ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

> ΣΩΤΗΡΙΑ ΚΟΛΛΙΑ Πτυχιούχος Γεωλόγος

«ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΑΠΙΟΝ ΚΛΕΟΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΑΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΩΝ»

Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών Γεωλογίας «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2015

02/16/2016 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΣΩΤΗΡΙΑ ΚΟΛΛΙΑ Πτυχιούχος Γεωλόγος

«ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΑΠΙΟΝ ΚΛΕΟΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΑΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΩΝ»

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» με ειδίκευση στην «Τεχνική Γεωλογία» Τομέας Γεωλογίας

Ημερομηνία προφορικής εξέτασης: 13 Νοεμβρίου 2015

<u>Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή</u>

Επίκ. Καθηγητής, Μαρίνος Βασίλειος, Επιβλέπων

Καθηγητής, Χρηστάρας Βασίλειος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Αναπλ. Καθηγητής, Βουδούρης Κωνσταντίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

© Σωτηρία Κόλλια, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

«ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΑΠΙΟΝ ΚΛΕΟΣ ΣΕ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥΣ ΜΑΡΓΩΝ ΚΑΙ ΚΡΟΚΑΛΟΠΑΓΩΝ»

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Περιεχόμενα

П	εριεχόμ	ιενα.		iv
٨	ίστα Ει	κόνων	V	vii
٨	ίστα Πι	νάκω	v	x
٨	ίστα Σχ	ημάτ	ων	xiii
П	ερίληψ	η		xiv
A	bstract			xv
1	Εισα	αγωγι	ή	1
	1.1	Σκοι	πός της παρούσας εργασίας	1
	1.2	Επισ	σκόπηση του έργου	1
	1.3	Οι ε	ργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές στην περιοχή μελέτης	3
2	Τεχν	νικογ	εωλογική θεώρηση των μαργαϊκών σχηματισμών	4
	2.1	Γενι	κά	4
	2.2	Κατ	ηγορίες Ταξινόμησης «σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων»	7
	2.2.	1	Συστήματα ταξινόμησης	9
	2.3	Συμ	περιφορά των σχηματισμών στη κατασκευή τεχνικών έργων	10
	2.4	Ειδι	κά για τα Μαργαϊκά ιζήματα	11
	2.5	Περ	ιπτώσεις μαργαϊκών σχηματισμών στον Ελληνικό χώρο	13
	2.5.	1	Μάργα Πειραιά	13
	2.5.	2	Μάργα Κορίνθου	14
	2.5.	3	Μάργα Ηρακλείου	14
	2.5.	4	Μάργα στο λιγνιτωρυχείο Πτολεμαΐδας	15
	2.5.	5	Μάργα Αχαΐας	15
	2.6	Επί	τόπου δοκιμές	21
	2.6.	1	Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (Standard Penetration Test - SPT)	21
	2.6.	2	Δοκιμές Υδροπερατότητας – Δοκιμές Εισπιέσεων	22
	2.7	Προ	οσδιορισμός φυσικών χαρακτηριστικών	24
	2.7.	1	Περιεχόμενη υγρασία	24
	2.7.	2	Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους συνεκτικών υλικών	25
	2.7.	3	Προσδιορισμός ειδικού βάρους λεπτόκοκκου υλικού	25
	2.7. T89	4 /60 –	Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας με τη συσκευή Casagrande ASTM D 4318 – 83)	(AASHTO 27
	2.7.	5	Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (AASHTO T 90/61 – ASTM D 4 28	4318 – 83)
	2.7.	6	Δοκιμές ταξινόμησης	29
				iv

	2.8	Εργαστηριακές Δοκιμές προσδιορισμού Μηχανικών Ιδιοτήτων	34
	2.8.	1 Δοκιμή Ανεμπόδιστης θλίψης (ASTM D2938 – 95, ISRM, 1981)	34
	2.8.	2 Δοκιμή άμεσης διάτμησης	35
	2.8.3	3 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης (ASTM D – 2850/82, Ε 105 - 86)	37
	2.8.4	4 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης	39
3	Θεω	ρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών αστοχίας και ανάλυσης ευσταθείας πρανών.	42
	3.1.	Γενικά περί ευστάθειας πρανών	42
	3.1.	1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων	42
	3.2	Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών	44
	3.3	Τύποι μετακίνησης πρανών	45
	3.4	Μηχανισμός και αίτια μετακινήσεων	56
	3.5	Αναγνώριση στο πεδίο	58
	3.6	Χρονική εξάρτηση των συνθηκών ευστάθειας	59
	3.7	Μέθοδοι υπολογισμού ευστάθειας πρανών	59
	3.7.	1 Ιστορική αναδρομή	60
	3.7.	2 Ανάλυση ευστάθειας πρανών με τη μέθοδο της Οριακής Ισορροπίας (Li	mit
	Equi	llibrium Method)	62
	3.7.	3 Γενική αξιολογήση των μεθόδων οριακής ισορροπιας	69
_	3.8	Μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης	72
4	Επισ	σκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης	74
	4.1	Γεωμορφολογία περιοχής	74
	4.2	Γεωλογία ευρύτερης περιοχής	77
	4.2.:	1 Αλπικό υπόβαθρο	77
	4.2.2	2 Μεταλπικοί σχηματισμοί	78
	4.3	Γεωλογία περιοχής μελέτης	80
	4.4	Τεκτονική	81
	4.5	Σεισμικότητα	85
	4.6	Υδρολογία – Υδρογεωλογία	87
	4.6.	1 Κλίμα της ευρύτερης περιοχής	87
	4.6.2	2 Μετεωρολογικά δεδομένα – Θερμοκρασία της ευρύτερης περιοχής	88
_	4.6.3	3 Υδρογεωλογικές συνθήκες	89
5	Τεχν	νικογεωλογική θεώρηση των σχηματισμών της περιοχής έρευνας	93
	5.1	Εισαγωγή	93
	5.2	Μακροσκοπική περιγραφή, των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων	95

	5.2.1	Γεώτρηση ΒΗ339!
	5.2.2	Γεώτρηση Ε1-Β390
	5.2.3	Γεώτρηση Γ1269
	5.2.4	Γεώτρηση C23A-B199
	5.2.5	Γεώτρηση ΒΗ3499
	5.2.6	Γεώτρηση C23A-B3
	5.2.7	Γεώτρηση C23A-B2
	5.2.8	Γεώτρηση Γ127
	5.2.9	Γεώτρηση CT-B1
	5.2.10) Γεώτρηση BH213
	5.2.11	Γεώτρηση CT-B2
	5.2.12	2 Γεώτρηση Ε1-Β4
	5.2.13	3 Γεώτρηση Γ128
	5.2.14	ι Γεώτρηση Ε1-Β5
	5.2.15	5 Γεώτρηση PR27
	5.2.16	δ Σύνοψη των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων
5	.3 Г	Ιαράθεση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις επί τόπου δοκιμές 10
	5.3.1	Επί τόπου δοκιμές προσδιορισμού της διαπερατότητας των σχηματισμών 10
	5.3.2	Επί τόπου δοκιμές εκτίμησης της αντοχής11
5	.4 1	εχνικογεωλογική αξιολόγηση, από εργαστηριακές δοκιμέςές
	5.4.1	Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι (<i>αργιλοϊλυώδης άμμος έως χάλικες</i>) 12:
	5.4.2	Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ (μαλακή μάργα)
	5.4.3	Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ (<i>μέτρια - σκληρή μάργα</i>)
6 πρα	Μηχα νών	νισμοί αστοχίας των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης. Ανάλυση ευστάθεια
6	.1 Г	Ιεριγραφή λογισμικού ανάλυσης ισορροπίας14
6	.2 <i>L</i>	Διερεύνηση ευστάθειας στη Χ.Θ. 81+22014
	6.2.1	Σύνοψη για τη Χ.Θ. 81+220
6	.3 <i>L</i>	Διερεύνηση ευστάθειας στη Χ.Θ. 81+32015
	6.3.1	Σύνοψη για τη Χ.Θ. 81+32015
7	Συμπε	εράσματα
Βιβλ	ιογρα	φία

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1 Θέση χάραξης Ολύμπιας Οδού, με σημειωμένη τη θέση μελέτης. (από http://www.olympiaodos.gr/)2
Εικόνα 2.1 Το συνεχές γεωτεχνικό φάσμα – Κατά Clayton and Serratrice (1997), τροποποιημένο από Κούκη (2006)4
Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση της επί τόπου δοκιμής SPT, από Αναγνωστόπουλος 2014.
Εικόνα 2.3 Τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού φορτίου (Τσιαμπάος, 2013)
Εικόνα 2.4 Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου (Τσιαμπάος, 2013)
Εικόνα 2.5 Συσκευή Cassagrande28
Εικόνα 2.6 Διάγραμμα Πλαστικότητας, British System (BS 5930: 1999)
Εικόνα 2.7 Τυπικά κόσκινα για την εκτέλεση της δοκιμής κατάταξης
Εικόνα 2.8 Διάγραμμα «logp – e» προσδιορισμού της τάσης προστερεοποίησης Pc (Craig, 2005)41
Εικόνα 3.1 Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών: 1. Τυπική κατάπτωση βράχων (Varnes, 1978), 2. Κατάπτωση λόγω διαφορικής αποσάθρωσης (Letourneur and Mitchel, 1971), 3. Λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, 4. Λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το κύμα, 5. Λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το ποτάμι (Varnes, 1978), 6. (α) Άμεση κατάπτωση γαιών – εδάφους ή (β) Μετά από ολίσθηση (από Κόυκης – Σαμπατακάκης, 2007)
Εικόνα 3.2 (α) Ανατροπή λόγω κάμψης, (β) Ανατροπή λόγω παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών, (γ) Ανατροπή εδαφικών υλικών (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)
Εικόνα 3.3 Περιστροφικές ολισθήσεις κατά Varnes, 1978: (α) Βραχώδους υποβάθρου, (β) Γαιών (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)48
Εικόνα 3.4 Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (Varnes, 1978, από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007):
Εικόνα 3.5 Μεταθετικές ολισθήσεις (Hansen, 1965 και Varnes, 1978). (α) αποσαθρωμάτων, (β) εδαφικού υλικού, (γ) επίπεδη, (δ) σφηνοειδής (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) 50

Εικόνα 3.8 Σύνθετες μετακινήσεις: (α) κατάπτωση – ροή, (β) ολίσθηση – ροή, (γ) ανατροπή – ολίσθηση (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)54
Εικόνα 3.9 Ενδεικτική αποτύπωση ρωγμών, κατακρημνίσεων και ροών νερού σε μια κατολίσθηση (Sowers & Royster, 1978, από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)55
Εικόνα 3.10 Τεχνική χωρισμού του πρανούς σε «φέτες»63
Εικόνα 3.11 Ανάλυση δυνάμεων σε μία λωρίδα, σύμφωνα με τη μέθοδο Fellenius (Lambe and Withman, 1969)65
Εικόνα 3.12 Ανάλυση δυνάμεων σε μία «φέτα», σύμφωνα με τη μέθοδο του Bishop 66
Εικόνα 3.13 Ανάλυση δυνάμεων σε μία λωρίδα, σύμφωνα με τη μέθοδο Janbu (Lambe and Withman, 1969)
Εικόνα 3.14 Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) 72
Εικόνα 3.15 Μέτρα προστασίας εδαφικών πρανών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007) 73
Εικόνα 4.1 Άποψη της περιοχής από το google earth
Εικόνα 4.2 Γεωτεκτονική διάταξη των Ελληνίδων ζωνών Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη (Pe: Ζώνη Παιονία, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακώδων ασβεστόλιθων (Plattencalk). (Mountrakis et al, 1983)
Εικόνα 4.3 Χάρτης με τις κυριότερες Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ελληνικού χώρου. (Rondogianni, 1984)79
Εικόνα 4.4 Το σύστημα ρηγμάτων της Ελίκης (Mc Neill & Collier, 2004)
Εικόνα 4.5 Χάρτης με τα κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγιακού χώρου. (Μουντράκης, 1985). Με κόκκινο κύκλο σημειώνεται η περιοχή μελέτης
Εικόνα 4.6 Τρισδιάστατα σχηματικά διαγράμματα που αναλύουν τη σχετική κίνηση BBA ρηξιγενών τεμαχών επί ΔΒΔ κανονικών ληστρικών ρηγμάτων. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν γραμμές ολίσθησης (Πουλημένος, 1991)
Εικόνα 4.7 Γεωλογικός χάρτης του δυτικού παράκτιου τμήματος της Κορινθιακής τάφρου και της λεκάνης του Βέρινου. Σύμβολα χάρτη: 1. Ολοκαινικοί σχηματισμοί, 2. Θαλάσσιες αναβαθμίδες, 3. Αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων, 4. Αποθέσεις δελταϊκών ριπιδίων, 5. Ιζήματα ανώτερης ριπιδιακής ζώνης, 6. Λιμναίες – λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, 7. Ποταμολιμναίες αποθέσεις, 8. Προ-Νεογενές υπόβαθρο, 9. Ρήγμα, 10. Ρήγμα όπου η οδόντωση δείχνει το βυθιζόμενο τέμαχος. L1-L4: κύρια ΔΒΔ κανονικά ρήγματα, T1-T7: κύρια BBA ρήγματα μετασχηματισμού. Με κόκκινο κύκλο σημειώνεται η περιοχή μελέτης.

Εικόνα 4.8 Σεισμογραφικός Χάρτης της περιοχής μελέτης, από δεδομένα του Σεισμολογικού σταθμού του Πανεπιστημίου Πατρών. Περίοδος 2009 – 2011
Εικόνα 4.9 Χάρτη ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΕΑΚ 2000). Με κόκκινο κύκλο επισημαίνεται η θέση μελέτης
Εικόνα 4.10 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής σε mm για την περιοχή μελέτης
Εικόνα 4.11 Μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C για τη περιοχή μελέτης
Εικόνα 4.12 Χάρτης της κατανομής της επιφανειακής απορροής (τροποποιημένος, από Νίκας, 2004).
Εικόνα 4.13 Χάρτης κατανομής της εξατμισοδιαπνοής (τροποποιημένος από Νίκας, 2004).91
Εικόνα 4.14 Χάρτης κατανομής της κατείσδυσης (τροποποιημένος, από Νίκας, 2004) 92
Εικόνα 5.1 Κάτοψη της περιοχής μελέτης με σημειωμένες τις θέσεις των γεωτρήσεων. Με κίτρινο χρώμα είναι σημειωμένη η θέση του πρανούς και η θέση των κατασκευασμένων τομών
Εικόνα 5.2 Δειγματοληψία γεώτρησης Ε1 – Β398
Εικόνα 5.3 Δειγματοληψία γεώτρησης Γ128106
Εικόνα 5.4 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή υπό μελέτη πρανούς
Εικόνα 5.5 Τεχνικογεωλογική διατομή στη Χ.Θ. 81+220,00
Εικόνα 5.6 Τεχνικογεωλογική διατομή στη Χ.Θ. 81+320
Εικόνα 5.7 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, από τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι
Εικόνα 5.8 Κατανομή του Δείκτη Πλαστικότητας (ΡΙ) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι
Εικόνα 5.9 Διάγραμμα κατανομής Δείκτη Πλαστικότητας (ΡΙ) για την ενότητα Τ.Ε.Ι
Εικόνα 5.10 Κατανομή συντελεστή διαπερατότητας (k) για την Τ.Ε.Ι, βάσει των επί τόπου δοκιμών
Εικόνα 5.11 Κατανομή του αριθμού κρούσεων Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι, με το βάθος
Εικόνα 5.12 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, από τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Εικόνα 5.13 Κατανομή του Δείκτη Πλαστικότητας (ΡΙ) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Εικόνα 5.14 Διάγραμμα κατανομής Δείκτη Πλαστικότητας (PI) για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙ

Εικόνα 5.15 Κατανομή συντελεστή διαπερατότητας (k) για την Τ.Ε.ΙΙ, βάσει των επί τόπου δοκιμών
Εικόνα 5.16 Κατανομή της τιμής του Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Εικόνα 5.17 Κατανομή του αριθμού κρούσεων Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ, με το βάθος
Εικόνα 5.18 Κατανομή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q _u) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Εικόνα 5.19 Διάγραμμα διάκρισης κλάσεων της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Εικόνα 5.20 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των δοκιμών CUPP και CD, για την τεχνικογεωλογική ενότητα T.E.II
Εικόνα 5.21 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, με βάσει τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ138
Εικόνα 5.22 Διάγραμμα κατανομής δείκτη πλαστικότητας (PI) για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ 139
Εικόνα 5.23 Κατανομή του δείκτη πλαστικότητας με το βάθος για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ 140
Εικόνα 5.24 Κατανομή συντελεστή διαπερατότητας (k) για την Τ.Ε.ΙΙΙ, βάσει των επί τόπου δοκιμών
Εικόνα 5.25 Κατανομή του αριθμού κρούσεων Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ, με το βάθος
Εικόνα 5.26 Διάγραμμα κατανομής της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη, για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.
Εικόνα 5.27 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των δοκιμών CUPP και CD, για την τεχνικογεωλογική ενότητα T.E.III

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 2-1Χαρακτηρισμοί και όρια αντοχών για εδάφη και βράχους (Hawkins, 2000)6
Πίνακας 2-2 Στοιχεία για την ορυκτολογική σύσταση, την ονοματολογία και τη κοκκομετρία από μαργαϊκούς σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο
Πίνακας 2-3 Στοιχεία για τα φυσικά χαρακτηριστικά από μαργαϊκούς σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο
Πίνακας 2-4 Στοιχεία για τις μηχανικές ιδιότητες από μαργαϊκούς σχηματισμούς, στον Ελληνικό χώρο

Πίνακας 2-5 Χαρακτηρισμός Εδαφικών σχηματισμών με βάσει των αριθμών κρούσεων Nspt. Πίνακας 3-1 Διάκριση ανάλογα με τον τύπο κίνησης και την κατηγορία του γεωυλικού. 56 Πίνακας 3-2 Σύγκριση των Ιδιοτήτων των σημαντικότερων μεθόδων Οριακής Ισορροπίας. 70 Πίνακας 4-1 Τιμές σεισμικών επιταχύνσεων για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας. 86 Πίνακας 5-1 Κωδικοί και συντεταγμένες γεωτρήσεων, γεωερευνητικού προγράμματος..... 93 Πίνακας 5-6 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης BH34...... 100 Πίνακας 5-7 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης C23A-B3...... 101 Πίνακας 5-8 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης C23A-B2....... 101 Πίνακας 5-9 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Γ127......102 Πίνακας 5-10 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης CT-B1. 102 Πίνακας 5-11 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης BH213....... 103 Πίνακας 5-16 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης PR27...... 107 Πίνακας 5-18 Κατηγορίες ταξινόμησης, βάσει της τιμής διαπερατότητας (k, cm/sec) (Terzaghi & Peck, 1962)...... 109 Πίνακας 5-19 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών προσδιορισμού της διαπερατότητας..... 111 Πίνακας 5-20 Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT, κατά Πίνακας 5-21 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Πρότυπης δοκιμής διείσδυσης- SPT...... 114

Πίνακας 5-22 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση, για κάθε γεώτρηση117
Πίνακας 5-23 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.Ι
Πίνακας 5-24 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της περατότητας για την Τ.Ε.Ι
Πίνακας 5-25 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.Ι
Πίνακας 5-26 Μηχανικές παράμετροι από την Διεθνή βιβλιογραφία
Πίνακας 5-27 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι
Πίνακας 5-28 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Πίνακας 5-29 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της περατότητας για την Τ.Ε.ΙΙ.
Πίνακας 5-30 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙ
Πίνακας 5-31 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για τη τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.
Πίνακας 5-32 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ
Πίνακας 5-33 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της διαπερατότητας για την Τ.Ε.ΙΙΙ
Πίνακας 5-34 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ
Πίνακας 5-35 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμής SPT ,για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ
Πίνακας 5-36 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για τη τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.
Πίνακας 6-1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα F.S. ανάλυσης ευστάθειας στη θέση Χ.Θ.81+220.
Πίνακας 6-2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα F.S. ανάλυσης ευστάθειας στη θέση Χ.Θ.81+320. 155

Λίστα Σχημάτων

Σχήμα 6-1 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με τις υπάρχουσες συνθήκες
Σχήμα 6-2 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=56°και Ru=0 (1 ^η περίπτωση), Ru=0.3 (2 ^η περίπτωση)
Σχήμα 6-3 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=78°και Ru=0 (1 ^η περίπτωση), Ru=0.3 (2 ^η περίπτωση)
Σχήμα 6-4 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με τις υπάρχουσες συνθήκες
Σχήμα 6-5 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=56°και Ru=0 (1 ^η περίπτωση), Ru=0.3 (2 ^η περίπτωση)
Σχήμα 6-6 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=78°και Ru=0 (1 ^η περίπτωση), Ru=0.3 (2 ^η περίπτωση)

Περίληψη

Στη παρούσα εργασία, γίνεται προσπάθεια διερεύνησης της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς μαργαϊκών και κροκαλοπαγών σχηματισμών κατά την κατασκευή ορυγμάτων. Πιο συγκεκριμένα διερευνάται η συμπεριφορά αυτών, για την δημιουργία τεχνητού ορύγματος κατά μήκος του Νέου Αυτοκινητοδρόμου Κορίνθου – Πατρών, στην περιοχή της Τέμενης του Νομού Αχαΐας. Για την καλύτερη απόδοση κρίθηκε σκόπιμο να γίνει βιβλιογραφική αναζήτηση στους παράγοντες που καθορίζουν την συμπεριφορά αυτών.

Για τον λόγο αυτό στο Κεφάλαιο 2, δίνεται το βασικό πλαίσιο εξέτασης των μαργαϊκών σχηματισμών. Αναφέρονται οι βασικοί τρόποι διάκρισής τους σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία. Οι φυσικές και μηχανικοί παράμετροι που επηρεάζουν και καθορίζουν την συμπεριφορά τους, καθώς και οι διαδικασίες που απαιτούνται για τον καθορισμό αυτών (εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές). Ακολούθως δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα από τον Ελληνικό χώρο με περιγραφή των κύριων χαρακτηριστικών τους.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται προσπάθεια απόδοσης στο θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για τη μελέτη της ανάλυσης της ευστάθειας των πρανών. Αναφέρονται οι μέθοδοι υπολογισμού καθώς και οι παράμετροι που απαιτούνται για την εκτίμηση του Συντελεστή Ασφαλείας. Δεδομένης της φύσης των υλικών που πρόκειται να εξεταστούν στη συνέχεια, δίνεται έμφαση στις περιπτώσεις περιστροφικής ολίσθησης.

Στο Κεφάλαιο 4, περιγράφεται το γεωλογικό πλαίσιο της ευρύτερης περιοχής, που συμπεριλαμβάνει τη γεωμορφολογία, τη στρωματογραφία της περιοχής, καθώς και ειδικότερα την αναμενόμενη στρωματογραφία βάσει των αποτελεσμάτων του γεωερευνητικού προγράμματος. Ακολούθως αναφέρονται συνοπτικά στοιχεία που αφορούν την υδρογεωλογία και τη σεισμικότητα της περιοχής. Κρίνεται απαραίτητη η αναφορά σε αυτά, καθώς δίνει το γενικό πλαίσιο για την επί μέρους διερεύνηση που θα ακολουθήσει.

Στο Κεφάλαιο 5, επεξεργάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα από τα διαθέσιμα στοιχεία του γεωερευνητικού προγράμματος για την υπό μελέτη περιοχή. Πιο συγκεκριμένα ακολουθεί στατιστική επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων από επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές με σκοπό τη διάκριση σε επί μέρους τεχνικογεωλογικές ενότητες των γεωυλικών. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η κατασκευή της αντίστοιχής τεχνικογεωλογικής μηκοτομής για το υπό εξέταση πρανές. Επιπλέον, από την επεξεργασία έγινε δυνατή η ποσοτικοποίηση των διακριθέντων ενοτήτων, με την επιλογή των γεωτεχνικών παραμέτρων, όπως προέκυψαν, με σκοπό την καλύτερη αντιμετώπιση κατά την φάση της εκσκαφής.

Στο Κεφάλαιο 6, μελετάται η απόκριση του πρανούς σε διαφορετικές συνθήκες, με επιλογή διαφορετικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών και υδατικών πιέσεων. Σκοπός είναι ο υπολογισμός του Συντελεστή Ασφαλείας, έτσι ώστε να βοηθήσει στο γεωτεχνικό σχεδιασμό για την αποφυγή αστοχιών.

Τέλος, στο Κεφάλαιο 7, γίνεται προσπάθεια συγκέντρωσης των συμπερασμάτων όπως αυτά προέκυψαν από την διερεύνησης που πραγματοποιήθηκε στο σύνολο αυτής της εργασίας.

Abstract

In this paper, an attempt is made to investigate the technical behavior of marls and conglomerate formations during construction trenches. More specifically investigates the behavior of these, to create an artificial trench along the new highway Corinth - Patras, in the area of the Temeni of Achaia. For the best performance it was appropriate to a literature search on the factors that determine their behavior.

For this reason, in Chapter 2, given the basic framework for consideration of marly formations. Are the main ways separate them according to the international literature. The physical and mechanical parameters that influence and determine their conduct and the procedures required for setting these (laboratory and field tests). Then given examples from the Greek area, describing their main features.

In Chapter 3, it is efficient effort in the theoretical background needed for the study of the analysis of the stability of slopes. Indicate the methods of calculation and the parameters required for assessing the factor of safety. Given the nature of the materials to be examined and then the emphasis is on rotational cases.

Chapter 4 describes the geological context of the wider region, including the geomorphology, stratigraphy of the area and in particular the expected stratigraphy based on the results of geotechnical program. Summary data relating to hydrogeology and seismicity of the area. It is necessary to refer to it as it gives the general framework for individual exploration to follow.

In Chapter 5, process and analyze the results from the data of geotechnical investigation for the study area. More specifically follow statistical analysis of available data from in situ and laboratory tests in order to distinguish in individual sections. The result was the construction of its corresponding geotechnical sections for the test slope. Moreover, processing was possible to quantify the selected ones of modules, the selection of geotechnical parameters, as derived in order to cope better in the stage of excavation.

In Chapter 6, the response slope is studied in different conditions, with a choice of different geometric characteristics and water stress. The aim is to calculate the factor of safety so as to help in geotechnical design to prevent failures.

Finally, Chapter 7 attempts concentration conclusions as they emerged from the investigation that took place throughout this work.

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός της παρούσας εργασίας

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης αναφέρεται στην διερεύνηση της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς κατά τον σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνητών ορυγμάτων σε μαργαϊκούς σχηματισμούς και κροκαλοπαγή. Πιο συγκεκριμένα εστιάζει στην διερεύνηση της ευστάθειας πρανούς στην περιοχή Τέμενη του Νομού Αχαΐας, όπου πρόκειται να κατασκευαστεί όρυγμα επί αυτών των σχηματισμών. Ο στόχος της εργασίας αυτής αποτελεί, ο καθορισμός του γεωλογικού μοντέλου, η εκτίμηση των μηχανισμών αστοχίας καθώς και των τεχνικογεωλογικών και γεωτεχνικών χαρακτηριστικών που ορίζουν την ευστάθεια των πρανών αυτών.

Το αντικείμενο της παρούσας εργασίας μπορεί να χωρισθεί σε δύο επί μέρους ενότητες. Στην πρώτη ενότητα που αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο, ώστε να δοθεί καλύτερη προσέγγιση τόσο στους σχηματισμούς από τεχνικογεωλογικής πλευράς, όσο και στις μεθόδους ανάλυσης της ευστάθειας. Στα Κεφάλαια 2-4, γίνεται προσπάθεια απόδοσης των σημαντικότερων στοιχείων που αφορούν την διερεύνηση και ανάλυση που θα ακολουθήσει.

Στην δεύτερη ενότητα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία και ανάλυση των διαθέσιμων στοιχείων. Αφορούν την διάκριση σε επί μέρους τεχνικογεωλογικούς τύπους των σχηματισμών, η οποία βασίζεται σε αποτελέσματα από επί τόπου παρατηρήσεις, δοκιμές καθώς και εργαστηριακές δοκιμές. Αποτέλεσμα αυτών ήταν η δημιουργία ενός τεχνικογεωλογικού μοντέλου για την θέση μελέτης. Επιπλέον, υπολογίστηκαν οι τιμές των αντίστοιχων Συντελεστών Ασφαλείας με την χρήση του λογισμικού Slide v 6.0 της Rocksience, ώστε να διερευνηθεί πλήρως η συμπεριφορά των σχηματισμών στην κατασκευή του έργου.

Για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αξιολογήθηκε ένα μεγάλο εύρος δεδομένων από δειγματοληπτικές γεωτρήσεις, που έγιναν στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, προκειμένου να διακριθούν οι κύριοι σχηματισμοί στην περιοχή και να προσδιορισθούν οι κατάλληλες γεωτεχνικές παράμετροι. Ως δεδομένα εισαγωγής αυτές χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ευστάθειας που πραγματοποιήθηκε για το συγκεκριμένο όρυγμα, κάνοντας τις κατάλληλες παραδοχές για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας και σε καμία περίπτωση τα αποτελέσματα αυτής δεν αποτελούν μελέτη του έργου.

1.2 Επισκόπηση του έργου

Οι εργασίες κατασκευής των νέων τμημάτων του αυτοκινητοδρόμου Κορίνθου – Πατρών αφορούν κυρίως μεγάλες κατασκευές όπως η κατασκευή σηράγγων, άνω και κάτω διαβάσεων και αντιπλημμυρικών έργων καθώς και διαπλατύνσεις της υφιστάμενης οδού αφού ο νέος αυτοκινητόδρομος ακολουθεί κατά κύριο λόγο την υφιστάμενη χάραξη.

Οι γεωλογικές συνθήκες, οι γεωτεχνικές δυσκολίες και οι περιβαλλοντικές συνθήκες στο τμήμα αυτό, καθώς και οι απαιτήσεις των σύγχρονων προδιαγραφών χάραξης αυτοκινητοδρόμων με επαρκή γεωμετρικά χαρακτηριστικά, επιβάλλουν σε πολλές περιπτώσεις την κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού σηράγγων.

Ο νέος αυτοκινητόδρομος θα έχει περισσότερο από 16km σηράγγων σε 5 σημεία: Δερβένι, Μαύρα Λιθάρια, Ακράτα, Πλάτανο και Παναγοπούλα, μικραίνοντας τις αποστάσεις και μειώνοντας το θόρυβο και την ατμοσφαιρική ρύπανση και προσφέροντας μεγαλύτερη ασφάλεια και άνεση.



Εικόνα 1.1 Θέση χάραξης Ολύμπιας Οδού, με σημειωμένη τη θέση μελέτης. (από <u>http://www.olympiaodos.gr/</u>)

Σήμερα, ο δρόμος που συνδέει την Κόρινθο με την Πάτρα και τον Πύργο θεωρείται από τους πιο επικίνδυνους δρόμους στην Ελλάδα. Με την κατασκευή του νέου αυτοκινητοδρόμου θα είναι ασφαλέστερη διότι:

- 1. Δεν θα υπάρχουν επικίνδυνες διασταυρώσεις με άλλους δρόμους.
- 2. Τα δύο ρεύματα κυκλοφορίας των οχημάτων θα διαχωρίζονται με μπάρες ασφαλείας, που μειώνουν σημαντικά των κίνδυνο μετωπικών συγκρούσεων.
- Θα εφαρμόζονται και θα τηρούνται οι περιορισμοί στη κίνηση των οχημάτων όπως βαριά αγροτικά μηχανήματα.

Επιπλέον, με την ολοκλήρωση της Ολυμπίας Οδού, η εξοικονόμηση χρόνου υπολογίζεται ότι θα είναι περίπου 20% για το τμήμα Κόρινθος – Πάτρα (15' πιο σύντομο ταξίδι).

Τέλος, προβλέπεται η αναβάθμιση του περιβάλλοντος η οποία αφορά, τα εξής:

- 1. Οι υδατικοί πόροι προστατεύονται αποτελεσματικότερα και βελτιώνεται η ποιότητά τους.
- Λαμβάνονται μέτρα για την μείωση του θορύβου και την αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής μόλυνσης.
- Προστατεύεται η πανίδα του τόπου με την κατασκευή φραγμάτων και διόδων για τα ζώα.

1.3 Οι εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές στην περιοχή μελέτης

Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων των γεωυλικών, έγινε με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία από 15 δειγματοληπτικές γεωτρήσεις. Συνοπτικά αναφέρονται οι δοκιμές των οποίων τα στοιχεία διατέθηκαν για αξιολόγηση σε αυτή την εργασία και τα αποτελέσματα αυτών αξιολογήθηκαν για τον προσδιορισμό της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς και των γεωτεχνικών παραμέτρων των υπό εξέταση γεωυλικών.

Εργαστηριακές δοκιμές

- Κοκκομετρική ανάλυση των γεωυλικών
- Δοκιμή προσδιορισμού των ορίων Atterberg των εδαφικών υλικών
- Δοκιμές σε ανεμπόδιστη θλίψη άρρηκτων δοκιμίων.
- Δοκιμές απευθείας διάτμησης και τριαξονικής θλίψης επί εδαφικών δοκιμίων.
- Δοκιμές συμπιεσομέτρου για την διογκωσιμότητα των εδαφικών σχηματισμών.

Επί τόπου δοκιμές – Μακροσκοπική περιγραφή δειγμάτων

- Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης SPT σε εδαφικούς σχηματισμούς.
- Δοκιμές διαπερατότητας πίπτοντος και σταθερού υδραυλικού φορτίου.
- Προσδιορισμός στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα.

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση αυτών, με σκοπό να προσδιοριστεί αρχικά η στρωματογραφία των σχηματισμών στην υπό μελέτη περιοχή. Ακολούθως κατασκευάστηκαν οι αντίστοιχες τεχνικογεωλογικές τομές και καθορίστηκαν οι τεχνικογεωλογικές ενότητες με προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων των γεωυλικών στην περιοχή.

2 Τεχνικογεωλογική θεώρηση των μαργαϊκών σχηματισμών

2.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους Terzaghi and Peck, 1967, τα υλικά που συνιστούν τον φλοιό της γης χωρίζονται μάλλον αυθαίρετα σε δύο κατηγορίες: τα εδάφη και του βράχους. Τα εδάφη είναι σχηματισμοί, οι οποίοι μπορούν εύκολα να διαχωριστούν με ήπια μηχανικά μέσα, ενώ οι βράχοι συνδέονται με ισχυρές και μόνιμες δυνάμεις. Δεδομένο ότι οι όροι «ισχυρός» και «μόνιμος» είναι γενικοί θεωρείται ότι το όριο μεταξύ εδαφών και βράχων δεν είναι ξεκάθαρο.

Η μεταβατική αυτή ζώνη (Εικόνα 2.1) ανάμεσα στα εδάφη και τους βράχους και η συμπεριφορά των σχηματισμών που εντάσσονται σε αυτήν έχουν τις τελευταίες δεκαετίες αποτελέσει αντικείμενο έρευνας και μελέτης σε παγκόσμια κλίμακα, λόγω της αυξανόμενης ανάγκης κατασκευής έργων μεγάλης κλίμακας σε τέτοιους σχηματισμούς. Παρόλο της εμπειρίας που έχει συσσωρευτεί διεθνώς, ο επακριβής προσδιορισμός των ορίων της μεταβατικής ζώνης καθώς και των χαρακτηριστικών των σχηματισμών αυτής παραμένει σε μεγάλο βαθμό ασαφής.

Ο όρος που έχει επικρατήσει σήμερα για την ονομασία των σχηματισμών που ανήκουν στη μεταβατική ζώνη είναι «σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι», ο οποίος περιγράφει τη θέση της μεταβατικής αυτής ζώνης στην κλίμακα αντοχής των γεωλογικών σχηματισμών.



Εικόνα 2.1 Το συνεχές γεωτεχνικό φάσμα – Κατά Clayton and Serratrice (1997), τροποποιημένο από Κούκη (2006)

Από την **ISRM (1981)** είναι γνωστοί οι ποσοτικοί προσδιορισμοί για πετρώματα σύμφωνα με τους οποίους η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 0,25 έως 1MPa για εξαιρετικά χαμηλής αντοχής πέτρωμα, από 1 έως 25 MPa για πολύ χαμηλής – χαμηλής αντοχής πέτρωμα και από 25 έως >250 MPa για πέτρωμα από μέσης έως εξαιρετικά υψηλής αντοχής.

Ως αναφορά στα συνεκτικά εδάφη, έως πολύ μαλακές αργίλους προσδιορίζονται σύμφωνα με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, σε σκληρά εδάφη με τιμές μεγαλύτερες από 0,5 MPa και για τους μαλακούς βράχους με τιμές 2 έως 20 MPa. Σημειώνεται πώς το εύρος των τιμών εξαρτάται άμεσα από το βαθμό κορεσμού (*Marinos, 1993*).

Τα British Standards (BS 5930:1981) βασίζονται στην αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη για τον χαρακτηρισμό των βραχωδών σχηματισμών και στην αστράγγιστη διατμητική αντοχή για τον χαρακτηρισμό των εδαφών. Έτσι, χαρακτηρίζουν ως «σκληρά ή πολύ στιφρά» τα εδάφη με αστράγγιστη διατμητική αντοχή >150kPa και «πολύ μαλακούς» τους βράχους με αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη <1,25 MPa. Οι **Αμερικάνικοι Κανονισμοί (ASTM D2488-90)** χρησιμοποιούν τον όρο «σκληρό» για τα αντίστοιχα «πολύ στιφρά εδάφη» των Βρετανικών Κανονισμών. Στην περίπτωση εδαφών χρησιμοποιείται ο όρος «σκληρό» αντί του όρου «πολύ στιφρό».

Ο Hatheway, 1990, ορίζει ως «μαλακό βράχο» ένα στερεοποιημένο εδαφικό υλικό, με ασυνήθη βαθμό στρωσιγένειας ή σχιστότητας, ρηγματώσεις, κατατμήσεις, αποσάθρωση ή εξαλλοίωση, με σημαντική περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά και κύριο χαρακτηριστικό την τάση να διογκώνεται ή να αποφλοιώνεται με την προσθήκη νερού.

Οι *Clayton and Serratrice, 1993,* θεωρούν ότι τα υλικά αυτά βρίσκονται πάνω στο όριο ανάμεσα στους βράχους και τα εδάφη.

Οι Johnston and Novello, 1993, αναφέρουν ότι τα «σκληρά εδάφη – μαλακοί βράχοι» δεν υπάρχουν στις παρυφές της εδαφομηχανικής και της βραχομηχανικής, αλλά αποτελούν κεντρική συνιστώσα ενός υλικού συνεχούς διαβάθμισης, από τις μαλακές αργίλους έως τους σκληρούς βράχους. Η θεώρηση τους περιλαμβάνει πως οι μαλακοί βράχοι βρίσκονται στο κέντρο ενός συνεχούς φάσματος γεωτεχνικών υλικών, όπου οι καθιερωμένες μέθοδοι της εδαφομηχανικής και βραχομηχανικής πρέπει να εφαρμόζονται σε συνδυασμό και όχι μεμονωμένα. Αναφερόμενοι στα χαρακτηριστικά αντοχής, αναγνώρισαν την ίδια συμπεριφορά στους μαλακούς βράχους και στις αργίλους, που δείχνουν υπερστερεοποιημένο χαρακτήρα σε χαμηλές πλευρικές πιέσεις και κανονικά στερεοποιημένο σε υψηλές πλευρικές πιέσεις. Όσον αφορά στην συμπιεστότητα παρατήρησαν ότι η συμπεριφορά τέτοιων υλικών είναι παρόμοια κατά την αύξηση του φορτίου. Οι μικρορωγμές και γενικά οι δομικές απώλειες που παίζουν μεγάλο ρόλο στην βραχομηχανική, εξίσου επηρεάζουν τους μαλακούς βράχους και τα σκληρά εδάφη. Με τη θεώρηση αυτή, δικαιολογείται η ταξινόμηση των υλικών της κατηγορίας εδάφη – βράχοι με βάση την αντοχή στην χαλάρωση (Κούκης και Χριστοδουλοπούλου, 1997).

Ο Vaughan, 1993, αναφέρει ότι ο όρος σκληρός/ασθενής, ποικίλει συνεχώς σε όλο το εύρος των υλικών αυτών, ενώ κάθε υποδιαίρεση είναι αυθαίρετη και δεν βοηθά στην λύση των προβλημάτων. Αντίθετα, πιστεύει ότι εάν αναγνωριστεί ότι τα πολύ διαφορετικά αυτά υλικά έχουν κοινούς ορισμένους χαρακτήρες και χαρακτηριστικά που ελέγχουν τις μηχανικές ιδιότητες και εάν αναγνωριστούν και ποσοτικοποιηθούν αυτά τα χαρακτηριστικά σε ένα κοινό πλαίσιο, μπορεί να γίνει εξέταση κάθε υλικού αναλογικά. Έτσι, επισημαίνεται ότι δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης του διλήμματος αυτού.

Σύμφωνα με τον Μαρίνο, 1993, ο όρος «μαλακός» χαρακτηρίζει βράχους με μικρή αντοχή λόγω αρχικής προέλευσης, ενώ ο όρος «ασθενής» είναι πιο γενικός και περιλαμβάνει επίσης πετρώματα με ατέλειες δευτερογενούς χαρακτήρα, λόγω π.χ. δευτερογενών τεκτονικών επιδράσεων ή ύπαρξης ζωνών διάτμησης. Έτσι, το υλικό της ζώνης ρηγμάτων, οι οποίες απαντούν σε όλους τους τύπους βραχωδών σχηματισμών με κυμαινόμενο πάχος, καθώς και των ζωνών διάτμησης είναι ασθενές και συμπιεστό, με χαμηλή διατμητική αντοχή κατά την διεύθυνση του ρήγματος ή της ζώνης διάτμησης.

Για αυτό τον λόγο καταλήγει προτείνοντας, λαμβάνοντας υπόψη και το ρόλο των ασυνεχειών, στην παρακάτω χρήση των όρων:

- Ασθενής βράχος: αναφέρεται σε μαλακούς βράχους, αποσαθρωμένους βράχους, σκληρά εδάφη και ζώνες διάρρηξης – διάτμησης σε βράχους.
- Ασθενής βραχόμαζα: αναφέρεται σε βράχο (ασθενή ή όχι) πολύ έντονα διερρηγμένο, σε βράχο με πυκνό δίκτυο αποκάρστωσης και σε bimrocks (τεμάχη σε θεμελιώδη μάζα – συνδετικό υλικό, πολυγενής σχηματισμοί – mélanges, φλύσχης χωρίς ή με άναρχη δομή, ολισθόλιθοι, τεκτονικό λατυποπαγές, χαοτικοί σχηματισμοί).

Ο Hawkins, 2000, προτείνει τον Πίνακας 2-1, για την ονοματολογία των βράχων και εδαφών, στον οποίο φαίνονται τα όρια που θέτει για την κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων, είτε ως αστράγγιστη διατμητική αντοχή (Cu), είτε ως αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (σ_c).

	Αντοχή	Χαρακτηρισμός	
	<20kPa	Πολύ μαλακό έδαφος	
	20-40kPa	Μαλακό	
Cu	40-80kPa	Μέτριο	
	80-160kPa	Στιφρό	
	160-320kPa	Πολύ στιφρό	
	320-640kPa	Σκληρό έδαφος	
	1.25-2.5MPa	Πολύ μαλακός βράχος	
	2.5-5.0MPa	Μαλακός βράχος	
	5.0-10.0MPa	Μέτρια μαλακός	
σ_{c}	10.0-50.0MPa	Μέτρια σκληρός	
	50-100MPa	Σκληρός	
	100-200MPa	Πολύ σκληρός	
	>200MPa	Πάρα πολύ σκληρός	

Πίνακας 2-1Χαρακτηρισμοί και όρια αντοχών για εδάφη και βράχους (Hawkins, 2000).

2.2 Κατηγορίες Ταξινόμησης «σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων»

Ως προς το είδος και την σύστασή τους ο *Deere et al, 1986,* υποστηρίζει ότι τα ασθενή ιζηματογενή πετρώματα μπορεί να περιλαμβάνουν ιλυόλιθους, αργιλικούς σχιστόλιθους, εύθρυπτους ψαμμίτες, κιμωλίες, μάργες, ορυκτό αλάτι, γύψους και ορυκτούς άνθρακες, ενώ τα ασθενή εκρηξιγενή πετρώματα αναφέρονται κυρίως σε τόφφους, κροκαλοπαγή ηφαιστειογενούς προέλευσης και ροές λατυποπαγών σε μη συνεκτική κατάσταση. Τέλος, σαν ασθενή μεταμορφωμένα πετρώματα χαρακτηρίζει τους σχιστόλιθους και τους φυλλίτες, που περιέχουν αυξημένο ποσοστό χλωρίτη, σερικίτη και τάλκη και μειωμένο ποσοστό χαλαζία και αμφίβολων.

Ο Hatheway, 1990, στη κατηγορία των ασθενών βράχων κατατάσσει τους κάτωθι σχηματισμούς:

- Βράχοι Κρητιδικής ή νεότερης περιόδου, με ανεπαρκή χρόνο για την ολοκλήρωση της πετρογένεσης ή της διαγένεσης.
- Μάργες Περμίου ή νεώτερες, κιμωλία και άλλοι ανθρακικοί βράχοι πλούσιοι σε άργιλο.
- Μαργόλιθοι (mudstones), αργιλόλιθοι (claystones), με μικρή ή καθόλου συνεκτικότητα στους οποίους υπάρχει πετρογένεση εξαιτίας της στερεοποίησης.
- Ενστρώσεις αργιλικού σχιστόλιθου (shale) και ιλυόλιθου θαλάσσιας τουρβιδιτικής προέλευσης στους σχηματισμούς του φλύσχη.
- Βράχοι με προέλευση οργανικής απόθεσης, με αποτέλεσμα την παρουσία θειικών ορυκτών, ασβεστίου, σιδήρου ή μαγνησίου και οι οποίοι μπορούν να εμφανίζουν την τάση για διόγκωση και αποσύνθεση των δεσμών των ορυκτών.
- Ιζηματογενείς βράχοι πλούσιοι σε άργιλο, οι οποίοι έχουν υποστεί θερμική εξαλλοίωση από την παρουσία π.χ. μιας φλέβας εκρηξιγενούς πετρώματος.
- Ιζηματογενή πετρώματα χωρίς ορυκτά συγκόλλησης ή αυτά έχουν ανταλλαχθεί ή διαλυθεί.
- Πετρώματα πρασινωπά (παρουσία χλωρίτη)με τάση για διόγκωση.
- Βράχοι με μεγάλη περιεκτικότητα σε άργιλο ή ιλύ και ουσιώδεις ασυνέχειες.
- Ηφαιστειογενή κλαστικά πετρώματα με δυσμενείς συνδυασμούς από άργιλο, πυροκλαστικά στρώματα υέλου (ή προϊόντα εξαλλοίωσης αυτών) και σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά που έχουν την τάση να αποσυντίθενται ή να οξειδώνονται.
- Τροπικός θαλάσσιος ασβεστόλιθος, ο οποίος εντοπίζεται σε 20°, περίπου, από τον Ισημερινό.

Ο Akai, 1993, αναφέρει ότι οι σχηματισμοί αυτοί είναι ιζηματογενή εξαλλοιωμένα ή αποσαθρωμένα πετρώματα και αποτελούνται από ποικιλία υλικών. Τυπικοί ιζηματογενείς μαλακοί βράχοι είναι οι μαργόλιθοι (mudstones), ιλυόλιθοι, ψαμμίτες και αργιλικοί σχιστόλιθοι. Σχηματίζονται και μειονεκτούν από την μη επαρκή στερεοποίηση, διαγένεση ή ασθενή μεταμόρφωση, ενώ η συγκόλληση (cementation) δημιουργείται κατά την διαδικασία της λιθοποίησης, αλλά δεν είναι σε μεγάλο βαθμό. Οι συγκολλητικοί παράγοντες και τα περιεχόμενα αργιλικά ορυκτά συχνά επηρεάζονται από χημικές αλλαγές, που καταλήγουν στην κατάρρευση της δομής του πετρώματος. Η αποσάθρωση εξασθενεί τα σκληρά πετρώματα σε ποικίλη έκταση και τα φυσικά – μηχανικά χαρακτηριστικά αποσαθρωμένου μαλακού βράχου διαφοροποιούνται πολύ σημαντικά με τον τύπο του συγκολλητικού υλικού (θεμελιώδους μάζας) και το βαθμό αποσάθρωσης.

Όσον αφορά στα εδάφη πρώτοι οι *Terzaghi and Peck, 1967,* προσδιόρισαν τα σκληρά εδάφη σαν αυτά με αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μεγαλύτερη από 400kPa.

Ο *Rocha, 1977,* κατέληξε ότι ο προσδιορισμός του ορίου μεταξύ εδάφους και βράχου θα πρέπει να βασίζεται στην συνοχή και την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη των σχηματισμών, θεώρησε δε ως αντίστοιχες ενδεικτικές τιμές για την συνοχή 0,3kPa και για την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη 2MPa.

Σύμφωνα με τον Akai, 1993, τα υλικά αυτά παρουσιάζουν τα παρακάτω κοινά χαρακτηριστικά:

- Οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες είναι περίπου μεταξύ αυτών εδάφους και βράχου.
- Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη κυμαίνεται από 1 έως 10 MPa.
- Το πορώδες έχει συγκριτικά ευρεία κύμανση από 10 έως 50%, σε σχέση με την γεωλογική ηλικία και τη προσρόφηση νερού.
- Η συγκόλληση μεταξύ των τεμαχίων αναμένεται σε κάποιο βαθμό αλλά μπορεί εύκολα να εξασθενήσει λόγω περιβαλλοντικών αλλαγών.
- Η μηχανική συμπεριφορά αλλάζει από ψαθυρή σε όλκιμη ανάλογα με την πλευρική πίεση.
- Το νερό των πόρων έχει σημαντική επίδραση στην μηχανική συμπεριφορά συνήθως δε σε αυτά τα υλικά επικρατεί η αρχή της ενεργού τάσης σε σχέση με τα σκληρά πετρώματα.

Ο *Attewell, 1993,* θεωρεί ότι οι προσδιορισμοί «σκληρός» και «ασθενής» όταν χρησιμοποιούνται για την περιγραφή βράχου πρέπει πάντοτε να είναι συμβατοί με πραγματικές τιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη από εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές. Ο ασθενής βράχος έχει μία αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη μεταξύ 1,25 έως 5MPa.

Κεφάλαιο 2° Τεχνικογεωλογική θεώρηση των μαργαϊκών σχηματισμών

2.2.1 Συστήματα ταξινόμησης

Τα συστήματα ταξινόμησης που ισχύουν σήμερα, στην πράξη δεν έχουν ακόμα εξελιχθεί έτσι ώστε να καλύπτουν όλο το εύρος των μαλακών – ασθενών βράχων ή να είναι διεθνούς αναγνώρισης και χρήσης. Πολλοί επιστήμονες χρησιμοποιούν το RMR ή το Q, σύστημα ταξινόμησης, τα οποία βασίζονται κυρίως στην επίδραση των διακλάσεων (μέγεθος τεμαχών, διατμητική αντοχή σε ασυνέχειες κλπ.). Επιπλέον τα συστήματα αυτά θεωρούνται αξιόπιστα για τις συνθήκες που βασικά εφαρμόστηκαν π.χ. το RMR έχει δοκιμαστεί μόνο σε μερικές περιπτώσεις μαλακών βράχων. (Μαρίνος Π., 1994, Μαρίνος Π., 1979, Marinos P. & Sofianos A., 1991, Μαρίνος Π. & Σοφιανός A., 1990, Leonards et al, 1993).

Ο Akai, 1993, υποστηρίζει ότι η συνολική συμπεριφορά των σχηματισμών αυτών ελέγχεται κυρίως από τα μηχανικά χαρακτηριστικά των περιεχόμενων στη σύσταση υλικών. Σχετικά με την αναγνώρισή τους συνιστά να λαμβάνεται υπόψη όχι μόνο η γεωλογική τους ηλικία, αλλά και οι διαγενετικές διεργασίες οι οποίες έχει υποστεί το υλικό.

Η διαγένεση αφορά την στερεοποίηση κάτω από υπό μηδενική πλευρική τάση και υπό το φορτίο ενός υπερκείμενου ιζήματος (Clayton and Serratrice, 1993). Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως «βαρυτική συμπύκνωση» και μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική απώλεια όγκου στα συνεκτικά εδάφη. Ο συνδυασμός της συμπύκνωσης αυτής με την συγκόλληση οδηγεί στην πετρογένεση, η οποία είναι χαρακτηριστικό των σκληρότερων εδαφών.

Ο Skempton, 1970, αναφέρει ότι κατά την διάρκεια της βαρυτικής συμπύκνωσης τα αμιγώς συνεκτικά υλικά μπορεί να εμφανίσουν σημαντική απώλεια όγκου, η σχέση δε ανάμεσα στο λόγο κενών και την κατακόρυφη ενεργό τάση (Sedimentation Compression Line – SCL του Burland, 1990) εξαρτάται βασικά από την πλαστικότητα. Ο Burland, 1990, έδειξε ότι ακόμη και πολύ πρόσφατες αργιλικές αποθέσεις επηρεάζονται από την δομή. Ως αποτέλεσμα, μπορούν να εμφανίσουν λόγο κενών σημαντικά υψηλότερο από ότι θα αναμενόταν υπό άλλες συνθήκες.

Ο *Rodrigues, 1993,* παρατηρεί ότι οι «μαλακοί» βράχοι χαρακτηρίζονται, εκτός από την χαμηλή αντοχή και από τους υψηλούς ρυθμούς φθοράς, μεγάλο πορώδες, μικρή συνοχή και ασταθή ή εξελισσόμενα συστατικά. Είναι ευαίσθητοι σε μηχανικές δράσεις και στην έκθεση στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, λόγω φθοράς των αρχικών χαρακτηριστικών τους.

Οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή επηρεάζονται από τους δεσμούς συγκόλλησης, την φύση του συγκολλητικού υλικού, το πορώδες, την αποσάθρωση και την παρουσία ενστρώσεων ασθενέστερου υλικού, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χαρακτηρίζονται λόγω των ισχυρών δεσμών τους, ως βράχοι και όχι ως «μαλακοί» βράχοι.

Σύμφωνα με τους Bell et al, 1993, ο τύπος και το ποσοστό των αργιλικών ορυκτών που συμμετέχουν στη δομή των «σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων» γενικότερα θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να λαμβάνεται υπόψη, καθώς επηρεάζει σημαντικά την συμπεριφορά τους.

2.3 Συμπεριφορά των σχηματισμών στη κατασκευή τεχνικών έργων

Στην γεωτεχνική μηχανική σε πολλές περιπτώσεις εξελισσόμενοι σχηματισμοί, όπως οι μάργες, οι ιλυόλιθοι, ιζηματογενή πετρώματα με υψηλό ποσοστό αργίλου, σχηματισμοί που περιέχουν ανυδρίτη, καθώς και άλλα αποσαθρωμένα πετρώματα με υψηλά ποσοστά ευδιάλυτων συστατικών και σμεκτίτη, αντιμετωπίζονται προκαταβολικά ως εν δυνάμει «προβληματικά», με αποτέλεσμα την λήψη προληπτικών μέτρων κατά τον σχεδιασμό των έργων.

Οι *Bozinovic et al, 1993,* αναφέρουν ότι εξαιτίας της πολυπλοκότητας της δομής των ρωγματωμένων στιφρών αργίλων και μαργών παρουσιάζονται συχνά κατολισθήσεις, σε όλες σχεδόν τις λιθοστρωματογραφικές ενότητες, ανεξάρτητα από την θέση αυτών ή την κλίση των πρανών. Ιδιαίτερη επικινδυνότητα επιδεικνύουν οι ανώτερες άργιλοι του Μειοκαίνου, κυρίως όταν βρίσκονται σε εναλλαγές με αμμώδεις ορίζοντες και ιδιαίτερα τα ανώτερα αποσαθρωμένα τμήματα αυτών, τα οποία έχουν αισθητά μειωμένες μηχανικές ιδιότητες. Αυτό οφείλεται στην διακοπή της διαγένεσης για τα ιζήματα αυτά μέσω της διάβρωσης, με αποτέλεσμα την αποσυμπίεσή τους (με ταυτόχρονη δράση ρηγμάτων και ρωγματώσεων), που επέδρασε στα φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά τους.

Οι κατολισθήσεις προκαλούνται κατά βάση στην επιφάνεια του αποσαθρωμένου υλικού. Η ζώνη αποσάθρωσης παρουσιάζει μια συγκεκριμένη στρωμάτωση στην επιφάνεια του ανάγλυφου εξαιτίας των θερμοκρασιακών μεταβολών που επιδρούν σε διαφορετικά διαστήματα, ευνοώντας έτσι την συσσώρευση νερού και δημιουργώντας συχνά τις συνθήκες για την εκδήλωση κατολίσθησης.

Ο Vaughan, 1993, θεωρεί ότι σχεδόν όλοι οι ταξινομηθείς, ως υλικά ασθενείς γεωλογικοί σχηματισμοί δεν αποτελούν μια καθαρά ξεχωριστή κατηγορία, καθώς ενώ έχουν κάποια χαρακτηριστικά του πετρώματος, δεν μπορούν να ταξινομηθούν με επιτυχία ως συγκεκριμένα υλικά. Παρατηρεί βέβαια ότι η πλειοψηφία των σχηματισμών που περιγράφονται ως «εδάφη» έχουν μια δομή που περικλείει κάποιο βαθμό διαγένεσης. Το χαρακτηριστικό αυτό ελέγχει την συμπεριφορά αυτών των σχηματισμών, καθώς μπορεί να οδηγήσει σε υλικά με μεγαλύτερο πορώδες, από ότι θα ήταν υπό άλλες συνθήκες εφικτό (*Leroueil and Vaughan, 1990*). Έτσι, εάν τα μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για συμπεριλάβουν και την πετρογένεση, τότε είναι δυνατή η κατάρτιση ενός λογικού πλαισίου, μέσα στο οποίο οι ιδιότητες μεγάλου εύρους φυσικών υλικών υλικών μπορεί να περιγραφούν και από τις οποίες μπορεί να γίνουν ικανοποιητικές προσεγγίσεις.

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν ανωτέρω είναι σαφές ότι οι γεωτεχνικές έρευνες θα πρέπει να εκτελούνται με στόχο την καλύτερη κατανόηση των γεωτεχνικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών αυτών, σε σχέση με τις τεχνικές κατασκευές, η έκταση δε αυτών εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, τη σημασία αυτής και την κλίμακα του έργου.

Η πληροφόρηση που αποκτάται από την γεωτεχνική έρευνα χρησιμοποιείται για την δημιουργία του σχετικού γεωτεχνικού μοντέλου, πάνω στο οποίο στηρίζεται ο σχεδιασμός

και η κατασκευή (Akai, 1993). **Στην γεωτεχνική πρακτική τα υλικά της μεταβατικής ζώνης** συχνά διερευνώνται με τα γνωστά κριτήρια και συσκευές για εδάφη και βράχους.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα έργων μεγάλης κλίμακας που πραγματοποιούνται διεθνώς τις τελευταίες δεκαετίες και σε σχηματισμούς της μεταβατικής ζώνης είναι οι σήραγγες. Οι εργαστηριακές και επιτόπου δοκιμές που εκτελούνται κατά τον σχεδιασμό και μελέτη των υπόγειων αυτών έργων (και γενικότερα όλων των τεχνικών έργων) θα πρέπει να έχει ως στόχο τον όσο δυνατό ακριβέστερο και ρεαλιστικότερο προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των σχηματισμών αυτών.

2.4 Ειδικά για τα Μαργαϊκά ιζήματα

Στη βιβλιογραφία, οι Νεογενείς και Πλειο – Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί αναφέρονται συχνά, σαν «μάργες» καθώς παρουσιάζουν στιφρότητα και ένα κιτρινωπό – τεφρό χρώμα. Ο όρος μάργα δεν έχει καθοριστεί με σαφήνεια ούτε στον Ελληνικό ούτε στον διεθνή χώρο γιατί είναι διαφορετικά τα κριτήρια κατάταξης για τον γεωλόγο και για τον γεωτεχνικό μηχανικό.

Από τεχνική άποψη, τα μαργαϊκά υλικά ανήκουν, σύμφωνα με τη μέχρι τώρα διεθνή εμπειρία στην ιδιαίτερη κατηγορία των σκληρών εδαφών – μαλακών βράχων. Θεωρούνται ότι επιδεικνύουν συμπεριφορά μεταξύ πλούσιων σε ανθρακικό υπερστερεοποιημένων αργίλων και αργιλικών μαλακών βράχων. Καθώς σε αυτά περιλαμβάνονται, εκτός από μάργες και οι αργιλόλιθοι και οι ιλυόλιθοι, είναι δύσκολο να καθοριστεί σαφώς η συμπεριφορά των μαργών (Χριστοδουλοπούλου, 2006).

Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί καλύπτουν μεγάλο τμήμα της Ελληνικής επικράτειας και παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον από γεωτεχνικής πλευράς. Είναι ως επί το πλείστον νεογενείς αποθέσεις λιμναίας ή θαλάσσιας προέλευσης με ποσόστωση περιεχόμενου ανθρακικού ασβεστίου και συμπληρωματικά αργιλικά ορυκτά (Barth et al, 1939, Pettijhon, 1975). Τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά μπορεί να διαφέρουν και ελέγχονται από τους εξής παράγοντες (Datta et al, 1982, Hawkins et al, 1988):

- Την ορυκτολογία, υφή και περιεκτικότητα των αργιλικών ορυκτών και κυρίως την αναλογία και διανομή του ανθρακικού ασβεστίου.
- Την περιεκτικότητα σε αργιλικούς κόκκους. Η περιεκτικότητα αυτή είναι συχνά υψηλότερη από την πραγματική περιεκτικότητα σε αργιλικά ορυκτά λόγω της παρουσίας μικριτικού υλικού ασβεστίτη και χαλαζία στο λεπτόκοκκο κλάσμα της μάργας.
- Το βαθμό συμπαγοποίησης και συγκόλλησης λόγω διαγένεσης του υλικού μετά την απόθεση.
- Τη διάρρηξη, διάβρωση και αποασβεστοποίηση με τον χρόνο, λόγω περιβαλλοντικών παραγόντων.

Οι μάργες έχουν αναπτύξει μια δομή συγκόλλησης (Mitchell, 1976) μεταξύ ξεχωριστών σωματιδίων λόγω της συγκόλλησης μέσω της απόθεσης ανθρακικών κατά την δημιουργία του υλικού. Η δομή αυτή υποδηλώνεται μέσω της υψηλής αντοχής σε διάτμηση, την φαινόμενη συνοχή και την υψηλή δυσκαμψία σε χαμηλά και μεσαία επίπεδα τάσεων. Σαν αποτέλεσμα, οι γεωτεχνικές τους ιδιότητες δεν ελέγχονται από τον αρχικό λόγο κενών και τις τάσεις όπου έχει δεχτεί όπως συμβαίνει σε τυπικές ιζηματογενείς αργίλους, κάτι που καθιστά την συμβατική γεωτεχνική έρευνα και τις τεχνικές ερμηνείας ανεπαρκείς (Anagnostopoulos et al, 1990).

Οι μάργες είναι υλικά γνωστά στην γεωτεχνική μηχανική για την έκταση και την ποικιλία των προβλημάτων που δημιουργούν και που ξεκινούν από την πολυπλοκότητα των συνθηκών εναπόθεσης τους (γενετική διαδικασία), την διαδικασία παραμόρφωσης (επιγενετική διαδικασία) που ακολουθεί και που δίνει σαν αποτέλεσμα μια «ελαττωματική δομή» και την ευχέρεια με την οποία εξαλλοιώνονται κατά την διαδικασία της αποσάθρωσης. Οι παραμορφώσεις και ιδιαίτερα αυτές που οφείλονται σε τεκτονική δραστηριότητα ή σε διόγκωση λόγω απομάκρυνσης φορτίου σαν αποτέλεσμα αποσάθρωσης, δημιουργούν μια ευρεία ποικιλία ασυνεχειών που συμβάλλουν στην πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς μαργαϊκών υλικών (Σωτηρόπουλος, 1982).

Όπως προαναφέρθηκε, το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των μαργών είναι οι δεσμοί συγκόλλησης που αναπτύσσονται με την απόθεση των ανθρακικών αλάτων, με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλή διατμητική αντοχή, μη συμβατή με το λόγο κενών που έχουν επί τόπου. Σαν συνέπειες της ύπαρξης δεσμών συγκόλλησης στις μάργες είναι ότι όταν το υλικό φορτίζεται πέρα από το όριο αντοχής, οι δεσμοί σπάζουν και η στιφρότητα του αλλοιώνεται δραματικά και ότι στο όριο αντοχής το υλικό καταρρέει καθώς ο σκελετός συμπιέζεται, μεγάλες πιέσεις πόρων αναπτύσσονται και η διατμητική αντοχή μειώνεται σημαντικά (Marinos, 1997).

Οι μαργαϊκοί σχηματισμοί διαφέρουν από τους τυπικούς αργιλικούς σχηματισμούς στο γεγονός ότι έχουν δομή, εξαιτίας κυρίως της συγκόλλησης μεταξύ των μεμονωμένων τεμαχιδίων από την απόθεση ανθρακικών κάποια στιγμή στην ιστορία του σχηματισμού. Έτσι, οι γεωτεχνικές τους ιδιότητες δεν ελέγχονται μόνο από τον αρχικό λόγο κενών και την ιστορία φόρτισής τους, καθώς η δομή που παρουσιάζουν συνεισφέρει σημαντικά στην αντοχή και την ακαμψία τους, «ξεθωριάζοντας» την μνήμη τους τόσο με τον αρχικό λόγο κενών, όσο και με την ιστορία φόρτισής τους (*Anagnostopoulos et al, 1991*).

Πολλές φορές έχουν συμβεί αστοχίες έργων σε μάργες, όμως υπάρχουν περιπτώσεις που οι μάργες έχουν συμπεριφερθεί ικανοποιητικά, κυρίως όταν λειτουργούν σαν υλικά <u>θεμελίωσης.</u> Γενικά όμως, χρειάζεται το υλικό να καταταχθεί μέσω εργαστηριακών δοκιμών έτσι ώστε να μπορούν να εντοπισθούν οι «προβληματικές μάργες». Παρόλα αυτά, στην κλίμακα θεμελίωσης ενός έργου, άλλες παράμετροι, όπως η κλίση και η διεύθυνση των ασυνεχειών, μπορεί να παίζουν σοβαρότερο ρόλο από την τιμή της εργαστηριακής αντοχής ενός δείγματος. Ακόμη, όταν τοπικά, παρουσιάζονται διαφορές στις γεωτεχνικές ιδιότητες λόγω αποσάθρωσης του σχηματισμού οι δυσκολίες στη κατάταξη είναι μεγάλες (Chandles, 1969).

Όσον αφορά τη <u>γεωλογική αντιμετώπιση</u> των μαργών, πρόκειται για σχηματισμούς ευαίσθητους στις τοπικές γεωλογικές, υδρολογικές και κλιματικές συνθήκες. Το γεωλογικό καθεστώς περιλαμβάνει την γεωλογική ιστορία του σχηματισμού, δηλαδή το περιβάλλον και τον τρόπο απόθεσης, την τεκτονική καταπόνηση, τους κύκλους απόθεσης και αποσάθρωσης, τη λιθοστρωματογραφική διάταξη και την ορυκτολογική σύσταση και την δομή των επιμέρους ενοτήτων.

Από <u>γεωτεχνικής άποψης</u> επικεντρωνόμαστε κυρίως στη συμπεριφορά του σχηματισμού σαν «βράχο», σαν «έδαφος» ή σαν «μαλακό βράχο – σκληρό έδαφος» και μπορεί να αναφερόμαστε στο χώρο θεμελίωσης ενός συγκεκριμένου έργου.

2.5 Περιπτώσεις μαργαϊκών σχηματισμών στον Ελληνικό χώρο

Στην Ελλάδα , η παρουσία των «ενδιάμεσων» υλικών σχετίζεται με το πλήθος σύγχρονων και ιστορικών τεχνικών έργων και έχει προκαλέσει σημαντικό ενδιαφέρον. Η εξέταση ωστόσο των υλικών αυτών δεν έχει περιοριστεί μόνο στο καθαρά εφαρμοσμένο κομμάτι της , αλλά ακολουθώντας τη σχετική τάση έχει επεκταθεί και στην ερευνητική της μορφή, αποδίδοντας σημαντικά βήματα προς την ευρύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς τους, όπως αυτή εκδηλώνεται στις ιδιαίτερες συνθήκες του Ελληνικού χώρου. Στους Πίνακες Πίνακας 2-2, Πίνακας 2-3, Πίνακας 2-4 δίνονται συγκεντρωτικά τα ορυκτολογικά, φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά, όπως προέκυψαν από επί μέρους εργασίες για τις διάφορες περιπτώσεις μαργαϊκών σχηματισμών του Ελληνικού χώρου.

2.5.1 Μάργα Πειραιά

Χαρακτηριστικό των μαργών είναι η παρουσία μεταβατικών λιθολογικών τύπων, οι οποίοι προκύπτουν κυρίως από την μεταβολή του ποσοστού της άμμου και των ανθρακικών κλασμάτων (ασβεστίτη – δολομίτη). Παράλληλα εκδηλώνονται και δευτερογενείς μεταβολές, που οφείλονται στη δράση παραγόντων εξαλλοίωσης και αποσάθρωσης (Ανδρονόπουλος, 1985). Επίσης, χαρακτηρίζεται από υπερστερεοποίηση, cementation, μικρή δραστικότητα και τοπικά σημαντική δευτερεύουσα διαπερατότητα.

Οι μηχανικές τους ιδιότητες και συμπεριφορά επηρεάζονται από την δευτερογενή, αυξημένη διαγένεση λόγω υπερκείμενων (τεταρτογενείς αποθέσεις), την δράση του υπόγειου νερού, την στρωσιγένεια, το αραιό δίκτυο διαρρήξεων και την παρουσία ενστρώσεων αργιλοϊλύος ή χαλαρής άμμου.

Πιο συγκεκριμένα εκπροσωπεί ως συνολικός όρος μία ακολουθία εναλλασσόμενων στρώσεων ασβεστιτικής μάργας, μαργαϊκού ασβεστόλιθου, ασβεστιτικού ή/και μαργαϊκού ψαμμίτη, κροκαλοπαγούς με ενστρώσεις ιλυόλιθου, αργιλοϊλύος, κιμωλίας, αργίλου κλπ (Κωστόπουλος, 1985). Οι μαργαϊκοί ψαμμίτες και οι μάργες χαρακτηρίζονται από διαφορές που προέκυψαν κατά την ιζηματογένεση και οφείλονται στην επικράτηση, κατά χρονικά διαστήματα των περισσότερο ή λιγότερο λεπτομερών υλικών. Αντιθέτως, οι μάργες και οι μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι χαρακτηρίζονται από διαφορές που προέκυψαν κατά την αποσάθρωση και οφείλονται στο εναπομείναν κατά την διάλυση ανθρακικό ασβέστιο. Το ποσοστό του ανθρακικού ασβεστίου παρατηρήθηκε ότι αυξάνεται με το βάθος, κυρίως στα ανώτερα 15m από την επιφάνεια, ενώ ο βαθμός συγκόλλησης καθώς και ο βαθμός διάλυσης λόγω αποσάθρωσης ελέγχουν την συμπεριφορά των σχηματισμών αυτών. Στους υψομετρικά ανώτερους ορίζοντες όπου τοποθετείται, η ουσιαστική ζώνη αποσάθρωσης, το υλικό παρουσιάζεται γεωτεχνικά ως ενδιάμεσο μεταξύ «εδάφους» και «βράχου», με μεταβαλλόμενο και τοπικά εξαρτώμενο βαθμό συγκόλλησης και υπερστερεοποίησης.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η μάργα του Πειραιά θα μπορούσε να αντιμετωπίζεται γεωτεχνικά ως «μαλακός βράχος», δηλαδή ως υλικό του οποίου η συμπεριφορά δεν ελέγχεται ουσιαστικά από την δρώσα τάση και με αυξανόμενη την σημασία των ασυνεχειών, για μια «τιμή σύμβασης» της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη της τάξης των 4MPa.

2.5.2 Μάργα Κορίνθου

Οι Kavvadas and Anagnostopoulos, 1993 και παλαιότερα οι Anagnostopoulos et al, 1991, εξετάζοντας τις μηχανικές ιδιότητες και την απόκριση σε τριαξονική φόρτιση των μαργών της Κορίνθου από την περιοχή της Διώρυγας συμπεραίνουν πως η δομή τους και τα μηχανικά χαρακτηριστικά σχετίζονται άμεσα με την συνιζηματογενή απόθεση του ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο αποτελεί συνδετική ύλη.

Σύμφωνα με τους Αναγνωστόπουλο et al, 1991, πρόκειται για μια ασβεστιτική κυανότεφρη μάργα της οποίας το υλικό έχει ισχυρούς δεσμούς στην δομή του, που οφείλονται στο cementation μεταξύ των ανεξάρτητων σωματιδίων, λόγω της απόθεσης μεγάλης ποσότητας ανθρακικού υλικού (73-77%) κατά τη γέννηση του. Σαν συνέπεια τον παραπάνω, παρουσιάζει υψηλή στιφρότητα και μεγάλη συνοχή (c= 300kPa, φ= 33°) γεγονός που δικαιολογεί την ευστάθεια των υψηλών πρανών σε πολύ μεγάλη κλίση (75°, σε ύψος 75m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας).

Οι Marinos et al, 2001, αναφέρουν πως λόγω ακριβώς της αυξημένης συνοχής και του ιδιαίτερα στιφρού χαρακτήρα των μαργών αυτών τα φαινόμενα αστοχίας είναι σημαντικά λιγότερα από τα αναμενόμενα στα πρανή της Διώρυγας, ειδικά αν συνυπολογιστεί το δυσμενές γεγονός ότι βρίσκονται σε μια ιδιαίτερα σεισμογενή περιοχή.

2.5.3 Μάργα Ηρακλείου

Σύμφωνα με τον Τσιαμπάο, 1990, η πόλη του Ηρακλείου στη πλειοψηφία δομείται σε θαλάσσιους μαργαϊκούς σχηματισμούς, οι οποίοι αποτελούνται από εναλλαγές ομογενών και μη ομογενών μαργών. Εξετάζοντας τους τεχνικογεωλογικούς χαρακτήρες των μαργών ταξινόμησε τους σχηματισμούς αυτούς με βάση το περιεχόμενο ποσοστό σε ανθρακικό ασβέστιο σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ομάδα που αποτελείται από τα ανώτερα μέλη λευκοκίτρινων – καστανοκίτρινων μαργών (ασβεστιτικές μάργες) με ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 35-85% και στη δεύτερη που αποτελείται από τα κατώτερα τεφρά με τεφροκύανα μέλη (αργιλικές μάργες), με ποσοστό ανθρακικού ασβεστίου 26-35%. Χαρακτηριστικό και των δύο οριζόντων είναι η ύπαρξη μοντμοριλλονίτη σε ποσοστά έως 25%, λόγω του οποίου χαρακτηρίζονται ως διογκούμενα εδάφη. Σημειώνεται ότι η λευκοκίτρινη μάργα έχει μικρότερη τάση διόγκωσης.

Παρουσιάζει μεγάλες τιμές διατμητικής αντοχής και στους δύο ορίζοντες, λόγω της ορυκτολογικής της σύστασης (μεγάλο ποσοστό χαλαζία και μικριτικού ασβεστολιθικού υλικού) και στην παρουσία κελυφών μικροαπολιθωμάτων.

2.5.4 Μάργα στο λιγνιτωρυχείο Πτολεμαΐδας

Η γεωλογία της περιοχής χαρακτηρίζεται από την παρουσία των Νεογενών ιζημάτων που αποτελούνται από αμμοαργιλώδεις και μαργαϊκούς σχηματισμούς σε εναλλαγές με ορίζοντες λιγνίτη. Στην περιοχή του λιγνιτωρυχείου εντοπίζονται τρείς μαργαϊκοί ορίζοντες.

Χαρακτηριστικό των συγκεκριμένων μαργών είναι οι υψηλές τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων, που μπορούν να αποδοθούν στη μεγάλη περιεκτικότητα σε ασβεστιτικό υλικό (89-97%).

Μάργα λιγνιτωρυχείου Προσήλιου Ν. Κοζάνης

Σύμφωνα με τον *Μαρίνο, 2012,* η μάργα στην περιοχή του Προσήλιου συνίσταται από λιμναίες νεογενείς αποθέσεις και υπόκεινται Τεταρτογενών αποθέσεων. Η σύστασή της είναι ιλυώδης και αμμώδης ενώ μέσα στη μάργα παρεμβάλλονται στρώματα λιγνίτη (ξυλίτη).

Στα ανώτερα στρώματα παρουσιάζεται με εναλλαγές καφέ-κίτρινη συνεκτική, ιλυώδης μάργα και αμμώδης μάργα (c= 60kPa, φ= 24°, γ= 20kN/m³). Σε μεγαλύτερο βάθος (5-25m) μεταπίπτει σε γκριζοπράσινη έως γκρίζα συνεκτική μάργα (c= 150kPa, φ= 35°, γ= 20 kN/m³). Το κοίτασμα λιγνίτη βρίσκεται σε βάθη 30 – 70m.

Μεταβατικά, απαντώνται λεπτά στρώματα ανθρακομιγούς μάργας (c= 50kPa, φ= 35°, γ= 20 kN/m³) και κιτρινωπής ιλυώδους μάργας.

2.5.5 Μάργα Αχαΐας

Τα Πλειο-πλειστοκαινικά λεπτομερή ιζήματα Αχαΐας διαχωρίστηκαν σε δύο διακριτές και στρωματογραφικά επάλληλες γεωτεχνικές ενότητες την Ανώτερη και την Κατώτερη γεωτεχνική ενότητα (Κούκη, 2012).

Χαρακτηριστικό του σχηματισμού αυτού είναι ότι έχει έντονη συνδετική ύλη από άργιλο και ασβεστίτη, η οποία περιβάλλει τους συνήθως μικρού μεγέθους κόκκους των σύνδρομων ορυκτών (Koukis and Rozos, 1993). Ο τύπος της αργίλου και των ορυκτών, καθώς και η διάταξη στον σκελετό των υλικών φαίνεται να επηρεάζουν τα φυσικά χαρακτηριστικά αυτών, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται τόσο σαν πολύ στιφρά έως σκληρά εδάφη, όσο και σαν ασθενείς έως μέτρια σκληροί βράχοι. Ειδικότερα, αυτά της Ανώτερης ενότητας παρουσιάζουν τιμές ανθρακικού ασβεστίου από 4 – 21,5% περίπου και με βάση αυτές

χαρακτηρίζονται ως άργιλοι, μαργαϊκοί άργιλοι και αργιλομάργες, ενώ της Κατώτερης ενότητας παρουσιάζουν τιμές από 6 – 38% και χαρακτηρίζονται ως μαργαϊκές άργιλοι, αργιλομάργες, αργιλικές μάργες και μάργες.

Όσον αφορά τις γεωτεχνικές ιδιότητες των μαργών της Αχαΐας παρατηρούνται τα εξής (Χριστοδουλοπούλου, 2006):

- Απαντώνται κυρίως αργιλικές μάργες, αργιλομάργες, μάργες και μαργαϊκές άργιλοι.
 Η περιεκτικότητα σε ανθρακικό ασβέστιο είναι σχετικά μικρή για τέτοιου είδους σχηματισμούς (ειδικότερα συγκρινόμενη με τις γειτονικές μάργες της Κορινθίας κάτι που αντανακλά ένα πιο ήρεμο περιβάλλον απόθεσης με μεγαλύτερη ανθρακική τροφοδοσία).
- Τα ιζήματα, στη φυσική τους κατάσταση, περιέχουν σχετικά μικρό ποσοστό υγρασίας και έχουν χαμηλούς δείκτες υδαρότητας και πλαστικότητας (Ρόζος, 1991).
- Το φαινόμενο βάρος είναι συνήθως 17,5 έως 20kN/m³, ο λόγος κενών είναι κυρίως της τάξης του 0,45 ενώ, το πορώδες περίπου 30%.
- Όσον αφορά την κοκκομετρική διαβάθμιση, επικρατεί το κλάσμα της ιλύος, συχνά με συμμετοχή αξιοσημείωτου κλάσματος άμμου.
- Λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές ενεργότητας τα ιζήματα της περιοχής χαρακτηρίζονται σαν μη ενεργά (A<0,75).

Περιοχή	Ορυκτολογική σύσταση	Κοκκομετρία	Χαρακτηρισμός
Μάργα Αχαΐας – άνω ζώνη	CaCo ₃ : 4-21.5%	Άργιλος: 4-65% Ιλύς: 33-88% Άμμος: 0-48% Χαλίκια: 0-8%	Άργιλοι, μαργαϊκοί άργιλοι, αργιλομάργες
Μάργα Αχαΐας – κάτω ζώνη	CaCo ₃ : 6-38%	Άργιλος: 4-55% Ιλύς: 10-87% Άμμος: 0-41% Χαλίκια: 0-7%	Αργιλόμαργες, αργιλικές μάργες, μάργες
Μάργα Ηρακλείου (κυανότεφρη)	CaCo₃ : 28-82% Μοντμοριλλονίτης, ιλύτης, χλωρίτης, χαλαζίας, μικριτικός ασβεστόλιθος	Άργιλος: 4-38% Ιλύς: 65-90% Άμμος: 4-14%	Ασβεστολιθικές μάργες
Μάργα Ηρακλείου (λευκοκίτρινη έως καστανοκίτρινη)	CaCo₃ : 15-26% Μοντμοριλλονίτης, ιλύτης, χλωρίτης, χαλαζίας, μικριτικός ασβεστόλιθος	Άργιλος: 2-34% Ιλύς: 45-62% Άμμος: 2-34%	Αργιλικές μάργες

		Άργιλος: 13-24%		
Μάργα Κορίνθου (μπλε – γκρι)	CaCo ₃ : 73-77%	Ιλύς: 75-84%	Δαθοστούνος μάρμα	
	Ιλύτης, χλωρίτης, μοντμοριλλονίτης	Άμμος: <12%	Αυρευτουχος μαργα	
		Άργιλος: 12%		
Μάργα Πτολεμαΐδας (1 ^{°ς} ορίζοντας)	CaCo ₃ : 97 %	Ι λύς: 73%	Κιμωλιώδης ή ασβεστούνος μάρνα	
		Άμμος: 15%	κιμωλιώσης η ασρεστοσχος μαργα	
	CaCo. · 89%	Άργιλος: 30-83%		
Μάργα Πτολεμαΐδας (2 ^{ος} ορίζοντας)		Ιλύς: 15-60%	Κιμωλιώδης ή ασβεστούχος μάργα	
Μάργα Πτολεμαΐδας (3 ^{ος} ορίζοντας)		Άμμος: 2-10%		
	CaCo · 95 %	Άργιλος: 25-65%		
		Ιλύς: 34-68%	Κιμωλιώδης ή ασβεστούχος μάργα	
		Άμμος: 17-60%		
Μάργα Πειραιά	CaCo ₃ : 60-70%	Άργιλος: 7-18%		
	MgCaCO₃: 3-20% Ιλλίτης, χλωρίτης, μοντμοριλλονίτης, χαλαζίας	Ιλύς: 34-68%	Αρνιλική – ασβεστολιθική μάρνα	
		Άμμος: 17-60%	Firmul arter and worked	
		Pres 9:		

Πίνακας 2-2 Στοιχεία για την ορυκτολογική σύσταση, την ονοματολογία και τη κοκκομετρία από μαργαϊκούς σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο.

Περιοχή	Όρια Atterberg		- /	Ξηρό φαινόμενο	Ειδικό βάρος	Λόγος κενών	Πορώδες	Φυσική	
	LL(%)	PL(%)	PI(%)	Ενεργότητα	βάρος (kN/m³)	(Gs)	(e ₀)	(n%)	υγρασια (w%)
Μάργα Αχαΐας – άνω ζώνη	20-65	4-38	5-40	0.13-1.64	14.50-19.70	2.57-2.72	0.344-0.925	21.5-50.6	2-39
Μάργα Αχαΐας – κάτω ζώνη	19-66	12-36	3-45	0.19-1.23	14.30-20.50	2.40-2.72	0.39-0.865	22.3-53.3	10-35
Μάργα Ηρακλείου (κυανότεφρη)	33.3-100.6	72.4-84.3	9.8-56.6	1.0-9.08	8.0-11.1	1.98-2.29	0.608-1.85		38-78
Μάργα Ηρακλείου (λευκοκίτρινη έως καστανοκίτρινη)	24.2-59.0	28.1-35.8	3.5-36.0	0.35-1.27	13.1-15.4	2.30-2.68	0.73-1.11		25-47
Μάργα Πτολεμαΐδας (1 ^{ος} ορίζοντας)	73.49-70.15	49.31-56.17	24.19-13.98		9.28-10.39	2.47-2.60	1.69	63	36.72-43.15
Μάργα Πτολεμαΐδας (2 ^{°ς} ορίζοντας)	35.81-59.32	45.92-69.71	13.40-16.10		9.49-10.28	2.54-2.58	1.43-1.62	58-62	44.02-63.20
Μάργα Πτολεμαΐδας (3 ^{°ς} ορίζοντας)	55.60-62.47	31.72-52.90	7.81-23.88		9.58-12.19	2.55-2.58	1.07-1.64	52-62	36.97-47.67
Μάργα Πειραιά	11-82	8-51	1-55		14.00-23.8	2.6-3.1	6.5-48		6.5-48

Πίνακας 2-3 Στοιχεία για τα φυσικά χαρακτηριστικά από μαργαϊκούς σχηματισμούς στον Ελληνικό χώρο.

Περιοχή	Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη (q _u , kPa)	Μέτρο Ελαστικότητας (Ε, MPa)	Συντελεστής συμπιεστότητας (Cc)	Παραμένουσα γωνία εσωτερικής τριβής (φ', °)	Παραμένουσα συνοχή (c', kPa)	Συνοχή (c, kPa)	Γωνία εσωτερικής τριβής (φ, °)
Μάργα Αχαΐας – άνω ζώνη	26-1010	180	0.057-0.382	21.0	55.33	14-290	7-33
Μάργα Αχαΐας – κάτω ζώνη	35-1700	200	0.043-0.268	27.62	40.46	65-255	27-39
Μάργα Ηρακλείου (κυανότεφρη)	21-1200		0.091-0.326	30-37		47-150	21-32
Μάργα Ηρακλείου (λευκοκίτρινη έως καστανοκίτρινη)	63-1106		0.083-0.250	26-33		6-75	27-41
Μάργα Κορίνθου (μπλε – γκρι)				26.5		300	33.3
Μάργα Πτολεμαΐδας (1 ^{ος} ορίζοντας)	38	0.085-0.326	0.067-0.326	22.10-24.13		217	29
Μάργα Πτολεμαΐδας (2 ^{ος} ορίζοντας)	22-40	0.081-0.215	0.067-0.326	22.29-24.42		102	37
Μάργα Πτολεμαΐδας (3 ^{ος} ορίζοντας)	25-39	0.067-0.217	0.067-0.326	22.26-23.55		50	23
Μάργα Πειραιά	20-2800					100-300	10-33

Πίνακας 2-4 Στοιχεία για τις μηχανικές ιδιότητες από μαργαϊκούς σχηματισμούς, στον Ελληνικό χώρο.
2.6 Επί τόπου δοκιμές

Οι επί τόπου δοκιμές συνδέονται πάντα με δειγματοληψία από γεωτρήσεις, έτσι ώστε να επιβεβαιώνονται οι συλλεγόμενες πληροφορίες για τη στρωματογραφία κυρίως του υπεδάφους, ενώ παράλληλα να λαμβάνονται στοιχεία τα οποία είτε με εμπειρικούς συντελεστές, είτε με κατάλληλη αξιολόγηση, να παρέχουν γεωτεχνικές παραμέτρους ή άμεσα δεδομένα για τον σχεδιασμό. Τα ανωτέρω στοιχεία θεωρούνται ως χαρακτηριστικά μετρούμενα στοιχεία, από τα οποία τελικά προκύπτουν οι χαρακτηριστικές τιμές σχεδιασμού. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δοκιμές των οποίων τα διαθέσιμα στοιχεία αξιολογήθηκαν για την εργασία αυτή.

2.6.1 Δοκιμή Πρότυπης Διείσδυσης (Standard Penetration Test - SPT)

Αναπτύχθηκε κυρίως για την εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων κοκκώδων εδαφών και στη συνέχεια η εφαρμογή της επεκτάθηκε τόσο σε «μικτά» εδαφικά υλικά, όσο και σε περιπτώσεις στιφρών έως σκληρών αργίλων.

Χρησιμοποιείται ευρέως για ποιοτική ένδειξη των επί τόπου ιδιοτήτων των εδαφών και στον άμεσο προσδιορισμό της σχετικής πυκνότητας, της αντίστασης των σχηματισμών στην διείσδυση ενώ έμμεσα μπορούν να υπολογιστούν παράμετροι διατμητικής αντοχής και συμπιεστότητας με την χρήση εμπειρικών σχέσεων, να καθοριστεί η επιτρεπόμενη φέρουσα ικανότητα και να υπολογιστούν οι καθιζήσεις των κατασκευών. Στον Πίνακας 2-5 παρουσιάζεται ενδεικτικά ο διαχωρισμός των εδαφών βάσει του αριθμού των κρούσεων Nspt, και η σχέση του αναλόγως της κοκκομετρικής διαβάθμισης του εδάφους.

Η δοκιμή εκτελείται κατά την διάρκεια ανόρυξης μιας γεώτρησης, με χρήση ειδικού μηχανισμού από γεωτρύπανο. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: προσδιορίζεται ο αριθμός κρούσεων (N) για προχώρηση του ειδικού δειγματολήπτη Terzaghi με πτώση αντίβαρου 63,5kg από ύψος 76,2cm, κατά 45cm (σε τρία διαδοχικά τμήματα των 15cm). Ο αριθμός κρούσεων για τη διείσδυση του δειγματολήπτη στο πρώτο τμήμα των 15cm απορρίπτεται γιατί θεωρείται διαταραγμένο από την διαδικασία της διάτρησης υλικό ή πληρωμένο με υλικά που έχουν καταπέσει από το ασωλήνωτο τμήμα της γεώτρησης. Ο χαρακτηρισμός των δειγμάτων γίνεται βίαση της προσχώρησης στα δύο υπόλοιπα τμήματα των 15cm των 15cm (σύνολο 30cm),όπως δίνεται βιβλιογραφικά. Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζεται ενδεικτική εικόνα των απαιτούμενων για την εκτέλεση της δοκιμής.



Εικόνα 2.2 Σχηματική απεικόνιση της επί τόπου δοκιμής SPT, από Αναγνωστόπουλος 2014.

Χαρακτηρισμός Αμμωδών Εδαφικών Σχηματισμών		Χαρακτηρισμός Αργιλικών Εδαφικών Σχηματισμών		
Αριθμός κρούσεων (N)	Χαρακτηρισμός Άμμου	Αριθμός κρούσεων (N)	Χαρακτηρισμός Αργίλου	
0 – 4	Πολύ Χαλαρό	0 – 2	Πολύ Μαλακή	
4 – 10	Χαλαρό	2 - 4	Μαλακή	
10 - 30	Μέτρια Πυκνό	4 - 8	Μέτρια Στιφρή	
30 – 50	Πυκνό	8 - 15	Στιφρή	
>50	Πολύ Πυκνό	15 - 30	Πολύ Στιφρή	
		>30	Σκληρή	

Πίνακας 2-5 Χαρακτηρισμός Εδαφικών σχηματισμών με βάσει των αριθμών κρούσεων Nspt.

2.6.2 Δοκιμές Υδροπερατότητας - Δοκιμές Εισπιέσεων

Η περατότητα, μέτρο της ταχύτητας ροής του νερού διαμέσου εδαφικού ή βραχώδους σχηματισμού, προσδιορίζεται επιτόπου με την μορφή του συντελεστή διαπερατότητας k (m/s ή cm/s).

• Δοκιμή μεταβλητού φορτίου (Maag)

Κατά τη δοκιμή αυτή, γεμίζεται με νερό η σωληνωμένη γεώτρηση δημιουργώντας στάθμη h₁ (Εικόνα 2.3). Έπειτα, χρονομετρείται το διάστημα μέσα στο οποίο η στάθμη θα κατέβει σε h₂. Μετράται, η πτώση (συνήθως) ή η άνοδος της στάθμης του νερού της γεώτρησης με το χρόνο. <u>Η δοκιμή έχει καλύτερη εφαρμογή σε λεπτόκοκκα εδάφη (ιλύες, άργιλοι)</u>.



Εικόνα 2.3 Τυπική διάταξη δοκιμής μεταβλητού φορτίου (Τσιαμπάος, 2013).

Η τιμή της περατότητας (k) υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$K = [A/(F(t_2-t_1))]In(H_1/H_2)$$

Όπου:

Α: διατομή στήλης νερού στο σωλήνα επένδυσης (d διάμετρος εσωτερική, όπου γίνονται οι μετρήσεις της στάθμης, οπότε A=π*d²/4). Για κεκλιμένες γεωτρήσεις η διατομή είναι ελλειπτική και υπολογίζεται ανάλογα.

 H_1 και H_2 : οι στάθμες του νερού στη γεώτρηση σε αντίστοιχους χρόνους t_1 και t_2 .

Η στάθμη του νερού μετριέται από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα, όταν το δοκιμαζόμενο τμήμα είναι κάτω από αυτήν ή από το μέσον του μήκους του τμήματος αυτού, όταν η στάθμη του Υ.Ο. είναι βαθιά.

• Δοκιμή σταθερού φορτίου (Lefranc)

Η δοκιμή χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της υδροπερατότητας σε κοκκώδη εδάφη (άμμοι, χαλίκια). Η γεώτρηση είναι σωληνωμένη (Εικόνα 2.4), ώστε να συγκρατούνται τα τοιχώματά της, καθαρά από υλικά διάτρησης και γεμάτη καθαρό νερό. Κατά την εκτέλεση της δοκιμής προστίθεται νερό, έτσι ώστε η πίεση στον πυθμένα της να παραμένει σταθερή. Όταν η πτώση στάθμης του νερού που μετριέται μέσα στη γεώτρηση είναι μικρή (της τάξης του 1cm/min) τότε εφαρμόζεται πρόσθετη πίεση στο νερό που διοχετεύεται με τη βοήθεια παρεμβύσματος.



Εικόνα 2.4 Τυπική διάταξη δοκιμής σταθερού φορτίου (Τσιαμπάος, 2013).

Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας δίνεται από τη σχέση:

K = Q/(F*Hc)

Όπου:

Q: σταθερή παροχή νερού (m³/s ή cm³/s)

Hc: στάθμη νερού (m ή cm) που διατηρείται σταθερή, πάνω από τη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα (όταν η δοκιμή είναι κάτω από αυτή) ή από το μέσον του μήκους του εισπιεζόμενου τμήματος (όταν η στάθμη του Υ.Ο. είναι βαθιά).

F: συντελεστής θύλακα, ο οποίος δίνεται από σχετικούς πίνακες.

2.7 Προσδιορισμός φυσικών χαρακτηριστικών

2.7.1 Περιεχόμενη υγρασία

Το δείγμα που λαμβάνεται για τη δοκιμή μπορεί να είναι διαταραγμένο ή όχι και αντιπροσωπευτικό, ενώ η ποσότητα του σχετικά ανάλογη με το μέγεθος των κόκκων. Τοποθετείται σε κάψα αριθμημένη η οποία προηγουμένως έχει ζυγιστεί (γνωστού βάρους) και στη συνέχεια ζυγίζεται η κάψα μαζί με το υλικό πριν την έναρξη της δοκιμή, έτσι ώστε να αποφευχθούν απώλειες λόγω επιφανειακής ξήρανσης. Μετά το ζύγισμα το δείγμα ξηραίνεται στο φούρνο σε θερμοκρασία 105 - 110°C, για 12 έως 24 ώρες, συνήθως μέχρι να επιτευχθεί σταθερό βάρος. Για υλικά που περιέχουν οργανικά η ξήρανση γίνεται μέγιστη στους 60°C. Μετά το δοκίμιο ζυγίζεται με την κάψα αφού ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Από την παρακάτω σχέση, υπολογίζεται τελικά το περιεχόμενο ποσοστό υγρασίας που υπάρχει μέσα στο δείγμα:

w= Mw/Ms*100%

όπου:

w: το ποσοστό υγρασίας

Mw, Ms: το βάρος του νερού που υπάρχει στους πόρους και το βάρος των στερεών κόκκων του εδάφους αντίστοιχα.

2.7.2 Προσδιορισμός φαινόμενου βάρους συνεκτικών υλικών

Τα δείγματα που χρησιμοποιούνται πρέπει να είναι αδιατάρακτα, σε μορφή κανονικού σχήματος ή ακανόνιστη μορφή και βάρος περίπου 100gr. Στη περίπτωση που ενδιαφέρει το ξηρό φαινόμενο βάρος, το δείγμα ξηραίνεται από πριν στους 105 - 110°C, εφόσον δεν περιέχει οργανικά. Στη συνέχεια ζυγίζεται με ακρίβεια 0,01 του γραμμαρίου και υπολογίζεται ο όγκος του γεωμετρικά στη περίπτωση που τα σχήμα είναι κανονικά.

Σε δείγματα με ακανόνιστη μορφή ο όγκος υπολογίζεται με τη μέθοδο της ανάρτησης του δείγματος. Αφού το δείγμα ζυγιστεί, με προσοχή επικαλύπτεται με ένα όσο το δυνατόν λεπτό στρώμα λειωμένης παραφίνης που όμως καλύπτει όλη την επιφάνειά του. Όταν η παραφίνη στερεοποιηθεί το παραφινωμένο δείγμα ζυγίζεται ξανά με ακρίβεια 0,01gr. Τοποθετείται στο ζυγό δοχείο με νερό και ο ζυγός μηδενίζεται. Στη συνέχεια το παραφινωμένο δείγμα βυθίζεται στο νερό και η ένδειξη του ζυγού καταγράφεται.

Από την ένδειξη του ζυγού γνωρίζουμε το βάρος του νερού που εκτόπισε το παραφινωμένο δείγμα κατά τη βύθισή του μέσα σε αυτό. Συνεπώς και καθώς η πυκνότητα του νερού είναι ίση με 1gr/cm³ γνωρίζουμε τον όγκο του παραφινωμένου δείγματος, δεδομένου ότι ισούται με τον όγκο του νερού που εκτοπίστηκε. Από τη διαφορά, επιπλέον, των βαρών του δείγματος πριν και μετά τη παραφίνωση και από το ειδικό βάρος της παραφίνης (0,89gr/cm³) είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο όγκο του ακανόνιστου δείγματος. Η διαίρεση του βάρους του δείγματος με τον όγκο του παρέχει τη τιμή του φαινόμενου βάρους.

2.7.3 Προσδιορισμός ειδικού βάρους λεπτόκοκκου υλικού

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου αποσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4°C. Το ειδικό βάρος ενός εδάφους συνήθως χρησιμοποιείται για το συσχετισμό του βάρους προς τον όγκο του.

Κατά την εκτέλεση της δοκιμής, αρχικά, το πυκνόμετρο ζυγίζεται και καταγράφεται το βάρος του. Στη συνέχεια το πυκνόμετρο γεμίζεται με αποσταγμένο νερό σε θερμοκρασία δωματίου. Προσδιορίζεται κατόπιν το βάρος (Wa) και καταγράφεται. Στη συνέχεια βυθίζεται ένα θερμόμετρο και προσδιορίζεται η θερμοκρασία του (T₁) με προσέγγιση ακέραιου βαθμού. Από το βάρος Wα που προσδιορίζεται στη θερμοκρασία Τ₁ συντάσσεται πίνακας διαφόρων βαρών, Wα που αντιστοιχούν σε σειρά θερμοκρασιών που είναι πιθανό να επικρατούν κατά το προσδιορισμό των βαρών Wβ.

Το έδαφος που θα χρησιμοποιηθεί για τη δοκιμή του ειδικού βάρους μπορεί να περιέχει φυσική υγρασία ή να έχει ξηραθεί σε κλίβανο. Το βάρος του δείγματος με βάση αυτό που προκύπτει από την ξήρανση σε κλίβανο πρέπει να είναι τουλάχιστον 25gr όταν χρησιμοποιείται ογκομετρική φιάλη και 10gr όταν χρησιμοποιείται λήκυθος.

Το δείγμα τοποθετείται μέσα στο πυκνόμετρο με προσοχή, ώστε να μην υπάρχει απώλεια εδάφους στην περίπτωση που το δείγμα έχει ζυγιστεί. Προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρις ότου γεμίσει η ογκομετρική φιάλη περίπου κατά ¾ ή όταν πρόκειται για λήκυθος περίπου κατά μισό. Ο αέρας που έχει τυχόν παγιδευτεί απομακρύνεται με εφαρμογή στο περιεχόμενο μερικού κενού ή με ελαφρό βρασμό για τουλάχιστον 10min. Το πυκνόμετρο στη συνέχεια γεμίζεται με αποσταγμένο νερό, καθαρίζεται και ξηραίνεται εξωτερικά με τη βοήθεια καθαρού στεγνού υφάσματος. Λαμβάνεται το βάρος Wβ του πυκνόμετρου με το περιεχόμενο του και η θερμοκρασία Τ_χ του περιεχόμενου σε °C.

Το ειδικό βάρος εδάφους, ως προς νερό θερμοκρασίας Τ_χ υπολογίζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

Ειδικό βάρος,
$$T\chi/T\chi^{\circ}C = W_{o}/[W_{o}+(W_{\alpha}-W_{\beta})]$$

Όπου:

 \mathbf{W}_{o} : το βάρος του ξηρού σε κλίβανο δείγματος εδάφους σε gr.

 \bm{W}_{α} : το βάρος του πυκνόμετρου γεμάτου με νερό θερμοκρασίας, \bm{T}_{χ} σε gr.

 \mathbf{W}_{β} : το βάρος του πυκνόμετρου γεμάτο με νερό και έδαφος σε θερμοκρασία T_{χ} σε gr.

 ${\bf T}_{{\bf X}}$ = η θερμοκρασία του περιεχόμενου του πυκνόμετρου κατά τη μέτρηση του βάρους W_β σε °C.

Οι τιμές του ειδικού βάρους αναφέρονται ως προς νερό 20°C εκτός εάν υπάρχει διαφορετικά απαίτηση. Η τιμή ως προς νερό 20°C υπολογίζεται από την τιμή για το νερό στη θερμοκρασία Τ_x που μετρήθηκε με τον ακόλουθο τρόπο:

Ειδικό βάρος $T_{\chi}/20^{\circ}$ C= K (ειδικό βάρος) T_{χ}/T_{χ} °C

Όπου:

Κ: αριθμός που προκύπτει από τη διαίρεση της σχετικής πυκνότητας του νερού θερμοκρασίας Τ_χ προς τη σχετική πυκνότητα του νερού στους °C. Οι τιμές προκύπτουν από σχετικούς πίνακες.

Για την αναφορά της τιμής του ειδικού βάρους ως προς νερό στους 4°C, η τιμή αυτή μπορεί να υπολογισθεί μέσω πολλαπλασιασμού της τιμής του ειδικού βάρους σε T_{χ} επί τη σχετική

πυκνότητα του νερού σε Τ_χ. Όταν οποιοδήποτε τμήμα του αρχικού δείγματος του εδάφους έχει απομακρυνθεί κατά τη προπαρασκευή του προς δοκιμή δείγματος, το τμήμα όπου έγινε η δοκιμή είναι αναγκαίο να αναφέρεται.

Η δοκιμή εκτελείται σε δύο δοκίμια από το ίδιο δείγμα. Τα αποτελέσματα εκφράζονται με ακρίβεια 0,01. Στη περίπτωση που τα αποτελέσματα διαφέρουν μεταξύ τους περισσότερο από 0,03 η δοκιμή επαναλαμβάνεται.

2.7.4 Προσδιορισμός Ορίου Υδαρότητας με τη συσκευή Casagrande (AASHTO T89/60 – ASTM D 4318 – 83)

Για την εκτέλεση της δοκιμή λαμβάνεται διαταραγμένο δείγμα βάρους 100gr περίπου, έπειτα από καλή ανάμειξη, από το κλάσμα υλικού το οποίο διέρχεται από το κόσκινο No40 (0,425mm) και έχει ξεραθεί στον αέρα ή σε κλίβανο στους 60°C. Τοποθετείται στη συνέχεια σε κάψα και προστίθεται σταδιακά αποσταγμένο νερό. Ανακατεύεται πολύ καλά έτσι ώστε να προκύψει μια εδαφική παχύρευστη μάζα.

Η κάψα με την εδαφική μάζα τοποθετείται στον υγραντήρα 30min τουλάχιστον για ωρίμανση. Κατόπιν λαμβάνεται μέρος της εδαφικής μάζας και γεμίζεται το κύπελλο της συσκευής (Εικόνα 2.5), μετά δε την επιπέδωση, το μέγιστο πάχος του πλακούντα που διαμορφώθηκε πρέπει να είναι περίπου 1cm. Ο πλακούντας διαιρείται με σταθερή διαδρομή του οργάνου χάραξης κατά μήκος της διαμέτρους που διέρχεται από το μέσο του στηρίγματος του κυπέλλου έτσι ώστε να σχηματιστεί καθαρή και απότομη χαραγή κατάλληλων διαστάσεων.

Με ειδικό μηχανισμό υψώνεται και αφήνεται το κύπελλο να πέσει με χτύπο από ύψος 1cm. Σαν όριο υδαρότητας, ορίζεται το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας που απαιτείται για να κλείσει η χαραγή στο μέσο του πυθμένα της κατά 12,7mm μετά από 25 κτύπους. Εκτελούνται τουλάχιστον 3 δοκιμές στο ίδιο δείγμα με διαφορετικές περιεκτικότητες σε υγρασία, με αποδεκτό αριθμό κτύπων από 15 έως 35.

Το ποσοστό της περιεχόμενης υγρασίας και ο αντίστοιχος αριθμός κτύπων απεικονίζεται σε ημιλογαριθμικό διάγραμμα, με τα ποσοστά υγρασίας σε γραμμική κλίμακα (τετμημένη) και τον αριθμό των κτύπων στην ημιλογαριθμική. Τα σημεία που προκύπτουν βρίσκονται κατά μεγάλη προσέγγιση πάνω σε ευθεία γραμμή, η οποία ονομάζεται καμπύλη ροής. Η υγρασία που αντιστοιχεί στους 25 κτύπους μέσω της καμπύλης ροής αντιστοιχεί στο όριο υδαρότητας.

Πολλές φορές εφαρμόζεται η μέθοδος του «ενός σημείου» (ASTM D 4318) στην οποία εκτελείται μόνο μία δοκιμή με αποδεκτό αριθμό κτύπων από 20 έως 30 ενώ το όριο υδαρότητας υπολογίζεται από την παρακάτω εμπειρική σχέση:

 $LL = W_N (N/25)^{0.121}$

Όπου:

\mathbf{W}_{N} : η περιεχόμενη υγρασία, σε %

Ν: ο αριθμός κτύπων



Εικόνα 2.5 Συσκευή Cassagrande

2.7.5 Προσδιορισμός Ορίου Πλαστικότητας (AASHTO T 90/61 - ASTM D 4318 -83)

Για τον προσδιορισμό του ορίου πλαστικότητας PL ή Wp, λαμβάνεται ποσότητα εδάφους 20gr περίπου από το ίδιο δείγμα όπως παραπάνω (αεροξηραμένο), τοποθετείται μέσα σε κάψα από πορσελάνη και αναμιγνύεται καλά με αποσταγμένο νερό μέχρις ότου η μάζα είναι πλαστική ώστε να μορφώνεται εύκολα. Το δείγμα παραμένει σε υγραντήρα για ωρίμανση τουλάχιστον 30min, ενώ για τη δοκιμή λαμβάνεται ένα μέρος του δείγματος βάρους περίπου 8gr.

Στη συνέχεια το δείγμα συμπιέζεται και μορφώνεται σε μάζα ελλειψοειδούς σχήματος η οποία κυλινδρώνεται μεταξύ των δακτύλων και μιας σμυριδωμένης γυάλινης πλάκας ή χαρτιού που βρίσκεται σε ομαλή οριζόντια επιφάνεια, με την απαιτούμενη πίεση ώστε να σχηματίσει ραβδίσκο ομοιόμορφης διαμέτρου σε όλο το μήκος του. Όταν η διάμετρος του ραβδίσκου γίνει περίπου 3mm χωρίς να ρωγματώνεται, θραύεται σε έξι με οκτώ τεμάχια τα οποία συμπιέζονται πάλι μεταξύ των δακτύλων σε ομοιόμορφη μάζα, χονδρικά ελλειψοειδούς σχήματος και επαναλαμβάνεται η κυλίνδρωση σε ραβδίσκο διαμέτρου 3mm. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέχρις ότου ο ραβδίσκος αρχίζει να ρωγματώνεται όταν η διάμετρός του είναι ίση με 3mm.

Στο εδαφικό υλικό που αρχίζει να ρωγματώνεται μετριέται η υγρασία του. Η δοκιμή επαναλαμβάνεται άλλες δύο φορές με συνεχή μείωση της περιεχόμενης υγρασίας. Ο μέσος όρος των τριών δοκιμών, αποτελεί το όριο πλαστικότητας του υλικού.

Η ρωγμάτωση εμφανίζεται διαφορετικά στους διάφορους τύπους εδαφών. Στα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο απαιτείται μεγαλύτερη πίεση για τη κυλίνδρωση του ραβδίσκου. Στα εδάφη χαμηλής πλαστικότητας είναι επιτρεπτό να μειωθεί η ολική

παραμόρφωση, προσδίδοντας στην ελλειψοειδούς σχήματος μάζα αρχική διάμετρο πλησιέστερη προς την τελικά απαιτούμενη των 3mm. Στην Εικόνα 2.6 Διάγραμμα Πλαστικότητας, British System (BS 5930: 1999). βάσει του οποίου μπορεί να γίνει η ταξινόμηση των εδαφών συμπεριλαμβανομένου της πλαστικότητας και της κοκκομετρίας τους.



Εικόνα 2.6 Διάγραμμα Πλαστικότητας, British System (BS 5930: 1999).

2.7.6 Δοκιμές ταξινόμησης

Στις δοκιμές ταξινόμησης των εδαφών περιλαμβάνονται η κοκκομετρική διαβάθμιση και οι δείκτες συνεκτικότητας ενώ παράλληλα μπορεί να υπολογιστούν οι δείκτες ομοιομορφίας, υδαρότητας, συνεκτικότητας καθώς και η ενεργότητα. Το αποτέλεσμα αυτών των δοκιμών έχει ουσιαστικό ρόλο στην ονοματολογία αυτών (Πίνακας 2-6 Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών, (USCS, ASTM D-2487).

Κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα (ΑΑSHTO T27, T11, ASTM D1140 – 71, D 422)

Το εδαφικό δείγμα για κοκκομετρική ανάλυση με κόσκινα είναι διαταραγμένο και για να είναι αντιπροσωπευτικό του εδαφικού σχηματισμού λαμβάνεται με τετραμερισμό ή με την συσκευή διαχωρισμού δειγμάτων. Το κοσκίνισμα γίνεται με σειρά κόσκινων (Εικόνα 2.7).

Για το προσδιορισμό της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα ακολουθείτε.

<u>Ξηρή μέθοδος</u>: Τα δείγματα σε φούρνο για 12 ως 24 ώρες στους 105°C και στη συνέχεια θραύονται τα συσσωματώματα πολύ προσεκτικά με γουδί. Το δείγμα ζυγίζεται για κοσκίνισμα και μετά το τέλος του κοσκινίσματος προσδιορίζεται το υλικό που συγκρατείται σε κάθε κόσκινο.

<u>Υγρή μέθοδος</u>: Στη περίπτωση παρουσίας σημαντικής ποσότητας λεπτομερούς μάζας με το αδρομερές κλάσμα το δείγμα πλένεται με νερό μέσω των κοσκίνων. Τα κλάσματα που

συγκρατούνται σε κάθε κόσκινο συλλέγονται ξεχωριστά, ξηραίνονται στους 105 - 110°C για 12 – 14 ώρες και ζυγίζονται. Το υλικό που διήλθε από το λεπτότερο κόσκινο No 200 κατά τη πλύση υπολογίζεται ως η διαφορά του αρχικού βάρους μείον το βάρος των συγκρατούμενων στα διάφορα κόσκινα.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης με κόσκινα εκφράζονται:

- Σε ποσοστά(%) των διερχόμενων από κάθε κόσκινο, στο ολικό βάρος του δείγματος.
- Σε ποσοστά(%) συγκρατούμενων, στο ολικό βάρος του δείγματος.

Συνήθως χρησιμοποιείται ο πρώτος τρόπος έκφρασης των αποτελεσμάτων (% διερχόμενα). Η ιλύς και η άργιλος αποτελούν υλικό λεπτότερο του No200 και τα ποσοστά τους προσδιορίζονται με τη μέθοδο του αραιόμετρου (πυκνομέτρου).



Εικόνα 2.7 Τυπικά κόσκινα για την εκτέλεση της δοκιμής κατάταξης

Κοκκομετρική ανάλυση με αραιόμετρο (Μέθοδος Stokes) (AASHTO T88 – ASTM D422 – 72)

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην αρχή της διασποράς και καθίζησης των εδαφικών κόκκων στο νερό με διαφορετικές ταχύτητες, που εξαρτώνται από το σχήμα, το μέγεθος και το βάρος τους. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιείται το αραιόμετρο. Σύμφωνα με το νόμο του Stokes τα εδαφικά τεμαχίδια είναι σφαιρικά και η ταχύτητα καθίζησης είναι συνάρτηση της διαμέτρου τους. Η σχέση που περιγράφει το νόμο είναι:

$$d_o = \sqrt{\frac{30nL}{980(G_s - 1)t}}$$

d_o: η μέγιστη διάμετρος, σε mm

Ν: συντελεστής ιξώδους, σε poises, του μέσου διασποράς (στη συγκεκριμένη περίπτωση του νερού)

L: διαδρομή κόκκων που καθιζάνουν, σε cm

Τ: χρόνος, σε min, περιόδου καθίζησης

Gs: ειδικό βάρος κόκκων εδάφους

Ο Νόμος του Stokes εφαρμόζεται σε εδαφικά υλικά που έχουν ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη από 0,2mm και μεγαλύτερη από 0,0002mm. Εδαφικοί κόκκοι μεγαλύτεροι από 0,2mm καθιζάνουν με μεγαλύτερη ταχύτητα και προκαλούν ανατάραξη του αιωρήματος. Εδαφικοί κόκκοι μικρότεροι από 0,0002mm δεν μετριούνται λόγω κίνησης κατά Brown.

Η ανάλυση με το αραιόμετρο πραγματοποιείται στο εργαστήριο σε ογκομετρικό κύλινδρο των 1000mL. Το δείγμα, που πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικό, αποτελείται από 50gr (ή 1000gr για πιο αμμώδη εδάφη) ξηραμένου σε κλίβανο στους 60°C για 24h ή αεροξηραμένου εδάφους και διερχόμενου από το κόσκινο No10 (2mm). Στη συνέχεια τρίβεται σε γουδί με το γουδοχέρι, προσεκτικά ώστε να απομονωθούν οι κόκκοι χωρίς να μειωθεί το μέγεθός τους. Ακολούθως, παραμένει για 12h σε ποτήρι των 250mL καλυπτόμενο από έτοιμο διάλυμα του παράγοντα διασποράς (π.χ. πολυφωσφορικό νάτριο, Na₂P₁₀O₃₁) που έχει επιλεγεί. Για τη παρασκευή του διαλύματος χρησιμοποιούνται 21,6gr άλατος ανά λίτρο έτοιμου διαλύματος.

Μετά τη συμπλήρωση του χρόνου αυτού, το δείγμα μεταφέρεται με έκπλυση σε κύπελλο διασποράς και αναδεύεται σε μηχανικό αναδευτήρα (mixer) για 1min. Το εδαφικό αιώρημα στη συνέχεια μεταφέρεται στο σωλήνα των 1000mL και προστίθεται αποσταγμένο νερό μέχρι τα 1000mL. Τότε ο ογκομετρικός κύλινδρος τοποθετείται σε υδατόλουτρο σταθερής θερμοκρασίας (20°C). Όταν το εδαφικό αιώρημα αποκτήσει τη θερμοκρασία του υδατόλουτρου, εξάγεται ο κύλινδρος και το περιεχόμενο του αναταράσσεται για 1min. Σημειώνεται ο χρόνος περάτωσης της ανατάραξης, τοποθετείται ο ογκομετρικός σωλήνας σε υδατόλουτρο και διαβάζονται ενδείξεις στο τέλος των 2min. Οι επόμενες μετρήσεις λαμβάνονται κατά χρονικά διαστήματα 5, 15, 30, 60, 250 και 1440min, από την έναρξη της κατακρήμνισης.

Αμέσως μετά από κάθε ανάγνωση του αραιομέτρου μετριέται και σημειώνεται η θερμοκρασία. Στην περίπτωση που είναι διαφορετική των 20°C τότε η ανάγνωση, R του αραιομέτρου διορθώνεται ανάλογα με τη θερμοκρασία, σύμφωνα με σχετικούς πίνακες.

Όταν το αραιόμετρο τοποθετείται με το εδαφικό αιώρημα, σε χρόνο t από την αρχή της κατακρήμνισης, μετριέται η ποσότητα σε gr του εδάφους που βρίσκεται ακόμη σε αιώρηση, δηλαδή το διερχόμενο σε gr. Σημειώνεται ότι κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων το αραιόμετρο παραμένει μέσα στον ογκομετρικό σωλήνα προκειμένου οι μετρήσεις να λαμβάνονται άμεσα και έτσι να μην χάνεται και η παραμικρή αλλαγή στην ένδειξη που μπορεί να δώσει.

Με βάση τα αποτελέσματα της ανάλυσης με αραιόμετρο κατασκευάζεται η κοκκομετρική καμπύλη στο αντίστοιχο διάγραμμα και καλύπτει την περιοχή μέχρι 0,075mm (κόσκινο No200) ενώ το υπόλοιπο συμπληρώνεται από την ανάλυση με τα κόσκινα.

Περιγραφή		Σύμβολο	Ονοματολογία	
Χονδρόκοκκα εδάφη	Χάλικες (περισσότερο από το 50% του δείγματος έχει μέγεθος >4,699mm)	Καθαροί Χάλικες	GW	Καλά διαβαθμισμένοι Χάλικες
			GP	Χάλικες με πτωχή ή καθόλου διαβάθμιση
		Χάλικες με λεπτόκοκκες προσμίξεις	GM	Ιλυομιγή Χάλικες
			GC	Αργιλομιγή Χάλικες
	Άμμοι (περισσότερο από το 50% του δείγματος έχει μέγεθος <4,699mm)	Καθαροί Άμμοι	SW	Καλά διαβαθμισμένοι Άμμοι
			SP	Κακώς διαβαθμισμένοι Άμμοι
		Άμμοι με λεπτόκοκκες προσμίξεις	SM	Ιλυομιγείς Άμμοι
			SC	Αργιλούχες Άμμοι

Περιγραφή Σύμβ		Σύμβολο	Ονοματολογία	
Λεπτόκοκκα εδάφη Ιλύες και Άργιλοι		LL<50	ML	Ανόργανες Ιλύες και πολύ λεπτόκοκκες Άμμοι, χαμηλής πλαστικότητας
			CL	Ανόργανες Άργιλοι χαμηλής έως μέτριας πλαστικότητας
	_		OL	Οργανικές Ιλύες και ιλυούχες Άργιλοι, χαμηλής πλαστικότητας
	τ, Άργιλοι	LL>50	МН	Ανόργανες Ιλύες, υψηλής πλαστικότητας
	Ιλύες κα		сн	Ανόργανες Άργιλοι, υψηλής πλαστικότητας
			ОН	Οργανικές Άργιλοι
			РТ	Τύρφη και άλλα οργανικά υλικά

Πίνακας 2-6 Ενιαίο Σύστημα Ταξινόμησης Εδαφών, (USCS, ASTM D-2487).

2.8 Εργαστηριακές Δοκιμές προσδιορισμού Μηχανικών Ιδιοτήτων

2.8.1 Δοκιμή Ανεμπόδιστης θλίψης (ASTM D2938 - 95, ISRM, 1981)

Με τον όρο αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, καλείται η θραύση μετά από πίεση ενός δείγματος κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), ενώ πλευρικά μπορεί να επεκτείνεται χωρίς κανένα εξωγενή προσδιορισμό.

Η μέθοδος αφορά τον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου δείγματος συνεκτικού εδάφους κατά την εφαρμογή ενός αξονικού φορτίου. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η συνεκτικότητα του εδάφους να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει τη διατήρηση της γεωμετρίας του δοκιμίου χωρίς την εφαρμογή πλευρικής πιέσεως. <u>Η</u> εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή σε μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων.

Η δοκιμή προσδιορισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη πραγματοποιείται με την επιβολή θλιπτικού αξονικού φορτίου σε μορφωμένο κυλινδρικό δοκίμιο, χωρίς πλευρική παρεμπόδιση και συνεχή καταγραφή των παραμορφώσεων αυτού, έως ότου επέλθει αστοχία του δοκιμίου ή έως ότου η παραμόρφωση φτάσει την τιμή του 20%. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι η μέγιστη τιμή της τάσης που καταγράφεται ή η τάση που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση 20%.

Για τη δοκιμή χρησιμοποιούνται δοκίμια κυλινδρικού σχήματος με διάμετρο, όχι μικρότερη των 33mm και λόγο ύψος προς διάμετρο μεταξύ 2 και 3, τα δοκίμια σχηματοποιούνται με την βοήθεια μεταλλικής μήτρας με κοφτερές ακμές. Το δείγμα εξάγεται από την μήτρα και ζυγίζεται, ενώ από το υλικό που έμεινε κατά τη διαδικασία σχηματοποίησης του δείγματος λαμβάνεται ποσότητα για προσδιορισμό της υγρασίας του εδάφους. Τα δοκίμια έχουν εγκάρσιο προσανατολισμό μεταξύ τους, το ένα δοκίμιο προσανατολισμένο κάθετα και το άλλο παράλληλα στη στρώση. Σε περίπτωση που το δοκίμιο κατά τη διαμόρφωση του παρουσιάζει επιφάνειες αδυναμίας, λόγω των διαστάσεών του, διαμορφώνεται δοκίμιο μικρότερων διαστάσεων για εξοικονόμηση χρόνου και δείγματος. Το κάθε δοκίμιο έχει καλά μορφοποιημένες παράλληλες, επίπεδες και κάθετες στον άξονα του δοκιμίου έδρες.

Η φυσική υγρασία του δοκιμίου προσδιορίζεται πριν και μετά τη δοκιμή, με ξήρανση δείγματος μέχρι σταθερής μάζας σε θερμοκρασία όχι μεγαλύτερη από 60°C, ώστε να μην συμβεί καύση του οργανικού υλικού.

Για να γίνει η δοκιμή αντοχής ενός δείγματος σε μονοαξονική θλίψη το δοκίμιο τοποθετήθηκε στη βάση της συσκευής μονοαξονικής θλίψης. Στην άνω επιφάνεια εφαρμόζεται πλαστικό κάλυμμα για την εφαρμογή του αξονικού φορτίου και στη συνέχεια ανυψώνεται η βάση της συσκευής μέχρι το κάλυμμα να έρθει σε επαφή με τον κατακόρυφο άξονα και αυτός με το δυναμομετρικό δακτύλιο. Πριν την έναρξη της δόκιμης και της καταγραφής τιμών μηδενίζονται το μηκυνσιόμετρο που μετρά το φορτίο και το μηκυνσιόμετρο μέτρησης της παραμόρφωσης. Το θλιπτικό αξονικό φορτίο που εφαρμόζεται έχει σταθερό ρυθμό παραμόρφωσης 0,5-2,0% ανά min και ταχύτητα τέτοια, ώστε η συνολική παραμόρφωση του δοκιμίου να φτάσει το 20% του αρχικού ύψους χωρίς η δοκιμή να ξεπερνάει τα 10 min.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγράφονται ζεύγη τιμών φορτίου παραμόρφωσης μέχρι να σημειωθεί μείωση του φορτίου με αυξανόμενη παραμόρφωση ή μέχρι αυτή να φτάσει στο 20% του αρχικού ύψους του δοκιμίου. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη είναι η μέγιστη τιμή της τάσης που καταγράφεται ή τάση που αντιστοιχεί σε παραμόρφωση 20%. Στη συνέχεια υπολογίζεται η ανηγμένη παραμόρφωση που παρουσίαζε το δοκίμιο με τη φόρτιση και η αντίστοιχη διορθωμένη επιφάνεια του δοκιμίου λόγω της μεταβολής του σχήματος του.

Το διορθωμένο εμβαδόν (Α) υπολογίζεται σε συνάρτηση με τη μεταβολή του ύψους του δοκιμίου, με σταθερό όγκο με βάση τη σχέση:

$$A = A_0 / (I - \Delta L / L_0) = A_0 / (I - \varepsilon)$$

Όπου:

A₀: το αρχικό εμβαδόν της βάσης του δοκιμίου
 L₀: το αρχικό ύψος του
 ΔL: η μεταβολή του ύψους του στο αναφερόμενο στάδιο φόρτισης

Με βάση το διορθωμένο εμβαδόν (Α), υπολογίζεται η αξονική τάση (q) που επιβαλλόταν στο δοκίμιο λόγω της φόρτισης του με φορτίο (Ρ), με βάση τη σχέση:

$$q = P/A = P (1 - \epsilon) / A_0$$

Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι, μια καμπύλη που μας δίνει την παραμόρφωση του δείγματος σε συνάρτηση με την τάση φόρτισης (την μονοαξονική πίεση). Από το διάγραμμα τάσης - παραμόρφωση (καθίζησης) προκύπτει η q_u, δηλαδή η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη, η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο του διαγράμματος (q_u = (P/F)max, δηλαδή μέγιστη τιμή πίεσης ανά επιφάνεια), και η αντίστοιχη καθίζηση είναι η καθίζηση θραυσμού.

Με τα αποτελέσματα της δοκιμής κατασκευάζεται κύκλος Mohr με μηδενική πλευρική τάση ($\sigma_3 = 0$).

2.8.2 Δοκιμή άμεσης διάτμησης

Στη δοκιμή της άμεσης διάτμησης το έδαφος οδηγείται σε θραύση με την επιβολή μετακίνησης του ενός τμήματος του υποδοχέα που περιέχει το δοκίμιο σε σχέση με το άλλο (παράλληλα στη διεπαφή τους). Έτσι, το έδαφος θραύεται κατά μία προκαθορισμένη επιφάνεια που λέγεται επιφάνεια διάτμησης.

Κατά τη δοκιμή αυτή μετριέται η μεταβολή της διατμητικής αντοχής του εδάφους σε σχέση με τη μεταβολή σταθερής ορθής τάσης που εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια διάτμησης. Η δοκιμή εφαρμόζεται σε συνεκτικά και μη συνεκτικά εδάφη.

Εφαρμόζονται τρείς τύποι δοκιμών:

1. Ταχεία δοκιμή χωρίς προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Σε αυτό τον τύπο της δοκιμής μετά την επιβολή της ορθής τάσης αρχίζει αμέσως η διάτμηση χωρίς να προηγηθεί στερεοποίηση του δοκιμίου. Η ταχύτητα της επιβαλλόμενης παραμόρφωσης θα πρέπει να μην ξεπερνά τα 15 με 20min. Ο ρυθμός της επιβαλλόμενης διατμητικής παραμόρφωσης θα είναι της τάξεως των 0,5-2% της διαμέτρου του δοκιμίου ανά λεπτό. Η διάτμηση του δοκιμίου, συνεχίζεται μέχρις ότου η διατμητική τάση αποκτήσει σταθερή τιμή για αυξανόμενη διατμητική παραμόρφωση ή μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φτάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου.

2. Ταχεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Σε αυτό τον τύπο της δοκιμής γίνεται προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου υπό πίεση ίση με την ορθή τάση που θα εφαρμόζεται στο δοκίμιο κατά τη διάτμηση. Αμέσως μετά την τοποθέτηση του δοκιμίου και την εφαρμογή μιας μικρής αρχικής ορθής πίεσης, γεμίζεται με νερό ο υποδοχέας γύρω από το δακτύλιο του δοκιμίου και η στάθμη του διατηρείται σταθερή σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής, ώστε το δοκίμιο να είναι πάντα κορεσμένο. Η στερεοποίηση του δοκιμίου γίνεται είτε σε ένα στάδιο με την εφαρμογή της επιθυμητής ορθής τάσης, είτε σε περισσότερα στάδια, όπου η φόρτιση γίνεται κατά βαθμίδες και η κάθε βαθμίδα πίεσης παραμένει στο δοκίμιο μέχρι πλήρους στερεοποίησης του υπό την πίεση αυτή. Το δοκίμιο θεωρείται στερεοποιημένο υπό πίεση όταν έχει ολοκληρωθεί η πρωτεύουσα στερεοποίηση του υπό την πίεση αυτή. Κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης του δοκιμίου μετράται η μεταβολή του ύψους του δοκιμίου σε συνάρτηση με το χρόνο. Ακολούθως σχεδιάζεται η καμπύλη «παραμόρφωση – logt».

3. Βραδεία δοκιμή με προηγούμενη στερεοποίηση του δοκιμίου

Μετά τη στερεοποίηση του δοκιμίου υπό την επιθυμητή ορθή τάση, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, γίνεται διάτμηση του δοκιμίου με βραδεία επιβολή της διατμητικής παραμόρφωσης, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται πλήρης εκτόνωση της πίεσης του νερού των πόρων. Για την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας (ρυθμού) επιβολής του φορτίου ή της παραμορφώσεως εκτιμάται ο απαιτούμενος χρόνος θραύσης από τη σχέση:

T=50*t₅₀

Όπου:

 t_{50} : ο απαιτούμενος χρόνος για 50% βαθμό στερεοποίησης του δοκιμίου.

Ο ρυθμός της παραμόρφωσης προσδιορίζεται με προσέγγιση διαιρώντας την εκτιμώμενη διατμητική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατμητική τάση δια του χρόνου Τ. Η διάτμηση του δοκιμίου συνεχίζεται με τον ρυθμό αυτό μέχρις ότου η διατμητική παραμόρφωση φτάσει το 10% της αρχικής διαμέτρου του δοκιμίου. Μετά το τέλος της δοκιμής το δοκίμιο αφαιρείται από το δακτύλιο, ξηραίνεται και ζυγίζεται για τον προσδιορισμό του ξηρού βάρους.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της δοκιμής αυτής, αφορούν τον υπολογισμό της αρχικής φυσικής υγρασίας (w), το αρχικό ξηρό και υγρό φαινόμενο βάρος του εδαφικού υλικού (γ, γ_d), στοιχεία διατμητικής τάσης και παραμόρφωσης, τον δείκτης πόρων (e) και το βαθμό κορεσμού (S) πριν και μετά την στερεοποίηση.

Για τον προσδιορισμό της συνοχής (c) και της γωνίας εσωτερικής τριβής (φ) από τη δοκιμή άμεσης διάτμησης απαιτούνται τουλάχιστον 3 δοκιμές. Από κάθε δοκιμή προκύπτει ένα ζεύγος τιμών **τ**, **σ** (τ: μέγιστη διατμητική τάση, σ: εφαρμοζόμενη ορθή τάση κατά τη διάτμηση του δοκιμίου), οι οποίες παρουσιάζονται σε αντίστοιχο διάγραμμα. **Για κάθε δοκιμή παρουσιάζονται καμπύλες «διατμητική τάση – διατμητική παραμόρφωση» και «διατμητική τάση – μεταβολή ύψους του δοκιμίου».**

2.8.3 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης (ASTM D - 2850/82, Ε 105 - 86)

Η δοκιμή αυτή καλύπτει τον προσδιορισμό της διατμητικής αντοχής κυλινδρικών δοκιμίων συνεκτικών εδαφών, σε αδιατάρακτη κατάσταση ή ύστερα από αναζύμωση. Η εφαρμογή του κατακόρυφου φορτίου, που ασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκεινται ταυτόχρονα με μια πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που ασκούνται σε αυτό.

<u>Αποτελεί την πλέον αντιπροσωπευτική και αξιόπιστη δοκιμή διερεύνησης της</u> συμπεριφοράς του εδάφους που υπόκεινται σε εντατικές καταστάσεις. Σημαντικό είναι το πλεονέκτημα που παρουσιάζει έναντι της δοκιμής άμεσης διάτμησης. Χαρακτηριστικό αποτελεί ότι η διατμητική θραύση δεν ακολουθεί προκαθορισμένο επίπεδο αλλά συντελείται κατά το επίπεδο ελάχιστης αντοχής.

Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσης τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών.

Κατά την δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων σ' ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους, όπου κατά την τριαξονική φόρτιση μετά από την στερεοποίηση λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου. Κατά το στάδιο της διάτμησης, η ταχύτητα φόρτισης του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τόσο βραδεία, ώστε πρακτικά να μην αναπτύσσεται καμία πίεση του νερού των πόρων στο δοκίμιο (u=0).

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής πρέπει να προετοιμαστούν τρία δοκίμια, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν για την δοκιμή, έτσι ώστε η διατάραξή τους να μειώνεται στο ελάχιστο. Από τα αρχικά δείγματα του υλικού αποκόπτεται τμήμα σε κατάλληλο μέγεθος για τη συσκευή τριαξονικής θραύσης, με τη βοήθεια μεταλλικής μήτρας, με προσανατολισμό εγκάρσια στη στρώση, ενώ οι επιφάνειες των άκρων διαμορφώνονται ώστε να είναι επίπεδες παράλληλες και κάθετες στον άξονα του δοκιμίου. Το δοκίμιο καλύπτεται με μεμβράνη για τη διατήρηση της υγρασίας του μέχρι την πραγματοποίηση της δοκιμής.

Στην έδρα της βάση τοποθετείται πορώδης δίσκος (πωρόλιθος) και το δοκίμιο τοποθετείται επάνω στον πωρόλιθο στη βάση έδρασης. Στη συνέχεια προσαρμόζεται ελαστική μεμβράνη κάλυψης του δοκιμίου προσεκτικά χωρίς να διαταραχτεί το δείγμα και σφραγίζεται στο βάθρο έδρασης με λαστιχένια δακτυλίδια τα οποία περιβάλλουν την μεμβράνη κάλυψης και δύο πλαστικά δισκάκια, τα οποία βρίσκονται στη βάση και στην κορυφή του δείγματος. Τοποθετείται, έπειτα, ο θάλαμος θραύσης πάνω στη βάση της και βιδώνονται οι κοχλίες ,ενώ η βάση ανυψώνεται ώστε η κορυφή του εμβόλου φόρτισης να έρθει σε επαφή με το

δυναμομετρικό δακτύλιο και η άκρη του να είναι ελαφρός ψηλότερα από το πάνω δισκάκι. Η κυψέλη γεμίζει με απιονισμένο νερό και στη συνέχεια ρυθμίζεται η θέση του καταδυόμενου κελιού φόρτισης ώστε να έρθει σε επαφή με το πλαστικό δισκάκι του δοκιμίου. Ακολούθως εφαρμόζεται πλευρική πίεση ώστε να προσδιοριστεί ο βαθμός κορεσμού.

Η στερεοποίηση πραγματοποιείται σε ισότροπες συνθήκες και σταθερή πίεση της κυψέλης. Μετά το στάδιο στερεοποίησης ακολουθεί προγραμματισμένος κύκλος φόρτισης – αποφόρτισης. Εφ' όσον πρέπει να διερευνηθεί η σχέση τάσης παραμόρφωσης οι δοκιμές πραγματοποιούνται με σταθερό ρυθμό μεταβολής του φορτίου.

Ο προγραμματισμός τον δοκιμών περιλαμβάνει αύξηση της αποκλίνουσας τάσης (q) από 0 έως 600 kPa, αποφόρτιση κατά 160 kPa και στη συνέχεια φόρτιση μέχρι θραύσης του δοκιμίου. Η αποκλίνουσα τάση εφαρμόζεται με ρυθμό ενώ η πλευρική τάση παραμένει σταθερή.

Η ταχύτητα διάτμησης του δοκιμίου για τις δοκιμές με αποστράγγιση, όπου ο ρυθμός φόρτισης πρέπει να είναι αρκετά χαμηλός προς αποφυγήν οποιασδήποτε ανάπτυξης πιέσεων του νερού των πόρων, είναι κατάλληλη μία αξονική φόρτιση με ρυθμό παραμόρφωσης μικρότερο του 0.2%.

Επειδή ο συντελεστής στερεοποίησης του υλικού μετράται κατά τη διάρκεια της στερεοποιήσεως, μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο (t_f) που απαιτείται μέχρι τη θραύση από τη σχέση:

$t_f = 20* h^2 / m* Cv$

Όπου:

2h: το ύψος του δοκιμίου

Cv: συντελεστής στερεοποίησης του υλικού

m: συντελεστής που εξαρτάται από τις συνθήκες αποστράγγισης (λαμβάνεται συνήθως m=0.75 όταν η αποστράγγιση γίνεται μόνο από τη βάση του δοκιμίου και m=3 όταν η αποστράγγιση γίνεται από τη βάση και την κεφαλή).

Διαδικασία υπολογισμών

Η αξονική παραμόρφωση ε, σε οποιονδήποτε χρόνο, βρίσκεται από τη σχέση:

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

Όπου:

L₀: αρχικό ύψος του δοκιμίου

ΔL: μεταβολή ύψους του δοκιμίου (ανάγνωση μηκυνσιόμετρου).

Η κύρια διαφορική τάση σ_1 - σ_3 ισούται με τη διαφορά της μέγιστης και ελάχιστης κύριας τάσης, όπου οι κύριες τάσεις μπορεί να είναι είτε οι ολικές σ_1 , σ_3 , είτε οι ενεργές σ_1' , σ_3' :

$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1' - \sigma_3' = P/A$

Όπου:

P: το φορτίο που εξασκείται αξονικά
A: η ανηγμένη διατομή του δοκιμίου για το αντίστοιχο αξονικό φορτίο
Η διατομή του δοκιμίου για ένα δεδομένο φορτίο δίνεται από τη σχέση:

Όπου:

Α₀: αρχική διατομή του δοκιμίου,

ε: αξονική παραμόρφωση για το δεδομένο αξονικό φορτίο.

Τα αποτελέσματα της τριαξονικής δοκιμής θλίψης παρουσιάζονται σε μία καμπύλη τάσεων − παραμορφώσεων. Τα στοιχεία των δοκιμών συνήθως παριστάνονται σε διάγραμμα σ₂-σ₃ σε συνάρτηση της αξονικής παραμόρφωσης.

Επίσης, η (σ₁-σ₃), ή (σ₁) ή ο λόγος (σ₁ /σ₃) μαζί με τη μεταβολή του όγκου, μπορεί να παρουσιαστούν γραφικά σε συνάρτηση με την αξονική παραμόρφωση.

<u>Είδη τριαξονικών δοκιμών</u>

Γενικά, η διατμητική αντοχή του εδάφους είναι συνάρτηση όχι μόνο του μεγέθους της πίεσης που ασκείται σε αυτό και της πίεσης του νερού των πόρων, αλλά εξαρτάται και από την εντατική κατάσταση που βρισκόταν το έδαφος πριν από την δοκιμή του. Από τη συμπεριφορά αυτή της διατμητικής αντοχής προέκυψε η ανάγκη ανάπτυξης μιας σειράς δοκιμών, οι κυριότερες των οποίων είναι οι ακόλουθες:

- 1. Ταχεία δοκιμή χωρίς στερεοποίηση και χωρίς αποστράγγιση (Unconsolidated Undrained, UU)
- Δοκιμή με στερεοποίηση, χωρίς αποστράγγιση με μέτρηση της πίεσης του νερού των πόρων (CUPP)
- 3. Δοκιμή με στερεοποίηση και αποστράγγιση (Consolidated Drained, CD).

2.8.4 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης

Μονοδιάστατη συμπίεση είναι η φόρτιση ενός εδαφικού στοιχείου κατά την οποία του επιβάλλεται ορθή παραμόρφωση στον κατακόρυφο άξονα (z) με ταυτόχρονη παρεμπόδιση των ορθών παραμορφώσεων στους άξονες (x, y) καθώς και όλων των διατμητικών παραμορφώσεων.

Με την μέθοδο αύτη προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπιεστότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με την μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη των πόρων.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμής παρασκευάζεται κυλινδρικό δοκίμιο με οδηγό δακτύλιο στις διαστάσεις της μήτρας της συσκευής και διαμορφώνονται οι δύο επιφάνειες έδρασης ώστε να είναι επίπεδες και παράλληλες. Το δείγμα, μαζί με τη μήτρα, ζυγίζεται και μετράται η υγρασία του υλικού από τα απομείναντα κομμάτια. Κάθε δοκιμή περιλαμβάνει πέντε ως έντεκα στάδια φόρτισης και τρία έως έξη βήματα αποφόρτισης, ενώ κάθε στάδιο φόρτισης θα είναι διπλάσιο του προηγούμενου. Κάθε στάδιο φόρτισης διαρκεί 24h και κατά την διάρκεια καθενός εξ αυτών θεωρείται ότι ολοκληρωνόταν η πρωτεύουσα στερεοποίηση του δοκιμίου. Η μέγιστη φόρτιση που θα επιβληθεί στο φορτίο θα πρέπει να είναι διπλάσια της προβλεπόμενης πίεσης που θα επιβληθεί επί τόπου στο έδαφος λόγω της κατασκευής του έργου.

Οι δοκιμές πραγματοποιούνται σε επτά ζεύγη δοκιμίων από τα ληφθέντα δείγματα, σε κάθε ζεύγος το ένα δοκίμιο είναι προσανατολισμένο παράλληλα και το άλλο εγκάρσια στη στρώση.

Οι μετρήσεις της αξονικής παραμόρφωσης σε κάθε στάδιο καταγράφονται σε επιλεγμένα χρονικά διαστήματα λογαριθμικής κλίμακας, σε διάγραμμα αθροιστικής παραμόρφωσης σε συνάρτηση με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου, του λόγου κενών συναρτήσει της εφαρμοζόμενης τάσης, όπως επίσης και την εκτίμηση των παραμέτρων στερεοποίησης. Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής το δείγμα ζυγίζεται, ξηραίνεται, ψύχεται και ζυγίζεται ξανά.

Διαδικασία υπολογισμών

Από την κατασκευή του διαγράμματος σε ημιλογαριθμικό χαρτί «χρόνου – καθίζησης» για κάθε βαθμίδα φόρτισης, από το οποίο υπολογίζεται ο συντελεστής στερεοποίησης (Cv), από τη σχέση:

Όπου:

 t_{50} : ο χρόνος για το 50% της στερεοποίησης

h: το μήκος της διαδρομής της αποστράγγισης που είναι ίσο με το μισό πάχος του στρώματος (H/2) όταν το νερό των πόρων μπορεί να αποστραγγιστεί από το άνω και κάτω όριο, και ίσο με το πάχος του στρώματος (H), όταν το νερό μπορεί να αποστραγγιστεί μόνο από πάνω.

Επίσης, από την εκτέλεση της δοκιμής είναι δυνατή η κατασκευή σε ημιλογαριθμικό χαρτί διαγράμματος «δείκτη πόρων (e) – επιβαλλόμενης πίεσης (p)» στο κάθε σημείο της οποίας αντιστοιχεί μια φόρτιση p και ένας δείκτης e που αντιπροσωπεύει 100% στερεοποίησης του δοκιμίου υπό τη φόρτιση p. Υπολογίζεται έτσι ο δείκτης συμπίεσης (Cc) από την κλίση της καμπύλης στο τμήμα που είναι σχεδόν ευθύγραμμο και από την σχέση:

 $Cc = \Delta e / (\Delta logp)$

Όπου:

Δε: η διαφορά του δείκτη κενών

p: η εφαρμοζόμενη πίεση, σε κάθε βαθμίδα

Στο διάγραμμα logp-e μπορεί να προσδιοριστεί γραφικά (μέθοδος Casagrande) η <u>τάση</u> <u>προστερεοποίησης</u> P_c (Εικόνα 2.8), η οποία ορίζεται ως η μέγιστη ενεργός τάση με την οποία το έδαφος έχει στερεοποιηθεί στο παρελθόν. Στο σημείο της μέγιστης καμπυλότητας της καμπύλης logp-e σχεδιάζεται η εφαπτομένη της καμπύλης και η παράλληλος προς στον άξονα logp και βρίσκεται η διχοτόμος της σχηματιζόμενης γωνίας. Το σημείο τομής της διχοτόμου της γωνίας με την προέκταση του ευθυγράμμου τμήματος της καμπύλης αντιστοιχεί στην τάση προστερεοποίησης P_c του δοκιμίου.

Τέλος, δύο σημαντικές παράμετροι που μπορούν να υπολογιστούν είναι ο συντελεστής συμπιεστότητας, **α**_v και ο συντελεστή μεταβολής όγκου, **m**_v. Πιο συγκεκριμένα, από το διάγραμμα «δείκτη πόρων (e) – πίεση (p)» η κλίση της καμπύλης καλείται συντελεστής συμπιεστότητας, δηλαδή:

<mark>και αντιστοίχως</mark>,

$$m_v = \alpha_v / (1 + e_i)$$

<mark>όπου:</mark>

e;: ο τελικός δείκτης πόρων για τη βαθμίδα φόρτισης που υπολογίζεται



Εικόνα 2.8 Διάγραμμα «logp – e» προσδιορισμού της τάσης προστερεοποίησης Pc (Craig, 2005).

3 Θεωρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών αστοχίας και ανάλυσης ευσταθείας πρανών

3.1. Γενικά περί ευστάθειας πρανών

Συχνό φαινόμενο κατά την εκτέλεση έργων αποτελεί η επίτευξη της ευστάθειας ενός πρανούς, με ζητούμενο το ύψος και τη γωνία κλίσης, που μπορεί να κατασκευαστεί με ασφάλεια. Η επιτυχία με την εφαρμογή τεχνικών, όπως οι μέθοδοι των πεπερασμένων στοιχείων, στο σχεδιασμό υπόγειων εκσκαφών οδήγησε πολλούς, στην εφαρμογή των ίδιων τεχνικών και στα πρανή. Από ερευνητική σκοπιά, τα αποτελέσματα είναι πολύ ενδιαφέροντα, στη πράξη όμως οι μέθοδοι αυτές έχουν περιορισμένη χρησιμότητα, καθώς οι περιορισμοί προέρχονται από την ανεπαρκή γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων της βραχόμαζας. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό του οριακού κατακόρυφου ύψους, ενός πρανούς σε ένα «μαλακό» ασβεστόλιθο με βάση μόνο την αντοχή του συμπαγούς πετρώματος, η τιμή που λαμβάνεται είναι μεγαλύτερη των 1000m (*Hoek, 1971*), γεγονός που απέχει πολύ από την πραγματικότητα.

Οι Muller et al, 1971, είχαν τονίσει ιδιαιτέρως το γεγονός ότι η βραχόμαζα δεν είναι συνεχής και η συμπεριφορά της εξαρτάται από την εσωτερική γεωμετρία του πετρώματος, καθώς και την σχέση προσανατολισμού των ασυνεχειών που επικρατούν με το προσανατολισμό του πρανούς.

3.1.1 Ταξινόμηση των κατολισθήσεων

Οι μορφές και τα χαρακτηριστικά των κατολισθήσεων παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία όπως επίσης και ο μηχανισμός ανάπτυξής τους είναι σύνθετος. Έτσι, για την απλούστευση της μελέτης τους (αναγνώριση και εκτίμηση του δυναμικού τους) έχει προταθεί η διάκρισή τους σε κατηγορίες σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια για την κάθε μία.

Η πρώτη κατηγοριοποίηση αναφέρεται στο **δυναμικό μιας κατολίσθησης**, δηλαδή στο πόσο «ενεργή» ή όχι είναι. Η ταξινόμηση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αξιολόγηση των μελλοντικών γεγονότων και προτάθηκε από την ομάδα εργασίας της UNESCO για την Παγκόσμια Καταγραφή των Κατολισθήσεων (UNESCO Working Party on World Landslide or WP/WLI, 1993).

Σύμφωνα με αυτή ορίζεται η έννοια της δραστηριότητας σε σχέση με χωρικές και χρονικές συνθήκες, καθορίζοντας την κατάσταση, την κατανομή και την μορφή μιας κατολίσθησης. Η κατάσταση της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, παρουσιάζει πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τον χρόνο στον οποίο πραγματοποιήθηκε η μετακίνηση, επιτρέποντας τη διάθεση των πληροφοριών για τη μελλοντική εξέλιξη του φαινομένου. Σύμφωνα με τα παραπάνω, γίνεται η διάκριση σε:

- Ενεργή (active), όπου μια κατολίσθηση κινείται σε παροντικό χρόνο.
- Ανεσταλμένη (suspended), όταν έχει κινηθεί μέσα στους τελευταίους 12 μήνες, αλλά δεν είναι ενεργή τώρα.

- Επανεργοποιημένη (reactivated), στην περίπτωση που ενεργοποιείται ξανά μια κατολίσθηση, ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα κατά το οποίο είχε σταθεροποιηθεί.
- Ανενεργή (inactivated), η οποία δεν παρουσιάζει κάποια ένδειξη δραστηριοποίησης, και διακρίνεται ως ακολούθως:
 - Σε ύπνωση (dormant), είναι αυτή που μπορεί να επανεργοποιηθεί από τις αρχικές αιτίες τις ή από άλλες αιτίες.
 - 2. <u>Εγκαταλειμμένη (abandoned)</u>, όπου μια ανενεργή κατολίσθηση δεν επηρεάζεται πλέον από τις αρχικές αιτίες δημιουργίας της.
 - 3. <u>Σταθεροποιημένη (stabilized)</u>, όταν μπορεί να προστατευθεί από τα αρχικά αίτια δημιουργίας της από επανορθωτικά μέτρα.
 - 4. <u>Παλαιο-απολιθωμένη (relict)</u>, η οποία αναπτύχθηκε υπό διαφορετικές κλιματικές η γεωμορφολογικές συνθήκες από τις παρούσες.

Η **κατανομή της δραστηριότητας των κατολισθήσεων**, περιγράφει με ένα γενικό τρόπο το πώς κινείται μια κατολίσθηση. Έτσι, γίνεται η παρακάτω διάκριση:

- Προωθούμενη (advancing), όπου η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται στη κατεύθυνση της μετακίνησης.
- Οπισθοδρομούσα (retrogressive), όπου η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται σε κατεύθυνση αντίθετη από τη μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.
- Μεγεθυνόμενη (enlarging), όπου η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται σε δύο η περισσότερες κατευθύνσεις.
- Απομειούμενη (diminishing), όπου ο όγκος του μετατοπισμένου υλικού μειώνεται.
- Κινούμενη (moving), όπου το μετατοπισμένο υλικό συνεχίζει να κινείται χωρίς οποιαδήποτε ορατή αλλαγή στην επιφάνεια θραύσης και τον όγκο του μετατοπισμένου υλικού.
- Περιορισμένη (confined), όπου υπάρχει μια απότομη πλαγιά αλλά καμία επιφάνεια θραύσης δεν είναι ορατή στον «πόδα» της μετατοπισμένης μάζας.
- Διευρυνόμενη (widening), όπου η επιφάνεια θραύσης επεκτείνεται στη μία ή και στις δύο πλευρές της κατολίσθησης.

Η μορφή της δραστηριότητας των κατολισθήσεων, τέλος, δείχνει τον τρόπο εκδήλωσης τους. Με βάση αυτό γίνεται η κάτωθι διάκριση (*WP/WLI, 1993*):

• Σύνθετες (complex or composite), όπου εκθέτει τουλάχιστον δύο τύπους μετακινήσεων (πτώση, ανατροπή, ολίσθηση, διάδοση, ροή) στη σειρά.

- Διαδοχική (successive), όπου αποτελεί τον ίδιο τύπο με μια κοντινή κατολίσθηση, αλλά δεν μοιράζεται το μετατοπισμένο υλικό ή δεν «σπάζει» την επιφάνεια με αυτό.
- Απλή (single), όπου αποτελεί μια απλή μετακίνηση του μετατοπισμένου υλικού.
- Πολλαπλή (multiple), η οποία παρουσιάζει επαναλαμβανόμενη ανάπτυξη του ίδιου τύπου μετακίνησης.

3.2 Παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την ευστάθεια των πρανών

Η δημιουργία μιας κατολίσθησης σπάνια συναρτάται με την επίδραση ενός μόνο παράγοντα. Οι περιοχές που επηρεάζονται από την εκδήλωση κατολισθήσεων αυξάνονται εξαιτίας της μετακίνησης πληθυσμού ή της κατασκευής τεχνικών έργων σε μη προσβάσιμα έως τώρα πρανή. Η κατασκευή έργων οδοποιίας που γίνεται με εκσκαφές στη βάση των πρανών τα οποία έχουν ιστορικό κατολισθήσεων, λειτουργούν ανταγωνιστικά με τη φύση στο να αυξήσουν ή να προκαλέσουν εκ νέου την αστάθεια των φυσικών πρανών (*Cloud, 1969*).

Ο Terzaghi, 1950, κάνει διαχωρισμό μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών παραγόντων. Οι εξωτερικοί παράγοντες σχετίζονται με την αύξηση των μέσων διατμητικών τάσεων κατά μήκος επιφανειών ή επιπέδων που δύναται να αστοχήσουν, όπως είναι η δημιουργία απότομης κλίσης δια της εκσκαφής ή της διάβρωσης στη βάση των πρανών, ενώ οι εσωτερικοί παράγοντες αφορούν την μείωση της μέσης διατμητική αντοχής.

Ένας μεγάλος αριθμός παραγόντων, μπορεί να εξετασθεί κατά την **μελέτη ευστάθειας ενός πρανούς**, οι πιο συνήθεις εκ των οποίων είναι:

- Προγενέστερα επεισόδια κίνησης εδαφικών μαζών (Zaruba and Menci, 1969), συχνότητα και μέγεθος μετακίνησης.
- Οι γεωλογικές συνθήκες (Terzaghi, 1950).
- Η τεκτονική της περιοχής και οι δημιουργούμενες ασυνέχειες ρηγμάτων και διαρρήξεων (Skempton and Petley, 1967, Deere and Patton, 1971).
- Η γεωμετρία και η έκταση της ολίσθησης επί του μορφολογικού ανάγλυφου (Skempton and Hutchinson, 1969, Crozier 1973).
- Οι κλιματικές συνθήκες σε συνδυασμό με την βλάστηση (Feld, 1971, Gray, 1970).
- Οι αλλαγές που προκαλούνται στις δυνάμεις μεταξύ των κόκκων ενός σχηματισμού εξαιτίας της περιεκτικότητας σε νερό, την πίεση του νερού των πόρων και στις ρωγμές (Dennesss, 1972, Peck, 1967).
- Η σεισμική δράση ή άλλες προκαλούμενες από τον άνθρωπο εδαφικές δονήσεις (Seed, 1968, Hansen, 1964, Newmark, 1965).

- Η επίδραση της αποσάθρωσης και άλλων φυσικοχημικών διεργασιών στη μείωση της αντοχής των πετρωμάτων και των σχηματισμών (*Terzaghi, 1931, Hutchinson, 1967, Skempton, 1964*).
- Η επίδραση της παραμένουσας διατμητικής αντοχής στους λεπτομερείς σχηματισμούς που κατά κανόνα συνδέεται με κατολισθήσεις στις οποίες έχουν συμβεί προγενέστερες μετακινήσεις των εδαφικών μαζών (Mesri and Shahien, 2003).
- Οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (Patton, 1970).

3.3 Τύποι μετακίνησης πρανών

Η ταξινόμηση κατά Varnes, 1978, περιλαμβάνει έξι τύπους μετακίνησης πρανών:

Πτώσεις (falls). Πρόκειται για την αποκόλληση τμήματος του εδάφους ή βράχου από απότομο πρανές κατά μήκος μιας επιφάνειας με μικρή ή σχεδόν μηδενική διατμητική αντοχή. Η κίνηση του υλικού γίνεται με απλή πτώση, κύλιση ή αναπήδηση. Η μετακίνηση αυτού του είδους είναι πολύ έως εξαιρετικά γρήγορη και είναι πιθανό να έχουν προηγηθεί μικρότερες μετακινήσεις, οι οποίες οδήγησαν στον προοδευτικό αποχωρισμό της μετακινούμενης μάζας από το μητρικό πέτρωμα.

Κύριες αιτίες εκδήλωσης μιας πτώσης είναι η επίδραση της βαρύτητας, η διαφορική διάβρωση, η διάβρωση που οφείλεται στην παρουσία ρευμάτων και οι ανασκαφές.

Σε αυτή την κατηγορία μετακινήσεων διακρίνονται τρείς διαφορετικές περιπτώσεις (Εικόνα 3.1):

- Πτώσεις βράχων (rock falls), όπου η μάζα που μετακινείται είναι μάζα βράχου, η οποία αποσπάστηκε από την απότομη πλαγιά.
- Πτώσεις κορημάτων (debris falls), όπου η μάζα που μετακινείται είναι κορήματα (δηλαδή, θραύσματα τα οποία έχουν δημιουργηθεί πριν από την εκδήλωση της κατολίσθησης).
- Πτώσεις γαιών (earth falls), όπου αποτελούν πολύ σπάνιο φαινόμενο και κατά βάση σχετίζονται με άλλους τύπους μετακίνησης (Varnes, 1978, USGS, 2004, Cruden & Varnes, 1996).



Κεφάλαιο 3° Θεωρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών αστοχίας και ανάλυσης ευστάθειας πρανών

Εικόνα 3.1 Καταπτώσεις βράχων, κορημάτων και γαιών: 1. Τυπική κατάπτωση βράχων (Varnes, 1978), 2. Κατάπτωση λόγω διαφορικής αποσάθρωσης (Letourneur and Mitchel, 1971), 3. Λόγω φυσικού κατακερματισμού ή από εκρήξεις, 4. Λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το κύμα, 5. Λόγω ρωγμών και διαφορικής διάβρωσης από το ποτάμι (Varnes, 1978), 6. (α) Άμεση κατάπτωση γαιών – εδάφους ή (β) Μετά από ολίσθηση (από Κόυκης – Σαμπατακάκης, 2007)

 Ανατροπές (topples) (Εικόνα 3.2). Η κίνηση οφείλεται σε τάσεις οι οποίες προκαλούν περιστροφή προς τα εμπρός, γύρω από ένα σημείο ή άξονα που

εντοπίζεται κάτω από το κέντρο βάρους της βραχώδους ή εδαφικής μάζας που επηρεάζεται. Στη συνέχεια τα τμήματα αποχωρίζονται από την υπόλοιπη μάζα, αναπηδώντας και πέφτοντας προς τα κατάντη του πρανούς. Το φαινόμενο μπορεί σταδιακά να εξελιχθεί σε πτώση ή ολίσθηση της μετακινούμενης μάζας, ανάλογα με τη γεωμετρία της επιφάνειας αποχωρισμού και τον προσανατολισμό των ασυνεχειών. Τα αίτια αυτών των μετακινήσεων, είναι η βαρύτητα και οι δυνάμεις που ασκούνται από τα γειτονικά τεμάχη ή από τα ρευστά μέσα στις ρωγμές.

Η ταχύτητα μιας ανατροπής μπορεί να είναι εξαιρετικά αργή μέχρι και εξαιρετικά γρήγορη, ενώ πολλές φορές επιταχύνει κατά τη κίνηση (ως κίνηση εκδηλώνεται κυρίως σε βραχώδη πρανή (rock topples)). Αντίθετα, οι ανατροπές κορημάτων (debris topples) και γαιών (earth topples), αποτελούν σπάνιες περιπτώσεις, η εκδήλωση των οποίων οφείλεται κυρίως σε φυσικές διεργασίες (π.χ. διαφορική διάβρωση) και στις ανθρώπινες παρεμβάσεις (π.χ. ανασκαφές) (Varnes, 1978, USGS, 2004, Cruden & Varnes, 1996).



Εικόνα 3.2 (α) Ανατροπή λόγω κάμψης, (β) Ανατροπή λόγω παρουσίας εφελκυστικών ρωγμών, (γ) Ανατροπή εδαφικών υλικών (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

 Ολισθήσεις (slides). Πρόκειται για την προς τα κάτω κίνηση εδαφικής ή βραχώδους μάζας και κυρίως λαμβάνει χώρα κατά μήκος επιφανειών θραύσης ή σχετικά λεπτών ζωνών διάτμησης. Η κίνηση αρχικά, δεν εκδηλώνεται ταυτόχρονα σε όλη την επιφάνεια αστοχίας. Ο όγκος της μετακινούμενης μάζας μεγεθύνεται από την

αρχική περιοχή τοπικής αστοχίας. Συχνά τα πρώτα σημάδια μετακίνησης είναι ρωγμές στην αρχική επιφάνεια του εδάφους, κατά μήκος της οποίας θα διαμορφωθεί το κύριο μέτωπο της ολίσθησης. Η μετακινούμενη μάζα ολισθαίνει πέρα από τον πόδα της επιφάνειας θραύσης, καλύπτοντας την αρχική εδαφική επιφάνεια στο πρανές, η οποία τελικά μεταπίπτει σε επιφάνεια διαχωρισμού. Στην Εικόνα 3.4, παρουσιάζεται ενδεικτικό σχήμα των επί μέρους τμημάτων διάκρισης μιας περιστροφικού τύπου ολίσθησης (Varnes, 1978, από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Ο Varnes, 1978, διαχώρισε αυτή την κατηγορία σε δύο περαιτέρω τύπους :

- 1. <u>Περιστροφικές ολισθήσεις (rotational slides)</u> ή κυκλικές ολισθήσεις, (Εικόνα 3.3) κινούνται κατά μήκος μιας κεκλιμένης επιφάνειας αστοχίας η οποία είναι κοίλη ή κυκλοειδές, η κινηματική υπαγορεύει ότι η μετακινούμενη μάζα θα κινηθεί κατά μήκος της επιφάνειας θραύσης έχοντας υποστεί μικρή εσωτερική παραμόρφωση. Ο άξονας της κυκλικής επιφάνειας είναι παράλληλος στον άξονα γύρω από τον οποίο η μάζα ολισθαίνει. Συνήθως ολισθήσεις με κυκλική επιφάνεια θραύσης, συμβαίνουν σε ομοιογενή υλικά και κυρίως σε επιχώματα. Τα φυσικά πρανή συνήθως αποτελούνται από μη ομοιογενή υλικά, συνεπώς σε τέτοια υλικά η κίνηση ακολουθεί προϋπάρχουσες επιφάνειες ανομοιογένειας ή επιφάνειες ασυνεχειών. Η ταχύτητα της συγκεκριμένης ολίσθησης χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά αργή έως εξαιρετικά γρήγορη και η βασική αιτία εκδήλωσής της επιφάνειας θραύσης από τη διατμητική τάση που ασκεί το βάρος της μάζας που θα κατολισθήσει.
- 2. <u>Μεταθετικές ολισθήσεις (translational slides)</u>, (Εικόνα 3.5), αφορούν σε μια μετακινούμενη μάζα η οποία ολισθαίνει κατά μήκος μιας επίπεδης ή κυματοειδούς επιφάνειας θραύσης. Οι μεταθετικές ολισθήσεις είναι γενικά μικρότερου βάθους από τις περιστροφικές.



Εικόνα 3.3 Περιστροφικές ολισθήσεις κατά Varnes, 1978: (α) Βραχώδους υποβάθρου, (β) Γαιών (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)



Εικόνα 3.4 Ιδεατό σχέδιο και ονοματολογία μιας περιστροφικής ολίσθησης (Varnes, 1978, από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007):

- **a.** Στέψη (crown): το ανώτερο τμήμα του φυσικού εδάφους, το πλησιέστερο προς την κύρια κατακρήμνιση.
- **b.** Κύρια κατακρήμνιση (main scarp): απότομο βύθισμα του φυσικού εδάφους στο ανώτερο τμήμα της ολίσθησης (στέψη).
- c. Κορυφή (top): το υψηλότερο σημείο επαφής της μετακινούμενης μάζας
- **d. Κεφαλή (head)**: τα ανώτερα τμήματα της κατολίσθησης κατά μήκος της επαφής της μετακινούμενης μάζας και της κύριας κατακρήμνισης.
- e. Δευτερεύουσα κατακρήμνιση (minor scarp): δευτερεύουσα επιφάνεια θραύσης της μετακινούμενης μάζας που προκλήθηκε από διαφορικές μετακινήσεις της μάζας αυτής.
- f. Κύριο σώμα (main body): το τμήμα της μετακινούμενης μάζας που υπέρκεινται της επιφάνειας ολίσθησης, μεταξύ της κύριας κατακρήμνισης και της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης.
- g. Άκρο (top): το σημείο της απόληξης που απέχει τη μεγαλύτερη απόσταση από τη κορυφή της κατολίσθησης.
- **h.** Απόληξη (toe): το κατώτερο, συνήθως κυρτό όριο, της μετακινούμενης μάζας.
- **i.** Πόδας (foot): το τμήμα της κατολίσθησης το οποίο έχει μετακινηθεί πέραν της απόληξης της επιφάνειας ολίσθησης και το οποίο υπέρκεινται της αρχικής επιφάνειας του εδάφους.
- **j.** Επιφάνεια ολίσθησης (surface of rupture): η επιφάνεια που αποτελεί επέκταση της κύριας κατακρήμνισης κάτω από τη μετακινούμενη μάζα, πάνω στην οποία έγινε η κατολίσθηση.
- **k. Επιφάνεια διαχωρισμού (surface of seperation)**: το τμήμα της αρχικής επιφάνειας του φυσικού εδάφους που καλύπτεται από τον πόδα της κατολίσθησης.
- **Ι.** Αρχική επιφάνεια εδάφους (original ground surface): η επιφάνεια του εδάφους πριν την εκδήλωση της κατολίσθησης.

Οι μεταθετικές ολισθήσεις σε βραχώδη πρανή καλούνται ολισθήσεις τεμαχών ή επίπεδες ολισθήσεις. Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να δημιουργείται από δύο ασυνέχειες οι οποίες προκαλούν τη μετακίνηση της μάζας που περικλείεται από αυτές προς τα κατάντη κατά μήκος του ίχνους τομής τους, σχηματίζοντας μια σφήνα. Παρόμοιας μορφής μετακινούμενες μάζες μπορεί να ορίζονται από μια ασυνέχεια η οποία διαμορφώνει το κύριο μέτωπο της ολίσθησης και μία άλλη η οποία διαμορφώνει την αστοχία επίπεδης μορφής. Ο τύπος της κίνησης εξαρτάται τελικά από τον προσανατολισμό της ελεύθερης επιφάνειας του πρανούς και τη σχέση της με τις ασυνέχειες της βραχόμαζας (Hocking, 1976, Cruden, 1978).



Εικόνα 3.5 Μεταθετικές ολισθήσεις (Hansen, 1965 και Varnes, 1978). (α) αποσαθρωμάτων, (β) εδαφικού υλικού, (γ) επίπεδη, (δ) σφηνοειδής (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

Μια σημαντική διαφορά μεταξύ των παραπάνω υποδιαιρέσεων είναι ότι οι περιστροφικές ολισθήσεις, με την κίνησή τους τείνουν να ισορροπήσουν και πάλι τη μετακινούμενη μάζα, ενώ οι μεταθετικές ολισθήσεις συνεχίζουν ανεξέλεγκτα, ιδιαίτερα αν η επιφάνεια αποκόλλησης έχει μεγάλη κλίση. Καθώς η μεταθετική ολίσθηση εξελίσσεται, η μετακινούμενη μάζα μπορεί να σπάσει, ιδιαίτερα αν η ταχύτητα ή η περιεκτικότητα σε νερό αυξηθούν.

 Πλευρικές εκτάσεις (lateral spreads) (Εικόνα 3.6). Είναι κινήσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από πλευρικές εκτάσεις συνεκτικών υλικών, τα οποία

υπέρκεινται μαλακών υλικών. Διακρίνονται σε εκτάσεις βράχων και σε εκτάσεις ρευστοποίησης. Οι εκτάσεις βράχων απαντούν σε ισχυρά διαρρηγμένες βραχόμαζες και συχνά σχετίζονται με καθίζηση της διαρρηγμένης μάζας όταν υπόκεινται πιο μαλακά υλικά. Συχνά δεν είναι δυνατή η αναγνώριση μιας επιφάνειας ολίσθησης στο υπόβαθρο, ούτε μιας πλήρως προσδιορισμένης ζώνης πλαστικής ροής. Οι εκτάσεις ρευστοποίησης, δημιουργούνται σε ευαίσθητες αργίλους και ιλύες οι οποίες έχασαν την αντοχή τους και η δομή τους έχει καταστραφεί.

Διακρίνονται τρείς κύριοι τύποι πλευρικών εκτάσεων:

- Εξαπλώσεις μεγάλων τεμαχών (block spreads), όπου ένα παχύ στρώμα βράχου βρίσκεται πάνω από μαλακότερα υλικά.
- 2. <u>Εξαπλώσεις λόγω ρευστοποίησης (liquefaction spreads</u>), οι οποίες σχηματίζονται σε αργίλους και ιλύες οι οποίες έχουν χάσει την αντοχή τους και έχει καταστραφεί η δομή τους.
- 3. Σύνθετες πλευρικές εξαπλώσεις (complex spreads), είναι μετακινήσεις που εκδηλώνονται ως έντονες παραμορφώσεις οριζόντιων σκληρών και διερρηγμένων στρωμάτων, τα οποία υπέρκεινται ρωγματωμένων αργίλων ή μαλακών σχιστόλιθων.
- Ροές (flows) (Εικόνα 3.7). Τα φαινόμενα τα οποία χαρακτηρίζονται από συνεχείς κινήσεις στο χώρο, ανήκουν στη συγκεκριμένη κατηγορία και εκδηλώνονται κυρίως σε χαλαρά υλικά. Οι επιφάνειες διάτμησης είναι μικρής έκτασης και συνήθως δε διατηρούνται. Από άποψη κινηματικής, η κίνηση θα μπορούσε να συγκριθεί με ιξώδη ροή.

Στις περιπτώσεις όπου η ταχύτητα μετακίνησης είναι εξαιρετικά αργή, ταξινομούνται στον ερπυσμό (creep). Σαν φαινόμενο ο ερπυσμός αναγνωρίζεται από την ύπαρξη κυρτών κορμών δένδρων, λυγισμένων περιφράξεων ή τοίχων αντιστήριξης και κορυφογραμμών (Varnes, 1978, USGS, 2004, Cruden & Varnes, 1996).

Διακρίνονται σε:

- 1. <u>Ροές βραχώδους υποβάθρου (rock flows)</u>, όπου περιλαμβάνουν παραμορφώσεις που κατανέμονται ανάμεσα σε πολλές και μικρές ή μεγάλες ρωγμές ή ακόμα και μικρορωγμές, χωρίς εντοπισμό της μετατόπισης κατά μήκος μιας ρωγμής. Οι μετακινήσεις είναι γενικώς εξαιρετικά αργές, ενώ είναι περισσότερο ή λιγότερο σταθερές στο χρόνο. Τέτοιες μετακινήσεις προέρχονται από πτώσεις, κάμψεις (π.χ. κάμψεις κεφαλών στρωμάτων), διογκώσεις ή άλλες εκδηλώσεις πλαστικής συμπεριφοράς.
- <u>Ροές κορημάτων (debris flows)</u>, όπου αφορούν ροή χονδρόκοκκου υλικού.
 Στα υλικά αυτά οι ροές αναγνωρίζονται πιο εύκολα από εκείνες του

υποβάθρου, γιατί οι μετατοπίσεις σε αυτά είναι συνήθως μεγαλύτερες και πιο ευδιάκριτες. Οι επιφάνειες ολίσθησης μέσα στη μετακινούμενη μάζα δεν είναι συνήθως ορατές ή διαρκούν πολύ λίγο και το όριο ανάμεσα στη μετακινούμενη μάζα και στο υλικό που δεν παίρνει μέρος στη μετακίνηση μπορεί να είναι μια επιφάνεια διαφορικής κίνησης ή μια ζώνη με κατανεμημένη διάτμηση.

3. <u>Ροές γαιών (earth flows)</u>, όπου αφορούν ροή λεπτόκοκκου υλικού. Αναφέρονται σε γαιώδη υλικά αρκετά διαβρεγμένα που ρέουν σχετικά γρήγορα με περιεκτικότητα τουλάχιστον 50% σε άμμο, ιλύ και άργιλο. Η μορφή αυτών των ροών ποικίλει και κυμαίνεται, από πλευράς περιεκτικότητας νερού, από υπερκορεσμένη μέχρι ξηρή κατάσταση και από πλευράς ταχύτητας μετακίνησης, από εξαιρετικά γρήγορη μέχρι εξαιρετικά αργή. Στη μια άκρη της κλίμακας βρίσκεται η ροή λάσπης, που είναι το υδαρό μέλος της οικογένειας των ροών λεπτόκοκκων γαιών και στο άλλο άκρο οι ξερές άμμοι.



Εικόνα 3.6 (α) πλευρική εξάπλωση ασβεστολιθικών τεμαχών που υπέρκεινται μαλακότερων σχηματισμών (Varnes, 1978), (β) πλευρική εξάπλωση αργίλου που υπέρκεινται ρευστοποιημένου στρώματος άμμου και ιλύος (Varnes, 1978), (γ) σύνθετη ολίσθηση: πλευρική εξάπλωση ασβεστόλιθων και αναθόλωση των υποκείμενων αργιλικών σχιστόλιθων (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).



Εικόνα 3.7 (α), (β) ροή κορημάτων, (γ) ροή γαιών, (δ)ροή άμμου – ιλύος (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

Σύνθετες μετακινήσεις (complex) (Εικόνα 3.8). Σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται οι κινήσεις εκείνες οι οποίες είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο ή περισσότερων από τις παραπάνω πέντε κατηγορίες. Ο Dikau, 1996, σημειώνει ότι όλες οι κατολισθήσεις περιλαμβάνουν περισσότερους από έναν τύπους κινήσεων οι οποίοι δρουν ταυτόχρονα, σε διαφορετικά μέρη της επιφάνειας θραύσης, είτε εξελίσσονται προς τα κάτω, είτε με το χρόνο εξελίσσονται σε διαφορετικές διαδικασίες.

Ο τύπος της κίνησης και του εδαφικού υλικού που συμμετέχει στην κίνηση μπορεί να μη περιορίζεται σε μια ταξινόμηση και μπορεί να καλύπτει ένα εύρος διαβάθμισης. Η κίνηση των εδαφικών μαζών μπορεί να είναι προοδευτική και να μην εκδηλωθεί αρχικά σε όλη την επιφάνεια, ενώ μια κίνηση σε μια θέση μπορεί να οδηγήσει στη κίνηση μιας ευρύτερης εδαφικής επιφάνειας. Από τους τύπους μετακίνησης των πρανών, οι περιστροφικές ολισθήσεις είναι πολύ συνηθισμένες στα ετερογενή υλικά και καθώς οι γεωλογικοί σχηματισμοί στις ζώνες μετακίνησης σπάνια είναι ομοιόμορφοι, οι ολισθήσεις είναι κατά κανόνα σύνθετες και η μετακίνηση των εδαφικών μαζών ελέγχεται σε μεγάλο βαθμό από την ύπαρξη εσωτερικών η εξωτερικών ασυνεχειών. Στις, πιο πολλές μετακινήσεις τύπου ολίσθησης, πραγματοποιείται μια τοπική υποχώρηση κατά μήκος μιας επιφάνειας θραύσης με γεωμετρία κοίλης επιφάνειας, συνήθως μεγάλης κλίσης.



Εικόνα 3.8 Σύνθετες μετακινήσεις: (α) κατάπτωση – ροή, (β) ολίσθηση – ροή, (γ) ανατροπή – ολίσθηση (από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

Κεφάλαιο 3° Θεωρητικό υπόβαθρο των μηχανισμών αστοχίας και ανάλυσης ευστάθειας πρανών



Εικόνα 3.9 Ενδεικτική αποτύπωση ρωγμών, κατακρημνίσεων και ροών νερού σε μια κατολίσθηση (Sowers & Royster, 1978, από Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007)

Τύπος Κίνησης		Τύπος μετακινούμενου υλικού			
		Βραχώδες υπόβαθρο	Μηχανικά εδάφη		
			Χονδρόκοκκα	Λεπτόκοκκα	
Κατάπτωση		Καταπτώσεις βράχων	Κατάπτωση κορημάτων	Κατάπτωση γαιών	
Ανατροπή		Ανατροπή βράχων	Ανατροπή κορημάτων	Ανατροπή γαιών	
Ολίσθηση	Περιστροφική	Περιστροφική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Περιστροφική ολίσθηση κορημάτων	Περιστροφική ολίσθηση γαιών	
	Μεταθετική	Μεταθετική ολίσθηση βραχώδους υποβάθρου	Μεταθετική ολίσθηση κορημάτων	Μεταθετική ολίσθηση γαιών	
Πλευρική εξάπλωση		Πλευρική εξάπλωση βραχώδους υποβάθρου	Πλευρική εξάπλωση κορημάτων	Πλευρική εξάπλωση γαιών	
Ροή		Ροή βραχώδους υποβάθρου	Ροή κορημάτων	Ροή γαιών	
		(ερπυσμός) (ερπυσμός εδάφους)		ς εδάφους)	
Σύνθετη		Συνδυασμός δύο ή περισσότερων τύπων			

Πίνακας 3-1 Διάκριση ανάλογα με τον τύπο κίνησης και την κατηγορία του γεωυλικού.

3.4 Μηχανισμός και αίτια μετακινήσεων

Οι μετακινήσεις πρανών αρχικά δημιουργούνται από δυνάμεις βαρύτητας, ενίοτε όμως δύναται να συνεισφέρει στην κίνηση η σεισμική δράση. **Μια μετακίνηση πρανούς είναι αρχικά το αποτέλεσμα της διατμητικής αστοχίας κατά μήκος των ορίων της μετακινούμενης μάζας.** Η αστοχία δύναται να συμβεί όταν η μέση διατμητική τάση κατά μήκος της ολισθαίνουσας επιφάνειας γίνεται ίση με τη διατμητική αντοχή του εδάφους. Ωστόσο, λόγω της προοδευτικής αστοχίας, μπορεί να συμβούν μετακινήσεις πρανών και με μικρότερη από τη μέγιστη τιμή της διατμητικής αντοχής των εδαφικών σχηματισμών. Η προοδευτική αστοχία συνοδεύεται γενικά από μη ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας, η οποία συμβαίνει σε σχηματισμούς με διαφορετικές, επίσης, σχέσεις τάσης – παραμόρφωσης. Σύμφωνα με υπολογισμούς, έχει εξαχθεί το συμπέρασμα ότι το μέγεθος των διατμητικών δυνάμεων είναι μεγαλύτερο κοντά στη βάση των πρανών. Επίσης, το γεγονός ότι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της διατμητικής αντοχής των επιβαλλόμενων τάσεων, συνεισφέρει στην ανάπτυξη της προοδευτικής αστοχίας.

Η εκδήλωση μιας κατολίσθησης εξαρτάται από τη γεωλογική σύσταση και δομή των σχηματισμών, την κλίση και τα μηχανικά χαρακτηριστικά (συνοχή, γωνία εσωτερικής τριβής
και τασικό πεδίο) των γεωυλικών που δομούν το πρανές. Σημαντικό επίσης, ρόλο παίζει το νερό με τη μορφή υγρασίας, κατείσδυσης, επιφανειακής και υπόγειας ροής (*Στειακάκης, 2010*).

Τα αίτια της εκδήλωσης μιας κατολίσθησης συνοψίζονται στις βασικές κατηγορίες και αναλύονται ακολούθως (*Στειακάκης, 2010*):

 Μείωση της συνοχής, προκύπτει με την απόπλυση διαλυτών ορυκτολογικών στοιχείων ή και της ορυκτής κόλλας από το υπόγειο νερό, με συνέπεια τη μείωση της συνοχής του εδάφους. Σε περιπτώσεις πολύ ευαίσθητων αργίλων, το νερό που κατεισδύει μπορεί να μειώσει το ποσοστό των αλάτων που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό των πόρων και να ελαττώσει τη συνοχή των εδαφών αυτών.

Αξίζει να σημειωθεί πως μείωση της συνοχής επέρχεται και με την ανάπτυξη παγετού, όπως και από κραδασμούς υψηλής συχνότητας οι οποίοι προέρχονται από σεισμούς ή εκρήξεις.

- Μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής, από την απομάκρυνση του λεπτόκοκκου υλικού του εδάφους από το νερό (λόγω της εσωτερικής διάβρωσης), έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της γωνίας εσωτερικής τριβής. Το νερό παίζει και το ρόλο του λιπαντικού, κυρίως όταν διαποτίζει αργιλικά κλάσματα του εδάφους τα οποία αποκτούν πλαστική – υδαρή συμπεριφορά.
- Μείωση της ενεργής τάσης. Η αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ενεργής τάσης και κατά συνέπεια την μείωση της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Αυτό μπορεί να προκληθεί σε μια εδαφική μάζα με την άνοδο της πιεζομετρικής στάθμης.
- Αύξηση του μοναδιαίου βάρους. Μπορεί να προκύψει με την προσθήκη νερού στον εδαφικό σχηματισμό από την επιφάνεια ή με τριχοειδή ανύψωση από ένα χαμηλότερο επίπεδο.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι αύξηση του βάρους λόγω κορεσμού αφορά την περίπτωση γεωυλικού που βρίσκεται πάνω από τη στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν δηλαδή το γεωυλικό βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα, υφίσταται άνωση και το βάρος του μειώνεται.

- Φόρτιση με πρόσθετο βάρος. Μπορεί να συμβεί ή με φυσική διεργασία ή με ανθρώπινη παρέμβαση. Η πρώτη περίπτωση αφορά τη συσσώρευση φερτών υλικών από προσχώσεις, ενώ η δεύτερη αναφέρεται στη φόρτιση με τις κατασκευές επιχωμάτων ή άλλων έργων στα πρανή.
- Διαφοροποίηση της γεωμετρίας. Προκύπτει με αλλαγή της κλίσης του πρανούς ή με διαφοροποίηση του ύψους του. Ο κυριότερος βασικός παράγοντας που προκαλεί αύξηση της κλίσης των πρανών είναι η διάβρωσή τους. Η ανθρώπινη παρέμβαση αφορά τις εκχωματώσεις που γίνονται στις κάθε είδους ανοικτές εκσκαφές.

3.5 Αναγνώριση στο πεδίο

Η αναγνώριση με τη χρήση αεροφωτογραφιών μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην κατάταξη των περιοχών, οι οποίες είναι πιθανές για την εκδήλωση εκτεταμένης κίνησης εδαφικών μαζών. Συνήθως η έρευνα στην περίπτωση αυτή, προσανατολίζεται αρχικά στη μελέτη αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων, από τις οποίες δύναται να εντοπιστούν περιοχές με ισχυρή κλίση, περιοχές στις οποίες αναπτύσσεται έντονο υδρογραφικό δίκτυο, περιοχές με αυξημένη συγκέντρωση νερού και διήθηση, περιοχές με ρήγματα και στρώσεις πετρωμάτων προς μια κατεύθυνση και άλλες παρεμφερείς πληροφορίες.

Σε μικρότερης κλίμακας εφαρμογές εξετάζονται λεπτομερέστεροι χάρτες μεγάλης κλίμακας και συνήθως:

- Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:5000 ή μεγαλύτερης
- Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:5000 ή μεγαλύτερης
- Αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:10000 1:5000

Στις περιπτώσεις όπου έχει ήδη πραγματοποιηθεί μια κατολίσθηση, είναι σημαντικό για την ανάλυση να γίνουν <u>καταγραφές στο πεδίο</u> όσον αφορά καταρχήν τον τύπο και το μέγεθος των μετακινήσεων που έχουν συντελεστεί. Είναι επίσης, σημαντικό να γίνεται διαχωρισμός στο πεδίο των πρόσφατων μετακινήσεων των εδαφικών μαζών, από άλλες παλαιότερες. Συνήθως, η πρώτη ένδειξη της εδαφικής κίνησης γίνεται αντιληπτή από τις καθιζήσεις σε τμήματα οδών ή από ανυψώσεις οδικών τμημάτων, ανάλογα με τη θέση της οδού στο προφίλ της κινούμενης εδαφικής μάζας. Όσον αφορά τις κατολισθήσεις οι οποίες επηρεάζουν οδικά τμήματα, ενδείξεις έναρξης μετακίνησης, μπορούν να καταγραφούν χωρίς ακόμη να έχουν επηρεάσει κάποιο οδικό τμήμα, λόγω μικρής αστοχίας επιχωμάτων της οδού, ρωγμών στο οδόστρωμα, υλικών τα οποία πέφτουν στην οδό από το ανάντη πρανές, μετατοπίσεις και αστοχία αγωγών και καλωδίων μεταφοράς ρεύματος, μεταβολή αρμών σε κατασκευές σκυροδέματος, αστοχία ή μετακίνηση των θεμελίων κτιρίων ή άλλων κατασκευών. Σε πολλές περιπτώσεις, τοξωτές ρωγμές και μικρές εδαφικές μεταπτώσεις, δίνουν εκ των προτέρων ενδείξεις κάποιας σοβαρής επικείμενης αστοχίας.

Η σωστή αναγνώριση των ρωγμών σε μια περιοχή δίνει αρκετές πληροφορίες για την κίνηση των εδαφικών μαζών. Οι επιφανειακές ρωγμές δεν διατάσσονται πάντα εγκάρσια στη διεύθυνση της οριζόντιας μετατόπισης. Για παράδειγμα, οι ρωγμές στην έναρξη μιας κατολίσθησης διατάσσονται εγκάρσια στη διεύθυνση της οριζόντιας μετατόπισης, αλλά οι ρωγμές στα πλευρικά όριά της διατάσσονται σχεδόν παράλληλα προς αυτή. Συνήθως οι "en echelon" ρωγμές αναπτύσσονται στην επιφάνεια του εδάφους πριν πραγματοποιηθούν άλλες διαρρήξεις. Έτσι, η αναγνώρισή τους στο πεδίο είναι ιδιαίτερα σημαντική στην εκτίμηση της ανάπτυξης (έκτασης) της επικείμενης μετακίνησης των εδαφικών μαζών. Σε πολλές περιπτώσεις, για το λόγο αυτό, ένας χάρτης με καταγεγραμμένες τέτοιες επιφανειακές ρωγμές οριοθετεί και περιγράφει την κατολίσθηση με ακρίβεια, ακόμη και αν δεν έχει λάβει χώρα καμία άλλη ορατή κίνηση (*Harold and Ta Liang, 1978*).

3.6 Χρονική εξάρτηση των συνθηκών ευστάθειας

Στη συνέχεια δίνεται η διάκριση της ανάλυσης ευστάθειας σε σχέση με τον χρόνο (Λουπασάκης, 2014):

- Υπολογισμός βραχυχρόνιας ευστάθειας (short term stability), με τη χρήση παραμέτρων διατμητικής αντοχής υπολογισμένων υπό αστράγγιστες συνθήκες (δοκιμές άμεσης διάτμησης, ανεμπόδιστης θλίψης), παραβλέποντας τις μεταβολές στην πίεση του νερού των πόρων.
- Υπολογισμός μακροχρόνιας ευστάθειας (long term stability), με τη χρήση παραμέτρων διατμητικής αντοχής υπολογισμένων υπό στραγγισμένων ή αστράγγιστων συνθηκών στις οποίες όμως γίνεται καταγραφή των πιέσεων του νερού των πόρων (βραδείες δοκιμές διάτμησης, τριαξονικές – CUPP).

Τα βραχυχρόνια πρανή, τα οποία αποτελούνται από τα μέτωπα εκμετάλλευσης ή βαθμίδες, καθώς και τα πρανή των εσωτερικών αποθέσεων σε στραγγιζόμενες συνθήκες πλήρους κορεσμού υπό συνεχή βροχόπτωση, σχεδιάζονται με συντελεστή ασφαλείας FS=1.3. Ενώ για τις συνθήκες υδροφορίας που έχουν διαπιστωθεί, τα πρανή λειτουργίας τα οποία συνεχώς αναπτύσσονται και επ' αυτών κινούνται εκσκαφείς και άλλα μηχανήματα σχεδιάζονται με συντελεστή ασφαλείας FS=2 (*Καρράς, 1998*).

3.7 Μέθοδοι υπολογισμού ευστάθειας πρανών

Οι αριθμητικές αναλύσεις στην ευστάθεια των πρανών κατηγοριοποιούνται στις μεθόδους:

- 1. Οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Analysis)
- 2. Οριακής (πλαστικού τύπου) ανάλυσης (Limit Analysis)
- 3. Ανάλυση μετακινήσεων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Analysis)

Στη **μέθοδο οριακής ισορροπίας**, λαμβάνεται μια επιφάνεια αστοχίας και εφαρμόζονται συνθήκες ισορροπίας στην εδαφική μάζα που έχει αστοχήσει, υποθέτοντας ότι το κριτήριο αστοχίας ισχύει οπουδήποτε κατά μήκος της επιφάνειας αστοχίας. Η επιφάνεια αστοχίας μπορεί να είναι επίπεδη, καμπύλη ή συνδυασμός των δύο. Στην ανάλυση αυτή λαμβάνονται υπόψη μόνο η γενική ισορροπία των εδαφικών τμημάτων μεταξύ των επιφανειών αστοχίας και τα όρια του προβλήματος. Η εσωτερική κατανομή των τάσεων εντός των εδαφικών τμημάτων δε λαμβάνεται υπόψη.

Η θεωρία της οριακής ανάλυσης (Chen, 1975), βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Η συμπεριφορά του εδάφους είναι τελείως πλαστική αυξανόμενης της σκληρότητας. Η επιφάνεια αυξημένης (οριακής) παραμόρφωσης, διαχωρίζει την ελαστική από την ελαστοπλαστική συμπεριφορά.
- Οι αλλαγές της γεωμετρίας της εδαφικής μάζας που δημιουργούνται κατά την αστοχία είναι ασήμαντες.

Οι **οριακές αναλύσεις** αναφέρονται ως επιλύσεις κάτω ορίου και άνω ορίου. Η επίλυση **κάτω ορίου** ικανοποιεί τις εξισώσεις ισορροπίας, τις καταστατικές εξισώσεις όσον αφορά την πλαστικότητα και του κριτηρίου εδαφικής αστοχίας. Η συνθήκη αστοχίας του εδάφους προσεγγίζεται ως αποτέλεσμα της εφαρμογής φορτίου. Στη κλασική της μορφή αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί αρχικά για προβλήματα φέρουσας ικανότητας.

Η **επίλυση άνω ορίου** βασίζεται στη κινηματική των εδαφικών τμημάτων που συμμετέχον στην ανάλυση. Σύμφωνα με το θεώρημα, μια εδαφική μάζα θα αστοχήσει εάν η ενέργεια που διοχετεύεται από την επιβολή εξωτερικών φορτίων, υπερβαίνει την εσωτερική ικανότητα εξασθένησης της ενέργειας αυτής από την εδαφική δομή. Οι συνθήκες των τάσεων προσδιορίζονται μόνο στη περιοχή που παραμορφώνεται και δεν απαιτείται να βρίσκονται σε ισορροπία. Οι παράμετροι διατμητικής αντοχής μπορούν να μειωθούν με μια σταθερά που ονομάζεται συντελεστής ασφάλειας. Η επίλυση άνω ορίου μπορεί να διεξαχθεί είτε με την ενεργειακή προσέγγιση (μέθοδο), είτε με την προσέγγιση της ισορροπίας (equilibrium approach). Η δεύτερη εφαρμόζεται περισσότερο στην επίλυση προβλημάτων ευστάθειας.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (Μ.Π.Σ.) ικανοποιεί θεωρητικά τις απαραίτητες προϋποθέσεις για μια πλήρη επίλυση ενός προβλήματος ευστάθειας πρανών. Η δυνατότητα της μεθόδου να προσομοιώσει με ακρίβεια τις πραγματικές συνθήκες πεδίου εξαρτάται:

- **1.** Από την ικανότητα του λαμβανόμενου πρότυπου του εδάφους να αναπαραστήσει την πραγματική συμπεριφορά του εδάφους.
- 2. Από την ορθότητα των οριακών συνθηκών.

Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τη γεωμετρία, τα κατασκευαστικά στάδια, τις παραμέτρους του εδάφους και τις οριακές συνθήκες. Η μέθοδος μπορεί να επιλύσει τρισδιάστατα προβλήματα χωρίς περιορισμούς που ισχύουν για τις παλαιότερες μεθόδους ανάλυσης.

3.7.1 Ιστορική αναδρομή

Κατά την ανάλυση ολισθήσεων περιστροφικής μορφής απαιτείται η παραδοχή καμπύλων επιφανειών ολίσθησης περίπου όμοιου σχήματος. Οι προσπάθειες προς αυτή την κατεύθυνση ξεκίνησαν από τον Hultein, 1916, κατά τη μελέτη του για τη θραύση κρηπιδότοιχου στο λιμάνι του Gutenberg. Έπειτα, από πολλά ερεθίσματα με καταστροφικές κατολισθήσεις, οι οποίες έδειχναν να έχουν περίπου κυκλικές επιφάνειες, διαμορφώθηκαν στις επόμενες δεκαετίες διαδοχικές δημοσιεύσεις, η μέθοδος του κύκλου τριβής και η πρώτη μέθοδος με τη τεχνική του χωρισμού σε φέτες (Fellenius, 1927, 1936). Οι μέθοδοι χωρισμού σε φέτες υπερέχουν της μεθόδου του κύκλου τριβής, γιατί επιτρέπουν να μελετηθεί σχετικά εύκολα η ευστάθεια ανομοιογενών πρανών αποτελούμενων από πολλές εδαφικές στρώσεις αλλά και γιατί με κατάλληλη προσαρμογή της υπολογιστικής διαδικασίας παρέχουν την δυνατότητα να εξετασθούν πιο σύνθετες επιφάνειες ολίσθησης.

φέτες. Οι διαφορές μεταξύ αυτών των μεθόδων, βασίζονται στις εξισώσεις που περιγράφουν τη κάθε μία και τι ικανοποιείται μέσα από αυτές καθώς και τις δυνάμεις που περιλαμβάνονται σε κάθε φέτα (slice), όπως επίσης, και τη σχέση μεταξύ των κανονικών και διατμητικών δυνάμεων.

Η μέθοδος του Fellenius ήταν η πρώτη μέθοδος που αναπτύχθηκε. Σε αυτή τη μέθοδο οι πλευρικές δυνάμεις θεωρούνται μηδενικές και αγνοούνται στην πολύ απλουστευμένη υπολογιστική διαδικασία. Αργότερα ο *Bishop, 1955,* επινόησε ένα σχέδιο όπου περιλαμβάνονται οι κανονικές δυνάμεις αλλά αγνοούνται οι διατμητικές. Με αυτή τη μέθοδο περιλαμβάνοντας τις κανονικές δυνάμεις η εξίσωση του συντελεστή ασφαλείας (F.S.) γίνεται μη γραμμική και έτσι απαιτούνταν μια επαναληπτική διαδικασία για να υπολογιστεί ο F.S..

Η μέθοδος Janbu είναι ίδια με τη Bishop στο γεγονός ότι περιλαμβάνει τις κανονικές δυνάμεις αγνοώντας τις διατμητικές. Η διαφορά μεταξύ αυτών των μεθόδων είναι ότι η μέθοδος Janbu ικανοποιεί μόνο την ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων. Αργότερα, η χρήση των υπολογιστών έδωσε τη δυνατότητα να γίνεται με μεγαλύτερη ευχέρεια ο υπολογισμός των δυνάμεων ισορροπίας και αυτό οδήγησε να επινοηθούν πιο «αυστηρές» μέθοδοι, που να ικανοποιούν όλες τις εξισώσεις της στατικής ισορροπίας, περιλαμβάνοντας όλες τις δυνάμεις.

Δύο από αυτές τις μεθόδους είναι των Morgenster & Price και η μέθοδος Spencer.

Από τις μεθόδους οι οποίες αναπτύχθηκαν προηγουμένως, η ευστάθεια των πρανών μελετάται συνήθως με τη χρήση των μεθόδων της οριακής ισορροπίας. Αποτέλεσμα των μεθόδων αυτών είναι ο προσδιορισμός της τιμής του συντελεστή ασφαλείας για τη δυσμενέστερη επιφάνεια ολίσθησης, μέσα από τη χρήση μιας ή περισσότερων ισοτήτων. Οι μέθοδοι της οριακής ισορροπίας προσδιορίζουν την ισορροπία του γεωυλικού, του οποίου το κάτω όριο ορίζεται από την επιφάνεια ολίσθησης και το πάνω όριο από την ελεύθερη επιφάνεια του πρανούς.

Οι μέθοδοι της οριακής ισορροπίας βασίζονται στην τεχνική του χωρισμού σε φέτες (methods of slices) της πιθανής μάζας του γεωυλικού που πρόκειται να ολισθήσει. Η τεχνική αυτή εισήχθη για πρώτη φορά τον 20° αιώνα. Το 1916 ο *Petterson* στη Σουηδία παρουσίασε την ανάλυση ευστάθειας μιας κυκλικής επιφάνειας και την χώρισε σε φέτες. Μέσα στις επόμενες δεκαετίες, ο *Fellenius, 1936*, εισήγαγε την **Ordinary or Swedish μέθοδο των φετών**. Στα μέσα του 1950 οι *Janbu και Bishop* πραγματοποίησαν αναβαθμίσεις και βελτιώσεις στη μέθοδο.

Η χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (η/υ) το 1960, διευκόλυνε τη διαχείριση πιο πολύπλοκων δεδομένων σε σχέση με τη μέθοδο αυτή, οδηγώντας σε πιο αυστηρούς μαθηματικούς αλγορίθμους, όπως αυτοί που προτάθηκαν από τους *Morgenstern and Price*, 1965, και από τον *Spencer*, 1976. Ένας από τους λόγους που η μέθοδος της οριακής ισορροπίας υιοθετήθηκε περισσότερο ήταν η καινοτομία και ευχρηστία που προκύπτει από το διαχωρισμό ενός μεγάλου σώματος υλικού σε μικρότερα τμήματα (φέτες).

Σήμερα, η ανάλυση ευστάθειας των πρανών (κατολισθητικά φαινόμενα, ευστάθεια πρανών σε έργα οδοποιίας), είναι ένα διαδομένο ζήτημα στη γεωτεχνική μηχανική, προκαλώντας προφανώς για κάθε τεχνικό έργο ένα συγκεκριμένο ερώτημα, «η επικείμενη κατασκευή θα παραμείνει σταθερή ή όχι;». τα διάφορα προγράμματα που έχουν αναπτυχθεί για τους η/υ βασιζόμενα σε αυτή την τεχνική και η ευρύτητα στη διαθεσιμότητά τους, έχει καταστήσει τη χρήση της μεθόδου της οριακής ισορροπίας ένα χρήσιμο εργαλείο στη γεωτεχνική μηχανική. Ακόμα μεγαλύτερος όγκος δεδομένων και πιο πολύπλοκος είναι δυνατόν να διαχειριστεί με τα software στους η/υ. Η πολύπλοκη στρωματογραφία, συνθήκες με υψηλές πιέσεις πόρων, διάφορα μοντέλα με γραμμικές και μη γραμμικές διατμητικές αντοχές, ακόμα και επιφάνειες ολίσθησης με κάθε είδος σχήματος, διάφορα επιβαλλόμενα φόρτια, μπορούν να εφαρμοστούν προκειμένου να δημιουργηθεί το μοντέλο μέσα από το οποίο εξάγονται τα συμπεράσματα για τον εκάστοτε σχεδιασμό.

Πριν πολλές δεκαετίες, οι μηχανικοί αποδέχτηκαν την ανάγκη που υπήρχε για χρήση των προγραμμάτων, προκειμένου να γίνει πιο εύχρηστη η διαχείριση των δεδομένων, μέσω της δημιουργίας μοντέλων, που κάτι τέτοιο δεν ήταν εφικτό μέσα από χειρόγραφους υπολογισμούς. Ανάλογη είναι και σήμερα η ανάγκη για περισσότερη ανάπτυξη πάνω σε αυτόν τον τομέα, με βελτιώσεις σε 3D μοντέλα, όπου οι υπολογιστές σε κάποιους τομείς ακόμα δεν είναι επαρκείς. Μια τέτοια προσέγγιση έχει γίνει στην εξομοίωση πετρελαϊκών αποθεμάτων.

Στις επόμενες δεκαετίες επιφυλάσσονται ακόμα, μεγαλύτερες δυνατότητες στον εκσυγχρονισμό των δυνατοτήτων για τη μοντελοποίηση πιθανών αστοχιών στα τεχνικά έργα, παρέχοντας μια ακόμα πιο κατανοητή βάση των υφιστάμενων κινδύνων. Η έλευση προγραμμάτων εικονικής πραγματικότητας σκοπεύει να δίνει στον γεωτεχνικό την ευχέρεια να αποκομίζει αποτελέσματα με έναν πιο αποτελεσματικό και γραφικό τρόπο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η ποσότητα – ποιότητα των δεδομένων και των εργαλείων διαχείρισης αυτών για την κατασκευή μοντέλων, παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην παροχή έγκυρων αποτελεσμάτων.

3.7.2 Ανάλυση ευστάθειας πρανών με τη μέθοδο της Οριακής Ισορροπίας (Limit Equilibrium Method)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε γενικό θεωρητικό επίπεδο οι θεμελιώδεις αρχές, οι μαθηματικές εξισώσεις, αλλά και οι μεθοδολογίες των συχνότερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων οριακής ισορροπίας (Limit Equilibrium Method –LME) για την ανάλυση της ευστάθειας πρανών σε προβλήματα Τεχνικής Γεωλογίας και Εδαφομηχανικής.

Οι περισσότερες μέθοδοι εκτίμησης της ευστάθειας βασίζονται στη μέθοδο της οριακής ισορροπίας. Συνήθως θεωρείται ότι το κριτήριο Mohr – Coulomb

τ=c+σ_n*tanφ

ικανοποιείται κατά μήκος της θεωρούμενης επιφάνειας αστοχίας και η εκτίμηση της ευστάθειας διερευνάται με τον υπολογισμό (*Στειακάκης, 2010*):

- 1. Των δυνάμεων που επενεργούν στην επισφαλή μάζα και
- 2. Της αντίστασης στη διάτμηση που αυτή επιδεικνύει.

Πρώτα ορίζεται μια πιθανή επιφάνεια αστοχίας εδάφους, ακολούθως, θεωρείται η οριακή ισορροπία του εδαφικού πρίσματος και τέλος, ορίζεται ο συντελεστής ασφαλείας (FS), ως ο λόγος των δυνάμεων/ροπών προς τις υφιστάμενες δράσεις.

Στην περίπτωση μακροχρόνιας αστοχίας, όμως, η τ_f(α) είναι συνάρτηση των ορθών ενεργών τάσεων που ασκούνται στην επιφάνεια αστοχίας που δεν είναι άμεσα γνωστές. Έτσι, οι υπολογισμοί γίνονται προσεγγιστικά με τη μέθοδο των λωρίδων η οποία προτάθηκε από τον Σουηδό W. Fellenius το 1927, σε μια προσπάθεια υπολογισμού των ορθών και διατμητικών τάσεων που ασκούνται στην επιφάνεια αστοχίας συναρτήσει του βάρους των υπερκείμενων στρωμάτων.

Για μια δεδομένη επιφάνεια αστοχίας το ολισθαίνον τμήμα υποδιαιρείται σε λεπτές κατακόρυφες λωρίδες (Εικόνα 3.10) και οι δυνάμεις που ασκούνται στη βάση κάθε λωρίδας υπολογίζονται από τις εξισώσεις ισορροπίας της κάθε λωρίδας ξεχωριστά. Επισημαίνεται πως η επίλυση είναι προσεγγιστική, καθώς στους αγνώστους προστίθενται οι τάσεις που ασκούνται στην κατακόρυφη παρειά των λωρίδων καθώς και τα σημεία της εφαρμογής της συνισταμένης τους.



Εικόνα 3.10 Τεχνική χωρισμού του πρανούς σε «φέτες».

Ακολούθως, σε όλες τις διαφορετικές εκδοχές της μεθόδου των λωρίδων, η ισορροπία του πρανούς εξετάζεται κατά την κατάσταση λειτουργίας και όχι κατά την οριακή κατάσταση αστοχίας.

Σκοπός των μεθόδων αυτών είναι να διερευνηθούν με τη βοήθεια εξισώσεων στατικής ισορροπίας οι συνθήκες ευστάθειας ενός εδαφικού πρανούς μέσω του υπολογισμού του συντελεστή ασφαλείας (Factor of Safety – FS) που χαρακτηρίζει το πρανές, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Συνοπτικά μπορεί να αναφερθεί πως, ο συντελεστής ασφαλείας είναι ο συντελεστής κατά τον οποίο πρέπει να μειωθεί η διατμητική αντοχή του εδάφους, έτσι ώστε να καταστήσει την εδαφική μάζα σε κατάσταση οριακής ισορροπίας κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας ολίσθησης.

Για να υπάρχει θεωρητικά ευστάθεια στο πρανές πρέπει ο συντελεστής ασφαλείας να είναι μεγαλύτερος της μονάδας (F.S.>1). Συνθήκες οριακής ευστάθειας – ισορροπίας εμφανίζονται όταν F.S.=1, ενώ για F.S.<1 το πρανές θεωρείται ασταθές. Για τα προβλήματα ευστάθειας πρανών η ικανοποιητική τιμή ευστάθειας έχει προσδιοριστεί ότι βρίσκεται μεταξύ 1,4 – 1,5.

3.7.2.1 Σουηδική μέθοδος ή Μέθοδος Fellenius

Αποτελεί την πρώτη μέθοδο των λωρίδων που παρουσιάστηκε στη διεθνή βιβλιογραφία (*Fellenius, 1927*). Είναι μια απλή μέθοδος, μέσω της οποίας είναι δυνατός ο υπολογισμός του συντελεστή ασφαλείας (FS) ακόμα και με υπολογισμούς χειρός. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι πως δεν λαμβάνονται υπόψη όλες οι δυνάμεις που επενεργούν σε κάθε λωρίδα (Εικόνα 3.11). Παραλείπει τις διατμητικές και ορθές τάσεις που ασκούνται στις πλευρές της λωρίδας. Η παραδοχή αυτή οδηγεί σε υποεκτίμηση του FS κατά 10 – 15%, ενώ στην περίπτωση των απότομων πρανών με μεγάλη γωνία τριβής, η υποεκτίμηση αυτή μπορεί να πλησιάσει το 60% (*Στειακάκης, 2010*, από *Hunt, 1986*).

Για την αποφυγή του προσδιορισμού των εσωτερικών ορθών και διατμητικών δυνάμεων, γίνεται η απλή παραδοχή ότι οι δυνάμεις αυτές, που δρουν στις πλευρές της λωρίδας δεν επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ολική ευστάθεια της εδαφικής μάζας και για αυτό το λόγο μπορούν να παραληφθούν από τους υπολογισμούς. Επίσης, η μέθοδος υιοθετεί ότι το σημείο εφαρμογής της δύναμης N (= W_t*cosa_t) στη βάση της λωρίδας είναι το σημείο τομής της βάσεως και του κατακόρυφου διανύσματος του βάρους της λωρίδας.

Μια περιστροφική ολίσθηση μπορεί πολύ εύκολα να αναλυθεί με βάση την ισορροπία των ροπών. Ως συντελεστής ασφάλειας ορίζεται ο λόγος της ροπής ως προς το κέντρο του κυκλικού τόξου των δυνάμεων που αντιστέκονται στην ολίσθηση Mr, προς την ολίσθηση M_d:

$F.S.= M_r/M_d$



Εικόνα 3.11 Ανάλυση δυνάμεων σε μία λωρίδα, σύμφωνα με τη μέθοδο Fellenius (Lambe and Withman, 1969).

Στη βάση κάθε φέτας σύμφωνα με την σχέση Coulomb, η αναπτυσσόμενη διατμητική αντοχή Τ, είναι ίση με το άθροισμα της τριβής και της συνοχής και δίνεται από την σχέση:

$T = c' \cdot I + (W \cdot cos\alpha - u \cdot 1) \cdot tan\varphi'$

Όπου:

Ι: το μήκος της βάσης της φέτας

W·cosa: η ολική ορθή δύναμη Ν, συνιστώσα του βάρους W

u: η μέση πίεση του νερού των πόρων στην βάση της φέτας

Η αντίστοιχη στην βάση της φέτας δύναμη ολίσθησης S είναι ίση με W· sina.

Από την παραπάνω σχέση και λαμβάνοντας υπόψη ότι οι Τ και S έχουν διεύθυνση εφαπτόμενη του τόξου και οι δύο ροπές έχουν κοινό βραχίονα ως προς το κέντρο, την ακτίνα r, η σχέση οδηγείται στην παρακάτω αναλυτική:

$$F = \frac{\sum T_i}{\sum S_i} = \frac{\sum \{c'_i \cdot l_i + (W_i \cdot \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \phi'_i\}}{\sum (W_i \cdot \sin \alpha_i)}$$

Όπου:

c,φ: η μέση συνοχή και γωνία τριβής κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης

W_i: το βάρος της λωρίδας i

ui: η πίεση πόρων στην βάση της λωρίδας i

α_i, **l**_i: η κλίση ως προς την οριζόντια και το μήκος της βάσης της λωρίδας i

Η μέθοδος του Fellenius δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται στην πράξη, καθώς οι διάφορες απλοποιήσεις που έχει οδηγούν πολλές φορές σε λάθη υπολογισμού του F.S. που φτάνουν και το 60% (*Whitman & Bailey, 1976*).

3.7.2.2 Απλοποιημένη μέθοδος Bishop (Bishops Simplified Method)

Αποτελεί την απλούστευση της αρχική πρότασης του Bishop. Είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος και θεωρεί ότι οι εφαπτομενικές δυνάμεις στις πλευρές των λωρίδων είναι αρκετά μικρές και μπορούν να παραληφθούν (*Στειακάκης, 2010*).



Εικόνα 3.12 Ανάλυση δυνάμεων σε μία «φέτα», σύμφωνα με τη μέθοδο του Bishop.

Ο Bishop ανέπτυξε μια εξίσωση για την κάθετη δύναμη Ν στην βάση της λωρίδας αθροίζοντας τις δυνάμεις στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η εξίσωση στην οποία κατέληξε ο Bishop είναι:

$$F = \frac{\sum \left\{ c' \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha + \left[(W - u \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha) + (T_1 - T_2) \right] \cdot \tan \phi' \right\} \cdot \left[\cos \alpha + (\tan \phi' \cdot \sin \alpha) / F \right]^{-1}}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

Η σχέση αυτή, καθώς ο συντελεστής F περιέχεται και στους δύο όρους της, και είναι άγνωστες εκτός αυτού και οι δυνάμεις Χ₁, Χ₂, απαιτεί μια περαιτέρω επαναληπτική και έμμεση υπολογιστική διαδικασία.

Η διαφορά με την προηγούμενη μέθοδο είναι ο παράγοντας m_α, όπου:

m_{α} = (cos α + sin α tan ϕ ')/F.S.

Όπου:

α: η κλίση της βάσης της κάθε φέτας W_i: το βάρος της κάθε φέτας b_i: το πάχος της φέτας u: η πίεση του νερού των πόρων

Η μέθοδος Bishop παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με τη Σουηδική μέθοδο που περιγράφηκε προηγουμένως, αλλά εμφανίζει δύο βασικές διαφορές:

- Η παραδοχή που γίνεται για τις πλευρικές δυνάμεις είναι πλησιέστερα στη πραγματικότητα γιατί οδηγεί σε λύσεις που οδηγούν σε κάποιες θεμελιώδεις γεωτεχνικές συνθήκες.
- 2. Η εξίσωση που δίνει τον συντελεστή ασφαλείας είναι μη γραμμική, γιατί ο συντελεστής βρίσκεται και στα δύο μέλη. Έτσι, η επίλυση γίνεται επαναληπτικά και απαιτεί μεγαλύτερο χρόνο.

3.7.2.3 Απλοποιημένη μέθοδος Janbu (Janbu's Simplified Method)

Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε πολύ αργότερα από τις δύο προηγούμενες, το 1973, από τον καθηγητή του πανεπιστημίου του Trondheim της Νορβηγίας Nilmar Janbu. Τότε διαπιστώθηκε ότι οι μέθοδοι για κυκλικές επιφάνειες δεν επαρκούν στην περίπτωση κατολισθήσεων μεγάλου μήκους (Μπουκουβάλας, 2006).

Οι δύο βασικές παραδοχές της μεθόδου αυτής είναι:

- 1. Οι πλευρικές δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε λωρίδα είναι ίσες
- **2.** Κατά την υφιστάμενη κατασκευή του πρανούς ικανοποιείται η ισορροπία των οριζόντιων δυνάμεων που ασκούνται στο εξεταζόμενο πρίσμα αστοχίας.

Η απλοποιημένη μέθοδος Janbu, είναι παρόμοια με του Bishop με τη διαφορά ότι ικανοποιεί ισορροπία δυνάμεων, στην οριζόντια διεύθυνση αντί για ισορροπία ροπών. Σημαντική διαφορά με τη μέθοδο Bishop αποτελεί ότι, γενικά δίνει μικρότερες τιμές του συντελεστή ασφαλείας (1.16) για κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης ενώ του Bishop 1.36, αν και η ισορροπία σε αυτή τη μέθοδο είναι καλύτερη. Η μείωση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι αφού η ισορροπία δυνάμεων είναι ευαίσθητη στην παρουσία των διατμητικών δυνάμεων μεταξύ των λωρίδων, αγνοώντας τις δυνάμεις αυτές, όπως στην μέθοδο Janbu (η οποία ικανοποιεί ισορροπία δυνάμεων) κάνει το συντελεστή ασφαλείας πολύ μικρό για κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης.



Εικόνα 3.13 Ανάλυση δυνάμεων σε μία λωρίδα, σύμφωνα με τη μέθοδο Janbu (Lambe and Withman, 1969).

3.7.2.4 Η γενικευμένη μέθοδος Janbu (Janbu's Generalized method)

Η γενικευμένη μέθοδος του Janbu (1954, 1957), είναι λίγο διαφορετική από τις άλλες μεθόδους οριακής ισορροπίας. Αυτή η μέθοδος θεωρεί μια κατανομή της τάσης σε κάθε λωρίδα, σύμφωνα με την οποία η συνισταμένη των δυνάμεων που δρουν μεταξύ των λωρίδων θεωρείται ότι έχει ως σημείο εφαρμογής το κατώτερο 1/3 της επιφάνειας επαφής των λωρίδων. Η γραμμή που διέρχεται από τα σημεία εφαρμογής των συνισταμένων όλων των λωρίδων κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης λέγεται «γραμμή ώθησης» (line of thrust). Θεωρώντας το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης είναι δυνατός ο υπολογισμός των διατμητικών δυνάμεων, λαμβάνοντας ροπές από το μέσο της βάσης της κάθε λωρίδας. Οι ορθές δυνάμεις υπολογίζονται μέσω της απλοποιημένης αυτής μεθόδου.

Η προσέγγιση αυτή λειτουργεί γενικώς, καλά εφόσον η πραγματική κατανομή των τάσεων στο έδαφος προσεγγίζει στη θεωρούμενη από τη μέθοδο κατανομή των τάσεων. Αυτό γενικά συμβαίνει όταν η επιφάνεια ολίσθησης δεν έχει απότομες αιχμές και το μήκος της είναι μεγάλο σε σχέση με το βάθος της. Οι απότομες αιχμές οδηγούν σε συγκεντρωμένες τάσεις σε κάποιες θέσεις, κάτι που δημιουργεί προβλήματα ακρίβειας και έλλειψη ισορροπίας δυνάμεων σε κάποιες λωρίδες.

3.7.2.5 Μέθοδος Spencer

Η μέθοδος Spencer, 1967, χρησιμοποιεί δύο εξισώσεις ισορροπίας (ροπών και δυνάμεων) και παράλληλα περιλαμβάνει όλες τις δυνάμεις που δρουν μεταξύ των λωρίδων, ορθές και διατμητικές. Η σχέση μεταξύ των δύο δυνάμεων είναι σταθερή για όλες τις λωρίδες και επιτυγχάνεται με μια επαναληπτική διαδικασία, με την οποία αλλάζει συνεχώς ο λόγος, μέχρι να προκύψει τιμή του FS τέτοια ώστε να ικανοποιούνται και οι δύο συνθήκες ισορροπίας.

Στην μέθοδο αυτή γίνεται η παραδοχή ότι οι πλευρικές δυνάμεις είναι παράλληλες, δηλαδή όλες οι πλευρικές δυνάμεις κλίνουν με την ίδια γωνία, λαμβάνοντας υπόψη διατμητικές και κανονικές δυνάμεις.

Παρόλο ότι ο Spencer εισήγαγε τη μέθοδο για κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης το 1969 ο Wright έδειξε ότι η μέθοδος μπορεί να επεκταθεί και σε μη κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ως μια από τις «αυστηρές» μεθόδους και θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου μια ολοκληρωμένη στατική λύση είναι απαραίτητη να δοθεί. Επίσης, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως μέθοδος επιβεβαίωσης σε τελικούς σχεδιασμούς, όπου έχει προηγηθεί η ανάλυση ευστάθειας με απλές μεθόδους (π.χ. Bishop, Janbu).

3.7.2.6 Μέθοδος Morgenstern – Price

Οι *Morgenstern & Price, 1965,* ανέπτυξαν μια μέθοδο όμοια με του Spencer, η οποία αποτελεί μια από τις ακριβέστερες μεθόδους και έχει εφαρμογή σε κάθε τύπου επιφάνεια ολίσθησης. Η μέθοδος αυτή, λαμβάνει υπόψη κανονικές και διατμητικές δυνάμεις, δίνοντας ένα πολύ ικανοποιητικό δυναμοπολύγωνο, παρέχοντας στον χρήστη την ευχέρεια για αλλαγή στην κλίση των πλευρικών δυνάμεων.

3.7.3 Γενική αξιολόγηση των μεθόδων οριακής ισορροπίας

Οι μέθοδοι ανάλυσης ευστάθειας πρανών με τις μεθόδους της οριακής ισορροπίας έχουν αρκετούς περιορισμούς. Οι περιορισμοί αυτοί πηγάζουν κυρίως από το γεγονός ότι οι μέθοδοι αυτοί βασίζονται στις αρχές τις στατικής, δηλαδή στη σύνθεση ροπών, οριζόντιων και κατακόρυφων δυνάμεων, αλλά δεν αναφέρονται καθόλου σε τοπικές παραμορφώσεις και μετατοπίσεις που λαμβάνουν χώρα εντός της κατολισθαίνουσας μάζας. Δεν περιλαμβάνουν δηλαδή, σχέσεις τάσεων - παραμορφώσεων. Αυτό έχει δύο κύριες επιπτώσεις:

- 1. Δεν μπορούν να υπολογιστούν τοπικές μεταβολές του συντελεστή ασφαλείας.
- 2. Η υπολογιζόμενη κατανομή των τάσεων είναι συχνά μη ρεαλιστική.

Παρόλα αυτά όμως, και με μη ρεαλιστικούς υπολογισμούς της κατανομής των τάσεων τα αποτελέσματα είναι ικανοποιητικά και χρησιμοποιούνται ευρέως από γεωλόγους και γεωτεχνικούς μηχανικούς. Αυτό οφείλεται στη θεμελιώδη παραδοχή ότι ο F.S. είναι ο ίδιος σε κάθε λωρίδα. Ο υπολογισμός του F.S. γίνεται με επαναληπτικές τεχνικές οι οποίες έχουν ως στόχο:

- Να βρουν τις δυνάμεις που δρουν σε κάθε λωρίδα, ώστε η λωρίδα να βρίσκεται σε ισορροπία δυνάμεων, και
- Να βρουν σε κάθε λωρίδα τις δυνάμεις εκείνες που θα κάνουν τον F.S. ίδιο για κάθε λωρίδα.

Αυτό σημαίνει ότι οι δυνάμεις που έχουν υπολογιστεί δεν είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικής κατάστασης, αλλά απλά ικανοποιούν τις δύο παραπάνω συνθήκες. Εφόσον το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός του F.S. και όχι η κατανομή των τάσεων, δεν ενδιαφέρει εάν η κατανομή των τάσεων είναι αντιπροσωπευτική ή όχι, με την προϋπόθεση όμως, ότι χρησιμοποιείται μια μέθοδος που ικανοποιεί όλες τις συνθήκες ισορροπίας (*Duncan, 1996*).

Συγκριτικές Ιδιότητες των Μεθόδων Οριακής Ισορροπίας						
Ιδιότητες	Fellenius	Bishop	Spencer	Morgenstern and Price		
Ακρίβεια		~	✓	✓		
Κυκλική επιφάνεια	\checkmark	✓	~	✓		
Μη κυκλική επιφάνεια			~			
Κατάλληλη για υπολογισμούς στο χέρι	√	~				

Πίνακας 3-2 Σύγκριση των Ιδιοτήτων των σημαντικότερων μεθόδων Οριακής Ισορροπίας.

Τα τελευταία 35 χρόνια έχουν παρουσιαστεί στην διεθνή βιβλιογραφία πολλές έρευνες σχετικά με την ακρίβεια των μεθόδων οριακής ισορροπίας. Οι έρευνες αυτές έχουν ασχοληθεί με τη λεγόμενη «υπολογιστική» ακρίβεια των μεθόδων, δηλαδή ερευνούσαν το πόσο ακριβείς είναι οι διάφορες μέθοδοι σε σχέση με τον τρόπο που χειρίζονται ένα συγκεκριμένο πρόβλημα. Από τις έρευνες αυτές βρέθηκε ότι η μέγιστη απόκλιση των συντελεστών ασφαλείας που έχουν υπολογιστεί με μεθόδους που ικανοποιούν όλες τις συνθήκες ισορροπίας είναι της τάξης του 12%, συνήθως λιγότερο. Έτσι, με μια ακρίβεια της τάξης του ±6%, συντελεστές ασφαλείας που υπολογίστηκαν με μέθοδο που ικανοποιεί όλες τις συνθήκες ισορροπίας μπορούν να θεωρηθούν σωστοί. Αυτό είναι πολύ σημαντικό πρακτικά, διότι η γεωμετρία του πρανούς, οι πιέσεις των πόρων, τα φαινόμενα βάρη και οι παράμετροι της διατμητικής αντοχής σπάνια μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια του ±6% (*Duncan, 1996*).

Η απλή μέθοδος των λωρίδων (Ordinary method of slices) είναι εξαιρετικά ανακριβής σε περιπτώσεις πρανών μικρής κλίσης με υψηλές πιέσεις πόρων και ανάλυση με αναφορά σε ενεργές τάσεις. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ ακριβής για αναλύσεις σε καθαρά συνεκτικά υλικά (φ=0°) και σχετικά ακριβής για περιπτώσεις κυκλικών επιφανειών ολίσθησης με αναφορά σε ολικές τάσεις.

Η μέθοδος του Bishop περιορίζεται μόνο σε κυκλικές επιφάνειες και έχει αριθμητικά προβλήματα κάτω από ορισμένες περιπτώσεις. Αν, για παράδειγμα ένας FS που έχει υπολογιστεί με την εν λόγω μέθοδο είναι μικρότερος από αυτόν της Ordinary μεθόδου για

τον ίδιο κύκλο ολίσθησης, αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν κάποια αριθμητικά προβλήματα, με τη χρήση της μεθόδου.

Οι F.S. που υπολογίζονται με τις μεθόδους που ικανοποιούν μόνο ισορροπία δυνάμεων είναι ευαίσθητες στην κλίση της συνισταμένης δύναμης που δρα μεταξύ των λωρίδων.

Τα αριθμητικής φύσης προβλήματα μπορούν να συναντηθούν σε όλες τις μεθόδους. Συχνά συνδέονται με πολύπλοκης γεωμετρίας επιφάνειες ολίσθησης (*Ching & Fredlund, 1983*). Προβλήματα συναντώνται επίσης, πολύ συχνά όταν υπάρχει ένα εδαφικό στρώμα υψηλής συνοχής στην επιφάνεια του εδάφους και τείνει να δημιουργηθεί διαστολή στα ανώτερα τμήματα της επιφάνειας ολίσθησης, ή όταν υπάρχει ένα στρώμα με πολύ μεγάλη γωνία τριβής στη βάση του πρανούς και η επιφάνεια ολίσθησης εξέρχεται μέσα από αυτό το στρώμα με πολύ μεγάλη γωνία κλίσης. Στην περίπτωση αυτή προσθέτοντας, εφελκυστική ρωγμή στην κορυφή του πρανούς ή οριζοντιώνοντας αντίστοιχα την επιφάνεια ολίσθησης στη βάση του πρανούς το πρόβλημα τις περισσότερες φορές λύνεται.

Οι περιορισμοί και οι ανακρίβειες των μεθόδων οριακής ισορροπίας δεν είναι μόνο όσοι αναφέρονται σε παραλείψεις και παραδοχές σχετικά με εξισώσεις της στατικής ή σε αριθμητικούς υπολογισμούς. Υπάρχουν επιπλέον παραδοχές και περιορισμοί για τους οποίους είναι σημαντικός ο υποκειμενικός παράγοντας και η ορθή κρίση του χρήστη. Και τούτο διότι, χάριν απλότητας και αποφυγής αριθμητικών λαθών σε μια ανάλυση ευστάθειας η γεωτεχνική τομή που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι όσο το δυνατόν απλοποιημένη. Αυτό σημαίνει ότι δεν λαμβάνονται υπόψη σημαντικά χαρακτηριστικά του υπό εξέταση πρανούς, όπως για παράδειγμα:

- Η ανομοιογένεια του σχηματισμού, δηλαδή αλλαγές της λιθολογικής σύστασης και της μηχανικής συμπεριφοράς τόσο κατά την κατακόρυφη όσο και κατά την οριζόντια έννοια.
- Η ανομοιογένεια στην κατανομή των πιέσεων του νερού των πόρων.
- Η φυσική κατάσταση του σχηματισμού, δηλαδή χαρακτηριστικά υφής και δομής, ο βαθμός διαγένεσης των ιζημάτων, η κοκκομετρική ταξιθέτηση και ο καταμερισμός του λεπτομερούς κλάσματος ανάμεσα στα χονδρότερα κλάσματα.
- Τυχόν επιφάνειες αδυναμίας, όπως για παράδειγμα μικρές ή μεγάλες διαρρήξεις ή ρήγματα μέσα στη μάζα του πρανούς.
- Η επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων, όπως η αποσαθρωσιμότητα και η διαβρωσιμότητα του σχηματισμού.

3.8 Μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης

Τα μέτρα προστασίας (remedial measures) έχουν ως βασικό στόχο την πρόληψη των κατολισθητικών φαινομένων, οπότε αναφερόμαστε σε προληπτικά μέτρα και την αποκατάσταση ή σταθεροποίηση μιας κατολισθητικής κίνησης, οπότε αναφερόμαστε σε μέτρα αποκατάστασης ή σταθεροποίησης. Σύμφωνα με τους Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007, τα μέτρα προστασίας διακρίνονται σε αυτά που λαμβάνονται για τα βραχώδη πρανή και σε εκείνα που λαμβάνονται για τα εδαφικά πρανή, αν και παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες, ενώ συχνά εμπλέκονται μεταξύ τους. Στις Εικόνες Εικόνα 3.14 και Εικόνα 3.15, που ακολουθούν παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα πιο συνήθη μέτρα προστασίας και σταθεροποίησης και εδαφικών πρανών.



Εικόνα 3.14 Μέτρα προστασίας βραχωδών πρανών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).



Εικόνα 3.15 Μέτρα προστασίας εδαφικών πρανών (Κούκης και Σαμπατακάκης, 2007).

4 Επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

4.1 Γεωμορφολογία περιοχής

Σύμφωνα με τον Σούλιο, 1975, η γεωμορφολογική εικόνα μιας περιοχής, είναι αποτέλεσμα της λιθολογικής της σύστασης, της τεκτονικής και της συνδυασμένης δράσης, των παραγόντων της διάβρωσης και της αποσάθρωσης. Ο ρόλος της γεωμορφολογίας επηρεάζει σημαντικά την διαμόρφωση των υδρογεωλογικών συνθηκών μιας περιοχής.

Η περιοχή μελέτης εντοπίζεται στην παράκτια ζώνη του Δυτικού τμήματος της Κορινθιακής τάφρου. Η Κορινθιακή τάφρος εκτείνεται σε μήκος 100km και πλάτος 40km, η οποία διαχωρίσει το προ-Νεογενές υπόβαθρο από τη Στερεά Ελλάδα και την Πελοπόννησο. Η δημιουργία της τάφρου ξεκίνησε στο Ανώτερο Πλειόκαινο λόγω της ταχείας έκτασης του φλοιού σε διεύθυνση Β – Ν και συνεχίστηκε κατά την διάρκεια του Πλειστοκαίνου.

Η γεωμορφολογική εξέλιξη της ευρύτερης περιοχής αποτελεί καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη της μορφολογίας του εδάφους καθώς επίσης, για τις συνθήκες σταθερότητας που επικρατούν στους γεωλογικούς σχηματισμούς. Το μορφολογικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής χαρακτηρίζεται από υψόμετρο 20 – 80m και ήπιες έως μεγάλες κλίσεις της τάξεις 5° - 50°.



Εικόνα 4.1 Άποψη της περιοχής από το google earth.

<u>Η ευρύτερη υπό μελέτη περιοχή είναι γεωμορφολογικά «ενεργή» με αποτέλεσμα την</u> <u>ύπαρξη απότομων φυσικών πλαγιών.</u> Εξαιρέσεις αποτελούν οι πεδινές περιοχές και τα επίπεδα τμήματα των θαλάσσιων αναβαθμίδων (Τυρρήνιο).

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται πλησίον της υδρολογικής λεκάνης του Σελινούντα ποταμού. Ο νομός Αχαΐας είναι ένας από τους πλέον ορεινούς νομούς της χώρας. Οι κυριότεροι ορεινοί όγκοι στην περιοχή έρευνας είναι:

- Ο Χελμός, στα Νοτιοανατολικά, με μέγιστο υψόμετρο 2320m.
- Το Παναχαϊκό, στο Δυτικό τμήμα, με μέγιστο υψόμετρο 1927m.
- Ο Ερύμανθος (Ωλονός), Νότια του Παναχαϊκού, με μέγιστο υψόμετρο 2224m.

Όλοι οι ορεινοί όγκοι έχουν γενική διεύθυνση αξόνων BBΔ – NNA, δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο των Αλπικών πτυχώσεων και δέχθηκαν επίσης, την επίδραση της μεταορογενετικής ανύψωσης, από το Πλειόκαινο έως σήμερα.

Η μορφολογική εξέλιξη της περιοχής μελέτης είναι συνυφασμένη με την τεκτονική δραστηριότητα Πλειο – Τεταρτογενούς ηλικίας στην περιοχή. Η νεοτεκτονική επέδρασε τόσο στο τύπο όσο και στο περιβάλλον απόθεσης των κλαστικών αποθέσεων, καθώς και στην διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Κατά την διάρκεια δημιουργίας της Κορινθιακής τάφρου, η τεκτονική ήταν ασθενής, το περιβάλλον λιμναίο έως λιμνοθαλάσσιο και ο ρυθμός ιζηματογένεσης χαμηλός, καθότι δεν ήταν ακόμη αναπτυγμένο το υδρογραφικό δίκτυο (*Zelilidis, 2000*). Προοδευτικά αυξήθηκαν οι ρυθμοί ανύψωσης, δημιουργήθηκαν τα κανονικά ρήγματα Δ – ΔΒ διεύθυνσης και στη συνέχεια τα κάθετα σε αυτά Β – ΒΑ διεύθυνσης ρήγματα μετασχηματισμού.

Η ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου είναι συνυφασμένη με την τελευταία περίοδο ανύψωσης. Η διεύθυνση ροή των ποταμών, όπως αναφέρθηκα και πρωτύτερα μεταβλήθηκε επανειλημμένως κατά τη διάρκεια των τεκτονικών διεργασιών.

Η ευρύτερη περιοχή μπορεί να διακριθεί σε δύο ενότητες με βάση τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά (*Zelilidis, 2000*):

 Ένα περιφερειακό λοφώδη και πεδινό τομέα, με υψόμετρο 0 – 600m περίπου. Αποτελείται από μεταλπικά ιζήματα, τα οποία περιβάλλουν τους ορεινούς όγκους του κεντρικού τομέα και παρατάσσονται σε Δ – ΒΔ διεύθυνση. Σε γενικές γραμμές η διεύθυνσή τους συμπίπτει με τη διεύθυνση των κύριων ρηγμάτων που έδρασαν στην περιοχή. Η συνέχεια της παράταξης αυτής διακόπτεται από ενδιάμεσες περιοχές, όπου παρατηρείται μια Β – ΒΑ παράταξη ανάγλυφου που είναι παράλληλη με εκείνη των ρηγμάτων μετασχηματισμού. Ο λοφώδης τομέας έχει ανυψωθεί κυρίως από τη δράση του ρήγματος της Ελίκης και παρουσιάζει αποστρογγυλωμένες κορυφές, σε αντίθεση με το πεδινό όπου επειδή η ανύψωση του τεμάχους του ρήγματος είναι πολύ μικρή παρατηρείται σχεδόν απουσία ανάγλυφου ιδίως στην παράκτια περιοχή. Κεφάλαιο 4° Επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

 Ένα κεντρικό τομέα που αποτελείται από τους ορεινούς όγκους του Παναχαϊκού, του Κλώκου και του Μπάρμπα που κυρίως συνίστανται από σχηματισμούς της ζώνης Ωλονού – Πίνδου, έχει υποστεί τεκτονική καταπόνηση και παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο και καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο. Η ζώνη πάνω από τα 1400m αναφέρεται σε σχηματισμούς του υποβάθρου, οι οποίοι επιδεικνύουν και αυτοί την ίδια παράταξη και την ίδια επιρροή από την τεκτονική δραστηριότητα που έλαβε χώρα στην περιοχή.

Ο ρυθμός ανύψωσης στην υπολεκάνη της Κορίνθου, μειώνεται με κατεύθυνση προς τα ανατολικά, από 2,2mm/yr, κοντά στο Αίγιο (*Poulimenos G., 1993*) και 1,5mm/yr στο κεντρικό σημείο της λεκάνης (*Doutsos, 1990*), καταλήγει στα 0,3-0,4mm/yr κοντά στη πόλη της Κορίνθου. Έτσι η επιφάνεια της Κάτω Πλειστοκαινικής θάλασσας, στο δυτικό παράκτιο τμήμα της Κορινθιακής τάφρου ήταν 280m, υπεράνω της σημερινής στάθμης, σύμφωνα με τον *Πουλημένος, 1991*, ενώ σύμφωνα με τον *Δούτσος, 2000*, οι ακτές της Πελοποννήσου έχουν υποστεί ανύψωση 600m, στη βάση του μεγάλου κανονικού ρήγματος. Στη Β. Πελοπόννησο η μεγαλύτερη βύθιση – ανύψωση παρατηρείται κατά μήκος των ακτών, κατά μήκος ενός μεγάλου περιθωριακού ρήγματος. Σύμφωνα με τους *Doutsos et al, 1990*, η συνολική ανύψωση υπολογίζεται σε 1000m, πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας.

Η ποσοστιαία κατανομή των κυριότερων διευθύνσεων του υδρογραφικού δικτύου της Αχαΐας παρουσιάζει τέλεια προσαρμογή με τις διευθύνσεις των ρηγμάτων της περιοχής. Αυτό συνεπάγεται γενετική σχέση της διάνοιξης των κοιλάδων με τα προϋπάρχοντα ρήγματα (Δούτσος, 1984).

Η αύξηση του ρυθμού ανύψωσης κατά το Τεταρτογενές, συνεπάγεται την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, που με τη σειρά του σχετίζεται με τα ποτάμια περιβάλλοντα ιζηματογένεσης, όπως εκείνο του δικτυωτού ποταμού, ή εκείνα των αλλουβιακών και δελταϊκών ριπιδίων, τα οποία είναι συνδεδεμένα με την Τεταρτογενούς ηλικίας ιζηματογένεση η οποία έλαβε χώρα στην περιοχή.

Η περιοχή έρευνας με βάση τον ρυθμό καθίζησης / ρυθμό ανύψωσης, μπορεί να διακριθεί σήμερα σε τρία τμήματα. Ένα υποθαλάσσιο τμήμα, όπου συντελείται έντονη καταβύθιση, με ρυθμό περίπου 1mm/yr, ενώ το δεύτερο τμήμα οριοθετείται από την υφαλοκρηπίδα προς Βορρά και το ρήγμα της Ελίκης προς Νότο, όπου συντελείται σχετική ανύψωση και ένα τρίτο τμήμα νότια του ρήγματος της Ελίκης, στο οποίο η ανύψωση, κυρίως στη βάση του ρήγματος είναι εντονότερη.

Σύμφωνα με τον (Zelilidis, 2000), λαμβάνοντας υπόψη ότι τα ανώτερα υψόμετρα βρίσκονται στα 2300m περίπου, μια μορφολογική περιοχή, ευρισκόμενη μεταξύ των υψομέτρων 0 – 600m περίπου, μπορεί να διακριθεί, όπου εντοπίζονται οι περισσότερες των Πλειο – Τεταρτογενών αποθέσεων, σε διεύθυνση Δ-ΒΔ, η οποία γενικά συμπίπτει με την διεύθυνση των κύριων κανονικών ρηγμάτων που έδρασαν στη περιοχή. Η συνέχεια της παράταξης αυτής διακόπτεται από ενδιάμεσες περιοχές, όπου παρατηρείται μια B-BA παράταξη ανάγλυφου, η οποία είναι παράλληλη με εκείνη των ρηγμάτων μετασχηματισμού. Η ζώνη πάνω από τα 1400m αναφέρεται σε σχηματισμούς του προ – νεογενούς υποβάθρου, οι οποίοι επιδεικνύουν και αυτοί την ίδια παράταξη και την ίδια επιρροή από την τεκτονική δραστηριότητα που έλαβε χώρα στη περιοχή. Συμπερασματικά, καταλήγουμε ότι η γεωμορφολογική εικόνα και γενικότερα η εξέλιξη των γεωμορφολογικών κύκλων, είναι απόρροια του γεωτεκτονικού καθεστώτος που επέδρασε τα τελευταία χρόνια στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα, οι ανοδικές τεκτονικές κινήσεις προκαλούν ανύψωση του νότιου τμήματος της περιοχής, με αποτέλεσμα τη διατήρηση ενός ισχυρού ανάγλυφου και την αναζωπύρωση της δράσης των εξωγενών παραγόντων. Λόγω αυτού, ο περιφερειακός λοφώδης τομέας όπου και εντοπίζονται τα κύρια ιζήματα, χαρακτηρίζεται από απότομες κλιτύες και την παρουσία κλάδων των υδρορρευμάτων που κατατάσσονται στο στάδιο νεότητας, ενώ ο κεντρικός τομέας κατατάσσεται σε ένα μεταβατικό στάδιο μεταξύ νεότητας και ωριμότητας.

Σύμφωνα με τον Πουλημένος, 1991, η περιοχή έρευνας αποτελεί μέρος κυρίως του δυτικού παράκτιου τμήματος της Κορινθιακής τάφρου και δευτερευόντως της λεκάνης ιζηματογένεσης του Βερίνου, που δημιουργήθηκε κατά την διάρκεια της Κάτω Πλειστοκαινικής βύθισης των παράκτιων περιοχών της Κορινθιακής τάφρου. Αναπτύχθηκε εντός μια Δ-ΒΔ τάφρου και πληρώθηκε από λιμναία – λιμνοθαλάσσια ιζήματα.

4.2 Γεωλογία ευρύτερης περιοχής

Η σύγχρονη γεωμορφολογική εικόνα της περιοχής είναι το σύνθετο αποτέλεσμα της γεωλογικής δομής (τεκτονικής – στρωματογραφικής διάρθρωσης) και των εξωγενών διεργασιών, που επέδρασαν επ' αυτής (κλιματολογικοί παράγοντες κλπ). Στην ευρύτερη περιοχή δύναται να διακριθούν δύο ενότητες:

- 1. Η ενότητα των σχηματισμών του υποβάθρου (Αλπικό υπόβαθρο).
- 2. Η ενότητα των σχηματισμών του επικαλύμματος (Μεταλπικοί σχηματισμοί).

4.2.1 Αλπικό υπόβαθρο

Οι γεωτεκτονικές ζώνες που δομούν τον Ελληνικό χώρο, παρουσιάζονται στην Εικόνα 4.2. Οι Ελληνικές οροσειρές με γενική διεύθυνση ανάπτυξης BBΔ – NNA, αποτελούν προέκταση του Διναρικού κλάδου, του Αλπικού ορογενετικού συστήματος. Η διάκριση του Ελληνικού γεωσυγκλίνου, που αποτελούσε τμήμα του μεγαλύτερου αλπικού γεωσυγκλίνου, σε γεωτεκτονικές ζώνες, έγινε για πρώτη φορά από τον *Aubouin, 1959*, και στηρίχθηκε αρχικά στην παλαιογεωγραφική ανάπτυξη υποθαλάσσιων δυαδικών συστημάτων, ραχών – αυλάκων, με διεύθυνση δομής εκείνη του Ελληνικού ορογενετικού τόξου. Σε κάθε ζώνη περιγράφεται ορισμένη στρωματογραφική αλληλουχία , στηριζόμενη στους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες των σχηματισμών που συμμετέχουν και στην ιδιαίτερη τεκτονική (θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών), συνδέουν ακόμα περισσότερο το συγκεκριμένο γεωσύγκλινο και τις συγκεκριμένες ζώνες, σε συγκεκριμένες παλαιογεωγραφικές θέσεις στη πορεία του γεωλογικού χρόνου, σε συγκεκριμένες δομές ανάπτυξης.

Ο Brunn, 1956, διέκρινε τις γεωτεκτονικές ζώνες σε δύο κύριες ομάδες: τις εξωτερικές και εσωτερικές. Η διάκρισή τους στηρίχθηκε κυρίως στο γεγονός ότι στις πρώτες εκδηλώθηκε μια μόνο κύρια ορογένεση (Αλπική), ενώ, στις δεύτερες εκδηλώθηκαν και οι πρώιμες Ανωιουρασικές – Κάτωκρητιδικές ορογενετικές κινήσεις.



Εικόνα 4.2 Γεωτεκτονική διάταξη των Ελληνίδων ζωνών Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη (Pe: Ζώνη Παιονία, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού – Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης, l: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα πλακώδων ασβεστόλιθων (Plattencalk). (Mountrakis et al, 1983).

Οι εξωτερικές ζώνες (Εικόνα 4.2), οι περισσότερες των οποίων συμμετέχουν στην δομή της Πελοποννήσου είναι:

- Ζώνη Παρνασσού Γκιόνας, αναπτύσσεται κυρίως στη Στερεά Ελλάδα και την Ανατολική Πελοπόννησο.
- Ζώνη Ωλονού Πίνδου, από τα αλβανικά σύνορα έως τη Κρήτη.
- Ζώνη Γαβρόβου Τριπόλεως, σε Ήπειρο, Στερεά Ελλάδα, Πελοπόννησο, Κρήτη.
- Ιόνιος ζώνη ή Αδριατικοϊόνιος, στη Δυτική Ελλάδα, Ήπειρο, Πελοπόννησο και τα Ιόνια νησιά.
- Ζώνη Παξών ή Προαπούλιος, σε τμήμα των Ιονίων νήσων.

4.2.2 Μεταλπικοί σχηματισμοί

Οι μεταλπικοί σχηματισμοί είναι στενά συνδεδεμένα με τις νεοτεκτονικές διεργασίες (Εικόνα 4.3). Ο ελληνικός χώρος, αποτελεί το νοτιότατο όριο της Ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας, κάτω από την οποία καταδύεται η Αφρικανική. Το σύστημα αυτό της σύγκρουσης και κατάδυσης των λιθοσφαιρικών πλακών, με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του, Ελληνικό τόξο – τάφρος – περιθωριακή λεκάνη Αιγαίου,

δημιουργήθηκε μετά το Μέσο Μειόκαινο, δηλαδή στο χρονικό διάστημα μεταξύ 5-10εκ. χρόνια και από τότε συνεχίζει να εξελίσσεται μέχρι σήμερα.

Αποτέλεσμα των συνθηκών αυτών ήταν ο ελλαδικός χώρος κατά την περίοδο αυτή (Νεογενές – Τεταρτογενές), να υποστεί διάφορες τεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού, με άμεση συνέπεια την πολλαπλή διάρρηξή του σε ένα ορθογώνιο σύστημα κανονικών ρηγμάτων. Η διάρρηξη αυτή, όπως ήταν φυσικό, είχε ως αποτέλεσμα την επίσης πολλαπλή εισβολή της θάλασσας στο χώρο αυτό και την απόθεση θαλάσσιων Νεογενών και Τεταρτογενών ιζημάτων. Παράλληλα κατά θέσεις υπήρξε απόθεση λιμναίων και χερσαίων ιζημάτων στις περιοχές απόσυρσης της θάλασσας, τόσο στο χώρο των Εσωτερικών ζωνών.



Εικόνα 4.3 Χάρτης με τις κυριότερες Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις του Ελληνικού χώρου. (Rondogianni, 1984)

Η Κορινθιακή τάφρος αποτελεί το μεγαλύτερο βύθισμα, έχει μήκος 100km και μέσο εύρος 40km. Διαχωρίζεται από ένα κύριο ληστρικό κανονικό ρήγμα, το οποίο διέρχεται κατά μήκος των νότιων ακτογραμμών του Κορινθιακού κόλπου, σε δύο επί μέρους τμήματα (Doutsos & Piper, 1990):

- Το βόρειο, που συμπίπτει με την οροφή του ρήγματος αυτού και καταλαμβάνεται από τη λεκάνη του Κορινθιακού κόλπου και,
- Το νότιο, που εντοπίζεται στο δάπεδο του κύριου ρήγματος και επί του οποίου αναπτύσσονται τα Πλειο – Τεταρτογενή ιζήματα των παράκτιων περιοχών της βόρειας Πελοποννήσου.

Ο Δούτσος, 2000, λαμβάνοντας υπόψη ότι το μέγιστο βάθος της τάφρου είναι περί τα 900m, τα μέγιστο ύψος των οροσειρών που την περιβάλλουν 2,5km, ο πυθμένας της τάφρου καλύπτεται από ύστερα του Άνω Πλειόκαινου ιζήματα πάχους 1km, υπολογίζει τεκτονική βύθιση 4,5km και ρυθμό βύθισης 1mm/yr. Γενικά, η τάφρος γίνεται ρηχότερη και

στενότερη από τα Ανατολικά προς τα Δυτικά, ενώ μειώνεται και η συσσώρευση ιζημάτων. Η δομή αύτη και η αντίστοιχη συσσώρευση των ιζημάτων, εξηγείται από την διαφορετικής ηλικίας διάνοιξη και μετεξέλιξη που ακολουθήθηκε στα διάφορα τμήματα της τάφρου και τη γενικά δεξιόστροφη κίνηση της Πελοποννήσου.

Στη συνέχεια κατά το Τεταρτογενές η Κορινθιακή τάφρος προελαύνει τεκτονικά προς τα δυτικά, ώστε να συναντήσει τη τάφρο του Ρίου – Αντίρριου (*Νίκας, 2004*).

Στο Κατώτερο Πλειστόκαινο ο χώρος που παλαιογεωγραφικά καταλάμβανε το συγκεκριμένο τμήμα βυθίστηκε υπό την επίδραση περιθωριακών ρηγμάτων και αποτέθηκαν ποταμολιμναία και λιμναία – λιμνοθαλάσσια ιζήματα.

Στο τέλος του Κατώτερου Πλειστόκαινου η περιοχή ανυψώθηκε σαν αποτέλεσμα της ανύψωσης του δαπέδου του ρήγματος, που διέρχεται κατά μήκος των νότιων ακτογραμμών του Κορινθιακού κόλπου και της δράσης ανυψωτικών ισοστατικών κινήσεων. Παράλληλα, άρχισαν ισχυρές κατακόρυφες κινήσεις εκατέρωθεν των περιθωριακών ρηγμάτων της τάφρου, οι οποίες συνοδεύτηκαν από την απόθεση των δελταϊκών ριπιδιακών ιζημάτων.

Κατά τη διάρκεια του Ανώτερου Πλειστοκαίνου η λεκάνη επεκτάθηκε προς το Νότο και περιορίστηκε από ρήγμα, ενώ ταυτόχρονα αποτέθηκε ο κύριος όγκος των δελταϊκών ιζημάτων. Συγχρόνως όμως ένα ενεργό παράκτιο ρήγμα προκάλεσε την απόθεση των αλλουβιακών ριπιδιακών ιζημάτων. Η κίνηση του ρήγματος αυτού συνεχίζεται και στο Ολόκαινο.

4.3 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Από τα αποτελέσματα του γεωερευνητικού προγράμματος προκύπτει πως στην ευρύτερη υπό μελέτη περιοχή δεν εντοπίζονται σχηματισμοί του Αλπικού υπόβαθρού, παρά μόνο Μεταλπικοί σχηματισμοί. Με βάση τα παραπάνω στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται οι κάτωθι γεωλογικοί σχηματισμοί:

• Πλειόκαινο – Πλειστόκαινο

Μάργες. Αποτελούν τον επικρατέστερο γεωλογικό σχηματισμό αποτελούμενες από λευκο – κίτρινες μάργες έως αμμώδεις μάργες, που συχνά πλευρικά εξελίσσονται σε ψαμμίτες, κροκαλοπαγή και μαργαϊκά κροκαλοπαγή. Συνήθως εμφανίζονται οριζόντια ή με κλίση 10 - 20°, σε όλες τις διευθύνσεις. Δύο συστήματα διακλάσεων σχεδόν κάθετα μεταξύ τους με επικρατούσες διευθύνσεις Β – Ν και Α – Δ, αντίστοιχα.

Ο εν λόγω σχηματισμός εμφανίζεται ως μέτρια αποσαθρωμένος ενώ όταν δεν καλύπτεται από βλάστηση εμφανίζει βαθιά χάσματα λόγω της χαμηλής αντίστασης του στη διάβρωση. Η επιφανειακή ζώνη είναι χαλαρή και αποσαθρωμένη ενώ συχνά καλύπτεται από αποσαθρωμένο μανδύα, ο οποίος δημιουργεί ασταθής ζώνες ιδιαίτερα σε πλαγιές με κλίση μεγαλύτερη των 20°.

Μάργες με παρεμβολές κροκαλοπαγών. Αποτελεί σχηματισμό παρόμοιο με τον σχηματισμό των μαργών με λεπτές στρώσεις κροκαλοπαγών και τοπικά χαλαρούς ψαμμίτες. Τα όρια με τις καθαρές μάργες είναι γενικά αόριστα.

Πλειοκαινικά κροκαλοπαγή. Μετρίως συγκολλημένα, άστρωτα ή με σταυρωτή στρώση, με κακώς προσανατολισμό των κροκάλων. Η επιφανειακή ζώνη των 5m εμφανίζεται περισσότερο συγκολλημένη. Τα κροκαλοπαγή κάτω από την επιφανειακή αυτή ζώνη είναι υψηλός αποσαθρωμένα μετατρέπονται σε χάλικες και άμμο.

Κροκαλοπαγή με παρεμβολές μαργών. Παρόμοιος σχηματισμός με τα Πλειοκαινικά κροκαλοπαγή, με ενστρώσεις μαργών και τοπικά λεπτής διαβάθμισης χαλαρή ψαμμίτες. Τα όρια μεταξύ των δύο σχηματισμών είναι γενικά ασαφή.

Εναλλαγές χαλαρών κροκαλοπαγών, άμμων – κροκάλων, χαλαρών ψαμμιτών και μαργών. Σε γενικό επίπεδο παρόμοια με το προηγούμενο σχηματισμό με πλευρικές αλλαγές στον μικρής συγκόλλησης σχηματισμό, όπου περιλαμβάνεται περισσότερο λεπτόκοκκο υλικό (αμμώδες, μαργώδες υλικό). Αποτελείται από χαλαρά κροκαλοπαγή έως άμμο – χάλικες, πάχους 0,5 – 2m, με εναλλαγές χαλαρών ψαμμιτών και μαργών. Σε κάθε περίπτωση επικρατεί η χονδρόκοκκη φάση.

Κροκαλοπαγή σε θαλάσσιες αναβαθμίδες (Τυρρήνιο). Αποτελούνται από κροκαλοπαγή σε μερικές περιπτώσεις εξαιρετικής συγκόλλησης, έως μέτριας – ελαφριάς, και περισσότερο ανομοιογενή σε σύγκριση με τα κροκαλοπαγή του Πλειστόκαινου. Το πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ 5 – 10m. Ο σχηματισμός καλύπτεται επιφανειακά με άμμους, ιλυο-αργιλώδη στρώμα με κατά θέσεις χάλικες (πάχους 0,5 – 2m) αποτέλεσμα της αποσάθρωσης των υποκείμενων σχηματισμών.

• Άνω Τεταρτογενής σχηματισμοί

Αποθέσεις κοιλάδας. Στα χαμηλότερα επίπεδα των κοιλάδων (τα οποία διατρέχουν κάθετα με τον άξονα του δρόμου), ποτάμιες αμμώδης – χαλικώδης αποθέσεις, οι οποίες καλύπτονται επιφανειακά με άμμους και ιλύς (πάχος 0,5 – 2m).

Επιφανειακή φυτική ζώνη, που υπέρκεινται των θαλάσσιων αναβαθμίδων. Αποτελείται από χώμα αμμώδους – ιλυώδους – αργιλώδους σύστασης με κατά θέσεις χάλικες καφέ έως γκρι χρώματος, με γενικό πάχος 0,5 – 2m.

Αποσαθρωμένα υλικά κλιτύος. Συναντώνται κυρίως στις φυσικές πλαγιές αποτελούμενα από μάργες με πάχος 1 – 3m. Είναι κατά βάση σταθερά και στην περίπτωση υγροποίησής τους παρουσιάζουν ερπυσμούς ή δίνουν αβαθής ολισθήσεις (ιδιαιτέρως όταν δεν καλύπτονται από βλάστηση).

Κορήματα ασβεστόλιθου. Εντοπίζονται στη βάση της ζώνης του ρήγματος της Ελίκης και αποτελείται από κορήματα ασβεστόλιθου με παρεμβολές αργίλου. Το πάχος τους κυμαίνεται από 2 – 5m.

Συνοψίζοντας, παρατηρούμε ότι στην περιοχή του έργου συναντώνται μόνο οι μαργαϊκοί σχηματισμοί, καθώς επίσης και μείγματα μαργαϊκών κροκαλοπαγών και αμιγώς κροκαλοπαγή υλικά, ως φακοί εντός του συνόλου. Στο Κεφάλαιο 5 δίνετε αναλυτικότερη προσέγγιση των εν λόγω σχηματισμών και από τεχνικογεωλογική άποψη.

4.4 Τεκτονική

Η υπό μελέτη περιοχή θεωρείται ενεργός από νεοτεκτονική άποψη λόγω της συνεχούς και έντονης δραστηριότητας, δεδομένης της Νεογενούς ηλικίας. Αυτό δε συνεπάγεται ότι τα ρήγματα αυτής της περιόδου θεωρούνται ενεργά και πιο συγκεκριμένα από κινηματικής άποψης. Σύμφωνα με σεισμικές μελέτες τα ρήγματα του Ξυλοκάστρου, Δερβενίου, Ελίκης και Αιγίου θεωρούνται ενεργά. Παρόλα αυτά συνεχής μετρήσεις δεν έχουν καταγράψει καμία κίνηση στα παραπάνω ρήγματα.

Το ρήγμα της Ελίκης (Εικόνα 4.4) παρουσιάζει χαρακτηριστική κατοπτρική επιφάνεια στην υπό μελέτη περιοχή με στοιχεία προσανατολισμού 50 - 60° B – BA (020° – 030°/55°) και γραμμές ολίσθησης κάθετες στο επίπεδο του. Δεν παρουσιάζει ενιαία δομή, αλλά αποτελείται από παράλληλα ρήγματα, ανάντη και κατάντη της υπό μελέτης περιοχής.



Εικόνα 4.4 Το σύστημα ρηγμάτων της Ελίκης (Mc Neill & Collier, 2004).

Οι Πλειοκαινικοί σχηματισμοί (μάργες και αμμώδης μάργες), συνήθως εμφανίζονται οριζόντιοι ή με κλίση 10 - 20° και τέμνονται σχεδόν κάθετα από τις διακλάσεις. Δύο συστήματα διακλάσεων αναπτύσσονται με διεύθυνση Β – Ν και Α – Δ, με κλίση 70 – 90°.

Μετά το Μέσο Μειόκαινο όλη η περιοχή υπέστη μια γενική ανύψωση και επιμήκυνση. Κατά τη διάρκεια της επιμήκυνσης σχηματίστηκαν τρία ασύμμετρα graben, της Κορίνθου, του Ρίου και της Πάτρας. Η ασυμμετρία αυτών επιφέρει το βόρειο βύθισμα των κύριων ρηγμάτων παράλληλα προς την ακτογραμμή της Βόρειας Πελοποννήσου (*Koukouvelas I.K., 2001*).

Στο δυτικό χερσαίο τμήμα της Κορινθιακής τάφρου τριάντα είναι τα κύρια ρήγματα μήκους 2 έως 40km, που κατά την εξέλιξη της τάφρου αποτέλεσαν τα εκάστοτε περιθώρια των επιμέρους λεκανών ιζηματογένεσης και επομένως προκάλεσαν την απόθεση ή απλά έτμησαν διαφορετικές φάσεις των Πλειο – Τεταρτογενών ιζημάτων (Πουλημένος, 1991). Τα ρήγματα αυτά εμφανίζουν μεταβαλλόμενο κατακόρυφο άλμα κατά το μήκος τους, επειδή τέμνονται είτε μεταξύ τους είτε με άλλα.

Στα Πλειο – Τεταρτογενή ιζήματα της Κορινθιακής τάφρου αναγνωρίστηκαν δύο ορθογώνια συστήματα ρηγμάτων (Εικόνα 4.6, *Πουλημένος, 1991*). Ένα κύριο σύστημα Δ – ΒΔ διεύθυνσης κανονικών ρηγμάτων ληστρικής γεωμετρίας και Β – ΒΑ διεύθυνσης ρηγμάτων μετασχηματισμού με κανονικό έως πλάγιο χαρακτήρα κίνησης και πλάγιο έως οριζόντιο χαρακτήρα κίνησης.

Το κατακόρυφο άλμα, των μεγάλης κλίμακας, κυρίως Δ – ΒΔ διεύθυνσης ρηγμάτων, όπως υπολογίζεται από το άθροισμα του ορατού πάχους των αποτιθέμενων στην οροφή τους

Πλειο – Τεταρτογενών ιζημάτων και του ύψους των απόκρημνων ρηξιγενών πρανών τους (Πουλημένος, 1991), μεταβάλλεται κατά μήκους του ίδιου ρήγματος και μειώνεται από τις ακτές του Κορινθιακού κόλπου προς το προ-Νεογενές υπόβαθρο, από 800m σε 350m. Τα Α – ΒΑ και Β – ΒΔ ρήγματα διαμορφώνουν μικρές και ασύμμετρες τάφρους. Η σχετική κίνηση ενός Δ – ΒΔ κανονικού ρήγματος και Β – ΒΑ ρηγμάτων μετασχηματισμού με ανατολικές κλίσεις, προκαλεί την προς Ανατολή αύξηση του άλματος του πρώτου.



Εικόνα 4.5 Χάρτης με τα κύρια χαρακτηριστικά της ενεργού τεκτονικής του Ελληνικού τόξου και του ευρύτερου Αιγιακού χώρου. (Μουντράκης, 1985). Με κόκκινο κύκλο σημειώνεται η περιοχή μελέτης.





Εικόνα 4.6 Τρισδιάστατα σχηματικά διαγράμματα που αναλύουν τη σχετική κίνηση BBA ρηξιγενών τεμαχών επί ΔΒΔ κανονικών ληστρικών ρηγμάτων. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν γραμμές ολίσθησης (Πουλημένος, 1991)

Σύμφωνα με τους Koukouvelas et al, 2001, η ισχυρή ενεργή παραμόρφωση της περιοχής αποδεικνύεται από ιστορικούς σεισμούς και καταγραφές των ενεργών ολισθήσεων κατά τη διάρκεια των σεισμικών γεγονότων του 1961 και 1995. Τα κανονικά ρήγματα του Αιγίου και της Ελίκης είναι τα νοτιότερα δύο ρήγματα που επιδρούν στη δυτική ακτή του Κορινθιακού κόλπου.

Το <u>ρήγμα της Ελίκης</u> είναι υπεύθυνο για τον καταποντισμό και εξαφάνιση της ομώνυμης αρχαίας πόλης το 373π.Χ. έπειτα από σεισμό μεγέθους 6,7R, ενώ από την επαναδραστηριοποίηση του 1861 προκλήθηκε σεισμός 6,2R.Το μήκος του φθάνει τα 40km, περιλαμβάνει ένα αριθμό μικρότερων ρηγμάτων και έχει την μεγαλύτερη επιφανειακή εμφάνιση κατά μήκος του δυτικού τμήματος του Κορινθιακού κόλπου.

Το <u>ρήγμα του Αιγίου</u> είναι υπεύθυνο για το σεισμό του 1995 μεγέθους 6,3R, φθάνει το μήκος των 12km και εκτείνεται πέρα από την ακτή στη θάλασσα, ενώ επιδρά στη γεωμορφολογία των ακτών και παίζει σημαντικό ρόλο στην κατανόηση της εξέλιξης της περιοχής κατά το Τεταρτογενές.

Η δομική σχέση μεταξύ αυτών των δύο κανονικών ρηγμάτων δημιουργεί μια μεταβατική ζώνη που ταπεινώνει την περιοχή προς την Ανατολή. Η ζώνη αυτή έχει επίδραση στην κάμψη των ποταμών και στην αλλαγή της ροής τους. Επιπλέον, παρατηρείται ανύψωση των τεμαχών των ρηγμάτων, των ποτάμιων αναβαθμίδων και των ακτών, καθώς και απότομη ανύψωση των σύγχρονων δελταϊκών ριπιδίων, ύπαρξη υποθαλάσσιων και χερσαίων κατολισθήσεων και τομή των κοιλάδων. Τα δύο αυτά ρήγματα παρουσιάζουν υψηλή σεισμική δραστηριότητα (Koukouvelas et al, 2001).





Εικόνα 4.7 Γεωλογικός χάρτης του δυτικού παράκτιου τμήματος της Κορινθιακής τάφρου και της λεκάνης του Βέρινου. Σύμβολα χάρτη: 1. Ολοκαινικοί σχηματισμοί, 2. Θαλάσσιες αναβαθμίδες, 3. Αποθέσεις αλλουβιακών ριπιδίων, 4. Αποθέσεις δελταϊκών ριπιδίων, 5. Ιζήματα ανώτερης ριπιδιακής ζώνης, 6. Λιμναίες – λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις, 7. Ποταμολιμναίες αποθέσεις, 8. Προ-Νεογενές υπόβαθρο, 9. Ρήγμα, 10. Ρήγμα όπου η οδόντωση δείχνει το βυθιζόμενο τέμαχος. L1-L4: κύρια ΔΒΔ κανονικά ρήγματα, T1-T7: κύρια BBA ρήγματα μετασχηματισμού. Με κόκκινο κύκλο σημειώνεται η περιοχή μελέτης. (Poulimenos et al, 1993)

4.5 Σεισμικότητα

Σεισμολογικά η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγάλη σεισμική δράση και έχει δώσει αρκετά μεγάλους σεισμούς και μάλιστα στο εγγύς παρελθόν. Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζεται η σεισμικότητα της περιοχής στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Παρατηρείται ότι, επικρατεί έντονη σεισμική δράση, με σεισμούς μικρού εστιακού βάθους, συνήθως 6-10km, πιο σπάνια έως 40km. Το μέγεθος των σεισμών, δεν ξεπερνά συνήθως τα 3R, ενώ σπάνια φτάνει τα 4R.

Κεφάλαιο 4° Επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Εικόνα 4.8 Σεισμογραφικός Χάρτης της περιοχής μελέτης, από δεδομένα του Σεισμολογικού σταθμού του Πανεπιστημίου Πατρών. Περίοδος 2009 – 2011.

Με βάση το Ν.Ε.Α.Κ. (Νέο Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, ΦΕΚ 1154 12/8/2003), η χώρα υποδιαιρείται σε τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας Ι, ΙΙ, ΙΙΙ τα όρια των οποίων καθορίζονται στο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας (Εικόνα 4.9).

Σε κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας αντιστοιχεί μια τιμή σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους $A = \alpha \cdot g$ (g: επιτάχυνση βαρύτητας), σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας	I	II	111
α	0,16	0,24	0,36

Πίνακας 4-1 Τιμές σεισμικών επιταχύνσεων για κάθε ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας.

Οι τιμές των σεισμικών επιταχύνσεων εδάφους του παραπάνω πίνακα εκτιμώνται σύμφωνα με τα σεισμολογικά δεδομένα ότι έχουν πιθανότητα υπέρβασης 10% στα επόμενα 50 χρόνια. **Σύμφωνα με τον Ε.Α.Κ. 2000, η ευρύτερη περιοχή ανήκει στη ζώνη ΙΙ.**

Αξίζει να σημειωθεί, ότι ο σχεδιασμός τεχνικών έργων θα πρέπει να βασίζεται στις σχετικές διατάξεις, οι οποίες προβλέπουν πιο συντηρητικές προδιαγραφές σχετικά με το σεισμικό σχεδιασμό των μόνιμων κατασκευών. Για σημαντικές κατασκευές, όπως για παράδειγμα οι σήραγγες ο παραπάνω συντελεστής θα πρέπει να αυξηθεί κατά ένα συντελεστή 1.3 (δηλαδή, α=0,31) (ΟΤΜ, 2008).



Εικόνα 4.9 Χάρτη ζωνών Σεισμικής Επικινδυνότητας (ΕΑΚ 2000). Με κόκκινο κύκλο επισημαίνεται η θέση μελέτης.

4.6 Υδρολογία - Υδρογεωλογία

Για την καλύτερη προσέγγιση σε σχέση με την υδρολογία και την υδρογεωλογία της περιοχής, πρέπει αρχικά να προσδιοριστούν μια σειρά παράγοντες, στην ευρύτερη περιοχή μελέτης. Πιο αναλυτικά χρειάζεται να εξεταστούν

- Μετεωρολογικά στοιχεία της ευρύτερης περιοχής, ώστε να παρουσιαστούν οι ποσότητες του διαθέσιμου νερού.
- 2. Στοιχεία τα οποία αφορούν τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και τα υπόγεια νερά της περιοχής, τα οποία συνδέονται άμεσα με τη λιθολογία και τη στρωματογραφία της περιοχής.

4.6.1 Κλίμα της ευρύτερης περιοχής

Οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής μελέτης εξετάζονται στα πλαίσια μελέτης του κλίματος του Νομού Αχαΐας. Η Αχαΐα, όπως έχει αναφερθεί βρίσκεται στο ΒΔ άκρο της Πελοποννήσου και βρέχεται από το Ιόνιο πέλαγος (δυτικά) και τους κόλπους Πατραϊκό και Κορινθιακό (βόρεια). Το εσωτερικό καλύπτεται από ορεινούς όγκους με μέγιστο υψόμετρο 1500-2000m. Το κλίμα στη περιοχή χαρακτηρίζεται εύκρατο έως Μεσογειακό στα παράκτια τμήματα και ηπειρωτικό στο εσωτερικό και ορεινό τμήμα του νομού.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι της τάξης των 17°-18°C στην παράκτια περιοχή και χαμηλότερη στα ορεινά τμήματα. Το χειμώνα στην περιοχή μελέτης η θερμοκρασία είναι

μεγαλύτερη από άλλες περιοχές της Πελοποννήσου, γιατί επηρεάζεται περισσότερο από τους δυτικούς ανέμους παρά από βόρειους, που είναι ψυχρότεροι, καθώς «προστατεύεται» από τις οροσειρές της Στερεάς Ελλάδας. Στο ορεινό τμήμα του νομού Αχαΐας, η εποχή του χειμώνα έχει μεγαλύτερη διάρκεια με παγετούς και πολλά χιόνια.

4.6.2 Μετεωρολογικά δεδομένα - Θερμοκρασία της ευρύτερης περιοχής

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των βροχομετρικών στοιχείων όπως καταγράφηκαν από το μετεωρολογικό σταθμό της EMY στο Αίγιο, για τη περίοδο 1991-2006. Στο διάγραμμα (Εικόνα 4.10) που ακολουθεί παρουσιάζονται οι μέσες τιμές ανά μήνα την περίοδο αυτή.

Παρατηρείται ότι τα υψηλότερα επίπεδα βροχόπτωσης σημειώνονται τους χειμερινούς μήνες και πιο χαρακτηριστικά τους μήνες Οκτώβριο έως Δεκέμβριο, σε αντίθεση με τους θερινούς μήνες που τα στοιχεία δείχνουν πολύ χαμηλότερες συγκριτικά τιμές.



Εικόνα 4.10 Μέσο μηνιαίο ύψος βροχής σε mm για την περιοχή μελέτης.

Από τη μέση μηνιαία θερμοκρασία (Εικόνα 4.11) παρατηρείται ότι το κλίμα στην περιοχή μελέτης είναι εύκρατο με θερμότερη εποχή του καλοκαίρι και ψυχρότερη το χειμώνα. Χαρακτηριστικό είναι ότι το φθινόπωρο είναι θερμότερο της άνοιξης όπως συμβαίνει σε όλη τη χώρα λόγω των ψυχρών βόρειων ανέμων. Η θερμοκρασία κατά την ψυχρή εποχή σπάνια φτάνει στα παράκτια τμήματα κάτω από το μηδέν, και αυτό μόνο τους μήνες Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο.

Κεφάλαιο 4° Επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης



Εικόνα 4.11 Μέση μηνιαία θερμοκρασία σε °C για τη περιοχή μελέτης.

4.6.3 Υδρογεωλογικές συνθήκες

4.6.3.1 Επιφανειακή Υδρολογία

Η κατανομή του νερού στα φυσικά συστήματα μπορεί να περιγραφεί σε γενικές γραμμές από την μαθηματική έκφραση:

$P=R+E+I+\Delta W+\Delta q+Q$

Όπου:

P: τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

R: η επιφανειακή απορροή

Ε: η πραγματική εξατμισοδιαπνοή

Ι: η κατείσδυση

ΔW: η διαφορική αποθήκευση νερού στη γη

Δq: προσφορές και απολείψεις νερού από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις

Q: η εξωτερική τροφοδοσία του υδρολογικού συστήματος

Με την προϋπόθεση ότι οι υδρολογικές λεκάνες αποτελούν αυτοτελή συστήματα και ότι, οι ανθρώπινες παρεμβάσεις και οι μεταβολές στα υπόγεια αποθέματα είναι αμελητέες, οι παράγοντες ΔW, Δq, q παραλείπονται, και η σχέση παίρνει τη μορφή:

P=E+R+I

Δηλαδή, το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, σε μια υδρολογική λεκάνη, ισούται με το άθροισμα των αντίστοιχων υψών, των παραγόντων της επιφανειακής απορροής, της εξατμισοδιαπνοής και της κατείσδυσης στη λεκάνη αυτή.

Για την εκτίμηση των επιφανειακών υδρολογικών συνθηκών της περιοχής, γίνεται προσπάθεια εκτίμησης των πιο πάνω παραμέτρων. Η στενή περιοχή μελέτης δεν ανήκει σε κάποιο σύστημα υδρολογικής λεκάνης, με αποτέλεσμα να μην τροφοδοτείται επιφανειακά από κάποιο παρακείμενο υδατορέμμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ποσοστά της επιφανειακής απορροής να παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές. Όπως φαίνεται και στον χάρτη της Εικόνα 4.12, η επιφανειακή απορροή ανέρχεται σε 0-50mm.



Εικόνα 4.12 Χάρτης της κατανομής της επιφανειακής απορροής (τροποποιημένος, από Νίκας, 2004).

Αντιστοίχως, στο χάρτη της Εικόνα 4.13, παρουσιάζεται η κατανομή της εξατμισοδιαπνοής, η οποία στην θέση μελέτης παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές της τάξης των 531-537mm. Γεγονός το οποίο έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα μέτρησης στάθμης, όπως προέκυψαν κατά την εκτέλεση του γεωερευνητικού προγράμματος. Το νερό που προέρχεται από τα κατακρημνίσματα, δεν προλαβαίνει να εμπλουτίσει τον υπόγειο υδροφορέα στη θέση αυτή, λόγω των υψηλών τιμών εξατμισοδιαπνοής, με αποτέλεσμα η στάθμη να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, λαμβανομένου αυτού του παράγοντα.



Εικόνα 4.13 Χάρτης κατανομής της εξατμισοδιαπνοής (τροποποιημένος από Νίκας, 2004).

Τέλος, στον χάρτη της Εικόνα 4.14, δίνεται η κατανομή της κατείσδυσης, η οποία ακολουθεί και αυτή τις ίδιες χαμηλές τιμές κυμαινόμενη από 105 – 150mm, στη περιοχή μελέτης.

Συνοψίζοντας, τα παραπάνω, είναι δυνατό να χαρακτηρίσουμε τη περιοχή ως στεγνή από άποψη επιφανειακών υδατικών συνθηκών, γεγονός που οφείλεται, όπως ήδη αναφέρθηκε στο ότι δεν αποτελεί τμήμα υδρολογικής λεκάνης, με αποτέλεσμα να είναι χαμηλές οι τιμές των παραμέτρων του υδρολογικού ισοζυγίου.

4.6.3.2 Υδρογεωλογία

Με τον όρο υδρογεωλογική συμπεριφορά εννοείται η ικανότητα του κάθε γεωλογικού σχηματισμού να μεταβιβάζει και να αποθηκεύει υπόγειο νερό (να σχηματίζει δηλαδή υδροφορία), ιδιότητες που καθορίζονται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά, υδροπερατότητα (k), μεταβιβαστικότητα (T), υδροχωρητικότητα (S), αλλά και τον μηχανισμό με τον οποίο πραγματοποιούνται οι παραπάνω διεργασίες (ενδοκοκκώδης ροή – πρωτογενής υδροπερατότητα ή ροή μέσω ασυνεχειών – δευτερογενής υδροπερατότητα.

Στη περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τον Νίκα, 2004, απαντώνται υδροφόροι χωρίς πρακτική σημασία ή μη υδροφόροι σχηματισμοί. Πιο συγκεκριμένα λιμναίες, λιμνοθαλάσσιες και ποταμολιμναίες αποθέσεις τους Πλειο-Πλειστοκαίνου. Πρόκειται για εναλλαγές αργίλων, πηλών, άμμων, κροκαλοπαγών και μαργών με επικράτηση γενικά του λεπτομερούς κλάσματος. Στους σχηματισμούς αυτούς δεν αναμένεται, ούτε έχει διαπιστωθεί υδροφορία,

Κεφάλαιο 4° Επισκόπηση των γεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής μελέτης

εκτός από την ύπαρξη κάποιων κρεμαστών υδροφόρων εντός των φακών των κροκαλοπαγών, έτσι μπορεί να θεωρηθούν εν γένει πρακτικά στεγανοί σχηματισμοί. Στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελούν το στεγανό υπόβαθρο των προσχωματικών υδροφόρων του Ολοκαίνου, αλλά και των μικρότερης δυναμικότητας υδροφόρων των κροκαλοπαγών του Πλειστοκαίνου.

Το παραπάνω διαπιστώνεται και από τις πολύ χαμηλές τιμές της υδροπερατότητας, όπως υπολογίστηκαν από δοκιμές εισπιέσεων που διεξήχθησαν κατά την φάση εκτέλεσης των γεωτρήσεων. Τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται και αναλύονται στο επόμενο κεφάλαιο (Κεφάλαιο 5), καθώς η γνώση της υδρολιθολογικής συμπεριφοράς των σχηματισμών βοηθάει, στην καλύτερη προσέγγιση της συμπεριφοράς αυτών κατά την εκτέλεση ενός τεχνικού έργου.



Εικόνα 4.14 Χάρτης κατανομής της κατείσδυσης (τροποποιημένος, από Νίκας, 2004).
5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό πρόκειται να αναλυθούν τα δεδομένα που προέκυψαν από την γεωτεχνική έρευνα με σκοπό την διάκριση των επί μέρους τεχνικογεωλογική ενοτήτων, ώστε να γίνει δυνατή η ανάλυση της ευστάθειας του διαμορφωμένου πρανούς η οποία θα ακολουθήσει στο επόμενο κεφάλαιο.

Τα δεδομένα τα οποία ήταν διαθέσιμα από το υφιστάμενο γεωερευνητικό πρόγραμμα συμπεριλαμβάνουν δεκαπέντε (15) δειγματοληπτικές γεωτρήσεις καθώς και σειρά επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων. Στην Εικόνα 5.1, παρουσιάζεται η οριζοντιογραφία της περιοχής με τις γεωτρήσεις, που διενεργήθηκαν, καθώς επίσης, τα σημεία προβολής των κατασκευασμένων τεχνικογεωλογικών τομών.

Πιο συγκεκριμένα στον ακόλουθο πίνακα (Πίνακας 5-1), παρουσιάζονται οι γεωτρήσεις με την χωρική τους τοποθέτηση (συντεταγμένες), την χιλιομετρική τους θέση, σε σχέση με την αρίθμηση της χάραξης της νέας οδοποιίας και την εγκατάσταση ή όχι οργάνου μέτρησης εντός της υφιστάμενης γεώτρησης.

Κωδικός	Χιλιομετρική	Συντεταγμένες				'O
Γεώτρησης	θέση	Х	Y	Z	Βαθος(m)	Οργανο μετρησης
BH33	81+094	336744,00	4230112,00	64,50	17,20	Πιεζόμετρο
E1-B3	81+166	336724,00	4230190,00	51,50	20,00	»
Г126	81+207,57	336636,00	4230137,00	72,00	25,00	»
C23A-B1	81+209,81	336672,00	4230190,00	55,00	30,00	»
PR027	81+261,12	336635,00	4230228,00	58,50	20,07	
BH34	81+295,77	336606,00	4230248,00	62,50	15,00	Πιεζόμετρο
C23A-B3	81+317,36	336596,00	4230274,00	47,00	35,00	»
C23A-B2	81+319,66	336577,00	4230243,00	69,50	55,00	
Г127	81+334,38	336536,00	4230197,00	82,00	25,20	
CT-B1	81+449	336449,00	4230300,00	66,50	30,00	Πιεζόμετρο
BH-213	81+477	336437,00	4230302,00	66,00	25,00	
CT-B2	81+480	336434,00	4230284,00	73,50	35,00	
E1-B4	81+493	336445,00	4230378,00	43,00	20,00	
Г128	81+537	336390,00	4230352,00	45,00	15,65	Πιεζόμετρο
E1-B5	81+678	336352,00	4230413,00	43,00	25,00	»

Πίνακας 5-1 Κωδικοί και συντεταγμένες γεωτρήσεων, γεωερευνητικού προγράμματος.



Εικόνα 5.1 Κάτοψη της περιοχής μελέτης με σημειωμένες τις θέσεις των γεωτρήσεων. Με κίτρινο χρώμα είναι σημειωμένη η θέση του πρανούς και η θέση των κατασκευασμένων τομών.

5.2 Μακροσκοπική περιγραφή, των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων

Για την ανάλυση και την επί μέρους διάκριση των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, ως πρώτο και βασικό στοιχείο αποτελεί η μακροσκοπική περιγραφή των δειγμάτων όπως αυτά αναγνωρίστηκαν κατά την φάση εκτέλεσης των γεωτρήσεων. Στη συνέχεια παρατίθενται οι πίνακες στους οποίους περιλαμβάνονται όλες οι μακροσκοπικές περιγραφές. (Πίνακας 5-2 - Πίνακας 5-16).

<u>Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περιοχή μελέτης επικρατούν οι Πλειοκαινικοί, Πλειο –</u> Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί των μαργών και κροκαλοπαγών.

Κωδικός	Βάθος		Λιθολονική Περινοαφή
Γεώτρησης	Από	Έως	
	0,00	4,00	Καφέ έως μπεζ-καφέ <i>,</i> ιλυοαργιλώδης Άμμος με χάλικες.
	4,00	10,50	Καφέ, πολύ στιφρή έως σκληρή, ισχνή Άργιλος (CL) με λεπτή άμμο, χαμηλής πλαστικότητας με κατά θέσεις λεπτούς χάλικες.
ВН33	10,50	13,00	Καφέ, πολύ πυκνή, αργιλώδης Άμμος με τοπικά λεπτούς χάλικες.
	13,00	15,00	Καφέ, πολύ πυκνή, ιλυοαργιλώδης Άμμος με χάλικες.
	15,00	16,40	Καφέ, ισχνή Άργιλος (CL) , μέσης πλαστικότητας.
	16,40	17,20	Καφέ, αργιλώδης Άμμος με χάλικες.

5.2.1 Γεώτρηση BH33

Πίνακας 5-2 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης BH33.

Στην γεώτρηση BH33, όπως παρατηρούμε από τον Πίνακας 5-3, είναι σαφή η διάκριση δύο διαφορετικών οριζόντων. Στα βάθη 4-10,5m και 15,0-17,20 επικρατεί αργιλικής σύστασης υλικό, στιφρό έως σκληρό, χαμηλής πλαστικότητας, ενώ στα ενδιάμεσα τμήματα υπάρχουν παρεμβολές οριζόντων κροκαλοπαγούς, με την επικράτηση χαλικών με αμμώδες συνδετικό υλικό. Ο ορίζοντας αυτός παρουσιάζει πυκνή έως πολύ πυκνή δομή με εξαίρεση το επιφανειακό κομμάτι, που παρουσιάζει πιο χαλαρή δομή εξαιτίας της έκθεσης στις επιφανειακές συνθήκες.

Κωδικός	Βάθος		Διθολονική Πεοινοαφή
Γεώτρησης	σης Από Έως		
	0,00	2,80	Ανοιχτοκάστανοι, πολύ πυκνοί, γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις, αμμώδεις Χάλικες ασβεστολιθικής
E1-B3	2,80	20,00	Κιτρινοκάστανη έως καστανή, πολύ συνεκτική έως σκληρή Άργιλος (CL) χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με άμμο και γωνιώδεις έως υπογωνιώδεις χάλικες ασβεστολιθικής σύστασης.

5.2.2 Γεώτρηση E1-B3

Πίνακας 5-3 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Ε1-Β3.

Στην γεώτρηση E1-B3, η στρωματογραφία παρουσιάζεται στο Πίνακας 5-3. Στην Εικόνα 5.2 παρουσιάζεται η φωτογραφική αποτύπωση από τους πυρήνες της γεώτρησης όπως προέκυψαν. Είναι σαφής η επικράτηση αργιλικού υλικού, σχεδόν σε όλο το τμήμα, με εξαίρεση, τα πρώτα 2,8m, όπου επικρατεί χαλικώδες υλικό. Η άργιλος παρουσιάζεται σκληρή με χαμηλή έως μέση πλαστικότητα, ενώ εμφανίζει σποραδικούς χάλικες. Με την αύξηση του βάθους δεν παρατηρείται αλλαγή στην εμφάνιση της αργίλου παρουσιάζοντας σε όλο το μήκος παρόμοιες μακροσκοπικές ιδιότητες.



Γεώτρηση E1 – B3. Βάθος: 0,00-5,00m



Γεώτρηση E1 – B3. Βάθος: 5,00-10,00m



Γεώτρηση E1 – B3. Βάθος: 10,00-15,00m



Γεώτρηση E1 – B3. Βάθος: 15,00-20,00m

Εικόνα 5.2 Δειγματοληψία γεώτρησης Ε1 – Β3.

5.2.3 Γεώτρηση Γ126

Κωδικός	ωδικός Βάθος		Λιθολονική Πεοινοαφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
Г126	0,00	25,00	Καφέ, πολύ στιφρή έως σκληρή Άργιλος , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με κατά τόπους χάλικες.	

Πίνακας 5-4 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Γ126.

Στον Πίνακας 5-4, παρουσιάζεται η στρωματογραφία όπως προέκυψε κατά την εκτέλεση της γεώτρησης Γ126. Αξίζει να σημειωθεί, πως με την αύξηση του βάθους παρατηρείται μια σαφώς ελαχιστοποίηση της εμφάνισης χαλίκων και της επικράτησης περισσότερο αργιλικού υλικού. Γεγονός, που οδηγεί σε εμφάνιση μακροσκοπικά καλύτερης συμπεριφοράς. Στα ανώτερα τμήματα (έως τα 7m, περίπου) η εμφάνιση πιο χονδρόκοκκου υλικού οδηγεί στην ύπαρξη πιο χαλαρών ζωνών.

Κωδικός	Βάθος		Λιθολονική Περινραφή
Γεώτρησης	Από	Έως	
	0,00	16,30	Ανοιχτό καφέ, αργιλώδης Χάλικες (GC) με άμμο έως αργιλώδης Άμμος (SC) με χάλικες και ορίζοντες Αργίλου (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας
C23A-B1	16.30	20.00	Καφέ, αργιλώδης Άμμος (SC) με χάλικες, έως αργιλώδης ιλύς, αμμώδης Χάλικες (GC-GM) , με ορίζοντες Αργίλου . Οι Χάλικες είναι στρογγυλεμένοι ασβεστολιθικής προέλευσης
	20,00	28,00	Ανοιχτό καφέ, σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με κατά θέσεις άμμο.
	28,00	30,00	Γκρι, ισχνή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με λίγη άμμο.

5.2.4 Γεώτρηση C23A-B1

Πίνακας 5-5 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης C23A-B1.

Από τη στρωματογραφία σε αυτή τη θέση όπως αυτή παρουσιάζεται από τα αποτελέσματα, Πίνακας 5-5, παρατηρείται η εναλλαγή δύο οριζόντων. Στο βάθος 16,30-20,00m και 28,00-30,00m, είναι εμφανής η επικράτηση σκληρής αργίλου χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Στα υπόλοιπα τμήματα επικρατούν φακοί κροκαλοπαγών και αργιλωδών άμμων οι οποίοι λόγω της ύπαρξης αργιλικού συνδετικού υλικού, εμφανίζουν μια σταθερή συμπεριφορά. Στα ανώτερα επιφανειακά τμήματα εμφανίζονται πιο χαλαροί, λόγω της έκθεσης σε επιφανειακές συνθήκες.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Περιγραφή
Γεώτρησης	Από	Έως	
ВН34	0,00	0.50	Ιλυοαμμώδης <i>Χάλικες</i> με άμμο, σε καφέ θεμελιώδη μάζα, παρουσιάζονται επιμηκυμένοι. προέλευσης.

5.2.5 Γεώτρηση BH34

	0.50	1.10	Αργιλώδης Χάλικες με άμμο, καφέ θεμελιώδη μάζα, παρουσιάζονται επιμηκυμένοι.
	1.10	3.10	Κιτρινωπή, αμμώδη Άργιλος με λίγους χάλικες.
	3.10	4.30	Πολύ πυκνοί, ιλυοαργιλώδης Χάλικες με άμμο, καφέ συνδετικό υλικό, παρουσιάζονται επιμηκυμένοι.
	4,30	13,00	Καφέ έως καφε-μπέζ, πολύ στιφρή έως σκληρή, ισχνή Άργιλος(CL) με λεπτή άμμο, χαμηλής πλαστικότητας, με τοπικά λίγους χάλικες.
	13,00	13,80	Πολύ πυκνοί, ιλυοαργιλώδης Χάλικες με άμμο, καφέ συγκολλητικό υλικό και επιμηκυμένοι χάλικες
	13,80	15,00	Καφέ-μπέζ, πολύ στιφρή, ισχνή Άργιλος με άμμο και λίγους λεπτούς χάλικες.

Πίνακας 5-6 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης BH34.

Στον Πίνακας 5-6, δίνονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τη γεώτρηση BH34. Η διάκριση των δύο οριζόντων όπως προκύπτει και από τα αποτελέσματα των υπολοίπων γεωτρήσεων, είναι εμφανή. Η άργιλος παρουσιάζεται στιφρή έως σκληρή, χωρίς διακύμανση των μακροσκοπικών ιδιοτήτων της με το βάθος. Παρομοίως και ο πιο αδρομερής ορίζοντας εμφανίζει καλή μακροσκοπικά αντοχή.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη μέτρηση της στάθμης στην εν λόγω γεώτρηση παρατηρήθηκε στάθμη εντός του ορίζοντας της αργίλου στα 14,78m, σε σχέση με παρακείμενες γεωτρήσεις όπου δεν παρατηρήθηκε στάθμη (βλ. Εικόνα 5.6 Τεχνικογεωλογική διατομή στη Χ.Θ. 81+320). Το συγκεκριμένο μπορεί να οφείλεται στην κατά τόπου εμφάνισης μεγαλύτερου ποσοστού χαλικώδους – αμμώδους υλικού στη θέση αυτή και πιθανώς να οφείλεται από την κατείσδυση με συγκέντρωση νερού σε αυτό το σημείο.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Περιγραφή
Γεώτρησης	Από	Έως	
С23А-В3	0,00	4,00	Τεχνητές αποθέσεις , αποτελούμενες από καφέ Χάλικες (GW-GC) με άμμο και λίγη άργιλο, καλής διαβάθμισης, γωνιώδης έως υπογωνιώδης.
	4,00	13,00	Καφέ, σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης

5.2.6 Γεώτρηση C23A-B3

		πλαστικότητας.
13,00	32,00	Καφέ έως γκρι, πολύ πυκνή αργιλοϊλυώδης Άμμος (<i>SC-SM, SW-SM</i>) με χάλικες. Σε βάθος 15,00- 19,40m, γκρι έως καφέ <i>Αργιλοϊλύς (CL, CL-ML)</i> με άμμο κατά θέσεις, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.
32,00	35,00	Γκρι, σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.

Πίνακας 5-7 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης C23A-B3.

Στον Πίνακας 5-7, δίνεται η στρωματογραφία όπως αυτή προέκυψε από τα αποτελέσματα της γεώτρησης C23A-B3. Η γενική εικόνα που επικρατεί στη περιοχή με την εμφάνιση των δύο οριζόντων ακολουθείται και εδώ. Η άργιλος παρουσιάζεται σκληρή, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, ενώ οι ορίζοντες των πιο αδρόκοκκων υλικών εμφανίζουν καλή συνοχή. Δεν παρατηρείται μεταβολή των ιδιοτήτων με το βάθος σε καμία φάση. Μόνη εξαίρεση το επιφανειακό τμήμα, όπου εμφανίζεται τεχνητές επιχώσεις της υφιστάμενης οδού.

Κωδικός	Βάθος		Διθολονική Περινραφή
Γεώτρησης	Από	Έως	
	0,00	17,00	Καφέ, στιφρή έως σκληρή, Άργιλος (CL) με λίγη άμμο, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Η άμμος εμφανίζεται λεπτόκοκκη.
С23А-В2	17,00	37,00	Εναλλαγές από καφέ πολύ πυκνούς αμμώδης, αργιλοϊλυώδης <i>Χάλικες (GC, GM, GC-GM)</i> με χαλικώδη - αργιλοϊλυώδη <i>Άμμο (SC, SM, SC-SM)</i> . Οι χάλικες είναι στρογγυλεμένοι, ασβεστολιθικής προέλευσης.
	37,00	55,00	Γκρι, πολύ στιφρή έως σκληρή, Άργιλος (CL, CH) , με άμμο κατά θέσεις, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας και τοπικά υψηλής πλαστικότητας.

5.2.7 Γεώτρηση C23A-B2

Πίνακας 5-8 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης C23A-B2.

Στον Πίνακας 5-8, δίνονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την γεώτρηση C23A-B2. Στην θέση αυτή παρατηρείται μεγάλη εμφάνιση αδρόκοκκων υλικών (από 17,00-37,00m) με σταθερή σύσταση σε όλο το βάθος. Οι χάλικες – άμμοι παρουσιάζονται πολύ πυκνοί λόγω του αργιλοϊλυώδους συγκολλητικού υλικού. <u>Αξίζει να σημειωθεί πως στο βάθος των</u> <u>37,00m περίπου η άργιλος εμφανίζει τοπικά υψηλή πλαστικότητα. Το γεγονός αυτό είναι</u>

μεμονωμένο σε σύγκριση με όλα τα υπόλοιπα δεδομένα και πιθανώς να οφείλεται στην ύπαρξη της πιο αδρόκοκκης φάσης υπερκείμενα αυτού.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Περιγραφή
Γεώτρησης	Από	Έως	ποολογική περιγραφή
	0,00	11,00	Καφέ, πολύ στιφρή έως σκληρή Άργιλος – Μάργα , χαμηλής πλαστικότητας με άμμο και λίγους χάλικες.
Г127	11,00	16,20	Καφέ, πολύ πυκνή ιλυώδης Άμμος με χάλικες.
	16,20	20,50	Καφέ έως καφέ – κόκκινο, σκληρή, αμμώδης Άργιλος – Μάργα , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας, με λίγους χάλικες.
	20,50	25,20	Καφέ, πολύ πυκνή ιλυώδης Άμμος με χάλικες.

5.2.8 Γεώτρηση Γ127

Πίνακας 5-9 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Γ127.

Στον Πίνακας 5-9παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως αυτά προέκυψαν κατά την εκτέλεση της γεώτρησης Γ127. Δεν παρατηρείται κάποια μεταβολή σε σχέση με τα προαναφερθέντα δεδομένα και παρουσιάζεται η γενική εικόνα, η οποία επικρατεί στην περιοχή με την εμφάνιση των δύο διαφορετικών οριζόντων.

5.2.9 Γεώτρηση CT-B1

Κωδικός	Βάθος		Διθολουικά Περιγραφά
Γεώτρησης	Από	Έως	ποοχογική περιγραφή
CT P1	0,00	20,00	Ανοιχτοκάστανοι, πολύ πυκνοί, αργιλοϊλυώδης <i>Χάλικες (GC-GM, GC)</i> με άμμο. Οι χάλικες είναι υποστρογγυλεμένοι έως στρογγυλεμένοι ασβεστολιθικής προέλευσης.
CI-DI	20,00	30,00	Καστανή, συνεκτική έως σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με λίγη άμμο
	30,00	35,00	Γκρι, πολύ στιφρή έως σκληρή Άργιλος - Μάργα(CL) χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.

Πίνακας 5-10 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης CT-B1.

Στον Πίνακας 5-10, δίνονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την γεώτρηση CT-B1. Η διάκριση των οριζόντων είναι εμφανής με την επικράτηση στα ανώτερα τμήματα

χονδρόκοκκου υλικού το οποίο παρουσιάζει περισσότερο πυκνή δομή αυξανόμενου του βάθους. Στο τμήμα 20,00-30,00m, επικρατεί συνεκτική έως σκληρή άργιλος με παρόμοια συμπεριφορά όπως παραπάνω. Τέλος, από τα 30,00-35,00m, παρατηρείται η εμφάνιση περισσότερο «βραχώδους» υλικού, το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως μάργα, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Πεοιγοαφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
	0,00	2,80	Μετρίως πυκνοί, πτωχής διαβάθμισης Χάλικες (GP-GM) , με ιλύ και άργιλο και ασβεστολιθικά τεμάχη, μηδενικής πλαστικότητας.	
BH213	2,80	4,20	Ανοιχτοκάστανη έως καστανή, ισχνή Άργιλος (CL) με χάλικες, χαμηλής πλαστικότητας.	
	4,20	25,00	Ανοιχτοκάστανη έως καστανή, πολύ στιφρή έως τοπικά σκληρή Άργιλος (CL, CL-ML) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας.	

5.2.10 Γεώτρηση BH213

Πίνακας 5-11 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης BH213.

Στον Πίνακας 5-11, δίνονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την γεώτρηση BH213. Στα ανώτερα τμήματα επικρατεί μέτρια πυκνό Χαλικώδες υλικό, ενώ όσο αυξάνεται το βάθος παρατηρείται η εμφάνιση αργίλου, της οποία βάσει την μακροσκοπική περιγραφή η αντοχή αυξάνει με την αύξηση του βάθους.

5.2.11	Γεώτρηση	CT-B2
--------	----------	-------

Κωδικός	Βάθος			
Γεώτρησης	Από	Έως	Λιθολογική Περιγραφή	
CT-B2	0,00	4,80	Ανοιχτοκάστανοι, αμμώδεις, ιλυώδεις Χάλικες ασβεστολιθικής προέλευσης, υποστογγυλεμμένοι έως στρογγυλεμένοι. Σε βάθος 2,00-2,65m Άργιλος (CL) χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με άμμο.	
	4,80	20,00	Κοκκινοκάστανοι έως καστανοί, πολύ πυκνή, αργιλοϊλυώδης Άμμος (SC-SM, SC) με χάλικες και ενστρώσεις από αργιλοϊλυώδης Χάλικες (GC-GM) με άμμο.	

20,00 35,00	Καστανή έως γκριζοκάστανη, σταθερή έως σκληρή Άργιλος (CL) χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με λίγη άμμο. Σε βάθος 20,20-20,40m κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης.
-------------	--

Πίνακας 5-12 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης CT-B2.

Στον Πίνακας 5-12, δίνονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τη γεώτρηση CT-B2. Παρατηρούμε, πως με την αύξηση του βάθους υπάρχει διακύμανση στη λιθολογία στο εν λόγω σημείο. Με την επικράτηση στα ανώτερα τμήματα αδρόκοκκου υλικού (έως 21m), ακολούθως από τα 21,00m και μέχρι το τέλος της γεώτρησης εμφανίζεται ο πιο βραχώδης σχηματισμός που συναντάται στην περιοχή άργιλος – μάργα, χαμηλής πλαστικότητας.

Κωδικός	Βάθος		Διθολονική Πεοινοαφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
	0,00	0,30	Σκυρόδεμα.	
	0,30	3,00	Καστανό έως υπόλευκο, πολύ πυκνή χαλικώδης, αργιλοϊλυώδης Άμμος (SC-SM) . Τοπικά κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης.	
E1-B4	3,00	15,00	Καστανή έως γκριζοκάστανη, σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με λίγη άμμο. Σε βάθος 3,70-4,50m, αργιλοϊλυώδης άμμος με χάλικες.	
	15,00	20,00	Γκρίζα, σκληρή Άργιλος (CL) , μέσης πλαστικότητας.	

5.2.12 Γεώτρηση E1-B4

Πίνακας 5-13 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Ε1-Β4.

Στον Πίνακας 5-13, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την γεώτρηση E1-B4. Η ορίζοντες ακολουθούν τη γενική αλληλουχία που έχει ήδη αναφερθεί. Επικράτηση χαλικο – αμμώδους υλικού στα ανώτερα τμήματα πολύ πυκνής διάταξης, πράγμα που το καθιστά καλής εκτιμώμενης αντοχής σχηματισμό. Ακολούθως ο αργιλικός ορίζοντας χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας. Τέλος, εμφανίζεται σκληρή άργιλος – μάργα, η οποία εμφανίζεται αρκετά πιο συμπαγής από τον ανώτερο αργιλικό ορίζοντα.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Πεοιγοαφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
	0,00	0,50	Σκούρα καστανή, αμμώδης Άργιλος με χαλίκια.	
Г128 0,50		10,50	Καστανή, πολύ στιφρή έως σκληρή Άργιλος , χαμηλής πλαστικότητας με άμμο.	
	10,50	15,65	Τεφρή, σκληρή Άργιλος – Μάργα , χαμηλής πλαστικότητας με λίγη άμμο.	

5.2.13	Γεώτρηση	Г128

Πίνακας 5-14 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Γ128.

Στον Πίνακας 5-14, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τη γεώτρηση Γ128. Παρατηρείται η εμφάνιση των δύο αργιλικών οριζόντων, στα ανώτερα τμήματα του περισσότερου εδαφικού, ενώ με την αύξηση του βάθους παρουσιάζεται με περισσότερο «βραχώδη» δομή, πράγμα που οδηγεί στη θεώρηση ως μάργα του εν λόγω ορίζοντα.



Γεώτρηση Γ128. Βάθος: 0.00-5.40m



Γεώτρηση Γ128. Βάθος: 5,40-10,40m



Γεώτρηση Γ128. Βάθος: 10,40-15,65m.

Εικόνα 5.3 Δειγματοληψία γεώτρησης Γ128.

Κωδικός	Βάθος		Λιθολονική Περινραφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
	0,00	2,00	Καστανοί, αργιλώδεις Χάλικες (GC) , με άμμο.	
E1-B5	2,00	25,00	Καστανή έως ανοιχτοκάστανη, σκληρή Άργιλος (CL) , χαμηλής πλαστικότητας, με άμμο και λίγους χάλικες κατά θέσεις.	

5.2.14 Γεώτρηση Ε1-Β5

Πίνακας 5-15 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης Ε1-Β5.

Στον Πίνακας 5-15, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τη γεώτρηση E1-B5. Η εικόνα είναι παρόμοια με την γενική της περιοχή με την εμφάνιση χαλικώδους υλικού στο ανώτερο τμήμα το οποίο παρουσιάζει πιο χαλαρή δομή λόγω της έκθεσης σε επιφανειακές συνθήκες. Με την αύξηση του βάθους επικρατεί σκληρή άργιλος, η οποία διατηρείται σταθερή μέχρι το τέλος της γεώτρησης.

Κωδικός	Βάθος		Διθολογική Πεοιγοαφή	
Γεώτρησης	Από	Έως		
0,00 10,60		10,60	Καστανοπράσινη έως κιτρινωπή αμμώδης – ιλυώδης <i>Άργιλος</i> , ισχνή έως στιφρή, μέτριας πλαστικότητας. Περιλαμβάνεις κατά θέσεις χάλικες και στρώσεις άμμου.	
PK27	10,60	16,30	Καστανή έως καστανοκόκκινη ιλυώδης <i>Άργιλος</i> με άμμο και χάλικες πολύ πυκνούς.	
	16,30	20,00	Καστανή έως κιτρινωπή αμμώδης Άργιλος , πολύ στιφρή, με τοπικούς χάλικες.	

5.2.15 Γεώτρηση PR27

Πίνακας 5-16 Μακροσκοπική περιγραφή των σχηματισμών της γεώτρησης PR27.

Στον Πίνακας 5-16, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν για τη γεώτρηση PR27. Στην ουσία πρόκειται για δοκιμή πρεσσιομέτρησης και τα αποτελέσματά της χρησιμοποιούνται για συσχέτιση της στρωματογραφικής δομής της περιοχής. Σε όλο το βάθος παρατηρείται η επικράτηση πιο αργιλικού υλικού, με κατά θέσεις αμμώδης ή χαλικώδεις ορίζοντες πράγμα που συνδέεται με την εικόνα από τα αποτελέσματα των υπόλοιπων γεωτρήσεων.

5.2.16 Σύνοψη των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων

Από την παραπάνω παράθεση των στοιχείων είναι σαφής η διάκριση τριών επί μέρους οριζόντων στη περιοχή μελέτης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η εμφάνιση των πιο βραχωδών οριζόντων- μάργα, εμφανίζεται Δυτικότερα της θέσης του πρανούς που εξετάζεται. Για την καλύτερη αξιολόγηση των παραμέτρων αντοχής των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων κρίνεται απαραίτητη η αξιολόγηση όλων των αποτελεσμάτων των διαθέσιμων γεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

5.3 Παράθεση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τις επί τόπου δοκιμές

Κατά την διαδικασία εκτέλεσης του γεωερευνητικού προγράμματος πραγματοποιήθηκε ένα σύνολο επί τόπου δοκιμών, για την εκτίμηση των παραμέτρων αντοχής καθώς και των υδραυλικών παραμέτρων των λιθολογικών σχηματισμών. Πιο συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν 87 δοκιμές πρότυπης διείσδυσης (SPT) και 63 δοκιμές προσδιορισμού της διαπερατότητας (k) των σχηματισμών.

Ακολούθως εγκαταστάθηκαν σε 8 από τις γεωτρήσεις πιεζόμετρα με σκοπό την παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου νερού σε διάφορες χρονικές περιόδους.

5.3.1 Επί τόπου δοκιμές προσδιορισμού της διαπερατότητας των σχηματισμών

Αναφορικά με τη μεταβολή της στάθμης έγιναν μετρήσεις σε διάφορες χρονικές περιόδους, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-17. Στο σύνολο αφορούν τη μέτρηση της στάθμης σε 8 γεωτρήσεις. Παρατηρείται, σε γενικές γραμμές ότι η στάθμη βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα, ενώ σε μερικές περιπτώσεις δεν παρατηρήθηκε στάθμη (στεγνή γεώτρηση). Σε όσες από τις γεωτρήσεις όπου παρατηρείται μια μικρή άνοδος της στάθμης, συμπίπτει κατά κύριο λόγο με την περίοδο Ιανουάριο έως Μάιο. Επομένως, καταλήγουμε στο ότι δεν πρόκειται να υπάρχει αναμενόμενη υδροφορία, με δυσμενέστερη περίπτωση το διάστημα που αναφέρθηκε, αν και στη περίπτωση αυτή, η στάθμη παρατηρείται χαμηλότερα από το σημείο κατασκευής του έργου.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι για την κατασκευή της αντίστοιχης τεχνικογεωλογικής τομής για την εν λόγω θέση μελέτης, λαμβάνονται οι τιμές της δυσμενέστερης περίπτωσης στάθμης, με σκοπό την πλέον συντηρητική προσέγγιση στην αξιολόγηση της ευστάθειας του πρανούς. (Με έντονο μαύρο χρώμα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που θα χρησιμοποιηθούν).

Κωδικός Γεώτρησης	Όργανο μέτρησης	Ημερομηνία Μέτρησης	Στάθμη υπόγειου νερού (m)
		12/5/2008	16,10
БП 22	Πιςζόμετος	23/5/2008	16,30
DH-33	Πιεςυμετρο	30/5/2008	16,40
		13/6/2008	Στεγνή
F1 D2		27/1/2010	»
E1-D3	»	1/3/2010	Στεγνή
		20/12/2004	»
Г126	-	5/1/2005	»
		20/1/2005	Στεγνή
C22A D1	C22A B4	30/9/2009	27,9
C23A-D1		5/11/2009	28,1
		13/5/2008	14,69
DU24	BH34	23/5/2008	14,78
DI 34		30/5/2008	Στεγνή
		16/6/2008	»
CT P1	– – – (30/9/2009	»
υι-Βι Πιεζο	πεςομετρο	5/11/2009	»

		2/12/2009	»
		30/1/2010	»
		5/3/2010	»
		28/4/2010	29,55
	Г128 »	20/12/2004	8,50
Г128		5/1/2005	8,20
		20/1/2005	7,50
E1-B5 »		5/3/2010	11,40
	»	28/4/2010	11,97

Πίνακας 5-17 Αποτελέσματα μέτρησης στάθμης υπόγειου νερού.

Ακολούθως, για τον προσδιορισμό της διαπερατότητας των σχηματισμών εκτελέστηκαν 63 δοκιμές εκ των οποίων στην πλειοψηφία έγιναν με την χρήση της δοκιμής Maag, πλην 2 δοκιμών Lefranc. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-19.

Για την περαιτέρω αξιολόγηση και την διάκριση των σχηματισμών, βάσει της τιμής του συντελεστή διαπερατότητα (k), αξιοποιήθηκε ο προτεινόμενος πίνακας τιμών κατά *Terzaghi* & *Peck*, 1962 (Πίνακας 5-18).

Συντελεστής διαπερατότητας k (cm/sec)	Χαρακτηρισμός
k≥10 ⁻¹	Υψηλή
10 ⁻³ ≤k<10 ⁻¹	Μέτρια
10 ⁻⁴ ≤k<10 ⁻³	Μέτρια έως Χαμηλή
10 ⁻⁵ ≤k<10 ⁻⁴	Χαμηλή έως Πολύ Χαμηλή
10 ⁻⁷ ≤k<10 ⁻⁵	Πολύ Χαμηλή
k<10 ⁻⁷	Πρακτικά αδιαπέρατος

Πίνακας 5-18 Κατηγορίες ταξινόμησης, βάσει της τιμής διαπερατότητας (k, cm/sec) (Terzaghi & Peck, 1962).

Κωδικός	Βάθος (m)		Τύπος δοκιμός	k(cm/coc)
Γεώτρησης	από	έως	τυπος σοκιμης	K(CIII/SEC)
			Τροποποιημένη	1,10*10 ⁻⁶
BH-33			δοκιμή Maag	7,10*10 ⁻⁷
				5,40*10 ⁻⁷
	4,60	5,00	Maag	7,16*10 ⁻⁵
E1-B3	10,00	10,70	»	1,67*10 ⁻⁵
	19,00	20,00	»	9,30*10 ⁻⁶
	4,00	5,00	Maag	2,14*10 ⁻⁵
	9,00	10,00	»	1,05*10 ⁻⁵
CT D1	14,00	15,00	»	6,48*10 ⁻⁵
CI-DI	19,00	20,00	»	3,07*10 ⁻⁶
	24,00	25,00	»	3,02*10 ⁻⁶
	29,00	30,00	»	2,95 [*] 10 ⁻⁶

	4,50	5,00	Maag	1,13*10 ⁻³	
	10,00	10,30	»	1,44*10 ⁻³	
	15,00	15,30	»	8,58*10 ⁻⁴	
CT-B2	20,50	21,00	»	4,47*10 ⁻⁶	
	24,00	25,00	»	4,11*10 ⁻⁶	
	30,00	31,00	»	2,86*10 ⁻⁶	
	34,00	35,00	»	3,10*10 ⁻⁶	
	4,50	5,00	Maag	6,39*10 ⁻³	
E1-B4	9,00	10,00	»	4,15*10 ⁻⁵	
	15,00	16,50	»	1,58*10 ⁻⁵	
	18,00	20,00	»	1,23*10 ⁻⁵	
	4,00	5,40	Maag	2,21*10 ⁻⁶	
Г128	10,00	10,45	»	2,86*10 ⁻⁶	
	15,20	15,65	»	3,10*10 ⁻⁶	
	4,50	5,00	Maag		
E1-B5	9,50	10,00	»	Δεν σημειώθηκε	
	14,50	15,00	»	πτώση στάθμης	
	19,50	20,00	»		
	24,50	25,00	»		
	4,00	5,00	Maag	3,89*10 ⁻³	
	9,50	10,00	»	3,80*10 ⁻⁴	
C22A D1	14,00	15,00	»	3,98*10 ⁻⁴	
С23А-D1	19,50	20,00	»	1,23*10 ⁻⁴	
	24,50	25,50	»	3,77*10 ⁻⁶	
	29,50	30,00	»	2,08*10 ⁻⁶	
	4,00	5,00	Maag	1,11*10 ⁻⁵	
	9,00	10,00	»	7,90*10 ⁻⁶	
	14,00	15,00	»	6,46*10 ⁻⁶	
	19,20	20,00	»	6,18*10 ⁻⁵	
	24,50	25,00	»	3,92*10 ⁻⁵	
C236-B2	29,50	30,00	»	5,20*10 ⁻⁵	
	34,70	35,00	»	5,39*10 ⁻⁶	
	39,60	40,00	»	7,78*10 ⁻⁶	
	44,50	45,00	»	2,17*10 ⁻⁶	
	49,50	50,00	»	2,74*10 ⁻⁶	
	54,00	55,00	»	1,98*10 ⁻⁴	
	4,00	5,00	Maag	1,39*10 ⁻⁵	
	9,50	10,00	»	3,93*10 ⁻⁶	
	14,00	15,00	»	3,29*10 ⁻⁴	
C23A-B3	19,40	20,00	»	9,97*10 ⁻⁵	
	24,00	25,00	»	1,63*10 ⁻⁴	
	29,00	30,00	»	6,76*10 ⁻⁵	
	34.00	35.00	»	2 74*10 ⁻⁶	

	5,10	6,90	Maag	2,14*10 ⁻⁶
	9,30	10,00	»	6,73*10 ⁻⁵
Г126	16,40	16,90	»	2,59*10 ⁻⁵
	19,00	20,20	»	4,67*10 ⁻⁶
	23.50	25.00	»	1.278*10 ⁻⁵
	- /	- /		
	6,00	7,20	Maag	3,70*10 ⁻⁶
	6,00 10,00	7,20 10,50	Maag »	3,70*10 ⁻⁶ 1,41*10 ⁻⁶
Г127	6,00 10,00 15,80	7,20 10,50 15,80	Maag » Lefranc	3,70*10 ⁻⁶ 1,41*10 ⁻⁶ 2,70*10 ⁻²
Г127	6,00 10,00 15,80 19,30	7,20 10,50 15,80 19,30	Maag » Lefranc Maag	3,70*10 ⁻⁶ 1,41*10 ⁻⁶ 2,70*10 ⁻² 1,54*10 ⁻³

Πίνακας 5-19 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών προσδιορισμού της διαπερατότητας.

5.3.2 Επί τόπου δοκιμές εκτίμησης της αντοχής

Κατά την διαδικασία εκτέλεσης του γεωερευνητικού προγράμματος, είναι σύνηθες στη φάση δειγματοληψίας σε κάθε γεώτρηση να πραγματοποιείται η εκτέλεση της *Πρότυπης Δοκιμής Διείσδυσης (Standard Penetration Test, SPT)*, με σκοπό την άμεση και επί τόπου εκτίμηση της αντοχής των εδαφικών σχηματισμών. Από τον αριθμό κρούσεων (*Nspt*) που χρειάζεται ώστε να είναι σωστή η εκτέλεση της δοκιμής βάσει των διεθνών προδιαγραφών και με τη χρήση ειδικών πινάκων, εκτιμάτε σε αρχικό επίπεδο η αντοχή.

Στον Πίνακας 5-20, παρουσιάζεται η ταξινόμηση που έχει προταθεί από τον *Terzaghi,* και η οποία θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα εργασία για τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την ως άνω διαδικασία στο σύνολο των γεωτρήσεων παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-21. Στο σύνολο εκτελέστηκαν 87 δοκιμές SPT από τις οποίες οι 56 παρουσίασαν Άρνηση στη διείσδυση, γεγονός που στην πλειοψηφία του για την εν λόγω θέση μελέτης οφείλεται στην επικράτηση αδρομερών στοιχείων (κροκάλες) σε αρκετές θέσεις, όπως προέκυψε και από την δειγματοληψία.

Кок	κώδη εδάφη	Συνεκτικά εδάφη		
Nspt	Χαρακτηρισμός	Nspt	Χαρακτηρισμός	
0 - 4	Πολύ Χαλαρό	<2	Πολύ Μαλακό	
4 - 10	Χαλαρό	2 - 4	Μαλακό	
10 - 30	Μέτρια Πυκνό	4 - 8	Κανονικό	
30 - 50	Πυκνό	8 - 15	Στιφρό	
. 50		15 - 30	Πολύ Στιφρό	
>50	ΠΟΛΟΤΙΟΚΛΟ	>30	Σκληρό	

Πίνακας 5-20 Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT, κατά Terzaghi.

Κωδικός	Βάθος (Ner	
γεώτρησης	Από	Έως	INSPI
BH-33	1,50	1,95	22

	3,00	3,45	22
	5,00	5,45	65
	7,00	7,11	Άρνηση
	9,00	9,45	50
	11,50	11,95	55
	14,00	14,29	Άρνηση
	2,00	2,05	Άρνηση
	4,30	4,38	»
	7,00	7,45	63
E1-B3	9,60	10,05	24
	12,60	13,05	36
	15,00	15,45	63
	17,50	17,64	Άρνηση
	2,00	2,45	51
	4,00	4,13	Άρνηση
Г126	7,00	7,45	27
	15,00	15,45	63
	22,00	22,13	Άρνηση
	2,00	2,45	93
·	4,00	4,27	Άρνηση
BH34	6,00	6,38	»
	7,50	7,74	»
	9,50	9,95	64
	12,00	12,45	72
	13,70	13,79	Άρνηση
	14,00	14,07	»
·	22,00	22,08	»
C23A-B3	24,00	24,06	»
	26,00	26,05	»
	28,00	28,07	»
	19,00	19,25	Άρνηση
	22,00	22,27	»
	23,00	23,20	»
	24,00	24,23	»
	25,00	25,10	»
	26,00	26,11	»
	27,00	27,08	»
C23A-B2	28,00	28,09	»
	29,00	29,12	»
	30,00	30,12	»
	31,00	31,09	»
	32,00	32,11	»
	33,00	33,10	»

	35,00	35,12	»
	36,00	36,10	»
	2,00	2,45	37
F1 37	4,00	4,45	33
1127	6,00	6,27	Άρνηση
	14,00	14,14	»
	2,00	2,12	Άρνηση
CT-B1	4,00	4,05	»
	6,00	6,07	»
	1,80	2,25	24
	4,00	4,45	23
	5,50	5,95	42
	8,00	8,48	34
BU 212	11,00	11,45	35
DU-512	13,60	14,05	48
	16,00	16,13	Άρνηση
	18,00	18,40	»
	20,00	20,36	»
	23,00	23,34	»
	1,00	1,45	33
	2,65	3,00	33
	4,00	4,45	39
	5,65	6,00	70
	6,90	7,00	Άρνηση
	7,90	7,95	»
	8,90	9,00	»
	9,90	10,02	»
CT_B2	10,90	11,01	»
	11,90	12,00	Άρνηση
	12,90	13,02	»
	13,90	13,98	»
	14,90	15,00	»
	15,90	16,03	»
	16,90	17,02	»
	17,90	18,01	»
	18,90	18,98	»
	19,70	19,83	»
	2,00	2,29	Άρνηση
	4,55	5,00	36
	7,00	7,45	40
E1-B4	9,55	10,00	58
	12,00	12,45	37
	14,00	14,45	82
	16,55	18,00	50

	18,55	19,00	78
	2,30	2,75	54
	4,30	4,75	56
	6,30	6,75	50
Г128	8,20	8,65	67
	10,30	10,75	61
	12,55	13,00	69
	15,20	15,65	51
E1-B5	2,00	2,45	76

Πίνακας 5-21 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα Πρότυπης δοκιμής διείσδυσης- SPT.

Από τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακας 5-21, και σε σύγκριση με την ταξινόμηση των εδαφών από Terzaghi, γίνεται εκτίμηση της αντοχής των σχηματισμών. Σαν γενικό αποτέλεσμα αναφέρεται ότι οι τιμές είναι στην πλειοψηφία αρκετά υψηλές με πολλές δοκιμές να δίνουν Άρνηση στη διείσδυση. Αξίζει να σημειωθεί πως το αποτέλεσμα είναι αναμενόμενο δεδομένης της φύσης των υλικών στη περιοχή μελέτης. Η επικράτηση οριζόντων κροκαλοπαγούς, με μεγαλύτερη συγκέντρωση πιο αδρομερών στοιχείων δίνει μια πρώτη εικόνα του αποτελέσματος.

5.4 Τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, από εργαστηριακές δοκιμές

Στη συνέχεια προσπαθεί να γίνει διακριτοποίηση των σχηματισμών με βάσει τα διαθέσιμα στοιχεία από τι επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές που εκτελέστηκαν, συμπεριλαμβανομένου των μακροσκοπικών περιγραφών, όπως αυτές παρουσιάστηκαν σε προηγούμενους πίνακες.

Αναφορικά με το είδος και το πλήθος των δοκιμών που εκτελέστηκαν αυτές αφορούν τόσο τον προσδιορισμό φυσικών όσο και μηχανικών ιδιοτήτων. Πιο συγκεκριμένα στις φυσικές ιδιότητες συμπεριλαμβάνονται, η κοκκομετρική διαβάθμιση, η περιεχόμενη φυσική υγρασία (w), ο προσδιορισμός του υγρού (γ) και ξηρού φαινόμενου βάρους (γ_d), το ειδικό βάρος (Gs) και τα όρια Atterberg. Αναλυτικά το σύνολο των δοκιμών έχει ως εξής:

<u>Φυσικές Ιδιότητες</u>

- Κοκκομετρική διαβάθμιση: 127
- Μέθοδος πυκνόμετρου: 55
- Όρια Atterberg: 127
- Φυσική υγρασία (**w**): 50
- Υγρό φαινόμενο βάρος (γ): 47
- Ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d): 29
- Ειδικό βάρος (**Gs**): 10

Ακολούθως, για τον προσδιορισμών των μηχανικών παραμέτρων, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι τιμές της συνοχής (c), της γωνίας εσωτερικής τριβής (φ), της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής (q_u) καθώς και παραμέτρων συμπιεστότητας (τάση προστερεοποίησης (P_c), συντελεστής συμπιεστότητας (C_c) εκτελέστηκαν οι ακόλουθες εργαστηριακές δοκιμές:

<u>Μηχανικές Ιδιότητες</u>

- Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης: 58
- Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης:22
- Τριαξονική δοκιμή:
 - 1. CUPP: 24
 - 2. UU:1
- Δοκιμές άμεσης διάτμησης
 - 1. CD: 25
 - 2. CU: 5
 - 3. UU: 3

Σύμφωνα με τα παραπάνω για την διακριτοποίηση των σχηματισμών σε επί μέρους ενότητες:

- 1. Αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα από τη μακροσκοπική περιγραφή των γεωτρήσεων.
- 2. Πραγματοποιήθηκε στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων των εργαστηριακών δοκιμών τόσο των φυσικών όσο και μηχανικών ιδιοτήτων, με σκοπό την διάκριση των ενοτήτων με σκοπό την θεώρηση ενοτήτων με κοινά φυσικά και μηχανικά χαρακτηριστικά.
- Τέλος, κατασκευάστηκε η τεχνικογεωλογική μηκοτομή καθώς και δύο διατομές του υπό εξέταση πρανούς.

Στον Πίνακας 5-22, παρουσιάζεται συγκεντρωτικά ο διαχωρισμός σε επί μέρους τεχνικογεωλογικές ενότητες, ανά γεώτρηση, όπως προέκυψε από την ανάλυση και αξιολόγηση των διαθέσιμων στοιχείων, η οποία ακολουθεί.

Κωδικός	Βά	θος	Πάχος	Τεχνικογεωλογική Ενότητα	
Γεώτρησης	Από	Έως	στρώματος (m)		
BH33	0,00	4.00	4,00	T.E.I	
	4,00	10,50	6,50	T.E.II	

	10,50	15,00	4,50	T.E.I
	15,00	17,20	2,20	T.E.II
F1-B3	0,00	2,80	2,80	T.E.I
	2,80	20,00	17,20	T.E.II
Г126	0,00	7,00	7,00	T.E.I
	7,00	25,00	18,00	T.E.II
	0,00	4,00	4,00	T.E.I
С23А-В1	4,00	11,00	7,00	T.E.II
	11,00	20,00	9,00	T.E.I
	20,00	30,00	10,00	T.E.II
BH34	0,00	1,10	1,10	T.E.I
	1,10	15,00	13,90	T.E.II
	0,00	4,00	4,00	T.E.
	4,00	13,00	9,00	T.E.II
С23А-В3	13,00	15,50	2,50	T.E.I
	15,50	20,00	4,50	T.E.II
	20,00	32,00	12,00	T.E.I
	32,00	35,00	3,00	T.E.II
	0,00	17,00	17,00	T.E.II
С23А-В2	17,00	37,00	20,00	T.E.I
	37,00	55,00	18,00	T.E.II
	0,00	11,00	11,00	T.E.II
Г127	11,00	16,20	5,20	T.E.I
	16,20	20,50	4,30	T.E.II
	20,50	25,20	4,70	T.E.I
CT-B1	0,00	20,00	20,00	T.E.I

	20,00	30,00	10,00	T.E.II
	30,00	35,00	5,00	T.E.III
BH-213	0,00	2,80	2,80	T.E.I
	2,80	25,00	22,20	T.E.II
	0,00	21,00	21,00	T.E.I
CT-B2	21,00	25,00	4,00	T.E.II
	25,00	30,00	5,00	T.E.III
	0,00	3,00	3,00	T.E.I
E1-B4	3,00	15,00	12,00	T.E.II
	15,00	20,00	5,00	T.E.III
Г128	0,00	10,30	10,30	T.E.II
	10,30	15,65	5,35	T.E.III
			2.00	тсі
E1-B5	0,00	2,00	2,00	I.E.I

Πίνακας 5-22 Συγκεντρωτικός πίνακας	αποτελεσμάτων,	όπως προέκυψαν	από την	αξιολόγηση,	για κάθε
	γεώτρησ	η.			



ΚΛΙΜΑΚΑ μηκών - υψών: 1:500

Εικόνα 5.4 Τεχνικογεωλογική μηκοτομή υπό μελέτη πρανούς



Διατομή στη Χ.Θ. 81+220.00

ΚΛΙΜΑΚΑ μηκών - υψών: 1:500

Εικόνα 5.5 Τεχνικογεωλογική διατομή στη Χ.Θ. 81+220,00



Διατομή στη Χ.Θ. 81+320.00

ΚΛΙΜΑΚΑ μηκών - υψών: 1:500

Εικόνα 5.6 Τεχνικογεωλογική διατομή στη Χ.Θ. 81+320.

5.4.1 Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι (αργιλοϊλυώδης άμμος έως χάλικες)

Η συγκεκριμένη ενότητα περιλαμβάνει τους σχηματισμούς οι οποίοι σύμφωνα με την επί τόπου περιγραφή χαρακτηρίζονται ως, καστανή - ανοιχτοκάστανη, πολύ πυκνή χαλικώδης, αργιλοϊλυώδης **Άμμος** με κατά θέσεις κροκάλες ασβεστολιθικής προέλευσης, μετρίως πυκνοί, πτωχής διαβάθμισης **Χάλικες**, με ιλύ και άργιλο και ασβεστολιθικά τεμάχη, μηδενικής πλαστικότητας. Εναλλαγές από καφέ πολύ πυκνούς αμμώδης, αργιλοϊλυώδης **Χάλικες** και χαλικώδη – αργιλοϊλυώδη **Άμμο**.

Σύμφωνα με τη διεθνή κατάταξη USCS (Unified Soil Classification System) η κατηγορία αυτή των εδαφών ταξινομείται ως ιλυο-αργιλώδη Άμμος (SC-SM, SC, SM, SW-SM) και αργιλοιλυώδης Χάλικες με κατά θέσεις άμμο (GC, GM, GC-GM. GP-GM).

Η εν λόγω ενότητα εμφανίζεται στο σύνολο των γεωτρήσεων, με μόνη εξαίρεση, όπου δεν παρατηρείται στην γεώτρηση Γ128.

5.4.1.1 Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων

Στον Πίνακας 5-23 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα, τα οποία προέκυψαν από την στατιστική επεξεργασία των εργαστηριακών δοκιμών προσδιορισμού των φυσικών ιδιοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, ως αναφορά την κοκκομετρική διαβάθμιση των σχηματισμών εκτελέστηκαν 36 δοκιμές κατάταξης και 4 δοκιμές πυκνόμετρου. Το ποσοστό των **χαλίκων** (G) κυμαίνεται από 0-77,50% με μέση τιμή **33,55%**, της **άμμου** (S) από 9,00-51,60%, με μέση τιμή **34,48%** και τα λεπτόκοκκα μέρη (συμπεριλαμβανόμενου της **ιλύς** (S) και της αργίλου(C)) από 5,60-88,80%, με μέση τιμή **31,97%**. Στην Εικόνα 5.7, παρουσιάζονται σε διάγραμμα αθροιστικό, τα αντίστοιχα ποσοστά, όπως προέκυψαν. Παρατηρείται σαφή επικράτηση των πιο χονδρόκοκκων κλασμάτων στο σύνολο του σχηματισμού βάση των δοκιμών κατάταξης που πραγματοποιήθηκαν.

Στη συνέχεια εκτελέστηκαν 36 δοκιμές προσδιορισμού των Ορίων Atterberg, με το όριο υδαρότητας (LL) να κυμαίνεται μεταξύ NP (non plastic) έως 34,60% με μέση τιμή 21,01%, το όριο πλαστικότητας (PL) μεταξύ NP έως 19,10%, με μέση τιμή 12,69% και τέλος τον δείκτη πλαστικότητας (PI) από NP έως 19,10% με μέση τιμή 7,79%. Στην Εικόνα 5.8 δίνεται το διάγραμμα διασποράς του δείκτη πλαστικότητας (PI) σε σχέση με το βάθος. Οι μεγαλύτερες τιμές του PI παρατηρούνται σε πιο επιφανειακά δείγματα, ενώ αντίθετα όσο αυξάνεται το βάθος η τιμή παραμένει σταθερή και σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

	- · ·	o '	,	, ,
ΚεΦαλαιο 5°	Τεχνικονεωλονικη	θεωρηση τω	ων σχηματισμων της	ς περιογής ερευνάς
			M. Iberrere beers	,

	Πλήθος δοκιμών	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Χάλικες (G%)	36	0,00	77,50	33,55	16,12
Άμμος (S%)	36	9,00	51,60	34,48	12,50
Ιλύς (S%)	4	25,00	31,00	27,00	2,83
Άργιλος (C%)	4	4,00	14,00	10,00	4,24
Λεπτόκοκκα (F%)	36	5,60	88,80	31,97	21,25
Όριο υδαρότητας (LL)	36	0,00	34,60	21,01	7,72
Όριο πλαστικότητας (PL)	36	0,00	19,10	12,69	4,24
Δείκτης πλαστικότητας (PI)	36	0,00	19,10	7,79	5,05
Φυσική υγρασία (w%)	1			4,99	
Ειδικό βάρος (Gs)	1			2,66	

Πίνακας 5-23 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.Ι.



Εικόνα 5.7 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, από τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι.





Εικόνα 5.8 Κατανομή του Δείκτη Πλαστικότητας (ΡΙ) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι.

Αντιστοίχως στην Εικόνα 5.9, παρουσιάζεται διάγραμμα με την αθροιστική συγκέντρωση των τιμών. Όπως προκύπτει το **58,3%** των δειγμάτων παρουσιάζει τιμές **PI≤7**, 36,1% παρουσιάζει τιμές που κυμαίνονται από PI= 7 - 17, το 5,6% PI= 17 - 35 και δεν εμφανίζονται καθόλου δείγματα με πολύ υψηλή τιμή πλαστικότητας (PI>35).

Από τα παραπάνω και σύμφωνα με το διάγραμμα κατάταξης βάσει την πλαστικότητα του κάθε σχηματισμού, του Βρετανικού συστήματος (BS 5930: 1999), η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα χαρακτηρίζεται **πολύ μικρής έως καθόλου πλαστικότητας**.



Εικόνα 5.9 Διάγραμμα κατανομής Δείκτη Πλαστικότητας (PI) για την ενότητα Τ.Ε.Ι.

<u>Συντελεστής διαπερατότητας (k)</u>

Εκτός από της ως άνω παραμέτρους σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ικανότητα του μέσου στην μεταφορά και αποθήκευση υπόγειου νερού. Στον Πίνακας 5-24 παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα από τις επί τόπου δοκιμές προσδιορισμού του συντελεστή διαπερατότητας (k).

Κωδικός	Βάθο	ος (m)	Τύπος	k/am/aaa)
γεώτρησης	από	έως	δοκιμής	K(CIII/SEC)
	4,00	5,00	Maag	2,14*10 ⁻⁵
CT P1	9,00	10,00	Maag	1,05*10 ⁻⁵
СТ-ВІ	14,00	15,00	Maag	6,48*10 ⁻⁵
	19,00	20,00	Maag	3,07*10 ⁻⁶
	4,50	5,00	Maag	1,13*10 ⁻³
ст вр	10,00	10,30	Maag	1,44*10 ⁻³
CI-DZ	15,00	15,30	Maag	8,58*10 ⁻⁴
	20,50	21,00	Maag	4,47*10 ⁻⁶
C22A D1	14,00	15,00	Maag	3,98*10 ⁻⁴
CZSA-DI	19,50	20,00	Maag	1,23*10 ⁻⁴
	19,20	20,00	Maag	6,18*10 ⁻⁵
C22A P2	24,50	25,00	Maag	3,92*10 ⁻⁵
CZSA-DZ	29,50	30,00	Maag	5 <i>,</i> 20*10 ⁻⁵
	34,70	35,00	Maag	5,39*10 ⁻⁶
	14,00	15,00	Maag	3,29*10 ⁻⁴
C23A-B3	24,00	25,00	Maag	1,63*10 ⁻⁴
	29,00	30,00	Maag	6,76*10 ⁻⁵
Г126	5,10	6,90	Maag	2,14*10 ⁻⁶
Г127	15,80	15,80	Lefranc	2,70*10 ⁻²
1121	24,10	24,10	Lefranc	8,10*10 ⁻³

Πίνακας 5-24 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της περατότητας για την Τ.Ε.Ι.

Στο σύνολο, εκτελέστηκαν 20 δοκιμές από τις οποίες το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 2,14*10⁻⁶cm/sec - 2,70*10⁻²cm/sec, με μέση τιμή **1,99*10⁻³cm/sec**. Σύμφωνα με τον Πίνακας 5-18,ταξινόμησης των *Terzaghi and Peck, 1962*, η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα κατατάσσεται στους **μέτριας διαπερατότητας** σχηματισμούς





Εικόνα 5.10 Κατανομή συντελεστή διαπερατότητας (k) για την Τ.Ε.Ι, βάσει των επί τόπου δοκιμών.

5.4.1.2 Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων

Κατά την διαδικασία εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων εκτελέστηκαν δοκιμές Πρότυπης διείσδυσης (Standard Penetration Test) με άμεσο σκοπό την εκτίμηση της αντοχής, μέσω του αριθμού των κρούσεων **Nspt**. Στο σύνολο εκτελέστηκαν 50 δοκιμές, εκ των οποίων τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-25. Το εύρος των αποτελεσμάτων κυμαίνεται από Nspt=22 μέχρι Nspt=APN (Άρνηση). <u>Από τις 50 δοκιμές οι</u> <u>44 παρουσίασαν άρνηση κατά την εκτέλεση της δοκιμής, που είναι άμεσα ακόλουθο της</u> φύσης της τεχνικογεωλογικής ενότητας Τ.Ε.Ι, δεδομένης της έντονης παρουσίας κατά θέσεις <u>κροκάλων</u>.

Στο διάγραμμα της Εικόνα 5.11 παρουσιάζεται η κατανομή με το βάθος των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματα που παρουσίασαν άρνηση κατά τη δοκιμή παρουσιάζονται με τιμή 100, ώστε να γίνει αναφορά κατά τη κατασκευή του διαγράμματος.

	Πλήθος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέσος	Τυπική
	δοκιμών	τιμή	τιμή	όρος	απόκλιση
Nspt	50	22	APN		

Πίνακας 5-25 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.Ι.





Δεδομένης της φύσης του υλικού, υπήρξε αδυναμία στην διαμόρφωση δειγμάτων για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων μέσω εργαστηριακών δοκιμών. Για τον λόγο αυτό στο Πίνακας 5-26 συγκεντρώνονται επιλεκτικά βιβλιογραφικές αναφορές, μέσω των οποίων θα γίνει προσπάθεια προσδιορισμού των επί μέρους μηχανικών ιδιοτήτων, οι οποίες είναι απαραίτητες στους υπολογισμούς οι οποίοι θα ακολουθήσουν στο επόμενο Κεφάλαιο και αφορούν την επίτευξη ευστάθειας του διαμορφωμένου ορύγματος.

Χαρακτηρισμός	Φυσική – Μηχανική παράμετροι	Βιβλιογραφική αναφορά
Μέτρια πυκνή λεπτή, ιλυώδης	γ=17,00 – 19,00kN/m³	
Άμμος	φ=30° - 35°	
Χαλαρή, αδρομερής έως λεπτή	γ=17,00 – 20,00kN/m ³	
Άμμος	φ=28° - 30°	
	γ=15,00 – 17,00kN/m³	
Λαλαρη, λελτη, κοωσης Αμμος	φ=28° - 30°	(Tomilson, 1994)
Χαλαροί, καλής διαβάθμισης	γ=18,00 – 20,00kN/m ³	
αμμώδης Χάλικες	φ=28° - 30°	
Μέτρια πυκνοί, καλής	γ=19,00 – 21,00kN/m³	
διαβάθμισης αμμώδης Χάλικες	φ=30° - 36°	
Πυκνοί, καλής διαβάθμισης,	γ=20,00 – 22,00kN/m ³	

αμμώδης Χάλικες	φ=36° - 45°	
Αμμώδης Χάλικες, πτωχής διαβάθμισης Χάλικες με	φ>34°	
παρουσία άμμου και ιλύος (GM)	c=0kPa	
Καλής διαβάθμισης αμμώδης	φ>38°	
Χαλικες (GW)	c=0kPa	
Αργιλώδης Χάλικες, πτωχής	φ=31°	(NAVFAC <i>,</i> 1986)
διαβαθμισης με άμμο (SC)	c=11kPa	
Πτωχής διαβάθμισης ιλυώδης	φ=34°	
Αμμος (SM)	c=20kPa	
Ιλυοαργιλώδης Άμμος (SM-SC)	φ=33°	
	c=16kPa	
Ιλυώδης Άμμος	Es=5MPa – 20MPa	
Χαλαρή Άμμος και Χάλικες	Es=50MPa – 150MPa	(Joseph, 1997)
Πυκνή Άμμος και Χάλικες	Es=100MPa – 200MPa	

Πίνακας 5-26 Μηχανικές παράμετροι από την Διεθνή βιβλιογραφία.

5.4.1.3 Σύνοψη, Τ.Ε.Ι (αργιλοϊλυώδης άμμος έως χάλικες)

Συνοψίζοντας για την προκειμένη ενότητα μπορεί να χαρακτηριστεί, ως ένας αδρομερής σχηματισμός με σαφή επικράτηση των Κροκάλων και Άμμων, στη μάζα της. Πρόκειται για ένα συνεκτικό κατά το πλείστον κροκαλοπαγές, πολύ χαμηλής πλαστικότητας. Εμφανίζει τις μέτριες τιμές διαπερατότητας με εξαίρεση τα πιο χαλαρά τμήματα που οι τιμές είναι υψηλότερες. Όπως προέκυψε από την παραπάνω ανάλυση, οι προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού, οι οποίοι θα χρησιμοποιηθούν στην αξιολόγηση της ευστάθειας που θα ακολουθήσει, συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακας 5-27.

Παράμετρος Σχεδιασμού	Προτεινόμενη τιμή
Υγρό φαινόμενο βάρος (γ, kN/m³)	19 kN/m³
Ενεργός συνοχή (c', kPa)	9kPa
Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (φ΄, °)	32°
Μέτρο συμπιεστότητας (Es, MPa)	60MPa
Λόγος Poisson (ν)	0,32
Συντελεστής διαπερατότητας (k)	1,99*10 ⁻³ cm/sec

Πίνακας 5-27 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι.

5.4.2 Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ (μαλακή μάργα)

Στην ενότητα αυτή συμπεριλαμβάνονται οι σχηματισμοί οι οποίοι σύμφωνα με τις επί τόπου περιγραφές χαρακτηρίζονται ως, ανοιχτοκάστανη έως καστανή, πολύ στιφρή έως σκληρή ιλυώδης **Άργιλος έως Άργιλος**, χαμηλής έως μέσης πλαστικότητας με άμμο κατά θέσεις.

Σύμφωνα με τη διεθνή ταξινόμηση USCS τα εδάφη αυτής της κατηγορίας ταξινομούνται ως **CL, CL-ML**.

Η ενότητα εμφανίζεται στα στοιχεία όλων των διαθέσιμων γεωτρήσεων.

5.4.2.1 Προσδιορισμός Φυσικών παραμέτρων

Στον Πίνακας 5-28, που ακολουθεί παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από την ανάλυση των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέστηκαν σε δείγματα της εν λόγω τεχνικογεωλογικής ενότητας.

	Πλήθος δοκιμών	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Χάλικες (G%)	84	0,00	28,00	3,85	7,12
Άμμος (S%)	84	0,50	37,00	11,29	8,20
Ιλύς (S%)	48	32,00	83,00	62,47	13,66
Άργιλος (C%)	48	13,00	54,00	23,78	8,25
Λεπτόκοκκα (F%)	84	51,00	99,50	84,86	13,43
Όριο υδαρότητας (LL)	84	21,40	50,70	31,15	5,66
Όριο πλαστικότητας (PL)	84	11,70	23,20	17,10	2,21
Δείκτης πλαστικότητας (PI)	84	5,50	39,00	13,92	5,04
Φυσική υγρασία (w%)	46	7,90	26,70	16,58	3,61
Ειδικό βάρος (G₅)	8	2,69	2,75	2,72	0,02
Φαινόμενο βάρος (γ, kN/m³)	41	18,40	27,20	21,04	1,39
Ξηρό φαινόμενο βάρος (γ _d , kN/m³)	28	15,00	21,70	18,60	1,85

Πίνακας 5-28 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.
Πιο συγκεκριμένα εκτελέστηκαν 84 δοκιμές κατάταξης και 48 δοκιμές πυκνόμετρο, από τις οποίες προέκυψε η κοκκομετρική διαβάθμιση. Αναλυτικότερα το εύρος των χαλίκων (G) κυμαίνεται από 0,00-2,85%, με μέση τιμή 3,85% και της άμμου (S) από 0,50-37,00% με μέση τιμή 11,29%. Η επικράτηση των λεπτόκοκκων στοιχείων (αθροιστικά ιλύς και άργιλος) είναι φανερή, καθώς παρουσιάζουν μέση τιμή 84,86%. (Στην Εικόνα 5.12, παρουσιάζεται το συγκεντρωτικό διάγραμμα της κοκκομετρικής διαβάθμισης.) Αναλυτικότερα η ιλύς (S) εμφανίζει εύρος 32,00-83,00% με μέση τιμή 62,47% και η άργιλος (C) κυμαίνεται από 13,00-54,00% με μέση τιμή 23,78%.



Εικόνα 5.12 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, από τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.

Για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg εκτελέστηκαν 84 δοκιμές, από τις οποίες το όριο υδαρότητας (LL) παρουσιάζει εύρος 21,40-50,70% με μέση τιμή **31,15%**, το όριο πλαστικότητας (PI) κυμαίνεται από 11,70-23,20% με μέση τιμή **17,10%** και ο δείκτης πλαστικότητας (PL) από 5,50-39,00% με μέση τιμή **13,92%**. (Εικόνα 5.14)

Από το διάγραμμα διασποράς της Εικόνα 5.14, δεν παρατηρείται μεταβολή της τιμής του PI με την αύξηση του βάθους. Οι τιμές παρουσιάζουν μια σταθερή τιμή με εύρος τις τιμές 7-20.

<u>Εξαίρεση αναφορικά με την τιμή του ορίου υδαρότητας αποτελεί μία μέγιστη τιμή σε</u> δείγμα της γεώτρησης C23A-B2 και σε βάθος 37,00-38,00m, γεγονός το οποίο το συγκεκριμένο δείγμα χαρακτηρίζεται ως υψηλής πλαστικότητας.

Από τα παραπάνω και σύμφωνα με το διάγραμμα πλαστικότητας κατάταξης του Βρετανικού συστήματος (BS 5930: 1999), η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα χαρακτηρίζεται ως **χαμηλής πλαστικότητας**.

Ακολούθως εκτελέστηκαν 46 δοκιμές προσδιορισμού της φυσικής υγρασίας (w) με τιμές μεταξύ 7,90-26,70% και μέση τιμή **16,58%**. Το υγρό φαινόμενο βάρος (γ) προσδιορίστηκε με την εκτέλεση 41 δοκιμών με μέση τιμή **21,04kN/m³**, και αντίστοιχα για το ξηρό φαινόμενο βάρος (γ_d) εκτελέστηκαν 28 δοκιμές με μέση τιμή **18,60 kN/m³**.

Τέλος, εκτελέστηκαν 8 δοκιμές προσδιορισμού του ειδικού βάρους (G_s) από τις οποίες υπολογίστηκε μέση τιμή **2,72**.



Εικόνα 5.13 Κατανομή του Δείκτη Πλαστικότητας (PI) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.



Εικόνα 5.14 Διάγραμμα κατανομής Δείκτη Πλαστικότητας (PI) για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.

Συντελεστής διαπερατότητας (k)

Στο σύνολο, εκτελέστηκαν 35 δοκιμές, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακας 5-29 από τις οποίες το εύρος των τιμών κυμαίνεται από 5,40*10⁻⁷cm/sec – 6,39*10⁻³cm/sec, με μέση τιμή **3,67*10⁻⁴cm/sec**. Σύμφωνα με τον Πίνακας 5-18 ταξινόμησης των *Terzaghi and Peck, 1962*, η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα κατατάσσεται στους **μέτρια έως χαμηλής διαπερατότητας** σχηματισμούς. Δεν θα πρέπει να παραληφθεί, ότι παρά της τιμής αυτής, από την στατιστική επεξεργασία, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.15, είναι σαφή η επικράτηση πολύ πιο χαμηλών τιμών, πέραν της μέσης τιμής. Επομένως, η εν λόγω ενότητα Τ.Ε.ΙΙ, μπορεί να χαρακτηριστεί ως **χαμηλής** έως πολύ χαμηλής διαπερατότητας.

Κωδικός	Βάθα	ος (m)	Τύπος δογιμός	k/am /aaa)
Γεώτρησης	από	έως	ι υπος σοκιμης	K(CM/SEC)
			Maagtupo	1,10*10 ⁻⁶
BH-33			recovery	7,10*10 ⁻⁷
			recovery	5 <i>,</i> 40*10 ⁻⁷
	4,60	5,00		7,16*10 ⁻⁵
E1-B3	10,00	10,70	Maag	1,67*10 ⁻⁵
	19,00	20,00		9,30*10 ⁻⁶
CT D1	24,00	25,00	»	3,02*10 ⁻⁶
CI-BI	29,00	30,00		2,95*10 ⁻⁶
CT-B2	24,00	25,00	»	4,11*10 ⁻⁶
54 D4	4,50	5,00	»	6,39*10 ⁻³
E1-B4	9,00	10,00		4,15*10 ⁻⁵
54.20	4,00	5,40	»	2,21*10 ⁻⁶
1128	10,00	10,45		2,86*10 ⁻⁶
	4,50	5,00		_
	9,50	10,00		Δεν
E1-B5	14,50	15,00	»	παρατηρήθηκε
	19,50	20,00		πτώση στάθμης
	24,50	25,00		
	4,00	5,00		3,89*10 ⁻³
633A B4	9,50	10,00	»	3,80*10 ⁻⁴
С23А-В1	24,50	25,50		3,77*10 ⁻⁶
	29,50	30,00		2,08*10 ⁻⁶
	4,00	5,00		1,11*10 ⁻⁵
	9,00	10,00		7,90*10 ⁻⁶
	14,00	15,00		6,46*10 ⁻⁶
C236-B2	39,60	40,00	»	7,78*10 ⁻⁶
	44,50	45,00		2,17*10 ⁻⁶
	49,50	50,00		2,74*10 ⁻⁶
	54,00	55,00		1,98*10 ⁻⁴
	4,00	5,00		1,39*10 ⁻⁵
C22A_B2	9,50	10,00	»	3,93*10 ⁻⁶
CZSA-DS	19,40	20,00		9,97*10 ⁻⁵
	34,00	35,00		2,74*10 ⁻⁶
	9,30	10,00		6,73*10 ⁻⁵
Г126	16,40	16,90	»	2,59 [*] 10 ⁻⁵
	19,00	20,20		4,67*10 ⁻⁶

	23,50	25,00		1,278*10 ⁻⁵
	6,00	7,20		3,70*10 ⁻⁶
Г127	10,00	10,50	»	1,41*10 ⁻⁶
	19,30	19,30		1,54*10 ⁻³

Πίνακας 5-29 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της περατότητας για την Τ.Ε.ΙΙ.



Εικόνα 5.15 Κατανομή συντελεστή διαπερατότητας (k) για την Τ.Ε.ΙΙ, βάσει των επί τόπου δοκιμών.

5.4.2.2 Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών εκτελέστηκε ένα σύνολο επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, των οποίων όπως και οι τιμές οι οποίες προέκυψαν από τη στατιστική επεξεργασία αυτών παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-30.

		Πλήθος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Μέσος	Τυπική
		δοκιμών	τιμή	τιμή	όρος	απόκλιση
Nspt		41	23	APN	_	_
Αντοχή σε ανε	μπόδιστη θλίψη (q _u , kPa)	52	51	1372	541,5	344,44
	Δοκιμ	ές τριαξονική	ς φόρτισης			
	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ(°)	3	23	38	30,8	7,70
	Συνοχή, c(kPa)	3	8	52	26,9	22,41
COPP	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής, φ'(°)	22	15	35	29,5	4,59
	Ενεργός συνοχή, c'(kPa)	22	0	60	19,5	17,36
	Δοκι	μές άμεσης δ	ιάτμησης			
CU	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ (°)	5	20	35	29,0	6,04
	Συνοχή, c(kPa)	5	7	130	66,0	54,29
CD	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής, φ'(°)	23	14	36	26,4	5,45

	Ενεργός συνοχή, c'(kPa)	23	3	70	29,3	20,16
υυ	Γωνία εσωτερικής τριβής, φ(°)	3	20	29	23,7	4,73
	Συνοχή, c(kPa)	3	18	95	46,3	42,34
Δοκιμή Οιδημέτρου						
C _c		21	0,020	0,220	0,119	0,051
C _v *10 ⁻⁴ (cm ² /s	ec)	17	5,77	36,51	16,85	7,67
P _c (kPa)		14	90	200	160	38
eo		33	0,390	0,770	0,536	0,080
Es(25-50) (Mpa)		13	1564	12048	4780	3033
Es(50-100) (Mpa)	15	1564	15960	6890	5383
Es(100-200) (Mp	a)	16	2438	21234	8654	5738
Es(200-400) (Mp	a)	16	4733	38552	13298	8727
Es(400-800) (Mp	a)	16	10455	99951	25761	21765

Πίνακας 5-30 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.

<u>Πρότυπη δοκιμή διείσδυσης - SPT</u>

Πιο αναλυτικά, εκτελέστηκαν 41 Πρότυπης Δοκιμής Διείσδυσης εκ των οποίων οι τιμές κυμαίνονται από 23 έως Άρνηση στην εκτέλεση της δοκιμής. Στην Εικόνα 5.17 δίνεται το διάγραμμα διασποράς των τιμών με το βάθος. *Αξίζει να σημειωθεί ότι οι 13 δοκιμές παρουσίασαν άρνηση κατά την εκτέλεση και για την καλύτερη εμφάνιση στο διάγραμμα του συνόλου των δοκιμών δόθηκε στις περιπτώσεις αυτές η τιμή 100*. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι δεν εμφανίζουν μεγάλη διασπορά στις τιμές με το μεγαλύτερο ποσοστό να κυμαίνεται μεταξύ 15 – 30, όπως απεικονίζεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα της Εικόνα 5.16.

Ο σχηματισμός, δεδομένης και της επικράτησης των λεπτομερών στοιχείων χαρακτηρίζεται ως πολύ στιφρός έως σκληρός (βλ. Πίνακας 5-20 Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT, κατά Terzaghi.





Εικόνα 5.16 Κατανομή της τιμής του Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.



Δοκιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Ακολούθως εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές προσδιορισμού της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη. Στο σύνολο εκτελέστηκαν 52 δοκιμές, με την τιμή της αντοχής να κυμαίνεται από 51kPa έως 1372kPa, με μέση τιμή τα **541,5kPa**. Στο διάγραμμα της Εικόνα 5.18, παρουσιάζεται η κατανομή της q_u, με το βάθος. Μπορεί να παρατηρηθεί, πως οι τιμές της αντοχής παρουσιάζουν την ίδια διασπορά τιμών σε κάθε γεώτρηση.

<u>Γνωρίζοντας την τιμή της αντοχής, η οποία προέκυψε βάσει των εργαστηριακών δοκιμών,</u> μπορούμε να υπολογίσουμε την τιμή της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής S_u = q_u/2. Επομένως, για την εν λόγω περίπτωση S_u ≈ 271kPa.

Για την καλύτερη απεικόνιση των τιμών της αντοχής κατασκευάστηκε διάγραμμα (Εικόνα 5.19), στο οποίο χωρίστηκαν σε 6 κλάσεις τα αποτελέσματα. Παρατηρείται ότι οι κλάσεις με τη μεγαλύτερη εμφάνιση είναι μεταξύ των 250 - 500kPa και 500 - 750kPa. Επομένως, η μέση τιμή της αντοχής όπως ήδη υπολογίστηκε παραπάνω (541,50kPa), για την προκειμένη ενότητα θεωρείται ικανοποιητική.



Εικόνα 5.18 Κατανομή της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη (q_u) με το βάθος για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.



Εικόνα 5.19 Διάγραμμα διάκρισης κλάσεων της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.

Ενεργές παράμετροι συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής, εκτελέστηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης και τριαξονικές δοκιμές. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, τα οποία αφορούν τα είδη των δοκιμών που εκτελέστηκαν, συμπεριλαμβανομένων και των αποτελεσμάτων, απεικονίζονται στον Πίνακας 5-34.

Στο σύνολο εκτελέστηκαν 22 δοκιμές τύπου **CUPP**, με σκοπό να προσδιοριστούν οι τιμές των ενεργών παραμέτρων συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής. Αναφορικά με τις τιμές η συνοχή (**c'**) κυμαίνεται από 0 – 60kPa, με μέση τιμή **19,5kPa** και η γωνία εσωτερικής τριβής (**φ'**) μεταξύ 15 - 35°, με μέση τιμή τις **29,5°.**

Αντίστοιχα διεξήχθησαν 23 δοκιμές τύπου **CD** (άμεσης διάτμησης), με την τιμή της ενεργού συνοχής να κυμαίνεται μεταξύ 3 – 70kPa και μέση τιμή τα **23,7kPa**, ενώ αντίστοιχα η τιμή της ενεργού γωνίας εσωτερικής τριβής κυμαίνεται από 14 - 36°, με μέση τιμή τις **26,4°**.

Στο διάγραμμα της Εικόνα 5.7, απεικονίζονται τα αποτελέσματα και από τους δύο τύπους δοκιμών. Από αυτό μπορεί να παρατηρηθεί, ότι τιμές δεν παρουσιάζουν μεγάλη διασπορά, όσο αναφορά την τιμή της φ', καθώς επίσης και οι τιμές της c' κυμαίνονται σε κοντινά επίπεδα, με μικρές αποκλίσεις.





Καταλήγοντας, ύστερα από την προηγούμενη ανάλυση μπορούμε να εξάγουμε τις τιμές των προκειμένων παραμέτρων, όπως υπολογίστηκαν από το σύνολο των δοκιμών, με σκοπό στην χρησιμοποίησή τους για τον καλύτερο γεωτεχνικό σχεδιασμό.

Ως εκ τούτου, προκύπτουν:

- Ενεργός συνοχή, **c': 24kPa**
- Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής, φ': 28°

<u>Παράμετροι συμπιεστότητας</u>

Για τον προσδιορισμό των παραμέτρων συμπιεστότητας διεξήχθησαν στο σύνολο 21 δοκιμές οιδημέτρου. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των δοκιμών παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-30. Πιο συγκεκριμένα διεξήχθησαν 14 δοκιμές προσδιορισμού της **τάσης προφόρτισης (Pc)**, των οποίων το εύρος κυμαίνεται από 90 – 20kPa, με μέση τιμή **160kPa**. Το **μέτρο συμπιεστότητα (E**_s), κυμαίνεται από 1,5 – 100MPa, με μέση τιμή **50,7MPa**.

5.4.2.3 Σύνοψη, Τ.Ε.ΙΙ (μαλακή μάργα)

Συγκεντρωτικά, για την εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα, μπορεί να χαρακτηριστεί ως μια μαλακή μάργα, με μικρή παρουσία κατά θέσεις πιο αδρομερών στοιχείων (κροκάλων και άμμων). Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από χαμηλής πλαστικότητας και χαμηλής διαπερατότητας. Οι προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού, όπως προέκυψαν από την ανάλυση των εργαστηριακών και επί τόπου δοκιμών, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον ακόλουθο Πίνακας 5-31.

Παράμετρος Σχεδιασμού	Προτεινόμενη τιμή
Υγρό φαινόμενο βάρος (γ)	21 kN/m³
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (S ")	271kPa
Ενεργός συνοχή (c')	24kPa
Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (φ')	28°
Μέτρο συμπιεστότητας (E ₅, MPa)	50,7
Λόγος Poisson (v)	0.35
Συντελεστής διαπερατότητας (k)	3,67*10 ⁻⁴ cm/sec

Πίνακας 5-31 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για τη τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ.

5.4.3 Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ (μέτρια - σκληρή μάργα)

Η προκειμένη τεχνικογεωλογική ενότητα χαρακτηρίζεται από τις επί τόπου περιγραφές ως γκρι πολύ στιφρή έως σκληρή Άργιλος – Μάργα, χαμηλής πλαστικότητας. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο σχηματισμός εμπίπτει στη κατηγορία των μαλακών βράχων και για τον λόγο αυτό, η προσέγγιση και η διερεύνηση που θα ακολουθήσει θα είναι προς αυτή την κατεύθυνση.

Ο εν λόγω σχηματισμός δε συναντάται στην πλειοψηφία των αποτελεσμάτων του γεωερευνητικού προγράμματος, παρά μόνο στις ακόλουθες γεωτρήσεις: CT-B1, CT-B2, E1-B4 και Γ128.

5.4.3.1 Προσδιορισμός φυσικών παραμέτρων

Για τον προσδιορισμό των φυσικών ιδιοτήτων, πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από εργαστηριακές δοκιμές, το σύνολο των αποτελεσμάτων που προέκυψε ύστερα από τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων παρουσιάζεται στον Πίνακας 5-32. Αναλυτικότερα, εκτελέστηκαν 7 δοκιμές κατάταξης και 3 δοκιμές αραιομέτρου, από τις οποίες προέκυψε η κοκκομετρική διαβάθμιση του σχηματισμού.

Πιο συγκεκριμένα, το ποσοστό των **χαλίκων (G)** κυμαίνεται από 0,00 – 1,00% με μέση τιμή **0,14%**, η **άμμος (S)** παρουσιάζει διακύμανση από 1,00 – 29,00% με μέση τιμή **10,03%**, η **ιλύς (S)** από 50,00 – 74,00% με μέση τιμή **64,00%** και η **άργιλος (C)** από 19,00 – 22,00%, με μέση τιμή **22,00%**. Στο σύνολο τα λεπτόκοκκα στοιχεία συμπεριλαμβάνουν το 89,83% του εν λόγω σχηματισμού. Είναι σαφή η υπεροχή του λεπτόκοκκου κλάσματος. Στο διάγραμμα της Εικόνα 5.21 δίνεται η παραπάνω κατανομή με βάση μεγέθους κόκκων.

	Πλήθος δοκιμών	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Χάλικες (G%)	7	0,00	1,00	0,14	0,38
Άμμος (S%)	7	1,00	29,00	10,03	9,50
Ιλύς (S%)	3	50,00	74,00	64,00	12,49
Άργιλος (C%)	3	19,00	27,00	22,00	4,36
Λεπτόκοκκα (F%)	7	70,00	99,00	89,83	9,84
Όριο υδαρότητας (LL)	7	23,30	41,90	29,46	7,12
Όριο πλαστικότητας (PL)	7	15,00	23,10	18,00	3,00
Δείκτης πλαστικότητας (PI)	7	8,20	20,80	11,46	4,56
Φυσική υγρασία (w%)	3	11,90	19,90	17,07	4,48
Ειδικό βάρος (Gs)	1	I	_	2,72	Ι
Φαινόμενο βάρος (γ, kN/m³)	6	19,00	26,00	21,73	2,59
Ξηρό φαινόμενο βάρος (γ _d , kN/m³)	1	_	_	17,40	_

Πίνακας 5-32 Αποτελέσματα επεξεργασίας φυσικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.



Εικόνα 5.21 Διάγραμμα κατανομής της κοκκομετρίας, με βάσει τις εργαστηριακές δοκιμές για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

Για τον προσδιορισμό των ορίων Atterberg, διεξήχθησαν 7 δοκιμές εκ των οποίων το **όριο** υδαρότητα (LL) κυμαίνεται από 23,30 – 41,90%, με μέση τιμή **29,46%**, το **όριο** πλαστικότητας από 15,00 – 23,10%, με μέση τιμή **18,00%** και ο **δείκτης πλαστικότητας (PI)** από 8,20 – 20,80%, με μέση τιμή **11,46%**. Στο διάγραμμα της Εικόνα 5.22 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την ενότητα TIII, όπως προέκυψαν από τις εργαστηριακές δοκιμές, χωρισμένα στις αντίστοιχες κλάσεις ως προς τον δείκτη πλαστικότητας (PI). Αντιστοίχως στο διάγραμμα διασποράς της Εικόνα 5.23 απεικονίζεται η κατανομή του PI, ως προς το βάθος. Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι τιμές δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις, με το κύριο νέφος αυτών να κυμαίνεται στην ίδια κλάση, ανεξαρτήτως του βάθους.

Από τα παραπάνω και σύμφωνα με το διάγραμμα πλαστικότητας κατάταξης του Βρετανικού συστήματος (BS 5930: 1999), ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως **χαμηλής** – ενδιάμεσης πλαστικότητας.



Εικόνα 5.22 Διάγραμμα κατανομής δείκτη πλαστικότητας (PI) για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.



Εικόνα 5.23 Κατανομή του δείκτη πλαστικότητας με το βάθος για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

Ακολούθως, εκτελέστηκαν 3 δοκιμές προσδιορισμού της **φυσικής υγρασίας (w)** με τη μέση τιμή αυτή να υπολογίζεται σε **17,07%**. Τέλος, διεξήχθησαν 6 δοκιμές προσδιορισμού του **υγρού φαινόμενου βάρους (γ)**, με τις τιμές αυτού να κυμαίνονται από 19,00 – 26,00kN/m³, με μέση τιμή **21,73kN/m³**.

Συντελεστής διαπερατότητας (k)

Για τον υπολογισμό της περατότητας του σχηματισμού, εκτελέστηκαν 5 επί τόπου δοκιμές, τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακας 5-33 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της διαπερατότητας για την Τ.Ε.ΙΙΙ. Ακολούθως στην Εικόνα 5.24, απεικονίζεται η αντίστοιχη κατανομή με βάσει τις διακριμένες κλάσεις. Η τιμή του συντελεστή κυμαίνεται από 2,86*10⁻⁶ - 1,58*10⁻⁵cm/sec, με μέση τιμή **7,4*10⁻⁶cm/sec**, γεγονός που τον καθιστά στους **πολύ χαμηλής** διαπερατότητας σχηματισμούς βάσει του Πίνακας 5-18 Κατηγορίες ταξινόμησης, βάσει της τιμής διαπερατότητας (k, cm/sec) (*Terzaghi & Peck, 1962*).

	Βάθος (m)		Τύπος	k(cm/coc)
BH	από	έως	δοκιμής	K(CM/SeC)
	30,00	31,00	Maag	2,86*10 ⁻⁶
CT-B2	34,00	35,00		3,10*10 ⁻⁶
F1 D4	15,00	16,50	»	1,58*10 ⁻⁵
CI-D4	18,00	20,00		1,23*10 ⁻⁵
Г128	15,20	15,65	»	3,10*10 ⁻⁶

Πίνακας 5-33 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμών, προσδιορισμού της διαπερατότητας για την Τ.Ε.ΙΙΙ.





5.4.3.2 Προσδιορισμός μηχανικών παραμέτρων

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων της ενότητας Τ.Ε.ΙΙΙ, εκτελέστηκαν, ένα πλήθος επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών, τα αποτελέσματα των οποίων παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακας 5-34, ύστερα από τη στατιστική επεξεργασία αυτών.

		Πλήθος δοκιμών	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέσος όρος	Τυπική απόκλιση
Nspt		5	50	78		
Αντοχή σε ανεμπό	διστη θλίψη (q _u ,kPa)	6	95	794	478	251
		Δοκιμές τρι	αξονικής φόρτι	σης		
CUPP	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής, φ'(°)	2	20	26,4	23,2	4,53
	Ενεργός συνοχή, c'(kPa)	2	10,1	33	21,55	16,19
	φu	1	-	_	11,3	-
00	Cu	1	_	_	238,03	_
		Δοκιμές ά	μεσης διάτμησι	าร		
CD	Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής, φ'(°)	2	25	29,4	27,2	3,11
	Ενεργός συνοχή, c'(kPa)	2	64,7	76,5	70,6	8,35
		Δοκιμι	ή Οιδημέτρου			
C _c		1			0,134	_
$C_v^* 10^{-4} (cm^2/sec)$		1	_	_	7,91	_

P _c (kPa)	1	_	_	180	_
eo	1	_	_	0,4333	_
Es(25-50) (Mpa)	1	_	_	6595	_
Es(50-100) (Mpa)	1	_	_	4641	_
Es(100-200) (Mpa)	1	_	_	6057	_
Es(200-400) (Mpa)	1	_	_	8911	_
Es(400-800) (Mpa)	1	_	_	15393	_

Πίνακας 5-34 Αποτελέσματα επεξεργασίας μηχανικών ιδιοτήτων για την Τεχνικογεωλογική Ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

<u>Δοκιμή πρότυπης διείσδυσης (SPT)</u>

Εκτελέστηκαν στο σύνολο 5 δοκιμές, εκ των οποίων όλες οι τιμές είναι μεγαλύτερες του Nspt = 50. Επομένως, ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται ως σκληρός με βάση αυτό το κριτήριο (βλ. Πίνακας 5-20 Ταξινόμηση εδαφών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής SPT, κατά Terzaghi. Στην Εικόνα 5.25 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της δοκιμής σε σχέση με το βάθος εκτέλεσης και αντίστοιχα στον Πίνακας 5-35 δίνονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την επί τόπου εκτέλεση της δοκιμής.



Εικόνα 5.25 Κατανομή του αριθμού κρούσεων Nspt, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ, με το βάθος.

Κωδικός γεώτρησης	Βάθος δείγματος (m)	Nspt
	10,30-10,75	61
Г128	12,55-13,00	69
	15,20-15,65	51
E1 D4	16,55-18,00	50
с1-84	18,55-19,00	78

Πίνακας 5-35 Αποτελέσματα επί τόπου δοκιμής SPT ,για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

Δοκιμή αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη

Ακολούθως εκτελέστηκαν 6 δοκιμές αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη το εύρος των οποίων κυμάνθηκε από 95 – 794kPa, με μέση τιμή 480kPa. Μέσω της δοκιμής αυτής είναι δυνατό να γίνει εκτίμηση της αστράγγιστης διατμητικής αντοχής της ενότητας μέσω της σχέσης $S_u = q_u/2$. Επομένως, προκύπτει ότι η αστράγγιστη διατμητική αντοχή, εκτιμάται σε $S_u = 240$ kPa.

Στην Εικόνα 5.26, παρουσιάζεται το αντίστοιχο διάγραμμα της κατανομής της q_u, με το βάθος για την ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.





Ενεργές παράμετροι συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής

Για τον προσδιορισμό των μηχανικών παραμέτρων συνοχής και γωνίας εσωτερικής τριβής, εκτελέστηκαν δοκιμές άμεσης διάτμησης και τριαξονικές δοκιμές. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα, τα οποία αφορούν τα είδη των δοκιμών που εκτελέστηκαν, συμπεριλαμβανομένων και των αποτελεσμάτων, απεικονίζονται στον Πίνακας 5-34.

Στο σύνολο εκτελέστηκαν 2 τριαξονικές δοκιμές, **CUPP** τα αποτελέσματα των οποίων για την τιμή της ενεργού συνοχής (c') κυμαίνονται από 10,1-33kPa και αντιστοίχως για την ενεργό γωνία εσωτερικής τριβής (φ') οι τιμές κυμαίνεται από20-26,4°.

Ακολούθως εκτελέστηκαν 2 δοκιμές άμεσης διάτμησης, τύπου **CD** με την τιμή της ενεργού συνοχής (c') να κυμαίνεται από 64,7-76,5kPa και αντιστοίχως για την ενεργό γωνία εσωτερικής τριβής (φ') οι τιμές κυμαίνεται από 25-29,4°.

Στην Εικόνα 5.27, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών. **Αξίζει να** σημειωθεί ότι δεδομένης της πολύ μικρής πληροφορίας και της μεγάλης απόκλισης μεταξύ των τιμών δεν μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς μια μέση τιμή για της εν λόγω παραμέτρους. Προτιμάτε να δοθεί ένα εύρος τιμών το οποίο θα καλύπτει πληρέστερα τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών.



Εικόνα 5.27 Παρουσίαση αποτελεσμάτων των δοκιμών CUPP και CD, για την τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

5.4.3.3 Σύνοψη, Τ.Ε.ΙΙΙ (μέτρια - σκληρή μάργα)

Συνοπτικά, η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα αποτελείται από μαργαϊκούς σχηματισμούς (Μάργα), που εμπίπτουν στη κατηγορία των μαλακών βράχων. Νωρίτερα αναλύθηκαν τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από τις επί τόπου και εργαστηριακές δοκιμές. <u>Αξίζει να σημειωθεί ότι η εν λόγω τεχνικογεωλογική ενότητα δεν συναντάται στο υπό μελέτη τμήμα, αλλά παρατίθενται τα αποτελέσματα, εφόσον αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα όλων των γεωτρήσεων.</u> Στον Πίνακας 5-36, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι παράμετροι σχεδιασμού, όπως προέκυψαν.

Παράμετρος Σχεδιασμού	Προτεινόμενη τιμή
Υγρό φαινόμενο βάρος (γ)	22 kN/m ³
Αστράγγιστη διατμητική αντοχή (S ")	240kPa
Ενεργός συνοχή (c')	30-50kPa
Ενεργός γωνία εσωτερικής τριβής (φ')	23-27°

Συντελεστής διαπερατότητας (k)	7,4*10 ⁻⁶ cm/sec

Πίνακας 5-36 Προτεινόμενοι παράμετροι σχεδιασμού για τη τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ.

6 Μηχανισμοί αστοχίας των σχηματισμών στην περιοχή μελέτης. Ανάλυση ευστάθειας πρανών.

Κατά την ανάλυση ευστάθειας που ακολουθεί, εξετάζονται οι πιθανές κυκλικές επιφάνειες ολίσθησης του εδαφικού υλικού, δίνοντας την κρίσιμη επιφάνεια ολίσθησης, δηλαδή την επιφάνεια με τον χαμηλότερο συντελεστή ασφάλειας (F.S.). Τα αντίστοιχα μηχανικά χαρακτηριστικά , λαμβάνονται υπόψη από την επεξεργασία των διαθέσιμων στοιχείων όπως αυτά αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο 5.

Οι αναλύσεις έγιναν για ξηρές συνθήκες και υγρές συνθήκες (με πίεση του νερού των πόρων), σε δυναμικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τη σεισμική επιτάχυνση. Δεδομένο ότι η περιοχή μελέτης ανήκει στη **ζώνη ΙΙ** (ΕΑΚ, 2003 Κεφ.5, παρα.5.4.1), σύμφωνα με το νέο χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας, ο συντελεστής σεισμικότητας είναι α= 0,24 και η σεισμική εδαφική επιτάχυνση είναι ίση με A= α*g= 0,24*g.

Από τα στοιχεία της κατασκευής προκύπτει η υποχρέωση αύξησης του εν λόγω συντελεστή κατά 30%, σε σύγκριση με την τιμή που υποχρεώνει ο ΕΑΚ. Επομένως, η τιμή του συντελεστή εδαφικής επιτάχυνσης υπολογίζεται ως A= 1,30*0,24*g= **0.31*g**.

Οι παράμετροι που έχουν χρησιμοποιηθεί σε κάθε μία περίπτωση, καθώς και οι κύκλοι ολίσθησης που προκύπτουν με τον χαμηλότερο συντελεστή (FS), παρουσιάζονται ακολούθως. <u>Σημειώνεται ότι η μέθοδος ανάλυσης που έχει ληφθεί υπόψη είναι η μέθοδος</u> <u>Spencer, διότι είναι η μέθοδος που λαμβάνει υπόψη τόσο τις διατμητικές όσο και τις</u> <u>κανονικές τάσεις, και θεωρείται περισσότερο αξιόπιστη όταν απαιτείται μια πιο</u> <u>ολοκληρωμένη στατική λύση.</u>

6.1 Περιγραφή λογισμικού ανάλυσης ισορροπίας

Η εκτίμηση της ευστάθειας του υπό μελέτη πρανούς έχει ως σκοπό την αξιολόγηση του για την αποτροπή αστοχιών κατά τη φάση εκτέλεσης των εργασιών για την κατασκευή της νέας οδοποιίας, για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης οριακής ισορροπίας με την χρήση του αντίστοιχου λογισμικού.

Έγινε χρήση του λογισμικού **Slide v 6.0** της εταιρείας Rocksience σε δισδιάστατο γεωλογικό προσομοίωμα για την ανάλυση ευστάθειας σε περιπτώσεις κυκλική ολίσθησης. Η ευστάθεια των πρανών της περιοχής εξαρτάται από την αντοχή των εδαφικών οριζόντων, τη γεωμετρία του πρανούς, την σεισμικότητα της περιοχής και τις υπάρχουσες υδρογεωλογικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αστοχίας που εξετάζεται αφορά σε κυκλική (περιστροφική) ολίσθηση, καθώς στην περιοχή απαντούν συνεκτικοί εδαφικοί σχηματισμοί και δεν εντοπίζονται προτιμητέες δυσμενής επιφάνειες (ασυνέχειες, ρήγματα κλπ), ώστε να διερευνηθεί η περίπτωση ανισότροπης μορφής αστοχίας.

Για την καλύτερη προσομοίωση της συμπεριφοράς του υπό μελέτη πρανούς, κρίθηκε αναγκαία η εξέταση δύο διατομών. Οι αναλύσεις έγιναν και ξηρές – δυναμικές και υγρές -

δυναμικές συνθήκες. Η 1^η περίπτωση ανταποκρίνεται στις υπάρχουσες συνθήκες, με βάση τα δεδομένα των δοκιμών περατότητας και μέτρησης στάθμης που εκτελέστηκαν.

Η 2^η περίπτωση εξετάζεται για την περαιτέρω διερεύνηση, αποτελεί δε ακραία περίπτωση και δεν θεωρείται ότι ανταποκρίνεται στις πραγματικές συνθήκες. Για λόγους, που αφορούν την καλύτερη διερεύνηση της ευστάθειας κρίθηκε απαραίτητη η εν λόγω περίπτωση.

6.2 Διερεύνηση ευστάθειας στη Χ.Θ. 81+220

Στο Σχήμα 6-1, παρουσιάζεται η διατομή όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα του γεωερευνητικού προγράμματος για την θέση Χ.Θ. 81+220. Στην θέση εμφανίζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες Τ.Ε.Ι, και Τ.Ε.ΙΙ, με σαφή επικράτηση της Τ.Ε.ΙΙ. Ο ορίζοντας του συνεκτικού κροκαλοπαγούς συναντάται με τη μορφή «φακού», εντός στρώματος της μαλακής μάργας. Η εξέταση βασίστηκε στις υπάρχουσες συνθήκες και έγινε ώστε να γίνει δυνατή η διερεύνηση της μεταβολής του συντελεστή ασφαλείας κάτω από διαφορετικές συνθήκες οι οποίες αφορούν την αλλαγή της γεωμετρίας και των υδατικών συνθηκών της περιοχής.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε στεγνές συνθήκες και με την χρήση σεισμικής επιφόρτισης. Προέκυψε ο συντελεστή ασφαλείας **F.S. = 2.9**.

Ακολούθως, στο Σχήμα 6-2, αφορά την περίπτωση αλλαγής της γεωμετρίας του πρανούς με νέα διαμορφωμένη κλίση 56°. Η 1^η περίπτωση αφορά στεγνές συνθήκες και παρουσιάζεται ο κύκλος ολίσθησης , που αντιπροσωπεύει την δυσμενέστερη περίπτωση. Ο συντελεστής ασφαλείας στην περίπτωση αυτή είναι ίσος με **F.S.=1.8**. Ακολούθως η 2^η περίπτωση παρουσιάζει το δυσμενέστερο σενάριο μεταβολής των υδατικών συνθηκών (το οποίο όπως προέκυψε, δεν θεωρείται ιδιαιτέρως πιθανό με πίεση του νερού των πόρων Ru=0.3). Στην περίπτωση αυτή η τιμή του συντελεστή ασφαλείας για τον δυσμενέστερο κύκλο ολίσθησης είναι **F.S.=1.5**.

<u>Παρατηρούμε, πως για την εξεταζόμενη θέση δεν υπάρχει κίνδυνος περιστροφικής</u> ολίσθησης με τη δημιουργία κλίσης 56°, καθώς η τιμή του συντελεστή ασφαλείας, ακόμα και για το δυσμενέστερο πιθανό σενάριο ανταποκρίνεται στις προϋποθέσεις ασφαλείας με τον F.S να είναι αρκετά μεγαλύτερος του 1.

Στη συνέχεια, στο Σχήμα 6-3, υπολογίζεται η τιμή του F.S. για ξηρές και μη υδατικές συνθήκες, με αρκετά πιο απότομη κλίση πρανούς 78°. Στην 1^η περίπτωση που αφορά στεγνές υδατικές συνθήκες η τιμή του **F.S.= 1.5**, ενώ για υγρές συνθήκες με πίεση πόρων Ru=0.3, ο δυσμενέστερος κύκλος ολίσθησης παρουσιάζεται, δίνοντας τιμή **F.S.=1.3**.

Και στην περίπτωση αυτή, αναμένεται πρόβλημα με την ευστάθεια του πρανούς, η οποία σχετίζεται με τις ιδιότητες των τεχνικογεωλογικών ενοτήτων, όπως προέκυψαν από την αξιολόγηση που προηγήθηκε στο Κεφάλαιο 5.



Σχήμα 6-1 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με τις υπάρχουσες συνθήκες.



Σχήμα 6-2 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=56°και Ru=0 (1^η περίπτωση), Ru=0.3 (2^η περίπτωση).



Σχήμα 6-3 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+220, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=78°και Ru=0 (1^η περίπτωση), Ru=0.3 (2^η περίπτωση).

6.2.1 Σύνοψη για τη X.Θ. 81+220

Από την διερεύνηση που προηγήθηκε για την συγκεκριμένη διατομή στη Χ.Θ.81+220, προκύπτει ότι το δεν πρόκειται να αντιμετωπιστεί κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την φάση κατασκευής και λειτουργίας, με τον συντελεστή ασφαλείας να παίρνει τιμές αρκετά μεγαλύτερες του 1. Αξίζει να σημειωθεί, ότι δεδομένης της φύσης της Τ.Ε.Ι με την ύπαρξη κατά θέσεις περισσότερο αδρομερών υλικών κρίνεται σκόπιμη η προστασία αυτών στην περίπτωση έκθεσης τους σε επιφανειακές συνθήκες.

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όπως προέκυψαν από την ανάλυση που προηγήθηκε παρουσιάζονται στον Πίνακας 6-1 που ακολουθεί.

Κλίση	Πίεση του νερού των πόρων (Ru)	Συντελεστής ασφαλείας (F.S.)
Φυσικό πρανές	0	2.9
56°	0	1.8
	0.3	1.5
78°	0	1.5
	0.3	1.3

Πίνακας 6-1 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα F.S. ανάλυσης ευστάθειας στη θέση Χ.Θ.81+220.

6.3 Διερεύνηση ευστάθειας στη Χ.Θ. 81+320

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η αξιολόγηση της ευστάθειας του πρανούς στη θέση Χ.Θ.81+320. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την προηγούμενη περίπτωση, μεταβολής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών καθώς και επιλογής δύο σεναρίων υδατικών συνθηκών.

Στο Σχήμα 6-4 παρουσιάζεται η διατομή με τις υφιστάμενες συνθήκες. Η τιμή του συντελεστή ασφαλείας **F.S.=2.1**. Ακολούθως στο Σχήμα 6-5, εκτιμάται ο F.S. για την περίπτωση νέας κλίσης του πρανούς 56°. Η τιμή του συντελεστή ασφαλείας και για τις δύο περιπτώσεις είναι αρκετά μεγαλύτερη από τα ανεκτό όριο. Πιο συγκεκριμένα για ξηρές υδατικές συνθήκες προκύπτει **F.S.=2**, ενώ με πίεση του νερού των πόρων (Ru=0.3) η τιμή υπολογίζεται **F.S.=1.7**.

Τέλος, στο Σχήμα 6-6, υπολογίζεται η μεταβολή στη τιμή του F.S., με νέα διαμορφωμένη κλίση 78°. Στη περίπτωση ξηρών συνθηκών ο συντελεστής ασφαλείας υπολογίζεται **F.S.=1.3**, ενώ με αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων (Ru=0.3) **F.S.=1.1**. Η τιμή αυτή είναι ιδιαιτέρως χαμηλή και μπορεί να χαρακτηρισθεί ως κρίσιμη, αλλά δεν πρέπει να θεωρηθεί ανησυχητική καθώς αποτελεί πιθανό σενάριο.



Σχήμα 6-4 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με τις υπάρχουσες συνθήκες.



Σχήμα 6-5 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=56°και Ru=0 (1^η περίπτωση), Ru=0.3 (2^η περίπτωση).



Σχήμα 6-6 Ανάλυση ευστάθειας υφιστάμενου πρανούς στη Χ.Θ. 81+320, με διαμορφωμένη κλίση πρανούς φ=78°και Ru=0 (1^η περίπτωση), Ru=0.3 (2^η περίπτωση).

6.3.1 Σύνοψη για τη X.Θ. 81+320

Από την διερεύνηση που προηγήθηκε για την διατομή στη θέση Χ.Θ.81+320, προέκυψαν συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα όπως παρουσιάζονται στον Πίνακας 6-2. Παρατηρούμε ότι δεν αναμένεται να παρουσιαστεί πρόβλημα κατά την φάση διάνοιξης και λειτουργίας στη θέση αυτή. Κρίσιμη θεωρείται η περίπτωση κατασκευής με μεγάλη κλίση (78°) κατά την παρουσία υψηλών υδατικών συνθηκών. Η περίπτωση αυτή μπορεί να ανταποκριθεί σε υψηλά επίπεδα βροχόπτωσης που θα έχουν σαν αποτελεσμα την υψηλή συγκέντρωση ύδατος στα επιφανειακά στρώματα. <u>Μολονότι δεν αποτελεί το πιθανότερο σενάριο, κρίνεται σκόπιμη στη περίπτωση αυτή η λήψη μέτρων προστασίας του πρανούς, που θα βοηθούν στην αποστράγγισή του.</u>

Κλίση	Πίεση του νερού των πόρων (Ru)	Συντελεστής ασφαλείας (F.S.)
Φυσικό πρανές	0	2.1
56°	0	2
	0.3	1.7
78°	0	1.3
	0.3	1.1

Πίνακας 6-2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα F.S. ανάλυσης ευστάθειας στη θέση Χ.Θ.81+320.

7 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία έγινε επισκόπηση των γεωλογικών και τεχνικογεωλογικών συνθηκών, που αφορούν την εκσκαφή - διαμόρφωση πρανούς, σε μαργαϊκούς σχηματισμούς, για τη κατασκευή οδοποιίας, στην περιοχή Τέμενη του Νομού Αχαΐας. Έγινε προσπάθεια διάκρισης σε επί μέρους τεχνικογεωλογικούς τύπους από τα διαθέσιμα στοιχεία του γεωερευνητικού προγράμματος, καθώς και από τη συλλογή πληροφοριών, που βασίστηκαν σε δεδομένα από προϋπάρχουσες πληροφορίες για την ευρύτερη περιοχή μελέτης. Από τα δεδομένα αυτά, κατασκευάστηκε η τεχνικογεωλογική μηκοτομή, κατά μήκος του υπό μελέτη πρανούς καθώς και δύο διατομές στα άκρα της θέσης αυτής (Εικόνα 5.4, Εικόνα 5.5, Εικόνα 5.6).

Με βάση τα αποτελέσματα, όπως προέκυψαν από την τεχνικογεωλογική αξιολόγηση, κρίθηκε απαραίτητη, η διενέργεια ελέγχου των μηχανισμών αστοχίας στην υπό μελέτη θέση. Πιο συγκεκριμένα εξετάστηκαν οι περιπτώσεις περιστροφικής ολίσθησης, για διάφορες επί μέρους κατηγορίες γεωμετρικών χαρακτηριστικών και υδατικών συνθηκών.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά με τις εδαφικές συνθήκες, στην περιοχή διακρίθηκαν τρείς τεχνικογεωλογικές ενότητες, βάσει των αποτελεσμάτων μακροσκοπικών περιγραφών και εργαστηριακών δοκιμών. Μπορούν να συνοψιστούν στις:

- Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.Ι, Αργιλοϊλυώδης Άμμος έως Χάλικες.
 Πρόκειται για έναν αδρομερή σχηματισμό με επικράτηση Κροκάλων και Άμμων, στη μάζα του, ένα συνεκτικό κροκαλοπαγές, πολύ χαμηλής πλαστικότητας. Η τιμή της συνοχή εκτιμάται σε (c') 9kPa, ενώ αντίστοιχα της γωνίας εσωτερικής τριβής (φ') σε 32°.
- Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙ, μαλακή μάργα, με μικρή παρουσία κατά θέσεις πιο αδρομερών στοιχείων. Ο σχηματισμός χαρακτηρίζεται από χαμηλή πλαστικότητα και χαμηλή διαπερατότητα. Η αστράγγιστη διατμητική αντοχή (Su) του σχηματισμού υπολογίστηκε ίση με 271kPa, η τιμή της συνοχής (c') 24kPa, η γωνία εσωτερικής τριβής (φ') 28°.
- Τεχνικογεωλογική ενότητα Τ.Ε.ΙΙΙ, μέτρια σκληρή Μάργα. Εμπίπτει στην κατηγορία «μαλακού» βράχου. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εν λόγω σχηματισμού όπως προέκυψαν έδωσαν τιμές συνοχή (c') 30 50kPa, γωνία εσωτερικής τριβής (φ') 23 27°, αστράγγιστη διατμητική αντοχή (Su) 240kPa.

Στην θέση μελέτης παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές ενότητες Τ.Ε.Ι. και Τ.Ε.ΙΙ. Η Τ.Ε.Ι. εμφανίζεται με τη μορφή φακών – οριζόντων, εντός του Ιλυοαργιλώδους – Αργιλικού ορίζοντα. Τα κροκαλοπαγή εμφανίζονται αρκετά συνεκτικά, με κατά θέσεις πιο χαλαρή δομή κυρίως σε επιφανειακές εμφανίσεις αυτών.

Ακολούθως, έγινε προσπάθεια υπολογισμού του Συντελεστή Ασφαλείας για την περίπτωση περιστροφικής ολίσθησης με τη χρήση του λογισμικού Slide v 6.0. Για την καλύτερη διερεύνηση της ευστάθειας κρίθηκε σκόπιμο η ανάπτυξη παραδοχών, ώστε να προσδιοριστεί μια γενικότερη εικόνα της τιμής του F.S.

Κεφάλαιο 7° Συμπεράσματα

Υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή ασφαλείας, σε δύο διαφορετικές θέσεις, με την κατασκευή των αντίστοιχων διατομών, με τη διαμόρφωση δύο διαφορετικών κλίσεων στο πρανές 56° και 78°, αντίστοιχα καθώς για τη κάθε μία από αυτές υπολογίστηκαν οι τιμές σε ξηρές υδατικές συνθήκες (Ru=0) και υγρές υδατικές συνθήκες (Ru=0.3)

Πιο συγκεκριμένα στη θέση Χ.Θ. 81+220, στην περίπτωση με διαμορφωμένη κλίση 56°, η τιμή του συντελεστή μεταβάλλεται από 1.753 για Ru=0 σε 1.497 για Ru=0.3, ενώ για κλίση 78°, ο συντελεστής ασφαλείας κυμαίνεται από 1.505, για Ru=0 και 1.286, για Ru=0.3.

Στη θέση Χ.Θ. 81+320, προσδιορίστηκε η τιμή του συντελεστή ασφαλείας για κλίση 56° από 2.022 (Ru=0) έως 1.711 (Ru=0.3). Αντίστοιχα για κλίση πρανούς 78° η τιμή του συντελεστή ασφαλείας κυμαίνεται από 1.342, για Ru=0 έως 1.089 για Ru=0.3.

Συνοψίζοντας, στην περιοχή δεν αναμένεται κάποιο ιδιαίτερο πρόβλημα κατά την διαμόρφωση του πρανούς, με εξαίρεση την οριακή περίπτωση, έντονων υδατικών συνθηκών, όπως για παράδειγμα έντονη βροχόπτωση, σε μεγάλη διαμορφωμένη κλίση του πρανούς, πράγμα που αποτελεί ακραίο σενάριο και δεν ενδείκνυται για την εν λόγω θέση.

Βιβλιογραφία

- **1.** Attewell, P.B. **1993.** Tunneling and Site investigations. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Akai, K. 1993. Testing methods for indurated soils and soft rocks Interim report. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical Engineering of Hard Soils – Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- **3.** Anagnostopoulos, A.G., Kalteziotis, N., Tsiambaos, G.K. and Kavvadas, M. 1991. Geotechnical properties of the Corinh Canal marls. Geotechnical and Geological Engineering, 9, pp.1-26.
- **4. Ανδρονόπουλος, Β. 1985.** Γεωλογία και τεκτονική της μάργας του Πειραιά. Πρακτικά Ημερίδας «Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά», ΤΕΕ, Αθήνα, σελ. 5-20.
- 5. Bell, F.G., Cripps, J.C., Culshaw, M.G. & Entwilse, D. 1993. Volume changes in weak rocks: Prediction and measurement. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- **6.** Bowles, J., 1997. Foundation analysis and design. 5th edition. The McGraw Hill Companies.
- 7. Bozinovic, D., Coric, S., Vujanic, V., Jotic, M., & Lelisavac, B. 1993. Slope stability analysis in stiff fissured clays and marls. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- Burland, J.B., 1990. On the compressibility and shear strength of natural clays. 30th Rankine lecture. Geotechnique XL, No3.
- **9.** Chandler, R.J. 1969. The effect of weathering on the shear strength properties of Keuper Marl. Geotechniue, 19, No 3, 321-324.
- **10. Clayton, C.R.I. & Serratrice, J.F. 1993.** General report: The mechanical properties and behavior of hard soils and soft rocks. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- 11. Craig, R. 2004. Soil Mechanics, 7th Edition, Spon Press
- **12. Γολιδοπούλου, Μ.** έρευνα επί της τεχνικογεωλογικής συμπεριφοράς μαργαϊκών σχηματισμών σε περιβάλλον μεγάλων επιφανειακών εκσκαφών. Το παράδειγμα του οικισμού Μαυροπηγης στη Πτολεμαΐδα. Διατριβή ειδίκευσης, Α.Π.Θ.
- **13. Deere, D., Don, U., Varde, O., 1986.** Engineering geological problems related to foundations and excavations in weak rocks, general report. Proc. 5th Int. AEG Congress, Buenos Aires. Balkema, Rotterdam.
- 14. Dobereiner, L. & de Freitas, M.H. 1984. Investigation of weak sandstones. Engineering Group of the Geological Society, 20th Regional Meeting, Site Investigation Practice: Assessing BS 5930. Survey.
- **15.** Doutsos, T., and Piper, D.J.W., 1990. Listric faulting, sedimentation and morphological evolution of the Quaternary eastern Corinth rift, Greece: first stages of continental rifting. Geol. Soc. Am. Bull. 102. P: 812-829.
- **16.** Durove, J., Hatala, J., Maras, M. & Hroncova, E. 1993. Supports design based on physical modeling. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.

- **17. Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ), 2003.** Σύμφωνα με τις τροποποιήσεις από το (ΦΕΚ 1154Β'/12-08-03).
- **18. Hatheway, A.W. 1990.** Perspectives No. 5: weak rock, poorly lithified cockroaches and snakes. AEG News 33(3): 33-36.
- **19.** Johnston, I.W. and Novello, E.A. **1993.** Soft rocks in the geotechnical spectrum. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- 20. Kavvadas, M., Anagnostopoulos, A., Leonardos, M. & Karras, b. 1993. A frame work for the mechanical behavior of cemented Corinth marl. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils – Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- 21. Κούκη, Α. 2006. Τεχνικογεωλογικές Γεωτεχνικές παράμετροι και μηχανική συμπεριφορά σκληρών εδαφών κα μαλακών βράχων στο σχεδιασμό υπόγειων τεχνικών έργων. Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών.
- **22.** Koukis, G., Rozos, D. 1993. Mineralogical composition and texture of the neogene sediments of the NW Peloponnesus, Greece. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- 23. Κούκης, Γ., Σαμπατακάκης, Ν. 2002. Τεχνική Γεωλογία. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- 24. Κούκης, Γ., Χριστοδουλοπούλου, Τ. 1997. Εδαφικοί και βραχώδεις σχηματισμοί. Φυσικά-μηχανικά χαρακτηριστικά και εργαστηριακοί προσδιορισμοί. Εκδόσεις Παν/μίου Πατρών, σελ. 392.
- **25.** Koukouvelas, I.K., Stamatopoulos, L., Katsanopoulou, D., Pavlides, S. 2001. A Paleoseismological and geoarcheological investigation of Eliki fault, Gulf of Corinth, Greece. Journal of Structural Geol., v. 23, p: 531-543
- **26. Κωστόπουλος, Σ. 1985.** Γεωτεχνικά χαρακτηριστικά της μάργας του Πειραιά. Πρακτικά Ημερίδας «Γεωτεχνικά προβλήματα της μάργας του Πειραιά», ΤΕΕ, Αθήνα, σελ. 67-96.
- 27. Λαϊνάς, Σ. 2005. Γεωτεχνικές συνθήκες και αναλύσεις ευστάθειας πρανών στα πλαίσια μελετών γεωλογικής καταλληλότητας. Η περίπτωση των οικισμών Καρυάς και Ν. Σουλίου Ν. Αχαΐας. Διατριβή ειδίκευσης, Παν/μιο Πατρών.
- **28.** Marinos, P. **1993.** General report: Hard soils soft rocks: Geological features with special emphasis to soft rock. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- **29. Μαρίνος, Π. 1994.** Επί της εφαρμογής της γεωμηχανικής ταξινόμησης Bieniawski στις ασθενείς και ετερογενείς βραχόμαζες. Ειδική αναφορά στη περίπτωση του Πινδικού φλύσχη. Ημερίδα: Γεωλογία και σήραγγες της Ελληνικής Επιτροπής Τεχνικής Γεωλογίας.
- **30. Μαρίνος, Π. και Σοφιανός, Α. 1990.** Εμπειρικές μέθοδοι ταξινόμησης της βραχόμαζας και εφαρμογή τους στο σχεδιασμό της αντιστήριξης σήραγγας. Δελτίο ΚΕΔΕ, 107/109.
- **31. Marinos, P.G., Tsiambaos, G. & Kavvadas, M. 2001.** Geological and geotechnical conditions of the Corinth Canal. Proc. Of the Int. Symp. "Engineering Geology and the Enviroment". Marinos et al; Athens. Swets & Zeitlinger, Lisse, p. 3987-4003.
- **32. Μπουκοβάλας, Γ. 2006.** Υπολογιστικές μέθοδοι γεωτεχνικής μηχανικής. Σημειώσεις μαθήματος, ΕΜΠ.
- **33. Naval facilities engineering command publications transmittal. 1986.** Design manual 7.02.
- **34. Νίκας, Κ. 2004.** Υδρογεωλογικές συνθήκες ΒΑ τμήματος Νομού Αχαΐας. Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Πατρών.

- **35.** Pettijhon, F. 1975. Sedimentary rocks. 3rd edition. Harper and Row Publishers, 526p.
- **36.** Poulimenos, G. 1993. Tectonics and sedimentation in the western Corinth graben. Njb. Geol. Paleont. Mh., v.:10, p: 607-630.
- **37. Rocha, M. 1977.** Some problems related to rock mechanics of low resistance. LNEC, Memória No 491, 1, Lisboa.
- **38.** Rodrigues, J.D. 1993. Introduction: Assessment of the degradability of soft rocks. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- **39. Ρόζος, Δ., Κούκης, Γ. 1991.** Γεωλογική δομή και γεωμηχανικοί χαρακτήρες των πλειοπλειστοκαινικών ιζημάτων του Ν. Αχαΐας. Δελτίο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, τ. ΧΧΧV/4, Σελ. 389-404.
- **40.** Skempton, A.W. 1970. The consolidation of clays by gravitational compaction Q.J. Geol. Soc., 125.
- **41. Stamatopoulos, A.C. & Kotzias, P.C. 1993.** Refusal to the SPT and penetrability. Proc. Of Int. Symp. On Geotechnical Engineering of Hard Soils Soft Rocks, Athens. Balkema, Rotterdam.
- **42. Στειακάκης, Ε., 2003.** Συμπεριφορά ανοικτών εκσκαφών μεγάλου βάθους. Έρευνα γεωτεχνικών παραμέτρων και κινητικότητας εδαφών στο λιγνιτικό πεδίο Πτολεμαΐδας Αμύνταιου. Διδακτορική διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης.
- **43. Σωτηρόπουλος, Η. 1982.** Μάργες. Πρακτικά 1^{ης} Ελλ. Ημερίδας Γεωτεχνικής, ΕΕΕΕΘ, Αθήνα, σελ. 243-266.
- **44. Terzaghi, K.** 1950. Mechanics of Landslides. Geol. Soc. Of Am., Bekley Volume, p. 83-124, New York.
- **45. Terzaghi, K., Peck, R.B. 1967.** Soil Mechanics in engineering practice. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 46. Τσιαμπάος, Γ., 2013. Μέθοδοι διερευνήσεως του υπεδάφους. Σημειώσεις Ε.Μ.Π.
- **47. U.S.Department of the Interior Bureau of Reclamation, 1998.** Engineering Geology field mamual. 2nd edition. Volume 1.
- **48.** Varnes, D.J., **1978.** Slope movement types and processes. In landslides: Analysis and control (Schuster and Krizec ed.). national Academy of Sciences, Special Report 176, Washington, D.C.
- **49. Χριστοδουλοπούλου, Τ.Α. 2006.** Επίδραση της Μικροδομής στην Αντοχή και στο Μέτρο Παραμόρφωσης Es, των Μαργών της B. Πελοποννήσου. 5° Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής & Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Ξάνθη. ΤΕΕ ΕΕΕΕΘ.
- **50.** Geological and Geotechnical interpretation and evaluation study of the stretch from CH. 81+000 to CH. 81+777 G.U. 28. Omikron Kappa Consulting.
- **51.** Geological and Geotechnical interpretation and evaluation study of Temeni lane cover G.U.28N. Omikron Kappa Consulting.

Αναφορές από διαδίκτυο

- 1. http://www.olympiaodos.gr/
- **2.** Λουπασάκης, Κ. 2014. http://www.legah.metal.ntua.gr/ , Διαφάνειες Διαλέξεων.
- 3. https://www.google.gr/maps
- 4. http://www.geo.auth.gr/