπηλών στη Λ. Καραμανλή.



### **ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ**

Είναι σύμμικτα, μέτρια συγκολλημένα με ψαμμιτομαργαϊκή συνδετική ύλη, καστανού - καστανόλευκου χρώματος. Εναλλάσσονται με ενστρώσεις καστανοκίτρινων και καστανών - καστανέρυθρων ψαμμιτικών μαργών και εύθρυπτων ψαμμιτών. Το ανώτατο πάχος τους είναι λίγα μέτρα και είναι δύσκολα παρατηρήσιμα.

Παρατίθενται ενδεικτικά κάποιες εικόνες (5.6 – 5.11) κροκαλοπαγών σχηματισμών της περιοχής:



**Εικόνα 5.6** Σχηματισμός κροκαλοπαγούς στην Βούλα.





**Εικόνα 5.7** Σχηματισμός κροκαλοπαγούς σε πρανές της Λ. Βουλιαγμένης.



**Εικόνα 5.8** Εμφάνιση κροκαλοπαγούς σε θεμελίωση οικίας στη Βούλα.





**Εικόνα 5.9** Εμφάνιση κροκαλοπαγούς σε θεμελίωση οικίας στη Βούλα.



**Εικόνα 5.10** Εμφάνιση κροκαλοπαγούς και η υπερκείμενη ζώνη ρωγμάτωσης.





Εικόνα 5.11 Τέμαχος κροκαλοπαγούς σε εκσκαφή πολυκατοικίας της οδού Σοφοκλέους.

Από μερικές δοκιμές σημειακής φόρτισης σε ακανόνιστα δείγματα κροκαλοπαγών (Σαμπατακάκης, 1991) , έχει εκτιμηθεί ο αντίστοιχος δείκτης που κυμαίνεται από 1MPa μέχρι 1.8MPa που χαρακτηρίζει πετρώματα μέσης αντοχής. Συνοπτικά τα αποτελέσματα όλων των δοκιμών:

Σαμπατακάκης (1991)	
PLT	1 – 1,8 MPa
Σκληρότητα Schmidt	24 – 34
Μοναξονική θλίψη	5,2 – 41,6 MPa
Μέτρο ελαστικότητας	15 MPa
Brazilian	0,4 – 3 MPa
Ξηρή πυκνότητα	22,6 – 25,3 kN/m <sup>3</sup>

Τίτλος μελέτης	Γεωτεχνική έρευνα κατά μήκος της χάραξης του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων (περιοχές Αλίμου – Γλυφάδας – Βούλας)
Συντάκτες	Ι. Χατζηνάκος - Εμ. Αποστολίδης – Μ. Κυνηγαλάκη
Ανεμπόδιση θλίψη	14 MPa

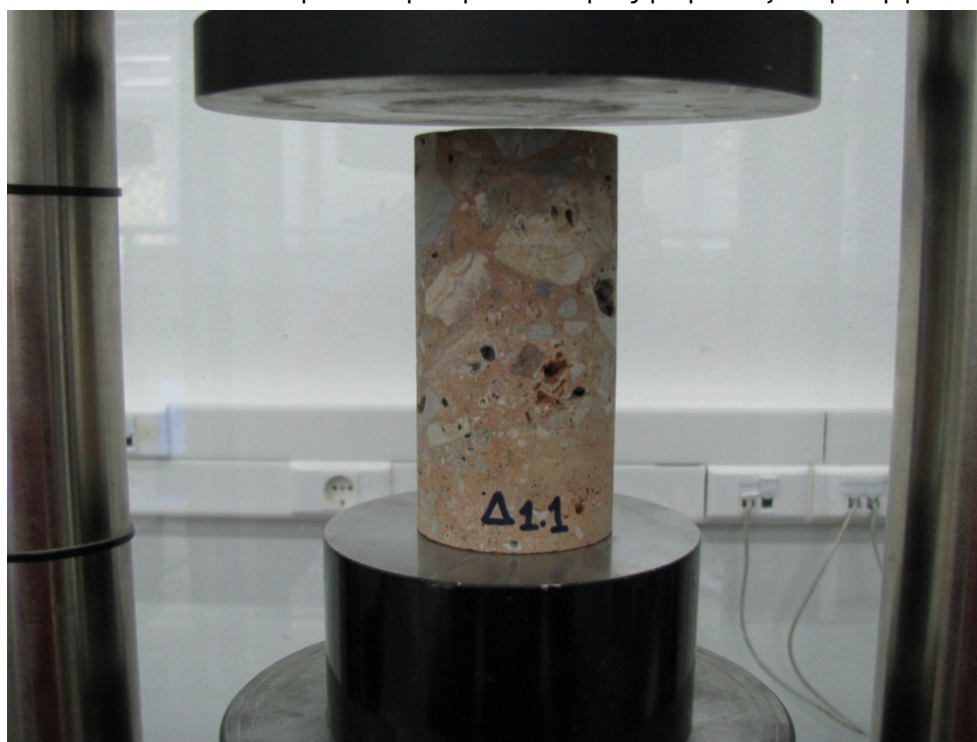
Από τις εργαστηριακές δοκιμές μοναξονικής θλίψης (βλ. παράρτημα), που έγιναν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων - Μεταλλουργών, στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής διατριβής έχουμε τα κάτωθι αποτελέσματα:

Περιγραφή δοκιμίου	Κλαστικό, ασβεστολιθικής σύστασης, με ψαμμιτικό συνδετικό υλικό καστανοκίτρινης σύστασης
Μέγιστο πορώδες	9,89 mm
Ύψος	106,87 mm
Διάμετρος	54,4 mm
Ανεμπόδιση θλίψη	36,4 MPa

Στις Εικόνες 5.12 – 5.14 παρατίθενται ενδεικτικά κάποιες φωτογραφίες από την διαδικασία της δοκιμής σε ανεμπόδιστη θλίψη:

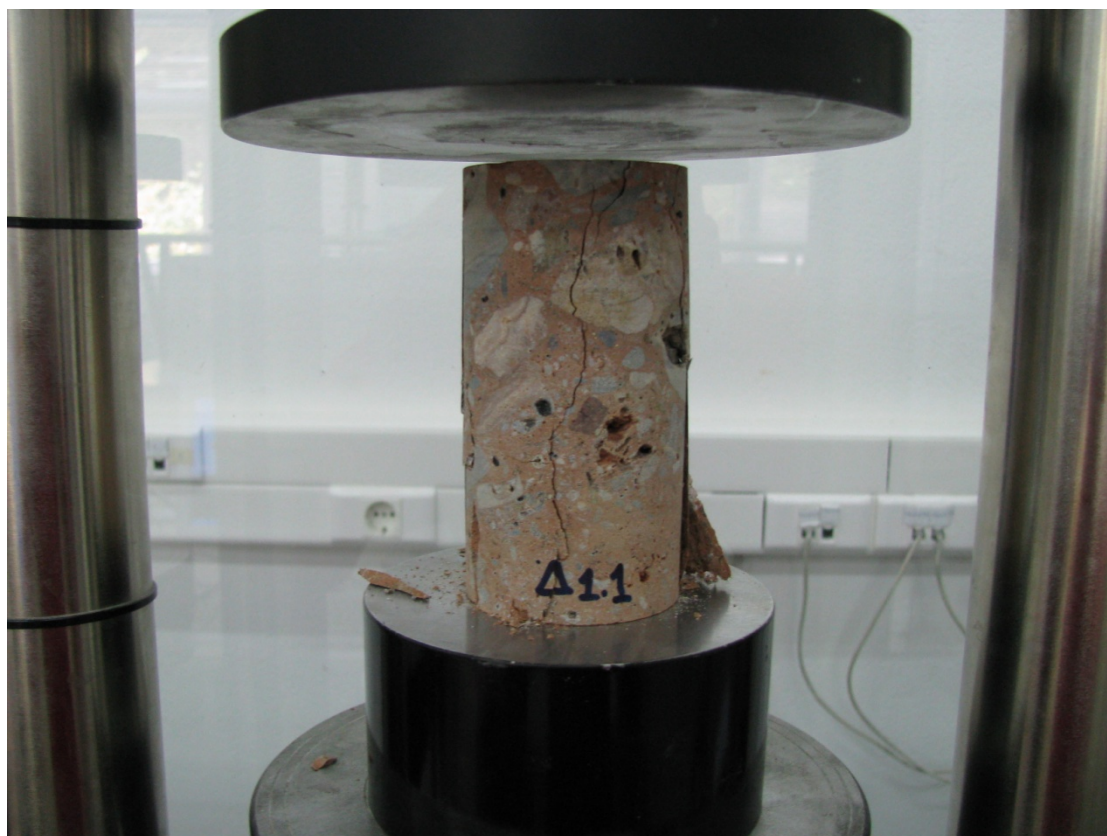


Εικόνα 5.12 Κυλινδρικό δοκίμιο κροκαλοπαγούς για μονοαξονική θλίψη.



Εικόνα 5.13 Το δοκίμιο τοποθετημένο στην θλιπτική μηχανή πριν την δοκιμή.





Εικόνα 5.14 Το ίδιο δοκίμιο μετά τη δοκιμή.

Παρακάτω βρίσκεται ο συνοπτικός πίνακας των δοκιμών σημειακής φόρτισης που έγιναν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής ΜΜΜ (βλ. παράρτημα).

Περιγραφή δοκιμίου	Κλαστικό, ασβεστολιθικής σύστασης, με ψαμμιτικό συνδετικό υλικό καστανοκίτρινης σύστασης
Διάσταση κλαστικών	28 - 42 mm
Διάσταση εγκοίλων	5,3 - 13 mm
Διατομή	2315 mm <sup>2</sup>
Φορτίο θραύσης	9kN και 12 kN
Δείκτης σημειακής φόρτισης $Is_{(50)}$	3,16 MPa και 4,22 MPa

#### 5.4.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ταξινόμηση των κροκαλοπαγών να σημειώσουμε πως ελήφθησαν υπόψη μόνο οι δοκιμές που διενεργήθηκαν στο εργαστήριο της σχολής ΜΜΜ.

**Πίνακας 5.6** Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για το κροκαλοπαγές.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	<b>Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη</b>		25-50 MPa
<b>RQD</b>		75 - 90 %	17
<b>Απόσταση ασυνεχειών</b>		200-600 mm	10
<b>Μήκος ασυνεχειών</b>		< 1 m	6
<b>Άνοιγμα ασυνεχειών</b>		1 - 5 mm	1
<b>Τραχύτητα ασυνεχειών</b>		Πολύ Τραχείες	6
<b>Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών</b>		Κανένα	6
<b>Βαθμός αποσάθρωσης</b>		Υγιές	6
<b>Υπόγειο νερό</b>		Εντελώς Ξηρό	15
<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>		71	
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>		Καλή (II)	

Από την αξιολόγηση των επι μέρους χαρακτηριστικών της βραχομάζας προκύπτει πως τα κροκαλοπαγή της περιοχής ανήκουν στην κατηγορία II και χαρακτηρίζονται καλής ποιότητας. Διακρίνονται από σημαντική ευστάθεια με την παρουσία των ασυνεχειών να περιορίζεται σε μικρής έκτασης περιοχή και χωρίς να επηρεάζουν την υγεία του πετρώματος. Δεν κρίνεται επιτακτική η παρουσία και χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης παρά μόνο κατά περίπτωση.

Να σημειώσουμε ότι ταξινομήσαμε το εν λόγω πέτρωμα με βάση την αντοχή σε μονοαξονική θλίψη καθώς δεν συνίσταται δοκιμή σημειακής φόρτισης σε πετρώματα με ανομοιογενή υλικά (αδρομερή υλικά με μαλακή συνδετική ύλη).

### 5.5 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 3: ΜΑΡΓΕΣ - ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ

Σύμφωνα με τον γεωλογικό χάρτη του Κατσιαβριά (1991, έκδοση 2007) η ενότητα αυτή (την οποία ονοματίζει ως «ηπειρωτικές αποθέσεις») συνίσταται από ακανόνιστες εναλλαγές στο χώρο και στο χρόνο απόθεσής τους και είναι μάργες λευκές, κιτρινωπές, στρωματώδεις ή άστρωτες, πηλοί διαφόρου χρώματος και άστρωτοι, ψαμμίτες τεφροκιτρινωποί, στρωματώδεις ή άστρωτοι. Τοπικά απαντώνται λατυποπαγή πολύμεικτα, κατά το πλείστον αδιαβάθμητα, ετερομετρικά, συνεκτικά, ερυθροχρώματα σε μικρές ενστρώσεις και ασβεστόλιθοι μαργαϊκοί, κλαστικοί, ερυθρωποί, κιτρινωποί και άστρωτοι.

#### ΜΑΡΓΕΣ

Εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή του Καβουρίου, του Λαιμού της Βουλιαγμένης και κατά μήκος της Λεωφόρου Αλκυονίδων και της Λεωφόρου Αθηνών από την πλευρά της θάλασσας (σχήμα 5.1 και χάρτης εκτός κειμένου) κ.α. Έχουν χρώμα συνήθως καστανοκίτρινο, λευκοκίτρινο αλλά και τοπικά καστανότεφρο, λευκότεφρο, τεφρό, καστανό, καστανέρυθρο. Σαν γεωλογικά υλικά, οι μάργες αποτελούν σχηματισμούς με σύνθετη δομική μορφή, που οι ιδιότητές τους ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από τη λιθολογία και το βαθμό στερεοποίησής τους. Σαν μάργες στη συγκεκριμένη περίπτωση εννοούμε γεώδεις σχηματισμούς, εύθρυπτους και πολλές φορές ψαθυρούς σε ξηρή κατάσταση που διαλύονται στο νερό και γίνονται πλαστικοί όταν διαβραχούν (Σαμπατακάκης, 1991).

Από ορυκτολογική ανάλυση που έγινε σε ένα δείγμα μάργας της περιοχής με το περιθλασίμετρο ακτινών Χ προσδιορίστηκαν τα παρακάτω ορυκτά:

#### ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΣΥΣΤΑΣΗ %

ΑΣΒΕΣΤΙ- ΤΗΣ	ΧΑΛΑΖΙΑΣ	ΙΛΛΙΤΗΣ	ΜΟΝΤΜΟΡΙ- ΛΟΝΙΤΗΣ	ΧΛΩΡΙΤΗΣ
23	19	16	20	10

Με βάση τα όρια ATTERBERG έγινε ταξινόμηση των μαργών στο διάγραμμα πλαστικότητας κατά CASAGRANDE (Σχ. 5.6). Όπως φαίνεται στο διάγραμμα αυτό οι μάργες ταξινομούνται γεωτεχνικά κυρίως σαν άργιλοι μέσης και υψηλής πλαστικότητας, CL και CH. Σε μερικές ελάχιστες περιπτώσεις, ταξινομούνται και



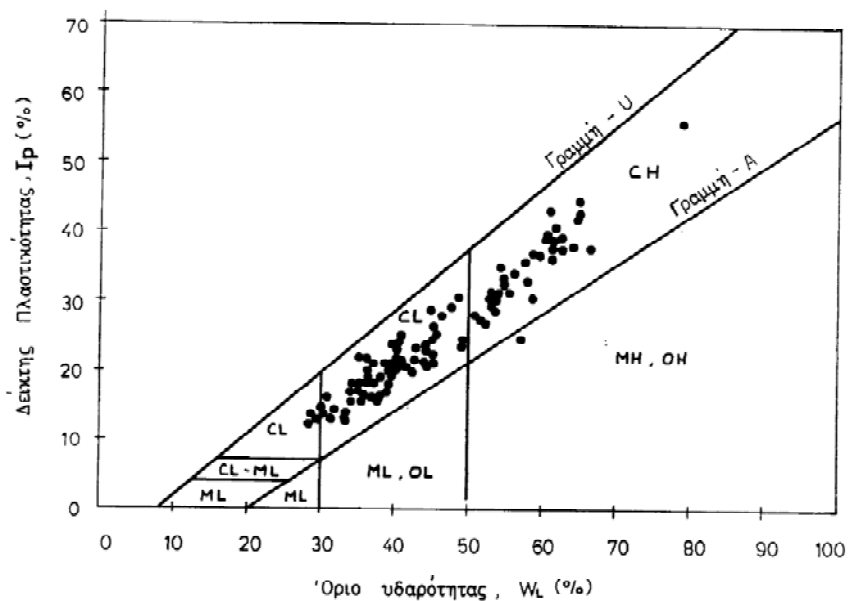
σαν ML και MH ή και CL-ML δηλαδή σαν ιλύες. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω οι μάργες έχουν χωριστεί σε δύο κύριες ομάδες, CL και CH. Η μηχανική συμπεριφορά κάθε ομάδας, όπως έχει προσδιοριστεί από εργαστηριακές δοκιμές φαίνεται στους παρακάτω πίνακες (Σαμπατακάκης, 1991):

**Πίνακας 5.7 Ομάδα CL**

	C <sub>u</sub> (KPa)	φ	N <sub>SPT</sub>	W <sub>L</sub> %	I <sub>P</sub>	q <sub>u</sub> (KPa)	C <sub>c</sub>	W %	e
Μέγιστη τιμή	45	12	>50	78,3	56,0	1080	0,39	34,9	1,90
Ελάχιστη τιμή	36	7		50,8	24,9	136	0,06	14,5	0,44
Μέσος όρος	40	9		58,5	35,6	395	0,17	23,2	0,67
Αριθμός δοκιμών	3	3		37	37	35	8	36	34

**Πίνακας 5.8 Ομάδα CH**

	C <sub>u</sub> (KPa)	φ	N <sub>SPT</sub>	W <sub>L</sub> %	I <sub>P</sub>	q <sub>u</sub> (KPa)	C <sub>c</sub>	W %	e
Μέγιστη τιμή	170	20	>50	78,3	56,0	1080	0,39	34,9	1,90
Ελάχιστη τιμή	35	6		38,2	24,9	136	0,06	14,5	0,44
Μέσος όρος	103	13		38,2	19,7	380	0,09	19,2	0,52
Τυπική απόκλιση				4,9	4	202		4,4	0,1
Αριθμός δοκιμών	7	7		79	37	35	8	36	34



Σχήμα 5.6 Διάγραμμα πλαστικότητας κατά Casagrande.

Επιπρόσθετα στοιχεία για τη φυσικομηχανική συμπεριφορά των μαργών έχουν συγκεντρωθεί και από πληθώρα μελετών που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, στη συνέχεια παρουσιάζονται τιμές παραμέτρων όπως αυτές περιγράφονται στα προφίλ γεωτρήσεων που περιέχονται σε επιμέρους μελέτες.:

Τίτλος μελέτης	Γεωτεχνική έρευνα κατά μήκος της χάραξης του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων (περιοχές Αλίμου – Γλυφάδας – Βούλας)
Συντάκτες	Ι. Χατζηνάκος – Εμ. Αποστολίδης – Μ. Κυνηγαλάκη
Κωδικός γεώτρησης	Γ – 38
Ανεμπόδιση θλίψη	18 MPa

Τίτλος μελέτης	Γεωτεχνική έρευνα θεμελίωσης τετραώροφης οικοδομής
Συντάκτες	Ν. Μπαρούνης και συνεργάτες
Κωδικός γεώτρησης	8560
SPT	50/3, 50/6
Φαινόμενο βάρος	1,65 – 1,95
$I_p$	9 – 13 %

Στα Σχήματα 5.7.α, 5.7.β, 5.7.γ, 5.7.δ και 5.7.ε φαίνονται τα ιστογράμματα τιμών των φυσικών - μηχανικών παραμέτρων της ομάδας CL των μαργών (Σαμπατακάκης, 1991).

Από το μικρό αριθμό αστράγγιστων και χωρίς στερεοποίηση τριαξονικών δοκιμών φαίνεται ότι η συνοχή  $c$  των μαργών γενικά κυμαίνεται από 35 μέχρι 170 kPa και η γωνία τριβής από 7° μέχρι 20°. Η αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη κυμαίνεται από 116 kPa μέχρι 1080 kPa με μέση τιμή περίπου 390 kPa και αρκετά μεγάλη τυπική απόκλιση (202 kPa) (Σαμπατακάκης, 1991).

Επειδή ο δείκτης συμπιεστότητας εξαρτάται από τον αρχικό λόγο κενών, αλλά και από το βαθμό συσσωμάτωσης ή συγκόλλησης των κόκκων, έγινε προσπάθεια συσχέτισης του λόγου κενών και του δείκτη συμπιεστότητας για όλες τις μάργες (ομάδες CL και CH). Τελικά υπολογίστηκε ότι υπάρχει η παρακάτω γραμμική σχέση (Σχ. 5.8):

$$C_c = 0.271 e - 0.055 \text{ (Σαμπατακάκης, 1991)}$$

με συντελεστή συσχέτισης 0.63.

Η σχέση αυτή δείχνει καθαρά ότι ο δείκτης συμπιεστότητας αυξάνεται με την αύξηση του λόγου κενών.

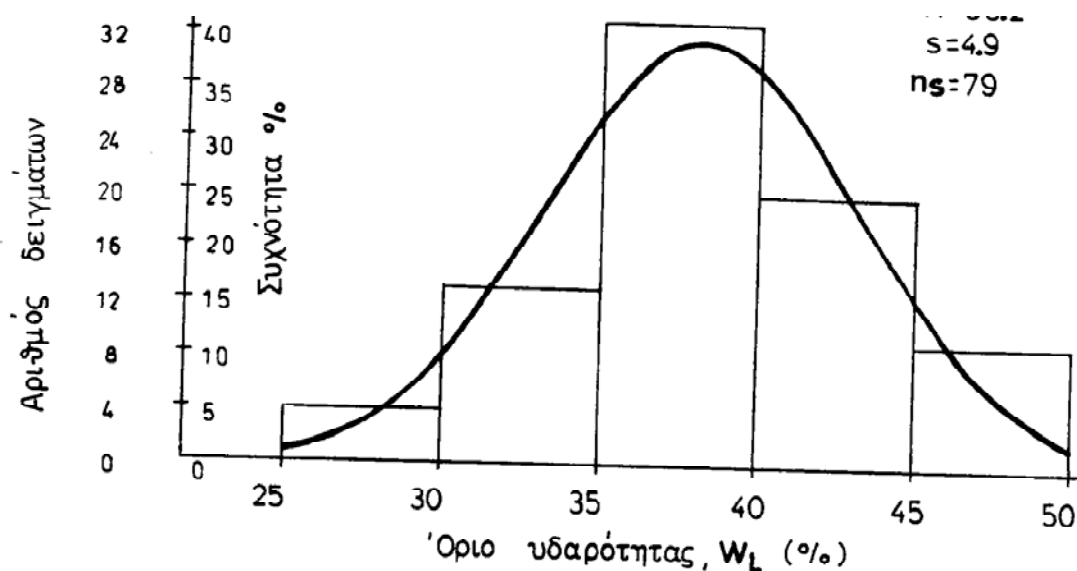
Επίσης στο Σχ. 5.9 φαίνεται η σχέση του δείκτη συμπιεστότητας και της φυσικής υγρασίας που είναι επίσης γραμμική:

$$C_c = 0.010 W - 0.11$$

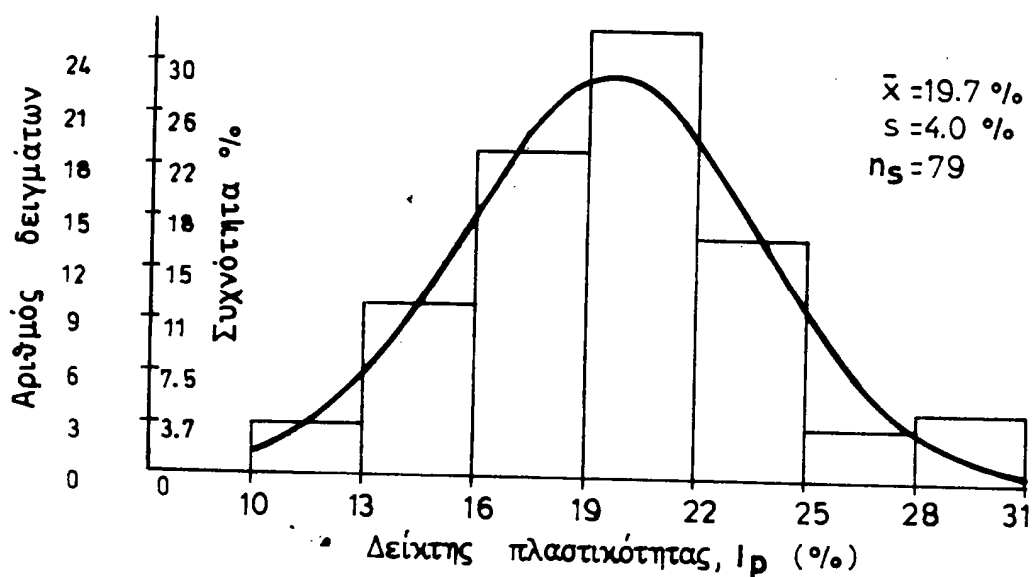
με συντελεστή συσχέτισης 0.70.

Σε γενικές γραμμές τα κυριότερα χαρακτηριστικά των μαργών σαν εδάφη θεμελίωσης είναι (Σαμπατακάκης, 1991):

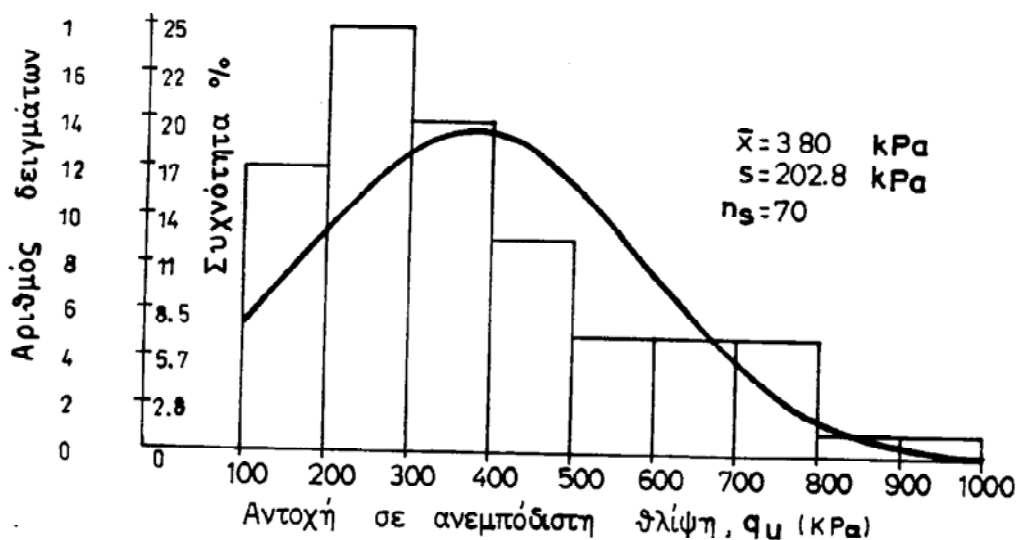
- η μεγάλη διακύμανση της αντοχής τους (από 116 μέχρι 1080 kPa), ανάλογα με τη φυσική υγρασία, τη σύσταση, τη δομή και το βαθμό διαγένεσής τους.
- η χαλάρωση και απώλεια της αντοχής τους είτε, λόγω επαναλαμβανόμενης συρρίκνωσης και διόγκωσης είτε λόγω αναμόχλευσης (ευαισθησία).
- Οι σχετικά υψηλές (μέχρι και 170 kPa) τάσεις διόγκωσης που παρουσιάζουν κυρίως τα μέλη που το όριο υδαρότητας και ο δείκτης πλαστικότητας είναι μεγαλύτερα περίπου του 40 και 25 αντίστοιχα.



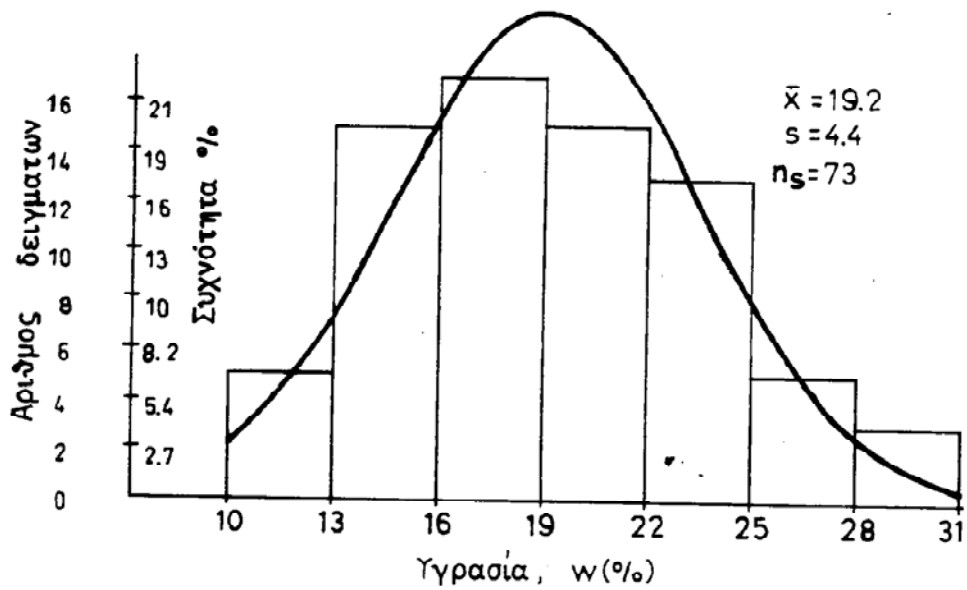
Σχήμα 5.7.α Όριο υδαρότητας προς αριθμό δειγμάτων.



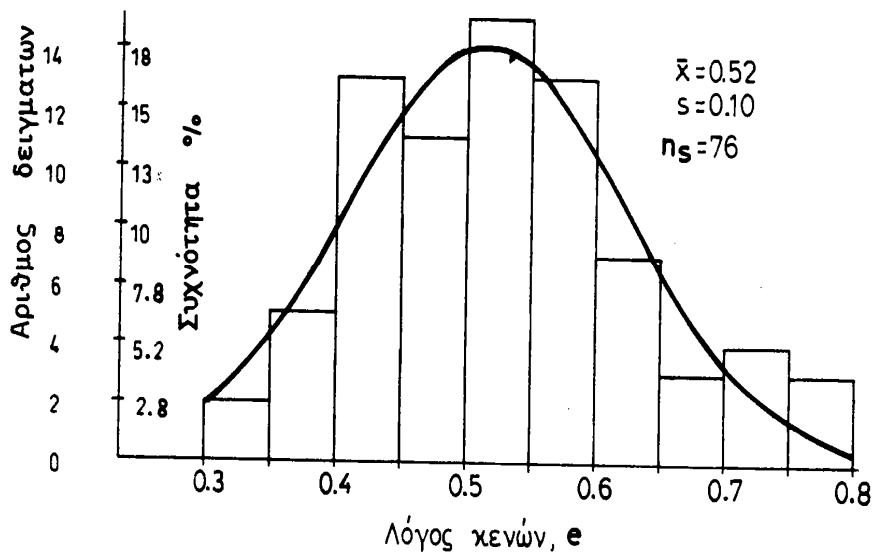
Σχήμα 5.7.β Δείκτης πλαστικότητας προς αριθμό δειγμάτων.



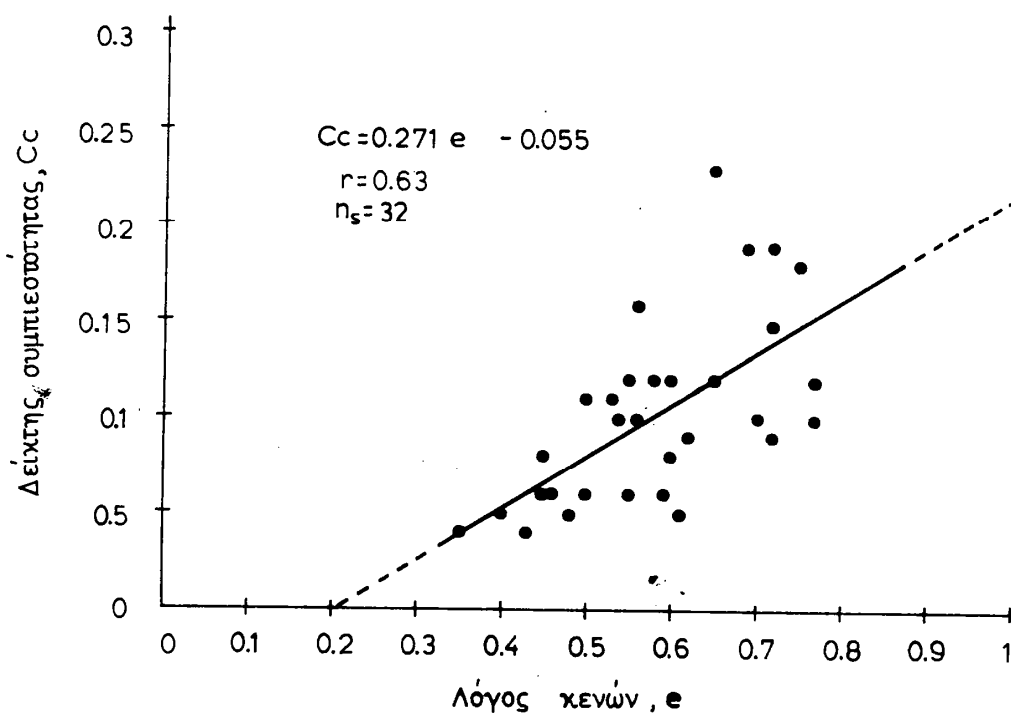
Σχήμα 5.7.γ Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη προς αριθμό δειγμάτων.



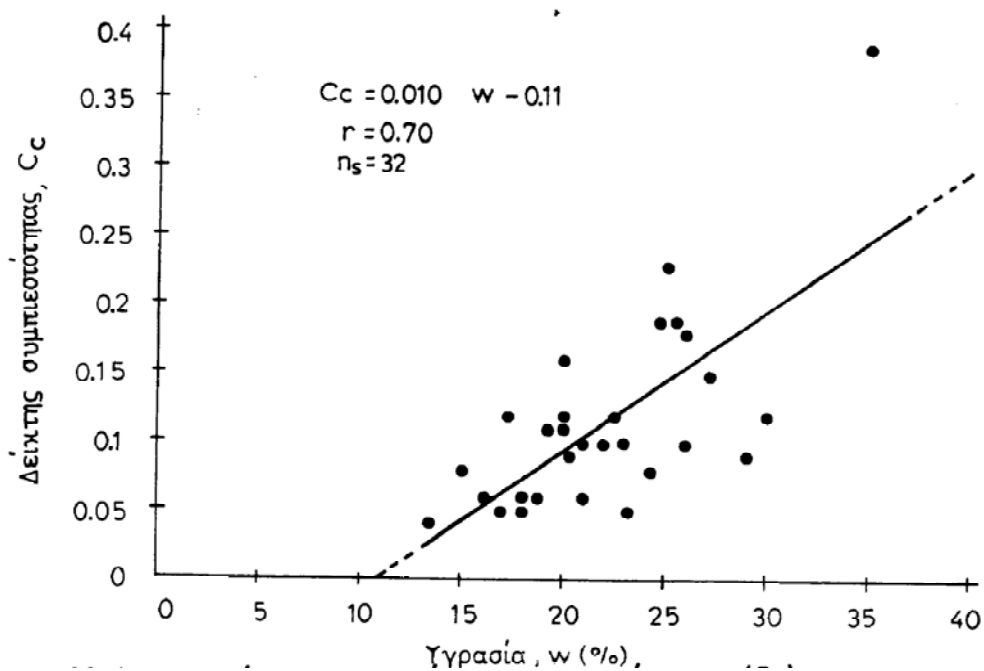
Σχήμα 5.7.δ Υγρασία προς αριθμό δειγμάτων.



Σχήμα 5.7.ε Λόγος κενών προς αριθμό δειγμάτων.



Σχήμα 5.8 Λόγος κενών προς δείκτη συμπίεστικότητας.



Σχήμα 5.9 Συσχέτιση υγρασίας με δείκτη συμπίεστικότητας.

Μερικές ενδεικτικές εικόνες (5.15 μέχρι 5.21) μαργών από την περιοχή:



**Εικόνα 5.15** Μάργες εύθρυπτες και αποσαθρωμένες τεφρόλευκου χρώματος.



**Εικόνα 5.16** Μάργες εύθρυπτες και αποσαθρωμένες τεφρόλευκου χρώματος.





**Εικόνα 5.17** Μάργες καστανοκίτρινες, μέτρια αποσαθρωμένες.



**Εικόνα 5.18** Ορίζοντες μαργαϊκών ασβεστόλιθων εντός των μαργών.





**Εικόνα 5.19** Πρανές τεφρόλευκης παράκτιας μάργας.



**Εικόνα 5.20** Ερυθροκίτρινη μάργα.



**Εικόνα 5.21** Λεπτομέρεια ερυθροκίτρινου μαργαϊκού ασβεστόλιθου.

## ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΗ

Από, κατά καιρούς διενεργηθείσες, μελέτες στην περιοχή ενδιαφέροντος, λαμβάνουμε πληροφορίες για τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά των λατυποπαγών:

Τίτλος μελέτης	Εκτέλεση γεώτρησης στο 2 <sup>ο</sup> δημ. Σχολείο Βούλας
Συντάκτες	Κ.Ε.Δ.Ε.
Κωδικός γεώτρησης	963
SPT	άρνηση
R.Q.D.	11 – 98 %
C.R.	50 – 98 %
PLT $I_{s(50)}$	1,09(d) – 3,65(d) και 3,7 (i)

Τίτλος μελέτης	Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.
Συντάκτες	Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανική Ε.Π.Ε.
Κωδικός γεώτρησης	Γ – 3
Ξηρό φαινόμενο βάρος	19,04 kN/m <sup>3</sup>
Υγρό φαινόμενο βάρος	21,66 kN/m <sup>3</sup>

Τίτλος μελέτης	Γεωτεχνική έρευνα κατά μήκος της χάραξης του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων ( περιοχές Αλίμου – Γλυφάδας – Βούλας )
Συντάκτες	Ι. Χατζηνάκος – Εμ. Αποστολίδης – Μ. Κυνηγαλάκη
Κωδικός γεώτρησης	Γ -37 Γ-39 Γ-40 Γ-41 Γ-42 Γ-45
Ανεμπόδιση θλίψη	10,12 MPa - 19,11 MPa 30,57 MPa - 64,3 MPa 13,94 MPa - 62,32 MPa

Τίτλος μελέτης	Τεχνικογεωλογική έρευνα σε ιδιωτικό οικόπεδο
Συντάκτες	Εδαφομηχανική Α.Τ.Ε.
Κωδικός γεώτρησης	77 boula
Πορώδες	2,07 – 14,11 %
Τάση	4,38 – 29,03 MPa
Παραμόρφωση	0,39 – 1,4 %
PLT οριζόντια	1,86 – 4,45 MPa
PLT κάθετα	2,77 – 5,21 MPa

Σαμπατακάκης	
Ξηρή πυκνότητα	22,5 – 28,4 kN/m <sup>3</sup>
Σκληρότητα Schmidt	20 - 39
Ανεμπόδιση θλίψη	3,1 – 50,5 MPa

**Σημείωση:** Δεν υπάρχουν φωτογραφίες λατυποπαγών καθώς η περιοχή όπου βρίσκονται είναι πλέον πλήρως οικιστικά καλυμμένη.

### 5.5.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με βάση τα στοιχεία της βιβλιογραφίας συγκεντρώθηκαν δεδομένα για την ταξινόμηση της βραχομάζας των λατυποπαγών σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Bieniawski (1989, βλ. παράρτημα). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν τον αριθμό των συστημάτων των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα, το RQD σε επιφάνειες πρανών, το άνοιγμα, την τραχύτητα, την συνέχεια και την απόσταση των ασυνεχειών, τον βαθμό αποσάθρωσης της βραχομάζας, την παρουσία νερού κ.α. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 5.9 :

**Πίνακας 5.9** Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τα λατυποπαγή.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	<b>Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη</b>	1-5 MPa έως 50-100 MPa	1 - 7
	<b>RQD</b>	50 - 90 %	13 -17
	<b>Απόσταση ασυνεχειών</b>	0,6 - >2m	15 - 20
	<b>Μήκος ασυνεχειών</b>	1 - 20m	4 - 1
	<b>Άνοιγμα ασυνεχειών</b>	0,1 - > 5mm	0 - 4
	<b>Τραχύτητα ασυνεχειών</b>	Ελαφρά Τραχείες	3
	<b>Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών</b>	Κανένα – Σκληρό > 5mm	2 - 6
	<b>Βαθμός αποσάθρωσης</b>	Υγιές – Μέτρια αποσαθρωμένο	3 - 6
	<b>Υπόγειο νερό</b>	Εντελώς Ξηρό - Στάγδην	4 - 15
	<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>	51 - 79	
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>	Μέτρια (III) έως Καλή (II)		

Από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των λατυποπαγών με τη μέθοδο Bieniawski, προέκυψε ότι ανήκει στη κατηγορία (III) έως (II). Έχει σχετικά καλή γεωτεχνική συμπεριφορά, σχετική έως μερική ευστάθεια σε περιπτώσεις θεμελίωσης και σε μεμονωμένες περιπτώσεις πρανών δύναται να παρατηρηθεί αστοχία τεμάχων ή πολλές σφήνες. Κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση επιπρόσθετων μέτρων υποστήριξης.



## 5.6 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 4: ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΟΕΙΔΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ

Τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθοι, κατά τόπους μαργαϊκοί, χρώματος υπόλευκου, καστανωπού, σπανιότερα κιτρινωπού, τεφρόλευκου, κυψελλώδεις έως σπηλαιώδεις, παχυστρωματώδεις έως άστρωτοι, κατά κανόνα γλυκών υδάτων. Σε μερικές θέσεις του λαιμού της Βουλιαγμένης, στα ανώτερα μέλη τους είναι βιοκλαστικοί, υπόλευκοι, στρωματώδεις, συμπαγείς και αβαθούς θαλάσσης, ( Κατσιαβριάς, 2007 ).

Στις επόμενες εικόνες (5.22 – 5.29) παρατηρούμε τραβερτινοειδείς ασβεστόλιθους από την περιοχή του Καβουρίου και του Λαιμού της Βουλιαγμένης, παρακάτω:



**Εικόνα 5.22** Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.



**Εικόνα 5.23** Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.



**Εικόνα 5.24** Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.





**Εικόνα 5.25** Τραβερτινοειδής σχηματισμός στο λαιμό της Βουλιαγμένης.



**Εικόνα 5.26** Τραβερίνης στην περιοχή της Βουλιαγμένης.





Εικόνα 5.27 Τραβερίνης στο Καβούρι.



Εικόνα 5.28 Τραβερίνης στο Καβούρι.



**Εικόνα 5.29** Τραβερίνης στην παραλία Καβουρίου.



Στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών πραγματοποιήθηκαν οι εξής δοκιμές (βλ. παράρτημα) σε ακέραιο πέτρωμα τραβερτίνη. Εδώ παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών:

**Πίνακας 5.10** Μονοαξονική θλίψη.

Μονοαξονική θλίψη	
Μήκος	10cm
Διάμετρος	5,4 cm
Θλιπτικό φορτίο	79,02 kN
Αντοχή	34,5 MPa
Αριθμός δοκιμών	1

**Πίνακας 5.11** Φόρτιση κατά γενέτειρα (Brazilian).

Brazilian	
Ελάχιστη τιμή $\sigma$ (MPa)	2,11
Μέγιστη τιμή $\sigma$ (MPa)	6,6
Μέση τιμή $\sigma$ (MPa)	4,16
Αριθμός δοκιμών	4

**Πίνακας 5.12** Σημειακή φόρτιση (PLT).

PLT	
Ελάχιστη τιμή $I_{s(50)}$ (MPa)	0,35
Μέγιστη τιμή $I_{s(50)}$ (MPa)	5,74
Μέση τιμή $I_{s(50)}$ (MPa)	3,41
Αριθμός δοκιμών	7

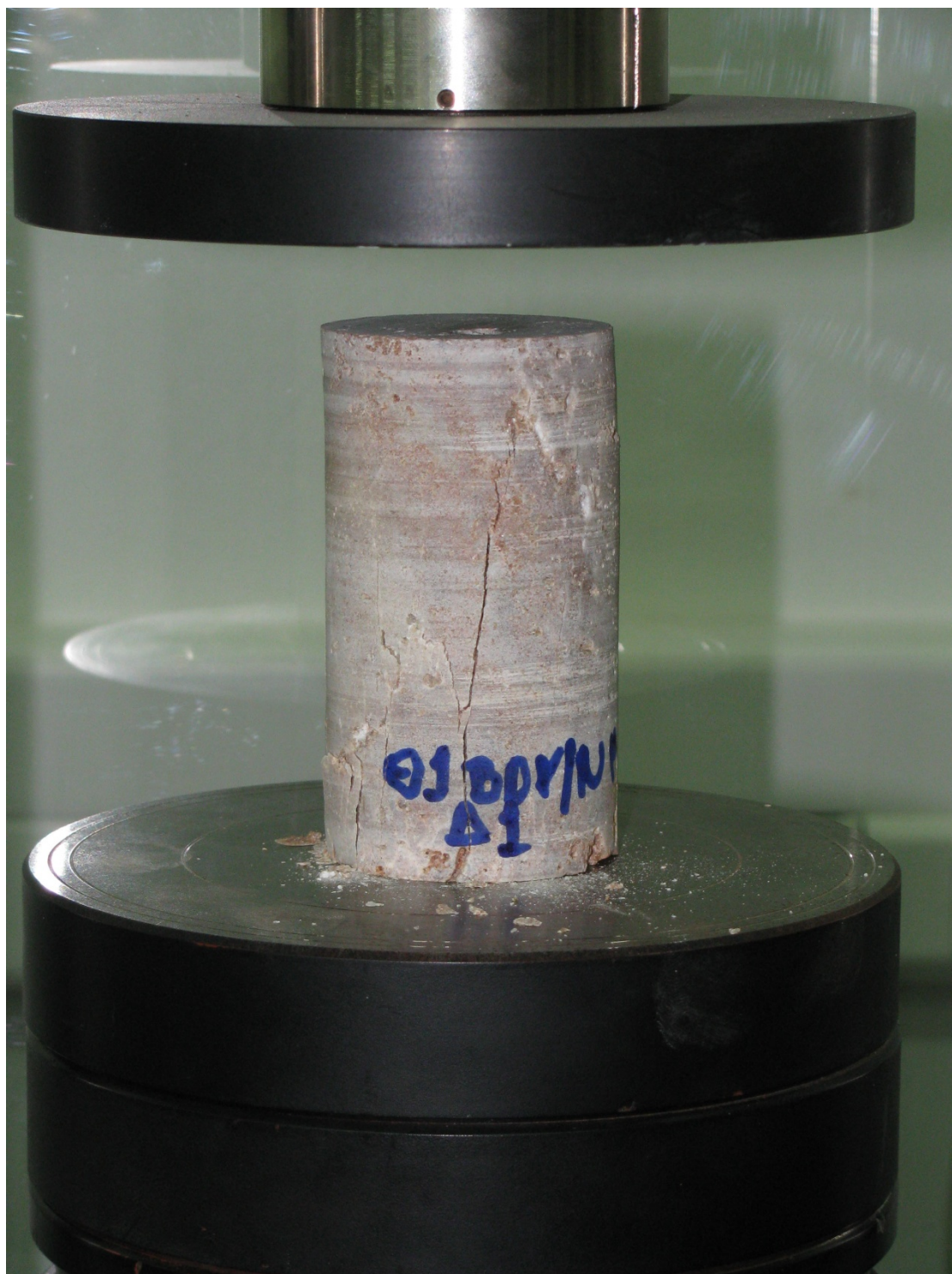
**Πίνακας 5.13** Διάτμηση.

Διάτμηση		
Επιφάνεια διάτμησης (mm <sup>2</sup> )	2200	
$\sigma_n$ (MPa)	0,2 – 0,45	
$t_{max}$ (MPa)	1,14 – 1,45	
$t_{res}$ (MPa)	0,66 – 1,18	
Γωνία τριβής σχεδιασμού	$\varphi_{dmax}^{\circ}$	33,48
	$\varphi_{dres}^{\circ}$	28,76

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες από την διαδικασία των εργαστηριακών δοκιμών. Συγκεκριμένα στις εικόνες 5.30 και 5.31, κυλινδρικό δοκίμιο τραβερτίνη έχει τοποθετηθεί και σπάσει στην μηχανή ανεμπόδιστης θλίψης :



Εικόνα 5.30 Δοκίμιο τραβερτίνη τοποθετημένο στην θλιπτική μηχανή.



**Εικόνα 5.31** Το ίδιο δοκίμιο μετά την μοναξονική θλίψη.

Στην εικόνα 5.32 παρουσιάζονται δισκία τραβερτίνη πριν και μετά την φόρτιση κατά γενέτειρα και στην 5.33 δοκίμια έτοιμα για σημειακή φόρτιση:





**Εικόνα 5.32** Τα διαμορφωμένα δισκία του τραβερτίνη πριν και μετά την δοκιμή φόρτισης κατά γενέτειρα (Brazilian).



**Εικόνα 5.33** Τα κυλινδρικά δοκίμια τραβερτίνη για την δοκιμή σημειακής φόρτισης.



### 5.6.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 5.14 Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον τραβερτίνη.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	Αντοχή σε Σημειακή Φόρτιση	0,35 – 5,74 MPa	4 - 12 *
	RQD	75 - 90 %	17
	Απόσταση ασυνεχειών	0.6- 2 m	15
	Μήκος ασυνεχειών	1 – 3 m	4
	Άνοιγμα ασυνεχειών	1-5 mm	1
	Τραχύτητα ασυνεχειών	Ελαφρά Τραχείες	3
	Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών	Κανένα	6
	Βαθμός αποσάθρωσης	Υγιές	6
	Υπόγειο νερό	Εντελώς Ξηρό	15
<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>		71 - 79 *	
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>		Καλή (II)	

**\*Σημείωση:** Η σημειακή φόρτιση κυμαίνεται σε τρία πεδία (1-2 MPa, 2-4 MPa, 4-10 MPa) με τον μέσο όρο να είναι 3,41 MPa. Δεν αλλάζει ο χαρακτηρισμός της βραχομάζας ως καλής, κατηγορίας (II). Για τις τιμές μικρότερες του 1 MPa προτιμάται η δοκιμή μοναξονικής αντοχής με βαθμούς RMR της τάξης του 72, που και πάλι δεν αλλάζει τον χαρακτηρισμό της βραχομάζας.

Από πλευράς ευστάθειας ένας σχηματισμός τραβερτίνη κρίνεται ικανοποιητικός σε περιπτώσεις θεμελίωσης και μόνο σε περιπτώσεις που η μάζα του είναι έντονα διαταραγμένη λόγω εξαλλοίωσης μερικά τεμάχια μπορεί να εμφανίσουν αστοχία κατά τόπους και κατά περίπτωση. Δεν κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης.

## 5.7 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 5: ΜΑΡΜΑΡΑ

Αποτελούν το μεγαλύτερο μέρος του ορεινού όγκου του Υμηττού και της Πεντέλης. Είναι κυρίως λευκά αλλά και υπόλευκα, ανοικτότεφρα, τεφρόλευκα, κυανά και ροδόχρωμα. Εμφανίζονται λεπτοστρωματώδη και πτυχωμένα που διασχίζονται από πολύπλοκο δίκτυο ασυνεχειών (περιοχή Υμηττού). Η παρουσία σιδήρου στα λευκά μάρμαρα σε μικρή περιεκτικότητα (0.2%) δίνει σε αυτά μία υποκάστανη χροιά επιφανειακά, λόγω του σχηματισμού υδροξειδίου του σιδήρου από την αποσάθρωση (Σαμπατακάκης, 1991). Άλλοτε υπέρκεινται ομαλά ή σε ασυμφωνία των δολομιτών πιρναρής, όπως στην περιοχή του Πανοράματος Βούλας.

Μικροσκοπικά παρουσιάζουν μίγμα αδρομερών κρυστάλλων ασβεστίτη μέσα σε θεμελιώδη μάζα που αποτελείται από μικρούς κόκκους και άμορφο ασβεστίτη. Επίσης περιέχονται διάσπαρτοι κόκκοι χαλαζία, μοσχοβίτη και χλωρίτη καθώς επίσης και κόκκοι μεταλλικών ορυκτών όπως σιδηροπυρίτη, μαγνητίτη και αιματίτη.

Από εργαστηριακές δοκιμές (Σαμπατακάκης, 1991) που εκτελέστηκαν στο ακέραιο πέτρωμα, εκτιμήθηκαν τα φυσικά - μηχανικά χαρακτηριστικά που συνοπτικά φαίνονται παρακάτω:

Πίνακας 5.15 Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά μαρμάρου.

Χαρακτηριστικό	Ξηρή πυκνότητα $\alpha$ ( $\rho_d$ ) KN/m <sup>3</sup>	SHV	Is (50) MPa	$\sigma_c$ MPa	$\sigma_t$ MPa
Μέγιστη τιμή	28.7	60	8.2	110	20.4
Ελάχιστη τιμή	20.8	39	2.2	78.8	3.1
Μέσος όρος	28.3	54	4.6	100.1	9.8
Αριθμός δοκιμών	9	17	23	5	4

### 5.7.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών, το μάρμαρο σαν ακέραιο πέτρωμα ταξινομείται σαν μέτρια σκληρό μέχρι σκληρό και υψηλής μέχρι πολύ υψηλής αντοχής. Με βάση τις μέσες τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης και της αντοχής σε μοναξονική θλίψη εκτιμάται συντελεστής συσχέτισης  $K$  των δύο παραμέτρων της τάξης του 9.

Επιτόπου, σαν βραχομάζα τα μάρμαρα είναι δυνατό να εμφανίζονται πολύ συμπαγή, χωρίς ή με πολύ αραιές ασυνέχειες ή να διατέμνονται από πυκνά δίκτυα ασυνεχειών με αποτέλεσμα τη μείωση της γεωμηχανικής τους συμπεριφοράς. Ο Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ (1971) ύστερα από συστηματική μικροτεκτονική έρευνα αναφέρει τέσσερα κύρια συστήματα διακλάσεων που διατέμνουν τα μάρμαρα του Υμηττού με κύριες διευθύνσεις:

1<sup>ο</sup> σύστημα Β - Ν ( $10^{\circ}$ - $190^{\circ}$ )

2<sup>ο</sup> σύστημα Α - Δ ( $90^{\circ}$ - $270^{\circ}$ )

3<sup>ο</sup> σύστημα ΒΑ-ΝΔ ( $60^{\circ}$ - $240^{\circ}$ )

4<sup>ο</sup> σύστημα ΝΑ-ΒΔ ( $130^{\circ}$ - $310^{\circ}$ )

Οι διακλάσεις αυτές είναι κυρίως διατμητικού χαρακτήρα και η συχνότητά τους αντίστροφη με το πάχος των στρωμάτων και ανεξάρτητη της κλίσης τους. Ο ίδιος ερευνητής (1972) ύστερα από εξέταση και ταξινόμηση των πτυχών, αναφέρει δύο κύριες ομάδες με διεύθυνση αξόνων ΒΑ-ΝΔ και Β-Ν.

Παρακάτω (εικόνες 5.34 – 5.45) παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες μαρμάρων της περιοχής Βούλας:



**Εικόνα 5.34** Μάρμαρο τεφρόλευκο στην περιοχή Πηγαδάκια της Βούλας.



**Εικόνα 5.35** Μάρμαρο ροδόλευκο στην περιοχή της Βούλας.





**Εικόνα 5.36** Μάρμαρο στη Βούλα.



**Εικόνα 5.37** Μάρμαρο και η υπερκείμενη ζώνη αποσάθρωσής του.



**Εικόνα 5.38** Λευκό μάρμαρο στα σύνορα Βάρης – Βουλιαγμένης.



**Εικόνα 5.39** Μάρμαρο σε πρανές βορειοανατολικά της Λεωφόρου Βουλιαγμένης.





**Εικόνα 5.40** Ροδόλευκο μάρμαρο στη Βουλιαγμένη.



**Εικόνα 5.41** Ροδόλευκο μάρμαρο στη Βουλιαγμένη.





**Εικόνα 5.42** Λεπτομέρεια λευκού μαρμάρου.



**Εικόνα 5.43** Μάρμαρο στη Βούλα.





**Εικόνα 5.44** Λεπτομέρεια μαρμάρου.



**Εικόνα 5.45** Λεπτομέρεια μαρμάρου.

## 5.8 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 6: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ

Κατά κύριο μέρος ο σχηματισμός περιλαμβάνει σχιστόλιθους μαρμαρυγιακής ή ανθρακικής φύσεως, χρώματος τεφρού, τεφρόμαυρου αλλά κυρίως πρασινωπού με μικρές φλέβες χαλαζία και φυλλιτών. Περιλαμβάνει επίσης, μικρές σε πάχος και έκταση ενστρώσεις χαλαζιτών και σε πολλές θέσεις διαφόρων διαστάσεων σώματα μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων. Κατά θέσεις οι σχιστόλιθοι είναι έντονα τεκτονισμένοι, διαμελισμένοι και παραμορφωμένοι. Συχνά διακρίνονται ενστρώσεις τεφρών ασβεστόλιθων ως επί το πλείστον κλαστικών και λεπτοστρωματοδών.

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των σχιστολίθων της περιοχής όπως ελήφθησαν από διάφορες μελέτες (ΚΕΔΕ, ΙΓΜΕ κλπ.).

Τίτλος μελέτης	Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.	
Συντάκτης	Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.	
Ξηρό φαινόμενο βάρος	17,93 – 19,59 kN/m <sup>3</sup>	
Υγρό φαινόμενο βάρος	19,23 kN/m <sup>3</sup>	
Κοκκομετρία ( % διερχόμενο )	26 - 100	
SPT	37/ $\frac{50}{0}$ - 37/ $\frac{50}{14}$	
Ανεμπόδιση θλίψη	q <sub>u</sub>	411 kPa
	strain	4,85%
Κωδικός γεώτρησης	Γ - 1	

Τίτλος μελέτης	Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.	
Συντάκτης	Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.	
Κοκκομετρία ( % διερχόμενο )	8 - 84	
SPT	50/10	
Σημειακή φόρτιση	I <sub>s50</sub>	0,10 – 0,51 MPa
	σ <sub>c</sub>	0,78 – 3,84 MPa
Κωδικός γεώτρησης	Γ - 2	

Τίτλος μελέτης	Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.
Συντάκτης	Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.
Κοκκομετρία ( % διερχόμενο )	22 - 94
Ξηρό φαινόμενο βάρος	19,69 – 20 kN/m <sup>3</sup>
Υγρό φαινόμενο βάρος	22,07 – 22,46 kN/m <sup>3</sup>
SPT	50/12
Κωδικός γεώτρησης	Γ - 3

Τίτλος μελέτης	Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.	
Συντάκτης	Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε.	
Κοκκομετρία ( % διερχόμενο )	44 - 100	
Ξηρό φαινόμενο βάρος	20 – 20,12 kN/m <sup>3</sup>	
SPT	50/10 – 50/9	
Σημειακή φόρτιση	Is	0,05 MPa
	σ <sub>c</sub>	0,35 MPa
Ανεμπόδιστη θλίψη	q <sub>u</sub>	242,1 kPa
	strain	12,49%
Κωδικός γεώτρησης	Γ - 4	

Στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών πραγματοποιήθηκαν δοκιμές σημειακής φόρτισης (PLT) σε ακανόνιστα δείγματα σχιστολίθου (βλ. παράρτημα). Τα αποτελέσματα των δοκιμών αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.16.

**Πίνακας 5.16** PLT σχιστολίθου σε ακανόνιστα δείγματα.

PLT	
$I_{s(50)}$ (MPa)	3,23
$F_{(50)}$ (MPa)	8080,95
Αριθμός δοκιμών	9



### 5.8.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Πίνακας 5.17 Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον σχιστόλιθο.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	Αντοχή σε Σημειακή Φόρτιση	3,23 MPa	7
	RQD	75 - 90 %	17
	Απόσταση ασυνεχειών	60-200 mm	8
	Μήκος ασυνεχειών	1 – 3 m	4
	Άνοιγμα ασυνεχειών	1-5 mm	1
	Τραχύτητα ασυνεχειών	Τραχείες	5
	Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών	Κανένα	6
	Βαθμός αποσάθρωσης	Ελαφρά Αποσαθρωμένο	5
	Υπόγειο νερό	Εντελώς Ξηρό	15
	Σύνολο Βαθμών (RMR)	63	
Χαρακτηρισμός βραχομάζας	Καλή (II)		

**Σημείωση:** Η ταξινόμηση της βραχομάζας έγινε με βάση τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχ. Μετ. Μετ. και μόνο, κατά την διάρκεια της παρούσας διπλωματικής.

Από πλευράς ευστάθειας οι σχηματισμοί σχιστόλιθου κρίνεται ικανοποιητικός και μόνο μερικά τεμάχια μπορεί να εμφανίσουν αστοχία κατά τόπους και κατά περίπτωση. Δεν κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης παρά μόνο κατά περίπτωση.

Στις εικόνες 5.46 – 5.50 παρατίθενται μερικές περιπτώσεις σχιστολιθικών σχηματισμών της περιοχής:



**Εικόνα 5.46** Σχιστόλιθος.



**Εικόνα 5.47** Σχιστόλιθος.





**Εικόνα 5.48** Αποσαθρωμένη ζώνη σχιστολίθου.



**Εικόνα 5.49** Πρανές πλήρως κατακερματισμένου σχιστολίθου στην περιοχή Πηγαδάκια.



**Εικόνα 5.50** Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος.



## 5.9 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 7: ΔΟΛΟΜΙΤΕΣ ΠΙΡΝΑΡΗΣ

Οι δολομίτες Πιρναρής, εμφανίζονται κυρίως υπόλευκοι έως τεφρόλευκοι και σε διάφορες θέσεις κιτρινωποί, ερυθρωποί, τεφροί, τεφρόμαυροι, μεσοχονδροκοκκώδεις, εν μέρει λατυποπαγείς, έντονα ανακρυσταλλωμένοι, μεσοπαχυστρωματώδεις, κατά κανόνα άστρωτοι και σε μερικές θέσεις κυψελλώδεις έως σπογγώδεις (Κατσιαβριάς, 1990) .

Επίσης, διακρίνονται και μέσο έως χονδροκοκκώδεις, καρστικοί και βιτουμενιούχοι. Στους εν λόγω δολομίτες αναγνωρίστηκαν ελασματοβράγχια του ανώτερου τριαδικού, επομένως η ηλικία απόθεσης θεωρείται το ανώτερο τριαδικό (Κατσιαβριάς, Ροντογιάννη, Γεωργίου, 1996).

Παρακάτω, στις εικόνες 5.51 έως 5.54, παρουσιάζονται τυπικές εμφανίσεις των δολομιτών στην περιοχή Πανοράματος Βούλας.



Εικόνα 5.51 Δολομίτες Πιρναρής.





**Εικόνα 5.52** Δολομίτης Πιρναρής όπως εμφανίζεται σε εκσκαφή που πραγματοποιήθηκε για τις απαιτήσεις θεμελίωσης οικίας στην οδό Πριάμου.



**Εικόνα 5.53** Επιφάνεια ρήγματος εντός δολομίτη.





**Εικόνα 5.54** Κατακερματισμένος δολομίτης.

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών των δολομιτών πραγματοποιήθηκαν δοκιμές φόρτισης κατά γενέτειρα, δοκιμές σημειακής φόρτισης καθώς και δοκιμές προσδιορισμού αντοχής σε μονοαξονική θλίψη. Το σύνολο των δοκιμών αυτών πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών σε άρρηκτα δείγματα που διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τις προβλεπόμενες προδιαγραφές. Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων που προέκυψαν από τις προαναφερόμενες δοκιμές παρουσιάζονται στον πίνακα 5.18 ενώ τα έντυπα των δοκιμών στο παράρτημα του παρόντος.:

**Πίνακας 5.18** Φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά δολομίτη.

	Brazilian (MPa)	PLT (MPa)	Ανεμπόδιση θλίψη (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (MPa)
Ελάχιστη τιμή	4,86	2,11	69	100 GPa
Μέση τιμή	9,02	4,39	71	
Μέγιστη τιμή	13,95	7,07	73	
Αριθμός δοκιμών	7	5	2	2
Ταχύτητα επιμηκών σεισμικών κυμάτων		6,18 – 6,77 km/s		

Φωτογραφική τεκμηρίωση των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν παρουσιάζεται στις εικόνες 5.55 έως 5.68.

### 5.9.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Κατά την διάρκεια των εργασιών υπαίθρου συγκεντρώθηκαν δεδομένα για την ταξινόμηση της βραχομάζας του δολομίτη σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης Bieniawski (1989, βλ. παράρτημα). Τα δεδομένα αυτά αφορούσαν τον αριθμό των συστημάτων των ασυνεχειών που διατέμνουν τη βραχομάζα, το RQD σε επιφάνειες πρανών, το άνοιγμα, την τραχύτητα, την συνέχεια και την απόσταση των ασυνεχειών, τον βαθμό αποσάθρωσης της βραχομάζας, την παρουσία νερού κ.α. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον πίνακα 5.17:

Πίνακας 5.19 Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον δολομίτη.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	<b>Αντοχή σε Μονοαξονική Θλίψη</b>	50 - 100 MPa	7
	<b>RQD</b>	50 - 90 %	13 -17
	<b>Απόσταση ασυνεχειών</b>	0,6 - >2m	15 - 20
	<b>Μήκος ασυνεχειών</b>	1 - 20m	4 - 1
	<b>Άνοιγμα ασυνεχειών</b>	0,1 - > 5mm	0 - 4
	<b>Τραχύτητα ασυνεχειών</b>	Ελαφρά Τραχείες	3
	<b>Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών</b>	Κανένα – Σκληρό > 5mm	2 - 6
	<b>Βαθμός αποσάθρωσης</b>	Υγιές – Μέτρια αποσαθρωμένο	3 - 6
	<b>Υπόγειο νερό</b>	Εντελώς Ξηρό - Στάγδην	4 - 15
	<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>	51 - 79	
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>	Μέτρια (III) έως Καλή (II)		

Από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών του δολομίτη με τη μέθοδο Bieniawski, προέκυψε ότι ανήκει στη κατηγορία (III) έως (II). Κάτι που σημαίνει πως ο δολομίτης έχει σχετικά καλή γεωτεχνική συμπεριφορά, σχετική ευστάθεια και μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις δύναται να παρατηρηθεί αστοχία τεμάχων. Κρίνεται επιλεκτική η παρουσία και χρήση επιπρόσθετων μέτρων υποστήριξης (εμφάνιση ρήγματος – βλ. εικόνα 5.53 - , παρουσία νερού, προσπέλαση ζώνης αποσάθρωσης κλπ.) και μόνο σε ιδιαίτερες συνθήκες είναι επιτακτική.



Εικόνα 5.55 Τα δισκία δολομίτη για θραύση κατά γενέτειρα (Brazilian).



Εικόνα 5.55 Δολομίτης στη θραύση κατά γενέτειρα (Brazilian).





Εικόνα 5.56 Οι δολομίτες μετά την θραύση Brazilian.



Εικόνα 5.57 Κυλινδρικά δοκίμια δολομίτη για δοκιμή σημειακής φόρτισης (PLT).



Εικόνα 5.58 Δολομίτης σε αξονική σημειακή φόρτιση κάθετα στις στρώσεις του.



Εικόνα 5.59 Δολομίτης σε διαμετρική σημειακή φόρτιση παράλληλα στις στρώσεις του.





Εικόνα 5.60 Οι δολομίτες μετά την σημειακή φόρτιση.



Εικόνα 5.61 Κυλινδρικό δοκίμιο δολομίτη με προσαρμοσμένους τους μετρητές ελαστικής παραμόρφωσης.

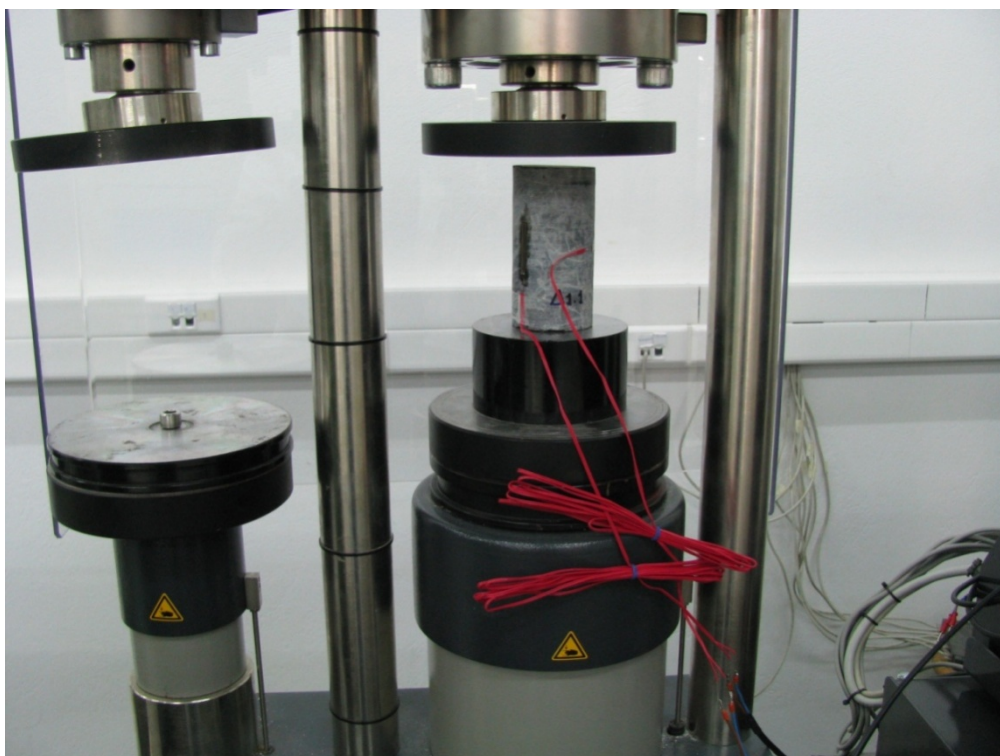




Εικόνα 5.62 Μετρητής κάθετης ελαστικής παραμόρφωσης.



Εικόνα 5.63 Μετρητής οριζόντιας ελαστικής παραμόρφωσης.



Εικόνα 5.64 Ο δολομίτης στην μηχανή μονοαξονικής θλίψης.

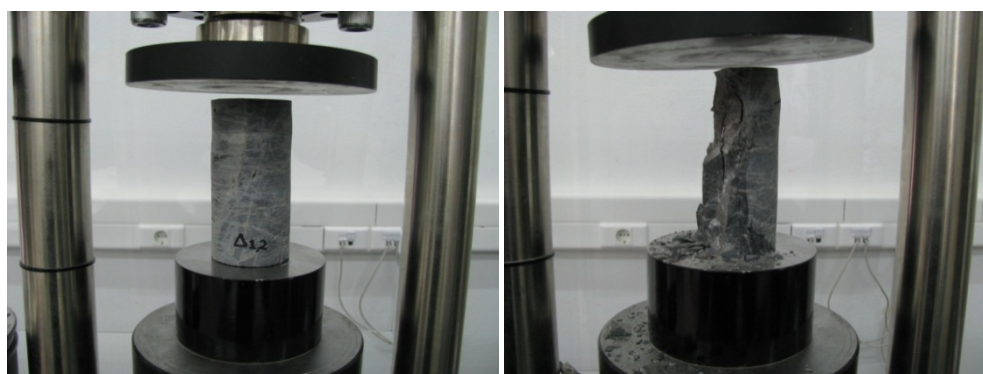


Εικόνα 5.65 Τα υπολείμματα δολομίτη μετά τη θλίψη.





**Εικόνα 5.66** Κυλινδρικό δοκίμιο δολομίτη διαμορφωμένο για την εκτέλεση δοκιμών προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.



**Εικόνα 5.67** Δολομίτης πριν και μετά την εκτέλεση δοκιμής προσδιορισμού αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη.

## 5.10 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ 8: ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΑΡΗΣ

Η συγκεκριμένη γεωτεχνική ενότητα σύμφωνα με τους επίσημους χάρτες του ΙΓΜΕ (Λατσούδας, 1992) περιλαμβάνει πολύχρωμους, πλακώδεις, ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους που εναλλάσσονται με ασβεστιτικούς σχιστόλιθους. Ο Κατσιαβριάς στην χαρτογράφηση της περιοχής (φύλλο Μεσόγεια, 2007) αναφέρει για την ενότητα, που ονοματίζει ως «σχηματισμό Τραπουριάς»: Συνίσταται από ακανόνιστες εναλλαγές ποικίλου πάχους και λιθολογικής σύστασης ιζημάτων στο χώρο και στο χρόνο απόθεσης και περιλαμβάνει ασβεστολίθους πολύχρωμους, λεπτομερείς, αδρομερείς, τοπικά λατυποπαγείς, κυρίως κλαστικούς, ανακρυσταλλωμένους, εν μέρει δολομιτωμένους, λεπτο-μεσοστρωματώδεις και σχιστολίθους πολύχρωμους, ανθρακικούς, μαρμαρυγιακούς με μικρές φλέβες χαλαζία. Σε πολλές θέσεις και σε διάφορους στρωματογραφικούς ορίζοντες απαντώνται βασικές, δακιτικές λάβες, μεταμορφωμένες και παραμορφωμένες.

Στην περιοχή μελέτης, όμως, η εν λόγω γεωτεχνική ενότητα εκτείνεται σε μία αρκετά μικρή έκταση (Πανόραμα Βούλας) όπου συναντάει κανείς μόνο σχιστόλιθους (σχιστόλιθος Βάρης) και κατά περίπτωση πολύ μικρές ζώνες μαρμάρου και ασβεστόλιθου οι οποίες δεν είναι δυνατόν να χαρτογραφηθούν λόγω της αμελητέας έκτασής τους. Τα προηγούμενα επιβεβαιώνονται και από την γεωλογική μελέτη της περιοχής από τους Κατσιαβριά, Ροντογιάννη, Γεωργίου (1996) για λογαριασμό του ΙΓΜΕ. Στην συγκεκριμένη μελέτη, η περιοχή αποτελείται από σχιστολίθους Βάρης και περιγράφονται ως εξής: Εμφανίζονται σε μεγάλη έκταση που αποτελούν και τα παλαιότερα μέλη του παραυτόχθονος συστήματος. Είναι συνήθως τεφροί, τεφροπράσινοι, πρασινωποί, κατά θέσεις στα ανώτερα μέλη τους ερυθρωποί, λαμπιρίζοντες, ασβεστιτικοί, ως επί το πλείστον μαρμαρυγιακοί, με χαλαζιακές φλέβες διαφόρου πάχους, αλλά όχι μεγάλου μήκους. Είναι λεπτοστρωματώδεις έως φυλλώδεις, εν μέρει έντονα πτυχωμένοι και συχνά εναλλάσσονται με πολύχρωμους, πλακώδεις, μαρμαρυγιομιγείς ασβεστολίθους.



Παρατίθενται ενδεικτικές φωτογραφίες σχιστολίθου Βάρης στις εικόνες 5.68 – 5.74:

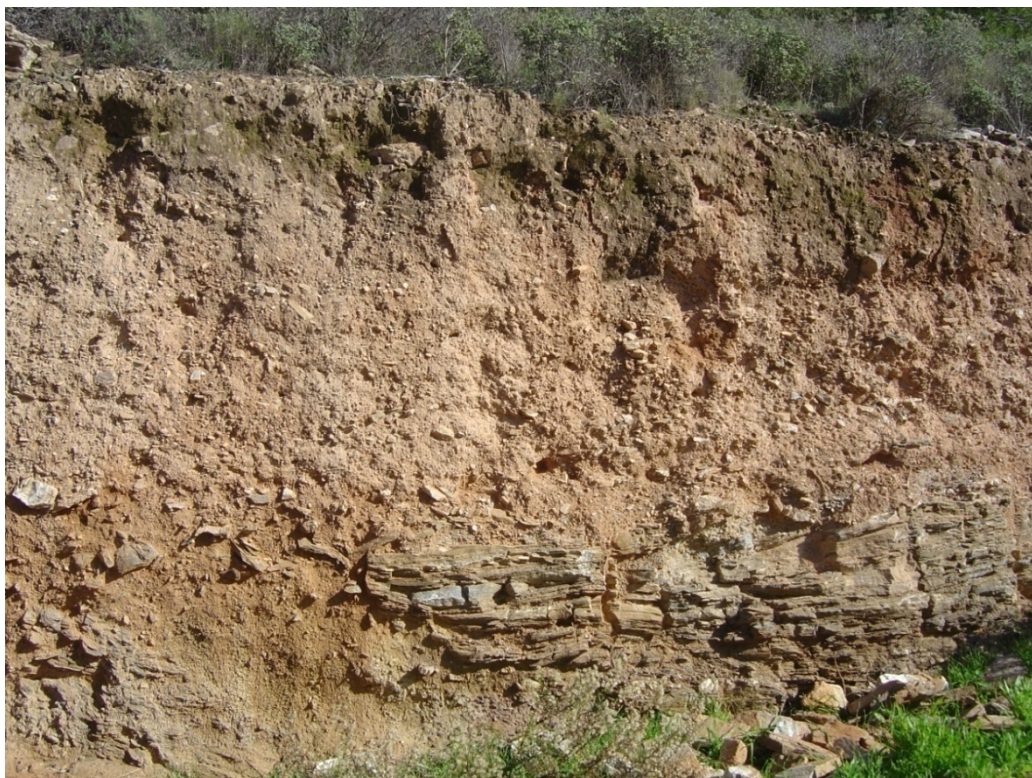


**Εικόνα 5.68** Σχιστόλιθος Βάρης στο Λυκόρεμα.



**Εικόνα 5.69** Σχιστόλιθος Βάρης.





**Εικόνα 5.70** Σχιστόλιθος Βάρης και η υπερκείμενη ζώνη αποσάθρωσής του.



**Εικόνα 5.71** Αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.





**Εικόνα 5.72** Πλήρως αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.



**Εικόνα 5.73** Πλήρως αποσαθρωμένος σχιστόλιθος Βάρης.





**Εικόνα 5.74** Σχιστόλιθος Βάρης στην οδό Καρδίτσας στο Πανόραμα Βούλας.

Στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Σχολής Μηχανικών Μεταλλείων – Μεταλλουργών διενεργήθηκαν δοκιμές σε ακέραιο πετρωμα σχιστολίθου Βάρης (βλ. παράρτημα). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω (Πίνακας 5.20):

**Πίνακας 5.20** Αποτελέσματα σημειακής (PLT) και κατά γενέτειρα φόρτισης (Brazilian).

	PLT (MPa)	Brazilian (MPa)
Ελάχιστη τιμή	4,24	6,67
Μέση τιμή	7,65	8,16
Μέγιστη τιμή	11,89	11,83
Αριθμός δοκιμών	8	10

Μερικές φωτογραφίες από την διαδικασία των εργαστηριακών δοκιμών παρουσιάζονται στις εικόνες 5.75 – 5.79:



Εικόνα 5.75 Τα δοκίμια σχιστολίθου για την δοκιμή σημειακής φόρτισης (PLT).

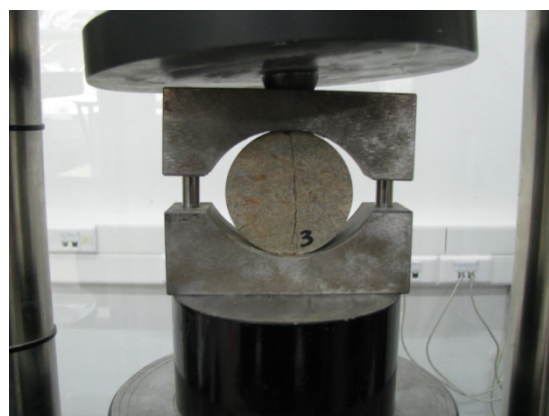
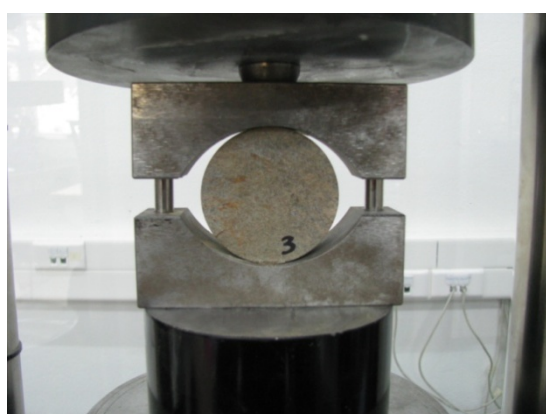


Εικόνα 5.76 Τα ίδια δοκίμια μετά την δοκιμή.





Εικόνα 5.77 Δοκίμια σχιστολίθου Βάρης για δοκιμή θραύσης κατά γενέτειρα (Brazilian).



Εικόνα 5.78 Σχιστόλιθος Βάρης πριν και μετά την θραύση.





Εικόνα 5.79 Τα δοκίμια μετά την θραύση κατά γενέτειρα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα φυσικομηχανικά χαρακτηριστικά του σχιστόλιθου Βάρης όπως συλλέχθηκαν από τις διαθέσιμες, για την περιοχή, μελέτες (ΚΕΔΕ, ΙΓΜΕ).

Τίτλος μελέτης		Κατασκευή συλλεκτήρα ομβρίων στην Βούλα
Συντάκτες		ΚΕΔΕ
Κοκκομετρία	Χάλικες	1 – 39%
	Άμμος	34 – 57%
% διερχόμενο στο Νο. 200		18 - 52
SPT		Άρνηση*
Κωδικός γεώτρησης		Στ 2 – Γ1.2

Τίτλος μελέτης		Αντλιοστάσιο Βουλιαγμένης Νο. 37
Συντάκτες		ΚΕΔΕ
Κοκκομετρία	Χάλικες	1 – 27%
	Άμμος	34 – 46%
% διερχόμενο στο Νο. 200		20 - 60
SPT		Άρνηση*
Κωδικός γεώτρησης		Στ 3 – Γ1.2.3

\*Σε αποσαθρώματα σχιστόλιθου Βάρης.

Τίτλος μελέτης	Γεωτεχνική έρευνα κατά μήκος της χάραξης του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων Βούλας
Συντάκτες	Χατζηνάκος, Αποστολίδης, Κυνηγαλάκη
Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης	13,35 – 33,38 MPa

Τίτλος μελέτης	Ιδιωτική κατοικία στο Πανόραμα Βούλας
Συντάκτες	Μπαρούνης και συνεργάτες
Ξηρή πυκνότητα	27 – 27,7 kN/m <sup>3</sup>
Σκληρότητα Schmidt	21 - 37
PLT κάθετα	7,2 – 20 MPa
PLT οριζόντια	1 – 4,9 MPa
Μοναξονική θλίψη	56,4 – 62 MPa
Ταχύτητα διάδοσης διαμηκών κυμάτων	1980 – 3868 m/sec

### 5.10.1 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Για την ταξινόμηση του σχιστολίθου Βάρης ελήφθησαν υπόψη τα αποτελέσματα των δοκιμών σημειακής φόρτισης (PLT βλ. σχετικές εικόνες), που διενεργήθηκαν στα εργαστήρια της σχολής ΜΜΜ. Ακολουθεί ο συνοπτικός πίνακας της ταξινόμησης.

**Πίνακας 5.21** Ταξινόμηση βραχομάζας κατά Bieniawski για τον σχιστόλιθο Βάρης.

Παράμετροι βραχομάζας		Τιμή	Βαθμός
	<b>Αντοχή σε Σημειακή Φόρτιση</b>	4,2 – 11,89 MPa	12 ή 15*
	<b>RQD</b>	75 - 90 %	17
	<b>Απόσταση ασυνεχειών</b>	200-600 mm - > 2 m	10 - 20
	<b>Μήκος ασυνεχειών</b>	1 - 20 m	1 - 4
	<b>Άνοιγμα ασυνεχειών</b>	0.1-1.0 mm - > 5mm	0 - 4
	<b>Τραχύτητα ασυνεχειών</b>	Ελαφρά Τραχείες	3
	<b>Υλικό πλήρωσης ασυνεχειών</b>	Κανένα – Μαλακό > 5mm	0 - 6
	<b>Βαθμός αποσάθρωσης</b>	Υγιές – Τελείως αποσαθρωμένο	1 - 6
	<b>Υπόγειο νερό</b>	Εντελώς Ξηρό - Υγρό	7 - 15
<b>Σύνολο Βαθμών (RMR)</b>	51 - 90		
<b>Χαρακτηρισμός βραχομάζας</b>	Μέτρια (III) έως Πολύ Καλή (I)		

**\*Σημείωση:** Οι τιμές του δείκτη σημειακής φόρτισης κυμαίνονται μεταξύ δύο πεδίων στον πίνακα Bieniawski. Ως εκ τούτου θεωρούμε τις δύο περιπτώσεις ως τις ακραίες τιμές που μπορεί να λάβει ο σχηματισμός.

Από την αξιολόγηση των επιμέρους χαρακτηριστικών της βραχομάζας προέκυψε ότι ανήκει στις κατηγορίες (III) έως (I) και περιγράφεται μέτρια ως πολύ καλή. Αναφορικά με την ευστάθεια, τόσο σε περιπτώσεις πρανών όσο και σε περιπτώσεις εκσκαφών για θεμελίωση, μπορούμε να πούμε ότι ο σχιστόλιθος Βάρης (που συναντάται στην περιοχή του Πανοράματος Βούλας στην δική μας περίπτωση) είναι από τους πιο αξιόπιστους σχηματισμούς από γεωτεχνικής πλευράς. Αυτό δεικνύουν εξάλλου και οι ογκώδεις κατασκευές της περιοχής. Κατά περιπτώσεις και μόνο δύναται να εμφανιστεί μερική αστοχία σε συγκεκριμένα blocks σχιστολίθου που είναι εύκολα παρατηρήσιμα. Σε περιπτώσεις που ο σχιστόλιθος έχει αποσαθρωθεί, μερικώς ή πλήρως, δύναται εύκολα να υπερκεράσουμε την αποσαθρωμένη ζώνη καθώς δεν καταλαμβάνει περισσότερα από λίγα μόλις μέτρα. Επομένως μπορούμε να θεωρούμε τοπική και κατά περίπτωση την χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Λαμβάνοντας υπόψιν την ανάλυση των στοιχείων των φυσικομηχανικών χαρακτηριστικών των γεωτεχνικών ενοτήτων που απαντώνται στην περιοχή έρευνας (Δήμος Βούλας-Βάρης-Βουλιαγμένης) όπως αυτά προέκυψαν από τη διαδικασία αξιολόγησης των εργαστηριακών δοκιμών και της βιβλιογραφίας καθώς και από την μακροσκοπική εξέταση των εδαφικών σχηματισμών, προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα-προτάσεις.

- Όσον αφορά την ενότητα των μαργών-λατυποπαγών και ειδικά σε κατασκευές μικρής έκτασης παρατηρείται διόγκωση των μαργαϊκών σχηματισμών με αποτέλεσμα την ανύψωση του πυθμένα θεμελίωσης. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω της υψηλής διογκωσιμότητας της μάργας και συνιστάται πλήρωση του κενού με αδρανή υλικά κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης. Από την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών των λατυποπαγών με τη μέθοδο Bieniawski, προέκυψε ότι ανήκει στη κατηγορία (III) έως (II). Έχει σχετικά καλή γεωτεχνική συμπεριφορά, σχετική έως μερική ευστάθεια και σε μεμονωμένες περιπτώσεις δύναται να παρατηρηθεί αστοχία τεμάχων ή πολλές σφήνες. Κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση επιπρόσθετων μέτρων υποστήριξης.

- Από την ταξινόμηση του δολομίτη με τη μέθοδο Bieniawski, προέκυψε ότι ανήκει στη κατηγορία (III) έως (II). Κάτι που σημαίνει πως ο δολομίτης έχει σχετικά καλή γεωτεχνική συμπεριφορά ενώ από πλευράς ευστάθειας μόνο σε μεμονωμένες περιπτώσεις πρυνών δύναται να παρατηρηθεί αστοχία τεμάχων. Κρίνεται επιλεκτική η παρουσία και χρήση επιπρόσθετων μέτρων υποστήριξης και μόνο σε ιδιαίτερες συνθήκες είναι επιτακτική. Γενικά τέτοιοι βραχώδεις σχηματισμοί όπως ο δολομίτης τείνουν να λαμβάνουν αρκετά υψηλές τιμές επιτρεπόμενης τάσης που ελαττώνονται ανάλογα με την αποσάθρωση και τις υπάρχουσες διακλάσεις.

- Από πλευράς ευστάθειας οι σχηματισμοί τραβερτίνη κρίνονται ικανοποιητικοί και μόνο μερικά τεμάχια μπορεί να εμφανίσουν αστοχία κατά τόπους και κατά περίπτωση. Δεν κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης. Εν γένει η ενότητα του τραβερτίνη όπως και εκείνη των μαρμάρων τείνουν να μετριάζουν τη μηχανική τους συμπεριφορά, ανάλογα με την παρουσία καρστικών εγκοίλων. Αντίστοιχη συμπεριφορά έχουν και οι κροκαλοπαγείς σχηματισμοί.



- Σχετικά με την ενότητα των κόνων κορρημάτων και παίρνοντας ως βάση τις τιμές της αντοχής σε μοναξονική θλίψη ( $\sigma_c$ ), το ακέραιο πέτρωμα χαρακτηρίζεται σαν μέτριας αντοχής (κατηγορία III). Τα πρηνή ή οι εκσκαφές αυτής της κατηγορίας πετρωμάτων επομένως, χαρακτηρίζονται μέτρια και μερικώς ευσταθή με ένα μεγάλο πλήθος ασυνεχειών και σφηνών σχεδόν σε όλο το εύρος τους. Χρηζουν όπως είναι επόμενο εκτεταμένης και συστηματικής υποστήριξης κατά περίπτωση.

- Τέλος, στις ενότητες σχιστολίθου και σχιστολίθου Βάρης η μηχανική τους συμπεριφορά κυμαίνεται μεταξύ σκληρού βράχου και εδάφους και κρίνεται αρκετά καλή πάντα σε συνάρτηση με την ύπαρξη ή όχι αποσαθρωμένων, εξαλλοιωμένων και κερματισμένων ζωνών. Από πλευράς ευστάθειας ένας σχηματισμός σχιστολίθου κρίνεται ικανοποιητικός όσον αφορά τις θεμελιώσεις και μόνο μερικά τεμάχια πρηνών μπορεί να εμφανίσουν αστοχία κατά τόπους και κατά περίπτωση. Δεν κρίνεται αναγκαία η παρουσία και χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης παρά μόνο κατά περίπτωση.

- Από την αξιολόγηση των επιμέρους χαρακτηριστικών ταξινόμησης κατά Bieniawski του σχιστολίθου Βάρης προέκυψε ότι ανήκει στις κατηγορίες (III) έως (I) και η μηχανική συμπεριφορά του περιγράφεται μέτρια ως πολύ καλή. Αναφορικά με την ευστάθεια, τόσο σε περιπτώσεις πρηνών όσο και σε περιπτώσεις εκσκαφών για θεμελίωση, μπορούμε να πούμε ότι ο σχιστολίθος Βάρης είναι από τους πιο αξιόπιστους σχηματισμούς από γεωτεχνικής πλευράς. Κατά περιπτώσεις και μόνο δύναται να εμφανιστεί μερική αστοχία σε συγκεκριμένα blocks σχιστολίθου που είναι εύκολα παρατηρήσιμα. Σε περιπτώσεις που ο σχιστολίθος έχει αποσαθρωθεί, μερικώς ή πλήρως, δύναται εύκολα να υπερκεράσουμε την αποσαθρωμένη ζώνη καθώς δεν καταλαμβάνει περισσότερα από λίγα μόλις μέτρα. Επομένως μπορούμε να θεωρούμε τυχαία και κατά περίπτωση την χρήση εκτάκτων μέτρων υποστήριξης.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- AUBOUIN, J. (1959). Contribution a l' etude Geologique de la Grece septentrional: les confins de l' Epire et de la Thessalie. *Annal. Geol. des P. Hell.*, X, 1 - 483.
- AUBOUIN, J. (1965). *Geosynclines*. Elsevier publ. Amsterdam, 335p.
- Bieniawski Z.T., (1974), Engineering Classification on jointed rock masses, *Tans. S. Afr. Inst. Of Civil Eng.*
- Bieniawski Z.T., (1976), Rock mass classification in rock engineering, *Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, Volume 1*, pp. 97-106.
- Bieniawski Z.T., (1978), Determining rock mass deformability: experience from case histories, *Intern. Journal Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 15, pp. 237-247.
- Bieniawski Z.T., (1984), *Rock Mechanics in Mining and Tunnelling*, Rotterdam.
- Bieniawski ZT (1989). "The point load test in geotechnical practice", *Engineering Geology*, 9, 1-11.
- Brady B.H. & Brown E.T. (1993). "Rock Mechanics for Underground Mining", Chapman and Hall.
- Broch E and Franklin JA (1972). "The point load test", *IJRM*, 9, 669-697.
- Brown E.T. and Gonano L.P. (1975). "An analysis of size effect behavior in brittle rock", *Proc. 2nd Austr.-NZ conf. geomech.*, 139-43. Sydney: Instn Engrs Aust.
- Comninakis, P.E., and Papazachos, B.C. (1986), A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 1901-1985. «*Publ. Geophys. Lab., Univ. Thessaloniki*», 1, 167pp.
- Dearman, Matula, (1976). *Engineering geological mapping developed in the Metropolitan Region of Ceara*.

- Fairhurst, C., (1964). "On the validity of the Brazilian test for brittle materials", *IJRM*, 1, 535-546.
- Freyberg, B. Von (1951). Das Neogen-Gebiet Nordwestlich Athen. *Annales G.d.P.H.*, 3, 65-84. Athen.
- Galanoloulos, A., (1972), Annual and maximum possible accumulation in the major of Greece. *A.G.P.H.*, 24: 467 - 480.
- ISRM (1978). Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests "Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Part 2: Suggested Method for Determining Indirect Tensile Strength by the Brazil Test", Committee on Laboratory Tests, Document No. 8, Published in *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 15, No. 3, pp. 99-103.
- ISRM (1978). Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, "Suggested Methods for Determining Sound Velocity", Committee on Laboratory Tests, Document No 4, (1977). Published in *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 15, No. 2, pp. 53-58.
- ISRM (1978). Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, «Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks: Part 3. Suggested Method for Determination of the Schmidt Rebound Hardness», Committee on Laboratory Tests. Published in *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 15, pp. 89-97.
- ISRM (1979). "Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials", Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 16, No. 2, pp. 135-140.
- ISRM (1985). "Suggested Method for Determining Point Load Strength", *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol. 22, No. 2, pp. 51-60, 1985.
- KATSIKATSOS, G. (1977): La structure tectonique de l'Attique et de l'île d'Eubée. *Bull. Soc. Geol. France*, 19, p. 75 - 80, Paris.

- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G., TRIANTAPHYLLIS, M. and METTOS, A. (1986). Geological structure of internal Hellenides (E. Thessaly - S.W Macedonia, Euboea - Attica - Northern Cyclades islands and Lesvos). IGME, Geol. Geoph. Res., Special Issue, p. 191 - 212, Athens.
- Kober, L. (1929). Συμβολή εις την γεωλογίαν της Αττικής. Μετάφραση σε αδημ. έκθ. Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα.
- Kober, L., (1929). Beitrage zur Geologie von Attika. Stzungb. d. Akad. Wiss. Math. Nat. kl, Adh. I, 138, 229-336, Wien.
- KTENAS, K. (1930). L'age des formations volcaniques du massif de Parnes (Attique). C.R.Som. d.l. soc. Geol. de France, p. 206, Paris.
- Lama R. D., Vutukuri V. S., «Handbook on mechanical properties of rocks», Vol. I, II, Trans Tech Publications, Clausthal, Germany, 1978.
- Lepsius, R., (1893). Geologie von Attika, Berlin, (μετάφρασις Βουγιούκα), Αθήνα, 589 σ.
- MERCIER, J. (1966). Paleogeographie, orogenese, raetamorphisme et magmatisme des zones internes des Hellenides en Mace- doine (Grece): vue d'ensemble. Bull. Soc. Geol. France, 8, p. 1020 - 1049.
- Niedermayer, S. (1973). Γεωλογικός χάρτης Αθηνών 1:10.000. Έκδοση Ε.Γ.Ε.- Τ.Ε.Ε. Αθήνα.
- Paraskevopoulos, G., (1957). Die Gesteine des I lhorizontes des Kaissariani- Schiefers im Pentelikon gebirge. Annales G.d.P.H., 8, 233-245.
- Paraskevopoulos, G., (1963). Die umrandung des Attisch-Kykladishen massives im gebiet zwischen Pentelikon-und Parnesgebirge. Annales G.d.P.H., 14, 305-323.
- SINDOWSKI, K.H. (1949). Der geologishe Bau von Attika. Ann. Geol. des P. Hell., 2, p. 163 - 218.
- SINDOWSKI, K.H. (1951). Zur Geologie des Lykabettos - Turkovouni - Gebietes bei Athen, mit einem Beitrag uber fruhdiluviale Wirbeltierfunde aus Spalten. Ann. Geol. des P. Hell., 3, p. 11 - 21.

U.S. Navy, (1982). Εγχειρίδιο DM – 7.1.

Waversick W.R. and Fairhurst C. (1970). “A study of brittle rock fracture in laboratory compression experiments”, I J of Rock Mech. Min. Sci. 7, 561-75.

Αγγέλη Βασιλική, (2005). ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ ΜΕ ΤΙΤΛΟ: ‘ Καταγραφή και Επεξεργασία Γεωπεριβαλλοντικών Χαρακτηριστικών για το Δήμο Νηλέως με τη χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών’.

Αγγελόπουλος, Α., Χατζηνάκος, Ι., (1997). Γεωφυσική – Τεχνικογεωλογική έρευνα για τον προσδιορισμό των συνθηκών θεμελίωσης στα όρια ιδιοκτησίας στην περιοχή του Δήμου Βουλιαγμένης.

ΑΙ Σοφινός & ΠΠ Νομικός (2008). Προχωρημένη Μηχανική Πετρωμάτων.

Γεωργαλάς, Λ., (1997). Υδρογεωλογικές συνθήκες καρστικού συστήματος Υμηττού.

ΔΟΥΝΑΣ, Α. και ΓΑΙΤΑΝΑΚΗΣ, Π. (1981). Στρωματογραφικές και τεκτονικές παρατηρήσεις στην οροσειρά του Αιγάλεω και στο Δυτικό τμήμα του Λεκανοπεδίου της Αθήνας. Ορυκτ. Πλούτος 13, σ. 21 - 31.

Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., (2003). Γκαράζ Καβούρι Α.Ε.

Ι.Γ.Μ.Ε., Λατσούδας, Χ., (1976, 1977, 1979, 1991, 1992). Γεωλογικός Χάρτης Ελλάδας, φύλλο Κορωπί – Πλάκα, κλίμακα 1:50.000.

Κ.Ε.Δ.Ε., (1970). Γεωτρήσεις Αντλιοστασίου Βάρης.

Κ.Ε.Δ.Ε., (1970). Γεωτρήσεις Αντλιοστασίου Βουλιαγμένης Νο 37.

Κ.Ε.Δ.Ε., (1970). Γεωτρήσεις οδού Πηγαδάκια – Βάρη.

Κ.Ε.Δ.Ε., (1971). Γεωτρήσεις οικοπέδου Ελληνίδων Οδηγών εις Βάρην.

Κ.Ε.Δ.Ε., (1991). Κατασκευή συλλεκτήρα ομβρίων υδάτων στην πλαζ ΕΟΤ Βούλας.

Κ.Ε.Δ.Ε., (2004). 2<sup>ο</sup> Δημοτικό Σχολείο Βούλας.

Καρφάκης Ι., Λουπασάκης Κ., (2005). Γεωτεχνική μελέτη ευστάθειας πρανών στο Αττικό Άλσος.



- Κατσιαβριάς Ν., Ροντογιάννη Θ. & Γεωργίου Χαρ., (1996). Γεωλογική μελέτη περιοχής Βάρης – Βουλιαγμένης.
- Κατσιαβριάς, Ν., (1991, 2007). Γεωλογικός Χάρτης Μεσογείων Αττικής Ελλάδας, φύλλο Κορωπί – Πλάκα, κλίμακα 1:50.000.
- Κατσικάτσος, Γ., (1991). Γεωλογία της Ελλάδος. Εκδ. Πανεπ. Πατρών, σ. 497, Πάτρα.
- ΚΟΥΝΗΣ, Γ. (1970). Υδρογεωλογική έρευνα Μετρό Αθηνών. II Ανάλυση υδρογεωλογικών συνθηκών. Ι.Γ.Μ.Ε. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, αρ. 34.
- Κουτσόπουλος Κωστής (Καθηγητής Ε.Μ.Π), Ανδρουλακάκης Νίκος (Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Ε.Μ.Π). Εφαρμογές Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών με χρήση του Λογισμικού ArcGIS.
- Λέκκας, Σ.Π., (1992). Υδρογεωλογικές παρατηρήσεις στην περιοχή των Μεσογείων (Αττική, Ελλάς). «6ο συνέδριο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας», Αθήνα 1992.
- Μαρίνος, Γ., & Petrascheck, W., (1956). «Γεωλογικοί και Γεωφυσικοί μελέται». Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήναι, 4(1).
- Μαριολάκος, Η., (1972). Παρατηρήσεις επι των πτυχών του μεταμορφωμένου συστήματος του Πεντελικού και Υμηττού (Αττική). *Annales G.d.P.H.* 24, 276-302.
- Μαριολάκος, Η.Δ., (1971). Τεκτονική ανάλυσις των συστημάτων διακλάσεων του βορείου Υμηττού (Αττική). *Annales G.d.P.H.*, 23, 323-379.
- Μαριολάκος, Η.Δ., και Λέκκας, Σ.Π., (1974). Υδρογεωλογικά συνθήκαι της λεκάνης του Κορωπίου Αττικής. *Annales G.d.P.H.*, 26, 186-250.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985). Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδ. Univ. Stud. Press, Θεσσαλονίκη, σ. 207.
- Μπαρούνης, Ν., και συνεργάτες, (2004). Γεωτεχνική έρευνα θεμελίωσης τετραώροφης οικοδομής.

Νικολάου, Ν., Κυνηγαλάκη, Μ., (2006). ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΝΟΜΑΡΧΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.

Πανεπιστήμιο Καλιφόρνια, (1985). Neogene and Quaternary vertical tectonics in the south Hellenic arc and their effect on concurrent sedimentation processes.

Παπαζάχος, Β. & Παπαζάχου, Κ., (1989), Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 356σελ.

Παπανικολάου, Δ., 1986. Γεωλογία της Ελλάδας. Εκδ. Επτάλοφος, σ. 240. Αθήνα.

ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΙΔΗΣ, ΗΑ. και ΧΩΡΙΑΝΟΠΟΥΛΟΥ, Π. (1978). Μια τομή απ' το βουνό Αιγάλεω. Ο Αθηναϊκός σχιστόλιθος, οι λόφοι της Αθήνας. Δελτ. Ε.Γ.Ε, ΧΙΙ/2., σ. 116 - 141.

Ρόζος, Δ., (2007). Τεχνική Γεωλογία 2.

Σαμπατακάκης, Ν., (1991). Τεχνικογεωλογική Έρευνα του Λεκανοπεδίου Αθηνών.

Τάτταρης, Α., Καλλέργης, Γ., (1965). Η γεωλογική δομή του ορεινού όγκου Τραπεζώνας-Αραχναίου και της περιοχής Ναυπλίου-Λυγουριού. Ι.Γ.Ε.Υ., Γεωλ. και Γεοχρυσ. μελέτες, αρ. 6. Αθήνα.

ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ, Ι. (1955). Συμβολή εις την έρευναν της τεκτονικής δομής της Ελλάδος. Περί της ηλικίας των κρυσταλλοσχιστωδών πετρωμάτων της Αττικής. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών. 30., σ. 193 - 211.

Χαραλαμπίκης, Σ., (1951). Συμβολή εις τη γνώση του νεογενούς της Αττικής. Ειδικαί Μελέται επί της Γεωλογίας της Ελλάδος. Υπηρεσία Ερευνών Υπεδάφους Νο 4. Αθήνα.

Χατζηνάκος Ι., Αποστολίδης Εμ., Κυνηγαλάκη Μ., (1996). Γεωτεχνική έρευνα κατά μήκος χάραξης του κεντρικού συλλεκτήρα ακαθάρτων (περιοχές Βούλας).

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

---

**Γεωτεχνική ταξινόμηση RMR (Bieniawski, 1989) – Προσαρμογή για βραχώδη πρηνή SMR (Romana, 1985).**

Α. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ									
ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ			ΠΕΔΙΟ ΤΙΜΩΝ						
1	Αντοχή συμπαγούς πετρώματος	Δείκτης σημειακής φόρτισης	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Προτιμάται η δοκιμή μονοαξονικής αντοχής		
		Αντοχή σε ανεμπόδ. Θλίψη	>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	<1 MPa
	Βαθμοί		15	12	7	4	2	1	0
2	Ποιότητα πετρώματος RQD		90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %		
	Βαθμοί		20	17	13	8	3		
3	Απόσταση ασυνεχειών		>2 m	0.6-2.0 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Βαθμοί		20	15	10	8	5		
4	Κατάσταση ασυνεχειών (βλέπε D)		πολύ τραχείς επιφάνειες, ασυνεχείς, χωρίς χωρίς διαχωρισμό, υγρή τοιχώματα	ελαφρά τραχείς επιφάνειες, διαχωρισμός <1mm, ελαφρά αποσαθρωμένα τοιχώματα	ελαφρά τραχείς επιφάνειες, διαχωρισμός 1mm, πολύ αποσαθρωμένα τοιχώματα	επιφάνειες ολίσθησης ή υλικό πλήρωσης <5mm διαχωρισμός 1-5mm συνεχείς	Μαλακό υλικό πλήρωσης >5mm ή διαχωρισμός >5mm, συνεχείς		
	Βαθμοί		30	25	20	10	0		
5	Υπόγειο νερό	Εισροή ανά 10m μήκος σηρ. (lit/min)	καμία	<10	10-25	25-125	>125		
		Λόγος πίεσης νερού διακλασ. προς μέγιστη κύρια τάση $\sigma_{max}$	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Γενικές συνθήκες υγρασίας	εντελώς ξηρό	ύφυγρο	υγρό	στάγδην	ροή		
	Βαθμοί		15	10	7	4	0		
Β. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (βλέπε E).									
C. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ.									
Βαθμοί RMR			100-81	80-61	60-41	40-21	<21		
Κατάταξη			I	II	III	IV	V		
Χαρακτηρισμός			πολύ καλή	καλή	μέτρια	πτωχή	πολύ πτωχή		
D. ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (γραμμή A.4).									
Μήκος ασυνεχειών (συνέχεια)			< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
Βαθμοί			6	4	2	1	0		
Διαχωρισμός (άνοιγμα)			Κανένα	< 0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	> 5mm		
Βαθμοί			6	5	4	1	0		
Τραχύτητα			Πολύ τραχείες	Τραχείες	Ελαφρά τραχείες	Λείες	Ολισθαίνουσες		
Βαθμοί			6	5	3	1	0		
Υλικό πλήρωσης			Κανένα	Σκληρό < 5 mm	Σκληρό > 5 mm	Μαλακό < 5mm	Μαλακό > 5 mm		
Βαθμοί			6	4	2	2	0		
Αποσάθρωση τοιχωμάτων			Υγιές	Ελαφρά αποσαθρωμένο	Μέτρια αποσαθρωμένο	Τελείως αποσαθρωμένο	Αποσυντιθημένο		
Βαθμοί			6	5	3	1	0		

**Ε. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (Romana, 1985).**

Περίπτωση		Πολύ ευνοϊκή	Ευνοϊκή	Μέτρια	Δυσμενής	Πολύ δυσμενής
P	$ a_j - a_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ a_j - a_s - 180^\circ $					
P/T	<b>F<sub>1</sub></b>	<b>0,15</b>	<b>0,40</b>	<b>0,70</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
P	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>0,15</b>	<b>0,40</b>	<b>0,70</b>	<b>0,85</b>	<b>1,00</b>
T	<b>F<sub>2</sub></b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$		
P/T	<b>F<sub>3</sub></b>	<b>0</b>	<b>-6</b>	<b>-25</b>	<b>-50</b>	<b>-60</b>

P = Κατολίσθηση με επίπεδη επιφάνεια ολίσθησης (Plane failure)

T = Κατάπτωση με ανατροπή (Toppling failure)

$\beta_s$  = Κλίση πρανούς

$a_s$  = Διεύθυνση κλίσης πρανούς

$a_j$  = Διεύθυνση κλίσης ασυνεχειών

$\beta_j$  = Κλίση ασυνεχειών

**Φ. ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (Romana, 1985).**

Μέθοδος εκσκαφής	Φυσικό πρανές (Natural slope)	Προρηγμάτωση (Presplitting)	Ήπια ανατίναξη (Smooth blasting)	Συνήθης ανατίναξη (Regular blasting)	Ελαττωματική ανατίναξη (Deficient blasting)
F4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8

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

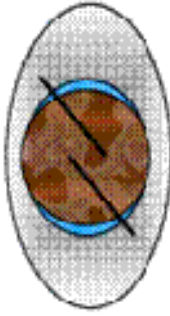
**Γ. ΠΡΟΣΩΡΙΝΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΛΑΣΕΩΝ S.M.R. (Slope Mass Rating).**

Κατάταξη	V	IV	III	II	I
<b>SMR</b>	<b>0 - 20</b>	<b>21 - 40</b>	<b>41 - 60</b>	<b>61 - 80</b>	<b>81 - 100</b>
Περιγραφή	Πολύ πτωχή	Πτωχή	Μέτρια	Καλή	Πολύ καλή
Ευστάθεια	Πολύ ασταθές	Ασταθές	Μερικά ευσταθές	Ευσταθές	Πλήρως ευσταθές
Αστοχίες	Μεγάλες επίπεδες ή σαν έδαφος	Επίπεδες ή μεγάλες σφήνες	Μερικές ασυνέχειες ή πολλές σφήνες	Μερικά τεμάχια (blocks)	Καμμία
Αναγκαία μέτρα (υποστήριξη)	Επανεκσκαφή	Εκτεταμένη διόρθωση	Συστηματική	Τυχαία	Καμμία



# ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ

---

**ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΗ ΔΟΚΙΜΗ)****TEST FOR SPLITTING STRENGTH OF ROCK SPECIMEN (BRAZILIAN TEST)**

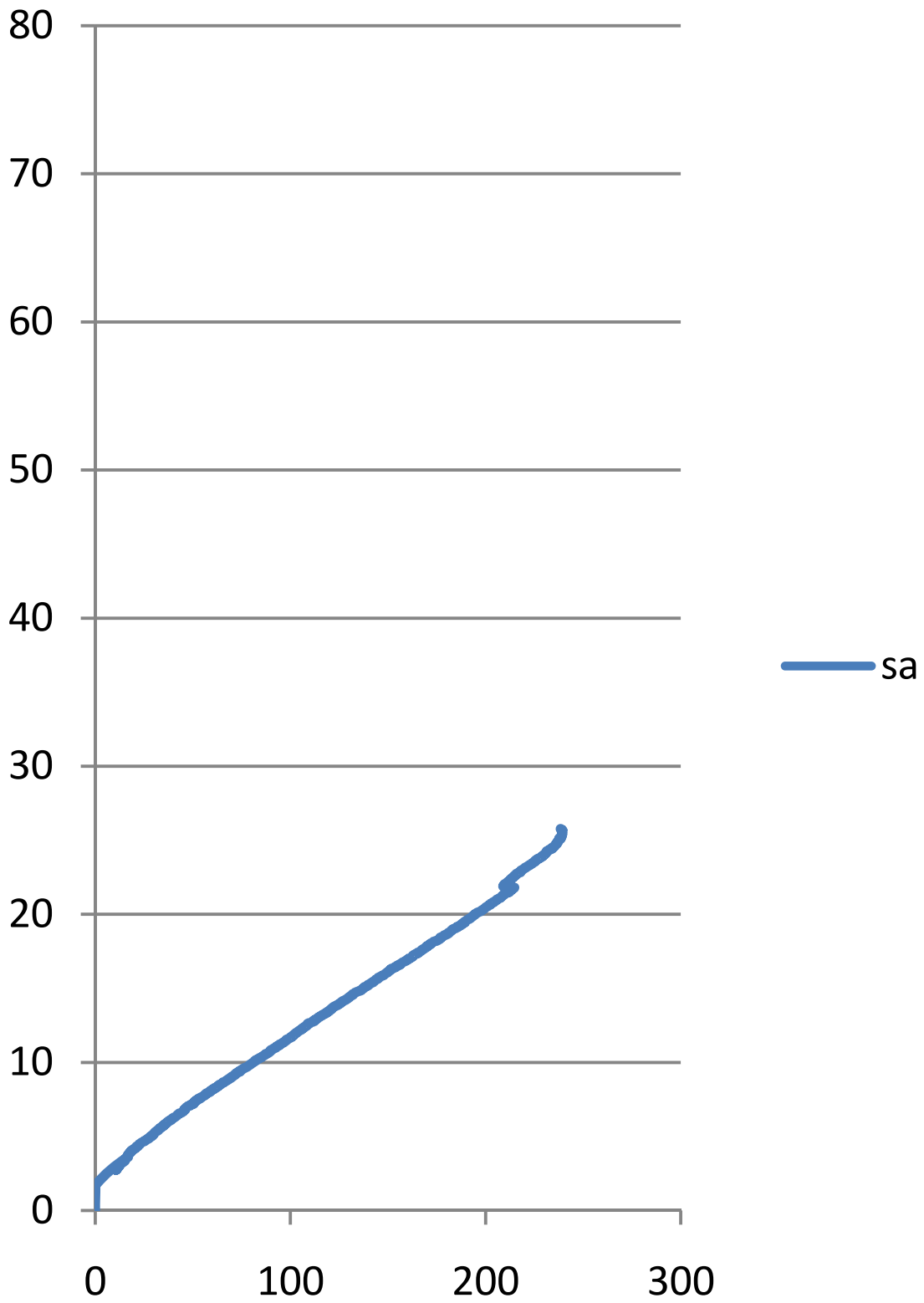
A.S.T.M. D 3967 - 95

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (SITE OF SAMPLING)	ΔΕΙΓΜΑ (SAMPLE)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ (DESCRIPTION OF FORMATION)	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (TYPE OF TEST)	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΙΩΝ (DISC. ORIENTATION)	ΠΛΑΧΟΣ (HEIGHT) (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (DIAMETER) (mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ F (LOAD OF FAILURE) (N)	ΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ σ (STRESS OF FAILURE) (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (MEAN VALUE OF STRESS FAILURE) (MPa)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (STANDARD DEVIATION OF STRESS FAILURE) (MPa)
	1	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	14,21	54,27	5890	4,86	9,02	3,22
	2	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	21,67	54,31	9070	4,91		
	3	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	14,15	54,23	16820	13,95		
	4	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	18,51	54,2	17490	11,10		
	5	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	18,5	54,38	11090	7,02		
	6	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	23,63	54,21	22030	10,95		
	7	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	B	//	27,6	54,3	24350	10,34		
ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΩΝ										
										ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:



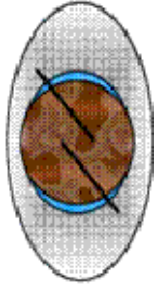
# sa



# ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΟΕΙΔΗΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ

---





## ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΑΔΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΗ ΔΟΚΙΜΗ)

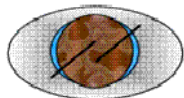
## TEST FOR SPLITTING STRENGTH OF ROCK SPECIMEN (BRAZILIAN TEST)

A.S.T.M. D 3967 - 95

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ (SITE OF SAMPLING)	ΔΕΙΓΜΑ (SAMPLE)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ (DESCRIPTION OF FORMATION)	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (TYPE OF TEST)	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (DISC. ORIENTATION)	ΠΛΑΧΟΣ (HEIGHT) (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (DIAMETER) (mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ F (LOAD OF FAILURE) (N)	ΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ $\sigma$ (STRESS OF FAILURE) (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (MEAN VALUE OF STRESS FAILURE) (MPa)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (STANDARD DEVIATION OF STRESS FAILURE) (MPa)	
	1	ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ	B	//	24,31	54,45	5710	2,75	4,16	1,81	
	2	ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ	B	//	18,21	54,4	8042	5,17			
	3	ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ	B	//	15,83	54,47	8937	6,60			
	4	ΤΡΑΒΕΡΤΙΝΗΣ	B	//	13,85	54,43	2500	2,11			
		ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΩΝ									Λευκός κρυσταλλικός με πορώδες τάξεως 2mm έως 10mm
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:											
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: 17/5/2011											



National Technical University of Athens



Mining &amp; Metallurgical Engineering School

Engineering Geology &amp; Hydrogeology Lab.

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ : ΕΠΙΚ. ΚΑΘ.Δ.ΡΟΖΟΣ,

τηλ.: 210 7722116, 210 7724368 Fax: 210 7722144

**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**MINING & METALLURGICAL ENGINEERING SCHOOL**  
**LABORATORY OF ENGINEERING GEOLOGY & HYDROGEOLOGY**

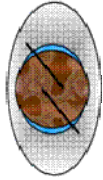
DIRECTOR : ASSISTANT PROF. D. ROZOS,



**ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ**  
**TEST FOR DIRECT SHEAR STRENGTH OF ROCK SPECIMENS UNDER CONSTANT NORMAL FORCE**  
**A.S.T.M. D 5607 - 08**

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ (SITE OF SAMPLING):	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (mm <sup>2</sup> ):		2200,00			
ΔΕΙΓΜΑ: Δ1.4 (SAMPLE):	SHEAR AREA (mm <sup>2</sup> ):		2200,00			
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΡΑΒΕΡΤ/ΔΗΣ ΑΣΒΕΣΤ/ΘΟΣ (DESCRIPTION OF FORMATION):	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (JRC):		10-12			
ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ: ΤΕΧΝΗΤΗ TYPE OF DISCONTINUITY:	ROUGHNESS (JRC):					
	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΡΦΩΣΗΣ:		ΥΓΙΗΣ			
	GRADE OF DISINTEGRATION:					
	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:					
	DATE:					
ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ (mm)	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ (kN)	
	0,44		1,00			
	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ (MPa)		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ (MPa)		ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΗ ΤΑΣΗ (MPa)	
	0,20		0,45			
	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (kN)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (MPa)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (kN)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (MPa)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ (kN)	ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΤΑΣΗ (MPa)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,50	2,40	1,09	1,5	0,68		
1,00	2,50	1,14	1,9	0,86		
1,50	1,50	0,68	2	0,91		
2,00	2,00	0,91	2,1	0,95		
2,50	2,30	1,05	2,1	0,95		
3,00	2,50	1,14	2,4	1,09		
3,50	2,30	1,05	2,5	1,14		
4,00	1,00	0,45	2,6	1,18		
4,50	1,50	0,68	2,9	1,32		
5,00	1,40	0,64	3	1,36		
5,50	1,40	0,64	3,2	1,45		
6,00	1,40	0,64	2,50	1,14		
6,50	1,60	0,73	2,6	1,18		
7,00	1,40	0,64	2,7	1,23		
7,50			2,6	1,18		
8,00						
8,50						
9,00						
9,50						
10,00						

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:



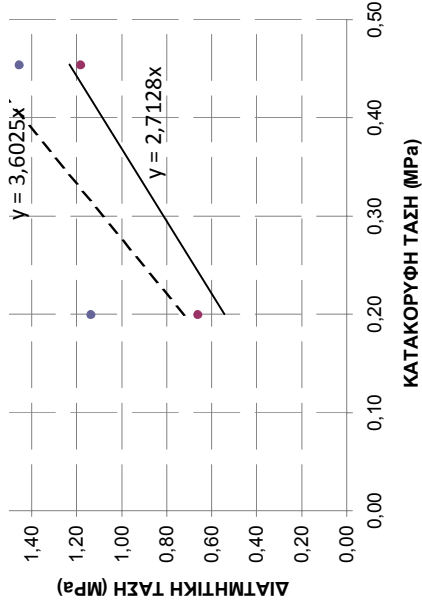
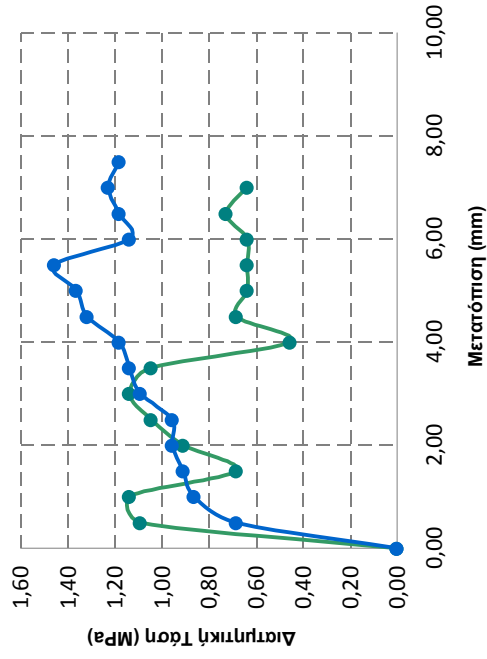
**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**  
 ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ : ΕΠΙΚ. ΚΑΘ. Δ. ΡΟΖΟΣ,  
 τηλ.: 210 7722116, 210 7724368 Fax: 210 7722144  
**NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS**  
**MINING & METALLURGICAL ENGINEERING SCHOOL**  
**LABORATORY OF ENGINEERING GEOLOGY & HYDROGEOLOGY**

DIRECTOR : ASSISTANT PROF. D. ROZOS,

**ΔΟΚΙΜΗ ΑΜΕΣΗΣ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ ΥΠΟ ΣΤΑΘΕΡΟ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟ ΦΟΡΤΙΟ**  
**TEST FOR DIRECT SHEAR STRENGTH OF ROCK SPECIMENS UNDER CONSTANT NORMAL FORCE**  
**A.S.T.M. D 5607 - 08**



ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑΣ: ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗ	ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ (mm <sup>2</sup> ):	2200,00	σ <sub>n</sub> (MPa)	τ <sub>max</sub> (MPa)	τ <sub>res</sub> (MPa)
(SITE OF SAMPLING):	SHEAR AREA (mm <sup>2</sup> ):	2200,00	0,20	1,14	0,66
ΔΕΙΓΜΑ: Δ1.4	ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (JRC):	10-12	0,45	1,45	1,18
(SAMPLE):	ROUGHNESS (JRC):				ΓΩΝΙΕΣ ΤΡΙΒΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ: ΤΡΑΒΕΡΤ/ΔΗΣ ΑΣΒΕΣΤΙ/ΘΟΣ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΣΑΡΦΟΡΩΣΗΣ:	ΥΓΙΗΣ	ΦΑΙΝΟΜΕΝΗ ΣΥΝΟΧΗ (MPa):		
(DESCRIPTION OF FORMATION):	GRADE OF DISINTEGRATION:		Φ <sub>max</sub> <sup>ο</sup>		
ΤΥΠΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ: ΤΕΧΝΗΤΗ	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:		41	74,48	33,48
TYPE OF DISCONTINUITY:	DATE:		Φ <sub>max</sub> <sup>ο</sup>	Φ <sub>res</sub> <sup>ο</sup>	Φ <sub>res</sub> <sup>ο</sup>
			69,76		28,76



# ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΗ

---





# ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ

---

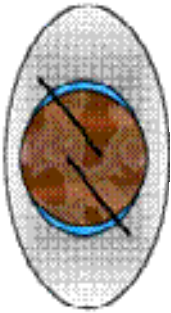


# ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ

---







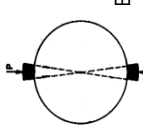
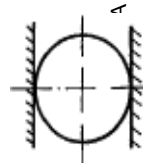
## ΔΟΚΙΜΗ ΑΝΤΙΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΘΛΙΨΗΣ ΒΡΑΧΩΔΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ (ΒΡΑΖΙΛΙΑΝΗ ΔΟΚΙΜΗ)

## TEST FOR SPLITTING STRENGTH OF ROCK SPECIMEN (BRAZILIAN TEST)

## A.S.T.M. D 3967 - 95

ΘΕΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ/ΙΑΣ (SITE OF SAMPLING)	ΔΕΙΓΜΑ (SAMPLE)	ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ (DESCRIPTION OF FORMATION)	ΕΙΔΟΣ ΔΟΚΙΜΗΣ (TYPE OF TEST)	ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ (DISC. ORIENTATION)	ΠΛΑΧΟΣ (HEIGHT) (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ (DIAMETER) (mm)	ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ F (LOAD OF FAILURE) (N)	ΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ σ (STRESS OF FAILURE) (MPa)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (MEAN VALUE OF STRESS FAILURE) (MPa)	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΤΑΣΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (STANDARD DEVIATION OF STRESS FAILURE) (MPa)
	1	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	14,57	54,47	10594	8,50	8,16	1,63
	2	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	14,96	54,33	8380	6,56		
	3	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	19,28	54,32	14300	8,69		
	4	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	13,8	54,27	6860	5,83		
	5	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	21,65	50,28	20220	11,83		
	6	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	20,18	54,22	16370	9,52		
	7	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	14,87	54,27	9890	7,80		
	8	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	13,35	54,31	7600	6,67		
	9	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	19,79	54,31	14700	8,71		
	10	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΣ ΒΑΡΗΣ	B	//	14,72	54,3	9430	7,51		

ΕΙΔΗ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ: