

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ  
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΚΟΪΟΣ  
Πτυχιούχος Γεωλογίας

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ  
ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ  
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ  
ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΔΙΚΑ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ  
2014

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΚΟΪΟΣ  
Πτυχιούχος Γεωλόγος

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ  
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ  
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΔΙΚΑ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ  
ΗΠΕΙΡΟΥ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος  
Σπουδών ‘Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία’  
Τομέας Γεωλογίας  
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης:

**Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή**

Καθηγητής Β. Χρηστάρας, Επιβλέπων

Αναπληρωτής Καθηγητής Κ. Βουδούρης, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής  
Επιτροπής

Επίκουρος Καθηγητής Β. Μαρίνος, Μέλος Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής

Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής επετηρίδας Τμήματος Γεωλογίας Ν°

© Χρήστος Α. Κόιος, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ  
ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ  
ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΔΗΜΟΥ ΠΕΡΔΙΚΑ, ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ  
ΗΠΕΙΡΟΥ

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.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωλογία» του τμήματος Γεωλογίας.

Η ανάθεση του θέματος και η επίβλεψη της διατριβής έγινε από τον Καθηγητή κ. Βασίλειο Χρηστάρα. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου για την συνεργασία και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε σε όλη την διάρκεια των σπουδών μου (προπτυχιακών και μεταπτυχιακών). Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα δύο υπόλοιπα μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Βασίλειο Μαρίνο.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ στον συνάδερφο και φίλο Νικόλαο Χατζηγώγο για την πολύτιμη βοήθεια του όλα αυτά τα χρόνια, σε επιστημονικό αλλά και συμβουλευτικό επίπεδο. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την «οικογένεια» του Εργαστηρίου Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Θωμά Μακεδών, Χρήστο Μάττα και Μαρία Παπαχρήστου για την καθημερινή και πρόθυμη βοήθεια τους.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στόχος της παρούσας διατριβής είναι η διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών και κυρίως των γεωτεχνικών κατά μήκος του έργου, IGI Poseidon (αγωγός φυσικού αερίου υψηλής πίεσης). Καθώς και η αξιολόγηση αυτών των συνθηκών (ιδιοτήτων) ως προς τις απαιτήσεις του έργου.

Αρχικά περιγράφονται οι γεωλογικές συνθήκες (στρωματογραφία, τεκτονική κ.α.) τόσο στην ευρύτερη περιοχή του έργου όσο και κατά μήκος της χάραξης του αγωγού και της περιοχής κατασκευής του σταθμού συμπίεσης.

Στη συνέχεια γίνεται αναφορά στους παράγοντες που εξετάζονται κατά την σχεδίαση (της χάραξης) του αγωγού και αναλύονται οι γεωτεχνικοί παράγοντες.

Για την διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία τόσο των επί τόπου όσο και των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε εδαφικά και βραχώδη δείγματα κατά μήκος της χάραξης. Τα στοιχεία παρουσιάζονται σε πίνακες.

Τέλος γίνεται η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών και σχεδιάζονται τομές με την κατανομή των τεχνικογεωλογικών συνθηκών κατά μήκος της ζώνης του αγωγού και του σταθμού συμπίεσης. Καταλήγοντας παρατίθενται τα συμπεράσματα όπου αναφέρονται, στα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες (φυσικές και μηχανικές) τόσο των εδαφικών και βραχώδων σχηματισμών όσο και του περιβάλλοντος με το οποίο διασταυρώνεται (επιδρά) η χάραξη του αγωγού και είναι χρήσιμα για την κατασκευή και ίσως για μία πιθανή αλλαγή της χάραξης του αγωγού. Επίσης επισημαίνονται σημεία (περιοχές επικίνδυνες για κατολίσθηση, ερπυσμό, διογκούμενα εδάφη κ.α.) κατά μήκος του αγωγού, που χρήζουν περαιτέρω διερεύνηση κατά τη φάση κατασκευής.

## **ABSTRACT**

The aim of the present thesis, is to investigate the geological conditions and mainly the geotechnical ones along the project, IGI Poseidon (a high pressure pipeline of natural gas). As well as the evaluation of these conditions (properties) with respect to the project requirements.

Initially are described the geological conditions (stratigraphy, tectonics etc.) both in wider project area and along pipeline route zone and the construction site of the compressor station.

Then becomes a reference to the factors to be considered at the designing (etching) of the pipeline and the geotechnical factors are analyzed.

For the investigation of the geotechnical conditions the data were used both from in-situ and laboratory tests were performed on soil and rock samples along the route. The data are presented in tables.

Finally is the evaluation of the results of in-situ and laboratory tests and also long-sections of the distribution of geotechnical conditions along the pipeline zone and the compressor station designed. Concluding, are mentioned the conclusions where are referred, in the characteristics and the properties (physical and mechanical) of both soil and rock formations and the terrain (environment) in which intersected (affects) the route of the pipeline and are useful for the construction and perhaps for a possible change of the pipeline route. Also marked points (areas dangerous for landslide, creep, swelling soils etc.) along the pipeline that need further investigation during the construction phase.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
1.1	ΣΚΟΠΟΣ – ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ.....	1
1.2	ΑΓΩΓΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ.....	2
<b>2</b>	<b>ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ</b> .....	<b>5</b>
2.1	ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	5
2.2	ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ .....	8
2.3	ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ.....	10
2.4	ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ .....	14
2.5	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	19
2.5.1	Γεωτεκτονική Θέση .....	19
2.5.2	Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση και Παλαιογεωγραφική εξέλιξη .....	22
2.5.3	Τεκτονική - Νεοτεκτονική.....	29
2.5.4	Οργανική ύλη και πετρελαϊκό δυναμικό.....	33
<b>3</b>	<b>ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ</b> .....	<b>37</b>
3.1	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ.....	37
3.1.1	Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών.....	37
3.1.2	Ρηξιγενές της περιοχής .....	42
3.1.3	Ρήγματα κατά μήκος της ζώνης του αγωγού .....	46
3.1.4	Γεωλογία κατά μήκος των τμημάτων του αγωγού.....	50
3.2	ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ .....	54
<b>4</b>	<b>ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ</b> .....	<b>56</b>
4.1	ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	56
4.2	ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ .....	58
4.2.1	Αστοχίες πρανών (κατολισθήσεις και καταπτώσεις).....	58
4.2.2	Σεισμική φόρτιση – Αντισεισμικός σχεδιασμός .....	62
4.2.3	Ρευστοποίηση εδαφών.....	70
4.2.4	Καρστικές περιοχές .....	76
4.3	ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΙΣ ΜΕ ΚΥΡΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ .....	80
4.3.1	Εισαγωγή.....	80
4.3.2	Τεχνολογίες εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος (Trenchless Technologies) .....	81
4.3.3	Κύρια γραμμικά έργα.....	88
4.3.4	Φυσικά εμπόδια.....	90

4.3.5	<i>Προβληματικά εδάφη</i> .....	93
4.4	ΕΚΣΚΑΦΗ-ΕΠΙΧΩΣΗ .....	94
4.4.1	<i>Ζώνη Εργασίας</i> .....	94
4.4.2	<i>Εκσκαφή</i> .....	95
4.4.3	<i>Επίχωση</i> .....	99
<b>5</b>	<b>ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ</b> .....	<b>107</b>
5.1	ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΚΑΜΜΑΤΑ .....	107
5.2	ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ .....	109
5.2.1	<i>Καταγραφή υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα</i> .....	109
5.2.2	<i>Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης (Standard Penetration Test-SPT)</i> .....	109
5.2.3	<i>Δοκιμή Maag (δοκιμή μεταβλητού φορτίου)</i> .....	111
5.2.4	<i>Δοκιμή Πενετρόμετρου τσέπης (ή χειρός)</i> .....	111
5.2.5	<i>Δοκιμή με Vane tester τσέπης (ή χειρός)</i> .....	113
5.3	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ .....	114
5.3.1	<i>Εισαγωγή</i> .....	114
5.3.2	<i>Φυσικές ιδιότητες εδαφών</i> .....	115
5.3.3	<i>Κοκκομετρική ανάλυση</i> .....	116
5.3.4	<i>Όρια Atterberg</i> .....	117
5.3.5	<i>Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (δοκιμή οιδημέτρου)</i> .....	117
5.3.6	<i>Δοκιμή ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης</i> .....	119
5.3.7	<i>Δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης</i> .....	120
5.3.8	<i>Συμπύκνωση εδαφών – Πρότυπη μέθοδος Proctor</i> .....	120
5.3.9	<i>Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης</i> .....	120
5.4	ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ .....	121
5.4.1	<i>Μετρήσεις της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης</i> .....	121
5.5	ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ .....	125
<b>6</b>	<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ</b> .....	<b>126</b>
6.1	ΔΟΚΙΜΕΣ SPT .....	126
6.1.1	<i>Μη συνεκτικά εδάφη</i> .....	126
6.1.2	<i>Συνεκτικά εδάφη</i> .....	129
6.2	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ .....	133
6.2.1	<i>Φυσικές ιδιότητες εδαφών</i> .....	133
6.2.2	<i>Κοκκομετρική ανάλυση</i> .....	135
6.2.3	<i>Όρια Atterberg</i> .....	139
6.2.4	<i>Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (Δοκιμή οιδημέτρου)</i> .....	148
6.2.5	<i>Δοκιμή ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης</i> .....	156
6.2.6	<i>Δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης</i> .....	156



6.2.7	Συμπύκνωση εδαφών – Πρότυπη μέθοδος Proctor .....	157
6.2.8	Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης .....	161
6.3	ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ) .....	171
6.4	ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ.....	178
6.4.1	Εδάφους.....	178
6.4.2	Βραχώμαζας.....	180
6.5	ΟΡΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.....	181
6.6	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ, $K_0$ .....	182
<b>7</b>	<b>ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ</b>	
	<b>ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ .....</b>	<b>184</b>
7.1	ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ.....	184
7.2	ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ	
	ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ .....	188
7.2.1	Κατανομή λεπτόκοκκων – αδρόκοκκων – σκληρού εδάφους-μαλακού βράχου –	
	βράχου. ....	188
7.2.2	Κατανομή δείκτη συνεκτικότητας – σχετικής πυκνότητας – δείκτη ποιότητας	
	πετρώματος. ....	188
7.2.3	Κατανομή αριθμού πρότυπης δοκιμής διείδυσης – γεωλογικού δείκτη αντοχής.	
	.....	188
7.2.4	Κατανομή του δείκτη πλαστικότητας.....	188
7.2.5	Κατανομή του συντελεστή διαπερατότητας.....	188
7.2.6	Κατανομή διογκωσιμότητας.....	188
7.2.7	Κατανομή εκσκαψιμότητας.....	188
7.2.8	Κατανομή της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. ....	188
7.2.9	Κατανομή της διαβρωτικότητας των εδαφών σε σχέση με την ειδική ηλεκτρική	
	αντίστασή τους. ....	188
7.2.10	Κατανομή τεχνικογεωλογικών ενότητων. ....	188
<b>8</b>	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>199</b>
<b>9</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>210</b>
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ, 1:5.000</b>	
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ, 1:1.000</b>	
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΜΕ ΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ</b>	
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: Δ.1) ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ</b>	
	<b>Δ.2) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ</b>	
	<b>Δ.3) ΤΟΜΕΣ ΣΚΑΜΜΑΤΩΝ</b>	
	<b>Δ.4) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ</b>	

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 ΣΚΟΠΟΣ – ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

Σκοπός της παρούσας διατριβής ειδίκευσης είναι η διερεύνηση των γεωλογικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, για την κατασκευή του αγωγού υψηλής πίεσης μεταφοράς φυσικού αερίου, και ιδιαίτερα των γεωτεχνικών συνθηκών κατά μήκος του έργου.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διάρθρωση της διατριβής και περιγράφεται συνοπτικά το περιεχόμενο των Κεφαλαίων.

Στην αρχή υπάρχει η Περίληψη της διατριβής, στην ελληνική και αγγλική γλώσσα, όπου παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά σημεία της.

Στο Κεφάλαιο 1, εισαγωγή της εργασίας, αναφέρονται ο σκοπός και η διάρθρωση της εργασίας, καθώς και μερικά στοιχεία για το έργο της υπομελέτης περιοχής.

Στο Κεφάλαιο 2, παρουσιάζονται τα φυσικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής του έργου και συγκεκριμένα κλιματικά – μετεωρολογικά στοιχεία, γεωμορφολογία, υδρολογία – υδρογεωλογία, σεισμικότητα και γεωλογικές συνθήκες (γεωτεκτονική, λιθοστρωματογραφία, παλαιογεωγραφία κ.α.).

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται μία λεπτομερέστερη περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών και των ρηγμάτων τόσο κατά μήκος της ζώνης χάραξης του αγωγού όσο και της περιοχής του σταθμού συμπίεσης.

Στο Κεφάλαιο 4, αναφέρονται οι παράγοντες που εξετάζονται κατά την σχεδίαση υπόγειων αγωγών, από τους οποίους αναλύονται οι γεωτεχνικοί παράγοντες. Επίσης περιγράφεται το πρόβλημα των διασταυρώσεων των αγωγών με κύρια γραμμικά έργα και φυσικά εμπόδια, καθώς και οι σημαντικές εργασίες της εκσκαφής και επίχωσης.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζονται οι γεωερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν, τόσο επί τόπου για το στάδιο της γεωτεχνικής μελέτης του έργου με υπεύθυνο τον καθηγητή κ. Β. Χρηστάρα, όσο και των εργαστηριακών δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν από την ομάδα του κ. Β. Χρηστάρα (στην οποία συμμετείχε ο συγγραφέας), καθώς επίσης και από τον ίδιο το συγγραφέα για την εκπόνηση της διατριβής ειδίκευσης.

Στο Κεφάλαιο 6, γίνεται αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωτεχνικών εργασιών, τόσο των επί τόπου, όσο και των εργαστηριακών δοκιμών. Επίσης υπολογίζονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών (αντοχές, φέρουσα ικανότητα, οριακό βάθος ανοιχτής εκσκαφής κ.α.) τα οποία χρησιμοποιούνται κατά το σχεδιασμό του έργου.

Στο Κεφάλαιο 7, παρουσιάζονται οι τεχνικογεωλογικές συνθήκες κατά μήκος της ζώνης του αγωγού και του σταθμού συμπίεσης, καθώς και η κατανομή αυτών με την κατασκευή 10 τομών.

Στο Κεφάλαιο 8, παρατίθενται τα συμπεράσματα από την αξιολόγηση των επί τόπου και εργαστηριακών δοκιμών, καθώς και παρατηρήσεις από το σύνολο των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της διατριβής.

Στο Κεφάλαιο 9, παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για τη συγγραφή της διατριβής.

## **1.2 ΑΓΩΓΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΥΣΙΚΟΥ ΑΕΡΙΟΥ**

Δεδομένης της γεωγραφικής της θέσης, η Ελλάδα μπορεί να διαδραματίσει ενά σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) στη διαφοροποίηση των πηγών τροφοδοσίας της με φυσικό αέριο, κατασκευάζοντας αγωγούς μεταφοράς φυσικού αερίου από την περιοχή της Κασπίας προς την αγορά της ΕΕ.

Το κομμάτι του αγωγού μεταφοράς φυσικού αερίου, κατά μήκος του οποίου μελετήθηκαν οι γεωλογικοί σχηματισμοί ως προς την καταλληλότητάς τους, ανήκει στο διασυνδεδημένο αγωγό Ελλάδας – Ιταλίας (IGI). Ο IGI είναι ένας σχεδιαζόμενος αγωγός φυσικού αερίου στο Νότιο Διάδρομο Αερίου, ο οποίος θα μεταφέρει φυσικό αέριο από τα κοιτάσματα της περιοχής της Κασπίας στη Νότια και Κεντρική Ευρώπη. Με αυτόν τον τρόπο προσφέρεται μια νέα διαδρομή μεταφοράς αερίου μεταξύ της περιοχής της Κασπίας και της Νότιας και Κεντρικής Ευρώπης, που θα υποστηρίξει την Ευρώπη στην επίτευξη μέρους της ενεργειακής της ασφάλειας και τη διαφοροποίηση τροφοδοσίας αερίου ενισχύοντας την ικανότητά της να ανταποκριθεί στην αυξανόμενη ενεργειακή της ζήτηση.

Ο διασυνδεδημένος αγωγός Ελλάδας – Ιταλίας (IGI) με μεταφορική ικανότητα που μπορεί να φτάσει τα 15 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου ετησίως, θα έχει συνολικό μήκος περίπου 800 km και θα αποτελείται από δύο τμήματα:

- Το χερσαίο τμήμα Κομοτηνή – Θεσπρωτικές ακτές, αποτελείται από αγωγό φυσικού αερίου Υψηλής Πίεσης 80 bar (πίεση σχεδιασμού), μήκους περίπου 600 km και διαμέτρου 42 in (32 in στη περιοχή μελέτης, μετά το σταθμό συμπίεσης). Εκτός από τον αγωγό το έργο αποτελείται από μια σειρά υπέργειων εγκαταστάσεων που είναι απαραίτητοι για τη λειτουργία του και περιλαμβάνουν το Κέντρο Λειτουργίας και Συντήρησης, σταθμούς συμπίεσης, σταθμούς μέτρησης και ρύθμισης, βανοστάσια και ξεστροπαγίδες. Επίσης προβλέπεται η τροφοδοσία αστικών περιοχών στην εγγύς γειτνίαση του υπό σχεδιασμό αγωγού.
- Το υποθαλάσσιο τμήμα Θεσπρωτικές ακτές – Οτράντο Ιταλίας, με μήκος περίπου 200 km και διάμετρο 32 in, περιλαμβάνει τον υποθαλάσσιο αγωγό «ΠΙΟΣΕΙΔΩΝ» και τις υποστηρικτικές εγκαταστάσεις του.

Οι αγωγοί μεταφοράς φυσικού αερίου διακρίνονται ανάλογα με την πίεση σε:

- Αγωγούς μεταφοράς Υψηλής Πίεσης (40 – 100 bar)
- Αγωγούς μεταφοράς Μέσης Πίεσης (~ 20 bar)
- Αγωγούς διανομής Χαμηλής Πίεσης (4 – 7 bar)

Το Δίκτυο Μεταφοράς Υψηλής και Μέσης Πίεσης αποτελείται από:

- Χαλύβδινους αγωγούς.
- Μετρητικούς σταθμούς στα σημεία εισαγωγής αερίου στον αγωγό, παροχής αερίου σε πελάτες και σε σημεία ελέγχου.
- Σταθμούς ρύθμισης πίεσης του αερίου, κυρίως σε διακλαδώσεις ή στα σημεία σύνδεσης με το δίκτυο μέσης πίεσης.
- Σταθμούς ρύθμισης ροής του αερίου.
- Βαννοστάσια.
- Διατάξεις καθαρισμού του αερίου.
- Μονάδες αφύγρανσης του φυσικού αερίου, όπου απαιτείται.
- Συλλέκτες συμπυκνωμάτων.
- Διατάξεις όσμησης του φυσικού αερίου (προσθήκη κατάλληλων ουσιών).

- Σταθμούς αποστολής και υποδοχής ξέστρων (scraper stations).
- Κέντρα ελέγχου και διανομής φορτίου.
- Σύστημα επικοινωνιών και μεταφοράς δεδομένων.
- Χώρους αποθήκευσης αερίου (υπόγειες αποθήκες, δεξαμενές LNG).

Φυσικό αέριο, σύμφωνα με την παράγραφο 30 του Άρθρου 2 του Νόμου 3428/2005 είναι το καύσιμο αέριο που εξάγεται από γεωλογικούς σχηματισμούς και αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (τουλάχιστον 75% σε αναλογία γραμμομορίων) και από υδρογονάνθρακες υψηλότερου μοριακού βάρους και ενδεχομένως από μικρές ποσότητες αζώτου, διοξειδίου του άνθρακα, οξυγόνου και ίχνη άλλων ενώσεων και στοιχείων, στο οποίο μπορεί να έχουν προστεθεί και οσμητικές ουσίες. Ως φυσικό αέριο νοείται το ανωτέρω μίγμα σε οποιαδήποτε κατάσταση και αν περιέλθει, με μεταβολή των φυσικών συνθηκών, όπως συμπίεση, ψύξη ή οποιαδήποτε άλλη μεταβολή των φυσικών συνθηκών, συμπεριλαμβανομένης της υγροποίησης.

## 2 ΦΥΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 2.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ – ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή κατά μήκος του αγωγού είναι από παράκτιο έως ημι-ορεινό. Σύμφωνα με τους βιοκλιματικούς χάρτες της Ηπείρου η περιοχή εντάσσεται στο έντονο μεσο-μεσογειακό τύπου βιοκλίματος με 75 – 105 βιοκλιματικά ξηρές μέρες και ο βιοκλιματικός όροφος της περιοχής είναι υγρός με ήπιο χειμώνα, με μέση ελάχιστη θερμοκρασία ψυχρότερου μήνα από 3 - 7°C.

Τα γενικά χαρακτηριστικά του κλίματος της περιοχής ανά εποχή είναι τα εξής:

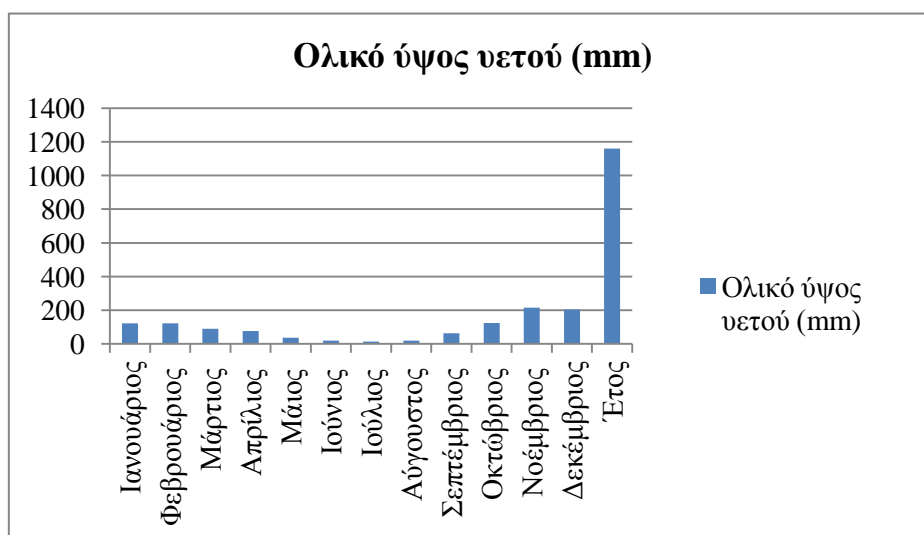
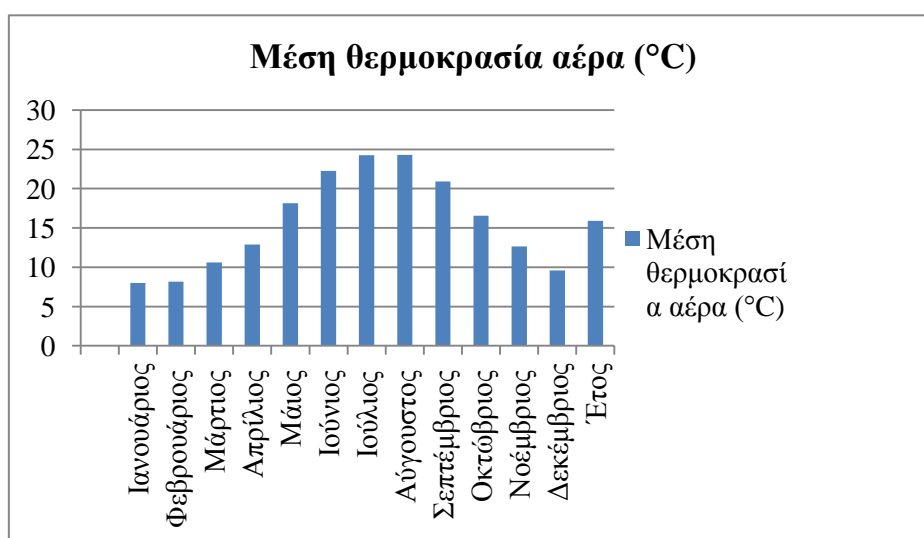
- Χειμώνας: Ήπιος έως έντονος με εμφανή επηρεασμό από βόρειες ψυχρές μάζες.
- Άνοιξη: Ήπια χαρακτηριστικά κλίματος με σχετική μείωση των βροχών και χαμηλές θερμοκρασίες.
- Καλοκαίρι: Σημαντική αύξηση της ξηρασίας με ανάλογη μείωση των βροχοπτώσεων και αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας.
- Φθινόπωρο: Επίσης ήπια χαρακτηριστικά κλίματος με σχετική αύξηση των βροχοπτώσεων και αντίστοιχη αύξηση της υγρασίας.

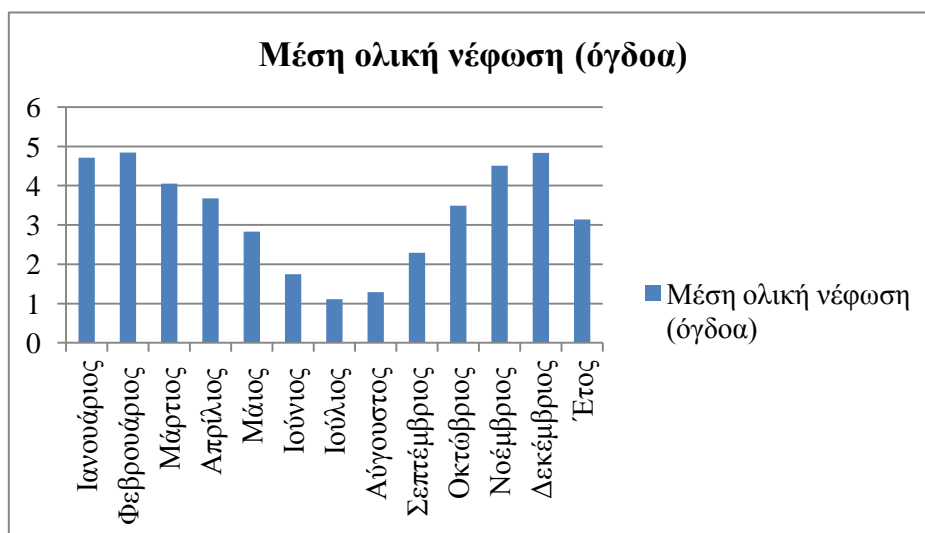
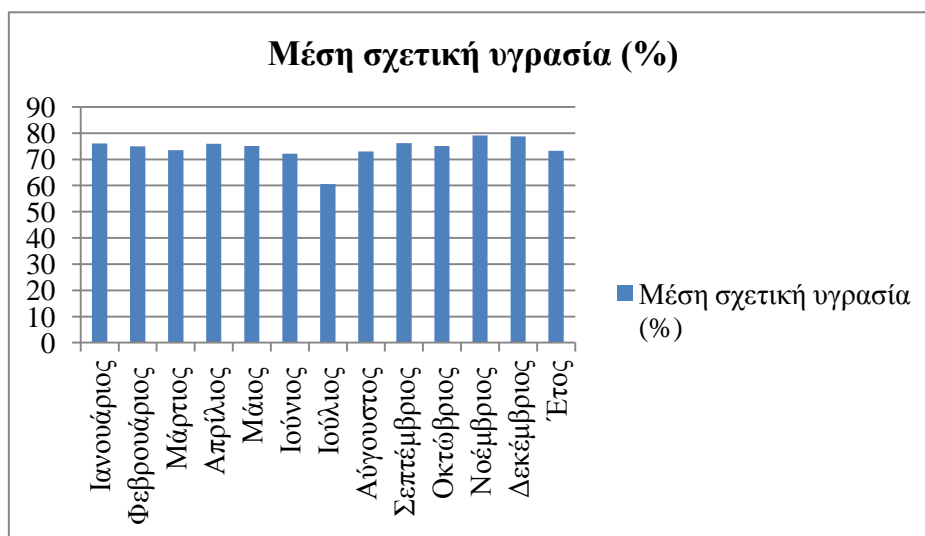
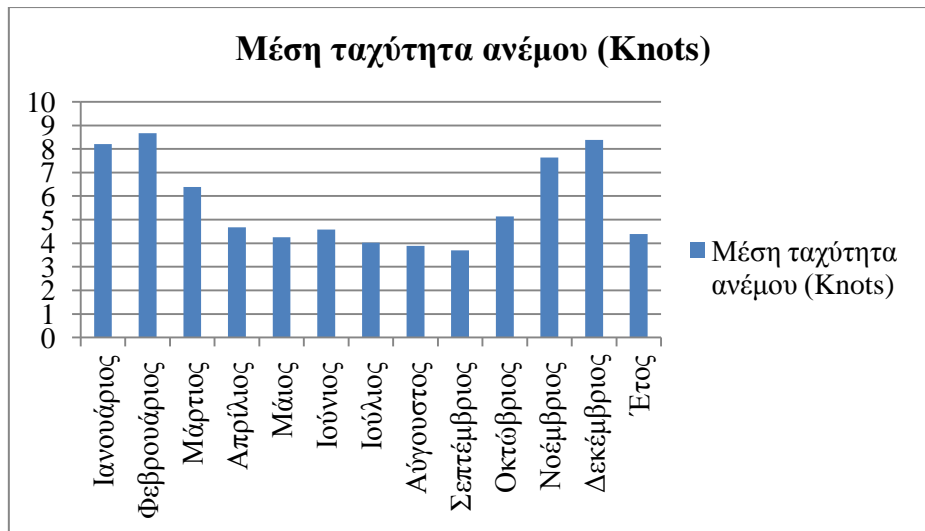
Παρακάτω γίνεται μια εκτίμηση (από εφαρμογή του έργου «Ανάπτυξη Γεωγραφικού Συστήματος Κλιματικής Πληροφορίας», [geoclimate.eu](http://geoclimate.eu)) των κλιματικών παραμέτρων (περίοδος 1975-2004) για την περιοχή μελέτης, οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν είναι: Άρτα σε υψόμετρο 42 m, Ιωάννινα σε υψόμετρο 483 m, Κέρκυρα σε υψόμετρο 2 m, Κόνιτσα σε υψόμετρο 542 m και Πρέβεζα (Άκτιο) σε υψόμετρο 3 m, δίνονται πίνακας (2.1) και διαγράμματα (Σχ. 2.1).

**Πίνακας 2.1:** Κλιματικές παράμετροι για την περιοχή μελέτης.

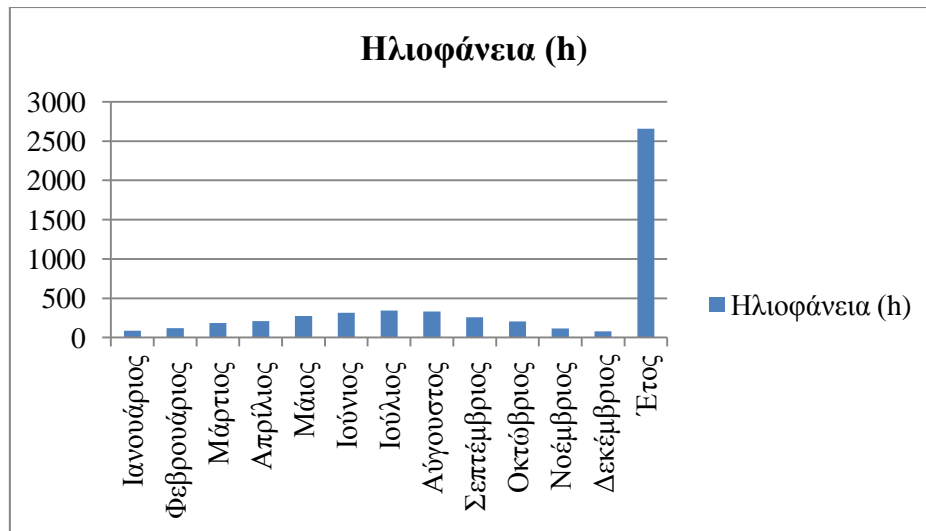
	Μέση θερμοκρασία αέρα (°C)	Ολικό ύψος υετού (mm)	Μέση ταχύτητα ανέμου (Knots)	Μέση σχετική υγρασία (%)	Μέση ολική νέφωση (όγδοα)	Ηλιοφάνεια (h)
Ιανουάριος	8	122.04	8.2	76.08	4.71	87.22
Φεβρουάριος	8.16	121.95	8.67	74.91	4.84	118.74
Μάρτιος	10.6	90.6	6.39	73.44	4.05	185.25

Απρίλιος	12.89	75.76	4.68	75.91	3.68	209.92
Μάιος	18.13	37.3	4.25	75.05	2.83	274.01
Ιούνιος	22.27	19.59	4.58	72.08	1.75	316.25
Ιούλιος	24.25	13.12	4.03	60.51	1.11	342.31
Αύγουστος	24.28	20.55	3.89	72.95	1.29	331.38
Σεπτέμβριος	20.93	63.67	3.7	76.17	2.29	257.92
Οκτώβριος	16.54	124.94	5.14	75.07	3.49	204.41
Νοέμβριος	12.63	214.53	7.63	79.05	4.51	113.58
Δεκέμβριος	9.59	204.82	8.38	78.69	4.83	79.19
Έτος	15.9	1160.82	4.39	73.24	3.14	2656.51









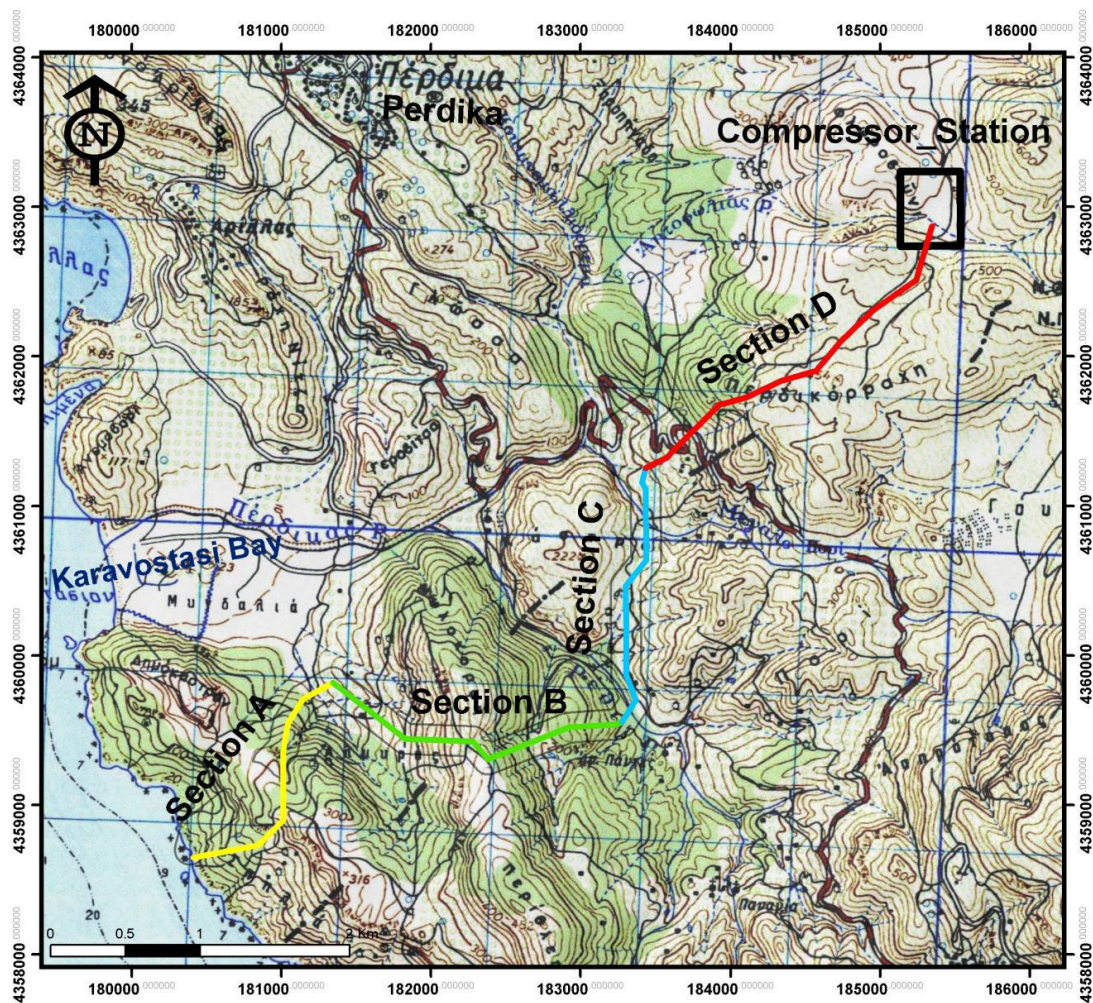
Σχήμα 2.1: Διαγράμματα κλιματικών παραμέτρων

## 2.2 ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή έρευνας είναι μια χαμηλού υψομέτρου ορεινή περιοχή (ημι-ορεινή), με επιμήκη βουνά υψομέτρου 500 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας (Φωτ. 1). Ακριβέστερα, χαρακτηρίζεται από επιμήκη οροσειρές με ΒΒΔ-ΝΝΑ μέχρι ΒΔ-ΝΑ διεύθυνση («Διναρική διεύθυνση») που χωρίζονται μεταξύ τους με στενές και βαθιές κοιλάδες-δίοδους (Σχ. 2.2). Το υδρογραφικό δίκτυο είναι κλιμακωτού (κυκλιδωτού) τύπου, ένας τύπος που χαρακτηρίζει νεοσυσταθείσα ορογένεση όπως η Ελληνική στην οποία η ορογενετική δομή είναι κυρίαρχη λόγω της έντονης συμπίεστικότητας. Πράγματι, το υδρογραφικό δίκτυο καθώς και η κύρια διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ μέχρι ΒΔ-ΝΑ των φυσιογραφικών χαρακτηριστικών ελέγχονται κυρίως από την ίδια παράταξη των γεωλογικών μονάδων με διάφορες γωνίες κλίσης μεταξύ ΑΒΑ-ΒΑ. Ωστόσο, το παραπάνω τοπίο κόβεται από κοιλάδες ή μικρές λεκάνες με διεύθυνση παράλληλη ή κάθετη σε σχέση με την ορογενετική δομή και ο σχηματισμός του οποίου αποδίδεται σε προ και μετα-ορογενετικά ρήγματα που δραστηριοποιούνται στην περιοχή από τα τελικά στάδια της ορογένεσης. Μια τέτοια κοιλάδα, για παράδειγμα, βρίσκεται ΝΔ από το χωριό Πέρδικας και τελειώνει στο κόλπο Καραβοστάσιου (Σχ. 2.2).



**Φωτ. 1:** Γενική εικόνα της ημι-ορεινής περιοχής μελέτης. Διεύθυνση λήψης προς ΒΑ από x/y: 180706/4359366, Greek Grid, (Pavlidis S.B., 2011).

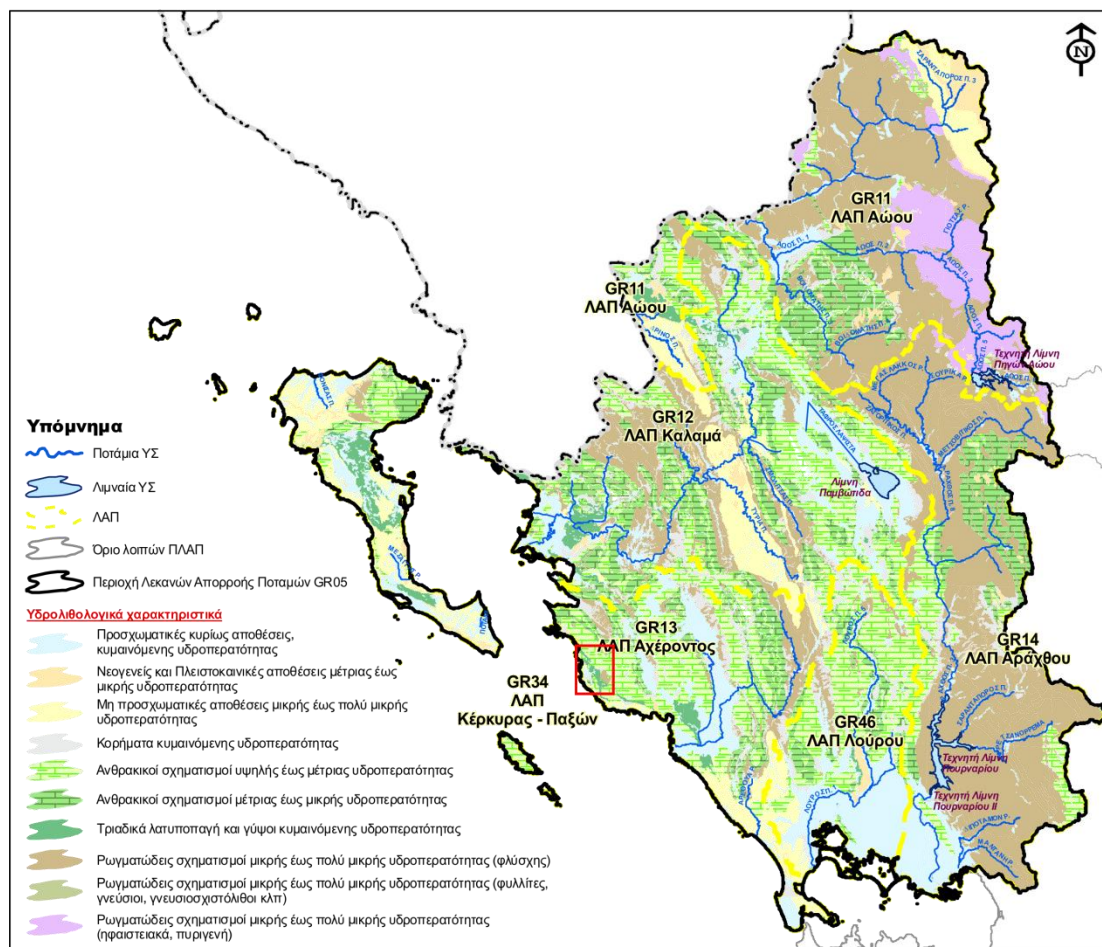


**Σχήμα 2.2:** Τοπογραφία της περιοχής στην οποία βρίσκεται ο αγωγός (τοπογραφικός χάρτης, κλίμακα 1:50.000), (Pavlidis S.B., 2011).

### 2.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

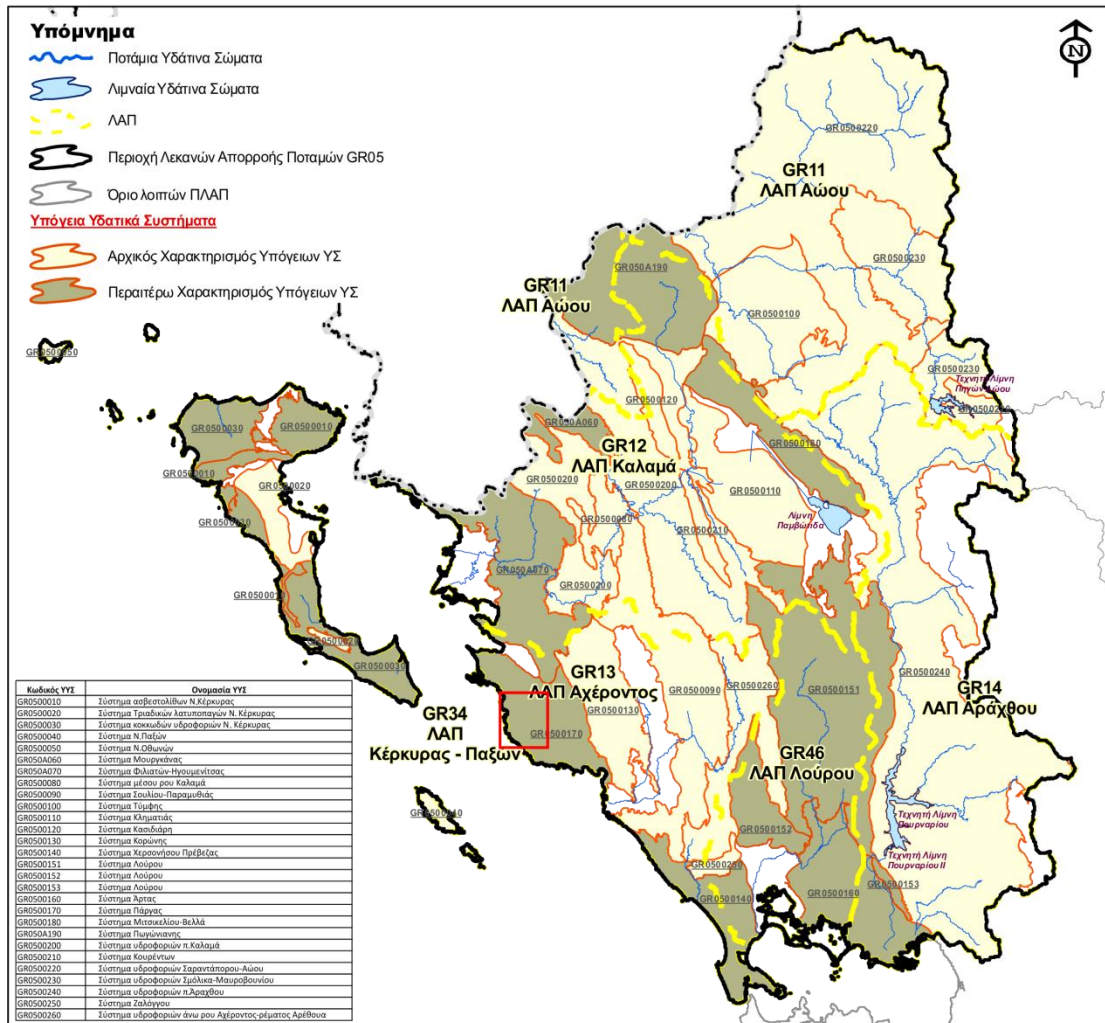
Η περιοχή μελέτης ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα Ηπείρου και συγκεκριμένα στη Λεκάνη Απορροής Ποταμού (ΛΑΠ) Αχέροντα με έκταση 1292 km<sup>2</sup>. Ο ποταμός Αχέροντας (έκταση υδρολογικής λεκάνης 705 km<sup>2</sup> περίπου) πηγάζει νότια του όρους Τόμαρου και δυτικά του Όρους Σουλίου και εκβάλλει στο Ιόνιο πέλαγος. Το συνολικό μήκος του ποταμού είναι 52 km. Παραπόταμοι του Αχέροντα είναι ο Κωκυτός και το ρέμα Ντάλα που πηγάζουν από το Κεφαλόβρυσο Παραμυθιάς ο πρώτος και μεταξύ ορέων Παραμυθιάς και Σουλίου ο δεύτερος.

Οι κύριες υδροφορίες της λεκάνης του Αχέροντα αναπτύσσονται στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ιονίου ζώνης. Σημαντικές υδροφορίες αναπτύσσονται στους κοκκώδεις σχηματισμούς των τεταρτογενών αποθέσεων το δυναμικό των οποίων εξαρτάται από την κοκκομετρία τους και τις συνθήκες τροφοδοσίας (π.χ. πεδιάδα Παραμυθιάς, περιοχή Αχερουσίας λίμνης, περιοχή Πρέβεζας). Στις εμφανίσεις του φλύσχη αναπτύσσονται τοπικής σημασίας υδροφορίες, μικρής δυναμικότητας που καλύπτουν τοπικές υδρευτικές, αρδευτικές και κτηνοτροφικές ανάγκες.



**Σχήμα 2.3:** Υδρολιθολογικός χάρτης Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου (Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, 2013. ΦΕΚ Β 2292-17.09.2013).

Στη λεκάνη απορροής ποταμού Αχέροντος βρίσκονται 5 Υπόγεια Υδατικά Συστήματα (ΥΥΣ) συνολικής έκτασης 1.296.585.865 m<sup>2</sup>. Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στο υπόγειο υδατικό σύστημα Πάργας (Σχ. 2.4). Όλα τα υπόγεια υδατικά συστήματα βρίσκονται σε καλή χημική κατάσταση, εκτός αυτού της Χερσονήσου Πρέβεζας. Το υπόγειο υδατικό σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας παρουσιάζει εκτεταμένη ρύπανση με νιτρικά ιόντα, αμμωνία και χλωριόντα και η χημική του κατάσταση χαρακτηρίζεται κακή. Συναντώνται κατά θέσεις υψηλές τιμές SO<sub>4</sub> λόγω αυξημένων τιμών φυσικού υποβάθρου (παρουσία γύψων). Στα υπόλοιπα υπόγεια υδατικά συστήματα συναντώνται μόνο τοπικής σημασίας αυξημένες τιμές νιτρικών ιόντων και αμμωνίας ως αποτέλεσμα των διάχυτων και σημειακών εστιών ρύπανσης (Πίνακας 2.2).



Σχήμα 2.4: Υπόγεια υδατικά συστήματα ΥΔ Ηπείρου (Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, 2013. ΦΕΚ Β 2292-17.09.2013).

Πίνακας 2.2: Ποιοτικά προβλήματα στα ΥΥΣ της υδρολογικής λεκάνης Αχέροντος.

α/α	Κωδικός	Όνομασία	Είδος υδροφορέα	Ποιοτικά προβλήματα	Τάση ρύπανσης	Χημική κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος
1	GR0500090	Σύστημα Σουλίου-Παραμυθιάς	Καρστικός	Τοπική φυσική επιβάρυνση σε SO4. Τοπικές υπερβάσεις ιχνοστοιχείων Fe, Mn, Pb	Όχι	Καλή
2	GR0500130	Σύστημα Κορώνης	Καρστικός	Σημειακή ρύπανση (NH4) λόγω αγροτικών δραστηριοτήτων, Τοπική φυσική επιβάρυνση σε SO4 και Cl στο νότιο τμήμα. Τοπικές υπερβάσεις ιχνοστοιχείων Fe, Mn	Όχι	Καλή
3	GR0500140	Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας	Κοκκώδης	Εκτεταμένη ρύπανση (NO3, NH4), από την αγροτική δραστηριότητα και Cl από υφαλμύριση.	Τοπική	Κακή (NO3: 5 – 118, NH4: 0,03 - 3,4 mg/l)
4	GR0500170	Σύστημα Πάργας	Καρστικός	Τοπικές επιβαρύνσεις λόγω αγροτικών δραστηριοτήτων. Τοπικές υπερβάσεις ιχνοστοιχείων Fe, Mn, Pb	-	Καλή
5	GR0500260	Σύστημα υδροφορέων άνω ρου Αχέροντος-ρέματος Αρέθουα	Ρωγματώδης	Όχι	Όχι	Καλή

Από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της υδρολογικής λεκάνης του Αχέροντα, μόνο στο σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας σημειώνονται τοπικές υπεραντλήσεις, που έχουν ως αποτέλεσμα την τοπική υφαλμύριση της υπόγειας υδροφορίας. Στο σύστημα αυτό οι απολήψεις δεν υπερβαίνουν το 25% της μέσης τροφοδοσίας Χερσονήσου Πρέβεζας, η γειτνίαση όμως με τη θάλασσα έχει ως αποτέλεσμα την τοπική διαχρονική ταπείνωση της υπόγειας στάθμης. Το σύστημα χαρακτηρίζεται σε κακή ποσοτική κατάσταση. Στα υπόλοιπα υπόγεια υδατικά συστήματα δεν παρατηρούνται προβλήματα υπερεκμετάλλευσης. Οι απολήψεις από τα υπόγεια συστήματα αποτελούν πολύ μικρό μόνο ποσοστό της μέσης ετήσιας φυσικής τροφοδοσίας τους (Πίνακας 2.3).

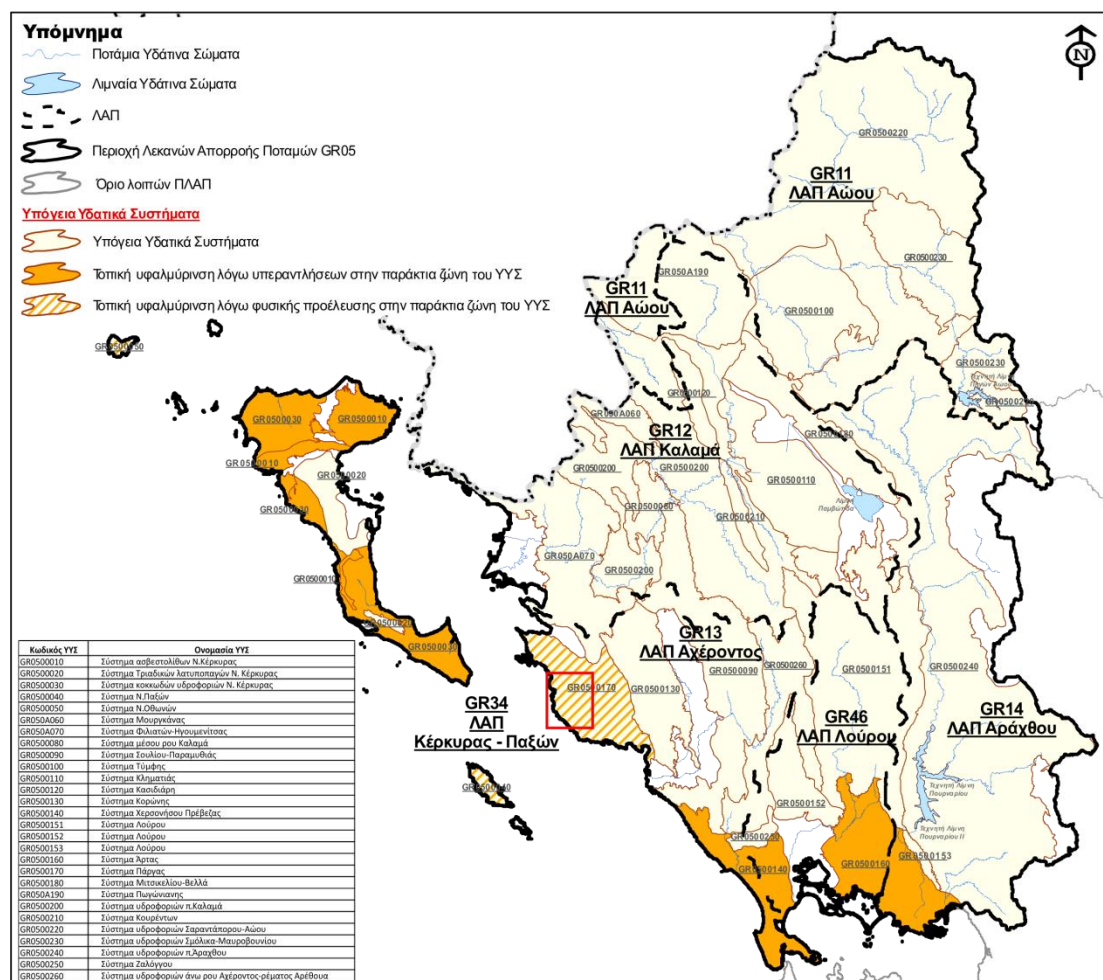
**Πίνακας 2.3:** Ετήσια τροφοδοσία και απολήψεις από τα υπόγεια υδατικά συστήματα της υδρολογικής λεκάνης Αχέροντα.

α/α	Κωδικός	Ονομασία	Είδος υδροφορέα	Μέση ετήσια τροφοδοσία (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Μέσες ετήσιες απολήψεις (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Άρδευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Ύδρευση (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Ποσοτική κατάσταση υπόγειου υδατικού συστήματος
1	GR0500090	Σύστημα Σουλίου-Παραμυθιάς	Καρστικός	220	2,2	1,1	1,1	Καλή
2	GR0500130	Σύστημα Κορώνης	Καρστικός	105	2,1	1,1	2,0	Καλή
3	GR0500140	Σύστημα Χερσονήσου Πρέβεζας	Κοκκώδης	40	10	9,8	1,2	Κακή
4	GR0500170	Σύστημα Πάργας	Καρστικός	100	3,6	2,0	1,6	Καλή
5	GR0500260	Σύστημα υδροφοριών άνω ρου Αχέροντος-ρέματος Αρέθουα	Ρωγματώδης	9	1,2	1,1	0,1	Καλή

### Σύστημα Πάργας

Το καρστικό αυτό σύστημα έρχεται σε άμεση επαφή με τη θάλασσα σε μήκος 30 km. Η φυσική υφαλμύριση του συστήματος είναι ιδιαίτερα αισθητή στη βορειοδυτική πλευρά του από τον όρμο Πλαταριάς έως Πέρδικα. Η υφαλμύριση αυτή είναι δεδομένη στην κύρια εκφόρτιση του υποσυστήματος στην πλευρά της παράκτιας πηγής Πλαταριάς αλλά και στις δευτερεύουσες πηγές (Σύβοτα και παραλία Πέρδικας). Οι συγκεντρώσεις χλωριόντων ξεπερνούν στο τμήμα αυτό τα 1600 mg/l στην παράκτια ζώνη και τα 800 mg/l στο εσωτερικό του συστήματος. Νοτιότερα στην

περιοχή της Πάργας το καρστικό σύστημα φράσσεται υδραυλικά με τις μάργες που δεν επιτρέπουν την είσοδο της θάλασσας. Στο νότιο άκρο του συστήματος στον όρμο του Αγ. Ιωάννη, συναντάται η ομώνυμη υποθαλάσσια πηγή σε βάθος 20 m. Περαιτέρω αντλήσεις στο βόρειο τμήμα του συστήματος θα επιδεινώσουν περαιτέρω την υπάρχουσα κακή χημική κατάσταση.

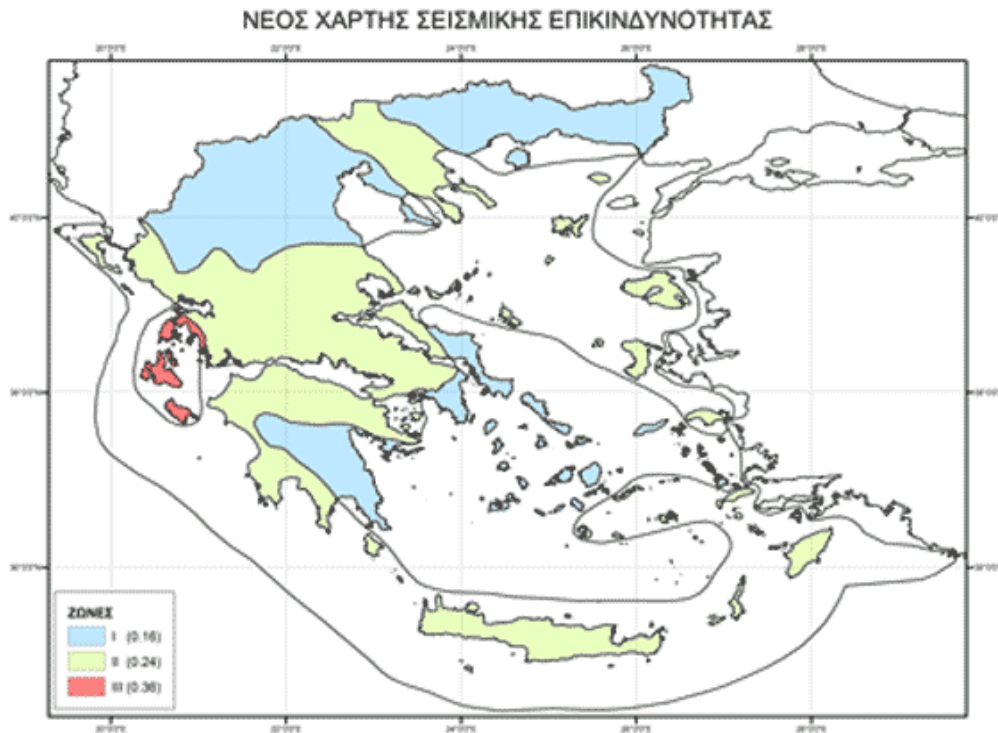


Σχήμα 2.5: Υφαλμύριση υπόγειων υδατικών συστημάτων(Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, 2013. ΦΕΚ Β 2292-17.09.2013).

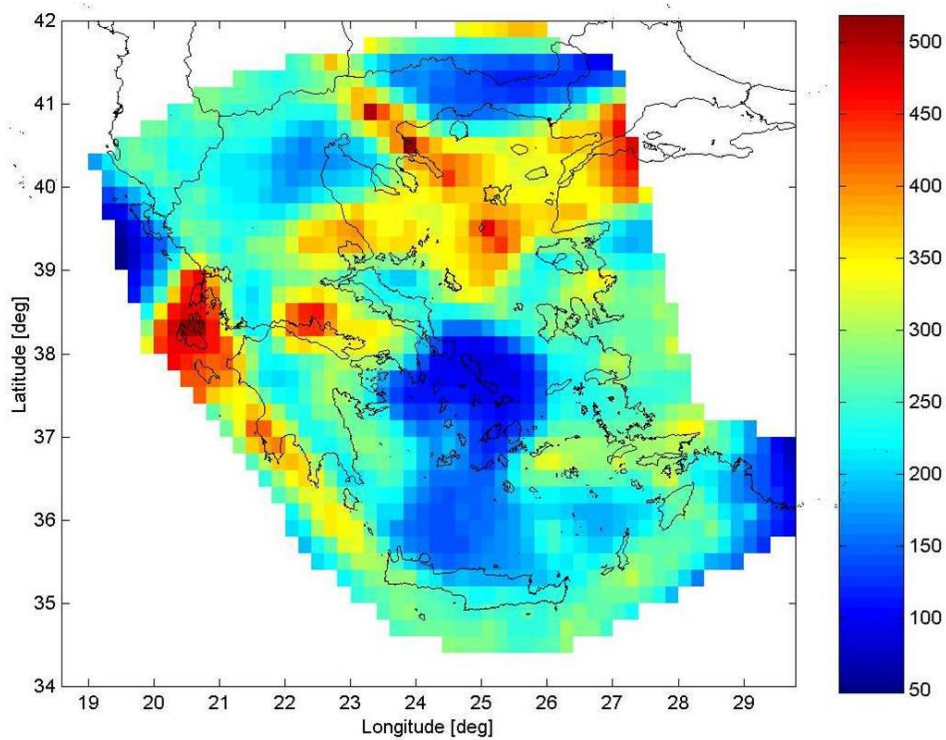
## 2.4 ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ

Σύμφωνα με την ισχύουσα τροποποίηση των διατάξεων του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΦΕΚ 1154Β', 12-8-2003), η περιοχή μελέτης εντάσσεται στη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας II (Σχ. 2.6), με μέγιστη σεισμική επιτάχυνση  $a=0.24g$  (όπου  $g$ , επιτάχυνση της βαρύτητας) και 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια (Σχ. 2.7), το δε υπέδαφος κατατάσσεται στην

κατηγορία Β. Στην ευρύτερη περιοχή κατά μήκος των ακτών της Ηπείρου έχει καταγραφεί ένα σημαντικό ποσό μεγάλων σεισμών με μικρό εστιακό βάθος (Σχ. 2.8).

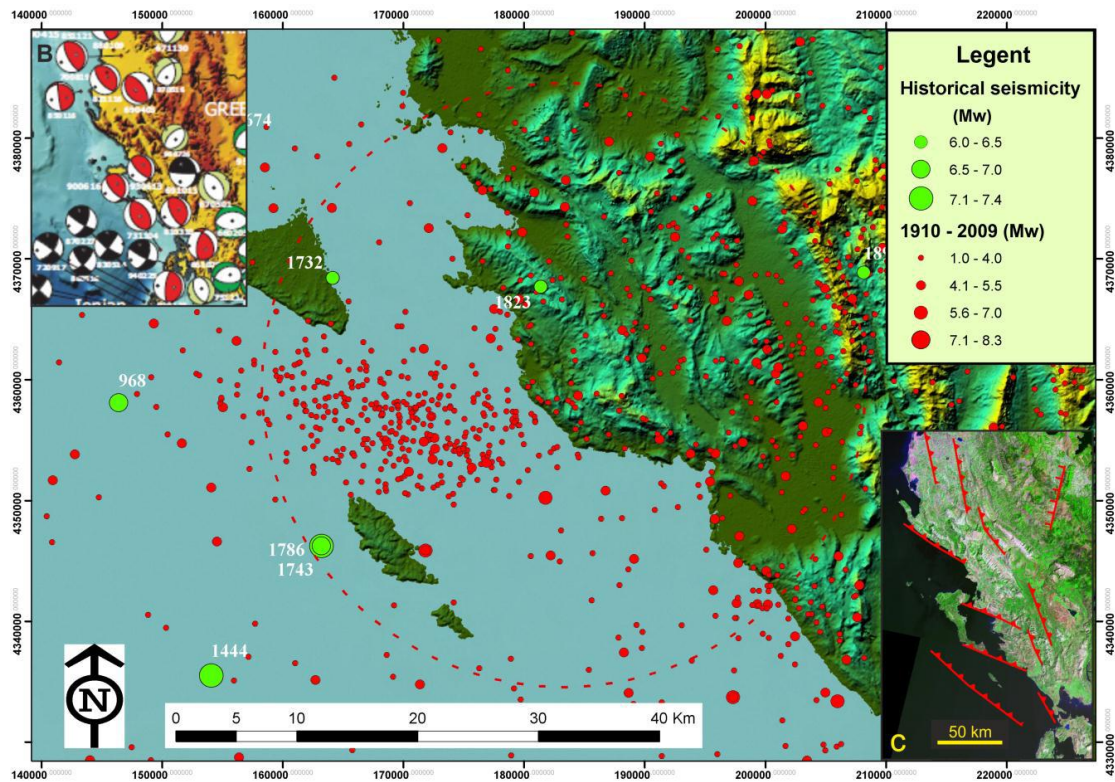


**Σχήμα 2.6:** Χάρτης ζωνών σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας.



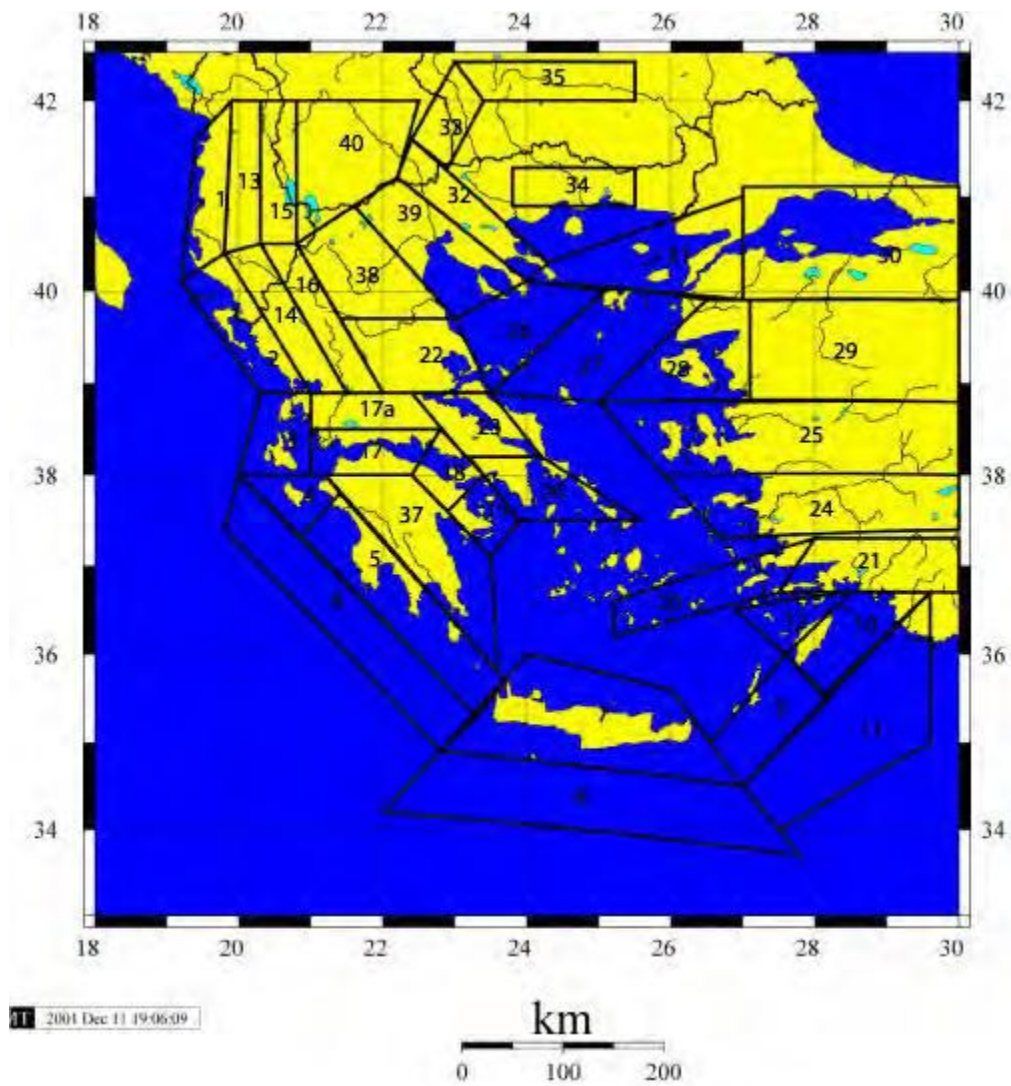
**Σχήμα 2.7:** Χάρτης Μέγιστης Αναμενόμενης Εδαφικής Επιτάχυνσης ( $\text{cm}/\text{sec}^2$ ) με 90% πιθανότητα μη υπέρβασης τα επόμενα 50 χρόνια.



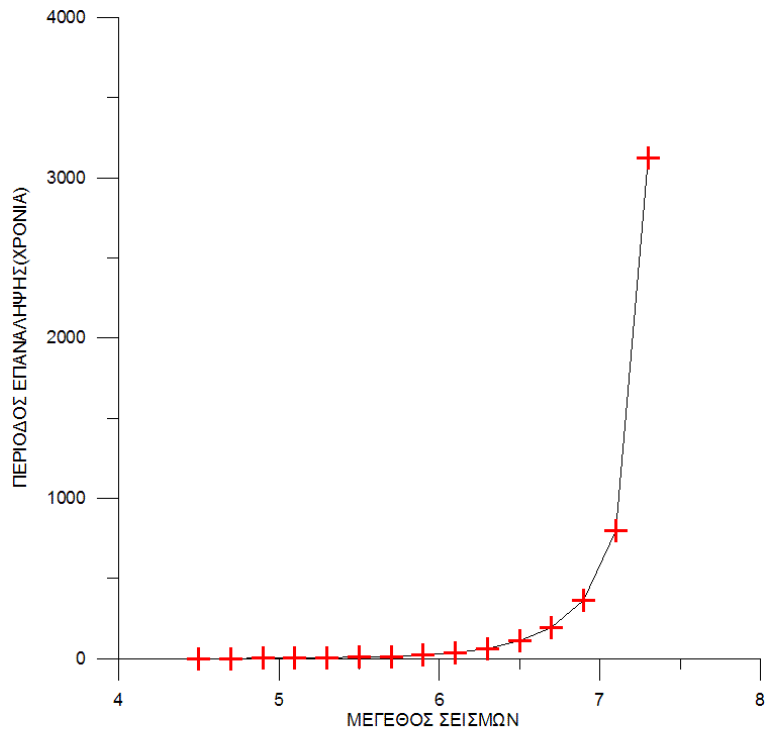


**Σχήμα 2.8:** Α) Ενόργανη καταγραφή της σεισμικότητας της περιοχής (30 km ακτίνα) κατά την περίοδο από το 1910 έως 24/08/2009 ([http://geophysics.geo.auth.gr/ss/station\\_index\\_en.html](http://geophysics.geo.auth.gr/ss/station_index_en.html)). Ιστορικοί σεισμοί που καλύπτουν την περίοδο από 550 π.Χ. - 2010 (Papazachos & Papazachou 2003), Β) μηχανισμοί γένεσης όπως φαίνεται από Kiratzi & Louvari (2003) για την περιοχή έρευνας όπου σχετίζονται με τα επωθημένα στρώματα που ορίζουν μια ΒΑ-ΝΔ συμπίεση, C) επωθήσεις χαρτογραφημένες από Papazachos et al. (2001) στην ευρύτερη περιοχή όπου δείχνουν το συμπιεστικό καθεστώς που επικρατεί, (Pavlidis S.B., 2011).

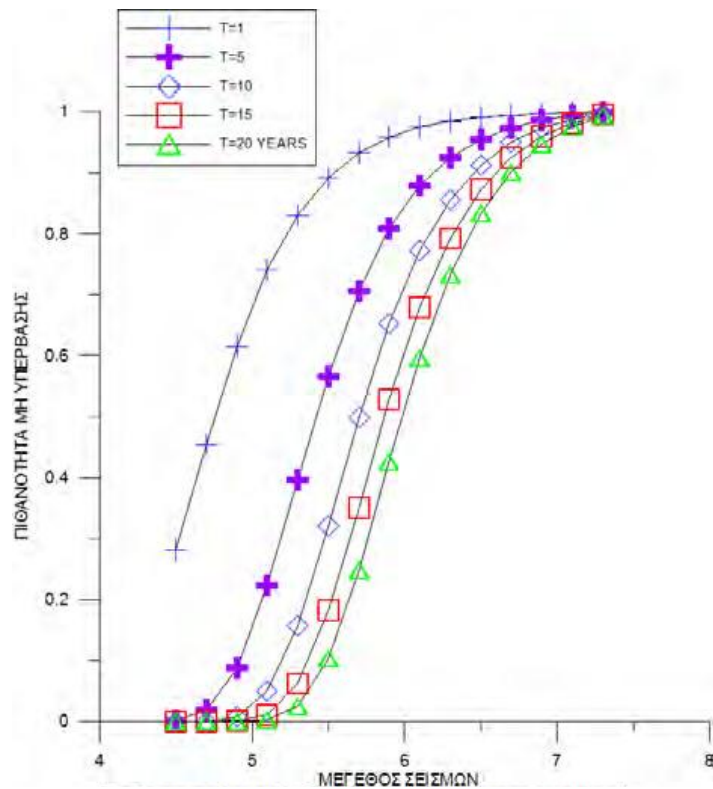
Στο σχήμα 2.9 φαίνεται πως η περιοχή μελέτης ανήκει στη ζώνη 2 του Μοντέλου Επιφανειακών Σεισμικών Πηγών όπου με εφαρμογή της μεθόδου της μεγίστης πιθανοφάνειας (Γ. Σταυρακάκη και Ι. Λατουσάκη, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο του ΕΑΑ) και βάσει των σεισμολογικών στοιχείων (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.1), απεικονίζονται στα σχήματα 2.10 και 2.11 η πιθανότητα υπέρβασης ή μη προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών καθώς επίσης και η περίοδος επανάλιψης αυτών.



**Σχήμα 2.9:** Μοντέλο Επιφανειακών Σεισμικών Πηγών του Ελληνικού χώρου και των γειτονικών περιοχών (Βασικό μοντέλο από Papazachos, 1989).



Σχήμα 2.10: Περίοδος επανάληψης των διαφορετικών σεισμικών μεγεθών στη Ζώνης 2.

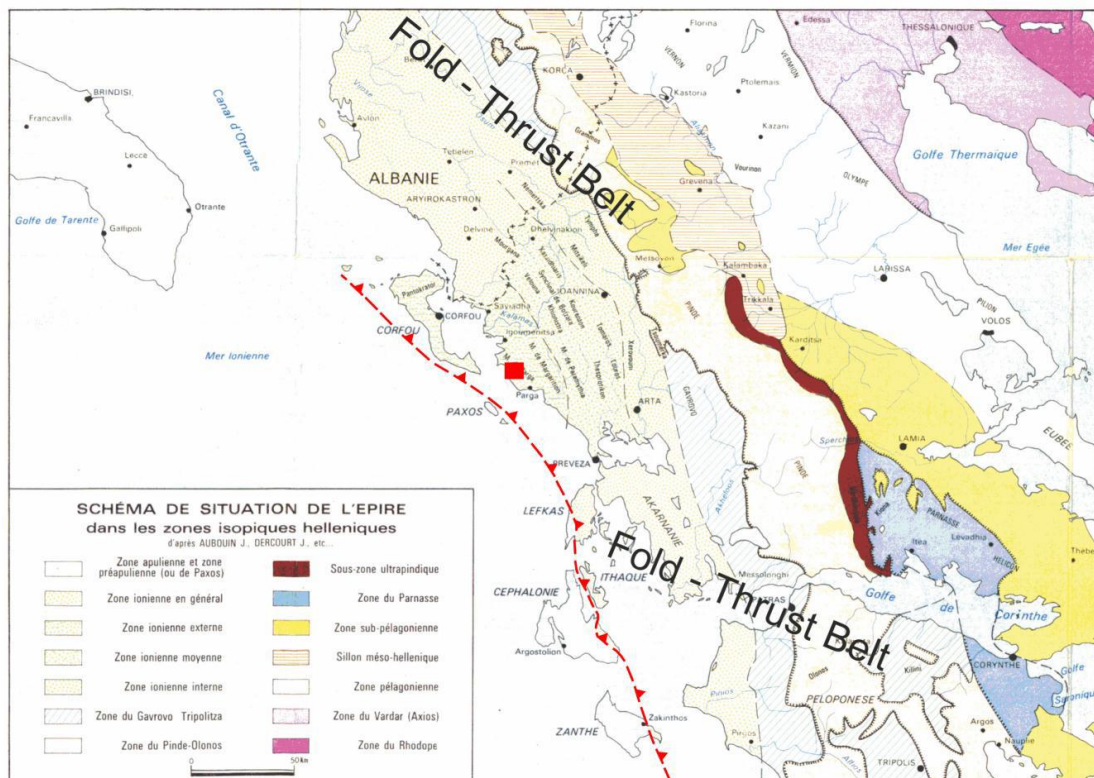


Σχήμα 2.11: Κατανομή της πιθανότητας μη υπέρβασης προκαθορισμένων σεισμικών μεγεθών σε t επόμενα χρόνια στη Ζώνη 2.

## 2.5 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

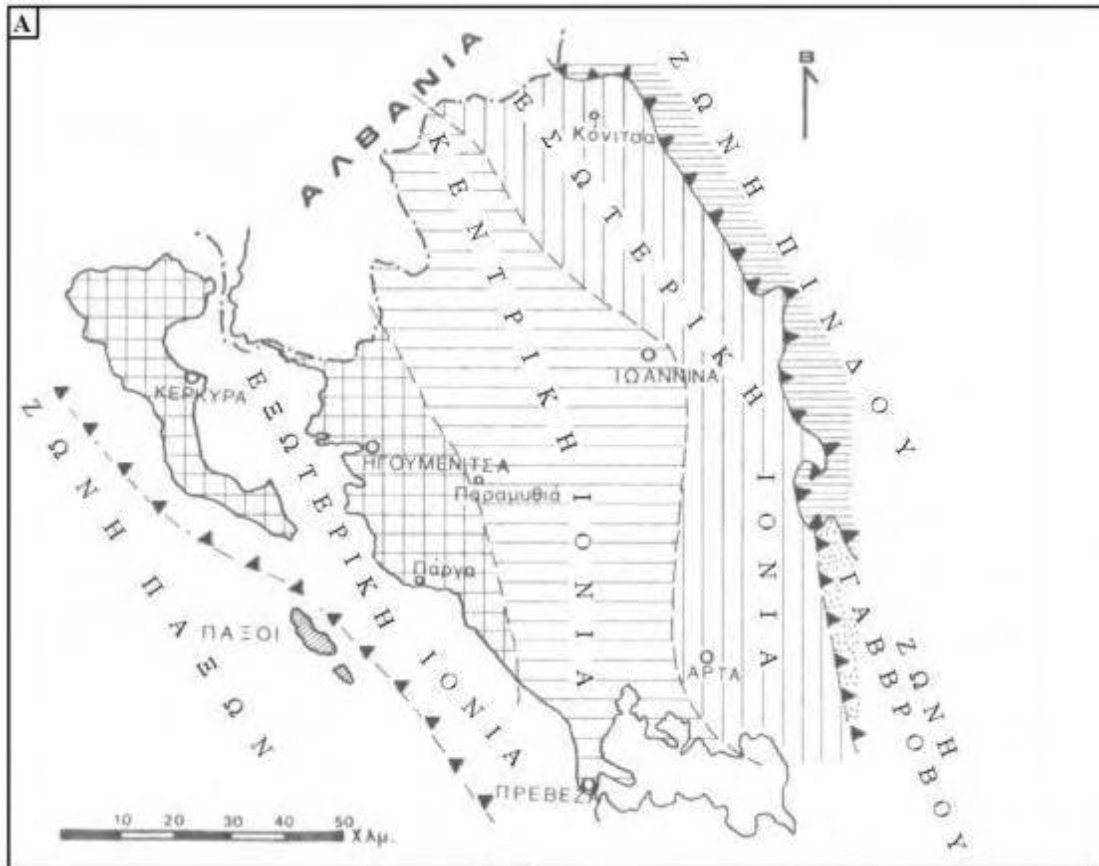
### 2.5.1 Γεωτεκτονική Θέση

Η περιοχή μελέτης σύμφωνα με την ευρέως αποδεκτή γεωτεκτονική υποδιαίρεση της Ελληνικής ορογένεσης ανήκει στην Ιόνιο ζώνη (Μουντράκης, 2010). Η επικρατέστερη άποψη σχετικά με την παλαιογεωγραφική και τη γεωτεκτονική εξέλιξη της Ιόνιας ζώνης αναφέρει ότι αυτή αποτελούσε κατά τον Μεσοζωικό αιώνα μια υποθαλάσσια αύλακα, που χώριζε το ύψωμα της ζώνης των Παξών ή Προ-Απουλίας στα δυτικά από το ύψωμα των ζωνών Γαβρώβου και Πίνδου στα ανατολικά (Aubouin, 1959, Jacobshagen, 1994). Αυτή η ζώνη μαζί με την ζώνη των Παξών ή Προ-Απουλίας στα δυτικά και τις ζώνες Γαβρώβου και Πίνδου στα ανατολικά γνωστή ως Εξωτερικές Ελληνίδες αποτελούν την ακρωτήρια ζώνη πτύχωσης και επώθησης της Ελληνικής ορογένεσης (Σχ. 2.12). Η ζώνη της Ιόνιου με κλίση ΒΒΔ-ΝΝΑ εκτείνεται από την Αλβανία μέχρι το δυτικότερο τμήμα της ηπειρωτικής Ελλάδας και περιλαμβάνει, επίσης, τμήματα των Ιονίων Νήσων. Σύμφωνα με νέες απόψεις η σειρά των Plattenkalk τοποθετείται στην Ιόνιο ζώνη, οπότε η τελευταία προεκτείνεται στη Νότια Πελοπόννησο, την Κρήτη και τη Ρόδο. Άρα η ζώνη Ιονίου θα πρέπει να είναι αυτόχθονη πάνω στην οποία επωθήθηκαν οι πιο εσωτερικές ζώνες υπό μορφή καλυμμάτων και αυτή αποκαλύπτεται ως τεκτονικό παράθυρο, η οποία σε ορισμένες θέσεις εμφανίζει τη στρωματογραφική της στήλη δύο φορές (διπλά τεκτονικά παράθυρα), (Μουντράκης, 2010).



**Σχήμα 2.12:** Υποδιαίρεση της πτυχωσιγενούς ζώνης του Ελληνικού ορογενούς (τροποποιημένο, IGRS & IFP, 1966). Κόκκινη διακεκομμένη γραμμή με τρίγωνα δείχνει την Ιόνια επώθηση πάνω στη ζώνη των Παξών (ή προ-Απουλίας), (Pavlidis S.B., 2011).

Παλαιογεωγραφικά η ζώνη της Ιονίου διαιρέθηκε σε τρεις ενότητες ή υποζώνες: α) εσωτερική, β) κεντρική, γ) εξωτερική (Σχ. 2.13) και ακόμη περισσότερο, η εξωτερική Ιόνιος έχει υποδιαιρεθεί σε δυτική και ανατολική.



**Σχήμα 2.13:** Οι υποζώνες της Ιονίου Ζώνης (Μπακόπουλος, 2006).

Σύμφωνα με Zelilidis et al. (2003 και αναφορές), οι ιζηματογενείς σχηματισμοί της Ιόνιας ζώνης έχουν μέγιστο πάχος 10 km και αποτέθηκαν σε λεκάνη διάνοιξης ελεγχόμενη από ρήγματα του ωκεανού της Πίνδου. Η γενική στρωματογραφική διάπλαση της Ιόνιας ζώνης αποτελείται κατά σειρά ηλικίας από Τριαδικούς εβαπορίτες, οι οποίοι μεταβιβάζονται σε ανθρακικά ιζήματα περιβάλλοντος ρηχής θαλάσσιας πλατφόρμας κατά το Κατώτερο Τριαδικό-Ανώτερο Ιουρασικό. Οι ασβεστόλιθοι του Κατώτερου Ιουρασικού υπέρκεινται των ασβεστόλιθων Ammonitico rosso βαθιάς θάλασσας και των πελαγικών ασβεστόλιθων με πυριτιολίθους του Μέσο-Κάτω Ιουρασικού έως Ηωκαίνου, με στρωματογραφικό πάχος 2.5-4 km. Μια μεταβατική ζώνη με μάργες, πάχους 20-50 m, σηματοδοτεί τη διαδοχική αλλαγή στην ιζηματογένεση από πελαγικούς ασβεστόλιθους σε τουρβιδιτικό φλύσχη του Κατώτερου Ηωκαίνου/Κατώτερου Ολιγοκαίνου έως Κατώτερου Μειοκαίνου (στρωματογραφικό πάχος 2-3 km). Η μεταβατική ζώνη καταγράφει την αλλαγή στο καθεστώς απόθεσης με αύξηση στο πάχος των ιζημάτων,

που προέρχονται από το ανατολικό περιθώριο της λεκάνης ως αποτέλεσμα της Αλπικής τεκτονικής δραστηριότητας (π.χ. επώθηση Πίνδου).

Οι εβαπορίτες θεωρούνται Κάτω-Τριαδικής ηλικίας, διότι υπόκεινται ασβεστολίθων του Νορίου-Ραιτίου με σχίστες πλούσιους σε οργανικό υλικό. Οι κλαστικοί σχηματισμοί του Καρνίου, που περιέχουν σχίστες πλούσιους σε οργανικό υλικό ανάμεσα σε εβαπορίτες, φανερώνουν τεκτονικά τεμάχη διαβάσης, γνευσίου και τόφφου στο εσωτερικό των εβαποριτών. Αυτά τα τεμάχη πιθανώς προέρχονται από Ερκύνια ή παλαιότερα πετρώματα υποβάθρου, τα οποία έχουν ανιχνευτεί επίσης στα περιθώρια της Απούλιας πλάκας. Οι Τριαδικοί εβαπορίτες αποτελούνται από αλίτη, γύψο και ανυδρίτη με ενσωματωμένους δολομίτες και λεπτούς σχίστες με οργανικό υλικό. Το αρχικό πάχος τους είναι αβέβαιο εξαιτίας της παραμόρφωσης, αλλά ίσως φθάνει τα 2 km, (Zelilidis et al., 2003 και αναφορές).

### **2.5.2 Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση και Παλαιογεωγραφική εξέλιξη**

Από το Τριαδικό ως το Ανώτερο Κρητιδικό η Δ. Ελλάδα αποτελούσε τμήμα του Νοτίου περιθωρίου της Τηθύος. Σε κλίμακα μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων, ολόκληρη η Αλπική ζώνη μπορεί να θεωρηθεί ως το ανεστραμμένο περιθώριο του ωκεανού της Νεοτηθύος, αποτέλεσμα σύγκρουσης της Απούλιας πλάκας με την Ευρωπαϊκή. Σε μικρότερο βαθμό, οι διάφορες υπολεκάνες του Ελληνικού περιθωρίου της Τηθύος ανεστράφησαν με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τα κύρια Ελληνικά επωθητικά καλύμματα (πτυχωσιγενείς ζώνες). Αυτό συνέβη προοδευτικά, ξεκινώντας από τις εσωτερικές ζώνες προς τις εξωτερικές, (Karakitsios, 2007).

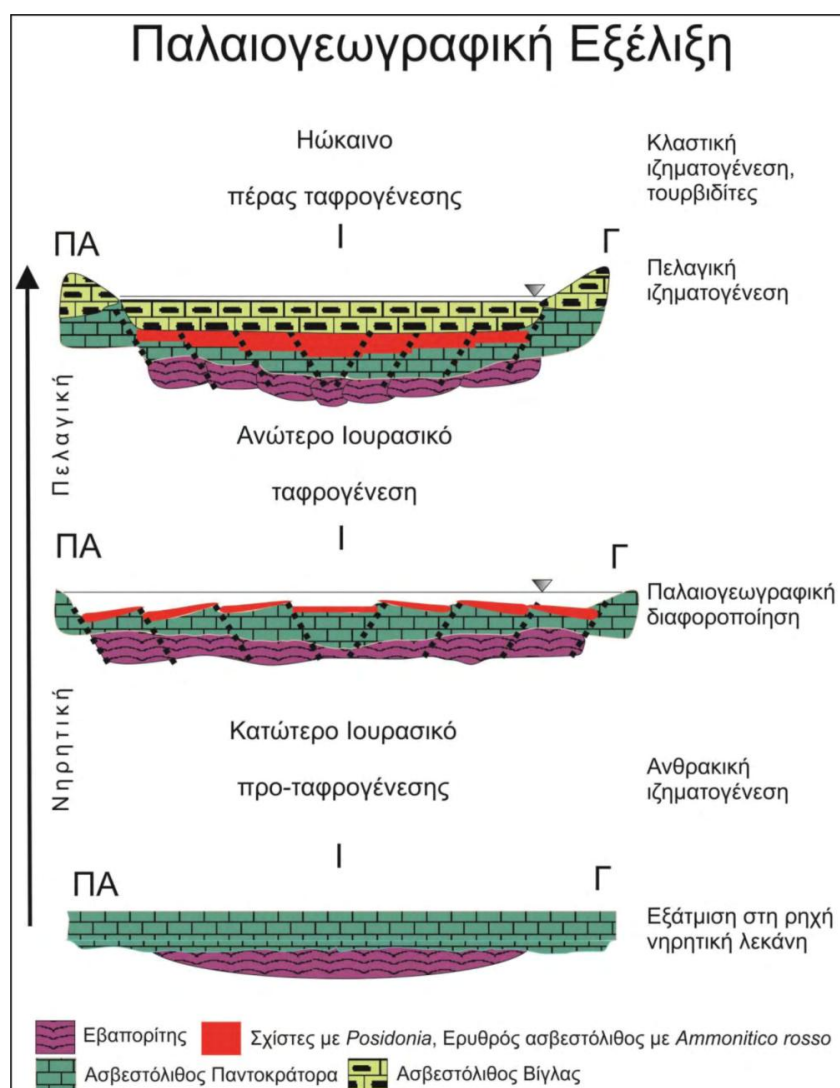
Η Ιόνια ζώνη διαχωρίζεται σε τρεις σαφείς στρωματογραφικές ακολουθίες, αναπαριστώντας τρεις ενότητες (στάδια εξέλιξης), πριν, κατά και μετά την ταφρογένεση, μετατρέποντάς την σταδιακά από νηρητική πλατφόρμα σε πελαγική λεκάνη (Σχ. 2.14), (Karakitsios, 2007).

#### *i) Η προ-ταφρογενετική ακολουθία*

Σύμφωνα με Karakitsios (2007) ο παλαιότερος γνωστός σχηματισμός αυτού του χώρου είναι η υποθαλάσσια σειρά των εβαποριτών (Κατώτερο-Μέσο Τριαδικό), που είναι γνωστοί κυρίως από δεδομένα γεωτρήσεων. Το συνολικό πάχος τους υπολογίζεται μεγαλύτερο από 2000 m. Αποτελούνται κυρίως από θειικά και

ανθρακικά ιζήματα, τα οποία πιθανώς αποτέθηκαν σε περιβάλλον λιμνών «sabkha», (Karakitsios, 2007).

Παρά το μεγάλο πάχος τους, οι εβαπορίτες είναι σπάνιοι σε επιφανειακές εμφανίσεις και απαντώνται ως μικρά σώματα γύψου, που συνοδεύονται πάντα από εκτεταμένα ανθρακικά λατυποπαγή, γνωστά ως Τριαδικά λατυποπαγή. Κατά την απόθεση των εβαποριτών (Κατώτερο-Μέσο Τριαδικό), η ζώνη αποτελούσε τμήμα μιας τεράστιας ρηχής θαλάσσιας λεκάνης, όπου λάμβανε χώρα εκτεταμένη εξάτμιση. Η απόθεση των εβαποριτών, σε συνδυασμό με την παρουσία συν-ιζηματογενών κανονικών ρηγμάτων και τις ροές βαρύτητας, είναι αποδείξεις τεκτονικού περιβάλλοντος διάνοιξης, στο οποίο είχε συμπεριληφθεί η ζώνη από το Μέσο Τριαδικό, (Jones and Robertson, 1991).



**Σχήμα 2.14:** Παλαιογεωγραφική εξέλιξη της Ιόνιας ζώνης (ΠΑ: προ-Απούλια πλατφόρμα, Ι: Ιόνια ζώνη, Γ: Ζώνη Γαβρόβου (Jones and Robertson, 1991, από Παλλάκης, 2013).



Γενικά η γύψος και τα λατυποπαγή, με τα οποία συνδέεται, εμφανίζονται επιφανειακά σε περιοχές, όπου υπάρχουν μεγάλης έκτασης επωθήσεις ή ρήγματα. Συχνά εξωθούνται διαμέσω ρηγμάτων ή επιφανειακών επωθήσεων και καλύπτουν πολύ πιο σύγχρονους σχηματισμούς, όπως συμβαίνει με τους σχηματισμούς Βουρδιγάλιας ηλικίας (Κατώτερο Μειόκαινο). Τα Τριαδικά λατυποπαγή σχηματίστηκαν από τη διάλυση και κατάρρευση των εβαποριτών. Για το λόγο αυτό διακατέχονται από ψευδομορφές εβαποριτών. Η προέλευση αυτών των διαλυμένων και κατακερματισμένων λατυποπαγών είναι επιγενετική ως αποτέλεσμα της «λατυποπαγοποίησης» μετά το πέρας της συνορογενετικής διαπειρικής διείδυσης των εβαποριτών και κυρίως της ατμοσφαιρικής έκθεσης των υποεπιφανειακών εβαποριτικών ιζημάτων. Ειδικότερα, σχετίζονται με: α) την αλατοκίνηση που έλαβε χώρα κατά το Ανώτερο Ιουρασικό. β) το διαπειρισμό και την αναστροφή της τεκτονικής της Ιόνιας λεκάνης κατά την ορογένεση.

Οι εβαπορίτες υπόκεινται των ασβεστόλιθων «Φουσταπήδημα» Λαδίνας-Ραΐτιας ηλικίας (Μέσο και Ανώτατο Τριαδικό), ακολουθούμενοι από τους ασβεστόλιθους του Παντοκράτορα ρηχού νερού του νεώτερου Λιασίου (Ανώτατο Τριαδικό-Κατώτερο Ιουρασικό). Οι ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα φιλοξενούν κυρίως φύκη (*Palaedasycladus mediterraneus*, *Thaumatoporella parrosiculifera*, *Porostromata*, *oncolites*, σφαιρικούς κόκκους (pellets) και φυκοειδείς στρωματολίτες με οφθαλμούς), που χαρακτηρίζουν ένα πολύ ρηχό ιζηματογενές περιβάλλον (διπαλιρροϊκό) (Γκέτσος, 2005). Αυτοί οι ασβεστόλιθοι αποτελούσαν τμήμα της τεράστιας ανθρακικής πλατφόρμας κατά το Ανώτερο Λιάσιο, που επεκτεινόταν σε όλη τη Δυτική Ελλάδα. Η ισχυρή υποχώρηση της θάλασσας εξισώθηκε από τη γόνιμη ανθρακική ιζηματογένεση, που είχε ως αποτέλεσμα τη δόμηση μιας ανθρακικής σειράς ρηχού νερού με περισσότερο από 1000 m πάχος (Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα), (Karakitsios, 2007).

#### *ii) Η συν-ταφρογενετική ακολουθία*

Σύμφωνα με Karakitsios (2007) η έναρξη της συν-ταφρογενετικής ακολουθίας αναπαρίσταται από τους ασβεστόλιθους Σινιών και του τελευταίου ισοδυνάμου τους, τους ασβεστόλιθους Λούρου. Χαρακτηριστικά απολιθώματα Πλιενσβάχιας ηλικίας, όπως τρηματοφόρα, βραχιόποδα και αμμωνίτες παρατηρούνται επίσης στους ασβεστόλιθους του Λούρου. Αυτοί οι σχηματισμοί απαντούν στη γενική βάθυνση της Ιόνιας περιοχής (σχηματισμός Ιόνιας λεκάνης), η οποία ακολουθήθηκε από την εσωτερική συν-ταφρογενετική διαφοροποίηση και χαρακτηρίζονται από μικρότερες

παλαιογεωγραφικές μονάδες. Οι τελευταίες καταγράφηκαν στα πρισματικά συνιζηματογενή περιθώρια των συν-ταφρογενετικών σχηματισμών, του Ammonitico rosso, των κατώτερων στρωμάτων με Posidonia, των ασβεστόλιθων με νήματα (filaments) και των ανώτερων στρωμάτων με Posidonia. Σε στρωματογραφικές τομές της Ιόνιας ζώνης φαίνονται απότομες αλλαγές στα πάχη των συντεκτονικών ακολουθιών σε εύρος μερικών χιλιομέτρων. Το άνοιγμα του ωκεανού της Νεοτηθύος συνδυάστηκε με το σχηματισμό μιας σειράς συζυγών ρηγμάτων (ρήγματα που σχηματίστηκαν κάτω από το ίδιο καθεστώς πίεσης) BBA και ANA διεύθυνσης. Η ρηγή θαλάσσια πλατφόρμα του πρώιμου Λιασίου επηρεάστηκε από λιστρικής γεωμετρίας ρήγματα, γεγονός που αποτυπώνεται στη διαφορική υποχώρηση της κάθε παλαιογεωγραφικής μονάδας. Οι κατευθύνσεις των συνιζηματογενών τεκτονικών περιεχομένων αποδεικνύουν ότι η απόθεση ελεγχόταν από δομές, που δημιουργήθηκαν κατά την τεκτονική φάση της διάνοιξης. Η ιζηματογενής τομή παρουσιάζει γενικώς γεωμετρία ημι-τάφρου. Τα πρισματικά συνιζηματογενή περιθώρια των συν-ταφρογενετικών σχηματισμών στις μικρές παλαιογεωγραφικές μονάδες (στις περισσότερες φορές αυτές οι μονάδες δεν ξεπερνούν 5 km σε μήκος), ποικίλλουν σε πάχος κατά τη διεύθυνση Α-Δ. Γι' αυτό ασυνέχειες απαντώνται στην κορυφή κεκλιμένων τεμαχίων συμπληρώνοντας τη διαδοχή του Τοαρσίου (Κατώτερο Ιουρασικό) και του Τιθωνίου (Ανώτατο Ιουρασικό) με Ammonitico rosso και κατώτερους σχίστες με Posidonia στη βάση των βαθύτερων σημείων της ημι-τάφρου. Θεωρητικά είναι πιθανό η εβαποριτική αλατοκίνηση της Ιόνιας ζώνης να επηρέασε τον συν-ταφρογενετικό μηχανισμό. Στην πραγματικότητα, κατά το Πλιενσβάχιο (Κατώτερο Ιουρασικό) τα συσσωρευμένα ιζήματα στο ανώτερο τμήμα του εβαποριτικού υποστρώματος ξεπερνούσαν σε πάχος τα 1700 m (Ασβεστόλιθοι Φουσταπηδήματος: 200 m, Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα: 1500 m, Ασβεστόλιθοι Σινιών και Λούρου: >100 m). Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι εβαπορίτες παρουσιάζουν μικρότερη πυκνότητα από τα υπερκείμενα. Ως εκ τούτου, δεν υπάρχει σταθερότητα στην πυκνότητα, η οποία συνεχώς μεταβάλλεται και αντιστρέφεται. Το βάθος, στο οποίο η δύναμη της άνωσης ξεπερνά την υπερκείμενη πίεση (π.χ. η άνοδος του άλατος διαμέσου του πυκνότερου υπερκειμένου του), εξαρτάται από πολυάριθμους παράγοντες. Η παρουσία πλευρικών ετερογενειών, όπως οι μεταβολές πάχους των υπερκείμενων ιζημάτων ή οι ανωμαλίες στην επιφάνεια του αλατούχου στρώματος, είναι επαρκείς για να πυροδοτήσουν ανοδικές κινήσεις των αλάτων μικρότερης πυκνότητας σε σχετικά ρηγά βάθη. Οι δομικές ετερογένειες μπορούν

επίσης να διευκολύνουν την έναρξη διαπειρικών φαινομένων σε σημεία πτυχώσεων ή δομικών αδυναμιών, όπως τα ρήγματα. Στις ρηξιγενείς ζώνες διάνοιξης, οι διαπειρικές διεισδύσεις τείνουν να σχηματίζονται λόγω της άνωσης και κυρίως σε σημεία, όπου το υπερκείμενο φορτίο μειώνεται προς τη βάση. Ο μηχανισμός αυτός φαίνεται να είναι καθοδηγητικός παράγοντας για την αλατοκίνηση στην Ιόνια λεκάνη. Η παρουσία στοιχείων γύψου στα κροκαλοπαγή της βάσης των Κατώτερων στρωμάτων με *Posidonia* (Τοάρσιο), στην τομή του Λίθινου μπορεί να ερμηνευθεί με ευκολία, αν ληφθεί υπόψη η εβαποριτική αλατοκίνηση του υποστρώματος, η οποία οδήγησε στην «έγχυση» αλάτων κατά μήκος των λιστρικών ρηγμάτων που διαχωρίζουν τα κεκλιμένα τεμάχια στα όρια της διατμητικής ζώνης, όπου έχουν αποτεθεί τα κροκαλοπαγή. Η τομή του Λίθινου βρίσκεται στην κεντρική Ιόνια ζώνη και απέχει 70 km από την παρακείμενη ζώνη των Παξών, όπου η γεώτρηση Παξός-1, που ορύχθηκε από την εταιρεία AGIR κατά τα έτη 1981-82, συνάντησε ενστρώσεις ανυδρίτη στους Λιάσιους δολομίτες. Απέχει επίσης περισσότερο από 50 km από τη ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, όπου οι προ-Κρητιδικοί σχηματισμοί είναι σχετικά άγνωστοι και η παρουσία τους μπορεί μόνο να υποτεθεί. Η υπόθεση ότι η γύψος μεταφέρθηκε από αυτές τις ζώνες από τουρβιδιτικά ρεύματα σε τόσο μεγάλες αποστάσεις και αποτέθηκε με τη μορφή κόκκων μεγέθους εκατοστών, είναι αδικαιολόγητη. Συνεπώς τα θεωρητικά δεδομένα, αλλά και όσα έχουν συλλεγεί από εργασίες υπαίθρου υποστηρίζουν ότι η αλατοκίνηση του εβαποριτικού υποστρώματος της Ιόνιας ζώνης σχετίζεται άμεσα με τη φάση διάνοιξης. Η αλατοκίνηση επηρέασε το συν-ταφρογενετικό μηχανισμό, αυξάνοντας το ρυθμό διάνοιξης. Ο συνδυασμός αυτών των παραγόντων είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό περιοχών, όπου το πάχος του εβαποριτικού υποστρώματος γίνεται μέγιστο (περιοχές, όπου οι σχηματισμοί που αποτέθηκαν από το Τοάρσιο μέχρι το Τιθώνιο, βρίσκονται σε ασυμφωνία) και άλλων περιοχών όπου το πάχος των σχηματισμών γίνεται ελάχιστο (*Ammonitico rosso* ή κατώτερα στρώματα με *Posidonia*). Η κατανομή των διαφορετικών παχών μπορεί να υποστηρίξει σημαντικά την επιλογή των ευνοϊκότερων τοποθεσιών για γεωτρήσεις, σε μία προσπάθεια να ερευνηθούν οι υπο-εβαποριτικοί σχηματισμοί του Ιόνιου υποστρώματος, οι οποίοι ενδέχεται να έχουν πετρελαϊκό ενδιαφέρον, (Karakitsios, 2007).

*iii) Η μετα-ταφρογενετική ακολουθία*

Σύμφωνα με Karakitsios (2007) η μετα-ταφρογενετική περίοδος καθορίστηκε από ένα πρώιμο τεκτονικό επεισόδιο κατά το Βερριάσιο (Κατώτατο Κρητιδικό), το

οποίο γίνεται φανερό από μία ασυμφωνία στη βάση των ασβεστόλιθων της Βίγλας. Η ιζηματογένεση κατά τη μετα-ταφρογενετική περίοδο ήταν σύγχρονη σε ολόκληρη την Ιόνια λεκάνη. Η μετα-ταφρογενετική ακολουθία (ασβεστόλιθοι Βίγλας και υπερκείμενοι Αλπικοί σχηματισμοί) επισκιάζει σε μεγάλο βαθμό τις συν-ταφρογενετικές δομές, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, επικάθεται άμεσα των ασβεστόλιθων Παντοκράτορα της προ-ταφρογενετικής περιόδου. Οι αποθέσεις των ασβεστόλιθων Βίγλας δεν ανταποκρίνονται στο θαλάσσιο ευστατικό επίπεδο ανύψωσης, αλλά γενικώς στη βύθιση ολόκληρης της λεκάνης. Η μονιμότητα των διαφορικών καθιζήσεων κατά την απόθεση των ασβεστόλιθων Βίγλας, που είναι εμφανής από την τεράστια ποικιλία στο πάχος των σχηματισμών, οφείλεται μάλλον στις συνεχείς αλατοκινήσεις στο εβαποριτικό υπόστρωμα της Ιόνιας ζώνης, (Karakitsios, 2007).

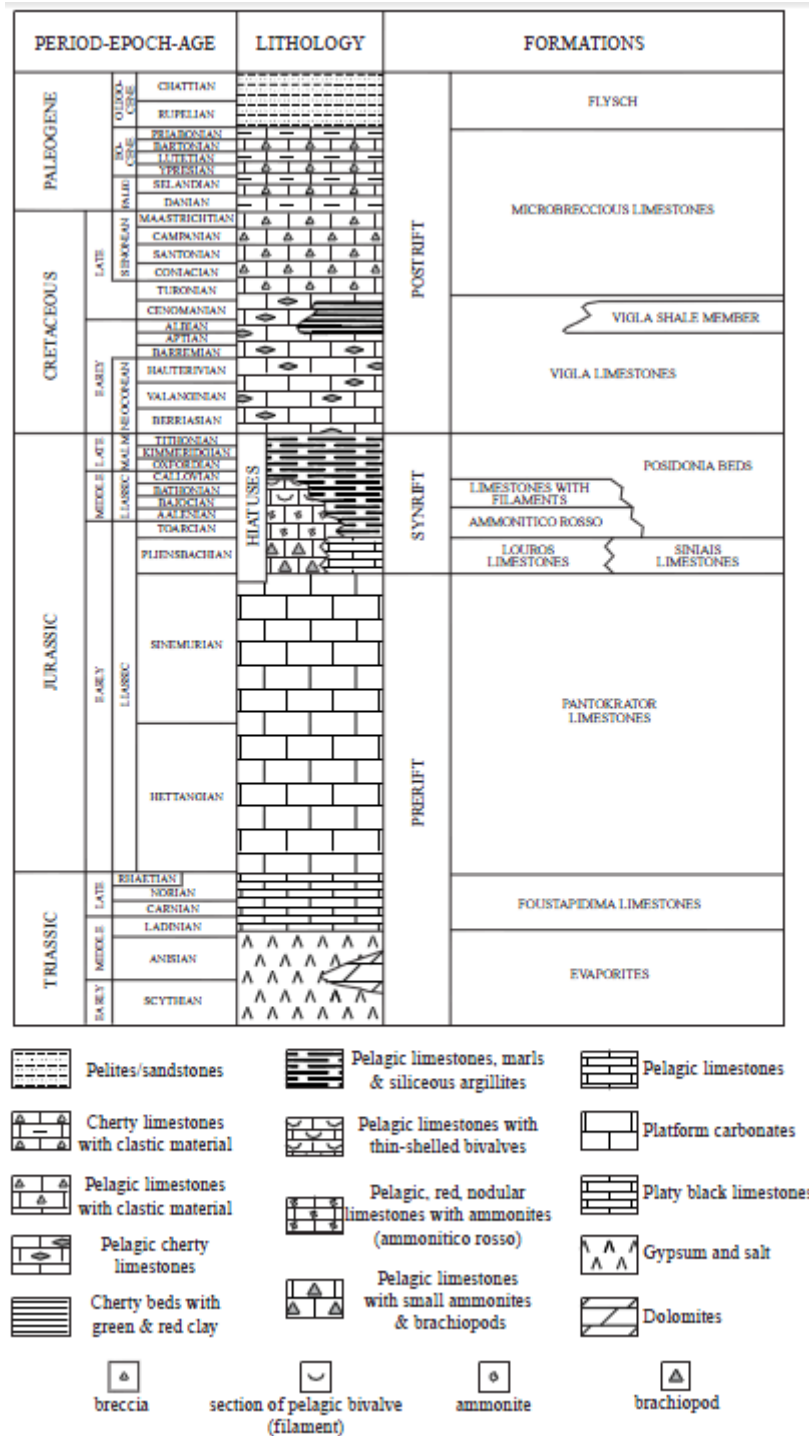
Οι μετα-ταφρογενετικοί σχηματισμοί, ακολουθούμενοι από τους ασβεστόλιθους Βίγλας, κατά το Ανώτερο Σενώνιο (Ανώτατο Κρητιδικό), αποτελούνται από δύο ιζηματογενείς φάσεις: α) Ασβεστόλιθοι με λεπτά θραύσματα (*Globotruncanidae* και ρουδιστές). β) Μικρολατυποπαγείς ορίζοντες με ασβεστόλιθους και θραύσματα ρουδιστών μέσα σε ασβεστιτικό συνδετικό υλικό που εμπεριέχει πελαγική πανίδα.

Γι' αυτόν το λόγο το Ανώτερο Σενώνιο απαντά σε ιζηματογένεση λεκάνης, η οποία σηματοδοτεί το σαφή διαχωρισμό της Ιόνιας λεκάνης σε κεντρική τοπογραφικά υψηλή περιοχή με μειωμένη ιζηματογένεση να λαμβάνει χώρα και δύο περιβάλλοντα χαμηλά περιθώρια με υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης. Παρακείμενα σε αυτήν την περιοχή, δύο νηρητικές πλατφόρμες (Γαβρόβου ανατολικά και Απούλιας στα δυτικά), παρέχουν κλαστικό υλικό στην Ιόνια λεκάνη.

Τα πετρώματα του Παλαιοκαίνου και του Ηώκαινου εμφανίζονται σε συνέχεια μετά το Κρητιδικό, χωρίς σημαντικές φασικές αλλαγές. Κατά το Παλαιόκαινο, η διάβρωση των Κρητιδικών στρωμάτων των πλατφορμών της Γαβρόβου και της Απούλιας, συνεχίζει να παρέχει στην Ιόνια λεκάνη μικρολατυποπαγή ή λατυποπαγή στοιχεία. Ωστόσο, κατά το Ηώκαινο, η προσφορά των κλαστικών υλικών ελαττώνεται σημαντικά, ιδιαίτερα στην κεντρική Ιόνια λεκάνη. Οι κύριες φάσεις, κατά την περίοδο αυτή, είναι οι πεπλατυσμένοι υπολιθογραφικοί ασβεστόλιθοι με *Globotruncanidae* και πυριτικά εγκλείσματα, ανάλογα με αυτά των ασβεστόλιθων Βίγλας, που τα πυριτικά τους στρώματα στερούνται συνέχειας. Το μεγαλύτερο πάχος των Ηώκαινικών σχηματισμών μπορεί να βρεθεί στα περιθωριακά μέρη της Ιόνιας

ζώνης, όπου επίσης τα μικρολατυποπαγή στρώματα είναι πιο συνηθισμένα, (Karakitsios, 2007).

Η ιζηματογένεση των τουρβιδιτών (φλύσχης) αρχίζει στο όριο Ηωκαίνου-Ολιγοκαίνου, σε στρωματογραφικές συνέχειες με τους υποκείμενους Ανω-Ηωκαινικούς ασβεστόλιθους, διαμέσου των μαργαϊκών ασβεστολιθικών μεταβατικών στρωμάτων (Karakitsios, 2007, Sotiropoulos et al., 2009). Οι τουρβιδιτικές αποθέσεις της ζώνης αποτέθηκαν στην απομακρυσμένη περιοχή μιας πολύ μεγάλης λεκάνης προχώρας, που σχηματίστηκε στο μέτωπο του ορογενούς κύματος μετά την ανάδυση της ζώνης της Πίνδου και περιλάμβανε τόσο τη Ζώνη Γαβρόβου-Τριπόλεως, όσο και την Ιόνια ζώνη, (Underhill, 1989).

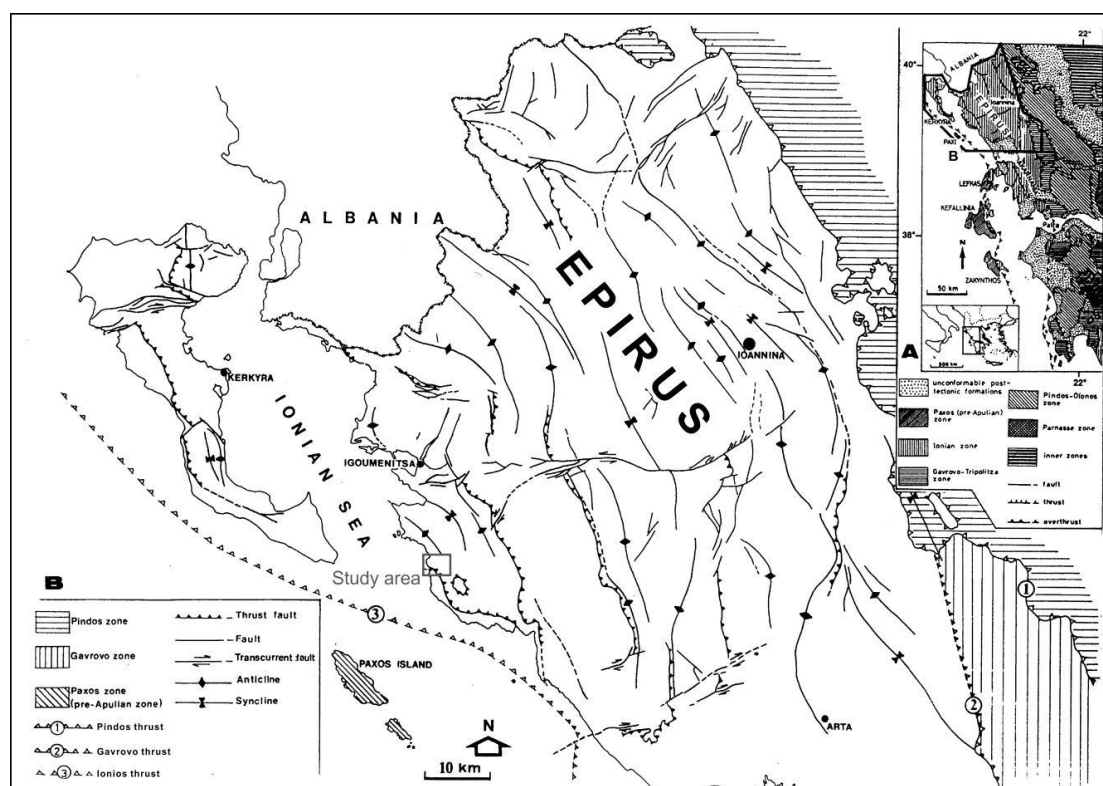


Σχήμα 2.15: Στρωματογραφική στήλη της Ιονίου ζώνης (τροποποιημένο, Karakitsios, 1995).

### 2.5.3 Τεκτονική - Νεοτεκτονική

Οι κυρίαρχες τεκτονικές δομές όπου διαμορφώνουν το τοπίο και έλεγχοι τα μεγάλα φυσιογραφικά χαρακτηριστικά της Ηπείρου (Δυτ. Ελλάδα) είναι οι μέγα-πτυχώσεις και οι μέγα-επωθήσεις που έχουν διαμορφωθεί κατά τη διάρκεια της

Τριτογενούς αλπικής ορογενετικής διαδικασίας όπου σχετίζονται με τη σύγκρουση μεταξύ Απουλίας και Ευρασίας (Σχ. 2.16).



**Σχήμα 2.16:** Οι κύριες τεκτονικές δομές της Ιονίου ζώνης στην περιοχή της Ηπείρου, Δυτική Ελλάδα (IGRS & IFP, 1966 όπως τροποποιήθηκε από Rigakis and Karakitsios, 1998), (Pavlidis S.B., 2011).

Οι πτυχώσεις χιλιομετρικής κλίμακας με παράταξη ΒΒΔ-ΝΝΑ έως ΒΔ-ΝΑ και οι χιλιομετρικής κλίμακας επωθήσεις με κατεύθυνση προς ΝΔ οδηγούν σε μια αύξηση της ήδη δεσπόζουσας ορογενετικής δομής στην ίδια παράταξη. Συγκεκριμένα, οι μεγα-πτυχώσεις (ειδικά στη κεντρική Ιόνιο ζώνη) σχηματίζουν ασύμμετρης μορφής συγκλινώρια και αντικλινώρια όπου ο άξονας τους βυθίζεται με υψηλές γωνίες κυρίως προς ΒΑ. Τόσο οι πτυχώσεις όσο και οι επωθήσεις ορίζουν μια γενική ΑΒΑ-ΔΝΔ «σύμπτυξη» της περιοχή, (Pavlidis S.B., 2011).

Ειδικότερα, η ρηγματογενής διάταξη στην Ιόνιο ζώνη χαρακτηρίζεται από ευρέως χωρισμένες κατά διαστήματα σειρές κυρίως από προ-επωθήσεις (εμπροσθο-επωθήσεις) και λιγότερο οπισθο-επωθήσεις που βυθίζονται με μικρής γωνίας επώθηση στη βάση των Τριαδικών εβαποριτών. Στοιχεία για την ηλικία αυτής της συστολής δίνονται από την εναπόθεση των ιζημάτων του Ανώτερου Ηώκαινου-Κάτω

Μειοκαίνου φλύσχη που σφραγίζουν τις μεγάλες επωθήσεις, καθώς και η παρουσία των ιζημάτων Κάτω Μειοκαίνου στον πυρήνα των σύγκλινων μπροστά από τις προεπωθήσεις, (IGRS-IFP, 1966).

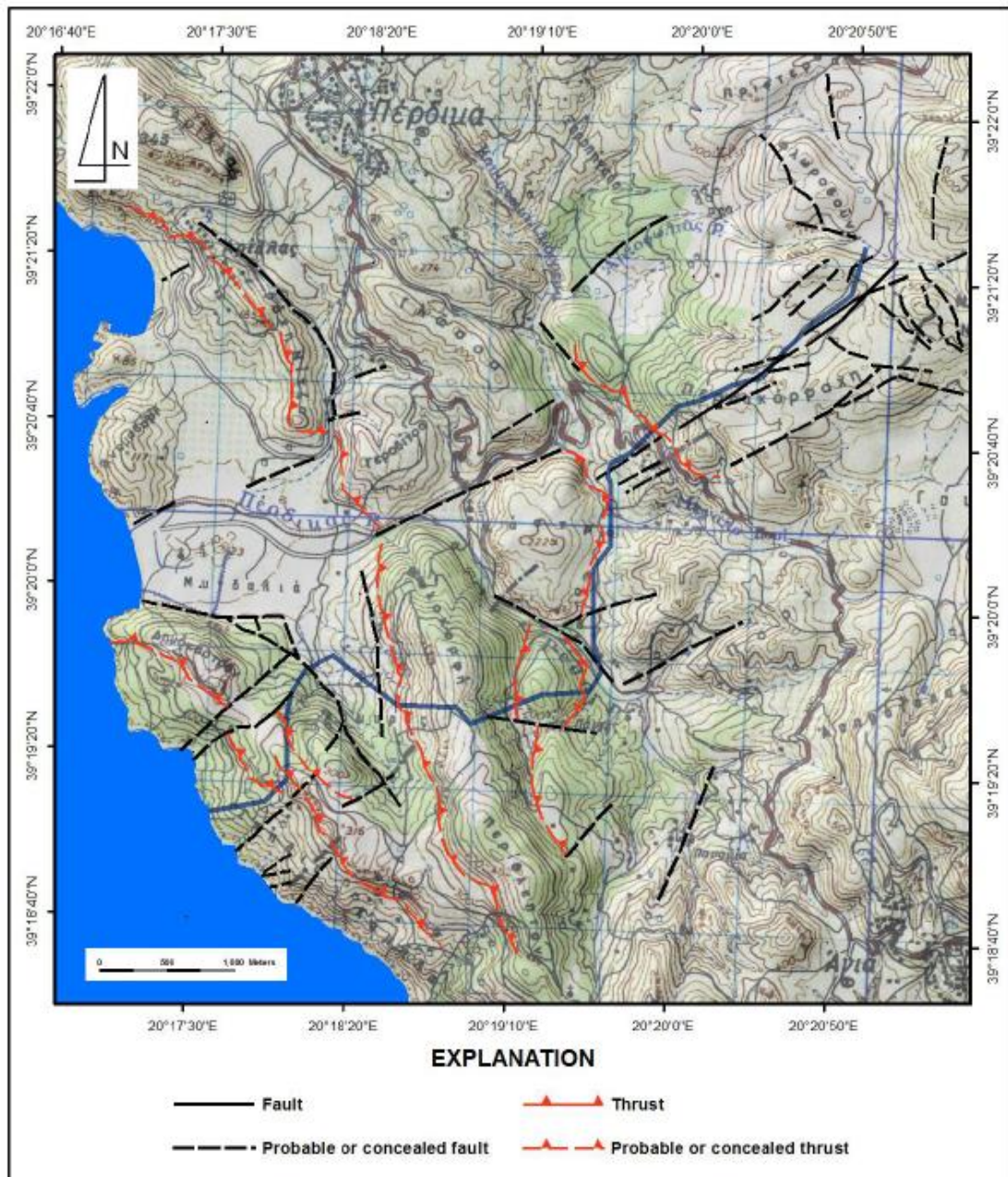
Επιπλέον, η πρόσφατη ρηγματογενής διάταξη της περιοχής πληρείται ακόμη από μεγάλα ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης και εκτατικού τύπου που έχουν σχηματισθεί ή ενεργοποιηθεί αργότερα και κυρίως εκείνα που έχουν ενεργοποιηθεί από το Τεταρτογενές. Συγκεκριμένα, αρκετά οριζόντιας μετατόπισης ρήγματα με τάση κανονική ή αντίθετη ως προς την ορογένεση έχουν χαρτογραφηθεί και συνδέονται με μεγάλες μετατοπίσεις στην περίπτωση που το μήκος τους είναι πολλά χιλιόμετρα (Σχ. 2.16), όπως για παράδειγμα το ρήγμα του Πετουσίου (ή Σούλι), (IGRS & IFP, 1966, Boccalletti et al. 1997).

Τα εκτατικά ρήγματα θεωρούνται από τις πιο πρόσφατες δομές με διεύθυνση είτε παράλληλη ή κάθετη προς την ορογενετική δομή (Kokkalas et al. 2006). Τα ρήγματα θα πρέπει να σχετίζονται με το μετα-ορογενετικό στάδιο της ορογένεσης δίνοντας αφορμή για την κατάρρευσή του. Ωστόσο, στην ευρύτερη περιοχή κατά μήκος των ακτών της Ηπείρου έχει καταγραφεί ένα σημαντικό ποσό μεγάλων σεισμών με μικρό εστιακό βάθος, αλλά στην πλειοψηφία τους αυτοί οι σεισμοί είχαν σχέση με την ενεργοποίηση των ΒΔ-ΝΑ επωθήσεων, αλλά όχι με τα παρόμοια εκτατικά ρήγματα (Pavlidis S.B., 2011). Πρόσφατες σεισμολογικές μελέτες στην περιοχή έδειξαν συγκέντρωση των μικροσεισμικών γεγονότων σε βάθος 5-10 km, πράγμα που σημαίνει ότι η επώθηση δαπέδου (στη βάση) είναι ενεργή στο μπροστινό τμήμα της Ιόνιου ζώνη στο δυτικό τμήμα της Κέρκυρας (Papazachos et al. 2001). Οι εστιακή τους μηχανισμοί καθορίζουν μία ΑΒΑ-ΔΝΔ συμπίεση (Kiritzi and Louvari, 2003). Το περίπλοκο πεδίο των τάσεων στην περιοχή, επίσης, αναφέρεται από Tselentis et al. (2006) ο οποίος προτείνει ένα «transpressional» διασυμπιεστικό (εγκάρσιο)\* καθεστώς τάσεων στον ανώτερο φλοιό και μια καθαρή συμπίεση στο βαθύτερο φλοιό.

\*(δημιουργία δευτερογενών δομών από τη δράση ρηγμάτων οριζόντιας μετατόπισης και ανάστροφων ρηγμάτων)

Από τα προαναφερθέντα ρήγματα εκείνα με ΒΑ-ΝΔ παράταξη θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως θυγατρικά ρήγματα του μεγάλου ενεργού οριζόντιας μετατόπισης ρήγματος του Πετουσίου (Σούλι) (Pavlidis S.B., 2011). Παρακάτω δίνεται χάρτης με το ρηξίγενες καθεστώς της περιοχής γύρω από την πορεία του αγωγού (Σχ. 2.17).





**Σχήμα 2.17:** Το ρηξιγενές καθεστώς της περιοχής γύρω από την πορεία του αγωγού σε κλίμακα 1:50.000 (Pavlidis, S.B, 2011).

Σύμφωνα με Pavlidis, S.B. (2011) η ρηξιγενής δομή της περιοχής (Σχ. 2.17) περιλαμβάνει: i) χιλιομετρικού μήκους επωθήσεις που έχουν διαμορφωθεί λόγω των ορογενετικών διαδικασιών που διαμόρφωσαν τις Ελληνίδες, όπου δεν θεωρούνται ως σεισμογενείς δομές και ii) ρήγματα που έχουν ενεργοποιηθεί από το Ύστερο Μειόκαινο. Τα νεοτεκτονικά ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή είναι μήκους μικρότερο των 2 km και ως εκτούτου δεν υπάρχει καμία σημαντική σεισμική δραστηριότητα

που θα μπορούσαν να προκαλέσουν τέτοια ρήγματα. Λαμβάνοντας υπόψη τις αποδεκτές εμπειρικές σχέσεις μεγέθους σεισμού – μήκους ρήγματος:

A/A	Εμπειρικές σχέσεις	
1	Wells & Coppersmith (1994)	$M_w = 4.86 + 1.32 \log (SRL)$
2	Ambraseys & Jackson (1998)	$M_s = 5.13 + 1.14 \log (L)$
3	Pavlidis & Caputo (2004)	$M_s = 0.9 \log (SRL) + 5.48$
4	Papazachos al. (2004)	$\log L = 0.50 M - 1.86$

η επιφάνεια ρήξης των 2 km μήκους γενικά αποδίδει μεγέθη της τάξης των 5.5. Οι σχέσεις του παραπάνω πίνακα υπολογίζουν για 2 km μήκους ρήγματος, μεγέθη 5.3, 5.5, 5.8, και 4.3 αντίστοιχα. Αυτά τα μεγέθη δεν μπορούν να παράγουν ή μπορούν να παράγουν πολύ περιορισμένες επιφανειακές παραμορφώσεις και όχι απαραίτητα συν-σεισμικές όπως αναφέρεται από Pavlidis & Caputo (2004). Σύμφωνα με Pavlidis & Caputo η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση περιορίζεται σε 1-2 cm. Γενικά, δεν αναμένονται σημαντικές παραμορφώσεις του εδάφους από τέτοια μήκη ρηγμάτων.

#### 2.5.4 Οργανική ύλη και πετρελαϊκό δυναμικό

Υπάρχουν πέντε συνολικά σχηματισμοί με σημαντική περιεκτικότητα σε οργανικό υλικό στην Ιόνια λεκάνη, οι οποίοι περιέχουν τύπους κηρογόνου I, II, III (Zelilidis et al., 2003, και αναφορές) (Σχ. 2.18):

- i. Οι «Μαύροι Σχίστες» των Τριαδικών λατυποπαγών με Μέσο-Τριαδική ηλικία περιέχουν οργανικό υλικό (κηρογόνο) τύπου I. Ο περιεχόμενος οργανικός άνθρακας (TOC) κυμαίνεται από 1.25-16.12%, ενώ το δυναμικό γένεσης από 8.9 έως 98.8 mgHC/g πετρώματος. Το πάχος τους είναι άγνωστο.
- ii. Οι «Μάργες του Ammonitico rosso». Υπόκεινται του ασβεστόλιθου με Ammonitico rosso, Τοάρσιας-Ααλένιας ηλικίας, ο οποίος αποτελείται από τεφρές, κυανές, πράσινες μάργες και πυριτικούς ασβεστόλιθους. Αυτά τα μαργαϊκά στρώματα έχουν βρεθεί μόνο στις περιοχές, όπου οι ασβεστόλιθοι με Ammonitico rosso είναι καλά αναπτυγμένοι. Οι τύποι του οργανικού υλικού (κηρογόνο) ποικίλλουν από τύπο I έως III. Η περιεκτικότητα σε TOC κυμαίνεται από 3.46-4.07% με δυναμικό γένεσης 17.6 mgHC/g πετρώματος. Τα μαργαϊκά στρώματα έχουν πάχος περίπου 10 m.
- iii. Οι «Κατώτεροι Σχίστες». Αποτελούνται από θαλάσσιους ασβεστόλιθους με ενδιάμεσες μάργες και αργίλους Τοάρσιας ηλικίας. Περιέχουν τύπο κηρογόνου II, έχουν TOC 1.10-3.02%, με δυναμικό γένεσης 4.43-17.84

mgHC/g πετρώματος. Έχουν πολύ σημαντικό γενετικό δυναμικό. Σε πολλές περιοχές δεν μπορούν να διαχωριστούν από τα ανώτερα στρώματα σχιστών με Posidonia και γι' αυτό οι δύο αυτοί σχηματισμοί συχνά ονομάζονται «αδιαίρετα» στρώματα σχιστών με Posidonia. Το πάχος τους υπολογίζεται σε 80 m περίπου.

- iv. Οι «Ανώτεροι Σχίστες». Αποτελούνται από κυανούς και πράσινους, συνήθως βιτουμενιούχους, πυριτόλιθους και πυριτικές αργίλους, πλούσιες σε Posidonia και Radiolaria (Καλλόβιο-Τιθώνιο). Περιέχουν τύπο κηρογόνου II, έχουν TOC 2.51-3.47% και υψηλό δυναμικό γένεσης. Τα ανώτερα στρώματα σχιστών με Posidonia έχουν συνολικό πάχος 9 m. Μερικές φορές το πραγματικό πάχος τους είναι δύσκολο να μετρηθεί, διότι διαχωρίζονται δύσκολα από τα κατώτερα στρώματα σχιστών με Posidonia.
- v. Οι «Σχίστες της Βίγλας», μέρος των ασβεστόλιθων Βίγλας με συνολικό πάχος 600 m (Απτιο-Τουρώνιο). Αποτελούνται από ασβεστόλιθους και πυριτόλιθους με ερυθρές και πράσινες αργίλους (Άλβιο-Κενομάνιο). Περιέχουν τύπο κηρογόνου II, έχουν TOC 0.94-2.54%, με δυναμικό γένεσης 4.85-11.69 mgHC/g πετρώματος.

(HC, H/C: υδρογονάνθρακας)

Σύμφωνα με Karakitsio (2007) αυτοί οι πέντε ορίζοντες παρουσιάζουν κατ' αρχήν δυνατότητα πετρελαιογένεσης και το οργανικό υλικό που περιέχουν είναι τύπου κηρογόνου I, II. Στην κεντρική Ιόνια λεκάνη (παράθυρο πετρελαίου σε βάθος 3.700-5.800 m), οι Τριαδικοί σχίστες έχουν ήδη εισέλθει στο παράθυρο του φυσικού αερίου, οι κατώτεροι και ανώτεροι σχίστες με Posidonia μαζί με τις μάργες του Ammonitico rosso είναι ώριμες σε επίπεδο πετρελαιογένεσης, ενώ οι σχίστες των ασβεστόλιθων της Βίγλας βρίσκονται σε πρώιμο στάδιο ωρίμανσης. Η διατήρηση του οργανικού υλικού στα κατώτερα και τα ανώτερα στρώματα των σχιστών με Posidonia, καθώς και των μαργών στη βάση του Ammonitico rosso οφείλεται στην περίοδο απόθεσής τους, η οποία συμπίπτει με την ταφρογενετική περίοδο, ενώ οι σχίστες της Βίγλας σχετίζονται με τα ανοξικά επεισόδια του Κρητιδικού. Τα πλούσια σε οργανικό υλικό θραύσματα των Τριαδικών λατυποπαγών ήταν αρχικά πλούσιοι σε οργανικό υλικό στρωματογραφικοί σχηματισμοί, οι οποίοι αποτέθηκαν σε πολύ περιορισμένες υπολεκάνες μέσα στην κύρια εβαποριτική λεκάνη. Οι διεργασίες που οδήγησαν στο σχηματισμό των λατυποπαγών που προέκυψαν από τη διάλυση-κατάρρευση των εβαποριτών, είναι υπεύθυνες για τον εμπλουτισμό των θραυσμάτων

των εβαποριτών, που περιέχονται στα Τριαδικά λατυποπαγή, σε οργανικό υλικό. Οι επί τόπου μετρήσεις του πορώδους (Πιν. 2.4), καθώς επίσης και ηλεκτρικές διασκοπήσεις απέδειξαν, ότι εκτός από τα Τριαδικά λατυποπαγή και τους ασβεστόλιθους Παντοκράτορα, που χαρακτηρίζονται από «ικανοποιητικό» πορώδες, τα υπόλοιπα στρώματα των σχηματισμών της Ιόνιας ακολουθίας έχουν χαμηλό πορώδες και αμφισβητούμενη διαπερατότητα. Έτσι γίνεται αντιληπτό ότι η αύξηση του πορώδους, που προκαλούν οι διαρρήξεις-ρηγματώσεις και καθ' επέκταση οι διακλάσεις (δευτερογενές πορώδες) στους λιθολογικούς σχηματισμούς, είναι άκρως σημαντικές για την ερμηνεία της μετανάστευσης H/C. Οι μελέτες, που αφορούν στο μηχανισμό παγίδευσης H/C (βασισμένες εξολοκλήρου σε επιφανειακά δεδομένα), έδειξαν ότι οι πιθανές παγίδες σχετίζονται με μικρά αντίκλινα, που ενσωματώνονται σε μεγαλύτερα σύγκλινα, στην επαφή μεταξύ των ασβεστιτικών και κλαστικών σειρών της Ιόνιας ζώνης. Επιπρόσθετα η βάση της εβαποριτικής ακολουθίας μπορεί να περιλαμβάνει πιθανές παγίδες, εάν το προ-εβαποριτικό υπόβαθρο συμμετέχει στην παραμόρφωση του υπερκείμενου ιζηματογενούς καλύμματος, (Karakitsios, 2007).

**Πίνακας 2.4:** Μέσο ολικό πορώδες των σχηματισμών της Ιόνιας ζώνης (Karakitsios, 2003).

Formation	Average Total Porosity (%)
Post-Alpine Formations and Flysch	Negligible, except for some sandstone horizons of fair porosity
Paleocene, Eocene and Senonian Limestones	3
Vigla Limestones	1.7
Upper Posidonia Beds	5
Limestones with Filaments	3
Lower Posidonia Beds	5
Ammonitico Rosso	3
Sinia's Limestones	2
Louros Limestones	3
Pantokrator Limestones	10
Foustapidima Limestones	3
Triassic Breccias	13

ΙΟΝΙΑ ΖΩΝΗ										
		ΗΛΙΚΙΑ	ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ	Μαύρο πυριτικό πυριτικό	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Τεκτονική ταυτότητα				
ΤΡΙΤΟΓΕΝΕΣ	ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	ΒΕΡΕΛΙΟ	ΔΕΛΤΑΪΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	■	Ρηχή Θάλασσα					
		ΚΑΛΑΒΡΙΟ								
		ΠΛΑΚΕΝΤΙΟ								
		ΖΑΝΚΛΙΟ								
		ΜΕΣΣΗΝΙΟ								
	ΜΕΣΟΓΕΙΝ	ΤΟΡΤΟΝΙΟ	ΤΟΥΡΒΙΔΙΤΙΚΕΣ ΑΠΟΘΕΣΕΙΣ	■						
		ΣΕΡΡΑΒΑΛΛΙΟ								
		ΔΑΝΓΚΙΟ								
		ΒΟΥΡΓΙΓΑΛΙΟ								
		ΑΚΟΥΠΙΛΙΟ								
ΠΑΛΑΙΟΓΕΝΕΣ	ΣΑΤΤΙΟ	ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΜΑΡΓΕΣ	■							
	ΡΟΥΠΕΛΙΟ									
	ΠΡΙΑΜΠΟΝΙΟ									
	ΜΠΑΡΤΟΝΙΟ									
	ΔΟΥΤΗΣΙΟ									
ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ	ΠΑΛΑΙΟΓΕΝΕΣ	ΥΠΙΡΕΣΙΟ	ΜΙΚΡΟΛΑΤΥΠΟΠΑΓΕΙΣ ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ	■	Βαθιά θάλασσα					
		ΘΑΝΕΤΙΟ								
		ΣΕΛΑΝΔΙΟ								
		ΔΑΝΙΟ								
		ΜΑΛΑΚΤΙΚΙΟ								
	ΑΛΙΟΤΕΡΟ	ΚΑΜΠΙΛΙΟ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ	■						
		ΣΑΝΤΟΝΙΟ								
		ΚΟΝΙΑΣΙΟ								
		ΤΟΥΡΦΟΝΙΟ								
		ΚΕΝΟΜΑΝΙΟ								
ΙΟΥΡΑΣΙΚΟ	ΑΛΙΟΤΕΡΟ	ΔΑΒΙΟ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΒΙΓΛΑΣ	■						
		ΑΠΤΙΟ								
		ΒΑΡΡΕΛΙΟ								
		ΩΤΕΡΒΙΟ								
		ΒΑΛΑΝΖΙΝΙΟ								
	ΜΕΣΟΓΕΙΝ	ΒΕΡΡΙΑΣΙΟ	ΣΧΙΣΤΕΣ ΜΕ <i>POSIDONIA</i>	■						
		ΤΙΘΩΝΙΟ								
		ΚΙΜΜΕΡΙΑΔΙΟ								
		ΟΨΟΦΟΡΑΙΟ								
		ΚΑΛΛΟΒΙΟ								
ΜΕΣΟΓΕΙΝ	ΒΑΘΩΝΙΟ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΛΟΥΡΟΥ	■							
	ΒΑΠΙΩΣΙΟ									
	ΔΑΛΕΝΙΟ									
	ΤΟΑΡΣΙΟ									
	ΠΛΙΕΝΣΒΑΧΙΟ									
ΚΡΗΤΙΔΙΚΟ	ΑΛΙΟΤΕΡΟ	ΣΙΝΕΜΟΥΡΙΟ	ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΠΑΝΤΟΚΡΑΤΟΡΑ	■	Ρηχή θάλασσα					
		ΕΤΤΑΝΖΙΟ								
		ΡΑΙΤΙΟ					ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΙ ΦΟΥΣΤΑΠΗΔΗΜΑ	■		
		ΝΟΡΙΟ								
		ΚΑΡΝΙΟ								
ΛΑΔΙΝΙΟ										
ΑΝΙΣΙΟ										
ΤΡΙΑΔΙΚΟ	ΜΕΣΟΓΕΙΝ	ΕΒΑΠΟΡΙΤΕΣ	■							
		ΣΚΥΘΙΟ								

Σχήμα 2.18: Τυπική λιθοστρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης, στην 3<sup>η</sup> στήλη με μαύρο χρώμα φαίνονται οι σχηματισμοί με σημαντική ποσότητα σε οργανικό υλικό (από Rigakis and Karakitsios, 1998, Zelilidis et al., 2003, τροποποιημένο).

### 3 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

#### 3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

##### 3.1.1 Περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών

Στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής τα εκτεθειμένα πετρώματα είναι ανθρακικά πετρώματα που ανήκουν στην προ-ταφρογενετική ανθρακική ακολουθία της εξωτερικής ζώνης του Ιονίου, ενώ λιγότερες είναι οι εμφανίσεις που αποτελούνται από την μετα-ταφρογενετική ανθρακική ακολουθία ("Ασβεστόλιθοι Βίγλας" και υπερκείμενοι ασβεστόλιθοι Σενωνίου). Μια σημαντική χαμηλής γωνίας επώθηση δεσπόζει στην γεωλογία της περιοχής μεταφέροντας ανθρακικά πετρώματα της προ-ταφρογενετικής και μετα-ταφρογενετικής ανθρακικής ακολουθίας των Άλπεων της εξωτερικής ζώνης Ιονίου πάνω στον Τριτογενή φλύσχη της ίδιας ζώνης, (Pavlides S.B., 2011).

Επιπλέον, μετα-αλπικά Νεογενούς θαλάσσια μολασσικού τύπου ιζήματα και Τεταρτογενή χερσαία λεπτο-στρωματώδεις ιζήματα καλύπτουν κατά θέσεις τα προαναφερθέντα αλπικά πετρώματα. Αυτά τα μετα-αλπικά ιζήματα που εκτίθενται όχι μόνο κατά μήκος των κοιλάδων, αλλά ακόμη και σε μεγαλύτερα υψόμετρα όπως οι πλαγιές των βουνών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, στα υψηλότερα σημεία των βουνών δείχνει το σχετικά υψηλό ποσοστό ανύψωσης που υποβάλλεται η περιοχή, (Pavlides S.B., 2011).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που ορίζονται στην περιοχή μας, αναλυτικότερα στον γεωλογικό χάρτη 1:5000 (Pavlides, S.B., Tranos, M.D., Delogkos, E.P., 2011) (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) και γενικότερα στο γεωλογικό φυλλάδι Πάργας, (IGRS, 1969) (Σχ. 3.1), περιγράφονται παρακάτω από το βαθύτερο προς το ρηχότερο:

- 1) **Φλύσχης (3Fi.m<sub>3</sub>) (Ακουϊτάνιο, Μειόκαινο)**: Πράσινοι προς καφέ χρώματος μαργαϊκοί ψαμμίτες, ιλυώδεις ψαμμίτες. Εκτίθενται κατά μήκος του τμήματος C του αγωγού στην μορφολογική κατάπτωση που υπάρχει, καλύπτονται από πυκνή βλάστηση και χαρακτηρίζονται από έντονη διαβρωσιμότητα, γεγονός που προκαλεί το ανώτερο τμήμα τους να μετατραπεί σε ένα εδαφικό κάλυμμα. Ως σύνολο, η παρατήρηση του

άθικτου φλύσχη δύσκολα μπορεί να παρατηρηθεί κατά μήκος των μονοπατιών και των δρόμων. Το πάχος του φλύσχη υπολογίζεται να είναι περισσότερα από 1400 m. Σε ορισμένες περιοχές κατά μήκος του τμήματος C αυτός ο σχηματισμός έχει έντονα διαβρωθεί δείχνοντας χαρακτηριστικά εδαφικού καλύμματος, δηλαδή, καφέ αργιλο-αμμώδη υλικό φλύσχη χωρίς καμία διακριτή δομή βράχου και έτσι έχει χαρακτηριστεί ως **3Fi.m<sub>3</sub>(R)**.

- 2) **Γύψος (G) (Τριαδικό):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.12) Μικροκρυσταλλική, μαζώδης ή με σκούρη γκρι έως μαυριδερή φύλλωση ροής. Είναι διαπυρρικά σώματα που έχουν βρεθεί στην περιοχή του αγωγού στα τμήματα Α και C. Η θέση τους είναι κοντά σε ανώμαλες γεωλογικές (τεκτονικές) επαφές.
- 3) **Τριαδικό λατυποπαγές (tb) (Τριαδικό):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.: 17, 18 και 19) Λατυποπαγές “αυτόχθονο” υλικό από ανθρακικά πετρώματα όπως σπηλαιωδών κρυσταλλικών ασβεστόλιθων που σχετίζονται με έντονη τεκτονική διαδικασία και επακόλουθη διάλυση των θεικών.
- 4) **Παντοκράτωρ Δολομίτες (Ji.D) (Κάτω-Μέσο Λιάσιο):** Γκρι χρώματος, μαζώδεις δολομίτες που προέρχονται από την δολομιτίωση των Ασβεστόλιθων του Παντοκράτορα. Χαρακτηρίζεται από την θρομβώδη μαζώδη ως κλαστική υφή και την απουσία οποιασδήποτε στρώσης.
- 5) **Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (Ji.k) (Κάτω-Μέσο Λιάσιο):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.: 14 και 22) Είναι λευκή, μαζώδεις ασβεστόλιθοι, χωρίς διακριτή στρώση. Το πάχος τους όπως αναφέρεται στον γεωλογικό φύλλο Πάργα είναι περισσότερο από 1000 m. Σε αυτό το φύλλο στη μονάδα χάρτη "Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα" έχουν προστεθεί και οι περίπου 100 m πάχους Ασβεστόλιθοι Σινιών. Στο τμήμα Α, στην κορυφή της οροσειράς, οι Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα καλύπτονται κατά τόπους από ένα λιγότερο των 2 m πάχους στρώματος διάφορης συνοχής μέχρι τσιμεντοποιημένους λιθώνες και φερτές ύλες, κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και στη περίπτωση αυτή έχουν απεικονιστεί και αναφέρονται στο χάρτη ως **Ασβεστόλιθοι**

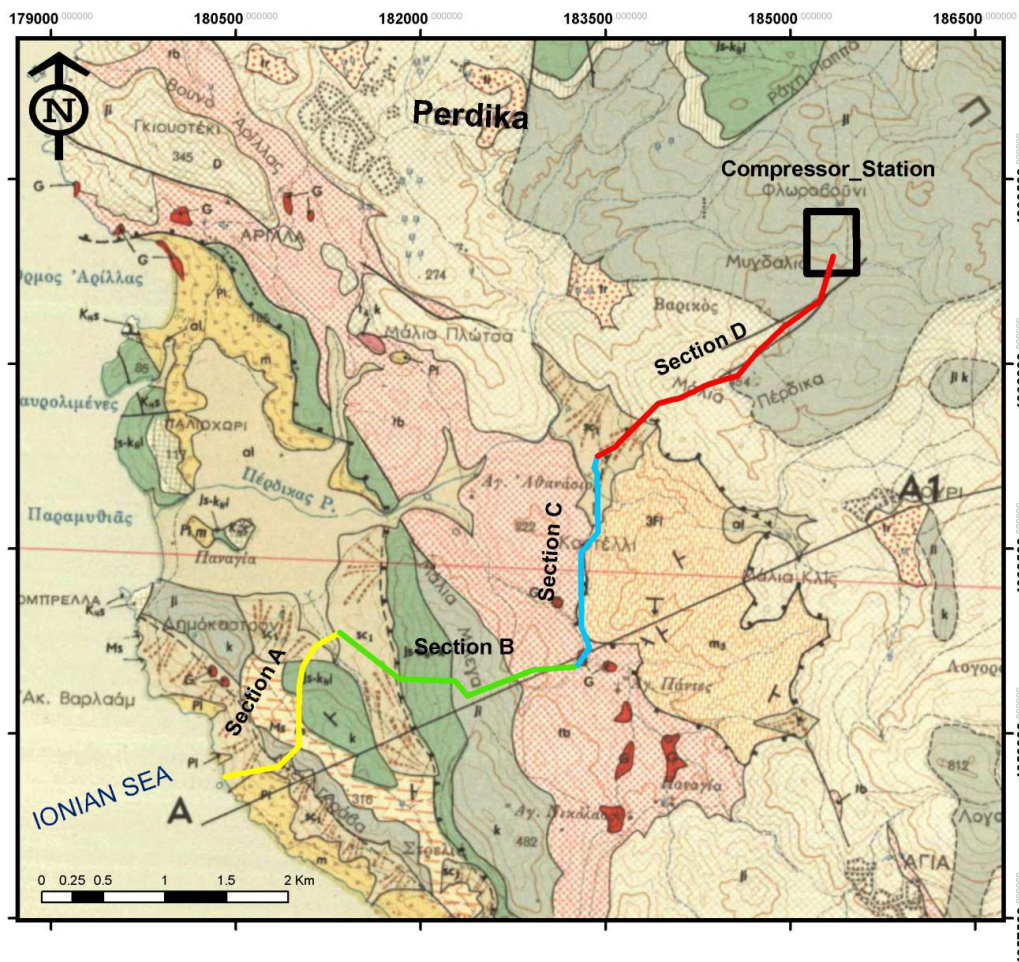
**Παντοκράτορα με λιθώνες - φερτές ύλες [Ji.k (sc<sub>2</sub>)]** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.15).

- 6) **Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Js-K8.k) (Άνω Ιουρασικό-Κάτω Σενώνιο):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.16) Λεπτο-στρωματώδεις, υπολιθογραφικοί, λευκοί ασβεστόλιθοι με πυριτικές ενστρώσεις. Το πάχος των ασβεστολίθων αυτών εκτιμάται ότι είναι περίπου 200-700 m. Στο τμήμα Α και ακριβέστερα στη κορυφή της οροσειράς, ασβεστόλιθοι Βίγλας καλύπτονται κατά τόπους με ένα λιγότερο από 2 m πάχους στρώματος διάφορης συνοχής μέχρι τσιμεντοποιημένους λιθώνες και φερτές ύλες, κυρίως από ανθρακικά πετρώματα και στη περίπτωση αυτή έχουν απεικονιστεί και αναφέρονται στο χάρτη ως **Ασβεστόλιθοι Βίγλας με πλευρικά κορήματα-φερτές ύλες [Js-K8.k (sc<sub>2</sub>)]**.
- 7) **Ασβεστόλιθοι Άνω Σενωνίου (K8s.k) (Άνω Σενώνιο):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.9) Πρόκειται για μαζώδεις ασβεστόλιθους, που αποτελούνται από δύο ιζηματογενείς φάσεις: α) ασβεστόλιθοι λεπτο-κλαστικοί με θραύσματα από *Globotruncanidae* και ρουδιστών, β) μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθοι με θραύσματα ρουδιστών μέσα σε ένα ανθρακικό τσιμεντοποιημένο υλικό που περιέχει πελαγική πανίδα. Το πάχος τους είναι μέχρι 200 m.
- 8) **Μπλε μάργες (Ms.m) (Βινδομόνιο, Μέσο Μειόκαινο):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.11) Μπλε μάργες με τρηματοφόρα και με εντρώσεις κακοδιατεταγμένων πολυγενών ασβεστολιθικών λατυποπαγών προς τη βάση. Στο τμήμα Β οι μπλε μάργες καλύπτονται κατά τόπους από ένα στρώμα κώνων κορημάτων λιγότερο των 2 m πάχους και διαφόρου συνοχής όπου στη περίπτωση αυτή έχουν απεικονιστεί στο χάρτη ως **Μπλε μάργες καλυπτόμενες από κώνους κορημάτων [Ms.m(sc<sub>1</sub>)]**.
- 9) **Μπλε θαλάσσια άργιλο-μαργαϊκά ιζήματα, μάργες (Pl.m) (Πλειόκαινο):** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.10) Μπλε θαλάσσια άργιλο-μαργαϊκά ιζήματα στα οποία υπάρχουν εμφανίσεις γύψου.
- 10) **Ερυθρογή (tr) (Τεταρτογενές):** Κόκκινο αμμώδης αργιλικό υλικό εντός κοιλωμάτων στους ασβεστολιθικούς όγκους.
- 11) **Κώνοι κορημάτων ή (πλευρικά κορήματα) (sc<sub>1</sub>) (Τεταρτογενές):** Κώνοι κορημάτων ή (πλευρικά κορήματα), κατάπλυσης και



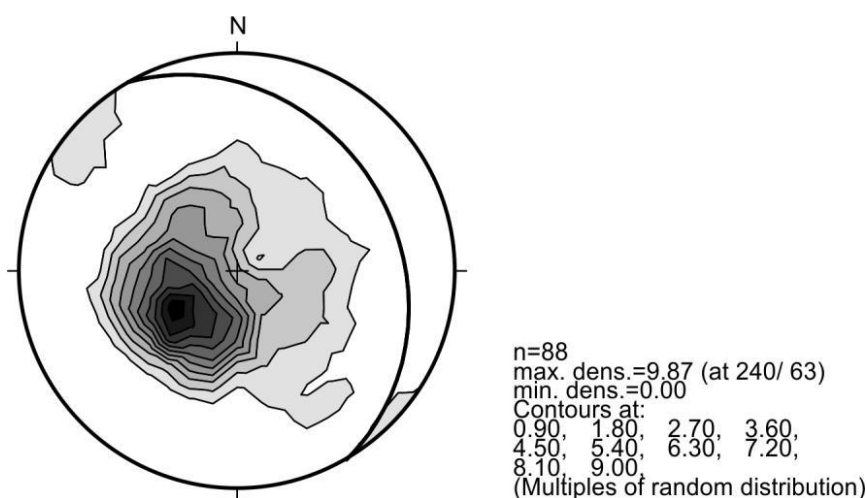
χειμαρρώδης προελεύσεως προσχώσεις με πλήρη κάλυψη της βάσης των πρηνών. Αυτές οι χαλαρές προσχώσεις έχουν διακριθεί περαιτέρω σε σχέση με το είδος του υλικού διάβρωσης που περιέχουν σε  $sc_1$  (L) (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.13),  $sc_1$  (fl) και  $sc_1$  (m). Ειδικότερα, το κυρίαρχο υλικό διάβρωσης στο  $sc_1$  (L) προέρχεται κυρίως από τα ανθρακικά πετρώματα, στο  $sc_1$  (fl) από το φλύσχη και στην  $sc_1$  (m) από τα ιζήματα Μειόκαινου.

12) **Αλλουβιακές αποθέσεις (al) (Τεταρτογενές):** Πρόσφατες αλλουβιακές προσχώσεις. Στο παρόν χάρτη διακρίνονται περαιτέρω σε **προσχώσεις κοιλάδας (vd)** όταν συσσωρεύονται στη βάση της κοιλάδας κυρίως από ποτάμιες διεργασίες και **ποτάμιες αναβαθμίδες (t)** όταν διαμορφώνουν αναβαθμίδες.

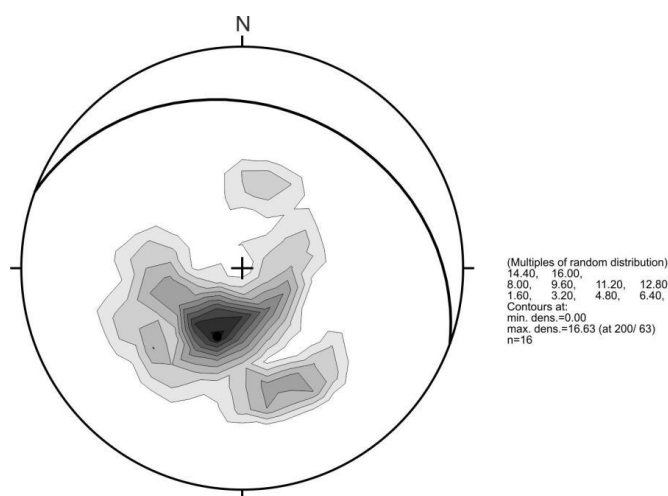


**Σχήμα 3.1:** Γεωλογικός χάρτης φύλλου Πάργας κλίμακα 1:50.000, γεωλογικοί σχηματισμοί κατά μήκος του αγωγού, (Pavlidis S.B., 2011).

Σύμφωνα με Pavlides S.B., 2011 τα εκτεθειμένα αλπικά πετρώματα της Ιονίου ζώνης χαρακτηρίζονται από πρωτογενή φύλλωση, δηλαδή, στρώση που συνήθως βυθίζεται κοντά στις 30° προς ABA. Η μέση τιμή της παρούσας στρώσης είναι 150/27 BA ή 060/27 (Σχ. 3.2). Η στρώση των ιζημάτων Μειόκαινου και Πλειόκαινου που εκτίθεται κυρίως στα τμήματα Α και Β, αν και παρουσιάζει παρόμοια κλίση κοντά στις 30° προς τα ΒΒΑ, έχει ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη. Ακριβέστερα, η μέση τιμή των στρώσεων τους είναι 110/27 NNE ή 020/27 (Σχ. 3.3). Επιπλέον, στην περιοχή βόρεια του τμήματος Α του αγωγού, μερικές εμφανίσεις γύψου χαρακτηρίζονται από παρόμοιο προσανατολισμό της φύλλωσης.



**Σχήμα 3.2:** Διάγραμμα πυκνότητας (lower hemisphere, equal area) των πόλων της στρώσης των αλπικών πετρωμάτων και ο μέγιστος κύκλος της μέσης τιμής (Duyster, 2000), (Pavlides S.B., 2011).

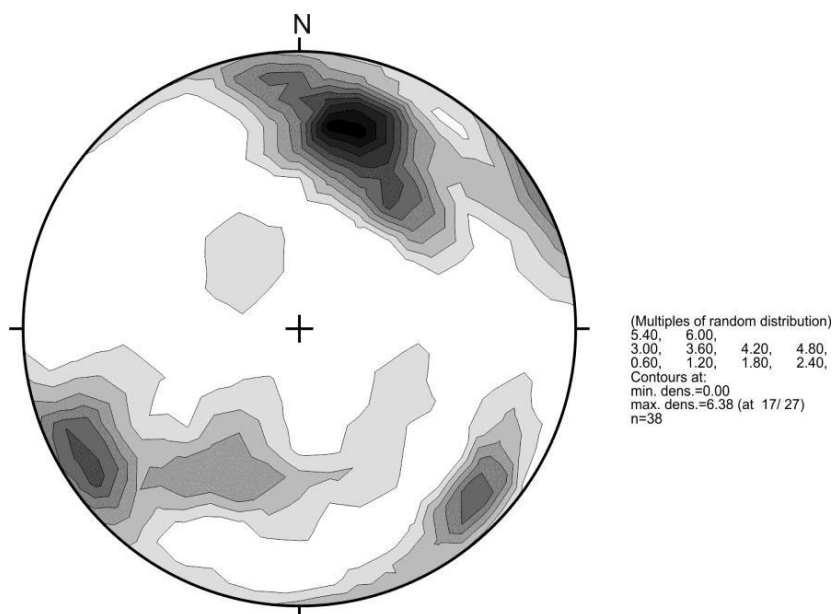


**Σχήμα 3.3:** Διάγραμμα πυκνότητας (lower hemisphere, equal area) των πόλων της στρώσης των μετα-αλπικών ιζημάτων και ο μέγιστος κύκλος της μέσης τιμής (Duyster, 2000), (Pavlides S.B., 2011).

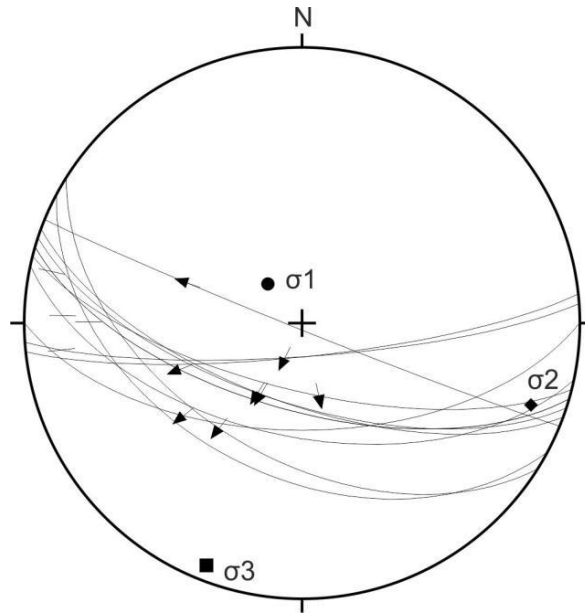
### 3.1.2 Ρηξιγενές της περιοχής

Η ερμηνεία δορυφορικών παρατηρήσεων δίνει την κύρια παράταξη των ρηγμάτων BA-NA έως ABA-ΔNA (Pavlides S.B., 2011). Ενώ, επιτόπιες παρατηρήσεις δείχνουν ότι τα ρήγματα της περιοχής θα μπορούσαν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κύριες ομάδες σε σχέση με την παράταξη τους: ρήγματα με παράταξη α) ΔBA-ANA, β) ΒΔ-NA και γ) BA-NA, (Σχ. 3.4) (Pavlides S.B., 2011).

α) Τα ΔBA-ANA παράταξης ρήγματα κλίνουν κυρίως προς NNA με γωνίες που κυμαίνονται από 50° έως 70° και έχοντας ως μία μέση τιμή 107/63 NNA ή 197/63. Αυτά τα ρήγματα είναι εκτατικά που έχουν ενεργοποιηθεί με αριστερόστροφες πλαγκοκανονικές έως κανονικές μετατοπίσεις που ορίζουν μια ανατρεπτική (υποκάθετη) συμπίεση και μια BBA-NNA υπο-οριζόντια επέκταση (Σχ. 3.5). Ωστόσο, ορισμένα από αυτά τα ρήγματα έχουν βρεθεί προηγουμένως να ενεργοποιούνται ως ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης. Εδώ, θα πρέπει να πούμε ότι η κλίση των μετααλπικών ιζημάτων προς τα BBA θα μπορούσε ενδεχομένως να αποδοθεί στην ενεργοποίηση αυτών των ρηγμάτων.



**Σχήμα 3.4:** Διάγραμμα πυκνότητας (lower hemisphere, equal area) των πόλων των μέσης κλίμακας ρηγμάτων που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή, (Pavlides S.B., 2011).



**Σχήμα 3.5:** Στερεογραφική προβολή (lower hemisphere, equal area) που δείχνει την ΔΒΔ-ΑΝΑ παράταξη των ρηγμάτων και την κινηματική τους. Επίσης φαίνονται οι άξονες των τάσεων που ορίζονται από τις πλαγιοκανονικές έως κανονικές δραστηριοποιήσεις, (Pavlidis S.B., 2011).

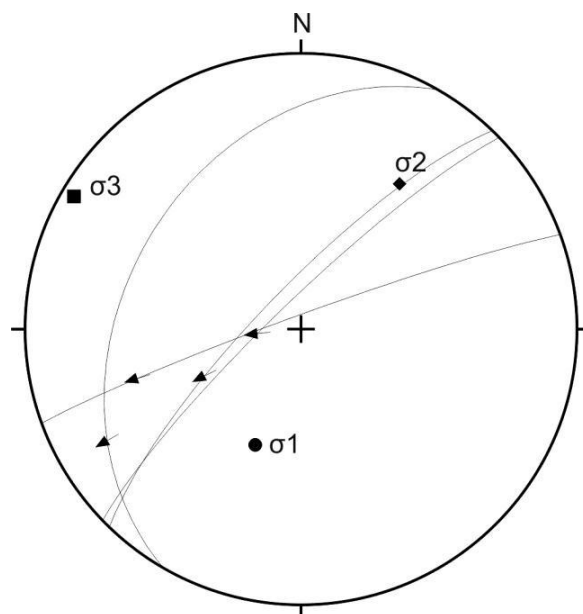
Η ερμηνεία αυτή υποστηρίζει επίσης τον παρόμοιο ΔΒΔ-ΑΝΑ προσανατολισμό νότια της περιοχής κατά μήκος του παράλιακου και παράκτιου τμήματος της πόλης της Πάργας, όπου εκτίθενται οι μάργες Μειόκαινου με παρόμοια κλίση προς ΒΒΑ.

β) Η ΒΔ-ΝΑ παράταξη των ρηγμάτων παρουσιάζει μια αρκετά πολύπλοκη γεωμετρία σχετικά με το βαθμό της κλίσης και της διεύθυνσης κλίσης. Στους δημοσιευμένους γεωλογικούς χάρτες, τα ρήγματα με κύρια παράταξη ΒΔ-ΝΑ όπου τρέχουν παράλληλα με τις οροσειρές έχουν χαρτογραφηθεί και ερμηνευθεί ως ανάστροφα ρήγματα. Αυτά τα ρήγματα, όπου έχουν χαρτογραφηθεί στο μεγαλύτερο μήκος τους, κλίνουν προς ΒΑ σε διάφορες γωνίες και επωθούν τα αλπικά πετρώματα πάνω στα Μειόκαινικα και Πλειόκαινικα ιζήματα. Από δορυφορική ερμηνεία που πραγματοποιήθηκε, δεν φαίνονται μεγάλες πλήρης δομές με ΒΔ-ΝΑ παράταξη να κυριαρχούν στο τοπίο της περιοχής. Ωστόσο, κατά μήκος των δυτικών πλαγιών των οροσειρών παρατηρούνται συστοιχίες ασυνεχείων στους απόκρημνους γκρεμούς.

Οι τεκτονικές επαφές μεταξύ των αλπικών πετρωμάτων και των Μειοκαινικών και Πλειοκαινικών ιζημάτων μόλις και διακρίνονται στο πεδίο. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την έρευνα γι' αυτά τα ρήγματα (από Pavlidis S.B., 2011) είναι: α) παρουσιάζουν διάφορες κλισείς είτε προς ΒΑ ή ΝΔ, β) η κινηματική τους

είναι περίπλοκη, γ) δεν υπάρχει καμία σαφής και ισχυρή παρατήρηση του ίχνους τους σε περίπτωση που αυτό είναι μεταξύ των αλπικών πετρωμάτων και των Μειοκαινικών και Πλειοκαινικών ιζημάτων, δ) τα ρήγματα που βυθίζονται προς ΝΔ είναι κανονικά ρήγματα, ε) δεν μπορούμε να παρατηρήσουμε ανάστροφα ρήγματα στα Μειοκαινικά και Πλειοκαινικά ιζήματα, αλλά μόνο λίγα υψηλής γωνίας κανονικά ρήγματα, στ) μερικές παρατηρήσεις της επαφής μεταξύ των αλπικών πετρωμάτων και των μαργών Μειόκαινου δείχνουν ότι οι επιφάνειες επαφής κλίνουν με υψηλές γωνίες προς τα αλπικά πετρώματα. Έτσι, σύμφωνα με τις παραπάνω παρατηρήσεις σχετικά με αυτά τα ρήγματα προτείνουν τα εξής: α) δεν σχηματίζουν γραμμική, συνεχής και αδιάκοπη φορά ίχνών, β) οι τεκτονικές επαφές μεταξύ των Μειοκαινικών και Πλειοκαινικών ιζημάτων και των αλπικών πετρωμάτων ήταν ανάστροφα ρήγματα με κλίση μέτρια προς υψηλή προς ΒΑ, γ) αυτές οι επωθήσεις καλύπτονται εντελώς από τη συνεχιζόμενη απόθεση των Μειοκαινικών και Πλειοκαινικών ιζημάτων, και δ) η ανύψωση της περιοχής λόγω της συνεχούς συμπίεσης προκάλεσε μια περαιτέρω κλίση στα μεταλπικά ιζήματα και τα ανάστροφα ρήγματα. Λόγω αυτής της κλίσεως, τα ήδη υπάρχοντα ανάστροφα ρήγματα έγιναν πιο απότομα κατά  $25^\circ$ . Οι δυτικές πλαγιές των βουνών που σχηματίστηκαν έγιναν πιο απότομες και σε περιοχές σχηματιστήκαν νέες, μικρότερα σε μέγεθος ρήγματα που βυθίζονται προς ΝΔ αναπτύχθηκαν τροποποιώντας τη γωνία κλίσης, αλλά χωρίς να δημιουργήσουν επίμονο και συνεχές ίχνος ρήματος στη κλίμακα χάρτη.

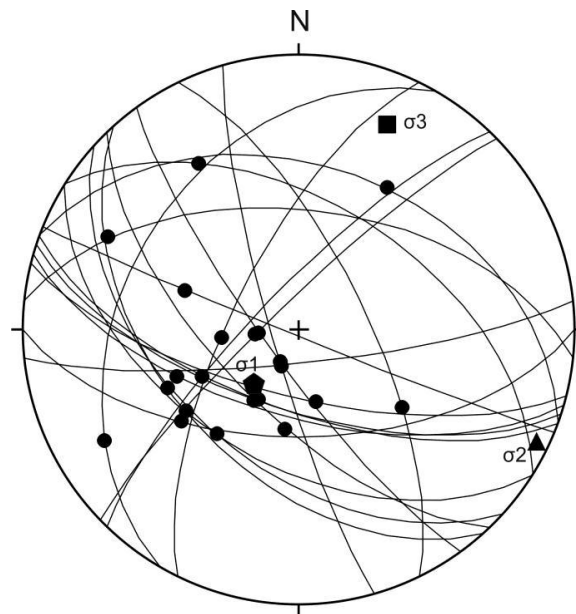
γ) Η τρίτη ομάδα ρηγμάτων περιλαμβάνει ρήγματα που κλίνουν κυρίως προς ΒΔ με υψηλές γωνίες (Σχ. 3.6). Αυτά τα ρήγματα, κόβουν εγκάρσια τις οροσειρές και δείχνουν μια αριστερόστροφη πλάγιοκανονική κίνηση που καθορίζει μια ΒΔ-ΝΑ επέκταση. Ωστόσο, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι αυτά τα ρήγματα δεν είναι χιλιομετρικών διαστάσεων μήκους, αλλά μάλλον μικρότερα ασυνεχή ρήγματα. Στο τμήμα Α του αγωγού αυτά τα ρήγματα φαίνονται καλύτερα στις δορυφορικές εικόνες και ένα από αυτά με κλίση προς ΒΔ έχει χαρτογραφηθεί στο πεδίο για να διαχωρίσει τις μάργες Μειόκαινου από τα αλπικά πετρώματα. Η ΒΑ-ΝΔ παράταξη των ρηγμάτων είναι πιο διαδεδομένη στο τμήμα D του αγωγού, όπου σχηματίζουν στη σειρά ασυνεχείς ρηξιγενείς ζώνες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν μάλλον ως απομακρυσμένα θυγατρικά ρήγματα του μεγάλου ενεργού ρήματος οριζόντιας μετατόπισης του Πετουσίου (Σούλι).



**Σχήμα 3.6:** Στερεογραφική προβολή (lower hemisphere, equal area) που δείχνει την ΒΔ-ΝΑ παράταξη των ρηγμάτων και τους άξονες των τάσεων που ορίζονται από τις δραστηριοποιήσεις τους, (Pavlidis S.B., 2011).

Τα εκτατικά ρήγματα της περιοχής, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό τους καθορίζουν ένα καθεστώς τάσης που είναι δυνατόν να χαρακτηρίσει, σύμφωνα με τη διάκριση του Tranos et al. (2008), ως καθαρά ακτινικό εκτατικό όπου ο μεγαλύτερος τασικός άξονας ( $\sigma_1$ ) είναι υπο-κάθετος, ο λιγότερος τασικός κύριος άξονας ( $\sigma_3$ ) έχει φορά προς ΒΒΑ-ΝΝΔ και ο λόγος τάσεων  $R = 0.13$  (Σχ. 3.7).

Σύμφωνα με Pavlidis S.B., 2011 οι δορυφορικές και πεδίου παρατηρήσεις για τα ρήγματα της περιοχής δείχνουν ότι τα εκτεθειμένα ρήγματα στην περιοχή δεν είναι τόσο επιβλητικά και μεγάλα και η μορφολογία του τοπίου εξακολουθεί να είναι το αποτέλεσμα των ορογενετικών διαδικασιών που έλαβαν χώρα στην περίοδο του Μειόκαινου. Έχουν παρατηρηθεί σχετικά μικρά και ασυνεχή ρήγματα όπου έχουν δραστηριοποιηθεί στην περιοχή κατά μήκος του αγωγού, αυτά τα ρήγματα δεν είναι χιλιομετρικού μήκους προκειμένου να σχετίζονται με ισχυρούς σεισμούς. Σε αυτό συνηγορεί, επίσης, η ιστορική και καταγεγραμμένη σεισμική δραστηριότητα της ευρύτερης περιοχής (Παπαζάχος και συνεργάτες 2001, Kiratzi and Louvari, 2003 Baskoutas et al 2011).



**Σχήμα 3.7:** Το τασικό καθεστώς που ορίζεται από τα μέσης κλίμακας εκτατικά ρήγματα της περιοχής. Μαύροι κύκλοι: οι παρατήρουμενες γραμμώσεις τεκτονικής ολίσθησης (slickenlines) που υποδηλώνουν εκτατικές μετατοπίσεις, (Pavlidis S.B., 2011).

### 3.1.3 Ρήγματα κατά μήκος της ζώνης του αγωγού

Τα ρήγματα που εμφανίζονται στο γεωλογικό χάρτη (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) από το τμήμα Α στο τμήμα D είναι τα εξής, (Pavlidis, S.B., 2011):

- **Τμήμα Α**

**F<sub>p</sub>\_1:** Ρήγμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανή ή κρυφή επώθηση επειδή το ίχνος της στην επιφάνεια της Γης δεν μπορούσε να βρεθεί, λόγω της έντονης βλάστησης και του υλικού διάβρωσης του πρανού που καλύπτει την επαφή. Το ρήγμα βυθίζεται με πολύ υψηλές γωνίες προς ΑΒΑ. Δεν υπάρχουν στρωματογραφικά ή μορφοτεκτονικά κριτήρια για να θεωρηθεί ως ενεργό ρήγμα και το συνολικό μήκος δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 3.5 km μολονότι φαίνεται τεμαχισμένο. Εξάλλου, μια τέτοια ερμηνεία έχει ήδη προταθεί στον γεωλογικό χάρτη από IGRS-IFP (1966) και στο γεωλογικό χάρτη φύλλο Πάργας (IGRS, 1969).

**F<sub>p</sub>\_2:** Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έχει επίσης ερμηνευθεί ως μία υψηλής γωνίας, σχεδόν κατακόρυφη, επώθηση με κλίση προς ΑΒΑ. Αμφιλεγόμενες παρατηρήσεις με μια πρώτη ματιά μπορεί να συγχέουν την ερμηνεία της ρηξηγενούς της περιοχής. Ειδικότερα, ένα σχεδόν κάθετο πρανές που φαίνεται να κλίνει προς

ΔΝΔ με πάνω από 80° και ορισμένες πολύ μικρές διαρρήξεις (με μήκος μικρότερο από 2 m), πληρωμένες με κλαστικό υλικό που βυθίζονται με 86° προς ΝΔ μπορεί να ερμηνεύονται ως αποτέλεσμα της ενεργοποίησης ενός υψηλής γωνίας κανονικού ρήγματος παρόμοιο με εκείνο που προτείνεται από Georgiou and Paschos (2008). Ωστόσο, μια καλύτερη διερεύνηση των εμφανίσεων των πετρωμάτων δείχνει ότι τα ρήγματα βυθίζονται από 70° έως 80° προς ΑΒΑ (134/70 ΑΒΑ ή 044/70) και επομένως η ύπαρξη μεγάλων κανονικών ρηγμάτων που κλίνουν προς ΝΔ δεν πρέπει να υποστηρίζεται εδώ. Εκτός αυτού, δεν υπάρχουν οποιαδήποτε στρωματογραφικά ή γεωμορφολογικά κριτήρια που επιτρέπουν το χαρακτηρισμό αυτού του ρήγματος ως ενεργό.

**F<sub>p</sub>\_3:** Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανή επώθηση, διότι σχηματίζει κοιλάδες στις ανατολικές πλαγιές της οροσειράς που θα μπορούσε να αποδοθεί άμεσα σε διάβρωση από την ύπαρξη μεγάλης γωνίας τεκτονικών επιφανειών προς ΑΒΑ. Το μήκος του ρήγματος υπολογίζεται να είναι 1.2 km και είναι μάλλον ασυνεχές σε μήκος λόγω της ύπαρξης μικρών ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ.

**F<sub>p</sub>\_4:** Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ έχει χαρτογραφηθεί ως εκτατικό ρήγμα που βυθίζεται με υψηλή γωνία προς ΒΒΔ, επειδή αντιπαραθέτει τα ιζήματα του Μειόκαινου με ανθρακικά πετρώματα από το κατώτερο μέρος της ανατολικής πλαγιάς έως τα ανώτερα τμήματα της οροσειράς. Το συνολικό μήκος του ρήγματος με διεύθυνση κάθετη στην οροσειρά και λαμβάνοντας υπόψη ότι τέμνει εξ' ολοκλήρου την οροσειρά είναι λιγότερο από 1.5 km.

**F<sub>p</sub>\_5:** Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανό ή κρυφό ρήγμα στη βάση τις ανατολικής πλαγιάς της οροσειράς, λόγω της γραμμικότητας και της υψηλής κλίσης που χαρακτηρίζει αυτές τις πλαγιές σχηματίζουν κατά τόπους σειρά μετώπων ρηγμάτων. Επίσης, ο σχηματισμός ο οποίος έχει χαρτογραφηθεί ως [sc1 (m)] μπορεί να αποδοθεί στην ύπαρξη (και διάβρωση) αυτών των σειρών μετώπων ρηγμάτων. Αν και, επιφάνεια ρήγματος δύσκολα θα μπορούσε να βρεθεί στη περιοχή, το ρήγμα θα πρέπει να βυθίζεται με υψηλές γωνίες προς ΑΒΑ. Η γραμμή του μετώπου του ρήγματος φαίνεται να είναι κατακερματισμένη και το συνολικό μήκος του υπολογίζεται να είναι μικρότερη από 2 km.

- **Τμήμα Β**



**F<sub>p\_6</sub>**: Αυτό το ρήγμα με σχεδόν B-N διεύθυνση έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανό κανονικό ρήγμα που επηρεάζει τα ιζήματα Μειόκαινου, προκειμένου να εξηγήσει κάποιους μικρούς, γραμμικούς γκρεμούς που αποτυπώνονται κατά μήκος. Το συνολικό μήκος του ρήγματος που βυθίζεται με πολύ υψηλές γωνίες προς τα Δ είναι λιγότερο από 1.5 km.

**F<sub>p\_7</sub>**: Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση BBD-NNA έχει επίσης ερμηνευθεί ως μία υψηλής γωνία, σχεδόν κατακόρυφη, επώθηση προς ABA. Μια τέτοια ερμηνεία έχει ήδη προταθεί στο γεωλογικό χάρτη από IGRS-IFP (1966) και στο γεωλογικό χάρτη φύλλο Πάργας (IGRS, 1969). Η ερμηνεία αυτή υποστηρίζεται από παρατηρήσεις πεδίου κατά μήκος της επαφής που δείχνουν ότι οι τελευταίες κλίσεις με υψηλές γωνίες προς ABA φέρνουν τα αλπικά ανθρακικά πετρώματα πάνω από τα ιζήματα του Μειόκαινου.

**F<sub>p\_8</sub>**: Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση B-N έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανή ή καλυμμένη επώθηση που βυθίζεται με μέσες γωνίες προς Α. Η επώθηση που μεταφέρει Τριαδικό λατυποπαγή πάνω στον Ασβεστόλιθο Παντοκράτορα σχηματίζει στενές κοιλάδες κατά μήκος του. Δεν υπάρχουν γεωλογικές ενδείξεις που υποστηρίζουν ότι αυτό θα πρέπει να είναι ένα ενεργό ρήγμα. Το μήκος του είναι λιγότερο από 2 km, δεδομένου ότι κόβεται από άλλες μικρές ρηξηγενείς δομές με διαφορετική παράταξη.

**F<sub>p\_9</sub>**: Αυτή είναι μια χαμηλής γωνίας επώθηση που μεταφέρει Τριαδικό λατυποπαγή και τα ανθρακικά υπερκείμενά του πάνω στον Τριτογενή φλύσχη. Είναι ένα ρήγμα που έχει ενεργοποιηθεί κατά τη διάρκεια των Τριτογενών ορογενετικών διεργασιών και από τότε είναι ανενεργό. Επίσης, τα μέρη της εν λόγω επώθησης εμφανίζονται και στη δυτική πλευρά του αγωγού στο επόμενο τμήμα C.

#### • Τμήμα C

**F<sub>p\_10</sub>**: Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση BΔ-NA έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανό ή κρυφό ρήγμα κάτω από τα προσχωσιγενή ιζήματα. Το συνολικό μήκος του δεν ξεπερνά τα 1.2 km, αν και δεν υπάρχει καμία επιφάνεια ρήγματος που θα μπορούσε να βρεθεί στη περιοχή αυτό θεωρείται ως ένα εκτατικό ρήγμα που βυθίζεται με πολύ υψηλής γωνίες προς BA. Αυτό το ρήγμα φαίνεται να επηρεάζει το ρήγμα που αναφέρεται ως F<sub>p\_8</sub> προκαλώντας ένα αριστερόστροφο διαχωρισμό κατά μήκος της παράταξης.

**F<sub>p</sub>\_11:** Αυτό το ρήγμα με διεύθυνση BA-NΔ έχει χαρτογραφηθεί ως πιθανό ή κρυφό ρήγμα. Είναι αξιοσημείωτα γραμμικό υποδηλώνοντας ότι είναι σχεδόν κάθετο και το μήκος του είναι μικρότερο από 800 m.

- **Τμήμα D**

**F<sub>p</sub>\_12:** Πρόκειται για ένα πιθανό ρήγμα με διεύθυνση BA-NΔ των περίπου 500 m μήκους που βυθίζεται προς ΒΔ με υψηλή γωνία και κόβει σε όλη την έκταση τον Τριτογενή φλύσχη. Φαίνεται ότι το ρήγμα αντιπροσωπεύει την συνέχεια του F<sub>p</sub>\_14 προς ΝΔ ωστόσο, η άμεση σύνδεσή τους είναι δυσδιάκριτη λόγω των κώνων κορημάτων. Υποθέτοντας ότι αυτή η σύνδεση είναι πραγματική τότε το συνολικό μήκος της ενιαίας ζώνης του ρήγματος είναι περίπου 3 km και είναι μεταγενέστερο της επόμενης επώθησης με ένδειξη F<sub>p</sub>\_13.

**F<sub>p</sub>\_13:** Είναι η επώθηση που μεταφέρει τα ανθρακικά πετρώματα του Σχηματισμού Παντοκράτορα πάνω από τον Τριτογενή φλύσχη. Η επώθηση κρύβεται κάτω από τους κώνους κορημάτων στη περιοχή του χάρτη, αλλά θα μπορούσε να παρατηρηθεί άμεσα στα περίπου 500 m στα ΝΑ του αγωγού. Η εκτεθειμένη επώθηση βυθίζεται με περίπου 40° προς ΑΒΑ, ενώ ο υποκείμενος φλύσχος βυθίζεται με περίπου 25° προς ΒΑ. Κατά μήκος της επώθησης μια έντονη κατάκλαση έχει λάβει χώρα.

**F<sub>p</sub>\_14:** Αυτό το ρήγμα έχει διεύθυνση BA-NΔ και κλίνει προς ΒΔ με υψηλές γωνίες. Είναι το κυρίαρχο ρήγμα της περιοχής που σχηματίζουν μαζί με F<sub>p</sub>\_19 μια στενή ρηματογενής ζώνη που τρέχει παράλληλα με τον αγωγού. Το συνολικό μήκος της ζώνης αυτής είναι περίπου 3 km και το πλάτος της είναι περίπου 100 m. Η ζώνη του ρήγματος περιλαμβάνει διακριτές ασυνέχειες με μικρό άνοιγμα που μπορούν να περιγραφούν ως διακλάσεις ή ζώνες κερματισμού. Το ρήγμα μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί στην περιοχή και στις δορυφορικές εικόνες ως ευθύγραμμο που μειώνει την κλίση των ΒΔ πρανών στο Όρος Περδικοράχη και ελέγχει τη έκθεση των λεκανών επικαλυπτόμενες με terra rossa.

**F<sub>p</sub>\_15 & F<sub>p</sub>\_16:** Αυτά τα ρήγματα θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως σκέλη του F<sub>p</sub>\_14 ρήγματος, δεδομένου ότι έχουν κοινή παράταξη και διεύθυνση κλίσης με το τελευταίο. Περιλαμβάνουν τις υποχωρήσεις από τις ΒΔ πλαγιές του Όρους Περδικοράχη.

**F<sub>p</sub>\_17:** Ένα μικρό πιθανό ρήγμα με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ. Βυθίζεται προς ΒΒΔ και θα μπορούσε να επεκτείνεται πέρα από την περιοχή χαρτογράφησης για λίγα εκατοντάδες μέτρα προς τα ΒΑ.

**F<sub>p</sub>\_18:** Μικρό ρήγμα με διεύθυνση ABA-ΔΝΔ που βυθίζεται προς ΒΒΔ. Το μήκος του δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 500 m.

**F<sub>p</sub>\_19:** (βλ. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.: 20 και 21) Είναι το πιο καλά εκφρασμένο ρήγμα στην περιοχή κατά μήκος του οποίου διάφορες μικρές επιμήκεις υποχωρήσεις έχουν διαμορφωθεί και έχουν πληρωθεί με terra rossa. Το ρήγμα έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και βυθίζεται προς ΒΔ, έχει μήκος λιγότερο από 1 km και αποτελεί, μαζί με το F<sub>p</sub>\_14 μια ρηματογενής ζώνη μήκους περίπου 3 km. Η εκτεθειμένη επιφάνεια του ρήματος είναι πολύ απότομη (περίπου 70°-80°) και είναι βαθιά διαβρωμένη, με αποτέλεσμα την έλλειψη οποιασδήποτε μικροδομής που θα μπορούσε να καθορίσει την μετάπτωση.

**F<sub>p</sub>\_20:** Ένα μικρό ρήγμα μήκους όχι περισσότερο των 250 m με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ και κλίση ΔΒΔ. Αποτελεί μάλλον μια ζώνη κερματισμού παρόμοια με εκείνη που έχει βρεθεί στο ΒΑ άκρο του σταθμού συμπίεσης στη περιοχή χαρτογράφησης.

**F<sub>p</sub>\_21 & F<sub>p</sub>\_22:** Μικρά αντιθετικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ που σχηματίζουν ένα μικρό ράκος με διεύθυνση κορυφογραμμής Α-Δ νότια του σταθμού συμπίεσης. Το μήκος τους δεν είναι περισσότερο από μερικά εκατονταδες μέτρα.

**F<sub>p</sub>\_23:** Αυτά τα πιθανά ρήγματα διεύθυνσης Α-Δ και βύθισης προς Β αποτελούν τμήμα μιας μεγάλης τεκτονικής δομής που διαμορφώνει ένα Α-Δ φαράγγι νότια της περιοχής του σταθμού συμπίεσης.

### **3.1.4 Γεωλογία κατά μήκος των τμημάτων του αγωγού**

Σύμφωνα με τη γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:5.000 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α) και την μηκοτομή (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ) γίνεται περιγραφή των γεωλογικών συνθηκών των τμημάτων του αγωγού, από (Pavlidis, S.B.,2011):

- **Τμήμα Α**

Στο τμήμα Α του αγωγού οι εμφανίσεις των πετρωμάτων από τη θάλασσα προς το εσωτερικό της ηπειρωτικής είναι, αργιλικές μάργες (Pl.m), που έχουν χρονολογηθεί ως Πλειόκαινικες, σύμφωνα με το γεωλογικό φύλλο Πάργα (IGRS, 1969). Ειδικότερα, αυτές οι αργιλικές μάργες καλύπτουν περίπου το κάτω ήμισυ

μέρος των δυτικών πρηνών και τα υπόλοιπα σε ασυμφωνία πάνω στους Άνω Σενωνίου Ασβεστόλιθους (K8s.k) που έχουν εκτεθεί κατά μήκος της ακτογραμμής. Εντούτοις, το υποκείμενο υπόβαθρο των μαργών δεν μπορεί να βρέθει άμεσα αλλού, προκειμένου να έχουμε μια ακριβή εκτίμηση του πάχους του. Μέσα στις μάργες οι οποίες είναι χαρακτηριστικές υπάρχουν παλαιότερες ενστρώσεις ασβεστολιθικών όγκων (L), ο όγκος των οποίων είναι λίγα κυβικά μέτρα.

Επιπλέον, λεπτοί κώνοι κορημάτων [sc1(L)] που αποτελούνται κυρίως από μικτά ανθρακικά και κλαστικά υλικά, καλύπτουν κατά τόπους τις εμφανίσεις των μαργών. Από το άνω μισό τμήμα του πρηνούς το εκτεθειμένο αλπικό υπόβαθρο περιλαμβάνει μικρές εμφανίσεις γύψου (G), οι οποίες ωστόσο, έχουν παρατηρηθεί έξω από τα όρια του χάρτη και Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (Ji.k) που φαίνεται να ανήκουν στην ανατολική εξωτερική ζώνη της Ιονίου, σύμφωνα με τις διακρίσεις που έχουν ήδη αναφερθεί. Αυτή η ζώνη επωθείται πάνω από τα πετρώματα της δυτικής εξωτερικής ζώνης της Ιονίου, αλλά στη περιοχή έρευνας, η επώθηση δεν μπορεί να βρεθεί αφού καλύπτεται από την πυκνή βλάστηση, την έντονη διάβρωση και την απόθεση των ιζημάτων Πλειόκαινου.

Στα υψηλότερα τμήματα του βουνού τα εκτεθειμένα πετρώματα είναι Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα και Βίγλας, όπου ένα μεγάλο μέρος τους καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα υλικού κώνων κορημάτων και φερτών. Το πάχος αυτού του υλικού δεν υπερβαίνει τα 2 m, αλλά χαρακτηρίζεται από διάφορο βαθμό συνοχής έτσι σε διάφορες θέσεις δύσκολα θα μπορούσε να διακριθεί από τον κερματισμένο Ασβεστόλιθο Παντοκράτορα.

Προς και στις ανατολικές πλαγιές του βουνού τα εκτεθειμένα πετρώματα είναι Μειοκαινικές μάργες (Ms.m) που επικάθονται σε ασυμφωνία είτε στους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα (Ji.k) ή Βίγλας (Js-K8.k). Στα χαμηλότερα μέρη του πρηνούς, όπου το τμήμα A του αγωγού τελειώνει, οι μάργες έχουν διαταραχθεί σε κάποιο βαθμό δημιουργώντας αποθέσεις κώνων κορημάτων (ή πλευρικών κορημάτων) [sc1(m)] λόγω της μικρής κλίμακας και των επιφανειακών κατολισθητικών φαινομένων. Η επόμενη κοιλάδα η οποία είναι το μορφολογικό γνώρισμα μεταξύ του A και B τμήματος του αγωγού είναι μικρή και καλύπτεται από λίγα μέτρα πάχος ενός οριζοντα αλλουβιακών αποθέσεων.

#### • **Τμήμα Β**

Αυτό το τμήμα του αγωγού από την κοιλάδα προς ανατολικά κόβει εγκάρσια τη νέα ΒΔ-ΝΑ οροσειρά. Σχεδόν το ήμισυ του χαμηλότερου τμήματος της δυτικής

πλαγιάς του βουνού καλύπτεται από πράσινες μάργες Μειοκαίνου, αλλά σε πολλά σημεία αυτές οι μάργες καλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα κώνων κορημάτων [Ms.m(sc1)]. Οι τελευταίες αποθέσεις τροφοδοτούνται από τους ασβεστόλιθους Βίγλας (Js-K8.k), οι οποίοι βυθίζονται με μικρές έως μέσες γωνίες προς ΒΑ δημιουργώντας το επάνω μισό τμήμα της πλαγιάς του βουνού.

Η επαφή μεταξύ των μαργών και ασβεστόλιθων Βίγλας δύσκολα μπορεί να παρατηρηθεί λόγω της πυκνής βλάστησης και το κάλυμμα των κώνων κορημάτων. Ωστόσο, σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη έχει θεωρηθεί ως μια επώθηση με το υπερκείμενο πέτρωμα να είναι οι Ασβεστόλιθοι Βίγλας. Παρά το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της έρευνας στην περιοχή δεν παρατηρήθηκαν μεγάλα κατολισθητικά φαινόμενα, μικρής κλίμακας και επιφανειακά τέτοια φαινόμενα δεν μπορούν να αποκλειστούν.

Η κορυφή του βουνού και το πάνω μέρος των ανατολικών πλαγιών καλύπτονται από τους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα. Η ανατολική πλαγιά του βουνού δεν χαρακτηρίζεται από μοναδική κλίση. Αντίθετα, μια δευτερεύουσα και επιμήκη κορυφογραμμή παράλληλη στην κύρια οροσειρά έχει σχηματιστεί και αποτελείται από Τριαδικό λατυποπαγή (tb). Αυτά τα λατυποπαγή λαμβάνοντας υπόψη τη στρωματογραφική θέση τους στη ζώνη του Ιονίου αποτελούν τη βάση των Ασβεστόλιθων Παντοκράτορα ωστόσο, η επαφή μεταξύ αυτών των δύο πετρωμάτων δεν μπορεί να φανεί άμεσα στο πεδίο. Η ερμηνεία του πεδίου, αντίθετα υποδηλώνει ότι αυτή είναι μια υψηλής γωνίας επώθηση που φέρνει το Τριαδικό λατυποπαγές πάνω στους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα. Τα Τριαδικά λατυποπαγή εμφανίζονται μαζώδεις χωρίς καμία ξεχωριστή στρώση, προκειμένου να καθορίσουν τη θέση τους στο χώρο και δημιουργούν τις ανατολικές περιοχές του αγωγού του τμήματος Β.

#### • Τμήμα C

Αυτό το τμήμα του αγωγού περνά μέσα από μια στενή Β-N κοιλάδα με διεύθυνση παρόμοια με την παράταξη της επαφής μεταξύ των Τριαδικών λατυποπαγών και του Τριτογενή φλύσχη (3Fi.m3). Ο Τριτογενής φλύσχος εμφανίζεται ως τεκτονικό παράθυρο κάτω από το Τριαδικό λατυποπαγή και τους Δολομίτες Παντοκράτορα (Ji.D). Τα Τριαδικά λατυποπαγή δημιουργούν την ορεινή περιοχή στα δυτικά της κοιλάδας και υπέρκεινται των πετρωμάτων του φλύσχη με μια μάλλον επίπεδη επώθηση. Η κοιλάδα σχηματίστηκε κυρίως πάνω στα πετρώματα του φλύσχη και είναι εν μέρει πληρωμένη με μια λεπτή στρώση από αποθέσεις κοιλάδας (vd).

- **Τμήμα D**

Στο τμήμα αυτό, ο αγωγός διασχίζει το χαμηλό ορεινό ανάγλυφο που κατά κύριο λόγο αποτελείται από ανθρακικά πετρώματα είτε δολομίτες (Ji.D) ή ασβεστόλιθους (Ji.k) του Παντοκράτορα. Αυτή η ορεινή μορφολογία του εδάφους δεν χαρακτηρίζεται από καμία επιμήκη δομή εκτός από το φαράγγι Α-Δ που σχηματίζεται από το ρέμα “Αετοφωλίας Ρέμα” και το Α-Δ παράταξης Όρος Περδικοράχη.

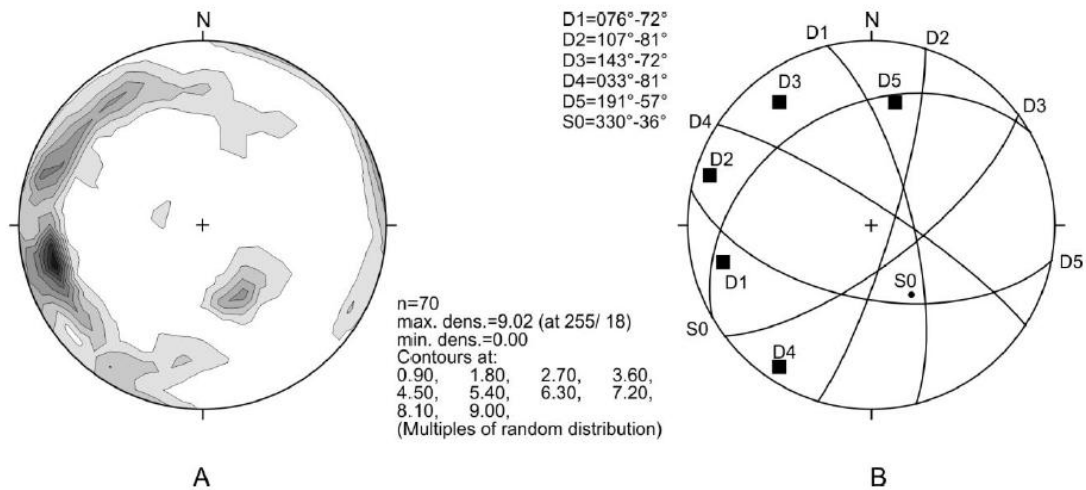
Ειδικότερα, ο αγωγός που εξέρχεται από το διάδρομο του τμήματος C, περνά ΒΑ διασχίζοντας το Τριτογενή φλύσχη (3Fi.m3) μέχρι τον επαρχιακό δρόμο που ενώνει το χωριό Πέρδικα με τη πόλη της Πάργας, από εκείνο το σημείο και προς τα πάνω και για λίγα δεκάδες μέτρα ο αγωγός διασχίζει κώνους κορημάτων [sc1(L)]. Το τελευταίο καλύπτει τη μεγάλη επώθηση που φέρει τους Παντοκράτορα Δολομίτες πάνω στον Τριτογενή φλύσχη. Ακριβέστερα, οι κώνοι κορημάτων υπέρκεινται του Τριαδικού λατυποπαγούς (tb), δηλαδή, η μονάδα του χάρτη στη βάση των δολομιτών Παντοκράτορα που έχει θεωρηθεί ως η κατακλαστική ζώνη της επώθησης. Προς τα πάνω, η κλίση γίνεται πολύ πιο απότομη και αποτελείται από Τριαδικό λατυποπαγή (tb) στο κάτω μισό της και Δολομίτες Παντοκράτορα στο πάνω μισό της. Οι Δολομίτες επεκτείνονται προς ΒΑ για περίπου 1.2 km, όπου περνούν μέσα στους ασβεστόλιθους του σχηματισμού Παντοκράτορα. Από το σημείο αυτό μέχρι τον σταθμό συμπίεσης ο αγωγός διασχίζει αυτούς τους ασβεστόλιθους. Τα κύρια χαρακτηριστικά της διαδρομής σε αυτό το τμήμα είναι η έντονη εξωγενής καρστικοποίηση των ασβεστόλιθων και ο σχηματισμός ορισμένων μικρών επιμήκων κοιλοτήτων που έχουν γεμίσει με terra rossa (tr) λόγω της ύπαρξης των ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης νεοτεκτονικών ρηγμάτων.

### 3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

Σύμφωνα με Pavlides, S.B., 2011 η περιοχή από γεωμορφολογικής άποψης είναι μια μικρή κοιλάτητα τριγωνικού σχήματος μεταξύ ορεινών όγκων που έχει διαμορφωθεί από ένα μεγάλο ρέμα γνωστό ως “Αετοφωλιάς Ρέμα”. Το ρέμα που ρέει προς τα δυτικά διαβρώνει το υπόβαθρο από ασβεστόλιθο και έχει ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας διόδου-φαράγγι με Α-Δ διεύθυνση. Το κεντρικό τμήμα της κοιλάτητας αποτελείται από επιφανειακές terra rossa αποθέσεις το πάχος των οποίων δεν είναι περισσότερο από μερικά μέτρα. Σήμερα, το ρέμα απορρέει κατά μήκος της περιοχής και αφαιρεί τις επιφανειακές αποθέσεις. Οι εμφανίσεις των Ασβεστόλιθων Παντοκράτορα (Ji.k) στα νότια της περιοχής αποτελούνται από μέσης έως παχιάς στρώσης, ενώ στα βόρεια της περιοχής, αποτελούνται από μέσης και σε ορισμένα μέρη λεπτοπλακώδεις στρώσης ασβεστόλιθοι. Σε γενικές γραμμές, ο ασβεστόλιθος βυθίζεται με ομαλές γωνίες, περίπου 25° προς ΒΒΔ.

Στη περιοχή τα ρήγματα έχουν παράταξη Α-Δ, ΒΑ-ΝΔ και ΒΒΔ-ΝΝΑ με υψηλές γωνίες κλίσης. Συνήθως σχηματίζουν ζώνες διάρρηξης το πλάτος των οποίων δεν είναι μεγαλύτερο από μερικά μέτρα. Το κυρίαρχο χαρακτηριστικό εντός των ζωνών αυτών είναι η μικρή απόσταση μεταξύ των ασυνεχειών. Στο γεωλογικό χάρτη 1:1000 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β) της περιοχής του σταθμού έχουν καθοριστεί τα ρήγματα και επισημαίνονται ως F<sub>p</sub>\_25, F<sub>p</sub>\_26 και F<sub>p</sub>\_27 εκτός εκείνων που ήδη ορίζονται στο γεωλογικό χάρτη με κλίμακα 1:5000 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α), δηλαδή, F<sub>p</sub>\_22, F<sub>p</sub>\_23 και F<sub>p</sub>\_24. Το ρήγμα F<sub>p</sub>\_23 φαίνεται να αντιστοιχεί σε μια μεγάλη τεκτονική δομή με παράταξη Α-Δ που ελέγχει τη μετατόπιση του ρέματος (Αετοφωλιάς). Όλα τα ρήγματα, ωστόσο, έχουν ένα μήκος που δεν υπερβαίνει τις μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Οι ασυνέχειες που παρατηρούνται κατά μήκος της πλευράς του δρόμο δίπλα στο σταθμό συμπίεσης υποδεικνύουν την ύπαρξη πέντε ομάδων ασυνέχειων (D1, D2, ..., D5) εκτός από τη στρώση του ασβεστόλιθου (S0) (Σχ. 3.8). D1 και D2 είναι οι πιο πολυπληθείς και δημιουργούν αναστομωμένες δομές με την D1 να είναι η πιο διαδεδομένη. Οι ασυνέχειες D3 έχουν παράταξη ΑΒΑ-ΔΝΔ και δημιουργούν διάτμητικές ή ρηξηγενείς ζώνες παρόμοιες με εκείνες που ορίζονται στο γεωλογικό χάρτη 1:1000. Οι D4 και D5 είναι λιγότερες σε αριθμό ασυνέχειες που επίσης αντιστοιχούν σε μέσης κλίμακας διάτμητικές ή ρηξηγενείς ζώνες.



**Σχήμα 3.8:** Α. Διάγραμμα πυκνότητας (lower hemisphere, equal area) των πόλων των ασυνεχειών που καταγράφονται κατά μήκος του δρόμου στο ΒΑ άκρο της περιοχής του σταθμού. (x1: 185578.28, y1: 4363230.89 και x2: 185775.18, y2: 4362952.94) και Β. Στερεογραφική προβολή των ασυνεχειών όπως ορίζεται από την καταγραφή πεδίου και του διαγράμματος πυκνότητας (Α) (Pavlidis, S.B., 2011).



## 4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΞΕΤΑΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΑΓΩΓΟΥ

### 4.1 ΠΡΩΤΑΡΧΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι αρχικά επιλεγμένες διαδρομές θα πρέπει να αντιμετωπίζουν τους εγγενείς και εξωγενείς περιορισμούς που χαρακτηρίζουν την κατασκευή και λειτουργία του αγωγού, με την αποφυγή ή την ελαχιστοποίηση των διαφόρων γεωγραφικών και ρυθμιστικών περιορισμών. Τα ακόλουθα στοιχεία αναφέρονται επιγραμματικά στους περιορισμούς, τις κατασκευστικές προκλήσεις, τους παράγοντες που επηρεάζουν την χάραξη, και τους παράγοντες που μπορούν να βοηθήσουν την χάραξη του αγωγού.

Σχετικά με ποτάμια, ρυάκια, λίμνες και έλη:

- Μη αναγκαίες διασταυρώσεις
- Πλέγμα καναλιών
- Περιοχές με πιθανή διάβρωση
- Υπόβαθρο
- Εξέλιξη της φυσικής μαιανδρικής ροής

Σχετικά με την φυσιογραφία:

- Εξαιρετικά απότομα πρανή
- Βραχώδη πρανή
- Διαβρωτικά εδάφη
- Αμμώδη εδάφη
- Σεισμικές εντάσεις/θέσεις
- Θέσεις/τύποι/σχετικές κινήσεις ρηγμάτων

Σχετικά με το περιβαλλον:

- Περιοχές αναπαραγωγής ψαριών
- Ενδιατήματα απειλούμενων ειδών
- Ιστορικοί και αρχαιολογικοί χώροι
- Γη εμπορεύσιμης ξυλείας

Άλλοι παράγοντες:

- Υφιστάμενοι διάδρομοι
- Διασταυρώσεις οδών και σιδηροτροχιών

- Περιοχές πληθυσμιακής συγκέντρωσης
- Προστατευμένες περιοχές όπως εθνικά πάρκα
- Αυτόχθονες περιοχές
- Περιοχές αναγεννησής δασών
- Προσωρινή και μόνιμη πρόσβαση
- Θέσεις κατασκευών
- Χρονοδιαγράμματα κατασκευής

Τα παραπάνω στοιχεία εξετάζονται από το γραφείο, προσδιορίζοντας κάποιες αρχικές διαδρομές, πριν την αναγνώριση πεδίου.

Η αναγνώριση πεδίου γίνεται για τον εντοπισμό προβληματικών περιοχών κατά μήκος κάθε διαδρομής (επιλογές γραφείου) και την αξιολόγηση των παραγόντων που τις επηρεάζουν. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υποψη κατά την διάρκεια της αναγνώρισης πεδίου έχουν ως εξής:

- Γενική τοπογραφία (μορφολογία)
- Καθεστώς αναγλύφου και διάταξη υδρογραφικού δικτύου
- Γεωτεχνικές επιπτώσεις (ευστάθεια πρανών)
- Επιφανειακές συνθήκες (φυτική γη, τύπο εδάφους, θέση υποβάθρου)
- Υδατικές ροές
- Βλάστηση (δασώδης, ελώδης)
- Παρουσία και το είδος της γεωργίας
- Περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές
- Ιστορικοί και αρχαιολογικοί χώροι
- Τεχνητά εμπόδια
- Υπάρχουσες εγκαταστάσεις
- Διαθεσιμότητα υπαρχόντων διαδρόμων
- Πρόσβαση κατά την κατασκευή
- Μελέτη της κατασκευής για την χειμερινή ή καλοκαιρινή περίοδο
- Γωνίες διασταύρωσης:
  - 90° με οδούς
  - 90° με σιδηρόδρομους
  - 90° με ποταμούς, ρυάκια και κανάλια
  - 70° έως 90° με άλλους αγωγούς

- Περιορισμοί γειτνίασης:
  - η απόσταση μεταξύ του ορίου της οδού με τον αγωγό να μην είναι μικρότερο των 30 μέτρων
  - η ελάχιστη απόσταση από το όριο της οδού πριν την εκτροπή του αγωγού να είναι όχι λιγότερο από 30 μέτρα
- Απαιτήσεις (χώρου) κάμψη σωλήνων

Μετά την αναγνώριση πεδίου, λεπτομερείς μελέτες συγκεκριμένων προβληματικών περιοχών. όπως γεωτεχνικές αξιολογήσεις των διασταυρώσεων με ποταμούς και περιβαλλοντικές μελέτες, μπορούν να απαιτηθούν. Όταν όλες οι αξιολογήσεις και μελέτες έχουν ολοκληρωθεί, η διαδρομή μπορεί να τελειοποιηθεί στο πλαίσιο της προετοιμασίας για την τοπογραφική αποτύπωση.

## **4.2 ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ**

### **4.2.1 Αστοχίες πρανών (κατολισθήσεις και καταπτώσεις)**

Αστοχίες πρανών μπορεί να συναντηθούν τοπικά και κυρίως σε θέσεις πρανών με μεγάλες κλίσεις και με την παρουσία σχηματισμών επιρρεπών σε κατολισθήσεις (ερπυσμούς, ολισθήσεις, κλπ.). Στις θέσεις αυτές εκτελείται γεωτεχνικό πρόγραμμα που περιλαμβάνει την ανόρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων, δειγματοληψίες, επιτόπου αλλά και εργαστηριακές δοκιμές, με στόχο την πλήρη διερεύνηση των γεωτεχνικών συνθηκών και την εφαρμογή των πλέον κατάλληλων μέτρων αποκατάστασης του προβλήματος πριν την εγκατάσταση του αγωγού.

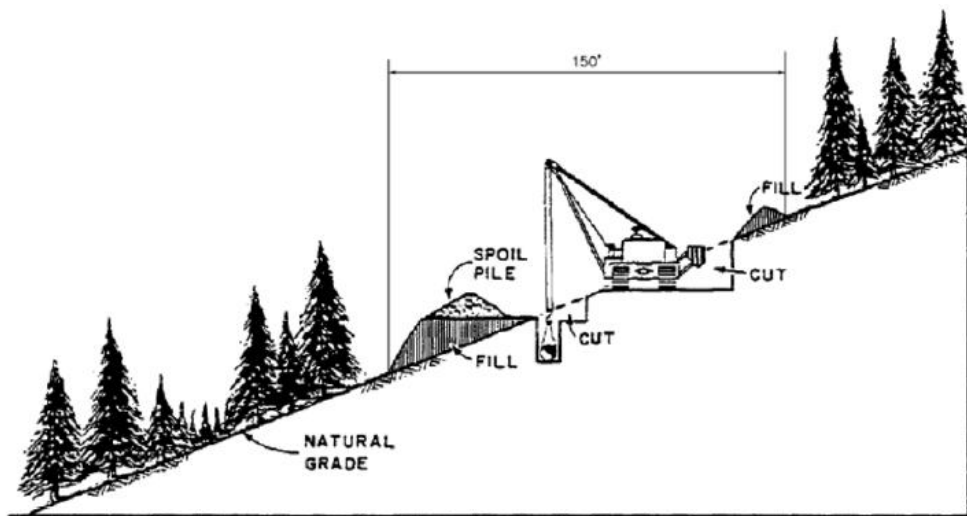
Το πλέον χαρακτηριστικό γνώρισμα ενός τέτοιου αγωγού από γεωτεχνικής πλευράς είναι η διέλευση εγκάρσια στις ισοϋψείς (Σχ. 4.1). Καθώς το αέριο βρίσκεται υπό σημαντική πίεση μέσα στον αγωγό, η διαμόρφωση αυτή δεν δημιουργεί προβλήματα στη ροή, αντίθετα, μειώνει σημαντικά τους κινδύνους καταστροφής του αγωγού σε περίπτωση εκδήλωσης κατολισθήσεων, μειώνει το κόστος κατασκευής και τους κινδύνους ατυχημάτων, ενώ παράλληλα, αποφεύγει τις συχνές συναντήσεις με άλλα γραμμικά έργα, (Ρόζος, 2007).



**Σχήμα 4.1:** Διέλευση εγκάρσια στις ισοϋψείς (ΑΣΠΡΟΦΟΣ Α.Ε.).

Γενικά η τοποθέτηση του αγωγού σε πρηνή πρέπει να αποφεύγεται. Σε περιοχές όπου ο αγωγός διέρχεται κάθετα ως προς το πρηνές η χάραξη πρέπει να είναι όσο το δυνατόν κάθετη προς τις ισοϋψείς, σε απότομες πλάγες το έδαφος διαμορφώνεται σε ηπιότερες κλίσεις έτσι ώστε ο αγωγός να μπορεί να καμφθεί μέσα στα όρια του, στη συνέχεια το τοπίο διαμορφώνεται στο αρχικό του υψόμετρο. Όταν ο αγωγός διέρχεται πλευρικά στο σώμα του πρηνούς, εκεί η γραμμή της μέγιστης κλίσης του πρηνούς πρέπει να είναι  $90^\circ$  ως προς την κεντρική γραμμή του αγωγού, ωστόσο, οι διαδικασίες κατασκευής του αγωγού απαιτούν πως ο χώρος προσπέλασης/εργασίας πρέπει να είναι επίπεδος για την εγκατάσταση και επίχωση του αγωγού (Σχ. 4.2), έτσι σε περιοχές με υπερβολική κλίση πρηνών, απαιτείται σημαντικός αριθμός αναβαθμών για την κατασκευή του αγωγού.

Οι αγωγοί θα πρέπει να αποφεύγουν ασταθείς πρηνή, όχι αναγκαστικά παλιές, ανενεργές ολισθήσεις, διότι πολλά πρηνή έχουν υποστεί κάποια μορφή αστοχίας. Είναι σημαντικό να αποφεύγονται πρηνή που παρουσιάζουν σημάδια πρόσφατης κίνησης. Μερικά από τα πιο εμφανή σημάδια των πιθανών πρόσφατων κινήσεων πρηνών είναι ρωγμές, απότομες κλίσεις, καμπυλωτά δέντρα, ενδείξεις διάβρωσης (υποσκαφή) στη βάση του πρηνούς και έξοδος των υπόγειων υδάτων πάνω στο πρηνές (με τη μορφή πηγής). Εάν υπάρχει ένδειξη πρόσφατης αστοχίας, η αιτία της εδαφικής μετακίνησης πρέπει να αξιολογείται.



**Σχήμα 4.2:** Διέλευση πλευρικά στο σώμα του πρανούς (FERC 2006b).

Ο χειρότερος τύπος αστοχίας πρανούς που επηρεάζει ένα θαμμένο αγωγό είναι η κατολίσθηση υπεδάφους (βάθος άνω των 5 m) όπου η επιφάνεια αστοχίας περνάει κάτω από τον αγωγό, εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους αυτών των κατολισθήσεων (πλάτος και μήκος που κυμαίνεται από αρκετές εκατοντάδες μέτρα έως μερικά χιλιόμετρα) και της δομικά απρόβλεπτης συμπεριφοράς της κατολίσθησης που οφείλεται στη μεγάλη πολυπλοκότητα των προτύπων διαταραχής εδάφους, τα οποία σχετίζονται με μια τέτοια κατολίσθηση, καθώς και στην τυχαία φύση των συμβάντων ενεργοποίησης. Επιπλέον, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι ένα από τα πιθανά συμβάντα ενεργοποίησης της κατολίσθησης είναι η κίνηση του εδάφους που προκαλείται από τους σεισμούς (αναφέρεται επίσης και ως σεισμική φόρτιση). Όταν επιλέγετε η χάραξη του αγωγού είναι κύριας σημασίας η αποφυγή περιοχών όπου εντοπίζονται βαθιές επιφάνειες ολίσθησης.

Η διέλευση από σημεία με κατολισθήσεις σε μικρό βάθος (βάθος μικρότερο των 5 m) και από περιοχές που είναι επιρρεπείς σε ρηχή κατολίσθηση συνήθως είναι εφικτή με εφαρμογή μέτρων αντιμετώπισης. Τα μέτρα αντιμετώπισης περιλαμβάνουν το θάψιμο του αγωγού κάτω από τη βάση του κινούμενου εδάφους και τη σταθεροποίηση της κατολίσθησης (π.χ. τροποποίηση της γεωμετρίας πρανούς με χωματουργικές εργασίες, αποστράγγιση, εφαρμογή μέτρων περιορισμού, έλεγχο διάβρωσης, κλπ.). Οι επιπτώσεις από την πτώση βράχων μπορούν να μετριαστούν με

την εφαρμογή τοίχων αντιστήριξης, φραχτών ανάσχεσης, συρματοπλεγμάτων και αγκυρίων κ.α..

Ορισμένες κατασκευαστικές πρακτικές μπορούν να συμβάλουν στην αστάθεια της διέλευσης του αγωγού, όπως είναι η απόρριψη υλικών στα πρηνή στο χώρο εργασίας, καθώς και η λανθασμένη αποκατάσταση των αρχικών ισοϋψών σε απότομες πλαγιές. Υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ότι πολλές αστοχίες πρηνών στο χώρο εργασίας είναι το αποτέλεσμα της λανθασμένης τοποθέτησης των περισσειων υλικών που αποσπώνται κατά την κατασκευή των αναβαθμίδων. Η περίσσεια εδάφους που αποσπάται από την κορυφή μιας πλαγιάς μερικές φορές προωθείται προς τα κατόντη και τοποθετείται σε επίπεδες περιοχές της πλαγιάς. Αυτές οι επίπεδες περιοχές, σε πολλές περιπτώσεις, αποτελούν τις κορυφές των τεμαχών κατάπτωσης παλαιών κατολισθήσεων. Το πρόσθετο βάρος του υλικού αυτού μπορεί να προκαλέσει μία πρόσθετη κίνηση κατά μήκος του προκαθορισμένου επιπέδου αστοχίας και ενδεχομένως να οδηγήσει σε μία αστοχία του αγωγού λόγω της ανάπτυξης τάσεων στον αγωγό.

Είναι σημαντική η επιλογή των κατάλληλων περιοχών για τη διάθεση υλικών εκσκαφών για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα επηρεάσουν δυσμενώς τη σταθερότητα του πρηνούς. Η πιο οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση είναι συνήθως η απόρριψη υλικών σε περιοχές στη βάση του πρηνούς όπου το υλικό μπορεί απλά να προωθείται στο πόδα του πρηνούς. Ωστόσο, όταν ο χώρος δεν είναι διαθέσιμος, είναι μερικές φορές απαραίτητη η μεταφορά όλου του υλικού εκσκαφής από το χώρο εργασίας του αγωγού σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η κατασκευή αναβαθμίδων σε πρηνή που σχετίζονται με την κατασκευή αγωγού γίνεται για διάφορους λόγους, όπως τη βελτίωση της πρόσβασης στο χώρο προσπέλασης/εργασίας κατά μήκος του αγωγού όπου οι πλαγιές είναι πολύ απότομες για το κατασκευαστικό εξοπλισμό και τα οχήματα, μειώνει τις γωνίες κάμψης που απαιτούνται, καθώς και βελτιώνει την ευστάθεια του πρηνούς.

Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, το υλικό εκσκαφής των αναβαθμίδων δεν θα πρέπει να επανατοποθετηθεί στην πλαγιά, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Πρέπει να επιλεγούν κατάλληλες περιοχές εναπόθεσης υλικών που δεν επηρεάζουν δυσμενώς τη σταθερότητα του πρηνούς.

Ο έλεγχος της επιφανειακής και υπόγειας αποστράγγισης εντός της ζώνης διέλευσης του αγωγού είναι μια σημαντική πτυχή του σχεδιασμού αγωγών. Σημαντική διάβρωση στη ζώνη διέλευσης, έκθεση του αγωγού, και αστάθεια πρηνούς

μπορούν, σε πολλές περιπτώσεις, να αποφεύγονται με την ενσωμάτωση των κατάλληλων μέτρων αποστράγγισης και ελέγχου της διάβρωσης. Αναχώματα εκτροπής, συρματοκιβώτια, στεγανοποιητικά διαφράγματα (μπετονίτης, τσιμέντο), υπόγειες αποστράγγισεις εγκαθίστανται γενικά για το σκοπό αυτό.

Οι πιο κοινές επιπτώσεις που προκαλούνται σε έναν αγωγό από μια κατολίσθηση, οι οποίες σχετίζονται με τις διαταραχές του εδάφους, περιλαμβάνουν:

- Πλευρική μετατόπιση αγωγού.
- Καθίζηση αγωγού.
- Ανύψωση αγωγού.
- Σημαντική πλαστική παραμόρφωση του υλικού των τοιχωμάτων του αγωγού (λόγω της συμπίεσης, της διάτμησης).
- Απώλεια στήριξης (δηλ., απώλεια των εδαφικών στηριγμάτων σε περίπτωση όπου μια κατολίσθηση απομακρύνει εδαφικό υλικό σε σημαντικό μήκος της τάφρου του αγωγού).
- Αύξηση του στατικού φορτίου στον αγωγό (δηλ., ο αγωγός θάβεται κάτω από τα φερτά υλικά της κατολίσθησης). Προσωρινή αύξηση του δυναμικού φορτίου επάνω στον αγωγό (δηλ., δέχεται καταπόνηση από βράχια που πέφτουν).

#### 4.2.2 Σεισμική φόρτιση – Αντισεισμικός σχεδιασμός

Οι σεισμοί αποτελούν μια μεγάλη φυσική καταστροφή, με αποτέλεσμα κοινωνικών και οικονομικών απωλειών που οφείλονται σε ζημιές κτιρίων και επιχειρήσεων. Σχεδόν όλες οι χώρες της Νοτιοανατολικής Ευρώπης βρίσκονται σε υψηλά σεισμικά ενεργές περιοχές όπου η συνεχής σεισμική δραστηριότητα είναι η κύρια αιτία των φυσικών καταστροφών. Ειδικότερα, οι σεισμοί έχουν προκαλέσει σημαντικές ζημιές σε υπόγειους αγωγούς, δεξαμενές αποθήκευσης πετρελαίου και σε ορισμένες αντλητικές εγκαταστάσεις. Οι υπόγειοι αγωγοί είναι πολύ επιρρεπείς σε μόνιμες παραμορφώσεις εδάφους, συνεπώς οι δυνάμεις αδράνειας είναι ελάχιστης σημασίας, αλλά τα ρήγματα, οι κατολισθήσεις, και η ρευστοποίηση δημιουργούν μεγάλα προβλήματα (Hall, 1987).

Ένας σεισμός προκαλεί:

- προσωρινές (transient) εδαφικές παραμορφώσεις και

- παραμένουσες ή μόνιμες εδαφικές παραμορφώσεις (permanent ground deformations-PGD).

Η δόνηση του εδάφους (ground shaking) αναφέρεται στις προσωρινές παραμορφώσεις του εδάφους που προκαλούνται από τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων. Από την άλλη πλευρά, οι παραμένουσες μετατοπίσεις οφείλονται στην αστοχία του εδάφους κατά τη διάρκεια ενός σεισμού και περιλαμβάνουν την διάρρηξη ρηγμάτων, τις κατολισθήσεις, τις αστοχίες απότομων πρανών και τις αστοχίες πρανών ήπιας κλίσης λόγω ρευστοποίησης (πλευρική μετατόπιση). Για να αντέξουν τις επιδράσεις των μόνιμων εδαφικών παραμορφώσεων, οι υπόγειοι αγωγοί πρέπει να έχουν την ικανότητα να κινηθούν μαζί με το έδαφος ή να έχουν ικανοποιητική αντοχή για να αναγκάσουν το έδαφος να κινηθεί γύρω από το σωλήνα. Οι προσωρινές παραμορφώσεις προκαλούν λιγότερα προβλήματα από τις παραμένουσες διότι οι παραμορφώσεις αυτές δεν έχουν μόνο προσωρινό χαρακτήρα αλλά προκαλούν και πιο μικρή επίδραση σε σχέση με τις παραμένουσες. Βέβαια, η προσωρινή καταπόνηση λόγω των σεισμικών κυμάτων επιβάλλεται σε ολόκληρο το μήκος ενός υπόγειου έργου (αρκετά km) και όχι μόνο στην περιοχή του ρήγματος, συνεπώς πρέπει να λαμβάνονται και αυτές σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό των υπόγειων έργων. Εκτός από τις εδαφικές παραμορφώσεις, οι αγωγοί μπορούν επίσης να καταστραφούν από δευτερογενείς σεισμικές επιπτώσεις, όπως αστοχία των γειτονικών ή συνδεδεμένων δομών, πλημμύρες, εκρήξεις και πυρκαγιές, και αστοχία των εγκαταστάσεων υποστήριξης. Η ζημιά που παράγεται από θραύση ή αποσύνδεση των αγωγών είναι αρκετά μεταβλητή, και μπορεί να σχετίζεται με τεχνικές, οικονομικές και κοινωνικές πτυχές, (FEMA-233/July 1992, p.11).

Πέρα όμως από τους παράγοντες που οδηγούν στην αστοχία των υπόγειων αγωγών, πρέπει να σημειωθεί ότι η οξύτητα των επιδράσεων εξαρτάται και από διάφορους άλλους παράγοντες όπως:

- το μέγεθος του σεισμού,
- η απόσταση από την πηγή και τα
- εδαφικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Οι υπόγειες σωληνώσεις είναι εγκατεστημένες σε μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, με πληθώρα εδαφικών συνθηκών, έχοντας ως συνέπεια την αντιμετώπιση διαφορετικών σεισμικών κινδύνων.



Σύμφωνα με τους Liu και O'Rourke, οι σεισμικοί κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν οι υπόγειες σωληνώσεις είναι:

- Κίνδυνοι από διέλευση σεισμικών κυμάτων,
- Κίνδυνοι μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης (PGD).

Οι κίνδυνοι μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης (PGD) διαχωρίζονται σε διαμήκης PGD και εγκάρσια PGD.

Η ανάλυση σεισμικού κινδύνου περιγράφει την πιθανότητα για ισχυρές κινήσεις του εδάφους, εξετάζοντας την πιθανότητα παρουσίας ενεργού ρήγματος σε μια περιοχή, καθώς και την πιθανότητα μετακίνησης του ρήγματος.

Υπάρχουν πολλοί ορισμοί για το ποιο ρήγμα θεωρείται ως ενεργό. Ο ορισμός που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι αυτός που θεωρεί ένα ρήγμα ως ενεργό όταν έχει παρουσιάσει δραστηριοποίηση σεισμική ή ασεισμική τα τελευταία 10.000 χρόνια. Για τον γεωτεχνικό κλάδο ένας σχετικότερος ορισμός είναι: αν ένα ρήγμα συνδέεται με την σεισμικότητα μίας περιοχής, τότε καλείται ενεργό ρήγμα.

Η σωστή διαμόρφωση των κριτηρίων αντισεισμικού σχεδιασμού απαιτεί τις παρακάτω πληροφορίες:

- **Πληροφορίες σωληνώσεων**
  - i. Γεωμετρία σωλήνων (διάμετρος, πάχος).
  - ii. Σχέση τάσης-παραμόρφωσης του υλικού των σωλήνων.
  - iii. Λειτουργία σωληνώσεων και μετασεισμική απαίτηση απόδοσης.
  - iv. Προδιαγραφές εξωτερικής επικάλυψης σωλήνα.
  - v. Πίεση λειτουργίας στο σωλήνα.
  - vi. Θερμοκρασία εγκατάστασης και λειτουργίας.
  - vii. Λεπτομέρεια ευθυγράμμισης σωληνώσεων (σχέδιο, σχεδιάγραμμα, θέση των συναρμολογήσεων, κ.λ.π.).
  - viii. Μειωμένο όριο παραμόρφωσης για τις υπάρχουσες σωληνώσεις.
- **Εδαφικές πληροφορίες**
  - i. Βάθος τοποθέτησης της σωλήνωσης.
  - ii. Ταξινόμηση του εδάφους επίχωσης στην τάφρο που τοποθετείται ο αγωγός.
  - iii. Βάθος της στάθμης νερού.
  - iv. Εδαφικές ιδιότητες (φαινόμενο βάρος, συνοχή, εσωτερική γωνία τριβής και σχετική πυκνότητα).

- **Πληροφορίες σεισμικής επικινδυνότητας**

- i. Αναμενόμενη ένταση της σεισμικής κίνησης του εδάφους στην περιοχή.
- ii. Αναμενόμενη έκταση της μόνιμης παραμόρφωσης του εδάφους.
- iii. Μήκος της σωλήνωσης που εκτίθεται σε μόνιμη εδαφική παραμόρφωση.
- iv. Θέσεις ενεργών ρηγμάτων, αναμενόμενο μέγεθος της μετατόπισης του ρήγματος και προσανατολισμός της σωλήνωσης όσον αφορά την κατεύθυνση της μετακίνησης του ρήγματος.

Μια άλλη ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον αντισεισμικό σχεδιασμό είναι η κατηγοριοποίηση των εδαφών. Σύμφωνα με τη NERHP (1997) υπάρχει η εξής κατηγοριοποίηση εδαφών:

- A) Σκληρός βράχος  $V_s > 1500$  (m/s),
- B) Βράχος  $V_s = 760-1500$  (m/s),
- Γ) Πολύ στιφρά εδάφη και μαλακοί βράχοι  $V_s = 360-760$  (m/s),
- Δ) Στιφρά εδάφη  $V_s = 180-360$  (m/s),
- E) Μαλακά εδάφη  $V_s < 180$  (m/s).

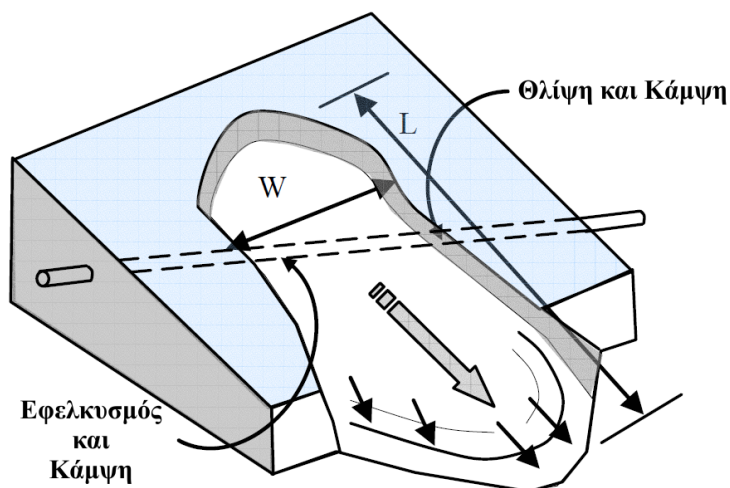
Κριτήρια σχεδιασμού για τη μόνιμη εδαφική παραμόρφωση (PGD)

Οι αμερικάνικοι και ινδικοί κανονισμοί υποδεικνύουν, ότι για να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση της σωλήνωσης ενάντια στην PGD πρέπει:

- Όταν η αναμενόμενη παραμόρφωση υπερβεί την ικανότητα απορρόφησης της παραμόρφωσης του αγωγού, πρέπει να ληφθούν μέτρα, όπως η βελτίωση του εδάφους.
- Η τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ εδάφους και αγωγού μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τη χρήση επικάλυψης στο σωλήνα. Αυτό που χρησιμοποιείται, συνήθως, είναι η επικάλυψη από πολυαιθυλένιο η οποία χρησιμοποιείται για την προστασία του αγωγού από τη διάβρωση, αλλά και για τη μείωση της δύναμης τριβής μεταξύ εδάφους και αγωγού.
- Τάφροι, παραμορφώσιμοι τοίχοι ή άλλα μέσα κατασκευάζονται για να απορροφήσουν τις παραμορφώσεις του εδάφους.

- Όταν αναμένεται μεγάλη παραμόρφωση, απαιτούνται ειδικές ενώσεις για τους σωλήνες ή ειδικά εξαρτήματα που επιτρέπουν την εκτροπή (deflection) των συνδέσμων, τη διαστολή ή συστολή τους.

Οι κύριες μορφές της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης (PGD) είναι η επιφανειακή διάρρηξη, οι κατολισθήσεις, η καθίζηση εδάφους και η πλευρική μετατόπιση λόγω ρευστοποίησης. Η αστοχία ενός αγωγού που υποβάλλεται σε PGD εξαρτάται από το μέγεθος και την χωρική επέκταση της PGD. Ένας αγωγός μπορεί να διασχίζει τη ζώνη της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης σε οποιαδήποτε διεύθυνση (Σχ. 4.3).

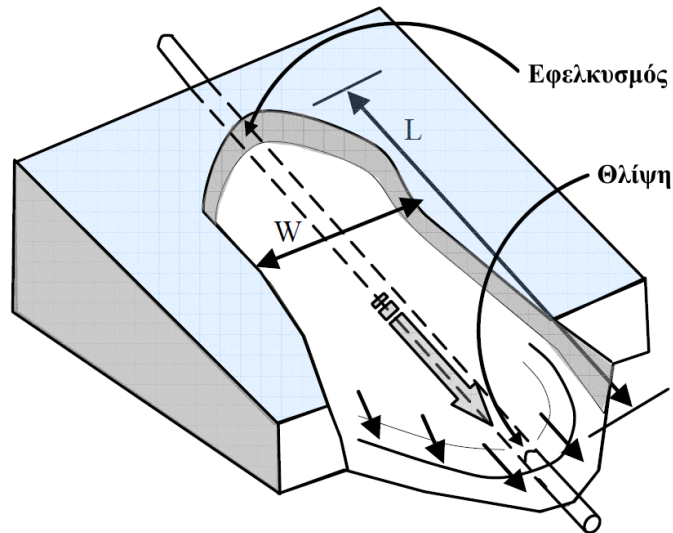


**Σχήμα 4.3:** Αγωγός διαπέρνει τη ζώνη μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης σε αυθαίρετη γωνία και οι αστοχίες που προκαλούνται (από ΠΤΚ-GSDMA 2007).

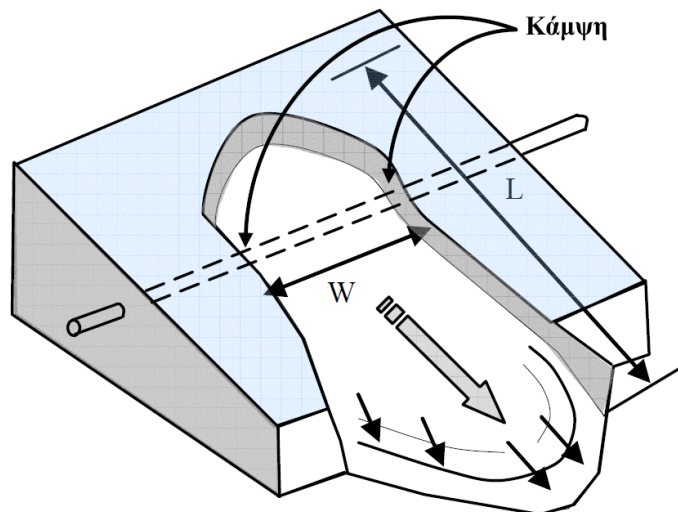
Στη διαμήκη συνιστώσα (Σχ. 4.4) της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης η κίνηση του εδάφους είναι παράλληλη στον άξονα του αγωγού. Μια συνεχής σωλήνωση, κάτω από την επίδραση της διαμήκου PGD μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία των συγκολλημένων ενώσεων, τοπικό λυγισμό (winkle) στη ζώνη θλίψης, θραύση εφελκυσμού στη ζώνη εφελκυσμού και κάμψη δοκού όταν το βάθος τοποθέτησης είναι μικρό.

Η εγκάρσια PGD αναφέρεται στην κίνηση του εδάφους κάθετα στον άξονα του αγωγού (Σχ. 4.5). Όταν μια συνεχής σωλήνωση υποβάλλεται σε εγκάρσια PGD, τότε θα τεντωθεί και θα λυγίσει προσπαθώντας να προσαρμοστεί στην εγκάρσια μετατόπιση του εδάφους. Έτσι, ο τρόπος αστοχίας του αγωγού εξαρτάται από το

ποσό της αξονικής τάσης εφελκυσμού (tension) και της παραμόρφωσης (strain) λόγω κάμψης. Δηλαδή, εάν η αξονική τάση είναι χαμηλή, ο τοίχος του αγωγού μπορεί να λυγίσει (buckle) σε θλίψη λόγω της υπερβολικής κάμψης. Αφ' ετέρου, εάν η αξονική τάση είναι υψηλή, ο σωλήνας μπορεί να σπάσει σε εφελκυσμό λόγω των συνδυασμένων επιδράσεων αξονικής τάσης και κάμψης (bending).



**Σχήμα 4.4:** Αγωγός διαπέρνα τη ζώνη της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης στην κατεύθυνση της κίνησης του εδάφους (διαμήκης PGD) (από ΠTK-GSDMA 2007).



**Σχήμα 4.5:** Αγωγός διαπέρνα τη ζώνη της μόνιμης εδαφικής παραμόρφωσης κάθετα στη κίνηση του εδάφους (εγκάρσια PGD) (από ΠTK-GSDMA 2007).

### Κριτήρια σχεδιασμού για τη διασταύρωση ενός αγωγού με ρήγμα

Η ξαφνική μετατόπιση ενός ρήγματος συνδέεται, κυρίως, με το σεισμικό γεγονός. Η μετατόπιση αυτή ασκεί σημαντική επίδραση στα υπόγεια έργα, όπως είναι οι αγωγοί φυσικού αερίου. Τα ακόλουθα κριτήρια σχεδιασμού πρέπει να χρησιμοποιούνται έτσι ώστε ο αγωγός να αντέξει μια ενδεχόμενη μετατόπιση ενός ρήγματος.

- Όταν ένας υπόγειος αγωγός διασχίζει ένα ρήγμα, πρέπει να τοποθετείται σε τέτοια διεύθυνση ώστε να αποφεύγεται η θλίψη του. Η βέλτιστη γωνία του περάσματος του ρήγματος εξαρτάται από τη γωνία βύθισης του επιπέδου του ρήγματος και τον αναμενόμενο τύπο της κίνησης.
- Η ολκιμότητα του αγωγού πρέπει να αυξάνεται σε περιοχή διάσχισης ενός ρήγματος έτσι ώστε να αντέξει τη μεγάλη μετακίνηση ενός ρήγματος χωρίς να αστοχήσει.
- Πρέπει να αποφεύγονται οι μεγάλες αλλαγές στο πάχος του τοιχώματος των αγωγών ή αλλαγές σε άλλα στοιχεία που συγκεντρώνουν τις παραμορφώσεις, μέσα στη ζώνη του ρήγματος.
- Σε όλες τις περιοχές που αναμένεται μια πιθανή αστοχία εδάφους, οι αγωγοί πρέπει να τοποθετούνται σε ευθεία, αποφεύγοντας απότομες αλλαγές στην κατεύθυνση και στην ανύψωση.
- Στον αγωγό που περνά από την περιοχή ενός ρήγματος πρέπει να χρησιμοποιείται ένα σκληρό και ομαλό επίστρωμα (coating) όπως ένα εποξικό επίστρωμα, για να μειωθεί η γωνία τριβής μεταξύ του αγωγού και του εδάφους.
- Το βάθος τοποθέτησης του αγωγού πρέπει να ελαχιστοποιείται μέσα στη ζώνη του ρήγματος προκειμένου να μειωθεί η αντίσταση του εδάφους στον αγωγό κατά την κίνηση του ρήγματος.
- Εάν η αναμενόμενη μετατόπιση του ρήγματος είναι πολύ μεγάλη, είναι ενδεδειγμένο να τοποθετείται ο αγωγός πάνω από το έδαφος (Σχ. 4.6) και να σχεδιάζονται με στηρίξεις ολίσθησης (Σχ. 4.7) για να αντέξουν την μετατόπιση του εδάφους.
- Η ικανότητα απορρόφησης του αγωγού κατά τη μετατόπιση ενός ρήγματος αυξάνεται με τη μείωση της αντίστασης μεταξύ του εδάφους

και του αγωγού, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μέσα. Για να επιτύχουμε την ελάχιστη αντίσταση του εδάφους, ο αγωγός πρέπει να τοποθετείται σε μια ρηχή τάφρο με χαλαρό προς μεσο-κοκκώδες έδαφος. Είναι σημαντική, όμως, η τοποθέτηση καλής γεωτεχνικής μεμβράνης μεταξύ του τοπικού εδάφους και του εδάφους επίχωσης (backfill soil), η οποία θα διαχωρίζει το τοπικό έδαφος από το υψηλής ποιότητας υλικό επίχωσης.



**Σχήμα 4.6:** Αγωγός πάνω από το έδαφος στην Αλάσκα που περνάει πάνω από το Denali Fault.



**Σχήμα 4.7:** Στηριξείς ολίσθησης.

Κατά τον σχεδιασμό ενός χαλύβδινου αγωγού που διέρχεται από σεισμικό ρήγμα, συνιστάται να επιδιώκεται προσανατολισμός του αγωγού ώστε να ευνοείται η ανάπτυξη εφελκυσμού και να περιορίζεται η θλίψη, προς αποφυγήν φαινομένων λυγισμού του τοιχώματος του αγωγού. Στην περίπτωση μιας αναπόφευκτης κάμψης του αγωγού, επιτρέπεται η ανάπτυξη περιορισμένης έκτασης τοπικού λυγισμού (ύβωσης). Επίσης συνιστάται η ενίσχυση του πάχους του αγωγού στην περιοχή του ρήγματος, η μείωση των πιέσεων του εδάφους επί του αγωγού με χρήση χαλαρού αμμώδους υλικού για την πλήρωση της εκσκαφής, και η μείωση της τριβής μεταξύ αγωγού και εδάφους, (CEN EN 1998-4).

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες, όπως έχουμε αναφέρει, που προκαλεί βλάβες στους υπόγειους αγωγούς είναι η μόνιμες παραμορφώσεις του εδάφους (PGD). Από τις διάφορες κατηγορίες PGD που υπάρχουν, αυτή που αξιολογείται ως πιο επικίνδυνη για τα υπόγεια δίκτυα είναι η μετατόπιση ρήγματος.

Το ποσό της μετατόπισης ενός ρήγματος επιδρά σημαντικά στη συμπεριφορά ενός αγωγού. Το ποσό της μετατόπισης της επιφάνειας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, αλλά βρίσκεται, κυρίως, σε συνάρτηση με τον τύπο του ρήγματος, το μέγεθος του σεισμού, το εστιακό βάθος και τη γεωλογία της περιοχής. Οι μετακινήσεις των ρηγμάτων δεν περιορίζονται σε ένα μόνο επίπεδο ρήγματος ή ζώνη, αλλά μπορεί επίσης να εμφανιστούν σε σημαντική απόσταση από το κύριο ίχνος του ρήγματος, (ASCE, 1984).

Το είδος του ρήγματος επιδρά με διαφορετικό τρόπο στους οριζόντιους υπόγειους αγωγούς. Συγκεκριμένα, σε ένα ρήγμα οριζόντιας ολίσθησης η κίνηση που κυριαρχεί είναι η οριζόντια, η οποία παραμορφώνει έναν συνεχή αγωγό, για παράδειγμα, λόγω θλίψης ή εφελκυσμού ανάλογα με τη γωνία τομής μεταξύ ρήγματος και αγωγού. Στην περίπτωση των κανονικών και των ανάστροφων ρηγμάτων η μετατόπιση του εδάφους είναι κάθετη. Όταν έχουμε κανονικό ρήγμα ο αγωγός παραμορφώνεται λόγω εφελκυσμού, ενώ όταν έχουμε ανάστροφο ρήγμα, τότε ο αγωγός παραμορφώνεται λόγω θλίψης.

#### **4.2.3 Ρευστοποίηση εδαφών**

Μη συνεκτικοί κορεσμένοι εδαφικοί σχηματισμοί έχουν την τάση όταν υπόκεινται σε άμεση φόρτιση κάτω από αστράγγιστες συνθήκες να τείνουν προς συμπίκνωση, όμως λόγω της αδυναμίας μεταβολής του όγκου τους παρουσιάζεται

αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων τους με ταυτόχρονη μείωση έως και μηδενισμό της διατμητικής τους αντοχής. Κατά την παραπάνω διαδικασία μετατρέπεται η κατάσταση αυτών των εδαφικών στρωμάτων από τη στερεά στη ρευστή φάση, δηλαδή προκαλείται ρευστοποίηση αυτών.

Τα φαινόμενα ρευστοποίησης διακρίνονται με βάση το μηχανισμό γένεσης σε δύο γενικές κατηγορίες: την εδαφική ροή (flow failure) και την ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility). Η εδαφική ροή συναντάται συνήθως σε χαλαρά μη συνεκτικά ιζήματα τα οποία είναι τοποθετημένα σε πρηνή με σημαντική κλίση και στα οποία η διατμητική τάση η οποία απαιτείται για τη στατική ισορροπία της εδαφικής μάζας είναι μεγαλύτερη από την υπολειπόμενη διατμητική αντοχή του εδάφους (Kramer, 1996). Η ανακυκλική κινητικότητα (cyclic mobility) η οποία χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, μπορεί να προκληθεί σε περιοχές χωρίς ή με μικρή κλίση (έως 3°) ενώ οι επιπτώσεις αυτής χαρακτηρίζονται μικρές έως πολύ σοβαρές.

Η εκτίμηση του δυναμικού ρευστοποίησης ενός εδαφικού σχηματισμού αποτελεί ένα από τα αντικείμενα των γεωτεχνικών μελετών, οι οποίες πραγματοποιούνται στο πλαίσιο εξέτασης της σεισμικής διακινδύνευσης μιας συγκεκριμένης θέσης. Προκειμένου να θεωρηθεί ένα έδαφος εν δυνάμει ρευστοποιήσιμο θα πρέπει να πληρεί ορισμένες προϋποθέσεις, η εξέταση των οποίων είναι απαραίτητη να πραγματοποιηθεί πριν την τελική εκτίμηση της πιθανότητας ρευστοποίησης του συγκεκριμένου εδαφικού σχηματισμού. Τα κριτήρια επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση ενός εδαφικού σχηματισμού είναι:

### **1) Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών**

Κορεσμένες, χαλαρές και ψαθυρές αποθέσεις παρουσιάζουν το μεγαλύτερο βαθμό επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση (Youd, 1998). Επειδή η πυκνότητα και ο βαθμός συγκόλλησης των εδαφών αυξάνονται με την πάροδο του χρόνου, η αύξηση της αντοχής έναντι ρευστοποίησης των σχηματισμών θα είναι ανάλογη της ηλικίας τους. Κατά συνέπεια νεώτερες αποθέσεις παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση από παλιότερες (Kramer, 1996).

### **2) Γεωμορφολογικά κριτήρια**

Σημαντικό ρόλο στην επιδεκτικότητα ρευστοποίησης ενός σχηματισμού παίζει επίσης το περιβάλλον απόθεσης του. Όταν οι συνθήκες επιτρέπουν την απόθεση ενός ομοιόμορφου ταξινομημένου σχηματισμού σε χαλαρή κατάσταση τότε αυτό



συνεπάγεται την υψηλή επιδεκτικότητα της απόθεσης. Έτσι λοιπόν ποτάμιες, κολλούβιες και αιολικές αποθέσεις είναι επιδεκτικές προς ρευστοποίηση όταν βρίσκονται σε κορεσμένο στάδιο (Kramer, 1996).

### **3) Υδροφόρος ορίζοντας**

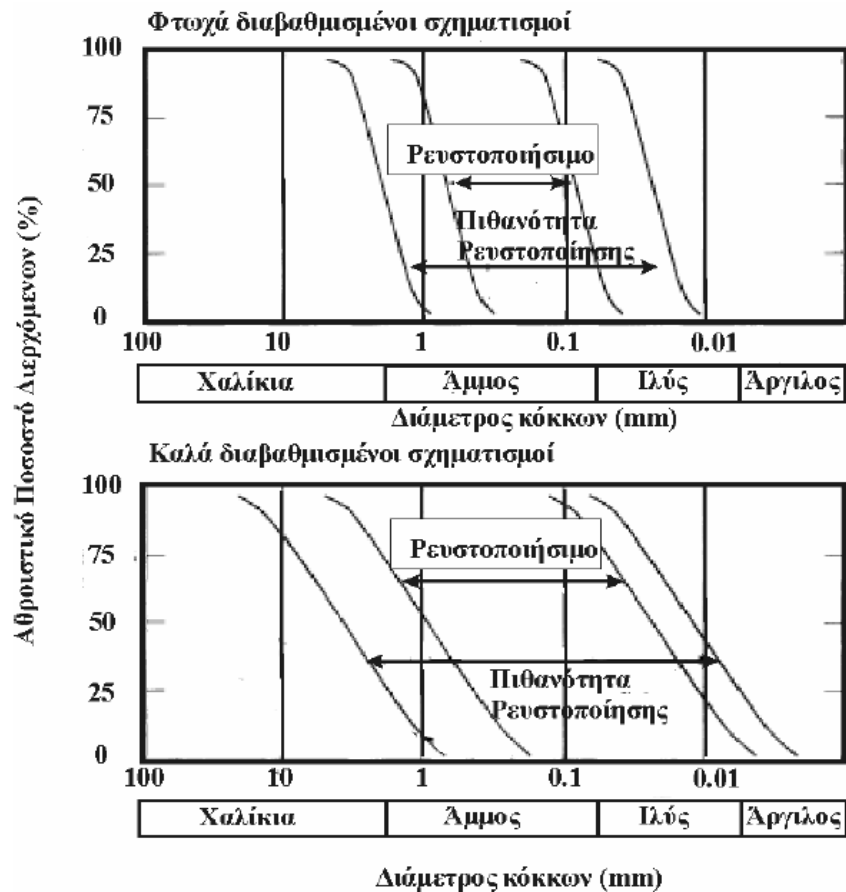
Όπως έχει αναφερθεί παραπάνω, απαραίτητη και αναγκαία προϋπόθεση για τη ρευστοποίηση ενός εδάφους είναι να βρίσκεται σε κορεσμένη κατάσταση, δηλαδή να βρίσκεται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα.

### **4) Σχετική πυκνότητα**

Εδαφικοί σχηματισμοί παρόμοιας κοκκομετρικής σύστασης είναι δυνατό να επιδεικνύουν διαφορετική συμπεριφορά ως προς την δυνατότητα ρευστοποίησης τους ανάλογα με την τιμή της σχετικής τους πυκνότητας. Όσο πιο χαλαρή είναι η διάταξη των κόκκων ενός εδάφους τόσο η τιμή του δείκτη πόρων είναι μεγαλύτερη και αντίστοιχα η τιμή της σχετικής πυκνότητας του  $D_r$  (%) είναι μικρότερη. Άμμοι που ταξινομούνται από χαλαρές έως πολύ χαλαρές είναι εν δυνάμει ρευστοποιήσιμες.

### **5) Κοκκομετρική σύσταση και φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών**

Καλά διαβαθμισμένα εδάφη είναι λιγότερο πιθανό να ρευστοποιηθούν σε σχέση με εδάφη ομοιόμορφης διαβάθμισης καθώς η πλήρωση των κενών μεταξύ των μεγαλύτερων κόκκων από μικρότερους κάτω από συνθήκες πλήρους αποστράγγισης έχει ως αποτέλεσμα την συμπύκνωση σε μικρότερο όμως ποσοστό και κατά συνέπεια μικρότερη τιμή υπερπίεσης πόρων υπό αστράγγιστες συνθήκες (Kramer, 1996). Όσον αφορά το σχήμα των κόκκων, είναι φανερό ότι εδάφη αποτελούμενα από στρογγυλοποιημένους κόκκους αυξάνουν την πυκνότητα τους σε μεγαλύτερο βαθμό από εδάφη με γωνιώδεις κόκκους. Επομένως, τα εδάφη αυτά παρουσιάζουν μεγαλύτερη επιδεκτικότητα προς ρευστοποίηση (Kramer, 1996). Μία πρώτη προσέγγιση της πιθανότητας ρευστοποίησης εδαφικών σχηματισμών ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύσταση, τόσο για υλικά με ομοιόμορφη όσο και με ανομοιόμορφη κατάταξη, εμφανίζεται στα σχήματα που ακολουθούν (Σχ 4.8).



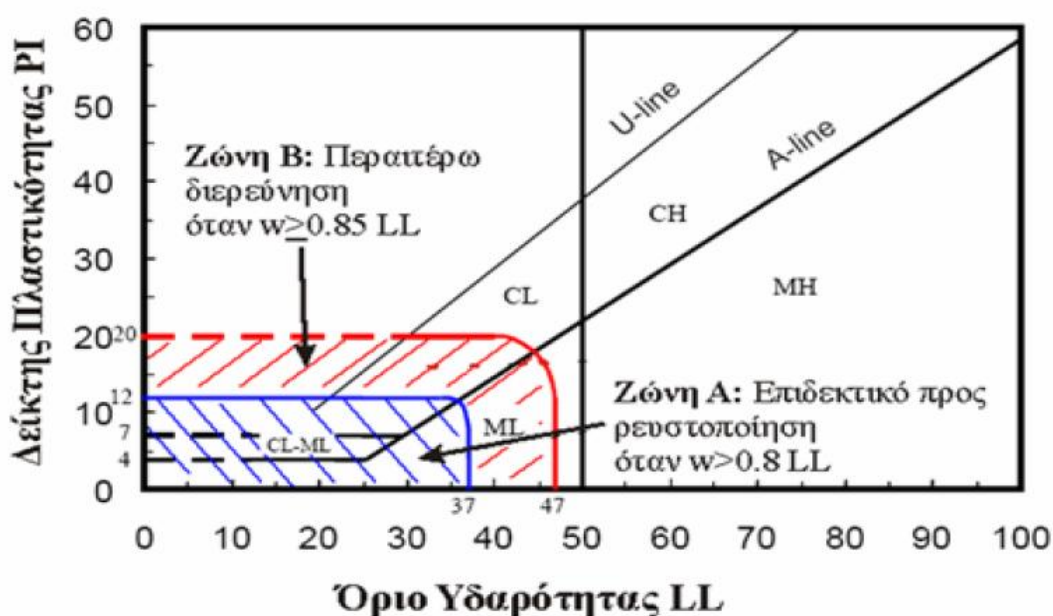
**Σχήμα 4.8:** Διάγραμμα πιθανότητας ρευστοποίησης εδαφών ανάλογα με την κοκκομετρική τους καμπύλη (τροποποιημένο από Tsuchida, 1971).

Η συμπεριφορά των λεπτόκοκκων και των αμμωδών εδαφών με υψηλό ποσοστό λεπτόκοκκων, αποτελούσε πάντα αντικείμενο επιστημονικών μελετών. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι Seed et al. (2003) διακρίνουν τρεις κατηγορίες επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση των εδαφικών σχηματισμών (Σχ. 4.9). Στην πρώτη κατηγορία ταξινομούνται εδάφη με δείκτη πλαστικότητας (PI) μικρότερο του 12 και όριο υδαρότητας (LL) μικρότερο του 37 ενώ η περιεχόμενη υγρασία τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 80% του LL. Τα εδάφη ονομάζονται εν δυνάμει ρευστοποιήσιμα και τοποθετούνται στη ζώνη A του διαγράμματος πλαστικότητας. Η δεύτερη κατηγορία (ζώνη B), περιλαμβάνει εδάφη των οποίων ο δείκτης πλαστικότητας δεν υπερβαίνει την τιμή 20 και το όριο υδαρότητας είναι μικρότερο του 37. Τα εδάφη αυτά θεωρούνται επιδεκτικά προς ρευστοποίηση όταν η περιεχόμενη υγρασία τους είναι μεγαλύτερη από το 85% της τιμής του LL αν και σύμφωνα με τους Seed et al. (2003), παρουσιάζουν πιο όλκιμη συμπεριφορά και ίσως δεν εμφανίσουν τόσο μεγάλες διαφορές στην τιμή της αντοχής

και της δυστημής τους. Τέλος τα εδάφη που ταξινομούνται στη ζώνη C του διαγράμματος πλαστικότητας θεωρούνται ως μη επιδεκτικά προς ρευστοποίηση και κατά συνέπεια δε συντρέχουν λόγοι περαιτέρω διερεύνησης του δυναμικού ρευστοποίησης αυτών.

Στην περιοχή της ζώνης B ταξινομείται και μια ειδική κατηγορία αργιλικών εδαφών, η παρουσία των οποίων σε μια περιοχή επιβάλλει τη διενέργεια περαιτέρω έρευνας. Αυτά τα εδάφη, τα οποία ονομάζονται «ευαίσθητα», είναι στην πλειοψηφία τους άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας CL, με μερικές εξαιρέσεις ιλύων χαμηλής πλαστικότητας ML, και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες ζημιές λόγω μείωσης της αντοχής τους κατά τη διάρκεια σεισμικών ανακυκλιζόμενων διατμητικών φορτίσεων. Τα κριτήρια τα οποία χρησιμοποιούνται από τους ερευνητές για την αναγνώριση τέτοιων εδαφών, σύμφωνα με τον Youd (1998), είναι τα παρακάτω:

- 1) Τιμή ευαισθησίας μεγαλύτερη του 4
- 2) Όριο Υδαρότητας μικρότερο του 40
- 3) Περιεχόμενη υγρασία μεγαλύτερη του 90% του LL και
- 4) Διορθωμένος αριθμός κρούσεων δοκιμής SPT  $(N_1)_{60}$  μικρότερος του 5



Σχήμα 4.9: Κριτήρια επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση εδαφικών σχηματισμών (τροποποιημένο από Seed et al., 2003).

## 6) Ιστορικά περιστατικά

Η καταγραφή ιστορικών εμφανίσεων ρευστοποίησης αποτελεί ακόμα ένα κριτήριο (Kramer, 1996) για τη διερεύνηση της επιδεκτικότητας προς ρευστοποίηση ενός εδάφους σε μια θέση στην ύπαιθρο. Σύμφωνα με τον Iwasaki (1986), το δυναμικό ρευστοποίησης των σχηματισμών μιας περιοχής στην οποία παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης κατά το παρελθόν είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο δυναμικό σε περιοχές όπου δεν καταγράφηκαν ιστορικά περιστατικά ρευστοποίησης.

Επιπτώσεις από την ρευστοποίηση εδάφους σε έναν αγωγό:

- Διάρρηξη αγωγού εξαιτίας οριζόντιας μετατόπισης (η οριζόντια μετατόπιση είναι κατολισθήσεις που προκαλούνται από την ρευστοποίηση εδάφους και εμφανίζονται σε πλαγιές με μικρή κλίση  $<3^\circ$ ).
- Διάρρηξη αγωγού εξαιτίας ολισθήσεων ροής: Οι ολισθήσεις ροής είναι κατολισθήσεις που μπορεί επίσης να προκληθούν από την ρευστοποίηση εδάφους. Παρουσιάζονται συνήθως σε πλαγιές με κλίση  $>3^\circ$ .
- Καθιζήσεις αγωγού: Μπορεί να προκληθούν από ταλάντωση του εδάφους που είναι χαρακτηριστική για περιπτώσεις σχεδόν πλήρως επίπεδου εδάφους. Η ταλάντωση εδάφους προκαλείται όταν γίνεται ρευστοποίηση σε μεγάλο βάθος, ή ανάμεσα σε έγκλειστα ρευστοποιημένα στρώματα.
- Προσωρινή απώλεια στήριξης: Η απώλεια της αντοχής του εδάφους που προκαλείται από την ρευστοποίηση μπορεί να προκαλέσει πλήρη απώλεια της εδαφικής στήριξης σε ένα σημαντικό μήκος της τάφρου του αγωγού για μια περιορισμένη χρονική περίοδο.
- Ελαφριά ανύψωση του αγωγού: Η επίπλευση του αγωγού μπορεί να προκύψει σε περιπτώσεις όπου ένας θαμμένος αγωγός βρίσκεται γύρω από ρευστοποιημένο έδαφος και το βάρος του αγωγού είναι μικρότερο από αυτό του μετατοπισμένου ρευστοποιημένου εδάφους.

Φαινόμενα ρευστοποίησης του εδάφους μπορούν να μετριάσθουν με την αύξηση της πυκνότητας και της αντοχής των αμμωδών υλικών, την πτώση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα ή την αντικατάσταση ρευστοποιήσιμων εδαφών. Η

οικονομική και περιβαλλοντική απόδοση αυτών των μέτρων είναι περιορισμένη, κατά κύριο λόγο στην επιφάνεια του εδάφους, κοντά σε στρώματα ρευστοποιήσιμων εδαφικών αποθέσεων και τοπικά περιορισμένες περιοχές υψηλού υδροφόρου ορίζοντα. Για τον μετριασμό των επιπτώσεων που οφείλονται σε πιθανή ρευστοποίηση σε περιοχές διέλευσης ποταμών (βλ. Κεφ. 4.3.4), μπορούν να σχεδιαστούν διασταυρώσεις χωρίς εκσκαφές με διέλευση του αγωγού κάτω από ρευστοποιήσιμες εδαφικές αποθέσεις.

#### **4.2.4 Καρστικές περιοχές**

Καρστ είναι ο γεωμορφολογικός όρος, που περιγράφει έναν ιδιαίτερο τύπο επιφανειακής και υπόγειας μορφολογίας, ο οποίος προκύπτει από τη διαλυτική δράση του νερού σε ανθρακικά πετρώματα, όπως ο ασβεστόλιθος, το μάρμαρο και η γύψος. Το καρστ περιλαμβάνει ένα σύμπλεγμα επιφανειακών και υπόγειων καρστικών μορφών που εμφανίζουν ιδιαίτερα γεωμορφολογικά και υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά.

Ο GEZE, B. (1973) δίνει για το κάρστ τον ακόλουθο ορισμό: περιοχή συνιστάμενη από ανθρακικά πετρώματα, συμπαγή και διαλυτά, στα οποία εμφανίζονται χαρακτηριστικές επιφανειακές και υπόγειες μορφές.

Χρησιμοποιείται συχνά και ο όρος καρστικοποίηση, μ' αυτόν κατά τον GEZE, B. (1973) εννοείται το σύνολο των διαδικασιών γενέσεως και εξελίξεως των επιφανειακών και υπόγειων μορφών μέσα σε μια περιοχή ανθρακικών πετρωμάτων. Με άλλα λόγια εννοείται η διαδικασία και το αποτέλεσμα της καρστικής διάβρωσης.

Καρστικοποίηση ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το νερό της βροχής εμπλουτίζεται με CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα και ως ασθενές ανθρακικό οξύ (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) προσβάλλει χημικά τους ασβεστόλιθους ή τους δολομίτες και παράγεται ευδιάλυτο όξινο ανθρακικό ασβέστιο, με αποτέλεσμα να διαλύονται τα ανθρακικά πετρώματα και να σχηματίζονται χαρακτηριστικές μορφές αποσάθρωσης τόσο εξωτερικά όσο και εσωτερικά (Σούλιος, 2004).

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του κάρστ έχουν να κάνουν με τις κλιματολογικές, γεωλογικές, γεωμορφολογικές και τεκτονικές συνθήκες της περιοχής. Επίσης η καθαρότητα των ανθρακικών πετρωμάτων σε ευδιάλυτα ορυκτά είναι ο κυριότερος παράγοντας ανάπτυξης του κάρστ. Η παρουσία δυσδιάλυτων ορυκτών επηρεάζει την ομοιογένεια και την ισοτροπία των ανθρακικών πετρωμάτων

με αποτέλεσμα τα πετρώματα να υφίσταται διαφορετικό βαθμό καρστικοποίησης από περιοχή σε περιοχή. Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η μορφολογία των ανθρακικών πετρωμάτων όπως το πάχος και η εκτασή τους. Αν για παράδειγμα ο ασβεστόλιθος εμφανίζεται παχυστρωματώδης και άστρωτος αναπτύσσονται κυρίως δολίνες, αντίθετα αναπτύσσονται ουβάλες. Τέλος η τεκτονική καταπόνηση των ανθρακικών πετρωμάτων ευνοεί την ανάπτυξη καρστικών φαινομένων καθώς τα έντονα τεκτονισμένα πετρώματα φέρουν έντονες διαρρήξεις, μέσα από τις οποίες περνάει το νερό και διαλύει μεγαλύτερη επιφάνεια πετρώματος.

Τα καρστικά πετρώματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στη δράση του νερού είναι:

- Οι ασβεστόλιθοι ( $\text{CaCO}_3$ ), οι οποίοι καλύπτουν το 10-20% της επιφάνειας της γης.
- Οι δολομίτες ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), οι οποίοι σε αντίθεση με τους ασβεστόλιθους, καρστικοποιούνται με μεγαλύτερο βαθμό δυσκολίας.
- Η γύψος ( $\text{CaSO}_4$ ), η οποία αναπτύσσεται σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον.
- Ο ανυδρίτης, ο οποίος μαζί με τη γύψο είναι ιδιαίτερα διαλυτοί.
- Τα αλατούχα πετρώματα, τα οποία υπάρχουν σε ξηρές περιοχές της επιφάνειας της γης, αποτελούν από τα πιο ευδιαλυτά πετρώματα.
- Τα ανθρακικά μεταμορφωμένα πετρώματα (μάρμαρο).
- Τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία περιέχουν ανθρακικά ορυκτά, όπως τα κλαστικά ιζήματα.

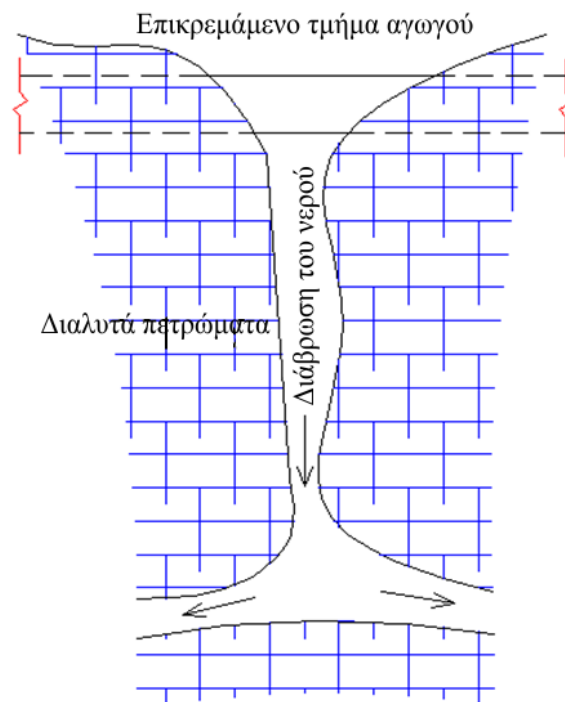
Η επίδραση του καρστ στους αγωγούς μπορεί να διακριθεί σε:

- **Παραμόρφωση αγωγού λόγω καταβύθισης:** Η καρστική καταβύθιση σχηματίζεται στην εδαφική κάλυψη που βρίσκεται επάνω από καρστικά πετρώματα, λόγω της έκπλυσης του εδάφους στις σχισμές του εδαφικού υποβάθρου.
- **Απώλεια στήριξης,** δηλαδή απώλεια των εδαφικών στηριγμάτων σε περίπτωση όπου μια κατάρρευση απομακρύνει το εδαφικό υλικό σε σημαντικό μήκος της τάφρου του αγωγού.
- **Θραύση αγωγού** σε περίπτωση όπου τα τοιχώματα του αγωγού δεν μπορούν να αντέξουν την παραμόρφωση που προκαλείται από την

απώλεια της εδαφικής υποστήριξης κατά μήκος μια εδαφικής κατακρήμνισης που προκαλείται από καταβύθιση ή κατάρρευση.

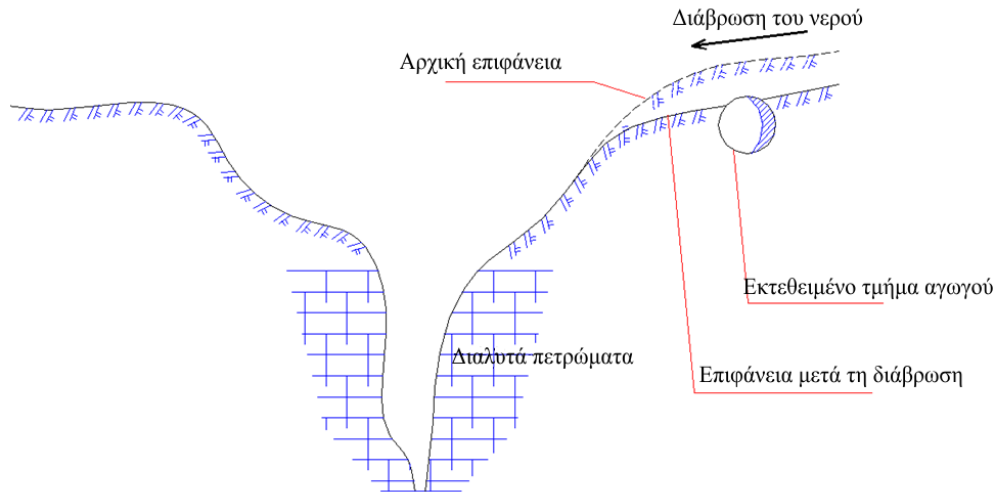
Σύμφωνα με τον Wang, H. (2013) οι κίνδυνοι των καρστικών περιοχών στους αγωγούς εκδηλώνονται ως εναιώρηση (suspension), διάβρωση και παραμόρφωση κάμψης.

**Εναιώρηση.** Τέτοιου είδους κίνδυνος παρουσιάζεται όταν δεν ληφθούν μέτρα προστασίας για τους αγωγούς που περνούν μέσα από καρστικά φρέατα, καταβόθρες και στόμια σπηλιέων (Σχ. 4.10).



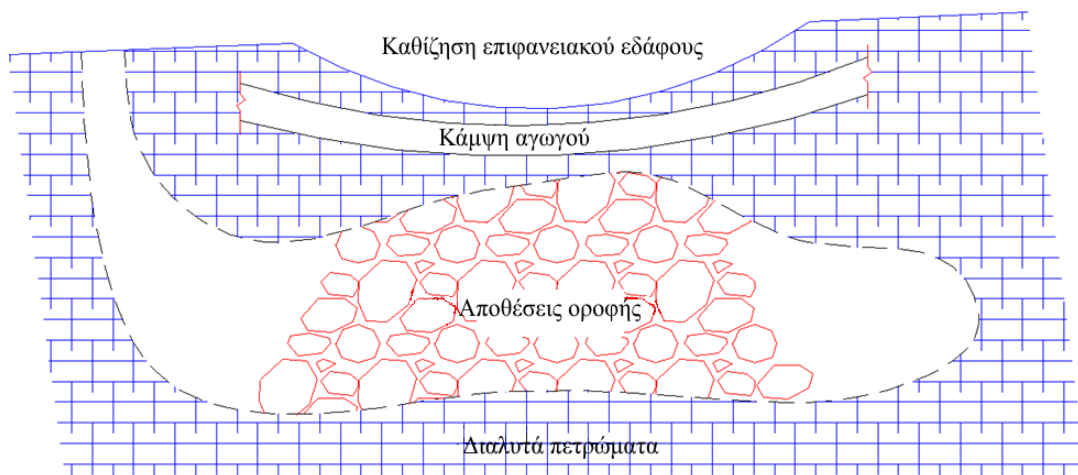
**Σχήμα 4.10:** Εναιώρηση αγωγού σε καταβόθρα (από Wang H., 2013).

**Διάβρωση.** Ως αποτέλεσμα των χημικών δραστηριοτήτων των υπογείων υδάτων ή της απόφραξης του αποβαλλόμενου νερού του σπηλαιίου από τα επιφανειακά ύδατα, οι αγωγοί μπορεί να υπόκεινται σε τέτοιου είδους κινδύνους, όπως ανάβλυσαι νερού από τη βάση του αγωγού, απώλεια του εδαφικού καλύμματος στην κορυφή του αγωγού, πλημμύρισμα αγωγού και διάβρωση (Σχ. 4.11).



**Σχήμα 4.11:** Αγωγός υποκείμενος σε διάβρωση σε μια καρστική χοάνη (από Wang H., 2013).

**Παραμόρφωση κάμψης.** Ο ίδιος ο αγωγός ή οι δευτερεύουσες δομές του μπορεί να υπόκεινται σε αστάθεια και βύθιση, λόγω της καθίζησης της επιφάνειας του εδάφους που προκύπτει από την κατάρρευση της οροφής σε υπόγειες καρστικές κοιλότητες (Σχ. 4.12).



**Σχήμα 4.12:** Κίνδυνος κατάρρευσης καρστικής οροφής (από Wang H., 2013).



## 4.3 ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΙΣ ΜΕ ΚΥΡΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΕΡΓΑ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΑ ΕΜΠΟΔΙΑ

### 4.3.1 Εισαγωγή

Ένα μεγάλο πρόβλημα στη χάραξη και κατασκευή ενός αγωγού είναι οι διασταυρώσεις με άλλα γραμμικά έργα, όπως αυτοκινητόδρομους και σιδηροδρομικές γραμμές, καθώς και στις διασταυρώσεις του με φυσικά εμπόδια όπως υδρογραφικούς άξονες (ποτάμια, ρέματα κ.α.) και όγκους ύδατος (λίμνες, ταμιευτήρες, δεξαμενές κ.α.). Στις περιπτώσεις αυτές πρέπει να προστατευτεί και ο αγωγός αλλά και το έργο και το φυσικό περιβάλλον από τα προβλήματα που πιθανόν να προκύψουν. Είναι γνωστό ότι ούτε η κυκλοφορία μπορεί να διακοπεί σε ένα σημαντικό έργο, ούτε είναι ανεκτή η οποιαδήποτε καθίζηση του εδάφους σε αυτό, ιδιαίτερα αν πρόκειται για σιδηροδρομική γραμμή. Έτσι, εφαρμόζονται κάποιες ιδιαίτερες τεχνικές για την διέλευση του αγωγού.

Για να ελαχιστοποιηθεί το κόστος κατασκευής, η μέθοδος open-cut (ανοιχτή εκσκαφή ορύγματος) για την τοποθέτηση του αγωγού χρησιμοποιείται γενικά σε αγροτικές και απόμερες περιοχές, εκτός εάν οι αγωγοί πρέπει να διασχίσουν ποτάμια, λίμνες, δρόμους, και άλλα εμπόδια. Όταν ένας αγωγός πρέπει να διασχίσει αυτά τα εμπόδια, δεν είναι πλέον εφικτή ή πρακτική να χρησιμοποιήσουμε τη μέθοδο open-cut. Αντ' αυτού, πρέπει κανείς να εξετάσει άλλες εναλλακτικές λύσεις, όπως η αλλαγή της χάραξης του αγωγού, χρησιμοποιώντας ή κατασκευάζοντας μια γέφυρα (για διάβαση ποταμού), και οι υπόγειες κατασκευές - διάτρηση οπής και διάνοιξη σήραγγας. Χάρη των εξελίξεων στη διάτρηση οπών/διάνοιξη σηράγγων, είναι όλο και πιο εφικτή η εγκαταστασή υπόγειων αγωγών σε εκτάσεις μεγάλου μήκους, με ένα λογικό κόστος, χωρίς τη χρήση της ανοιχτής εκσκαφής. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών μειώνει σημαντικά το χάος που προκαλείται από την ανοιχτή μέθοδο εκσκαφής σε αστικές περιοχές, καθώς και σε περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές. Αυτές οι τεχνολογίες ονομάζονται trenchless technologies (τεχνολογίες εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος) για να τονίσουν το κύριο όφελος τους που είναι η αποφυγή της διάνοιξης μεγάλου μήκους ορυγμάτων για την εγκατάσταση ή την επισκευή αγωγών.

#### 4.3.2 Τεχνολογίες εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος (Trenchless Technologies)

Τα συστήματα διάτρησης διακρίνονται σε:

- **Σύστημα συνεχώς ελεγχόμενης κατεύθυνσης-Τηλεχειριζόμενο σύστημα.** Ως σύστημα «συνεχώς ελεγχόμενης κατεύθυνσης» νοείται το σύστημα το οποίο έχει την δυνατότητα συνεχούς εξακρίβωσης της θέσης του μετώπου προσβολής και αλλαγής της χάραξης κατά την διάρκεια της όρυξης.
- **Μη κατευθυνόμενα και περιορισμένα κατευθυνόμενα συστήματα διάτρησης.** Πεδίο εφαρμογής: Εφαρμόζονται μόνο για ευθύγραμμα τμήματα δικτύων. Η θέση διάτρησης και η κατεύθυνση ρυθμίζονται πριν την έναρξη των εργασιών, από το φρέαρ εκκίνησης. Ανάλογα με το εφαρμοζόμενο σύστημα απαιτείται και ο καταλλήλος βοηθητικός εξοπλισμός. Για την εφαρμογή των μη καθοδηγούμενων μεθόδων απαιτείται λεπτομερής έρευνα τόσο για την ακριβή θέση των υφιστάμενων υπόγειων δικτύων, όσο και για τα χαρακτηριστικά και την σύσταση του εδάφους ώστε να είναι δυνατόν να καθορισθεί η ακριβής πορεία του ορύγματος πριν την έναρξη των εργασιών.

#### Α) Εγκατάσταση υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος με εφαρμογή μεθόδων μετατόπισης του εδαφικού υλικού.

Οι μέθοδοι και ο τρόπος λειτουργίας των εφαρμοζόμενων συνήθως συστημάτων μετατόπισης εδάφους είναι:

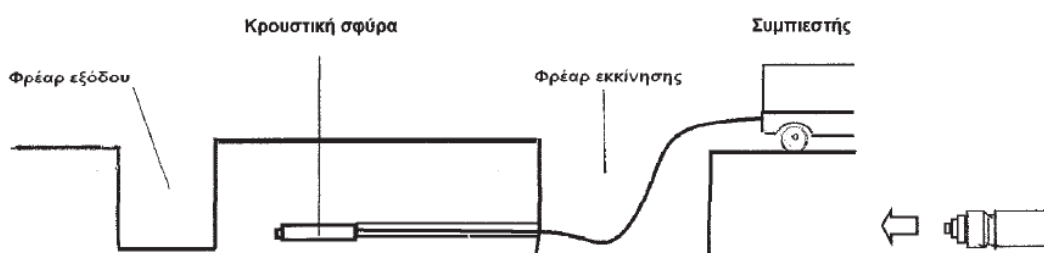
##### **1. Κρουστική διάνοιξη οπής «σφύρας μετατόπισης εδάφους» (Impact Moling).**

Πεδίο εφαρμογής: Το σύστημα της σφύρας μετατόπισης εδάφους (Σχ. 4.13) (Soil Displacement Hammer ή Impact Moling) εφαρμόζεται συνήθως ως μη καθοδηγούμενο σύστημα. Το σύστημα μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες συνθήκες εδάφους και ειδικότερα σε εδάφη μέσης συμπίεσης και περιεκτικότητας σε νερό.

Η διάνοιξη του υπογείου ορύγματος με μετατόπιση εδάφους γίνεται με χρήση εξοπλισμού αποτελούμενου από πνευματικό έμβολο εντός κατάλληλου μεταλλικού περιβλήματος συνήθως κωνικής μορφής.

Με την λειτουργία του εμβόλου (επαναλαμβανόμενες κρούσεις) προχωρά η κεφαλή μέσω του εδάφους και διανοίγεται οπή με πλευρική μετατόπιση και συμπίεση του εδάφους. Ο εξοπλισμός δεν απαιτεί άκαμπτη σύνδεση με το φρέαρ εκκίνησης.

Η τοποθέτηση του δικτύου γίνεται συνήθως μετά την ολοκλήρωση της διάνοιξης. Μπορεί όμως να τοποθετείται και συγχρόνος με την διάνοιξη με έλξη ιδιαίτερα σε χαλαρά, μη αυτοστηριζόμενα εδάφη.

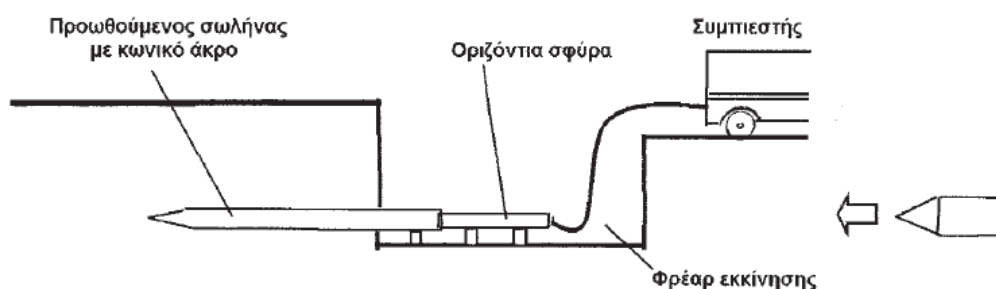


**Σχήμα 4.13:** Σχηματική απεικόνιση συστήματος «σφύρας μετατόπισης εδάφους».

## 2. Δυναμική διείσδυση κλειστού σωλήνα (Pipe Ramming).

Πεδίο εφαρμογής: Το σύστημα εφαρμόζεται συνήθως ως μη καθοδηγούμενο σύστημα.

Η διάνοιξη του ορύγματος γίνεται μέσω διείσδυσης κλειστού χαλυβδοσωλήνα (Σχ. 4.14) και επιτυγχάνεται με πλευρική μετατόπιση και συμπίεση του εδάφους, με χρήση σφύρας (πνευματικής ή υδραυλικής) ή υδραυλικών εμβόλων.

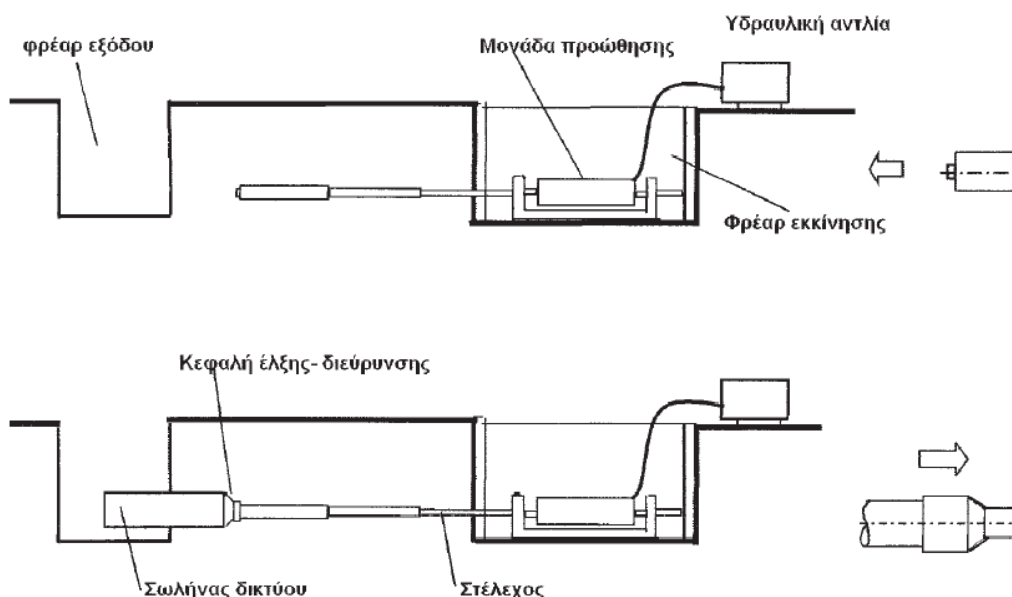


**Σχήμα 4.14:** Σχηματική απεικόνιση συστήματος «δυναμικής διείσδυσης κλειστού σωλήνα».

## 3. Διάτρηση πιλοτικής οπής (Thrust Boring).

Πεδίο εφαρμογής: Το σύστημα (Σχ. 4.15) εφαρμόζεται είτε ως μη καθοδηγούμενο (Thrust Boring) είτε ως καθοδηγούμενο (Pilot Boring).

Αφορά υδραυλική προώθηση πιλοτικής ράβδου εντός του εδάφους. Κατά την αφαίρεση της πιλοτικής ράβδου, έλκεται συγχρόνος ο αγωγός του δικτύου από το φρέαρ εξόδου προς το φρέαρ εκκίνησης, με ταυτόχρονη διεύρυνση της οπής με κατάλληλη κεφαλή προσαρμοσμένη στο άκρο του αγωγού.



**Σχήμα 4.15:** Σχηματική απεικόνιση συστήματος «διάτρησης πιλοτικής οπής».

Η μέθοδος μετατόπισης εδάφους είναι γενικά κατάλληλη για εδάφη που μπορούν να συμπιεστούν ή μετατοπιστούν και για μικρές διαμέτρους δικτύων.

**B) Εγκατάσταση υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος με εφαρμογή μεθόδων αφαίρεσης του εδαφικού υλικού.**

Οι μέθοδοι και ο τρόπος λειτουργίας των εφαρμοζόμενων συνήθως συστημάτων αφαίρεσης εδάφους είναι:

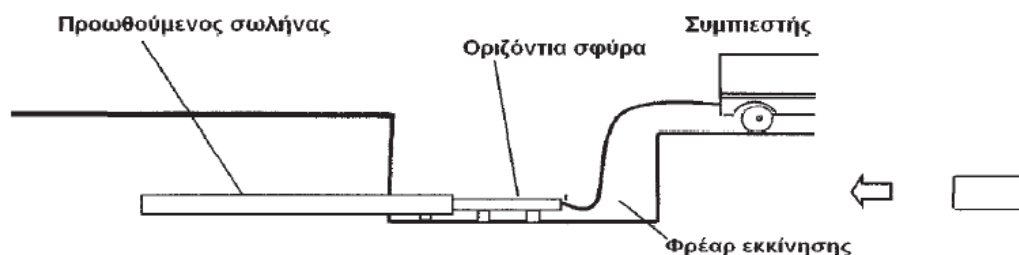
**1. Έμπηξη ανοιχτού σωλήνα με σφύρα (Pipe Ramming).**

Η μέθοδος συνίσταται στην διάνοιξη υπογείου ορύγματος με έμπηξη χαλυβδοσωλήνα επένδυσης ή παραγωγικού (δικτύου) με ανοιχτό άκρο μέσω εξωτερικής κρουστικής σφύρας (Σχ. 4.16) και αφαίρεση του εδάφους, είτε συγχρόνως με την διεύρυνση του σωλήνα είτε σε επόμενη φάση.

Ο εξοπλισμός έμπηξης (σφύρα) προσαρμόζεται στο πίσω μέρος του σωλήνα και τον οδηγεί εντός του εδάφους με επαναλαμβανόμενες κρούσεις.

Η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής από το εσωτερικό του σωλήνα γίνεται είτε μηχανικά, όπως με πεπιεσμένο αέρα, εκτόξευση νερού ή με μεταφορικό κοχλία, είτε χειρωνακτικά σε περιπτώσεις μεγάλης εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα επένδυσης.

Το σύστημα χρησιμοποιείται συνήθως για διάβαση δικτύου κάτω από οδούς, τροchioδρόμους και γενικώς επιχώματα συγκοινωνιακών έργων.



**Σχήμα 4.16:** Σχηματική απεικόνιση συστήματος έμπηξης ανοιχτού σωλήνα με σφύρα.

Τα συστήματα υδραυλικής προώθησης σωλήνα και δυναμικής έμπηξης με σφύρα, με ταυτόχρονη ή περιοδική αφαίρεση εδάφους, ενδείκνυται γενικά για την εγκατάσταση δικτύων μεγάλης διαμέτρου.

## **2. Υδραυλική προώθηση σωλήνα (Pipe Jacking).**

Η μέθοδος συνίσταται στην διάνοιξη υπογείου ορύγματος με την προώθηση των σωλήνων επένδυσης ή δικτύου μέσω υδραυλικών εμβόλων (γρύλων) από φρέαρ εκκίνησης. Τα υδραυλικά έμβολα στηρίζονται σε ειδικά διαμορφωμένο σώμα έδρασης για την μεταφορά των φορτίων ώθησης στο έδαφος.

Η εκσκαφή και αποκομιδή των προϊόντων μπορεί να γίνει είτε χειρωνακτικά είτε με μηχανικά μέσα.

Το σύστημα συνδυάζεται συνήθως με ταυτόχρονη μηχανική εκσκαφή του μετώπου και μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής με μεταφορικό κοχλία (ξήρη μεταφορά) ή με ρεύμα νερού ή με μηχανήμα ολομέτωπης κοπής.

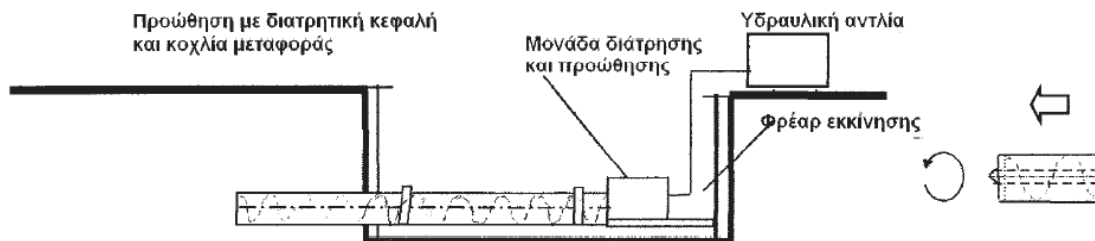
Για την κατανομή των φορτίων προώθησης κατά μήκος του σωλήνα ώστε να αποφευχθεί η υπέρβαση των φορτίων σχεδιασμού του ή για την ολοκλήρωση της εργασίας όταν η ισχύς του εξοπλισμού προώθησης δεν επαρκεί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδιάμεσοι σταθμοί προώθησης (Intermediate Jacking Station).

### 3. Διάνοιξη με κοχλία (Auger Boring).

Διακρίνεται σε μη κατευθυνόμενη διάνοιξη (Auger Boring) και κατευθυνόμενη διάνοιξη (Guided Auger Boring).

#### Μη κατευθυνόμενη διάνοιξη κοχλία (Auger Boring)

Η μέθοδος (Σχ. 4.17) συνίσταται στην υδραυλική προώθηση του σωλήνα επένδυσης ή του παραγωγικού, με ταυτόχρονη εκσκαφή του μετώπου μέσω περιστρεφόμενης διατρητικής κεφαλής και συνεχή μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής με μεταφορικό κοχλία.



**Σχήμα 4.17:** Σχηματική απεικόνιση μη καθοδηγούμενου συστήματος διάνοιξης κοχλία (Auger Boring).

#### Κατευθυνόμενη διάνοιξη κοχλία (Guided Auger Boring)

Η μέθοδος της κατευθυνόμενης διάνοιξης κοχλία είναι παρόμοια της μεθόδου «τεχνικής μικροσηράγγων» με την διαφορά ότι ο μηχανισμός ενεργοποίησης του συστήματος καθοδήγησης βρίσκεται στον άξονα μετάδοσης της κίνησης.

Ο όρος «κατευθυνόμενη διάνοιξη κοχλία» χρησιμοποιείται επίσης για το σύστημα διάνοιξης κοχλία όταν υπάρχει άρθρωση του προωθούμενου σωλήνα κοντά στην κοπτική κεφαλή η οποία ενεργοποιείται μέσω μοχλών από το φρέαρ εκκίνησης.

### 4. Κατευθυνόμενη διάτρηση (Directional Drilling ή Guided Boring)

Διακρίνεται σε κατευθυνόμενη διάτρηση ή οριζόντια κατευθυνόμενη διάτρηση (Horizontal Directional Drilling). Η μέθοδος συνίσταται σε κατευθυνόμενη διάνοιξη πιλοτικής οπής και στην συνέχεια διεύρυνση της στην τελική διάμετρο, με κεφαλή διεύρυνσης (σε μία ή περισσότερες διελεύσεις) ή με κοπτική κεφαλή και μεταφορικό κοχλία, τα οποία συνδέονται πίσω από τα στελέχη της πιλοτικής οπής όταν ο εξοπλισμός διάτρησης φθάσει στο φρέαρ εξόδου.

Η κατευθυνόμενη διάτρηση μπορεί να εφαρμοστεί είτε μεταξύ φρεάτων εκκίνησης και εξόδου (οριζόντια), είτε από την επιφάνεια του εδάφους με

τοποθέτηση του εξοπλισμού έτσι ώστε η διάτρηση του εδάφους να γίνεται υπό γωνία προς την οριζόντια (χάραξη αβαθούς τόξου).

Ο εξοπλισμός της κατευθυνόμενης διάτρησης λειτουργεί συνήθως με υγρό διάτρησης για την λίπανση της διατρητικής κεφαλής, την μεταφορά των προϊόντων εκσκαφής στο σημείο εκκίνησης και την σταθεροποίηση της οπής πριν την διεύρυνση, ή με πεπιεσμένο αέρα χωρίς υγρό.

### **5. Τεχνική μικροσηράγγων (Microtunneling)**

Η μέθοδος συνίσταται σε διάνοιξη μικροσήραγγας, υδραυλική προώθηση σωλήνα και συνεχή υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής με χρήση εξοπλισμού κατευθυνόμενου με τηλεχειρισμό.

Η διάνοιξη του υπογείου ορύγματος γίνεται με χρήση τηλεχειριζόμενου MTBM (Σχ. 4.18) (Micro Tunneling Boring Machine) με αρθρωτή κεφαλή, ταυτόχρονη εγκατάσταση σωλήνα, ταυτόχρονη αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής και συνεχή υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής.

Ο εξοπλισμός, ανάλογα με τον τρόπο αντιστάθμισης των εδαφικών και υδροστατικών πιέσεων του μετώπου (αποκατάσταση ισορροπίας μεταξύ των πιέσεων του μετώπου και της πίεσης που ασκείται από την κεφαλή στο μέτωπο), διακρίνεται σε:

- Εξοπλισμό «αντιστάθμισης πιέσεων με υλικό εκσκαφής» ή «αντιστάθμισης πιέσεων με επιβολή θετικής δύναμης» (Earth Pressure Balance). Με αυτό τον τύπο MTBM η συνεχής υποστήριξη του μετώπου εκσκαφής γίνεται μέσω της πίεσης που ασκείται επ' αυτού με υλικά εκσκαφής στο «θάλαμο κεφαλής».
- Εξοπλισμός «αντιστάθμισης πιέσεων με πολφό» (Slurry). Με αυτό τον τύπο MTBM η αντιστάθμιση των πιέσεων του μετώπου εκσκαφής και των υπογείων υδάτων γίνεται μέσω της πίεσης που ασκείται επ' αυτού με διάλυμα μπεντονίτη ή μίγμα νερού με υλικά εκσκαφής στο «θάλαμο κεφαλής».
- Εξοπλισμός «αντιστάθμισης πιέσεων με πεπιεσμένο αέρα» (Compressed Air). Με αυτό τον τύπο MTBM η αντιστάθμιση των πιέσεων του μετώπου εκσκαφής και των υπογείων υδάτων επιτυγχάνεται με πιεσμένο αέρα στο «θάλαμο κεφαλής».



**Σχήμα 4.18:** Ειδική τηλεκατευθυνόμενη μηχανή (MTBM) και φρεάτιο διάτρησης για κατασκευή μικροσήραγγας.

Υπάρχει και εξοπλισμός «μικτού τύπου» που λειτουργεί με συνδυασμό των παραπάνω τεχνικών (π.χ. συστήματα MTBM πολφού και πεπιεσμένου αέρα).

Η αποκομιδή των προϊόντων εκσκαφής γίνεται είτε υδραυλικά είτε μηχανικά, ανάλογα και με την χρησιμοποιούμενη μέθοδο αντιστήριξης του μετώπου.

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος οφείλεται στους εξής λόγους: (1) λιγότερη ζημιά σε δρόμους και ελάχιστη διακοπή της υπέργειας κυκλοφορίας σε σχέση με την κατασκευή ανοιχτής εκσκαφής, (2) λιγότερη ατμοσφαιρική ρύπανση και λιγότερος θόρυβος που προκαλείται κατά τη διάρκεια της κατασκευής σε σχέση με την μέθοδο ανοιχτής εκσκαφής, (3) βαθύτερη τοποθέτηση των σωλήνων από ότι στις ανοιχτές εκσκαφές, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα της τυχαίας ζημιάς στο σωλήνα από άλλες κατασκευαστικές δραστηριότητες, (4) πιο οικονομική από ότι η μέθοδος ανοιχτής εκσκαφής σε πολλές περιπτώσεις, όταν η ζημιά σε άλλες δομές με ανοιχτή εκσκαφή λαμβάνεται υπόψη, και (5) πιο κατάλληλη για δύσκολες συνθήκες εδάφους, όπως ασταθή εδάφη, υψηλός υδροφόρος ορίζοντας, ή όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με άλλα δίκτυα κοινής ωφέλειας. Παρά τα πλεονεκτήματα και την ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών, η δυνατότητα εφαρμογής τους θα πρέπει να διατηρείται στη σωστή της διάσταση. Θα πρέπει να αντιληφθούμε ότι τεχνολογίες εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος είναι οικονομικές και πρακτικές μόνο σε αστικές και άλλες πυκνοκατοικημένες περιοχές, καθώς και στις υπαίθριες και απομακρυσμένες περιοχές όπου οι αγωγοί πρέπει να περάσουν σημαντικά εμπόδια, όπως δρόμους, αεροδρόμια, μεγάλα κτίρια, εργοστάσια, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ποτάμια, βουνά, εθνικά μνημεία, και περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές. Δεν είναι ούτε



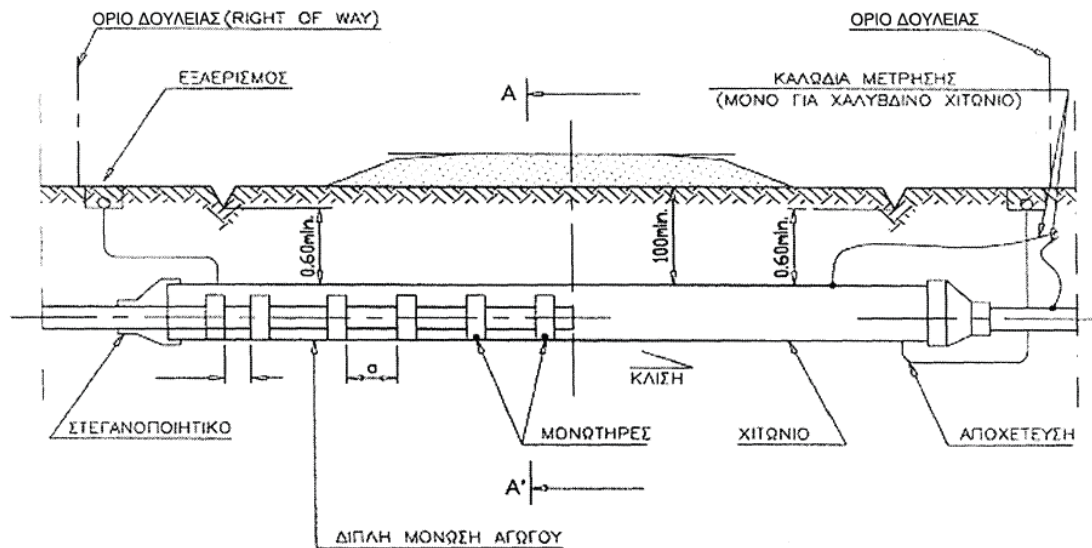
πρακτικό ούτε οικονομικό να χρησιμοποιούνται τέτοιες κατασκευές υπογείων δικτύων για νέους αγωγούς κατά μήκος της υπαίθρου, όπου οι ανοιχτές εκσκαφές μπορούν να γίνουν με ένα κλάσμα του κόστους και με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι οι τεχνολογίες εγκατάστασης υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος, εκτός εάν και έως ότου οι μελλοντικές εξελίξεις της τεχνολογίας μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική περαιτέρω μείωση του κόστους της κατασκευής υπογείων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος σε επίπεδο συγκρίσιμο με εκείνο της ανοικτής εκσκαφής (Liu, H. 2003).

### 4.3.3 Κύρια γραμμικά έργα

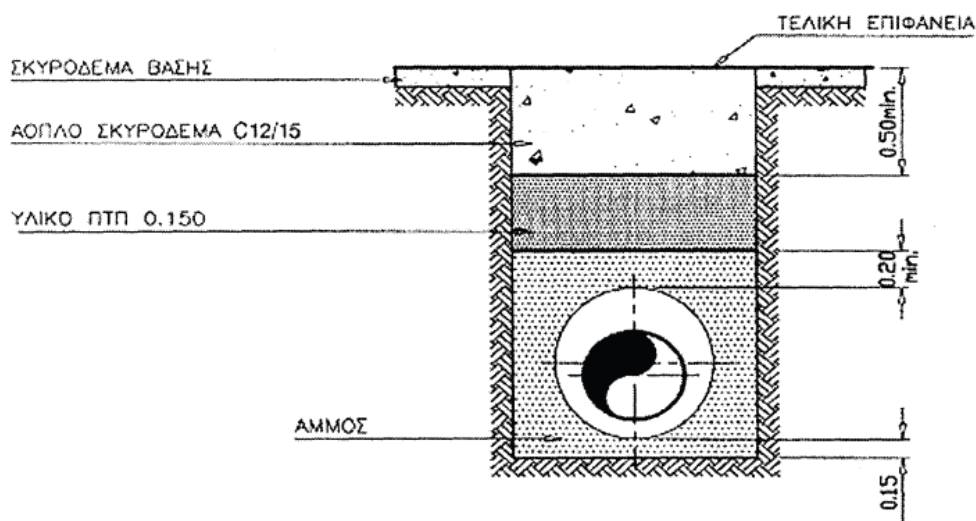
#### Δρόμοι

Σε περιοχές όπου ο αγωγός διασχίζει κύριες οδούς και αυτοκινητοδρόμους, η διέλευση επιτυγχάνεται με χρήση της μεθόδου ανοιχτής εκσκαφής (με ή χωρίς χιτώνιο) ή της τεχνικής οριζόντιας διάτρησης με χαλύβδινο προστατευτικό χιτώνιο (Auger Boring). Η μέθοδος που χρησιμοποιείται κυρίως είναι η οριζόντια διάτρηση η οποία είναι και η μέθοδος με τη λιγότερη όχληση (Σχ. 4.19), αλλά η τεχνική αυτή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε περιοχές όπου υπάρχουν ογκόλιθοι ή πετρώδες έδαφος ή για διασταυρώσεις μεγαλύτερες από περίπου 60 m. Κατά την οριζόντια διάτρηση ανοίγονται δύο φρέατα, ένα φρέαρ εκκίνησης και ένα φρέαρ εξόδου, τα οποία δεν πρέπει να απέχουν λιγότερο από 2 m από την άκρη του δρόμου και όχι λιγότερο από 1 m από τα έρεισματα του δρόμου, επίσης το βάθος διάτρησης πρέπει να απέχει τουλάχιστον 1.2 m από τη βάση του δρόμου.

Σε αντίθεση όταν ο αγωγός διασχίζει δευτερεύουσες οδούς και αγροτικούς δρόμους, η διέλευση επιτυγχάνεται με τη χρήση της μεθόδου ανοιχτής εκσκαφής (Σχ. 4.20). Η μέθοδος ανοιχτής εκσκαφής προϋποθέτει την προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας και τη δημιουργία παρακαμπτήριων οδών. Στις περιπτώσεις που δεν υπάρχει μια εύλογη παράκαμψη, αφήνεται ανοιχτή τουλάχιστον μια λωρίδα κυκλοφορίας έκτος από μια σύντομη περίοδο που κλείνει ολή η οδός για την τοποθέτηση του αγωγού, για να ελαχιστοποιηθεί η διάρκεια της διακοπής της κυκλοφορίας ο αγωγός θα πρέπει να προκατασκευαστεί πριν από την έναρξη της εκσκαφής του οδοστρώματος. Η διάνοιξη και αποκατάσταση της οδού στις περισσότερες περιπτώσεις διαρκεί μερικές εβδομάδες, αναλόγα με τον συντελεστή στερεοποίησης του εδάφους από την φόρτηση του λόγω συμπύκνωσης.



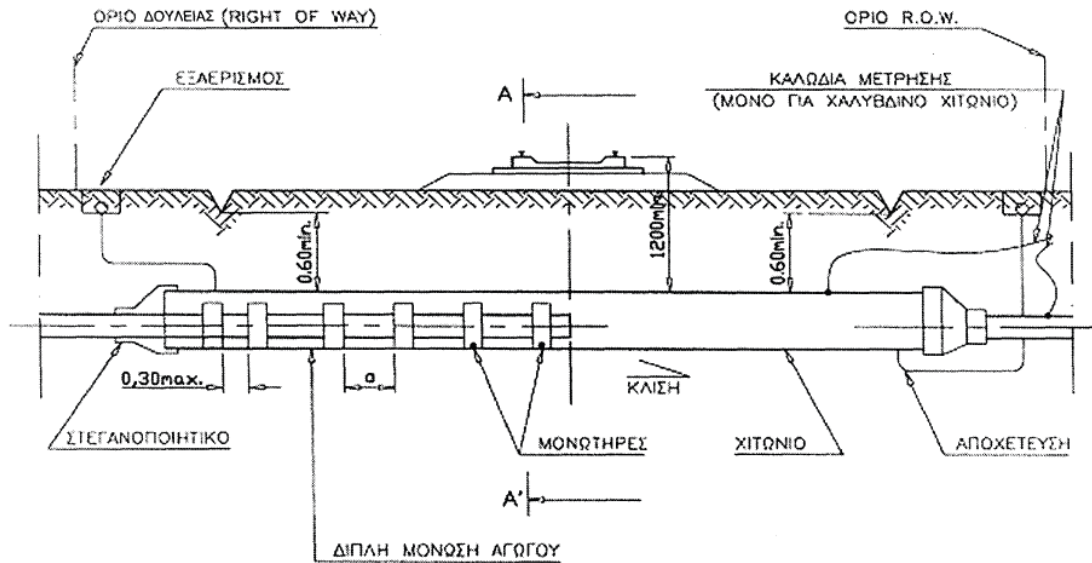
**Σχήμα 4.19:** Διέλευση αγωγού από δρόμο με την μέθοδο της τεχνικής οριζόντιας διάτρησης με χαλύβδινο προστατευτικό χιτώνιο (ενδεικτική τομή).



**Σχήμα 4.20:** Διέλευση αγωγού από δρόμο με την μέθοδο ανοιχτής εκσκαφής με χιτώνιο (ενδεικτική τομή).

### Σιδηρόδρομοι

Σε περιοχές όπου ο αγωγός διασχίζει σιδηρόδρομους, η διέλευση επιτυγχάνεται με χρήση της μεθόδου της τεχνικής οριζόντιας διάτρησης με χαλύβδινο προστατευτικό χιτώνιο (Σχ. 4.21). Η μέθοδος περιγράφηκε παραπάνω.



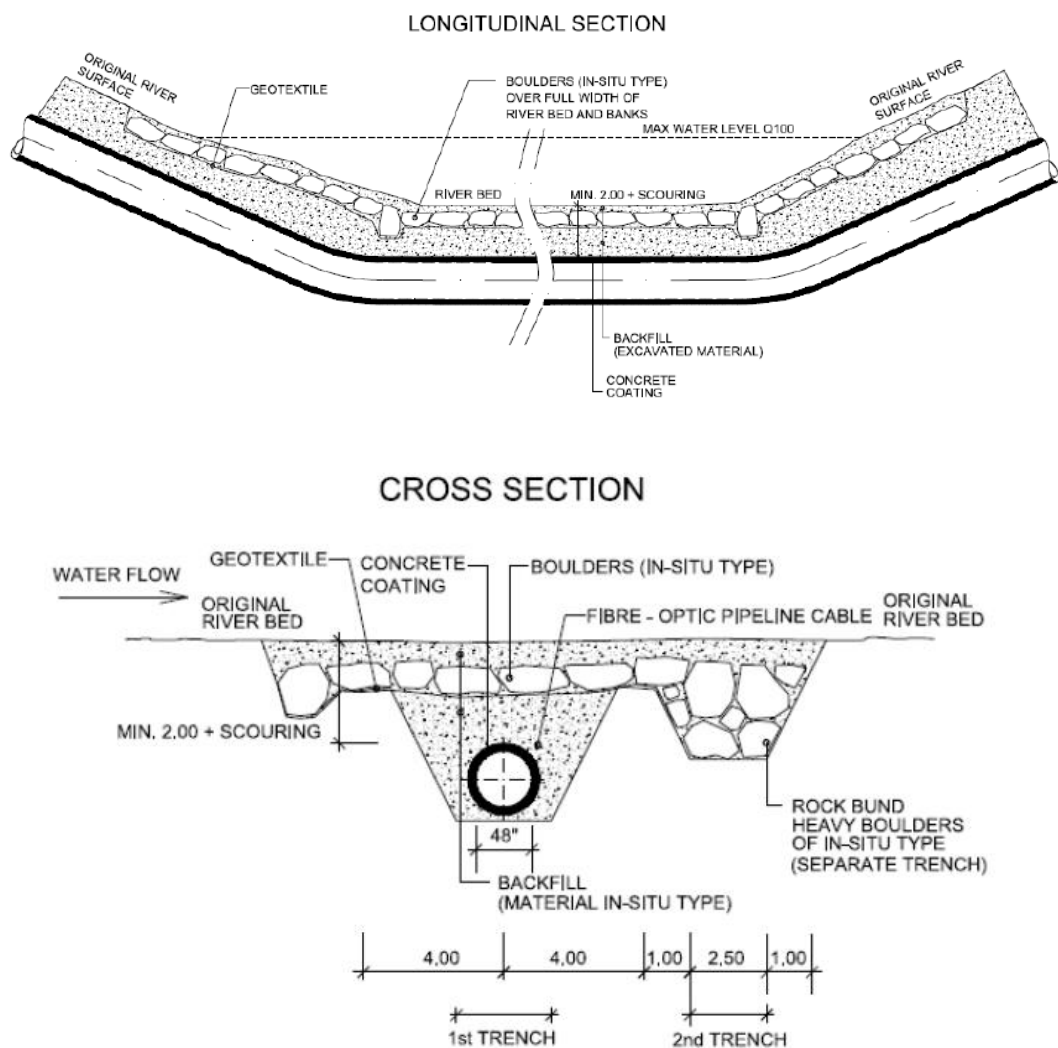
**Σχήμα 4.21:** Διέλευση αγωγού από σιδηροδρομική γραμμή με την μέθοδο της τεχνικής οριζόντιας διάτρησης με χαλύβδινο προστατευτικό χιτώνιο (ενδεικτική τομή).

#### 4.3.4 Φυσικά εμπόδια

Δύο κύριες μέθοδοι εφαρμόζονται κατά την διασταύρωση αγωγών με υδάτινα ρεύματα, η μέθοδος ανοιχτής εκσκαφής και η μέθοδος διασταύρωσης χωρίς διάνοιξη τάφρου. Παρότι η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των εκάστοτε υδάτινων ρευμάτων με σκοπό την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων, η μέθοδος ανοιχτής εκσκαφής είναι γενικά αυτή που προτιμάται (ειδικά για τα μικρά ρέματα και τα ρυάκια). Η χρήση των τεχνικών διασταύρωσης χωρίς διάνοιξη τάφρου εφαρμόζεται όταν το επιτρέπει η γεωλογία και η γεωμορφολογία της τοποθεσίας σε μεγάλα ποτάμια, στην περίπτωση ευαίσθητων αποδεκτών κατόντη των υδάτινων ρευμάτων και σε προστατευόμενες περιοχές.

Η μέθοδος ανοιχτής εκσκαφής απαιτεί τη διάνοιξη τάφρου εντός της κοίτης (Σχ. 4.22). Στη συνέχεια γίνεται αποκατάσταση της επιφάνειας (κοίτη ποταμού ή ρέματος) στην αρχική της κατάσταση, μετά την ολοκλήρωση της επίχωσης της τάφρου. Ένα βασικό μειονέκτημα της τεχνικής της ανοιχτής εκσκαφής είναι ότι σε υδάτινα συστήματα, μπορεί να εμφανιστούν συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων, με τιμές μεγαλύτερες από τις φυσικά υπάρχουσες. Η χρήση τεχνικών ελέγχου των ιζημάτων, όπως φράγματα ιζημάτων, υπερχειλιστές εντός του ρεύματος ή βαρύ γεωύφασμα για την ελαχιστοποίηση της ροής των ιζημάτων και η εφαρμογή

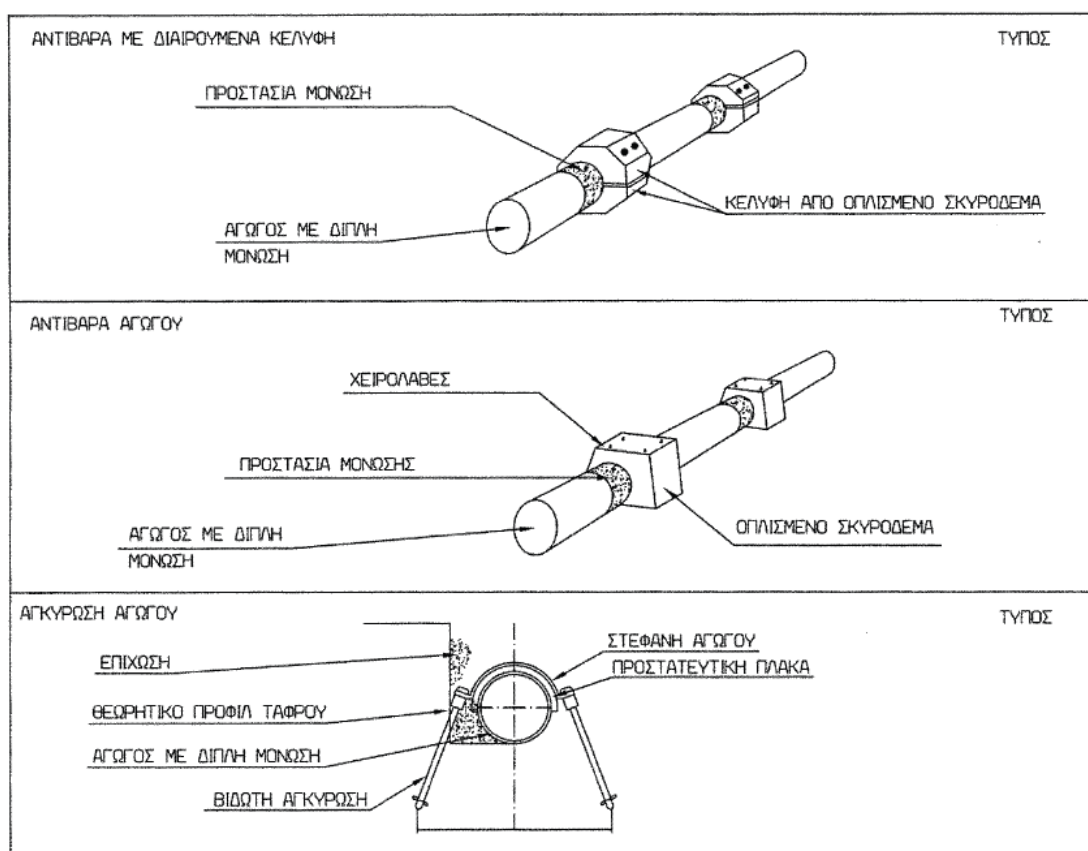
εποχιακών περιορισμών, όπως η κατασκευή μόνο σε συνθήκες χαμηλής ροής, για να ελαχιστοποιηθεί η μετακίνηση των λεπτών σωματιδίων στη ροή του ποταμού, ελαχιστοποιούν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι μέθοδοι με χρήση αγωγού, φράγματος και αντλίας είναι συνήθως λιγότερο παρεμβατικές αναφορικά με τις μεγάλες συγκεντρώσεις ιζημάτων. Επίσης λαμβάνεται υπόψη και η άνωση που ασκείται στον αγωγό με τη χρήση περιβλήματος ενισχυμένου σκυροδέματος (σάγματα ή αντίβαρα) και/ή αγκυρώσεις (Σχ. 4.23).



**Σχήμα 4.22:** Διέλευση αγωγού από κούη ποταμού με την μεθοδο ανοιχτής εκσκαφής (ενδεικτικές τομές).

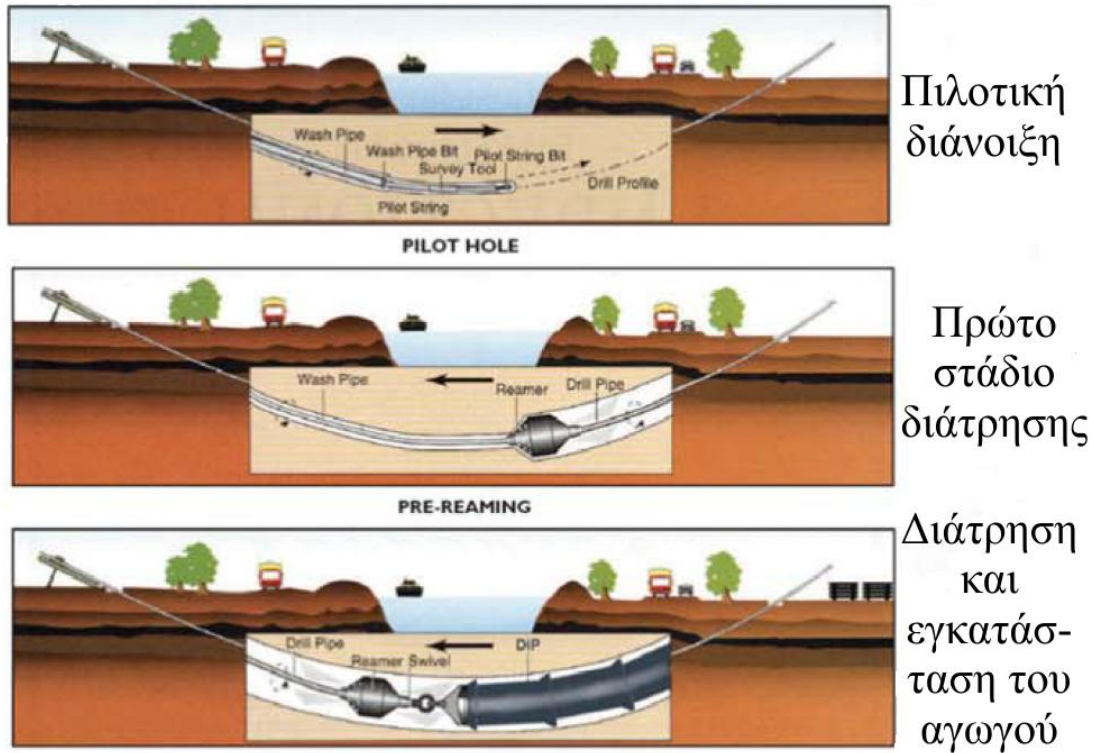
Οι διασταυρώσεις χωρίς διάνοιξη τάφρου, κυρίως η Οριζόντια Κατευθυνόμενη Διάτρηση (Horizontal Directional Drilling) (Σχ. 4.24), είναι μια εναλλακτική τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εισαγωγή αγωγών κάτω από ευαίσθητες

περιοχές ή / και υποδομές χωρίς άμεση επίδραση στην κοίτη του ποταμού. Απαιτούνται γεωτεχνικές έρευνες (διερεύνηση των γεωτεχνικών και γεωλογικών συνθηκών κατά μήκος της χάραξης) για να επιβεβαιώσουν ότι η μέθοδος HDD είναι δυνατόν να εφαρμοστεί ως μέθοδος διασταύρωσης του ποταμού καθώς και για το σχεδιασμό της διάτρησης. Συνήθως, η μέθοδος HDD αποτελεί μια σταθερή και χωρίς ανάγκη συντήρησης μέθοδο διασταύρωσης αγωγού – υδάτινου σώματος, με ελάχιστη έως καθόλου όχληση για την κοίτη του ρέματος ή του ποταμού. Εντούτοις, εάν χρησιμοποιηθούν υγρά διάτρησης στην HDD, υπάρχει κίνδυνος διαρροής και επακόλουθων επιπτώσεων στα επιφανειακά και τα υπόγεια ύδατα.



**Σχήμα 4.23:** Μέτρα προστασίας του αγωγού για την άνωση.

Για τις διασταυρώσεις με λίμνες, ταμειυτήρες φραγμάτων και γενικά υδρομαστευτικών έργων χρησιμοποιείται η μέθοδος είτε της διάτρησης πιλοτικής οπής (Thrust Boring) είτε της διάνοιξης με κοχλία (Auger Boring) ανάλογα με το μήκος διάτρησης.



Σχήμα 4.24: Οριζόντια Κατευθυνόμενη Διάτρηση (Horizontal Directional Drilling).

#### 4.3.5 Προβληματικά εδάφη

Τα προβληματικά εδάφη που συναντώνται στο επίπεδο τοποθέτησης του αγωγού πρέπει να απομακρύνονται από το όρυγμα και να απορρίπτονται. Τα προβληματικά εδαφή αποτελούνται από:

- Φερτά υλικά-απορίμματα
- Τύρφη
- Οργανικές αποθέσεις
- Άργιλος υψηλής πλαστικότητας

Η κύρια απαίτηση για την εγκατάσταση του αγωγού διαμέσου περιοχών που ανήκουν στις παραπάνω κατηγορίες είναι η κατασκευή μίας ευσταθούς βάσης με σκοπό την αποτροπή να υποστεί ο αγωγός μια οποιαδήποτε καθίζηση λόγω ρήξης της βάσης θεμελίωσης και η τοποθέτηση κατάλληλου κοκκώδους υλικού επίχωσης με σκοπό την εξουδετέρωση των ενεργών δυνάμεων διόγκωσης.

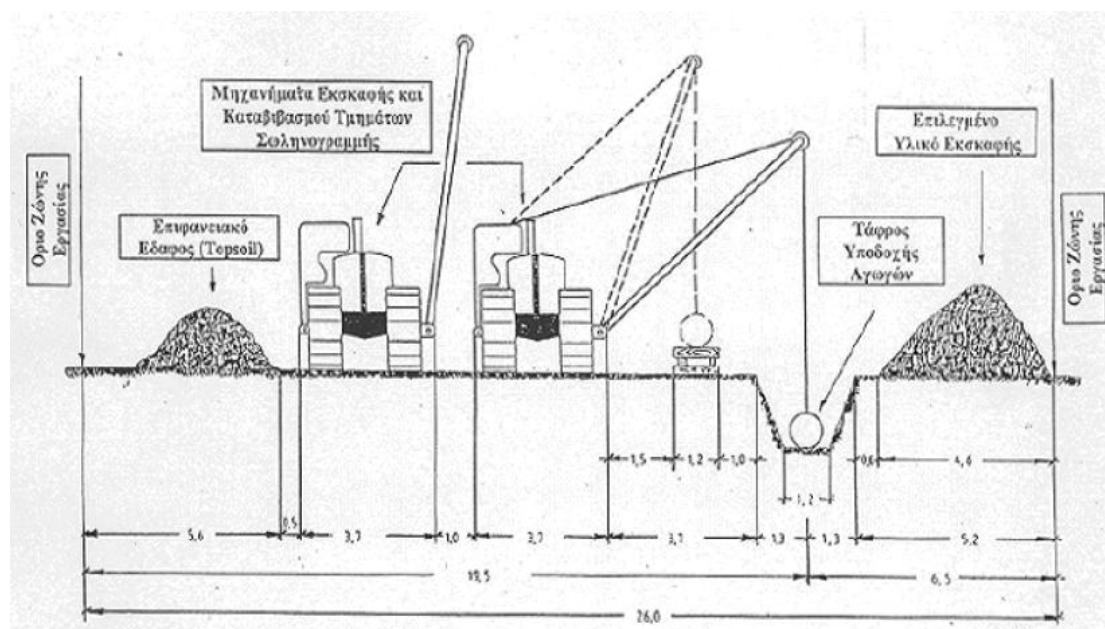
## 4.4 ΕΚΣΚΑΦΗ-ΕΠΙΧΩΣΗ

### 4.4.1 Ζώνη Εργασίας

Η ζώνη εργασίας, δηλαδή η απαιτούμενη έκταση για την κατασκευή του αγωγού, πρέπει να παρέχει χώρο για την κατασκευή του καθώς και για ταυτόχρονες κινήσεις των οχημάτων, και τα δύο με ασφαλή τρόπο. Το πλάτος της ζώνης εργασίας καθορίζεται κυρίως από την διάμετρο του αγωγού (Πιν. 4.1). Μια τυπική διατομή της ζώνης εργασίας φαίνεται στο σχήμα 4.25, σε περιοχές όπου υπάρχουν περιορισμοί κατασκευής (π.χ. περιβαλλοντικοί περιορισμοί ή περιορισμοί χρήσης γης) και γενικά όπου ο χώρος είναι περιορισμένος (π.χ. απότομα πρανή) η ζώνη εργασίας μειώνεται.

Πίνακας 4.1: Πλάτος ζώνης εργασίας.

Τυπική (κανονική) Ζώνη Εργασίας	
Διάμετρος Αγωγού (mm)	Πλάτος (m)
DN 100-400	16 m
DN 450-700	20 m
DN 750-1050	26 m
Μειωμένη Ζώνη Εργασίας	
DN 100-400	12 m
DN 450-700	14 m
DN 750-1050	16 m



Σχήμα 4.25: Τυπική διατομή ζώνης εργασίας (ΔΕΣΦΑ) (ενδεικτική τομή).

Η προετοιμασία της ζώνης εργασίας αποτελείται από δύο στάδια τον καθαρισμό και τη διαμόρφωση. Ο καθαρισμός περιλαμβάνει αφαίρεση όλων των κατασκευών, δέντρων, θάμνων κ.λ.π. όπως και αφαίρεση ριζών και κορμών δένδρων από την τάφρο που θα παρεμβαίνουν στη λειτουργία του μηχανήματος διάνοιξης. Ενώ η διαμόρφωση είναι οι εργασίες που πραγματοποιούνται για την διάνοιξη (διαμόρφωση) της οριοθετημένης ζώνης με ειδικό εξοπλισμό, όπως μπουλντόζες και γκρέιντερ στο απαιτούμενο πλάτος.

#### 4.4.2 Εκσκαφή

Ο αγωγός τοποθετείται υπόγεια, συνεπώς απαιτούνται εργασίες εκσκαφής για την διάνοιξη ορυγμάτων. Το πλάτος του ορύγματος πρέπει να είναι το ελάχιστο απαιτούμενο για την έντεχνη εγκατάσταση του δικτύου και την συμπύκνωση των υλικών επίχωσης, σύμφωνα με την διάμετρο του υπό κατασκευή αγωγού και το βάθος τοποθέτησης του (Πιν. 4.2).

**Πίνακας 4.2:** Πλάτος ορύγματος (mm).

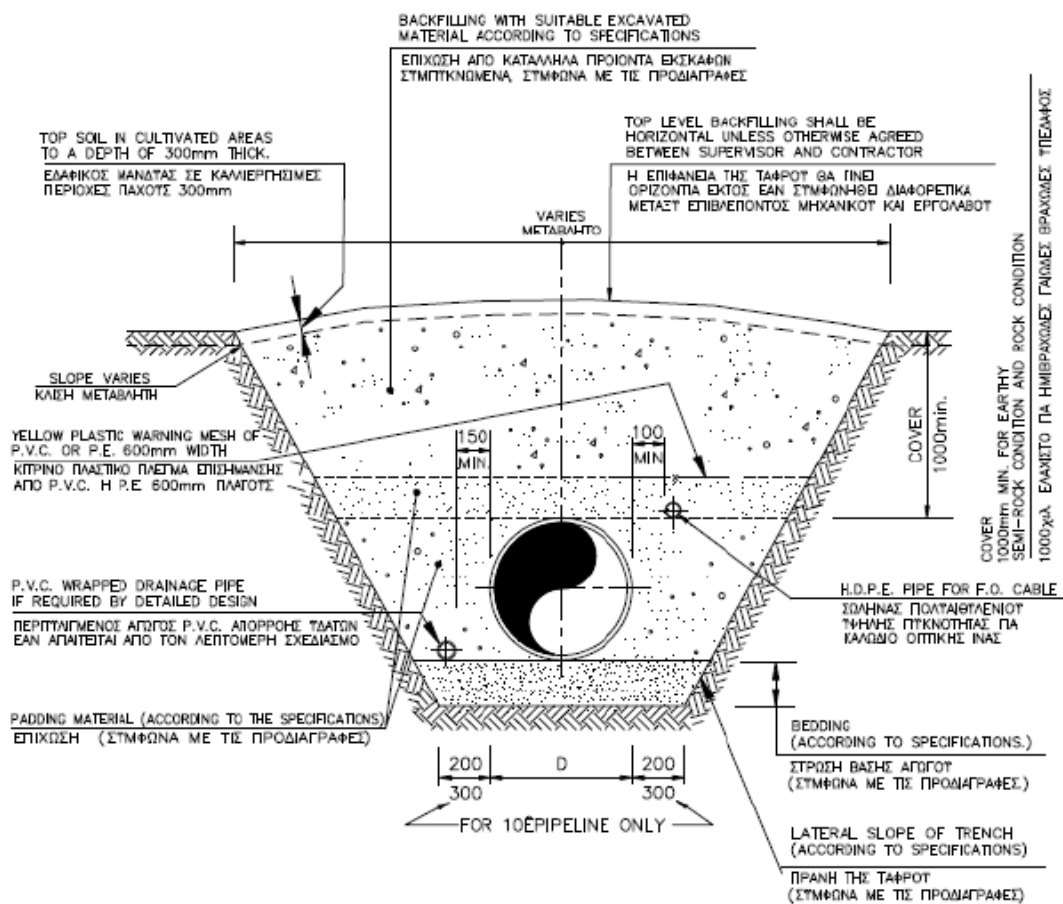
Εξωτερική διάμετρος αγωγού σε mm De	Βάθος εκσκαφής σε m			
	<1,25	>1,25-1,75	>1,75-4,00	>4,00
250	600	600	700	900
300	700	700	800	900
350	750	800	900	1000
400	800	900	1000	1100
450	950	1050	1050	1150
500	1000	1100	1100	1200
600	1100	1200	1200	1300
700	1200	1300	1300	1400
800	1400	1400	1500	1600
900	1600	1700	1700	1800
1000	1700	1800	1800	1900
≥1500	De+1000	De+1000	De+1100	De+1200

Η διαμόρφωση των πρηνών των ορυγμάτων είναι γενικώς κάθετη, εκτός των περιπτώσεων όπου τα εδάφη είναι χαλαρά ή έχουν φτωχές μηχανικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να είναι επικίνδυνα να καταρρεύσουν, σε αυτές τις περιπτώσεις τα πρηνή διαμορφώνονται με την κατάλληλη κλίση. Επίσης όπου απαιτείται εφαρμόζεται η κατάλληλη αντιστήριξη των πρηνών του ορύγματος.

Για τις εκσκαφές δικτύων υπό πίεση πρέπει να εξασφαλίζεται το ελάχιστο προδιαγραφόμενο βάθος (επικάλυψη) από το επίπεδο του εδάφους, γενικώς για συνήθεις συνθήκες η ελάχιστη επικάλυψη είναι 1 m (1.2 και 1.5 m κατώ από



αυτοκινητόδρομους και σιδηρόδρομους αντίστοιχα) από το επάνω μέρος του αγωγού (εφόσον έχει ακουμπήσει στη στρώση έδρασης). Το βάθος εκσκαφής καθορίζεται από το υψόμετρο του δικτύου (κατά μήκος της τομής των έργων) λαμβανομένου υπόψη και του πάχους του αγωγού και των υποκείμενων στρώσεων έδρασης ή/και εξυγίανσης, στη περιοχή μελέτης το βάθος έδρασης κυμαίνεται από 2 έως 2.5 m περίπου, ίσως και λίγο περισσότερο. Το ελάχιστο πλάτος της έδρας του ορύγματος πρέπει να είναι τουλάχιστον η διάμετρος του αγωγού + 0.4 m. Στο σχήμα 4.26 δίνεται μια τυπική διατομή τάφρου αγωγού φυσικού αερίου.



**REMARK**  
 TYPICAL TRENCH IS NOT APPLICABLE FOR PIPELINE CROSSINGS WITH NATIONAL ROADS, RAILROADS, ROADS, RIVERS, IRRIGATION AND DRAINAGE CHANNELS, ACTIVE SEISMIC FAULTS, ETC.  
 Η ΤΥΠΙΚΗ ΤΟΜΗ ΤΑΦΡΩΤ ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΕΙΣ ΤΩΤ ΑΓΩΓΩΤ ΜΕ ΕΘΝΙΚΕΣ ΟΔΟΥΣ, ΣΙΔΗΡΟΔΡΟΜΟΥΣ, ΔΡΟΜΟΥΣ, ΠΟΤΑΜΙΑ, ΑΡΔΕΤΤΙΚΑ ΚΑΙ ΑΠΟΧΕΤΕΥΤΙΚΑ ΚΑΝΑΛΙΑ, ΕΝΕΡΓΑ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΡΗΓΜΑΤΑ Κ.Λ.Π.

Σχήμα 4.26: Τυπική Διατομή τάφρου Αγωγού Φυσικού Αερίου (ΔΕΣΦΑ).

Τα προς εκσκαφή εδάφη σύμφωνα και με την ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-02-02-01-00 (Γενικές εκσκαφές οδοποιίας και υδραυλικών έργων) διακρίνονται γενικά στις πιο κάτω κατηγορίες:

- **Χαλαρά - ασταθή εδάφη:** φυτικές γαίες, ιλύς, τύρφη και λοιπά εδάφη που έχουν προέλθει από επιχωματώσεις με ανομοιογενή υλικά, μη συνεκτική άμμος και αμμοχάλικα διαμέτρου μέχρι 70 mm, τα οποία λόγω πολύ μικρής περιεκτικότητας σε άργιλο (ποσοστό λεπτόκοκκου εδάφους), είναι χαλαρά ή δεν παρουσιάζουν καμία συνοχή.
- **Γαιώδη – ημιβραχώδη εδάφη:** κατά την εκσκαφή των οποίων δεν απαιτείται η χρήση κρουστικού εξοπλισμού (αερόσφυρες ή υδραυλικές σφύρες) ή εκρηκτικών. Είναι δυνατόν να γίνει η εκσκαφή αποτελεσματικά με υδραυλικό εκσκαφέα (τσάπα) ισχύος έως 120 Hp.
- **Βραχώδη εδάφη:** όλα τα μη αποσαθρωμένα συμπαγή πετρώματα, τα οποία δεν μπορούν να εκσκαφθούν αν δεν χαλαρωθούν με κρουστικό εξοπλισμό όπως αερόσφυρες και υδραυλικές σφύρες ή με την χρήση εκρηκτικών υλών.
- **Εξαιρετικά σκλήρα κροκαλοπαγή και γρανιτικά εδάφη:** μη αποσαθρωμένα συμπαγή ισχυρώς τσιμεντωμένα κροκαλοπαγή πετρώματα, γρανιτικά πετρώματα και γενικά ιδιαίτερος σκληρά πετρώματα η εκσκαφή των οποίων είναι δυσχερής και μικρής αποδόσεως και απαιτεί κρουστικό εξοπλισμό ή χρήση εκρηκτικών.

Η δυσχέρεια εκσκαφής καθώς και η καταλληλότητα των υλικών των εκσκαφών είναι οι πιο καθοριστικοί παράγοντες για τη χρήση των υλικών αυτών. Για την εκτίμηση του βαθμού δυσκολίας της εκσκαφής χρησιμοποιείται συνήθως ο όρος εκσκαψιμότητα. Ο προσδιορισμός της είναι σχετικός και όχι απόλυτος αφού εξαρτάται από τη φύση του υλικού (σύσταση, βαθμός αποσάθρωσης, κερματισμός), αλλά καθορίζεται επίσης και από το μηχανολογικό εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην εκσκαφή. Διεθνώς χρησιμοποιούνται διάφορες κατηγορίες για την κατάταξη των εδαφών ανάλογα με την δυσκολία εκσκαφής τους. Μπορούμε να αναφέρουμε ενδεικτικά την Κλίμακα Ευκολίας Εκσκαφής που χρησιμοποιείται ευρέως στην Μ. Βρετανία και κατατάσσει τα εδάφη σε 4 κατηγορίες (Πιν. 4.3).

**Πίνακας 4.3:** Κλίμακα Ευκολίας Εκσκαφής (από Μακεδών Θ., 2005).

Κατηγορία	Χαρακτηρισμός	Περιγραφή
E	Εύκολα εκσκαπτόμενο	Χαλαρά εδάφη, π.χ. άμμοι, λεπτά χαλίκια
M	Μέσης δυσκολίας	Συνεκτικότερα εδάφη, π.χ. αργιλώδη χαλίκια, άργιλοι χαμηλής πλαστικότητας
M-H	Μέσης έως υψηλής δυσκολίας	Θραυσμένοι βράχοι, υγρή πυκνή άργιλος, χαλίκια με ογκόλιθους
H	Υψηλής δυσκολίας	Υλικά που απαιτούν ανατίναξη και σκληρές άργιλοι υψηλής πλαστικότητας

Η εκσκαφή βραχωδών ή γαιωδών υλικών αυξάνει τον όγκο του εξορυσσόμενου υλικού και για το λόγο αυτό ο υπολογισμός του όγκου των υλικών που προκύπτουν από την εκσκαφή πρέπει να παίρνει υπόψη του ένα συντελεστή διόγκωσης ή επαύξησης ( $\Sigma_{\Delta}$ ) του υλικού που εκφράζει το λόγο του όγκου του υλικού μετά από την εκσκαφή ( $V_{ME}$ ) προς τον όγκο του υλικού πριν από την εκσκαφή ( $V_{ΠΕ}$ ):

$$\Sigma_{\Delta} = V_{ME} / V_{ΠΕ}$$

Η ίδια αρχή ισχύει και για τον όγκο του υλικού μετά τη διάστρωση και συμπύκνωσή του για την κατασκευή ενός επιχώματος. Ομοίως ορίζουμε ένα συντελεστή συρρίκνωσης ( $\Sigma_{\Sigma}$ ) του υλικού, ο οποίος εκφράζει το λόγο του όγκου του υλικού μετά από τη συμπύκνωσή ( $V_{M\Sigma}$ ) του προς τον όγκο του υλικού πριν από την εκσκαφή:

$$\Sigma_{\Sigma} = V_{M\Sigma} / V_{ΠΕ}$$

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει ενδεικτικές τιμές των παραπάνω συντελεστών για διαφορετικά πετρώματα και υλικά:

**Πίνακας 4.4:** Τιμές συντελεστών διόγκωσης και συρρίκνωσης υλικών σε συνδυασμό με την εκσκαψιμότητά τους (από Μακεδών Θ., 2005).

Υλικό	Φαινόμενο βάρος ( $t/m^3$ )	Συντελεστής διόγκωσης	Συντελεστής συρρίκνωσης	Εκσκαψιμότητα
Άργιλος (μικρό PI)	1.65	1.30	-	M
Άργιλος (μεγάλο PI)	2.10	1.40	0.90	M-H
Άργιλος & χαλίκια	1.80	1.35	-	M-H
Άμμος	2.00	1.05	0.89	E
Άμμος & χαλίκια	1.95	1.15	-	E
Χαλίκια	2.10	1.05	0.97	E
Κρητίδα	1.85	1.50	0.97	E
Σχιστόλιθοι	2.35	1.50	1.33	M-H
Ασβεστόλιθος	2.60	1.63	1.36	M-H
Ψαμμίτης (πορώδης)	2.50	1.60	-	M
Ψαμμίτης (συνεκτικός)	2.65	1.61	1.34	M-H
Βασάλτης	2.95	1.64	1.36	H
Γρανίτης	2.41	1.72	1.33	H

Κατά τη διάρκεια της εκσκαφής πρέπει να δίνεται προσοχή στο να μην γίνεται ανάμειξη της φυτικής γης με το υπέδαφος. Όταν συναντώνται ογκόλιθοι και πέτρες με μέγεθος μεγαλύτερο των 150 mm, απομακρύνονται.

Ο πυθμένας των ορυγμάτων θα διαμορφώνεται με ομαλή επιφάνεια ώστε να εξασφαλίζεται ομοιόμορφη έδραση των αγωγών σε όλο το μήκος τους. Συνεκτικές στρώσεις που τυχόν χαλαρώθηκαν κατά την εκσκαφή θα αφαιρούνται και θα αντικαθίστανται με κοκκώδες υλικό κατάλληλα συμπακνούμενο (βαθμός συμπίκνωσης τουλάχιστον 95% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor). Τυχόν υπερεκσκαφή θα επανεπιχώνεται με επίλεγμένο υλικό έδρασης (άμμος), που θα υγραίνεται και θα συμπακνώνεται σε στρώσεις πάχους 15 cm. Το πάχος της στρώσης έδρασης του αγωγού θα είναι τουλάχιστον 20 cm, με χρήση άμμου λατομείου, σε περιοχές όπου: 1) ο πυθμένας του ορύγματος είναι βραχώδης ή ημιβραχώδης, 2) το υλικό εκσκαφής αποτελείται κυρίως από λίθους και ημιβραχώδεις υλικά, 3) επικρατούν εξαιρετικά χαμηλής ειδικής αντίστασης εδάφη (π.χ. άργιλος, αλατούχα εδάφη κ.α.), 4) χημικά μολυσμένα εδάφη (κυρίως οργανικά διαλύματα) και 5) διασχίζουν ποτάμια, κανάλια, χείμαρους και ρέματα.

Οι εργασίες εκσκαφών μπορούν να εκτελούνται είτε εν υγρό είτε εν ξηρώ. Η κατασκευή ή τοποθέτηση των αγωγών και η επανεπίχωση γίνονται πάντοτε εν ξηρώ. Κατά την εκτέλεση των εργασιών λαμβάνονται μέτρα διευθέτησης της ροής των ομβρίων και καθοδήγησης τους εκτός της ζώνης του ορύγματος, για την αποφυγή εισροών εντός αυτού.

Προσοχή θα πρέπει να δίνεται κατά την διάρκεια της άντλησης και πτώση της στάθμης των υδάτων μέσα στο όρυγμα, λόγω της πιθανότητας κατάρρευσης των πράνων του ορύγματος.

#### **4.4.3 Επίχωση**

Τα εδαφικά υλικά επίχωσης θα λαμβάνονται κατ' αρχήν από τα προϊόντα εκσκαφής ορυγμάτων, και μόνο όταν αυτά δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις της ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-01-03-02 ή δεν επαρκούν ή δεν είναι διαθέσιμα (λόγω εκτέλεσης των εκσκαφών σε διαφορετικές χρονικές περιόδους σύμφωνα με το εγκεκριμένο πρόγραμμα εργασιών) θα γίνεται δανειοληψία.

Η καταλληλότητα των εδαφικών υλικών για την επίχωση ορυγμάτων υπογείων δικτύων εξαρτάται από τις εδαφοτεχνικές ιδιότητες και την ικανότητα συμπίκνωσης

τους. Η ταξινόμηση των κατάλληλων για την επανασυμπλήρωση σκαμμάτων υλικών με βάση τις εδαφοτεχνικές ιδιότητες και την ικανότητα συμπύκνωσής τους, σύμφωνα με το DIN 18196 δίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

<b>Κατηγορία συμπυκνωσιμότητας</b>	<b>Συνοπτική περιγραφή</b>	<b>Κατάταξη κατά DIN 18196</b>
V1	Μη συνεκτικά έως ελαφρώς συνεκτικά, χονδρόκοκκα και μικτόκοκκα εδάφη	GW, GI, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST
V2	Συνεκτικά, μικτόκοκκα εδάφη	GU*, GT*, SU*, ST*
V3	Συνεκτικά, λεπτόκοκκα εδάφη	UL, TL

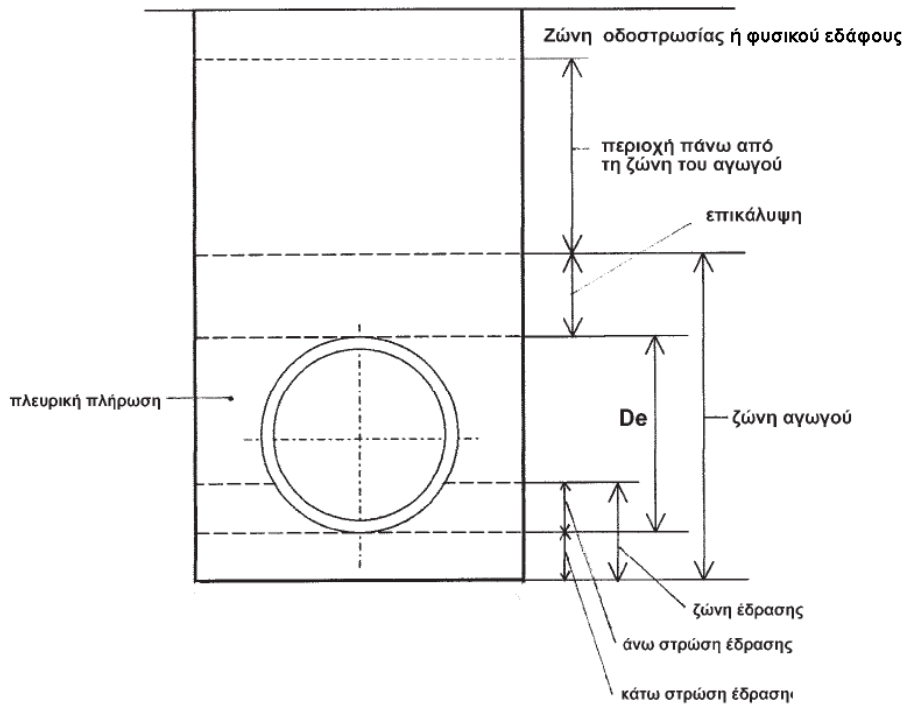
Η ικανότητα συμπύκνωσης των ανώτερων κατηγοριών εδάφους εξαρτάται από την διαβάθμιση, την μορφή των κόκκων και την περιεκτικότητα σε νερό. Ειδικότερα:

- Για τα υλικά της κατηγορίας V1, βαρύνουσα σημασία στην ικανότητα συμπύκνωσης έχει η διαβάθμιση, η μορφή των υλικών τους και μικρότερη η περιεκτικότητα σε νερό (και κατά συνέπεια η επίδραση των καιρικών συνθηκών).
- Για τα υλικά των κατηγοριών V2 και V3 βαρύνουσα σημασία έχει η περιεκτικότητα σε νερό.
- Γενικά, η συμπύκνωση των εδαφών της κατηγορίας V1, λόγω της μικρής ευπάθειας τους στο νερό και σε φαινόμενα αποσάθρωσης, είναι ευχερέστερη έναντι εδαφών των κατηγοριών V2 και V3.

Για την επιλογή του καταλληλότερου κατά περίπτωση υλικού θα λαμβάνονται υπόψη και τα ακόλουθα:

- Σε πολύ υγρά, συνεκτικά εδάφη, δεν είναι δυνατόν να επιτευχθεί ο απαιτούμενος βαθμός συμπύκνωσης.
- Σε ξηρά συνεκτικά εδάφη, η απαιτούμενη κατά στρώσεις συμπύκνωση μπορεί να επιτευχθεί μόνο μετά από έργο συμπύκνωσης σημαντικώς μεγαλύτερο έναντι αυτού που αντιστοιχεί σε συνθήκες βέλτιστης υγρασίας.

Επισημαίνεται ότι για την αποφυγή των συνιζήσεων της επίχωσης, και ιδιαίτερα εντός πόλεων ή εντός του καταστρώματος οδών, θα χρησιμοποιούνται για την επαναπλήρωση των τάφρων κατά πρώτο λόγο μη συνεκτικά εδάφη της κατηγορίας V1 και μόνο στην περίπτωση που δεν υπάρχει περίσσεια τέτοιων προϊόντων εκσκαφών θα χρησιμοποιούνται και εδάφη των κατηγοριών V2 και V3.



**Σχήμα 4.27:** Ενδεικτική τομή ζωνών πλήρωσης υπόγειου αγωγού.

**Ζώνη έδρασης:** Με τον όρο αυτό εννοείται η στρώση έδρασης του αγωγού, ανάλογα με τον τύπο του δικτύου και τις προδιαγραφές εγκατάστασης του.

**Ζώνη αγωγού:** Με τον όρο αυτό εννοείται η περιοχή μεταξύ του πυθμένα και των τοιχωμάτων της τάφρου και μέχρι ύψος 0.30 m πάνω από το εξωρράχιο του αγωγού, που αποτελείται από τα τμήματα έδρασης, πλευρικής πλήρωσης και επικάλυψης.

**Περιοχή πάνω από τη ζώνη αγωγού:** Με τον όρο αυτό εννοείται το τμήμα από την άνω επιφάνεια της «ζώνης αγωγών και οχετών» μέχρι την στάθμη των στρώσεων οδοστρωσίας ή του φυσικού εδάφους (στις περιπτώσεις δικτύων εκτός ζώνης οδού).

#### **Υλικά επίχωσης ζώνης αγωγού**

##### **A) Υλικά πλήρωσης**

Η διαμόρφωση της ζώνης αυτής αποσκοπεί στην ομοιόμορφη κατανομή των κινητών και μόνιμων φορτίων επί του αγωγού. Ως εκ τούτου θα χρησιμοποιούνται αμμοχάλικα (κοκκώδη υλικά), κατάλληλης κοκκομετρικής διαβάθμισης, ανάλογα με το υλικό κατασκευής του αγωγού και σύμφωνα με τα προβλεπόμενα στην μελέτη. Όταν δεν προδιαγράφεται διαφορετικά στην μελέτη, το υλικό της ζώνης αγωγού μέχρι τη στρώση επικάλυψης θα έχει την ακόλουθη διαβάθμιση (Πιν. 4.5):

**Πίνακας 4.5:** Κοκκομετρική διαβάθμιση υλικών επίχωσης ζώνης αγωγού.

Ονομαστικό άνοιγμα κόσκινου κατά ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	Διερχόμενα κατά βάρος (%)
40	100
31.5	85-100
16	50-87
8	35-80
4	25-70
0.063	<10

Το υλικό θα είναι ομαλής κοκκομετρικής διαβάθμισης και θα ισχύει:

$$D_{60}/D_{10} \geq 5 \quad \text{όπου,}$$

$D_{60}$ : η διάμετρος του κόσκινου, δια του οποίου διέρχεται το 60% (κατά βάρος) του υλικού

$D_{10}$ : η διάμετρος του κόσκινου, δια του οποίου διέρχεται το 10% (κατά βάρος) του υλικού

Εάν το ποσοστό (P) του λεπτόκοκκου του διερχόμενου από το κόσκινο 0.063 mm είναι  $10\% > P > 5\%$  τότε το λεπτόκοκκο υλικό πρέπει να έχει δείκτη πλαστικότητας  $PI \leq 10\%$ .

B) Άμμος εγκιβωτισμού αγωγού

Η άμμος θα προέρχεται από λατομείο και θα αποτελείται από κόκκους σκληρούς και ανθεκτικούς, θα είναι απαλλαγμένη από σβώλους και οργανικές ουσίες. Η κοκκομετρική διαβάθμιση της στρώσης επικάλυψης θα βρίσκεται εντός των ορίων του παρακάτω πίνακα 4.6:

**Πίνακας 4.6:** Κοκκομετρική διαβάθμιση άμμου εγκιβωτισμού

Ονομαστικό άνοιγμα κόσκινου κατά ΕΛΟΤ EN 933-2 (mm)	Διερχόμενα κατά βάρος (%)
10	100
4	90-100
2	55-85
0.063	<5

Σε περίπτωση ύπαρξης υπόγειων υδάτων στην ζώνη του αγωγού το ποσοστό του λεπτόκοκκου υλικού (κόσκινο 0.063 mm) δεν θα υπερβαίνει το 3%.

### Υλικά πάνω από τη ζώνη αγωγού

Τα υλικά εκσκαφής του υπεδάφους (subsoil) εάν είναι κατάλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίχωση της στρώσης πάνω από τη ζώνη του αγωγού μέχρι τη ζώνη του φυσικού εδάφους (topsoil).

Γενικά οι προϋποθέσεις για κατάλληλα υλικά εκσκαφής είναι: 1) λίθοι μεγαλύτεροι από 150 mm δεν θα χρησιμοποιούνται και θα απομακρύνονται, 2) ξύλινα κομμάτια, βλάστηση, παγωμένα εδάφη, απορίμματα, κομμάτια ηλεκτροδίων, κομμάτια αγωγού κ.α δεν θα χρησιμοποιούνται και θα απομακρύνονται, και 3) μεγάλοι σβώλοι εδάφους, αργίλου κ.α. θα θρυματίζονται πρίν τη χρήση.

### Συμπύκνωση – Εργασίες επίχωσης

Ο καθορισμός της μεθόδου συμπύκνωσης και του πάχους των στρώσεων εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο μηχανικό εξοπλισμό (Σχ. 4.28) και από την κατηγορία των χρησιμοποιούμενων εδαφικών υλικών. Στο παρακάτω πίνακα 4.7 παρέχονται ενδεικτικά στοιχεία για τις διαδικασίες των στρώσεων επίχωσης σε συνάρτηση με τον χρησιμοποιούμενο εξοπλισμό και την κατηγορία του υλικού επίχωσης.

**Πίνακας 4.7:** Συνιστώμενες διαδικασίες συμπύκνωσης.

Είδος μηχανήματος Υπηρεσιακό βάρος (kg)			Κατηγορία ικανότητας συμπύκνωσης εδάφους					
			V1		V2		V3	
			Καταλλ ηλότητα	Πάχος στρώσης (cm)	Καταλλ ηλότητα	Πάχος στρώσης (cm)	Καταλλ ηλότητα	Πάχος στρώσης (cm)
Ελαφρά μηχανήματα συμπύκνωσης (κυρίως για τη ζώνη του αγωγού)								
Δομητικός συμπιεστής	ελαφρ ός	έως 25	+	έως 15	+	έως 15	+	έως 10
	μέσο	25-60	+	20-40	+	15-30	+	10-30
Δομητής εκρήξεων	ελαφρ ός	έως 100	ο	20-30	+	15-20	+	20-30
Δομητικές πλάκες	ελαφρ ές	έως 100	+	έως 20	ο	έως 15		
	μέσες	100- 300	+	20-30	ο	15-20		
Δομητικός κύλινδρος	ελαφρ ός	έως 600	+	20-30	ο	15-20		
Μέσα και βαριά μηχανήματα συμπύκνωσης (πάνω από τη ζώνη αγωγού)								
Δομητικός συμπιεστής	μέσος	25-60	+	20-40	+	15-30	+	10-30
	βαρύς	60- 200	+	40-50	+	20-40	+	20-30
Δομητής εκρήξεων	μέσος	100- 500	ο	20-40	+	25-35	+	20-30
	βαρύς	500	ο	30-50	+	30-50	+	30-40
Δομητικές πλάκες	μέσες	300- 750	+	30-50	ο	20-40		



	βαριές	750	+	40-70	ο	30-40		
Δονητικοί κύλινδροι		600-8000	+	20-50	+	20-40		
+ = συνίσταται ο = ως επί το πλείστον κατάλληλο								



**Σχήμα 4.28:** Ευέλικτα μηχανήματα συμπίκνωσης: 1) Βάτραχος βάρους 50 έως 80 kg, 2) Ελαφρά δονητική πλάκα μιας κατεύθυνσης, βάρους 40 έως 150 kg και 3) Βαριά δονητική πλάκα διπλής κατεύθυνσης βάρους 120 έως 800 kg.

Η υγρασία του υλικού πλήρωσης θα είναι τέτοια ώστε να μπορεί να επιτευχθεί η απαιτούμενη συμπίκνωση. Υλικά που εμφανίζουν αυξημένη υγρασία δεν θα χρησιμοποιούνται για επαναπλήρωση και θα αφήνονται να στεγνώσουν.

Ο ελάχιστος αριθμός δοκιμών συμπίκνωσης δεν θα είναι μικρότερος από μία δοκιμή ανά 100 m μήκους ορύγματος και για κάθε διακεκριμένη ζώνη υλικού πλήρωσης ή μικρότερος από μία δοκιμή ανά 500 m<sup>3</sup> διαστρωνόμενου υλικού.

#### Α) Περιοχή ζώνης αγωγού

Η χαλάρωση του τελικού πυθμένα της τάφρου σε κάθε περίπτωση θα αποφεύγεται κατά την εκσκαφή. Τυχόν χαλαρά υλικά θα αφαιρούνται πριν από την τοποθέτηση του αγωγού ή την κατασκευή στρώματος έδρασης αυτού και θα αντικαθίστανται με μη συνεκτικό υλικό (κοκκώδες), το οποίο θα συμπυκνώνεται με μηχανικά μέσα.

Η επίχωση στην ζώνη αυτή αποσκοπεί στην εξασφάλιση ομοιόμορφης κατανομής των κινητών και μόνιμων φορτίων στον αγωγό και στην αποφυγή γραμμικής σημειακής στήριξης τους.

Μετά την αποπεράτωση της διάνοιξης του ορύγματος και την μόρφωση και τον έλεγχο του πυθμένα θα ακολουθεί η έδραση του αγωγού και η επίχωση του με το προβλεπόμενο από τη μελέτη υλικό στο ύψος πάνω από το εξωρράχιο του αγωγού, το οποίο ορίζεται στα αντίστοιχα σχέδια τυπικών διατομών. Σε περίπτωση που δεν προδιαγράφεται διαφορετικά στην μελέτη, η έδραση του αγωγού θα γίνεται σε υπόστρωμα πάχους 100 mm σε εδάφη γαιώδη και 150 mm σε βραχώδη ή σκληρά εδάφη, και η επικάλυψη του θα εκτείνεται μέχρι 300 mm (συνήθως 200 mm) πάνω από το εξωρράχιο. Οι αγωγοί θα εγκιβωτίζονται σε όλο το πλάτος του σκάμματος. Το πάχος για την έδραση και την επικάλυψη των σωλήνων θα είναι τουλάχιστον όσο αναγράφεται στα σχέδια μελέτης. Το υλικό εγκιβωτισμού θα διαστρώνεται, θα διαβρέχεται και θα συμπυκνώνεται κατά ομοιόμορφες στρώσεις με ιδιαίτερη φροντίδα, με χρήση ελαφρού εξοπλισμού συμπίκνωσης, ώστε να μην προκληθεί φθορά στους σωλήνες και στην εξωτερική τους προστασία. Στο στάδιο αυτό της επίχωσης οι περιοχές συνδέσεων των σωλήνων μένουν ελεύθερες για την εκτέλεση των δοκιμών στεγανότητας των σωληνώσεων. Οι περιοχές των συνδέσεων θα καλύπτονται μετά την εκτέλεση των προβλεπομένων κατά περίπτωση δοκιμών.

Οι βάθμοι συμπίκνωσης των στρώσεων καθορίζονται ως εξής:

- 100% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε μη συνεκτικά υλικά της κατηγορίας V1 ή 103% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε υλικά κατηγορίας GW και GI κατά DIN 18196.

- 97% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε συνεκτικά υλικά κατηγοριών V2 και V3.

Κάθε στρώση πλήρωσης θα συμπυκνώνεται ιδιαίτερα.

Η συμπίκνωση θα γίνεται από την παρειά της τάφρου προς τον αγωγό. Η πλήρωση της τάφρου και η συμπίκνωση του υλικού πλήρωσης θα γίνονται ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές του αγωγού για την αποφυγή μετατόπισης και υπερύψωσης του. Αυτό θα λαμβάνεται ιδιαίτερα υπόψη όταν υπάρχουν σωλήνες που μπορούν να παραμορφώθουν (π.χ. πλαστικοί σωλήνες μεγάλων διατομών). Για τους αγωγούς εξωτερικής διαμέτρου μεγαλύτερης από 0.40 m η ζώνη του αγωγού θα επιχώνεται και θα συμπυκνώνεται σε τουλάχιστον δύο φάσεις (δύο στρώσεις).

#### B) Περιοχή πάνω από τη ζώνη αγωγών

Το πάχος των μεμονωμένων στρώσεων θα επιλεγεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε το μηχάνημα συμπίκνωσης που χρησιμοποιείται να είναι σε θέση να επιτύχει τέλεια συμπίκνωση της κάθε μιας στρώσης με τον αναγκαίο αριθμό διελεύσεων.

Σε περίπτωση αγωγού υπό το οδόστρωμα τότε ζώνη πάχους κατ' ελάχιστο 0.50 m κάτω από την κατώτατη επιφάνεια της οδοστρωσίας θα συμπυκνώνεται σε ποσοστό:

- 100% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε συνεκτικά εδάφη της κατηγορίας V1 ή 103% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε υλικά κατηγορίας GW και GI κατά DIN 18196.
- 97% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε συνεκτικά εδάφη κατηγοριών V2 και V3.

Ζώνη που βρίσκεται κάτω από την προηγούμενη και μέχρι την ζώνη του αγωγού θα συμπυκνώνεται σε ποσοστό:

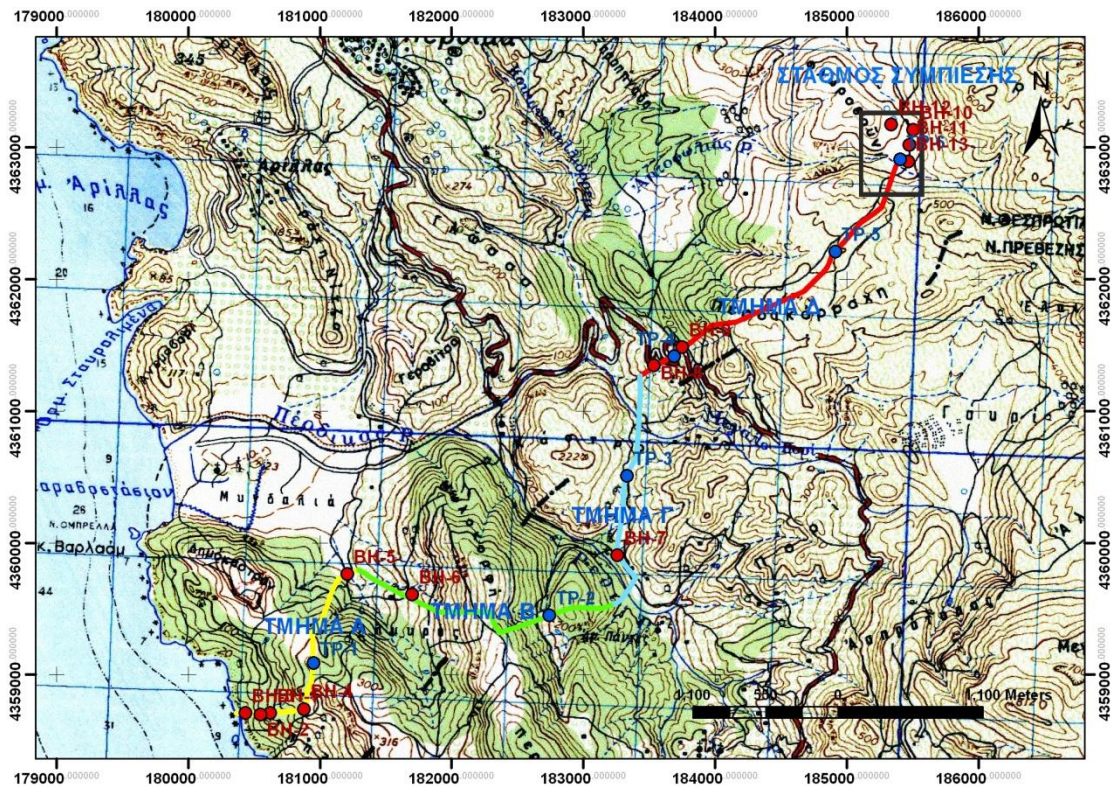
- 95% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε μη συνεκτικά υλικά πλήρωσης κατηγορίας V1 ή 97% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε υλικά κατηγορίας GW και GI κατά DIN 18196.
- 95% της Πρότυπης Δοκιμής Proctor σε συνεκτικά υλικά πλήρωσης κατηγοριών V2 και V3.

Σε περίπτωση αγωγού εκτός οδοστρώματος το υλικό πλήρωσης από την τελική επιφάνεια του εδάφους (μετά την τυχόν προβλεπόμενη διαμόρφωση) μέχρι την ζώνη του αγωγού θα συμπυκνώνεται όπως ορίζεται παραπάνω.

## 5 ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 5.1 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΚΑΜΜΑΤΑ

Σύμφωνα με το γεωερευνητικό πρόγραμμα πραγματοποιήθηκαν 10 ερευνητικές γεωτρήσεις συνεχούς δειγματοληψίας σε συνολικό βάθος 160 m και 6 σκαμμάτων (μήκος: 3.00 m, πλάτος : 1.00 m και βάθος: 2.50-3.30 m). Έξι γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκαν κατά μήκος της χάραξης του αγωγού (BH-4 έως BH-9) και τέσσερις στην περιοχή του σταθμού συμπίεσης (BH-10 έως BH-13), όπως επίσης πέντε (TP1 έως TP-5) και ένα (TP-6) σκάμματα αντίστοιχα. Οι εργασίες πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές Ε101/83 (ΦΕΚ 363B/24.06.83) «Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις ξηράς για γεωτεχνικές έρευνες». Οι θέσεις, τα βάθοι και οι διαστάσεις των γεωτρήσεων και σκαμμάτων αντίστοιχα φαίνονται παρακάτω (Σχ. 5.1, Πιν. 5.1 και 5.2). Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ παρατίθεται μηκοτομή της χάραξης του αγωγού με τις θέσεις και τα προφίλ των γεωτρήσεων, οι θέσεις των γεωτρήσεων φαίνονται επίσης στο σχήμα 5.1 και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.3 παρατίθενται οι τομές των σκαμμάτων.



Σχήμα 5.1: Θέσεις των γεωτρήσεων και σκαμμάτων σε τοπογραφικό χάρτη. Σε μαύρο πλαίσιο η περιοχή του σταθμού συμπίεσης.

Πίνακας 5.1: Βάθος και συντεταγμένες των γεωτρήσεων.

Κωδικός Γεώτρησης	Βάθος Γεώτρησης (m)	Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ '87) (m)	
		X	Y
BH-4	15	180880	4358739
BH-5	15	181207	4359763
BH-6	15	181702	4359606
BH-7	15	183260	4359905
BH-8	10	183536	4361346
BH-9	10	183752	4361482
BH-10	10	185502.057	4363129.89
BH-11	20	185473.248	4363016.65
BH-12	30	185337.149	4363171.436
BH-13	20	185468.989	4362888.569

Πίνακας 5.2: Διαστάσεις και συντεταγμένες των σκαμμάτων.

Κωδικός Σκάμματος	Διαστάσεις Σκάμματος (m)			Συντεταγμένες (ΕΓΣΑ '87) (m)	
	Μήκος	Πλάτος	Βάθος	X	Y
TP-1	3.00	1.00	3.00	180951	4359088
TP-2	3.00	1.00	3.00	182742	4359448
TP-3	3.00	1.00	3.10	183333	4360507
TP-4	3.00	1.00	3.20	183690	4361413
TP-5	3.00	1.00	3.30	184912	4362206
TP-6	3.00	1.00	2.50	185405	4362907

## **5.2 ΕΠΙΤΟΠΟΥ ΔΟΚΙΜΕΣ**

### **5.2.1 Καταγραφή υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα**

Η μέτρηση και καταγραφή της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στις γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε με τον ακόλουθο τρόπο: κατά την διάρκεια των εργασιών, και σε καθημερινή βάση, το πρωί (πρίν την έναρξη των εργασιών) και το απόγευμα (μετά την διακοπή των εργασιών), όπως επίσης και με το πέρας της διάτρησης στο επιθυμητό βάθος πρίν την επιχωμάτωση-σφράγιση. Επισημαίνεται πως αυτές οι καταγραφές επιρεάζονται αναμφισβήτητα από το νερό που χρησιμοποιήθηκε για τις ανάγκες της διάτρησης και δεν δίνει την πραγματική εικόνα της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.

Ωστόσο, δεδομένου πως η δίαιτα του υπόγειου νερού παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των γεωτεχνικών συνθηκών, εγκαταστήθηκε ένα κατακόρυφο πιεζόμετρο σε μία γεωτρήσι (BH-7), με σκοπό να παρέχει αξιόπιστα δεδομένα της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα μετά την διάτρηση. Μόνο μία μέτρηση πραγματοποιήθηκε από το πιεζόμετρο σε σύντομο χρονικό διάστημα μετά την διάτρηση (Φεβρουάριος 2012), της οποίας η μέτρηση θεωρείται επηρεασμένη από τα νερά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διάτρηση.

Γενικά, δεν συναντάται επιφάνεια υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα στις γεωτρήσεις και στα σκάμματα. Επιπλέον δεν παρατηρείται καμία πηγή σε ολή τη χάραξη του αγωγού, αν και ο αγωγός σε μερικά σημεία διακόπτεται από μικρά ρέματα τα οποία παρουσιάζουν σταθερή ροή κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου και είναι άνυδρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

### **5.2.2 Πρότυπη Δοκιμή Διείσδυσης (Standard Penetration Test-SPT)**

Με την πρότυπη δοκιμή διείσδυσης επιδιώκεται ο επί τόπου προσδιορισμός της αντίστασης που προβάλλει το έδαφος στη διείσδυση ενός πρότυπου διαιρετού δειγματολήπτη που προωθείται κρουστικά. Παράλληλα πραγματοποιείται και η λήψη διαταραγμένων δειγμάτων για την εκτέλεση εργαστηριακών δοκιμών.

Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή Ε106/86 σε συνδυασμό με EN 1997-2, BS 1377-1990 και σύμφωνα με

την ASTM D 1586-99 «Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils». Ο αριθμός των κρούσεων που μετρήθηκαν κατά την διείδυση του πρότυπου διαιρετού δειγματολήπτη ανά 15 cm και για σύνολο 45 cm δίνονται στο Πίνακα 5.3, καθώς και ο αριθμός N που απαιτείται για την διείδυση του δειγματολήπτη στα 30 cm και καλείται δείκτης αντίστασης του εδάφους σε διείδυση.

**Πίνακας 5.3:** Αποτελέσματα Πρότυπης Δοκιμής Διείδυσης (SPT).

Γεώτρηση	Βάθος Δοκιμής SPT (m)		Αριθμός κρούσεων/15cm	N
	Από	Έως		
BH-4	1,50	1,95	35/15/21	36
	3,00	3,45	23/33/42	>50(75)
	4,55	4,84	32/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
BH-5	1,50	1,95	37/27/20	47
	3,00	3,45	11/16/25	41
	4,55	5,00	10/20/27	47
	6,00	6,40	12/28/50-10cm	ΑΡΝΗΣΗ
BH-6	1,55	2,00	14/30/32	>50(62)
	3,00	3,45	7/12/14 (*)	26
	4,55	5,00	4/5/8 (*)	13
	6,00	6,34	12/22/50-4cm	ΑΡΝΗΣΗ
	8,55	9,00	9/16/20	36
	10,55	11,00	8/13/21	34
	12,70	12,99	43/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
BH-7	1,55	2,00	13/13/16	29
	3,00	3,45	9/10/15	25
	4,70	5,15	8/8/12	20
	6,00	6,45	5/6/7	13
	8,55	9,00	15/18/25	43
BH-8	1,55	1,84	22/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
	3,00	3,10	50-10cm	ΑΡΝΗΣΗ
	4,60	4,71	50-11cm	ΑΡΝΗΣΗ
	6,00	6,09	50-9cm	ΑΡΝΗΣΗ
	7,50	7,70	18/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
BH-9	1,60	1,89	27/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
	3,00	3,00	50-0cm	ΑΡΝΗΣΗ
	4,50	4,94	31/46/50-14cm	ΑΡΝΗΣΗ
	6,00	6,20	28/50-5cm	ΑΡΝΗΣΗ
	8,20	8,65	10/14/17	31

(\*) Έντονη βροχοπτώση κατά την διάρκεια της νύχτας με συνέπεια να αυξηθεί η φυσική υγρασία του εδαφικού υλικού και να μεταβληθούν οι μηχανικές ιδιοτητες του.

Επίσης πραγματοποιήθηκαν και οι παρακάτω SPT δοκιμές δίνοντας μηδενική διείδυση:

BH-4, δύο δοκιμές μετά το βάθος των 6.80m

BH-5, δύο δοκιμές μετά το βάθος των 8.00m

### 5.2.3 Δοκιμή Maag (δοκιμή μεταβλητού φορτίου)

Η δοκιμή είναι κατάλληλη κυρίως για ομοιογενή χαλαρά ή μέτριας συνεκτικότητας και μικρότερης υδροπερατότητας εδάφη, ενώ λιγότερο για ομοιογενή πετρώματα. Ανήκει στις δοκιμές μεταβλητού φορτίου. Παροχετεύεται νερό στην οπή της γεώτρησης, ώστε η στάθμη του νερού σ' αυτήν να ανέβει σε ένα επιθυμητό επίπεδο και μετράται ο χρόνος, μέχρις ότου αυτή πέσει σε ένα χαμηλότερο επίπεδο. Η δοκιμή γίνεται κατά την εξέλιξη της διάτρησης της γεώτρησης.

**Πίνακας 5.4:** Αποτελέσματα Δοκιμής Maag.

Γεωτρησή	Βάθος Δοκιμής (m)		k, Συντελεστής Υδροπερατότητας (cm/sec)
	Από	Έως	
BH-4	4.00	5.80	$2.62 \cdot 10^{-5}$
BH-5	3.00	6.00	$8.18 \cdot 10^{-6}$
BH-6	6.00	8.55	$1.36 \cdot 10^{-4}$
BH-7	4.00	6.00	$2.15 \cdot 10^{-5}$
BH-8	5.00	6.50	$1.09 \cdot 10^{-3}$
BH-9	4.00	6.00	$3.13 \cdot 10^{-5}$
BH-10	5.39	6.58	$2.65 \cdot 10^{-5}$
BH-11	6.00	7.00	$1 \cdot 10^{-9}$

### 5.2.4 Δοκιμή Πενετρόμετρου τσέπης (ή χειρός)

Το πενετρόμετρο τσέπης (Pocket Penetrometer) (Φωτ. 2.A και Φωτ.3) δίνει χρήσιμες πληροφορίες για τους δομικούς χαρακτήρες των σχηματισμών (συνεκτικότητα) αλλά και για τις μηχανικές τους ιδιότητες, δηλαδή, κατά προσέγγιση την αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη (αντίσταση του εδάφους ή αλλιώς αντίσταση αιχμής  $q_u$ ) και έμμεσα την διατμητική αντοχή.

Η δοκιμή πραγματοποιείται κατά την διάρκεια της διάτρησης και συγκεκριμένα κατά την μακροσκοπική περιγραφή, αμέσως μετά την εξαγωγή των δειγμάτων από το δειγματολήπτη, γίνεται και καταγραφή της διείσδυσης.

**Πίνακας 5.5:** Αποτελέσματα πενετρόμετρου τσέπης.

Γεώτρηση/ Σκάμμα	Βάθος Δείγματος (m)	$q_u$ (kPa)	$c_u$ (kPa)
BH-4	5.80	>441	>220.5
	6.80	>441	>220.5
	9.50	>441	>220.5
	11.00	>441	>220.5



	14.00	>441	>220.5
BH-5	5.00	412	206
	6.40	>441	>220.5
	9.00	>441	>220.5
	11.00	>441	>220.5
	13.40	>441	>220.5
	15.00	>441	>220.5
BH-6	5.80	270	135
	7.80	343	171.5
	8.40	>441	>220.5
BH-7	4.30	392	196
	5.80	196	98
	7.70	49	24.5
BH-9	8.80	245	122.5
	9.90	294	147
BH-10	0.4-0.6	176	88
BH-11	1.45-1.50	216	108
	3.95-4.00	226	113
	6.90-7.00	402	201
	9.80-9.90	284	142
TP-1	0.40	235	117.5
	1.10	245	122.5
TP-2	0.60	235	117.5
	1.40	255	127.5
TP-3	0.40	176	88
TP-4	3.00	265	132.5
TP-5	0.50	294	147
	0.90	314	157
TP-6	0.40	284	142



**Φωτογραφία 2:** Α) Πενετρόμετρο τσέπης και Β) Vane tester χειρός.



**Φωτογραφία 3:** Μέτρηση με το πενετρόμετρο τσέπης.

### 5.2.5 Δοκιμή με Vane tester τσέπης (ή χειρός)

Κατά την δοκιμή γίνεται έμπηξη πτερυγίων διαφόρων διαστάσεων (στη περιπτώσή μας, το πτερύγιο με διάμετρο 19 mm) στο έδαφος (Φωτ. 2B και Φωτ. 4), όπου στη συνέχεια με την περιστροφή αυτών μετράται η αστράγγιστη διατμητική αντοχή. Δίνουν εύκολα και απλά, στοιχεία για τη διατμητική αντοχή μέσω της δύναμης περιστροφής των πτερυγίων, κυρίως σε μαλακές και ευαίσθητες αργίλους όπου είναι μάλλον αδύνατη η λήψη αδιατάρακτου δείγματος.



**Φωτογραφία 4:** Μέτρηση με το Vane tester χειρός.

**Πίνακας 5.6:** Αποτελέσματα Δοκιμής με Vane tester χειρός.

Γεώτρηση	Βάθος Δείγματος (m)	$c_u$ (kPa)
BH-10	0.40-0.60	14.2
BH-11	1.45-1.50	16.5
	3.95-4.00	12.8
	6.90-7.00	27.5
	9.80-9.90	18.0

## 5.3 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

### 5.3.1 Εισαγωγή

Όλες οι εργαστηριακές δοκιμές εκτελέστηκαν στο Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας, του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές E102-84, E103-84 και E105-86 οι οποίες συνοπτικά είναι:

- Φυσικές ιδιότητες εδαφών (φυσική υγρασία (ASTM D-2216/80), φαινόμενο βάρος (AASHTO T-147), ειδικό βάρος (ASTM D-854/83)).
- Κοκκομετρική ανάλυση (μέθοδος κοσκινίσματος (ASTM C-136), μέθοδος αραιομέτρου (ASTM D-422/72)).

- Όρια Atterberg, όριο υδαρότητας (BNQ-2501-092), όριο πλαστικότητας (ASTM D-4318/83), άλλοι δείκτες (ASTM D-4318/83)).
- Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (δοκιμή οιδημέτρου), (ASTM D-2435/80).
- Δοκιμή ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης (ASTM D-2216/79, ASTM D-2938/71a).
- Δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης (I.S.R.M. 1985).
- Συμπύκνωση εδαφών – Πρότυπη μέθοδος Proctor (ASTM D-698/78).
- Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης (UU,CD), (ASTM D-2850/82).

### 5.3.2 Φυσικές ιδιότητες εδαφών

#### *Φυσική υγρασία*

Η δοκιμή αυτή έχει σαν σκοπό τη μέτρηση της μάζας του νερού που περιέχεται στο δείγμα του εδαφικού σχηματισμού. Ορίζεται ως ο λόγος του βάρους του νερού που υπάρχει μέσα στους πόρους ( $w_w$ ) προς το βάρος των ξηρών κόκκων του εδάφους ( $w_s$ ), δηλαδή:

$$m = \frac{w_w}{w_s} \cdot 100\%$$

Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Φαινόμενο βάρος*

Το φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του βάρους του εδάφους προς τον όγκο του εδάφους:  $\gamma = W/V$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), όπου  $W$  το συνολικό βάρος του δείγματος συμπεριλαμβανομένων και των πόρων με το περιεχόμενο τους (αέρας + νερό) και  $V$  ο συνολικός όγκος του δείγματος. Είναι θεμελιώδης ποσότητα που μεταβάλλεται ανάλογα με τις δομικές συνθήκες του εδάφους και ιδιαίτερα με αυτές που σχετίζονται με τον τρόπο διάταξης των στερεών σωματιδίων. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Ειδικό βάρος*

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας  $4^\circ\text{C}$ .

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$$

Με δεδομένο ότι το ειδικό βάρος του νερού  $\gamma_w$ , σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ισούται με 1, το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών  $\gamma_s$  ενός εδάφους ισούται αριθμητικά με το λόγο του βάρους της στερεάς ύλης (δηλαδή μόνο το βάρος των κόκκων) προς τον αντίστοιχο όγκο. Το ειδικό βάρος κόκκων παρέχει ενδείξεις για το είδος των περιεχόμενων στο έδαφος ορυκτολογικών ή οργανικών συστατικών και για την κρυσταλλικότητα και τη συσσωμάτωση των ορυκτών. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

### 5.3.3 Κοκκομετρική ανάλυση

Η διαδικασία διαχωρισμού των εδαφών σε ομάδες συστατικών, κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από κόκκους που το μέγεθος της διαμέτρου τους αναφέρεται μεταξύ ορισμένων ορίων, χαρακτηρίζεται σαν κοκκομετρική ανάλυση. Το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους εξετάζεται για τον χαρακτηρισμό του και την ταξινόμησή του. Τα μεγέθη των κόκκων προσδιορίζονται με τη μέθοδο κοσκινίσματος ή τη μέθοδο αραιομέτρου. Το όριο ανάμεσα στη χρησιμοποίηση αυτών των δύο μεθόδων βρίσκεται στους κόκκους που έχουν διάμετρο 0.075 mm (όριο άμμου-ιλύος). Έτσι αν έχουμε κόκκους με  $d > 0.075$  mm χρησιμοποιούμε τη μέθοδο κοσκινίσματος, ενώ αν έχουμε  $d < 0.075$  mm χρησιμοποιούμε τη μέθοδο αραιομέτρου. Αν ένα δείγμα περιέχει περισσότερο από 25% κόκκους με  $d < 0.075$  mm τότε είναι απαραίτητη μια συνδυασμένη ανάλυση.

#### *Μέθοδος κοσκινίσματος*

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHO T-27/66, ASTM C-136). Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Μέθοδος αραιομέτρου*

Η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη για τον ποσοτικό προσδιορισμό της κατά μέγεθος κατανομής των κόκκων στα λεπτόκοκκα εδάφη. 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. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

### 5.3.4 Όρια Atterberg

Η περιεκτικότητα σε νερό παίζει αποφασιστικό ρόλο στις ιδιότητες αντοχής και στερεότητας του υλικού. Στα κοκκώδη εδάφη η μεταβολή του περιεχόμενου νερού παίζει μικρό ρόλο στην αντοχή του, αλλά στα συνεκτικά εδάφη μπορεί να προκαλέσει σημαντικές αλλαγές.

#### *Όριο υδαρότητας*

Ορίζεται ως η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό κατά την χρονική στιγμή που το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην υδαρή κατάσταση. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Όριο πλαστικότητας*

Το όριο πλαστικότητας αντιστοιχεί στο χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας στο οποίο το έδαφος μεταβαίνει από την πλαστική στην ημιστερεή κατάσταση και μπορεί να κυλινδρωθεί σε ραβδίσκο διαμέτρου 3 mm χωρίς να θραύεται (ASTMD-4318/83). Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

Αν η περιεκτικότητα του δείγματος σε νερό αρχίσει να ελαττώνεται τότε τα τεμαχίδια του εδάφους πλησιάζουν μεταξύ τους, το υλικό συρρικνώνεται και το έδαφος συμπυκνώνεται. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συνοχή του εδάφους και μ'αυτή η αντοχή του σε πίεση. Αν εξακολουθήσει να ελαττώνεται η υγρασία του, τότε εισέρχεται μέσα στους πόρους αέρας. Αν το ζυμώσουμε στο χέρι κόβεται σε μικρούς κυλίνδρους. Στο σημείο αυτό χάνει τις πλαστικές του ιδιότητες και προσδιορίζουμε την περιεκτικότητα του σε νερό κατά το όριο πλαστικότητας υλικού (Δημόπουλος, 1986).

### 5.3.5 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (δοκιμή οιδημέτρου)

Με τη δοκιμή αυτή προσδιορίζεται ο βαθμός στερεοποίησης και η συμπίεστικότητα εδαφικού υλικού όταν είναι πλευρικά μη παραμορφώσιμο, φορτίζεται δε και στραγγίζεται αξονικά. Η καθίζηση είναι έτσι ίση με τη μεταβολή σε όγκο του δοκιμίου, δηλαδή είναι ανάλογη με τη μεταβολή του δείκτη πόρων. Οι κατακόρυφες παραμορφώσεις των εδαφών εξετάζονται στη συσκευή του οιδημέτρου (Φωτ. 5). Τα αποτελεσματα (BH-11, βάθος: 4.0-4.4 m) δίνονται παρακάτω.

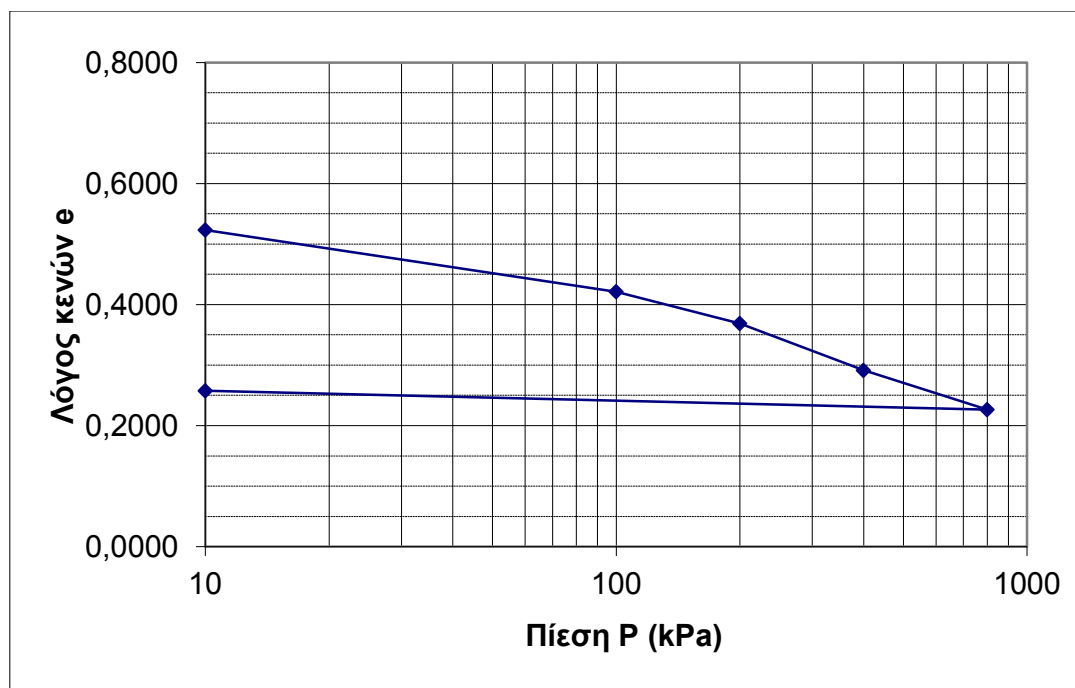


**Φωτογραφία 5:** Συσκευή οιδημέτρου.

Από τη καμπύλη «λόγος κενών (e) – επιβαλλόμενη πίεση (p)» του σχήματος 5.2 προκύπτει ο δείκτης συμπίεσης ή συντελεστής συμπίεστότητας  $C_c = 0.215$ .

**Πίνακας 5.7:** Συντελεστής στερεοποίησης  $C_v$  ανά βαθμίδα φόρτισης.

Βαθμίδα φόρτισης (kPa)	$C_v$ (cm <sup>2</sup> /sec)*10 <sup>-4</sup>
100	10.65
200	35.75
400	25.9
800	10.45



Σχήμα 5.2: Καμπύλη «λόγος κενών (e) – επιβαλλόμενη πίεση (p)».

### 5.3.6 Δοκιμή ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης

#### *Εδαφικά δοκίμια*

Η μέθοδος αφορά τον ταχύ προσδιορισμό της ανεμπόδιστης αντοχής αδιατάρακτου ή αναζυμωμένου 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 πίεσεως. Η εκτέλεση της δοκιμής δεν είναι εφικτή στα μη συνεκτικά εδάφη, επειδή δεν είναι δυνατή η παρασκευή εδαφικών δοκιμίων. Με τον όρο αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη εννοούμε τη θραύση μετά από πίεση ενός δείγματος κατά μία μόνο κατεύθυνση (κατακόρυφη), ενώ πλευρικά μπορεί να επεκτείνεται χωρίς κανένα εξωγενή περιορισμό. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Βραχώδη δοκίμια*

Η μέθοδος της δοκιμής αυτής έχει σαν σκοπό τον προσδιορισμό της αντοχής σε ανεμπόδιστη θλίψη δοκιμίων πετρωμάτων ορθού κυλινδρικού σχήματος. Η αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη σύμφωνα με τους Hawkes and Mellor το 1970 του βραχώδους υλικού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες που κυρίως έχουν σχέση με:



- Το υλικό του πετρώματος, δηλαδή την ορυκτολογική σύσταση, το μέγεθος των κόκκων, την ανισοτροπία μικρής κλίμακας (π.χ. σχιστότητα) κ.τ.λ..
- Την περιεχόμενη υγρασία του.
- Τις συνθήκες εκτέλεσης της δοκιμής και τη διαμόρφωση των δειγμάτων (δηλαδή λόγος μήκους – διαμέτρου του δοκιμίου, ρυθμός φόρτισης, παραλληλία βάσεων δοκιμίου κ.τ.λ.).

Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

### 5.3.7 Δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης

Η δοκιμή σημειακής φόρτισης είναι μία απλή δοκιμή που έχει σαν σκοπό την ταξινόμηση του ακέραιου πετρώματος από πλευράς αντοχής, με τον προσδιορισμό του δείκτη σημειακής φόρτισης ( $I_s$ ), καθώς επίσης και τον έμμεσο προσδιορισμό της αντοχής σε μοναξονική θλίψη. Η δοκιμή γίνεται συνήθως στο εργαστήριο αλλά και επιτόπου του έργου, λόγω της σχετικά εύκολης μεταφοράς της ειδικής συσκευής που χρησιμοποιείται. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

### 5.3.8 Συμπύκνωση εδαφών – Πρότυπη μέθοδος Proctor

Με τον όρο συμπύκνωση εννοούμε την τεχνική αύξηση της πυκνότητας του εδάφους με μηχανικά μέσα. Με την συμπύκνωση επιτυγχάνουμε αύξηση της διατμητικής αντοχής του εδάφους, μείωση των καθιζήσεων και της διαπερατότητας του. Η διαδικασία συμπύκνωσης εφαρμόζεται στα τεχνικά έργα για ασφαλέστερες κατασκευές. Σκοπός της δοκιμής είναι η κατασκευή της καμπύλης *ξηρής πυκνότητας – υγρασίας* με τη βοήθεια της οποίας προσδιορίζεται το ζεύγος τιμών *μέγιστης ξηρής πυκνότητας ( $\gamma_{dmax}$ ) – βέλτιστη υγρασία ( $m_{opt}$ )* στο ανώτατο σημείο της καμπύλης. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

### 5.3.9 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης

Κατ' αυτήν ένα κυλινδρικό δοκίμιο εδάφους που περιβάλλεται από μια ελαστική μεμβράνη και στη συνέχεια από ένα υγρό μέσα σ'ένα θάλαμο πίεσης, υποβάλλεται σε μια ομοιόμορφη πλευρική πίεση. Στη συνέχεια το δοκίμιο υποβάλλεται σε κατακόρυφη συμπίεση μ'ένα αξονικό φορτίο.

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 εξασκείται κατά τον άξονα του δοκιμίου, που υπόκειται ταυτόχρονα σε μια πλευρική πίεση, ελέγχεται με τη μέτρηση των παραμορφώσεων του δοκιμίου και των τάσεων που εξασκούνται σ' αυτό. Η δοκιμή αυτή παρέχει τα δεδομένα για τον προσδιορισμό των διατμητικών ιδιοτήτων και της σχέσεως τάσης - παραμόρφωσης των εδαφών.

#### *Δοκιμές χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU)*

Στην δοκιμή αυτή εκφράζεται η κατάσταση των τάσεων κατά τη θραύση ενός κυλινδρικού δοκιμίου εδάφους όπου δεν λαμβάνει χώρα αποστράγγιση του νερού των πόρων του δοκιμίου κατά την τριαξονική φόρτιση. Σε αυτήν την δοκιμή δεν μετράται η πίεση του νερού των πόρων. Αναφέρεται σε ολικές τάσεις και προκύπτει περιβαλλούσα Mohr όπου εκτιμώνται  $\phi = \phi_u \rightarrow 0$  και  $c = c_u$ . Τα αποτελέσματα των δοκιμών δίνονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4.

#### *Δοκιμή με στερεοποίηση και με αποστράγγιση (CD)*

Στην 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. Στο 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 ( $u=0$ ). Στη δοκιμή αυτή προσδιορίζονται μόνο οι ενεργές τάσεις και οι αντίστοιχες παράμετροι διατμητικής αντοχής στη θραύση  $\phi'$  και  $c'$ . Τα αποτελέσματα δίνονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

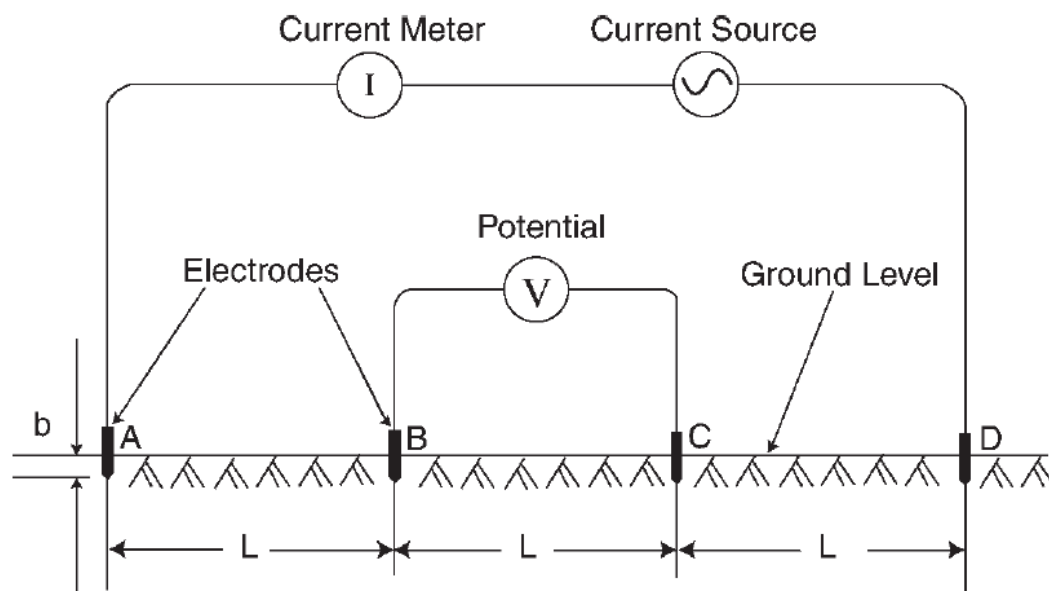
## **5.4 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

### **5.4.1 Μετρήσεις της Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης**

Σκοπος είναι να ληφθούν μετρήσεις της ειδικής αντίστασης του υπεδάφους σε διάφορα βάθη κατά μήκος της διαδρομής του αγωγού. Η διακύμανση της ειδικής αντίστασης με το βάθος είναι μία σημαντική μηχανική παράμετρος για την αξιολόγηση των διαδικασιών διάβρωσης.

Σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM G57 και ASTM G187, η διάταξη των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις της ειδικής αντίστασης είναι

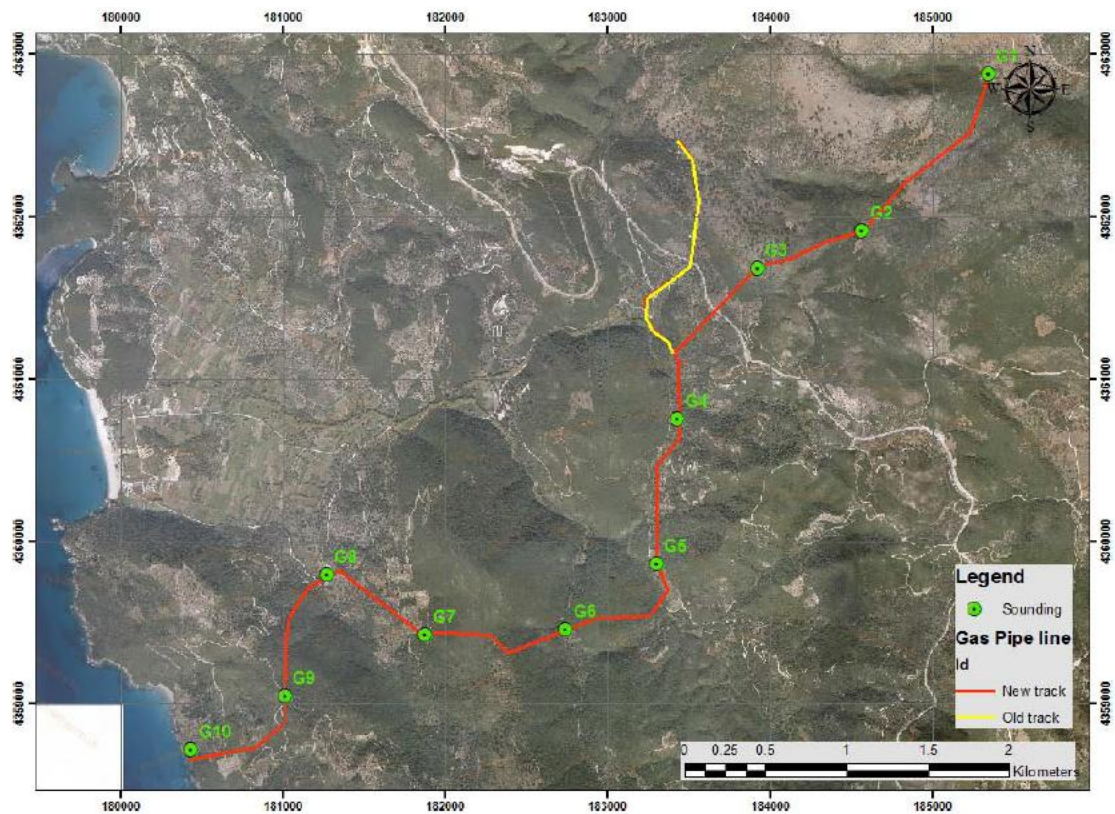
αυτή του Wenner (Σχ. 5.3). Οι θέσεις των σημείων μέτρησις, καθώς και τα αποτελέσματα αυτών δίνονται παρακάτω (Σχ. 5.4, Πιν. 5.8 και 5.9). Να αναφέρουμε πως από τα σημεία των μετρήσεων της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης συλλέχθηκαν και δείγματα εδάφους για χημικές αναλύσεις (βλέπε επόμενη ενότητα).



**Σχήμα 5.3:** Διάταξη Wenner. Το βάθος των ηλεκτροδίων  $b$  πρέπει να είναι μικρότερο από την απόσταση των ηλεκτροδίων  $L$ . (Από Henry, L. 2003).

**Πίνακας 5.8:** Συντεταγμένες θέσεων μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και εδαφικών δειγμάτων προς χημική ανάλυση.

Όνομα	Συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87 (m)	
	X	Y
G1	185352.0	4362879.0
G2	184574.0	4361919.0
G3	183928.0	4361682.0
G4	183434.0	4360754.0
G5	183305.5	4359861.7
G6	182748.2	4359454.6
G7	181879.1	4359427.2
G8	181274.0	4359796.4
G9	181017.2	4359046.7
G10	180437.3	4358714.6



Σχήμα 5.4: Θέσεις μετρήσεων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και εδαφικών δειγμάτων (Christaras B., 2012).

Πίνακας 5.9: Αποτελέσματα ηλεκτρικής διασκόπησης (από Τσόκας Γ., 2011).

Θέση	Μετρήσεις	L(m)						
		0.5	1.0	1.5	2.0	3.0	4.5	6.0
G1	V (mV)	2926.4	3008.6	3085.4	3070.4	3069.7	3078.9	984.6
	I (mA)	11.0	29.3	54.7	74.1	95.9	110.9	42.3
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>837.3</b>	<b>645.2</b>	<b>531.6</b>	<b>520.7</b>	<b>603.2</b>	<b>785.0</b>	<b>877.5</b>
G2	V (mV)	2879.6	2861.0	511.4	214.8	628.2	1498.4	709.2
	I (mA)	4.6	6.1	27.7	27.7	6.6	18.9	13.1
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>1988.2</b>	<b>2971.3</b>	<b>174.0</b>	<b>97.5</b>	<b>1786.0</b>	<b>2241.6</b>	<b>2040.9</b>
G3	V (mV)	3194.0	987.4	770.4	429.0	589.5	429.2	500.7
	I (mA)	45.9	123.9	136.3	93.6	117.9	64.6	81.3
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>218.8</b>	<b>50.1</b>	<b>53.3</b>	<b>57.6</b>	<b>94.2</b>	<b>187.9</b>	<b>232.2</b>
G4	V (mV)	1774.4	1927.6	1049.3	654.2	4.7	199.7	122.2
	I (mA)	506.7	435.0	483.1	475.9	6.2	334.7	268.7
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>11.0</b>	<b>27.8</b>	<b>20.5</b>	<b>17.3</b>	<b>14.3</b>	<b>16.9</b>	<b>17.1</b>
G5	V (mV)	3170.3	1951.0	973.6	558.8	382.0	174.9	170.0
	I (mA)	73.2	113.3	117.3	109.2	137.4	96.4	118.6
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>136.0</b>	<b>108.2</b>	<b>78.2</b>	<b>64.3</b>	<b>52.4</b>	<b>51.3</b>	<b>54.0</b>

<b>G6</b>	V (mV)	3272.6	483.7	279.5	190.0	129.9	103.7	128.6
	I (mA)	90.9	47.8	58.3	79.0	89.7	84.7	124.7
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>113.1</b>	<b>63.6</b>	<b>45.2</b>	<b>30.2</b>	<b>27.3</b>	<b>34.6</b>	<b>38.9</b>
<b>G7</b>	V (mV)	2894.9	2845.0	2654.8	1755.8	1408.4	1547.1	1013.4
	I (mA)	6.4	8.0	9.3	8.1	9.3	18.8	19.1
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>1414.4</b>	<b>2245.7</b>	<b>2705.0</b>	<b>2737.5</b>	<b>2842.4</b>	<b>2326.8</b>	<b>2000.2</b>
<b>G8</b>	V (mV)	36.7	49.3	509.8	449.9	288.3	113.8	54.5
	I (mA)	1.4	7.0	139.6	193.5	220.8	148.4	109.5
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>81.8</b>	<b>44.1</b>	<b>34.4</b>	<b>29.2</b>	<b>24.6</b>	<b>21.7</b>	<b>18.8</b>
<b>G9</b>	V (mV)	118.4	43.1	44.5	46.8	38.8	49.5	50.0
	I (mA)	1.4	1.1	1.8	2.5	3.3	6.2	8.1
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>261.9</b>	<b>239.7</b>	<b>227.9</b>	<b>235.2</b>	<b>219.6</b>	<b>224.1</b>	<b>233.7</b>
<b>G10</b>	V (mV)	138.6	131.9	152.8	153.7	152.8	160.6	118.0
	I (mA)	2.8	5.7	11.9	17.6	32.4	57.6	73.8
	$\rho$ (Ohm*m)	<b>154.4</b>	<b>146.2</b>	<b>121.0</b>	<b>109.7</b>	<b>88.9</b>	<b>78.8</b>	<b>60.3</b>

Τα ξηρά εδάφη έχουν υψηλή ειδική αντίσταση και είναι μη διαβρωτικά, ενώ τα υγρά εδάφη (ιδίως αυτά που περιέχουν και άλατα) έχουν χαμηλή ειδική αντίσταση και είναι διαβρωτικά. Αναλόγως την τιμή της ειδικής αντίστασης που έχουν, τα εδάφη ταξινομούνται όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα:

Ταξινόμηση	Ειδική αντίσταση εδάφους (ohm·m)
Μη διαβρωτικά	> 100
Ελαφρώς διαβρωτικά	20 - 100
Μέτρια διαβρωτικά	10 - 20
Διαβρωτικά	5 - 10
Πολύ διαβρωτικά	< 5

## 5.5 ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ

Σκοπός είναι η πλήρης γνώση του χημισμού του εδάφους με το οποίο έρχεται σε επαφή ο αγωγός, έτσι ώστε να σχεδιαστεί σωστά η ανοδική του προστασία. Η ανοδική προστασία του αγωγού είναι ένα σημαντικό πρόβλημα, καθώς σε ένα τέτοιο έργο δεν επιτρέπονται διαβρώσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε διαρροές του εύφλεκτου προϊόντος που μεταφέρουν και μάλιστα με υψηλές πιέσεις.

Γενικά μας ενδιαφέρει και ο χημισμός του υπόγειου νερού για τον ίδιο λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω, με τη διαφορά ότι στη περιοχή μελέτης δεν βρέθηκε υδροφόρος ορίζοντας στο βάθος διάτρησης των γεωτρήσεων, ούτε κάποια εμφανή επιφανειακή πηγή.

**Πίνακας 5.10:** Χημικές αναλύσεις των εδαφικών δειγμάτων από τις θέσεις μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχ. 5.4). Τα δεδομένα δίνονται σε mg/lit εδαφικού εκχυλίσματος (1:5) ή mg/100gr εδάφους.

Θέσεις	pH	Αγωγιμότητα ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$
G1	7.45	31	2	3	11.8
G2	7.53	104	0	0	6.6
G3	7.44	58	0	0	0
G4	7.60	39	0	0	1.3
G5	7.68	99	0	0	0
G6	7.74	69	2	21	0
G7	7.72	48	0	0	0.3
G8	7.50	96	3	0	0.6
G9	7.40	55	14	0	0.4
G10	7.43	44	0	0	0

## 6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΓΕΩΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

### 6.1 ΔΟΚΙΜΕΣ SPT

#### 6.1.1 Μη συνεκτικά εδάφη

##### Διόρθωση μετρήσεων

Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται άμεσα από την εκτέλεση της δοκιμής θα πρέπει να διορθώνονται ανάλογα με την ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα και το βάθος εκτέλεσης της δοκιμής όπως:

- Στην περίπτωση που η δοκιμή εκτελείται κάτω από τον υδροφόρο ορίζοντα τότε συνιστάται διόρθωση του αριθμού κρούσεων (μόνο για  $N > 15$ ) σύμφωνα με τη σχέση  $N' = 15 + 0.5 (N - 15)$ , όπου  $N$  ο αριθμός των κρούσεων που έχει μετρηθεί. Η παραπάνω σχέση ισχύει κυρίως για λεπτές άμμους και ιλλοαμμώδεις σχηματισμούς και κυρίως αναφέρεται στην πίεση των πόρων κατά την έμπηξη του δειγματολήπτη.
- Διόρθωση της δοκιμής σε συνάρτηση με την ενεργή γεωστατική τάση (δηλ. λόγω των υπερκείμενων εδαφικών σχηματισμών) και ισχύει μόνο για μη συνεκτικά εδάφη. Έχει οριστή ένας συντελεστής διόρθωσης  $C_N$  που ορίζεται σαν ο λόγος της αντίστασης αιχμής (δηλ. του  $N$ ) για δεδομένη ενεργή γεωστατική τάση  $\sigma'_v$  (δηλ. στο βάθος εκτέλεσης της δοκιμής) προς την αντίσταση αιχμής  $N'$  που αντιστοιχεί σε σταθερή ενεργή γεωστατική τάση που λαμβάνεται συνήθως  $1 \text{ kg/cm}^2$  ( $100 \text{ kPa}$ ). Πρακτικά η τιμή του  $N$  διορθώνεται σύμφωνα με τη σχέση  $N' = C_N \cdot N$  (Πίνακας 6.1). Η σχέση που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή διόρθωσης είναι αυτή των PECK, HANSEN and THORNBURN (1974):  $C_N = 0.77 \log_{10} \frac{1915}{\sigma'_v}$

Στη παρούσα εργασία οι διορθώσεις έγιναν συναρτήση της ενεργής γεωστατικής τάσης. Δεν βρέθηκε υδροφόρος.

##### Σχετική πυκνότητα, $D_r$

Λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο της ενεργού τάσης, ο Skempton (1986) πρότεινε την ακόλουθη σχέση:

$$D_r = \sqrt{\frac{N'}{0.28 \cdot \sigma'_v \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right) + 27}}$$

#### Γωνία εσωτερικής τριβής, $\varphi$

Για την έμμεση συσχέτιση ανάμεσα στη σχετική πυκνότητα και τη γωνία εσωτερικής τριβής ο MEYERHOF (1958) πρότεινε τη σχέση:  $\varphi^\circ = 25^\circ + 15 D_r$  (έδαφος με προσμίξεις συνεκτικών > 5%). Ενώ ο Ohsaki (1962) πρότεινε τη σχέση ανάμεσα στον αριθμό κρούσεων  $N$  και στη γωνία εσωτερικής τριβής:

$$\varphi^\circ = \sqrt{20 \cdot N} + 15^\circ$$

#### Οιδημετρικό μέτρο ελαστικότητας, $E_s$

Σε κοκκώδεις εδαφικούς σχηματισμούς ο αριθμός των κρούσεων  $N$ , της πρότυπης δοκιμής διείδυσης, συσχετίζεται με την τιμή του οιδημετρικού μέτρου. Το οιδημετρικό μέτρο αντιστοιχεί σε τάση ίση με το κατακόρυφο ενεργό φορτίο στη θέση που διενεργείται η δοκιμή, γι' αυτό και εμμέσως συνεκτιμάται το γεωστατικό φορτίο που επιδρά στη θέση της δοκιμής.

Σύμφωνα με Begemann (1974):  $E_s = 40 + C (N \pm 6)$ , όπου

<b>N</b>	<b>±6</b>
<15	-
>15	+

<b>Είδος εδάφους</b>	<b>C</b>
Ιλυώδης άμμος	3
Λεπτόκοκκη άμμος	3.5
Μεσόκοκκη άμμος	4.5
Χονδρόκοκκη άμμος	7
Χαλικώδης άμμος	10
Αμμώδεις χάλικες	12

Από Papadopoulos & Anagnostopoulos (1987):  $E_s = C_1 + C_2 \cdot N$ , όπου

<b>Είδος Εδάφους</b>	<b>C<sub>1</sub></b>	<b>C<sub>2</sub></b>
Αμμώδης Ιλύς	3.2	0.49
Ιλυώδης Άμμος	2.6	0.69
Λεπτόκοκκη Άμμος	7.5	0.80



### Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων, $V_s$

Η εκτίμηση της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων,  $V_s$  μπορεί να γίνει από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Imai & Tonouchi (1982), για όλα τα εδάφη:  $V_s = 96.9 \cdot N^{0.314}$
- Pitilakis et al. (1999), για αμμώδη εδάφη:  $V_s = 145 \cdot (N_{60})^{0.178}$ , όπου  $N_{60}$ : διόρθωση λόγω της ενέργειας πτώσης του βάρους.

Η τιμή  $N$  της δοκιμής που μετράται με γνωστή ή εκτιμώμενη απόδοση ενέργειας,  $ER_r$ , κανονικοποιείται σε ένα τυπικό λόγο απόδοσης ενέργειας 60% (Seed et al., 1984), Πίνακας 6.2:  $N_{60} = N \cdot (ER_r/60)$ .

**Πίνακας 6.2:** Χρησιμοποιούμενοι λόγοι απόδοσης ενέργειας (Skempton, 1986).

	<b>Hammer</b>	<b>Release</b>	<b><math>ER_r</math>: %</b>	<b><math>ER_r/60</math></b>
<b>Japan</b>	<b>Donut</b>	<b>Tombi</b>	<b>78</b>	<b>1.3</b>
	<b>Donut</b>	<b>2 turns of rope</b>	<b>65</b>	<b>1.1</b>
<b>China</b>	<b>Pilcon type</b>	<b>Trip</b>	<b>60</b>	<b>1.0</b>
	<b>Donut</b>	<b>Manual</b>	<b>55</b>	<b>0.9</b>
<b>USA</b>	<b>Safety</b>	<b>2 turns of rope</b>	<b>55</b>	<b>0.9</b>
	<b>Donut</b>	<b>2 turns of rope</b>	<b>45</b>	<b>0.75</b>
<b>UK</b>	<b>Pilcon, Dando,</b>	<b>Trip</b>	<b>60</b>	<b>1.0</b>
	<b>old standard</b>	<b>2 turns of rope</b>	<b>50</b>	<b>0.8</b>

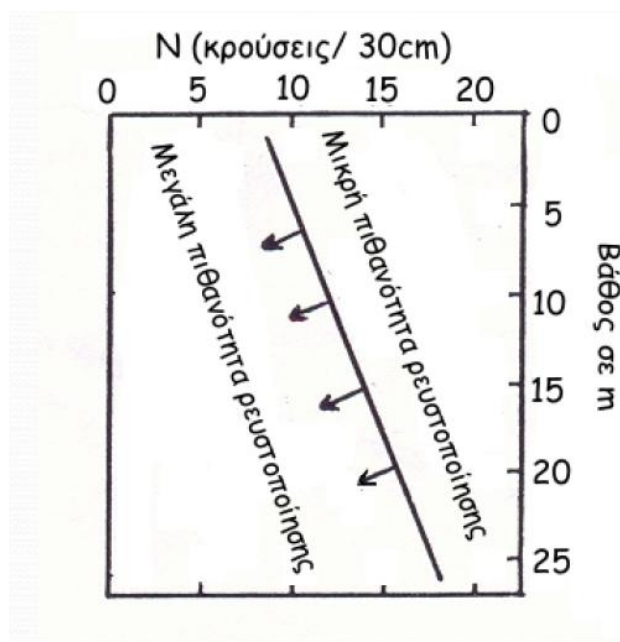
Συνήθως, στην Ελλάδα, δεν απαιτείται τέτοια διόρθωση (δηλ.  $ER_r/60 = 1$ ,  $N_{60} = N$ ) επειδή η συνήθης μέθοδος εκτέλεσης της δοκιμής δίνει ενέργεια πτώσεως περίπου ίση με το 60% της θεωρητικής ενέργειας πτώσεως.

### **Έλεγχος δυνατότητας ρευστοποίησης**

Ειδικότερα για τα αμμώδη εδάφη, αυτά όπως είναι γνωστό υφίστανται ρευστοποιήσεις κάτω από δυναμική φόρτιση (χάνουν προσωρινά τη διατμητική τους αντοχή). Οι παράγοντες που καθορίζουν την εκδήλωση των φαινομένων είναι:

- Γεωλογική ηλικία εδαφικών σχηματισμών
- Γεωμορφολογικά κριτήρια – περιβάλλον απόθεσης
- Στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα
- Κοκκομετρική σύσταση των σχηματισμών
- Σχετική πυκνότητα

Επομένως λαμβάνοντας υπόψη τη δοκιμή πρότυπης διείδυσης μπορεί να λεχθεί ότι η ευαισθησία ρευστοποίησης ενός αμμόδους σχηματισμού σχετίζεται με τη διορθωμένη τιμή του N (Σχ. 6.1).



**Σχ. 6.1:** Διάγραμμα κινδύνου ρευστοποίησης εδαφών (από το Προσχέδιο Αντισεισμικού Κανονισμού, Τάσιος & Γκαζέτας 1979), βελτιωμένο και μετά τους σεισμούς Αρμενίας 1988, Borah Peak 1983, Kobe 1995.

### 6.1.2 Συνεκτικά εδάφη

#### Αστράγγιστη συνοχή, $c_u$

Οι Terzaghi & Peck (1948) ήταν οι πρώτοι που υπολόγισαν τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην αστράγγιστη συνοχή,  $c_u$ , και τον αριθμό των κρούσεων, N. Η σχέση είναι:

$$c_u = 0.062 \cdot N \text{ (kp/cm}^2\text{)}.$$

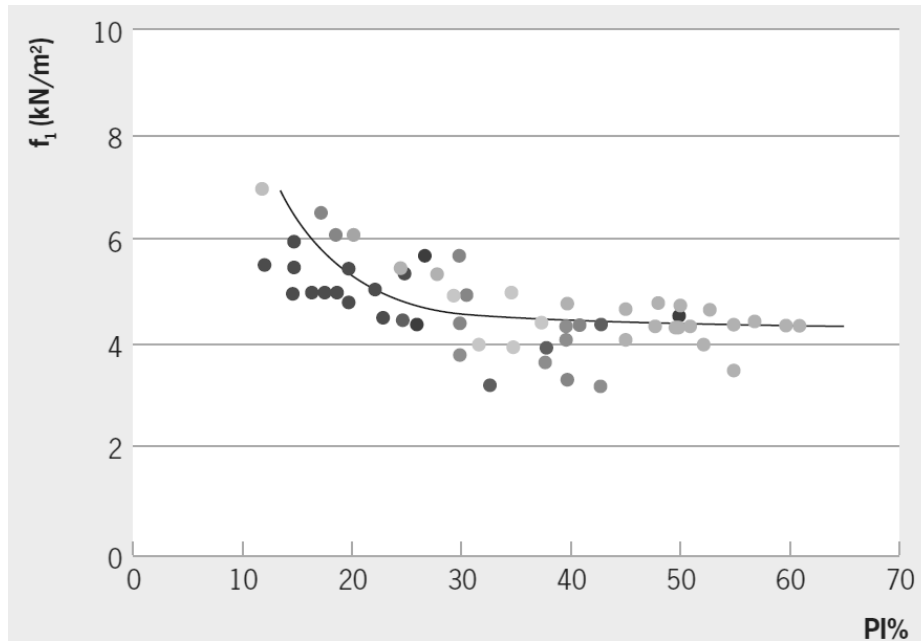
Στο παρακάτω πίνακα 6.3 οι Terzaghi & Peck (1967) έδωσαν τη σχέση που συνδέει τον αριθμό κρούσεων N με την αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη συνεκτικών εδαφών και επομένως έμμεσα με την αστράγγιστη συνοχή ( $c_u = q_u / 2$ ).

**Πίνακας 6.3:** Σχέση  $q_u - N$ .

N	Χαρακτηρισμός εδάφους	$q_u$ (kPa)
< 2	Πολύ μαλακό	< 25
2 – 4	Μαλακό	25 – 50

4 – 8	Μέτριο	50 – 100
8 – 15	Στιφρό	100 – 200
15 – 30	Πολύ στιφρό	200 – 400
> 30	Σκληρό	> 400

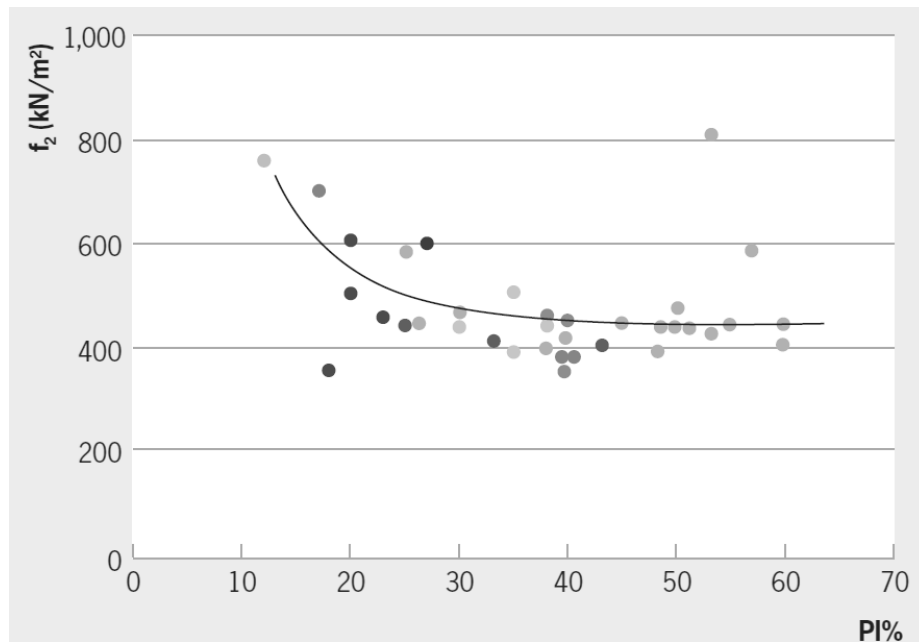
Επίσης η αστράγγιστη συνοχή αργιλικών εδαφών μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση, Stroud & Butler (1975):  $c_u = f_1 \cdot (N_{60})$  και το σχήμα 6.2.



**Σχήμα 6.2:** Διάγραμμα που συνδέει το δείκτη πλαστικότητας (PI) και το συντελεστή  $f_1$  (Stroud & Butler 1975).

#### Μέτρο ελαστικότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες, $E_u$

Το μέτρο ελαστικότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση, Stroud & Butler (1975):  $E_u = f_2 \cdot (N_{60})$  και το σχήμα 6.3 ( $m_u = 1/E_u$ ,  $m_u = 1/(f_2 \cdot (N_{60}))$ ),  $m_u$ : συντελεστής συμπιεστότητας).



**Σχήμα 6.3:** Διάγραμμα που συνδέει το δείκτη πλαστικότητας (PI) και το συντελεστή  $f_2$  (Stroud & Butler 1975).

Επίσης από CIRIA report (1995) έχουμε  $E_u = 100 \cdot c_u$ .

#### Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων, $V_s$

Η εκτίμηση της ταχύτητας διατμητικών κυμάτων,  $V_s$  μπορεί να γίνει από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Athanopoulos (1995), για αργιλικά εδάφη:  $V_s = 76.55 \cdot N^{0.445}$
- Pitilakis et al. (1999), για αργιλικά εδάφη:  $V_s = 132 \cdot (N_{60})^{0.271}$

Πίνακας 6.1: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων δοκιμών SPT.

Γεώτρηση	SPT		N	Κοκκώδη εδάφη								Λεπτόκοκκα εδάφη							
	Βάθος (m)			N'	D <sub>r</sub> , Skempton (1986)	φ', Meyerhof (1956)	φ', Ohsaki (1962)	Es, Begemann (1974) (MPa)	E <sub>s</sub> , Papadopoulos & Anagnostopoulos (1974) (MPa)	V <sub>s</sub> ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (m/s)		Terzaghi & Peck (1948) c <sub>u</sub> (kPa)	Terzaghi & Peck (1967) q <sub>i</sub> =2c <sub>u</sub> (kPa)	Stroud & Butler (1975) c <sub>u</sub> (kPa)	Stroud & Butler (1975) E <sub>u</sub> (MPa)	E <sub>r</sub> , CIRIA report (1995)		V <sub>s</sub> ταχύτητα διατμητικών κυμάτων (m/s)	
	Από	Έως								Imai & Tonouchi (1982) all soils	Pitilakis et al. (1999), sand					Terzaghi & Peck (1948)	Stroud & Butler (1975)	Athanasopoulos (1995) clay	Pitilakis et al. (1999) clay
BH - 4	1,50	1,95	36								219	438	162	16.45	21.9	16.2	377	349	
	3,00	3,45	>50(75)								>304(456)	>608(912)	>221(331)	>22.28(33.43)	>30.4(45.6)	>22.1(33.1)	436(523)	381(425)	
	4,55	4,84	DENIAL								304	608	221	22.28	30.4	22.1	436	381	
BH - 5	1,50	1,95	47								286	572	210	21.01	28.6	21	425	375	
	3,00	3,45	41								249	498	179	18.51	24.9	17.9	400	361	
	4,55	5,00	47								286	572	210	21.01	28.6	21	425	375	
	6,00	6,40	DENIAL								304	608	221	22.28	30.4	22.1	436	381	
BH - 6	1,55	2,00	>50(62)								>304(377)	>608(754)	>221(274)	>22.28(27.63)	>30.4(37.7)	>22.1(27.4)	436(480)	381(404)	
	3,00	3,45	26*								>158	316	>130	>12.89	>15.8	>13	326	319	
	4,55	5,00	13*								>79	158	>91	>66.66	>7.9	>9.1	240	264	
	6,00	6,34	DENIAL								304	608	221	22.28	30.4	22.1	436	381	
	8,55	9,00	36								219	438	162	16.45	21.9	16.2	377	349	
	10,55	11,00	34	24	0.52	33	37	44	34.7	293	272								
BH - 7	1,55	2,00	29	38	1.01	40	42	19.8	22.61	279	264								
	3,00	3,45	25	28	0.79	37	39	13.3	19.85	266	257								
	4,70	5,15	20																
	6,00	6,45	13																
	8,55	9,00	43																
BH - 8	1,55	1,84	DENIAL		1.19	43	47	60	47.5	331	291								
	3,00	3,10	DENIAL		1.09	41	47	20.8	37.1	331	291								
	4,60	4,71	DENIAL		0.97	40	47	23.6	37.1	331	291								
	6,00	6,09	DENIAL		0.91	39	47	23.6	37.1	331	291								
	7,50	7,70	DENIAL		0.83	37	47	23.6	37.1	331	291								
BH - 9	1,60	1,89	DENIAL		1.18	43	47	23.6	47.5	331	291								
	3,00	3,00	DENIAL		1.11	42	47	20.8	37.1	331	291								
	4,50	4,94	DENIAL		0.95	39	47	20.8	37.1	331	291								
	6,00	6,20	DENIAL		0.89	39	47	20.8	37.1	331	291								
	8,20	8,65	31																
											188	376	142	14.75	18.8	14.2	353	335	

(\*): Έντονη βροχοπτώση κατά την διάρκεια της νύχτας με συνέπεια να αυξηθεί η φυσική υγρασία του εδαφικού υλικού και να μεταβληθούν οι μηχανικές ιδιοτητες του.

Στα γκριζα κελία στον πίνακα όπου έχουμε ΑΡΝΗΣΗ διεύθυνσης σε συγκεκριμένο βάθος η τιμή του αριθμού των χτύπων παίρνεται 50.

## 6.2 ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

### 6.2.1 Φυσικές ιδιότητες εδαφών

Πίνακας 6.4: Αξιολόγηση φυσικών ιδιοτήτων.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική Υγρασία w (%)	Φαινόμενο Βάρος $\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Ειδικό Βάρος $\gamma_s$	Ξηρό Φαινόμενο Βάρος $\gamma_d$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Δείκτης Πόρων e	Πορώδες n (%)	Βαθμός Κορεσμού $S_w$ (%)	USCS
BH4	0-1.5	18.7	1.76	2.59	1.48	0.747	42.8	64.9	
	1.9-3.0	15.2	1.55	2.23	1.35	0.657	39.7	51.6	CH
	3.00-3.45			2.18					CH
	3.7-4.55	15.5	1.74	2.40	1.51	0.593	37.2	62.7	CL
	4.8-5.8	15.8	1.73		1.49				CL
	6.8-8.35	15.0	1.83		1.59				
	9.5-11.0	12.8	1.87	2.66	1.66	0.605	37.7	56.3	ML
	14.0-15.0	14.5	1.92		1.68				
BH5	0-1.5	9.1	1.76	2.87	1.61	0.779	43.8	33.5	ML
	1.95-3.0	22.3	2.02	2.41	1.65	0.459	31.5	117.1	CH
	3.00-3.45	23.65		2.09					CH
	3.45-4.55	25.0	2.03	2.43	1.62	0.496	33.2	122.4	CH
	6.8-8.3	19.3	1.91	2.5	1.60	0.562	36.0	85.9	CH
	8.8-8.9		1.76		1.76				
	11.9-13.4	19.5	2.04	2.32	1.71	0.359	26.4	126.0	
BH6	0.0-1.5	8.1	1.61	2.47	1.49	0.658	39.7	30.4	
	2.0-3.0	21.3	1.74	2.34	1.43	0.631	38.7	79.0	CL
	3.00-3.45			2.33					CL
	3.45-4.55	26.8	1.84	2.35	1.45	0.619	38.3	101.7	
	5.0-6.0	13.9	1.97	2.33	1.73	0.347	25.8	93.3	CH
	6.0-8.55	30.5	1.65	2.1	1.26	0.661	39.8	96.9	CH
	9.0-9.5	19.0	2.02	2.34	1.70	0.379	27.5	117.5	CL
	11.0-11.7	16.6	2.1	2.52	1.80	0.399	28.5	104.8	SP
	12.0-13.0	19.5	2.03		1.70				
	13.0-13.6	9.7		2.53					SP
BH7	0-1.5	8.6	1.78	2.56	1.64	0.562	36.0	39.2	SP
	3.00-3.45	20		2.25					SC
	3.45-4.7	23.6	1.98	2.24	1.60	0.398	28.5	132.7	SP
	4.7-5.45								
	6.45-7.0	11.1	2.02	2.67	1.82	0.469	31.9	63.3	CL
	7.0-8.55	18.3	2.16	2.65	1.83	0.451	31.1	107.4	CL
	9.0-9.7	36.7	2.03	2.68	1.49	0.805	44.6	122.2	ML
	11.55-12.65	24.5	2.1		1.69				

<b>BH8</b>	0-1.55	12.9	1.67	2.49	1.48	0.683	40.6	47.0	SW
	1.8-3.0	2.1	1.73		1.69				SP
	4.7-6.0	4.9	1.97	2.77	1.88	0.475	32.2	28.6	SP
	7.7-9.0	8.7	2.1	2.82	1.93	0.460	31.5	53.4	
<b>BH9</b>	0-1.6	13.0	1.77	2.40	1.57	0.532	34.7	58.6	SP
	3.0-4.5	6.5	1.64	2.75	1.54	0.786	44.0	22.7	
	4.65-6.0	20.4	2.1	2.43	1.74	0.393	28.2	126.1	
	8.5-10.0	12.0	2.27		2.03				CL
<b>BH10</b>	8.0-8.15	0.2		1.3					
<b>BH11</b>	1.2-1.4	22.5	1.87	2.12	1.53	0.389	28.0	122.7	ML
	2.0-2.7	38.3	1.73	2.02	1.25	0.615	38.1	125.8	MH
	3.0-3.7	37.2	1.89	2.05	1.38	0.488	32.8	156.2	MH
	4.0-4.4	37.2	1.99	2.07	1.45	0.427	29.9	180.3	CL
	5.4-5.9	42.4	1.6	2.02	1.12	0.798	44.4	107.4	MH
	7.2-7.5	39.1	1.76	1.96	1.27	0.549	35.4	139.6	MH
	9.2-9.6	41.5	1.72	2	1.22	0.645	39.2	128.6	MH
	11.3-11.7	36.2	1.81	2	1.33	0.505	33.6	143.4	MH
	12.4-12.8	37.3	1.95	1.95	1.42	0.373	27.2	195.0	MH
	13.5-13.7	3.3	1.96		1.90				GM
14.5-14.7	4.3	1.95		1.87				GM	
<b>BH12</b>	1.5-1.6	1.9	1.78		1.75				(Ασβεστόλιθος)
	4.0-4.15	0.2	1.79		1.79				(Ασβεστόλιθος)
	4.5-4.7	1	1.77		1.75				(Ασβεστόλιθος)
	8.3-8.5	0.1	1.74		1.74				(Ασβεστόλιθος)
	8.5-8.65	1	1.73		1.71				(Ασβεστόλιθος)
	15.5-15.6	0.2	1.7		1.70				(Ασβεστόλιθος)
	16.0-16.2	0.2	1.71		1.71				(Ασβεστόλιθος)
	20.5-20.6	0.2	1.69		1.69				(Ασβεστόλιθος)
	21.7-21.8	0.6	1.74		1.73				(Ασβεστόλιθος)
<b>BH13</b>	1.0-1.1	1.1	1.81		1.79				(Ασβεστόλιθος)
	1.8-2.0	1.3	1.71		1.69				(Ασβεστόλιθος)
	3.6-3.8	0.4	1.8		1.79				(Ασβεστόλιθος)
	4.5-4.7	1.6	1.71		1.68				(Ασβεστόλιθος)
	5.0-5.2	0.2	1.75		1.75				(Ασβεστόλιθος)
	5.8-6.0	1	1.69		1.67				(Ασβεστόλιθος)
	8.8-9.0	1.8	1.7		1.67				(Ασβεστόλιθος)
	11.2-11.6	0.1	1.7		1.70				(Ασβεστόλιθος)
	13.0-13.3								(Ασβεστόλιθος)
	13.3-13.8	2.5	1.78		1.74				(Ασβεστόλιθος)
	14.0-14.3	0.3	1.81		1.80				(Ασβεστόλιθος)
	15.0-15.1	0.3	1.76		1.75				(Ασβεστόλιθος)
	15.7-16.0	0.2	1.82		1.82				(Ασβεστόλιθος)
19.8-20.0		1.86		1.86				(Ασβεστόλιθος)	

Ο δείκτης πόρων χαρακτηρίζει την παραμόρφωση που πιθανόν να υποστεί το έδαφος από την επίδραση των εφαρμοζόμενων φορτίων καθώς και την υδροπερατότητα.

**Πίνακας 6.5:** Διακύμανση τιμών δείκτη πόρων και πορώδους.

Έδαφος	e	n (%)
Αμμώδης	0.398-0.683	28.5-40.6
Ιλυώδης	0.389-0.805	27.2-44.6
Αργιλώδης	0.347-0.661*	25.8-39.8

\*Γενικά χαμηλές τιμές δείκτη κενών για αργίλους, πιθανών υπερστερεοποιημένες.

**Πίνακας 6.6:** Ενδεικτικές τιμές πορώδους, δείκτη κενών, περιεχόμενης υγρασίας και φαινόμενου βάρους διαφόρων εδαφών (από ΛΑΓΓΙΩΤΗ και ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟ, 1978).

A/A	Χαρακτηρισμός εδάφους	Πορώδες n (%)	Δείκτης κενών e	Περιεχόμενη υγρασία m (%)	Φαινόμενο βάρος γ (gr/cm <sup>3</sup> )
1	Ομοιόμορφη άμμος, χαλαρή	46	0.85	32	1.89
2	Ομοιόμορφη άμμος, πυκνή	34	0.51	19	2.09
3	Διαβαθμισμένη άμμος, χαλαρή	40	0.67	25	1.99
4	Διαβαθμισμένη άμμος, πυκνή	30	0.43	16	2.16
5	Παγετώδες έδαφος, ευρείας διαβάθμισης	20	0.25	9	2.32
6	Παγετώδης άργιλος, μαλακή	55	1.2	45	1.77
7	Παγετώδης άργιλος, στιφρή	37	0.6	22	2.07
8	Ελαφρά οργανική άργιλος, μαλακή	66	1.9	70	1.58
9	Πολύ οργανική άργιλος, μαλακή	75	3.0	110	1.43
10	Μπεντονίτης, μαλακός	84	5.2	194	1.27

## 6.2.2 Κοκκομετρική ανάλυση

Από γεωτεχνικής άποψης, οι άμμοι και τα αμμοχάλικα είναι δυνατόν να φέρουν βαριά στατικά φορτία και γι' αυτό προκαλούνται σχετικά μικρές παραμορφώσεις, με την επίδραση δονήσεων τα εδάφη αυτά υφίστανται εύκολα μετατοπίσεις (π.χ.



ρευστοποιήσεις). Τα αργιλικά εδάφη επηρεάζονται περισσότερο από στατικά φορτία και στη συνέχεια επιδέχονται παραμορφώσεις (π.χ. καθιζήσεις), όμως δεν επηρεάζονται από δονήσεις.

Τα αποτελέσματα της κοκκομετρικής ανάλυσης των εδαφών μπορούν να αξιολογηθούν (Πιν. 6.7), εκφράζοντας τα κοκκομετρικά χαρακτηριστικά τους, με σχέσεις που χρησιμοποιούν αριθμητικές τιμές των διαμέτρων των κόκκων της καμπύλης διαβάθμισης. Έτσι με τη χρησιμοποίηση των διαμέτρων των κόκκων του εδάφους  $D$  με έναν δείκτη, που χαρακτηρίζει τη διάμετρο των κόκκων που έχει τιμή, ποσοστού διερχόμενου κλάσματος, ίση με το δείκτη.

**Πίνακας 6.7:** Αξιολόγηση αποτελεσμάτων κοκκομετρικής ανάλυσης.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Λεπτόκοκκα (%)	$D_{60}$ (mm)	$D_{30}$ (mm)	$D_{10}$ (mm)	Συντελεστής ομοιομορφίας, $U^*$	Συντελεστής κυρτότητας, $C_c^{**}$
<b>BH4</b>	0-1.5	1.48	11.5	2	0.38	30.3(-)	0.92(-)
<b>BH6</b>	11.0-11.7	8.42	0.9	0.19	0.08	11.3(~)	0.5(-)
	13.0-13.6	17.13	0.7	0.18	0.4	1.8(+)	0.12(-)
<b>BH7</b>	0-1.5	23.13	0.39	0.11	0.03	13(~)	1.03(+)
	3.00-3.45	35.23	0.2	0.016	0.00125	160(-)	1.024(+)
	3.45-4.7	16.69	0.56	0.16	0.04	14(~)	1.14(+)
<b>BH8</b>	0-1.55	2.56	1.6	0.56	0.2	8(~)	0.98(-)
	1.8-3.0	34.99	0.75	0.035	0.001	750(-)	1.63(+)
	4.7-6.0	22.11	1.2	0.16	0.0015	800(-)	14.2(-)
<b>BH9</b>	0-1.6	5.49	1.7	0.48	0.14	12.1(~)	0.97(-)

\*Εδαφος: ομοιόμορφο(+), ανομοιόμορφο(~), πολύ ανομοιόμορφο(-).

\*\*Εδαφος: καλής διαβάθμισης(+), κακής διαβάθμισης(-).

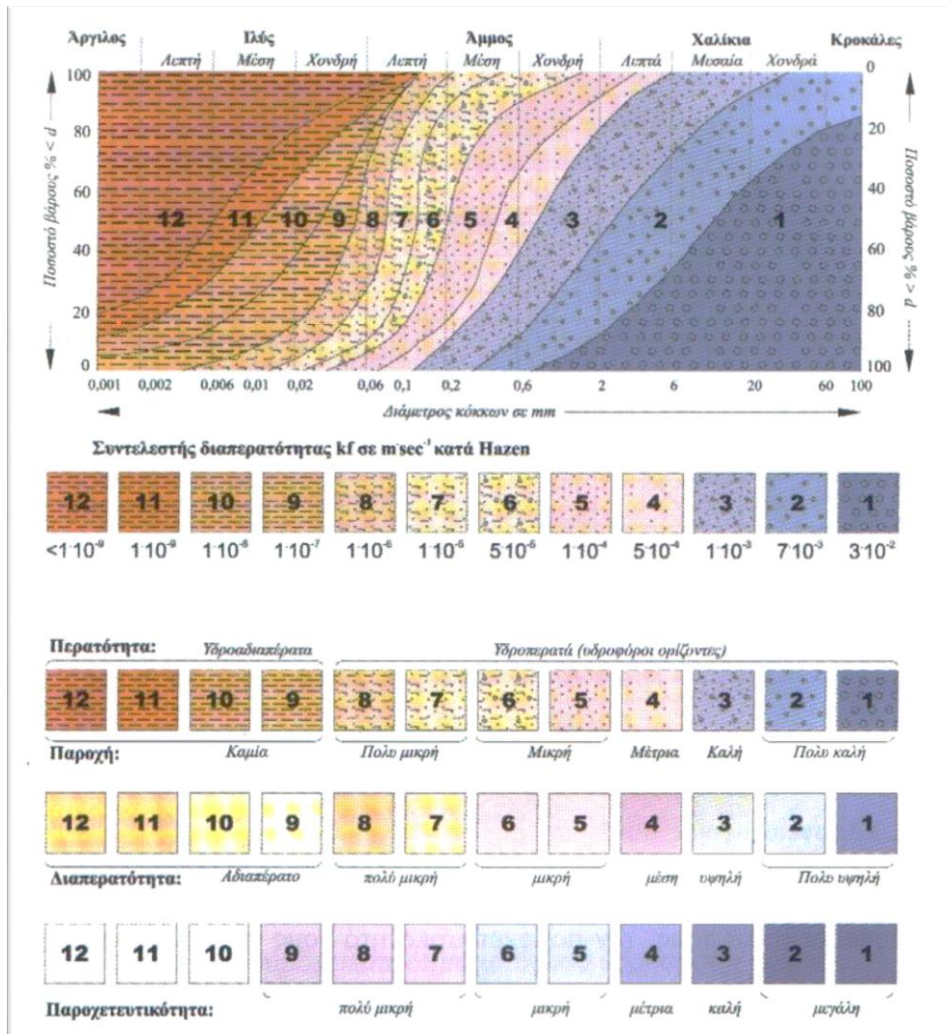
Όταν ο συντελεστής κυρτότητας  $C_c$  διαφέρει σημαντικά από την τιμή 1, τότε υπάρχει έλλειμα διαμέτρων.

Ο συντελεστής ομοιομορφίας  $U$  μας δίνει πληροφορίες σχετικά με τη συμπύκνωση μη συνεκτικών ή ελαφρώς συνεκτικών εδαφών, όταν  $U > 15$  τα εδάφη συμπυκνώνονται καλά. Η καλή διαβάθμιση του εδάφους,  $1 < C_c < 3$ , σημαίνει ότι αυτό είναι σχετικά σταθερό, ανθίσταται στη φθορά και διάβρωση, μπορεί να συμπυκνωθεί καλά και να αποκτήσει μεγάλη πυκνότητα με αποτέλεσμα τη μεγάλη αντοχή σε διάτμηση και μεγάλη φέρουσα ικανότητα, ενώ σε εδάφη κακής διαβάθμισης δεν υπάρχει επαρκής ποσότητα λεπτομερούς κλάσματος για να πληρώσει τα κενά των μεγαλύτερων κόκκων.

Συντελεστής διαπερατότητας, k

**Πίνακας 6.8:** Συντελεστής διαπερατότητας.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Συντελεστής διαπερατότητας Hazen, k (cm/sec)	Συντελεστής διαπερατότητας Hazen, k (m/sec)	Νομόγραμμα Breddin	
				Κατηγορία εδάφους	Συντελεστής διαπερατότητας, k (m/sec)
<b>BH4</b>	0-1.5	1.44E-01	1.44E-03	3	1.00E-03
<b>BH6</b>	11.0-11.7	6.40E-03	6.40E-05	4	5.00E-04
	13.0-13.6	1.60E-01	1.60E-03	4	5.00E-04
<b>BH7</b>	0-1.5	9.00E-04	9.00E-06	6	5.00E-05
	3.00-3.45	1.56E-06	1.56E-08	6	5.00E-05
	3.45-4.7	1.60E-03	1.60E-05	5	1.00E-04
<b>BH8</b>	0-1.55	4.00E-02	4.00E-04	4	5.00E-04
	1.8-3.0	1.00E-06	1.00E-08	5	1.00E-04
	4.7-6.0	2.25E-06	2.25E-08	5	1.00E-04
<b>BH9</b>	0-1.6	1.96E-02	1.96E-04	4	5.00E-04



**Σχήμα 6.4:** Νομόγραμμα Breddin για τον προσδιορισμό του συντελεστή διαπερατότητας (k) (κατά Breddin, H. (1960, 1963) από Δημόπουλος, Γ. (2007)).

Οι διαφορές που παρατηρούνται (Πίνακας 6.8) στο συντελεστη διαπερατότητας ανάμεσα σ'αυτόν του Hazen και του νομογράμματος Breddin (Σχ. 6.4), οφείλονται στη μη προσέγγιση κοκκομετρικών διαβαθμίσεων που αναλογούν σε κοκκώδη εδάφη με ένα σημαντικό ποσοστό λεπτόκοκκων (βλ. Πίνακα 6.7, ποσοστό λεπτόκοκκων). Τα εδάφη που δεν περιλαμβάνονται στον Πίνακα 6.8 και έχει γίνει κοκκομετρική ανάλυση σ'αυτά (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4), είναι εδάφη λεπτόκοκκα αδιαπέρατα με συντελεστη διαπερατότητας της τάξεως  $1 \cdot 10^{-9}$  και μικρότερο, και κατηγορίας 12-10 με επικρατούσα την 12.

### 6.2.3 Όρια Atterberg

Τα όρια Atterberg χαρακτηρίζουν την ικανότητα που έχουν τα συνεκτικά εδάφη να προσλαμβάνουν ή να αποβάλλουν μικρές ή μεγάλες ποσότητες νερού που τους επιτρέπει να μεταβαίνουν εύκολα ή δύσκολα από τη μια κατάσταση στην άλλη. Εδάφη με μικρή πλαστικότητα είναι αρκετά επικίνδυνα σε περιπτώσεις ταχείας πρόσληψης ή αποβολής νερού από τα κενά τους. Τέτοια στερεά εδάφη μπορούν πολύ εύκολα να μεταπέσουν σε υδαρή, ρέουσα κατάσταση με πρόσληψη μικρής ακόμη ποσότητας νερού και να καταστούν πολύ επικίνδυνα σε θέσεις ανοιχτών εκσκαφών (Δημόπουλος, 2008).

Τα συνεκτικά εδάφη έχουν στη φυσική τους κατάσταση περιεχόμενη υγρασία, που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ του ορίου υδαρότητας και του ορίου πλαστικότητας, όταν πρόκειται για μικρής γεωλογικής ηλικίας, όπως μη στερεοποιημένες μαλακές αποθέσεις. Επίσης μπορεί η φυσική περιεχόμενη υγρασία να είναι ακόμη πιο χαμηλή από το όριο πλαστικότητας, για εδάφη μεγάλης γεωλογικής ηλικίας, όπως τα πολύ υπερστερεοποιημένα και σκληρά εδάφη (Παπαχαρίσης κ.α., 1999).

Πίνακας 6.9: Αξιολόγηση αποτελεσμάτων ορίων Atterberg.

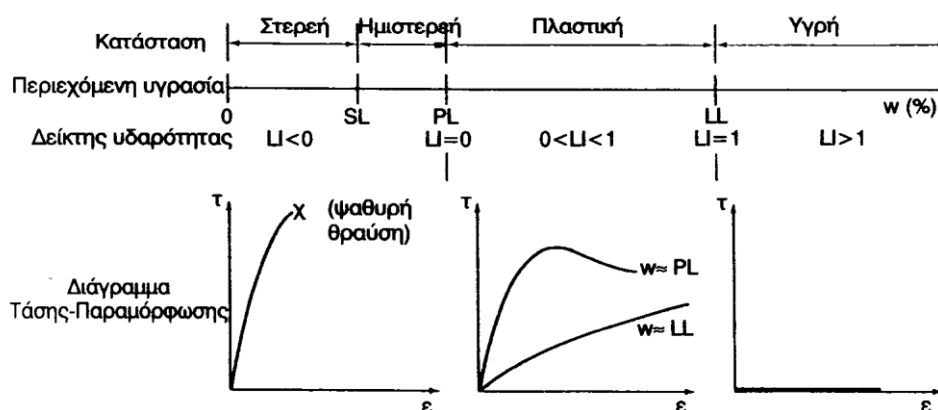
Γεώτρηση		Βάθος (m)	Δείκτης πλαστικότητα, PI (%)	Δείκτης υδαρότητας, LI	Δείκτης συνεκτικότητα, I <sub>c</sub>	Όριο συρρίκνωσης, SL (%)	Ενεργότητα, A	Δείκτης συμπίεσότητας, C <sub>c</sub>	C <sub>ur</sub>	Ευαισθησία, S <sub>t</sub>	φ°
BH-4	1	1.9-3.0	26	-0.42	1.42	22.1	0.514	0.378			28.9
	2	3.00-3.45	33	-0.76	1.76	20.05	0.650	0.432			27.3
	3	3.7-4.55	25	-0.18	1.18	16.25	0.462	0.315			29.3
	4	4.8-5.8	25	-0.17	1.17	16.25	0.478	0.315			29.3
	5	9.5-11.0	2	-6.10	7.10		0.106	0.153			
BH-5	6	0-1.5	12	-1.49	2.49		0.350	0.261			33.9
	7	1.95-3.0	28	-0.10	1.10	20.8	0.465	0.387			28.5
	8	3.00-3.45	32	-0.01	1.01	19.2	0.781	0.414			27.5
	9	3.45-4.55	31	0.06	0.94	18.35	0.551	0.396	44.44	4	27.7
	10	6.8-8.3	23	-0.33	1.33	23.55	0.448	0.360			29.7
BH-6	11	2.0-3.0	22	0.13	0.87	15.2	0.456	0.275	156.25		30.2
	12	3.00-3.45	25	-0.82	1.82	16.75	0.845	0.320			29.3
	13	5.0-6.0	21	-1.67	2.72	46.85	0.364	0.549			30.5
	14	6.0-8.55	39	0.09	0.91	21.15	0.730	0.504	69.44	2	26.4
	15	9.0-9.5	26	-0.04	1.04	16.1	0.605	0.324			28.9
	16	11.0-11.7	13	-0.11	1.11			0.189			33.9
BH-7	17	0-1.5	17.5	-0.47	1.47			0.216			33
	18	3.00-3.45	21.5	-0.14	1.14		1.141	0.311			30.4
	19	3.45-4.7	23	0.03	0.97			0.324	30.86		29.7
	20	6.45-7.0	25	-0.32	1.32	15.25	0.576	0.306			29.3
	21	7.0-8.55	19	0.07	0.93	14.15	0.656	0.234	51.02	2	31.2
	22	9.0-9.7	1	-0.30	1.30		0.033	0.252			
BH-8	23	0-1.55	12	-1.18	2.18			0.261			33.9
	24	1.8-3.0	24	-0.70	1.70		1.277	0.297			29.5
	25	4.7-6.0	24	-0.59	1.59		2.158	0.297			29.5
BH-9	26	0-1.6	24	-0.15	1.15			0.275			29.5
	27	8.5-10.0	10	-0.20	1.20	12.5	0.261	0.126			35.4
BH-11	28	1.2-1.4	14	-0.32	1.32		0.264	0.279			32.9
	29	2.0-2.7	29	0.15	0.85		0.354	0.477	277.78		28.3
	30	3.0-3.7	21	-0.32	1.32		0.247	0.495			30.5
	31	4.0-4.4	25	-0.96	1.96		0.362	0.273			29.3
	32	5.4-5.9	22	0.11	0.89		0.242	0.468	100		30.2
	33	7.2-7.5	27	-0.14	1.14		0.286	0.54			28.7
	34	9.2-9.6	25	-0.02	1.02		0.280	0.513			29.3
	35	11.3-11.7	28	-0.28	1.28		0.371	0.558			28.5

Ο δείκτης πλαστικότητας,  $PI$  ( $PI=LL-PL$ ) εκφράζει την περιοχή της περιεχόμενης υγρασίας στην οποία το έδαφος αποκτά πλαστικές ιδιότητες και συμπεριφέρεται σαν πλαστικό υλικό. Όσο περισσότερο ενεργά είναι τα αργιλικά πλακίδια του εδαφικού υλικού, δηλαδή όσο περισσότερο νερό μπορεί να προσροφηθεί στη διπλή ζώνη, χωρίς σημαντική μείωση της ηλεκτροχημικής επίδρασης μεταξύ τους, τόσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης πλαστικότητας (Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002). Η μηχανική αντοχή του εδάφους μειώνεται όσο αυξάνεται ο δείκτης πλαστικότητας.

**Πίνακας 6.10:** Κατάταξη εδαφών σε σχέση με το δείκτη πλαστικότητας κατά τον Burmister.

Βαθμός Πλαστικότητας	Δείκτης Πλαστικότητας, $PI$
Έδαφος χωρίς πλαστικότητα	0
Έδαφος ελαφράς πλαστικότητας	1 – 5
Έδαφος μικρής πλαστικότητας	5 – 10
Έδαφος μέσης πλαστικότητας	10 – 20
Έδαφος μεγάλης πλαστικότητας	20 – 40
Έδαφος πολύ μεγάλης πλαστικότητας	>40

Ο δείκτης υδαρότητας,  $LI$  ( $LI=(w-PL)/PI$ ) εκφράζει τη σχέση του ποσοστού υγρασίας ( $w$ ) ενός εδάφους ως προς το όριο υδαροτητάς του και μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε, ανάλογα με την φυσική υγρασία, αν το έδαφος θα συμπεριφερθεί σαν ψαθινό, πλαστικό ή ακόμη και σαν παχύρευστο υγρό. Εάν  $LI=1$  το έδαφος βρίσκεται στο όριο υδαρότητας και όταν  $LI=0$  στο όριο πλαστικότητας. Στο σχήμα 6.5 φαίνεται η συμπεριφορά του εδάφους ανάλογα με τη περιεχόμενη υγρασία, καθώς και η διαφοροποίηση των μηχανικών χαρακτηριστικών με τις τιμές του  $LI$ .



**Σχήμα 6.5:** Μεταβολή της συμπεριφοράς αργιλικού εδάφους ανάλογα με το περιεχόμενο νερό (δείκτης υδαρότητας και περιεχόμενη υγρασία) (HOLTZ and KOVACS, 1981), (από Κούκης & Σαμπατακάκης, 2002).

Σύμφωνα με τον Παπαχαρίση φαίνεται εμπειρικά ότι υπάρχει σχέση μεταξύ του δείκτη υδαρότητας και της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη, έτσι όταν  $LI=1$  η τιμή της αντοχής σε μονοαξονική θλίψη κυμαίνεται από  $0.3-1.0 \text{ kgr/cm}^2$  ( $29.42-98.07 \text{ kPa}$ ) και όταν  $LI=0$  η τιμή κυμαίνεται από  $1.0-5.0 \text{ kgr/cm}^2$  ( $98.07-490.35 \text{ kPa}$ ).

Ο δείκτης συνεκτικότητας,  $I_c$  ( $I_c=(LL-w)/PI$ ) χαρακτηρίζει την αντοχή ενός εδάφους, όσο μεγαλύτερη τιμή έχει τόσο πιο σκληρό (ανθεκτικό) έδαφος έχουμε. Συγκεκριμένα:

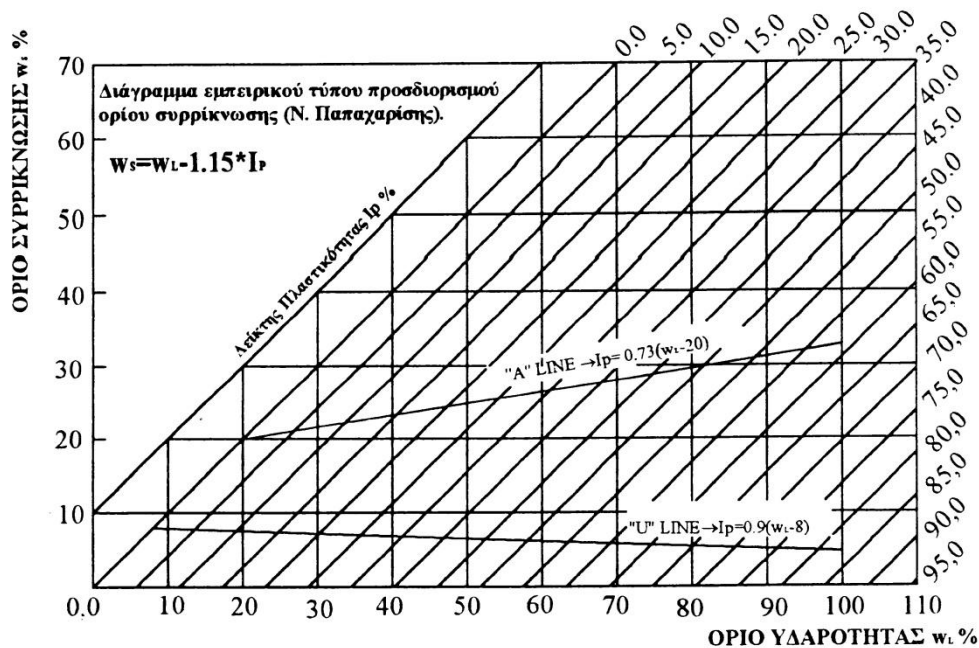
- Όταν  $w>LL$  και μέχρι την τιμή που  $w=LL$  έχουμε υδαρή κατάσταση εδάφους και  $I_c \ll 1$ .
- Όταν  $w<LL$  και μέχρι την τιμή που  $w = PL$  έχουμε πλαστική προς ημιστερεή κατάσταση εδάφους, όσο πλησιάζουμε προς το όριο πλαστικότητας  $PL$  και  $I_c < 1$ .
- Όταν  $w<PL$  και μέχρι την τιμή που  $w = SL$  έχουμε υπερστερεοποιημένη κατάσταση εδάφους και  $I_c > 1$ .
- Όταν  $w=0$  προκύπτει  $I_c \gg 1$ .

Όριο συρρίκνωσης,  $SL$  είναι το ποσοστό υγρασίας ενός εδάφους το οποίο μεταβαίνει από την ημιστερεή στην στερεή κατάσταση. Κάτω από το όριο αυτό ο όγκος του εδάφους παραμένει σταθερός με συνεχιζόμενη ξήρανση, αλλά το βάρος ελαττώνεται μέχρι πλήρους ξήρανσης.

Τα όρια συρρίκνωσης υπολογίστικαν από την εμπειρική σχέση του N. Παπαχαρίση:

$$SL=LL-1.15 \cdot PI$$

με εφαρμογή σε ανόργανες αργίλους (CH,CL) όπως αυτές περιλαμβάνονται μεταξύ των ευθειών "U" και "A" (Σχήμα 6.6). Προκύπτει ότι η μεταβολή του όγκου ενός αργιλικού εδάφους είναι ανάλογη της τιμής του ορίου συρρίκνωσης. Το φαινόμενο αυτό ιδιαίτερα παρατηρείται σε υψηλής περιεκτικότητας αργιλικά εδάφη, με υψηλό όριο υδαρότητας. Οι μέσες τιμές του ορίου συρρίκνωσης, όπως φαίνεται από το σχήμα 6.6 για μεν χαμηλής πλαστικότητας αργίλους είναι 7% - 20%, για μέσης πλαστικότητας 6% - 25% και για υψηλής πλαστικότητας 4% - 30%, τέλος με μέγιστη τιμή ορίου υδαρότητας ( $LL=100\%$ ), παίρνουν τιμές 3.5% - 35%. Από την άλλη πλευρά ιλυώδη και αμμώδη εδάφη, έχουν χαμηλές τιμές ορίου συρρίκνωσης που ακολουθείται από μικρή ή και μηδενική μεταβολή όγκου.



**Σχήμα 6.6:** Νομόγραμμα προσεγγιστικού προσδιορισμού ορίου συρρίκνωσης  $SL(w_s)$  για αργιλικά εδάφη που περιέχονται μεταξύ των ευθειών "A" και "U", (Παπαχαρίσης, 1999).

Η πλαστικότητα συνεκτικού εδάφους επηρεάζεται από την ποσότητα του αργλικού κλάσματος, αφού τα αργιλικά ορυκτά που κυριαρχούν στο κλάσμα, επηρεάζουν με τη σειρά τους το ποσό του νερού που συγκρατείται από το έδαφος. Με τη πρόταση αυτή ο SKEMPTON (1953) όρισε σαν *ενεργότητα A* ενός αργλικού εδάφους το λόγο του δείκτη πλαστικότητας προς το ποσοστό του αργλικού κλάσματος:

$$A = \frac{PI}{\% \text{ αργλικό κλάσμα } (<0.002\text{mm})}$$

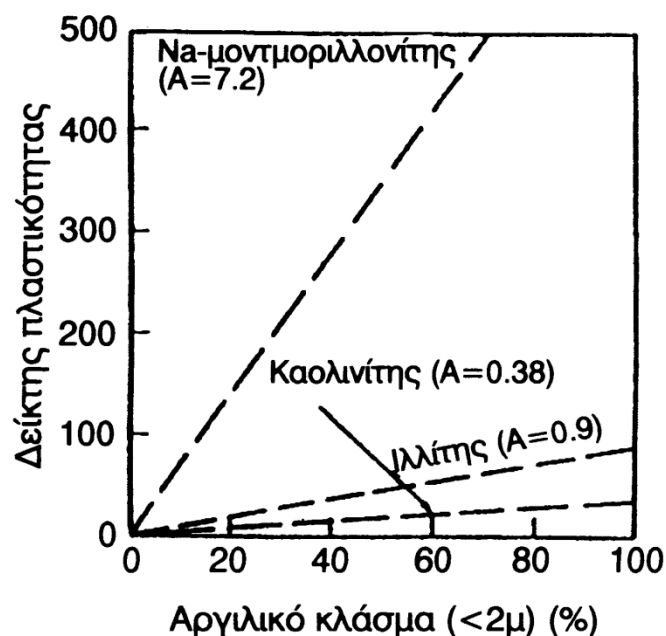
Επίσης ο SKEMPTON πρότεινε τρεις κατηγορίες ενεργότητας:

$A \geq 1.25$	Ενεργό έδαφος
$A: 0.75-1.25$	Κανονικό έδαφος
$A \leq 0.75$	Ανενεργό έδαφος

Η συσχέτιση του αργλικού κλάσματος και του δείκτη πλαστικότητας φαίνεται στο σχήμα 6.7. Οι καολινιτικές και ιλλιτικές άργιλοι είναι συνήθως μη ενεργές, ενώ οι μοντμοριλλονιτικές συνήθως ενεργές. Οι ενεργές άργιλοι συνήθως έχουν μεγάλη ικανότητα συγκράτησης νερού και ανταλλαγής κατιόντων, είναι υψηλά θιξοτροπικές, έχουν χαμηλή υδροπερατότητα και χαμηλή διατμητική αντοχή.



Η χρήση των ορίων Atterberg είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για εδάφη ενεργότητας  $0.75 < A < 1.25$  (Παπαχαρίσης κ.α., 1999).



**Σχήμα 6.7:** Σχέση δείκτη πλαστικότητας και αργλικού κλάσματος. Σε παρένθεση αναφέρονται οι ενεργότητες των αργίλων (SKEMPTON, 1953).

**Πίνακας 6.11:** Ενεργότητες διαφόρων ορυκτών (HOLTZ & KOVACS, 1981).

Ορυκτό	Ενεργότητα
Na-Μοντμοριλονίτης	4-7
Ca- Μοντμοριλονίτης	1.5
Ιλλίτης	0.5-1.3
Καολινίτης	0.3-0.5
Αλλοϋσίτης (άνυδρος)	0.5
Αλλοϋσίτης (ένυδρος)	0.1
Αταπουλίτης	0.5-1.2
Αλλοφανής	0.5-1.2
Μαρμαρυγίας (Μοσχοβίτης)	0.2
Ασβεστίτης	0.2
Χαλαζίας	0.0

Τα εδάφη που εξετάστηκαν (Πίνακας 6.9) γενικά ανοίκουν στη κατηγορία των μη ενεργών εδαφών και η ορυκτολογική σύσταση των αργίλων τους βρίσκεται μεταξύ του καολινίτη και ιλλίτη (βλ. σχήμα 6.7).

### Διογκούμενα εδάφη

Τα διογκούμενα εδάφη αποτελούν μια από τις χειρότερες φυσικές καταστροφές και οι ζημιές που προκαλούνται είναι περισσότερες από αυτές των πλημμυρών, των κατολισθήσεων και των σεισμών μαζί (Xeidakis et al., 2004).

Διόγκωση είναι η ιδιότητα των εδαφών που προκαλεί αλλαγή στον όγκο του εδάφους με την απορρόφηση νερού. Τα αποτελέσματα της διόγκωσης είναι η παραμόρφωση των τεχνικών έργων που είναι θεμελιωμένα πάνω στα εδάφη αυτά καθώς και οι επιφανειακές ολισθήσεις των πρανών τέτοιων εδαφών. Τα εντονότερα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ελαφριές κατασκευές όπως χαμηλά κτήρια, δεξαμενές, οδοστρώματα, αγωγοί κ.α., στα οποία οι παραμορφώσεις είναι αρκετά μεγάλες σε σχέση με την ευστάθεια και την ασφαλή λειτουργία αυτών.

Επιρρεπή εδάφη προς διόγκωση είναι αυτά που περιέχουν ορυκτά της αργίλου, έχουν συνήθως όριο υδαρότητας μεγαλύτερο του 40, δείκτη πλαστικότητας μεγαλύτερο του 15 και γενικά όσο μεγαλύτερη πλαστικότητα έχει ένα έδαφος τόσο μεγαλύτερη είναι η φυσική του τάση για διόγκωση. Επίσης, μόνο εδάφη μερικώς κορεσμένα με νερό έχουν δυνατότητα διόγκωσης, ενώ κάτω από την εποχιακά κατώτερη στάθμη του υπόγειου νερού δεν υπάρχει αυτή η δυνατότητα λόγω του πλήρους κορεσμού του εδάφους.

Διογκούμενοι άργιλοι παράγονται συνήθως από την αποσάθρωση:

- Βασικών πυριγενών πετρωμάτων
- Ιζηματογενών πετρωμάτων που περιέχουν μοντμοριλλονίτη. Γενικά, οι μοντμοριλλονίτες διογκώνονται περισσότερο από τους ιλλίτες και αυτοί περισσότερο από τους καολινίτες.

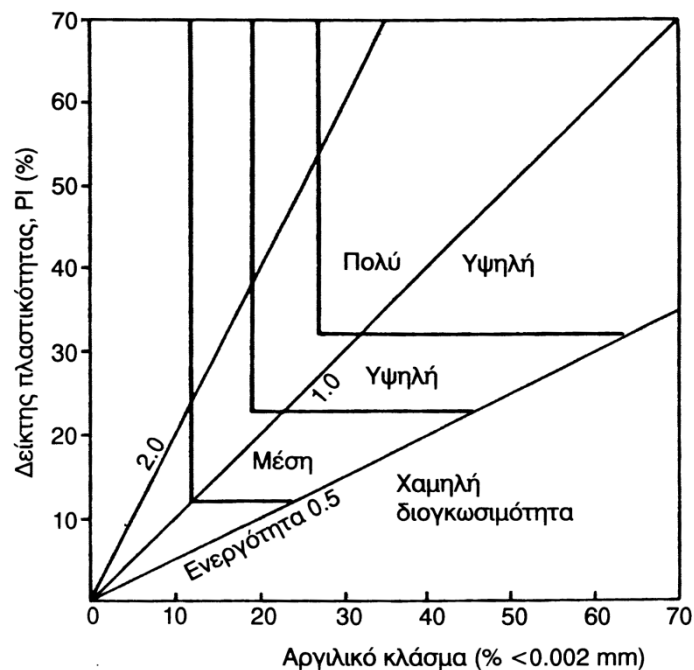
Ειδικότερα, οι άργιλοι που παρουσιάζουν προβλήματα ικανοποιούν τις παρακάτω συνθήκες (KANTEY, 1980):

- Περιέχουν διογκούμενα αργιλικά ορυκτά.
- Κατα τη διάρκεια του έτους υποβάλλονται εποχιακά σε συνθήκες ξήρανσης (διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού).
- Το πάχος τους είναι αρκετό για να δημιουργήσει υπολογίσιμη κατακόρυφη πίεση.

**Πίνακας 6.12:** Σχέση μεταξύ δείκτη πλαστικότητας και διογκωσιμότητας εδάφους (SEED et al.,1962).

Δείκτης Πλαστικότητας PI	Διογκωσιμότητα
<10	Χαμηλή
10-20	Μέση
20-35	Υψηλή
>35	Πολυ υψηλή

Ο WILLIAMS (1958) πρότεινε μία ταξινόμηση των εδαφών από πλευράς διογκωσιμότητας λαμβάνοντας υπόψη τον δείκτη πλαστικότητας, το ποσοστό αργιλικού κλάσματος και την ενεργότητα. Στο σχήμα 6.8 φαίνεται το διάγραμμα διογκωσιμότητας.



**Σχήμα 6.8:** Διάγραμμα διογκωσιμότητας (WILLIAMS,1958).

Σύμφωνα με το παραπάνω σχήμα 6.8 τα δείγματα εδάφους (Πίνακας 6.9) ταξινομούνται ως προς την διογκωσιμότητα ως εξής:

- Πολύ υψηλή: 2 και 14.
- Υψηλή: 1, 8, 9, 12, 15 και 20.
- Μέση: 18, 21 και 24.
- Χαμηλή: 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 13, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 και 35.

Μέτρα βελτίωσης διογκούμενων εδαφών: α) ανάμειξη και συμπύκνωση, β) ειδικές μεμβράνες που εμποδίζουν την επαφή του με το νερό και γ) με χημική σταθεροποίηση.

Ο δείκτης συμπίεσιότητας υπολογίστηκε από τον τύπο:  $C_c=0.009 \cdot (LL-10)$  και για αναζυμωμένα  $C_c=0.007 \cdot (LL-10)$  για την BH-11: 4.0-4.4m, (Terzaghi & Peck, 1967).

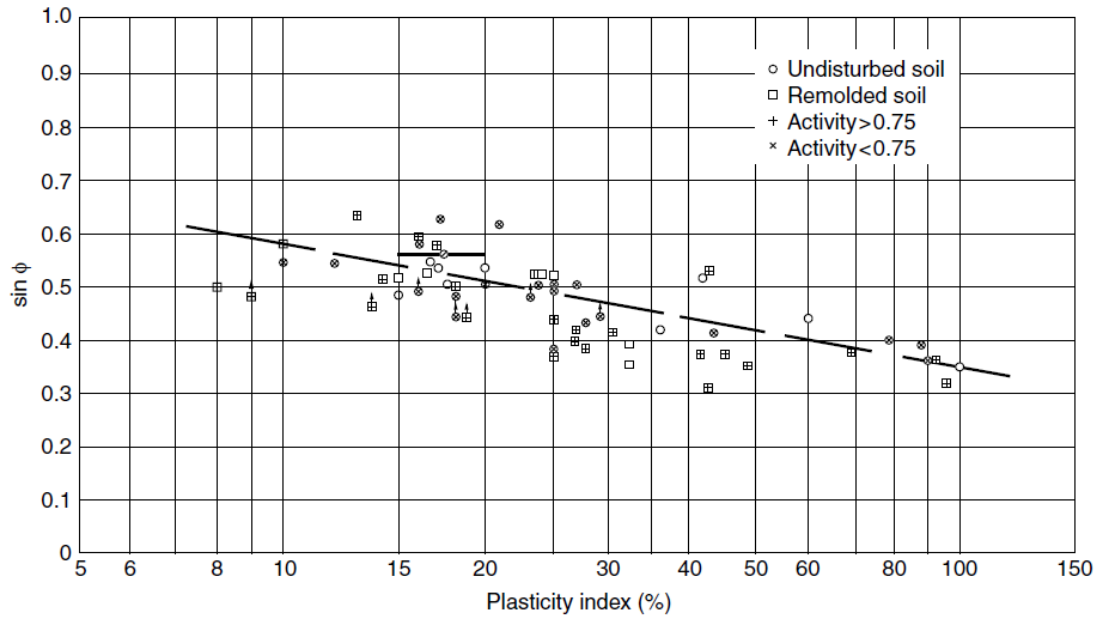
Με τη μέθοδο του πενετρόμετρου κώνου ο Leroueil et al το 1985, διατύπωσε μαθηματική σχέση που συνδέει τη *διατμητική αντοχή αναζυμωμένου δείγματος*  $C_{ur}$  με το δείκτη υδαρότητας:

$$C_{ur} = \frac{1}{(LI - 0.21)^2} \quad \text{σε (kPa)}.$$

Η διατάραξη της δομής των αργιλικών εδαφών από οποιοδήποτε μηχανικό ή χημικό αίτιο προκαλεί μείωση της αντοχής του. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται *ευαισθησία*,  $S_t$  και ορίζεται ως ο λόγος της διατμητικής αντοχής αδιατάρακτου αστράγγιστου εδαφικού δείγματος  $C_u$  προς τη διατμητική αντοχή αναζυμωμένου αστράγγιστου δείγματος  $C_{ur}$ . Γενικά:

- Οι κανονικά στερεοποιημένες άργιλοι έχουν  $S_t=5-10$ .
- Οι προφορτισμένες άργιλοι έχουν γενικά ελάχιστη ευαισθησία  $S_t=2-4$ .
- Ενώ μερικές άργιλοι έχουν  $S_t=100$  και καλούνται ρέουσες.

Η *γωνία εσωτερικής τριβής*,  $\varphi$  λεπτόκοκκων εδαφών μπορεί να εκτιμηθεί από το παρακάτω διάγραμμα (Kenney, 1959).



**Σχήμα 6.9:** Γωνία εσωτερικής τριβής λεπτόκοκκων εδαφών βασισμένη σε ενεργες τάσεις σε σχέση με το δείκτη πλαστικότητας (Kenney, 1959), (από Lambe, T. C., and Whitman, R. V. 1969. Soil Mechanics).

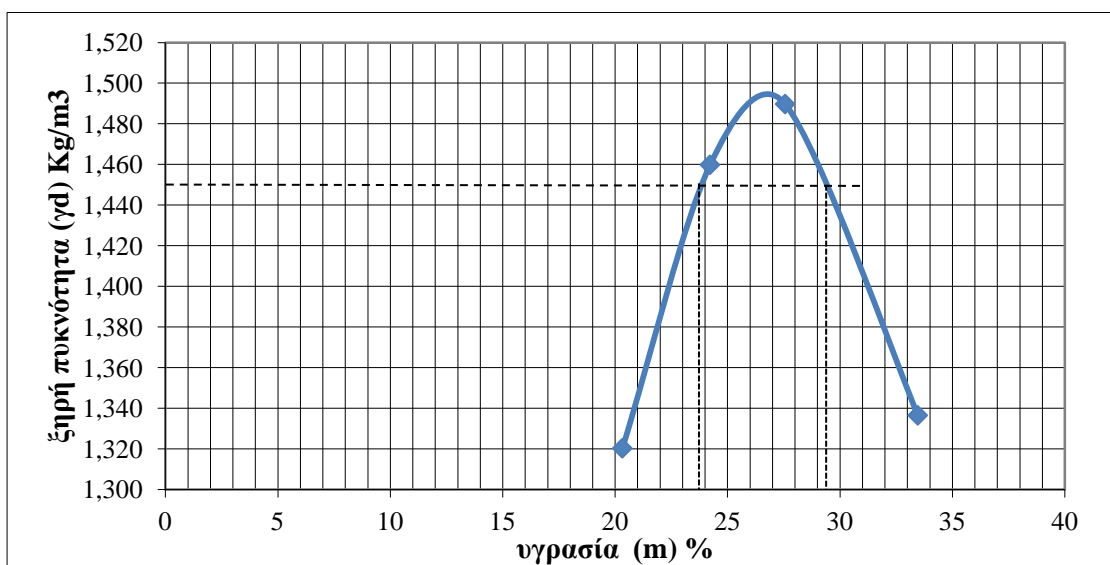
#### 6.2.4 Δοκιμή μονοδιάστατης στερεοποίησης (Δοκιμή οιδημέτρου)

##### Διαμόρφωση δοκιμίων (BH-11, 4.00-4.40 m)

Οι δοκιμές (οιδημέτρου, UCS, UU και CD) που πραγματοποιήθηκαν στη γεώτρηση BH-11 (περιοχή κατασκευής του σταθμού συμπίεσης) και στο βάθος των 4.00-4.40 m (ισχνή άργιλος, CL) έγιναν σε αναζυμωμένα δοκίμια (αυτές οι δοκιμές εκτελέστηκαν μετά από αρκετό διάστημα από τη στιγμή της δειγματοληψίας, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η μόρφωση αδιατάρακτων δοκιμίων). Ως αποτέλεσμα οι δοκιμές εκτελέστηκαν σε αναζυμωμένα δοκίμια τα οποία διαμορφώθηκαν ως εξής:

- Σε πρώτο στάδιο βρήκαμε το ξηρό φαινόμενο βάρος ( $\gamma_d=1.45 \text{ gr/cm}^3$ ) του εδαφικού υλικού.
- Στη συνέχεια εκτελεστηκε μία πρότυπη δοκιμή Proctor (δοκιμή συμπίκνωσης) για την κατασκευή της καμπύλης ξηρού φαινόμενου βάρους ( $\gamma_d$ ) – υγρασίας (m) του εδαφικού υλικού (Σχ. 6.10).

- Από τη καμπύλη  $\gamma_d$ - $m$ , βρήκαμε το ποσοστό υγρασίας (23.8 % ή 29.3 %) που πρέπει να έχει το εδαφικό υλικό για να πετύχουμε την τιμή του ξηρού φαινόμενου βάρους του.
- Τέλος ξανά εκτελέστηκε πρότυπη δοκιμή Proctor με την υγρασία (29.3 %) που βρήκαμε από το διάγραμμα για να πετύχουμε το επιθυμητό ξηρό φαινόμενο βάρος. Στη συνέχεια από τη μήτρα (τύπος) της Πρότυπης Δοκιμής Proctor μορφωποιήθηκαν τα δοκίμια με τους αντίστοιχους δειγματολήπτες για κάθε δοκιμή.



**Σχήμα 6.10:** Καμπύλη πρότυπης δοκιμής Proctor, ποσοστά υγρασία (με διακεκομμένες γραμμές) ώστε να επιτύχουμε  $\gamma_d=1.45 \text{ gr/cm}^3$ . Στο διάγραμμα η τελεία (.) αντιπροσωπεύει τις χιλιάδες.

**Πίνακας 6.13:** Αποτελέσματα πρότυπης δοκιμής Proctor.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική υγρασία, w (%)	Ειδικό βάρος, $\gamma_s$	Βαθμός κορεσμού, $S_w$ (%)	$\gamma_{dmax}$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$m_{opt}$ (%)
BH-11	4.00-4.40	37.2	2.07	180.3	1495	26.75

## Δοκιμή Οιδημέτρου

**Πίνακας 6.14:** Αποτελέσματα αξιολόγησης δοκιμής οιδημέτρου.

Πίεση, p (kPa)	Συντελεστής συμπίεστικότητας, $\alpha_v$ (kPa <sup>-1</sup> )	Οιδημετρικό μέτρο, $E_s$ (kPa)	$t_{50}$ (sec)	$t_{90}$ (sec)	$\Delta H_{90}$ (mm)	$\Delta H_{100}$ (mm)	$\Delta H(24^h)$ (mm)	R	$c_v$ (cm <sup>2</sup> /sec *10 <sup>-4</sup> )	Συντελεστής διαπερατ., k (cm/sec)
100	0.001019	1445	168	1470	0.275	0.3056	0.458	0.667	10.65	7.37E-07
200	0.000525	2659	50	290	0.026	0.0289	0.096	0.301	35.75	1.34E-06
400	0.000388	3428	69	228	0.04	0.0444	0.163	0.273	25.9	7.56E-07
800	0.000162	7766	171	317	0.11	0.1222	0.274	0.446	10.45	1.35E-07

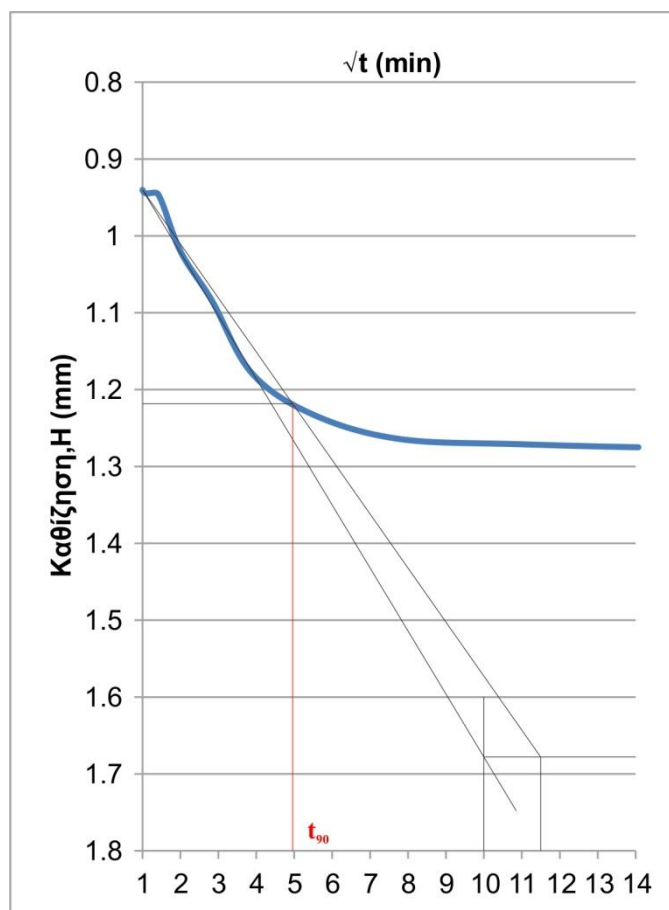
Ο συντελεστής συμπίεστικότητας  $\alpha_v$  υπολογίζεται από το διάγραμμα δείκτη πόρων  $e - \text{πίεσης } p$  ως η κλίση της καμπύλης,  $\alpha_v = \Delta e / \Delta p$  (cm<sup>2</sup>/kg ή kPa<sup>-1</sup>).

Το οιδημετρικό μέτρο  $E_s$  υπολογίζεται από το διάγραμμα ανοιγμένων παραμορφώσεων ( $\Delta H / H_0$ ) – πίεσης  $p$ . Μπορεί να βρεθεί και από:  $E_s = 1 / m_v$ ,  $m_v$ : συντελεστής μεταβολής όγκου,  $m_v = \alpha_v / (1 + e_0)$ .

$t_{50}$ : ο χρόνος που απαιτείται για να έχουμε το 50% της καθίζησης λόγω στερεοποίησης. Ο χρόνος υπολογίζεται από το διάγραμμα  $\log t - \text{καθιζήσεις } H$  με τη μέθοδο Casagrande.

$t_{90}$ : ο χρόνος που απαιτείται για να έχουμε το 90% της καθίζησης λόγω στερεοποίησης. Ο χρόνος υπολογίζεται από το διάγραμμα  $\sqrt{t} - \text{καθιζήσεων}$  με τη μέθοδο Taylor.

$\Delta H_{100}$ : η καθίζηση στο τέλος της πρωτεύουσας στερεοποίησης,  $\Delta H_{100} = 10 \cdot \Delta H_{90} / 9$ , όπου  $\Delta H_{90}$  η καθίζηση για  $t_{90}$  από το διάγραμμα  $\sqrt{t} - \text{καθιζήσεων}$  (Σχ. 6.11).



**Σχήμα 6.11:** Διάγραμμα  $\sqrt{t}$  – καθιζήσεων  $H$  προσδιορισμού  $t_{90}$  και  $\Delta H_{90}$  με τη μέθοδο Taylor για την βαθμίδα φόρτισης των 100 kPa.

$R$ : λόγος της πρωτεύουσας συμπίεσης,  $R = \Delta H_{100} / \Delta H(24^h)$ , όπου  $\Delta H(24^h)$  η τελική ένδειξη του μηκυσιόμετρου μετά από 24 ώρες για κάθε βαθμίδα φόρτισης. Οι τιμές που παίρνει ο λόγος είναι της τάξης του  $0.7 \pm 0.2$  και μας δίνει μια εικόνα της επί τοις % καθίζησης του δοκιμίου που οφείλεται στη δευτερεύουσα στερεοποίηση.

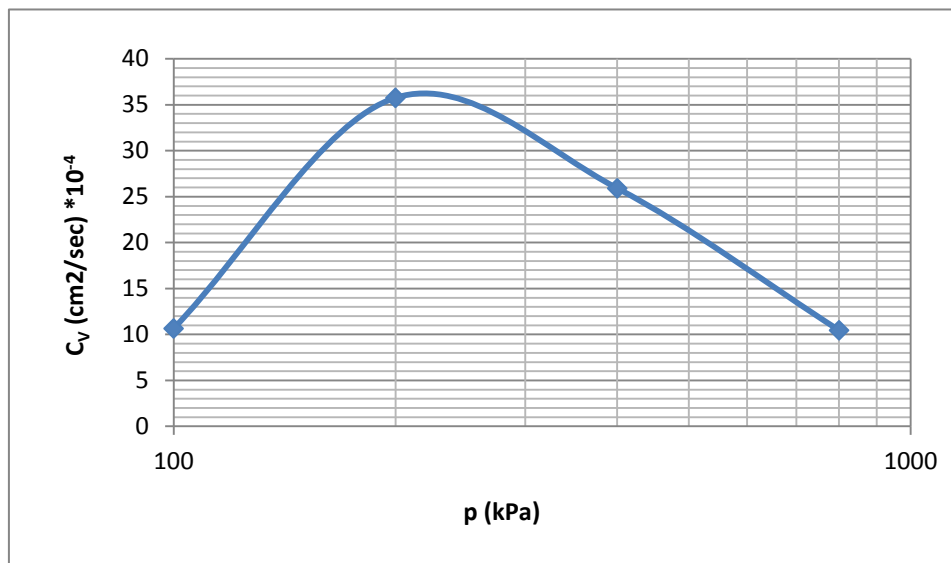
Ο συντελεστής στερεοποίησης  $c_v$  :  $c_v = T_v \cdot H_o^2 / 4t$ , όπου

- $T_v$  = παράγων χρόνου (εξαρτάται από το βαθμό στερεοποίησης)
- $H_o$  = ύψος δοκιμίου
- $t$  = χρόνος που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένο βαθμό στερεοποίησης

Το μέγεθος του  $c_v$  εκφράζει την ταχύτητα με την οποία αποστραγγίζεται κατά τη στερεοποίηση ένα εδαφικό υλικό ανά μονάδα επιφανείας, είναι χαρακτηριστικό του έδαφους και σταθερό σε κάθε βαθμίδα φόρτισης και συνήθως της τάξης  $10^{-4}$  ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ ). Επίσης εξαρτάται από την τιμή του φορτίου και είναι προτιμότερο να προσδιορισθεί για το φορτίο για το οποίο θα μελετηθεί το έδαφος. Το  $c_v$  επηρεάζεται από το συντελεστή διαπερατότητας, του οποίου η τιμή είναι μεταβλητή. Στο σχήμα

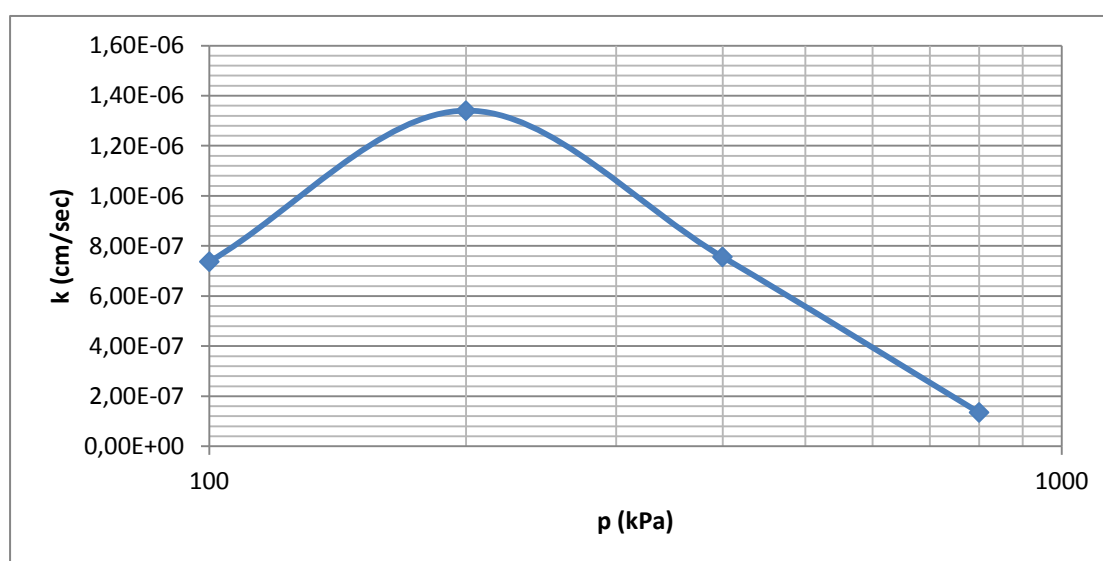


6.12 βλέπουμε ότι το  $c_v$  αρχίζει να μειώνεται με την αύξηση του φορτίου μετά τα 200 kPa, δηλαδή μετά την τάση προστερεοποίησης (βλέπε παρακάτω).



**Σχήμα 6.12:** Μεταβολή του συντελεστή στερεοποίησης  $c_v$  σε σχέση με τις βαθμίδες φόρτισης.

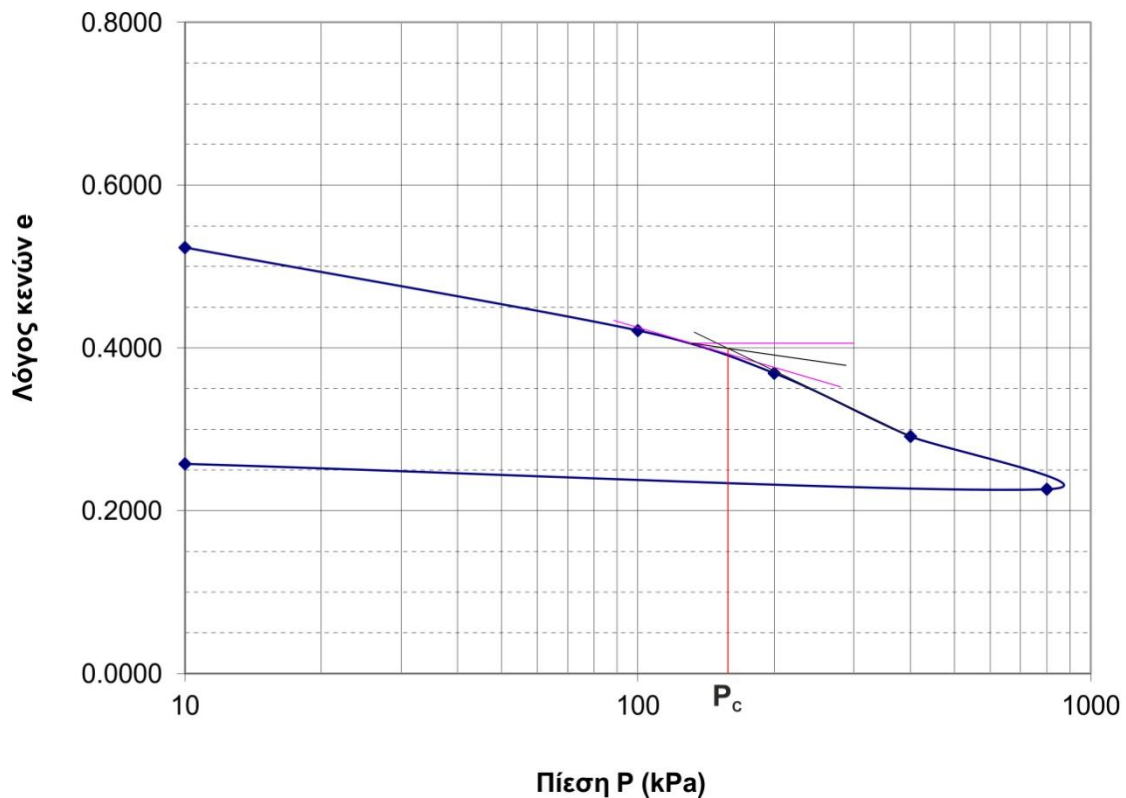
Συντελεστής διαπερατότητας  $k$ :  $k=c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w / 1000$  σε cm/sec, ο τύπος αυτός δεν εμπεριέχει μεγάλη ακρίβεια λόγω των πολλών παραγόντων οι οποίοι επηρεάζουν το φαινόμενο της στερεοποίησης, προτείνεται πάντως σε περιπτώσεις πολύ λεπτόκοκκων εδαφών, όπου η εφαρμογή του διαπερατομέτρου μεταβλητού φορτίου γίνεται προβληματική.



**Σχήμα 6.13:** Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας  $k$  σε σχέση με τις βαθμίδες φόρτισης.

### Τάση προστερεοποίησης $p_c$

Ο προσδιορισμός της τάσης προστερεοποίησης έγινε από το διάγραμμα δείκτη πόρων  $e - \log p$  με τη γραφική μέθοδο του Casagrande και αυτή ισούται με 166 kPa όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (6.14).



**Σχήμα 6.14:** Προσδιορισμός τάσης προστεροποίησης από το διάγραμμα  $e - \log p$ .

Ο παραπάνω προσδιορισμός της  $p_c$  μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε την ιστορία της εντατικής κατάστασης μιας εδαφικής απόθεσης. Η ιστορία της εντατικής κατάστασης είναι μια σημαντική παράμετρος, είτε αφορά τα χαρακτηριστικά της αντοχής, είτε της παραμόρφωσης.

Στη συνέχεια με τον υπολογισμό  $p_o'$  (για το βάθος 4.20 m και  $\gamma=1.99 \text{ gr/cm}^3$ , χωρίς υδροφόρο), ενεργή γεωστατική τάση λόγω υπερκείμενων, βρίσκουμε τον λόγο υπερστερεοποίησης OCR:  $p_c/p_o'=166/83.5 >1$ . Οπότε έχουμε ένα υπερστερεοποιημένο έδαφος (αυτό μπορεί να διακριθεί και από τη μικρή τιμή του δείκτη πόρων σε σχέση με τη συνήθη τιμή γι' αυτού του τύπου εδάφους).

Εκτός της κατακόρυφης γεωστατικής τάσης  $p_o'$  ( $\sigma_v'$ ) έχουμε και την οριζόντια γεωστατική τάση  $p_h'$  ( $\sigma_h'$ ), που συνδέονται με το συντελεστή πλευρικών ωθήσεων σε ηρεμία  $K_o$ :  $\sigma_h' = K_o \cdot \sigma_v'$ . Ο  $K_o$  για υπερστεροποιημένα αργιλικά εδάφη δίνεται από το τύπο (Schmidt 1966, Eurocode 7) στον παρακάτω πίνακα:

Soil type	Relationship	
Normally consolidated	$K_{o(NC)} = 1 - \sin \phi$ (Granular soils)	(Jaky, 1944)
	$K_{o(NC)} = 0.95 - \sin \phi$ (Clays)	
	$K_{o(NC)} = 0.4 + 0.007 PI$ ( $PI = 0-40\%$ )	
	$K_{o(NC)} = 0.64 + 0.001 PI$ ( $PI = 40-80\%$ )	
Overconsolidated	$K_{o(OC)} = (1 - \sin \phi) OCR^{\sin \phi}$ (Granular soils)	
	$K_{o(OC)} = (1 - \sin \phi) OCR^{1/2}$ (Clays)	
Elastic	$K_o = \nu/(1 - \nu)$	(Terzaghi, 1943)

(Brooker and Ireland, 1965)

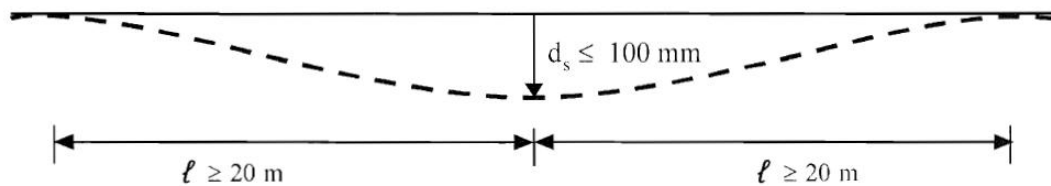
Για το υλικό μας, μετά από τριαξονική δοκιμή CD, έχουμε  $\phi' = 21^\circ$ , και για  $OCR = 1.99 \rightarrow K_o = 0.906 \rightarrow \sigma_h' = 75.65 \text{ kPa}$  (BH-11, βάθος 4.20 m).

Επίσης από τη δοκιμή προκύπτουν,

- Δείκτης συμπίεστότητας  $C_c = 0.215$ .
- Δείκτης διόγκωσης  $C_s = 0.02$ .
- Η υγρασία πριν και μετά τη δοκιμή, 27.8 % και 28.5 % αντίστοιχα.
- Η μεταβολή του δείκτη πόρων σε σχέση με τις βαθμίδες φόρτισης:

Φόρτιση (kPa)	Δείκτης πόρων e	Τελική ανάγνωση (mm)	Υποχώρηση (mm)
0	0.523	0	0
100	0.421	1.278	-1.278
200	0.369	1.936	-0.658
400	0.291	2.909	-0.973
800	0.226	3.722	-0.813
0 (αποσυμπίεση)	0.258	3.332	0.39(διόγκωση)

Σύμφωνα με EN 1993-4-3 (2007) η επιτρεπόμενη (προτεινόμενη) διαφορική καθίζηση είναι  $d_s \leq 100 \text{ mm}$ , με αυξανόμενη καθίζηση από 0 mm μέχρι το μέγιστο 100 mm για μία απόσταση (μήκος του αγωγού)  $l \geq 20 \text{ m}$  εκατέρωθεν της μέγιστης καθίζησης  $d_s = 100 \text{ mm}$  (Σχ. 6.15).



**Σχήμα 6.15:** Επιτρεπόμενη (προτεινόμενη) διαφορική καθίζηση (EN 1993-4-3, 2007).

Η ολική καθίζηση ( $\Delta H$ ) για το στρώμα των 13 m στη γεώτρηση BH-11 (εξεταζόμενο στρώμα) είναι:

Για την φόρτιση των 100 kPa,  $\alpha_v = 0.00102 \text{ kPa}^{-1}$ ,  $e_0 = 0.523$  έχω

$$\Delta H = H_0 \cdot (\alpha_v / (1 + e_0)) \cdot \Delta \sigma'_v \rightarrow \Delta H = 0.87 \text{ m}$$

Οπότε για επιτρεπόμενη καθίζηση 0.10 m:

- Η επιτρεπόμενη τάση στην επιφάνεια του στρώματος  $\Delta \sigma'_v = 11.5 \text{ kPa}$ .
- Ο χρόνος για να παραλάβει το στρώμα την επιτρεπόμενη καθίζηση  $t = 44.5 \text{ days}$ .

Επίσης η ενεργή τάση στα 2.3 m του εδάφους που θα εκσκαφθεί είναι 39 kPa.

Άρα στο στρώμα (MH) των 13 m στη περιοχή κατασκευής του αγωγού και του σταθμού συμπίεσης (με μέγιστη επιτρεπόμενη καθίζηση του αγωγού 0.10 m) η επιτρεπόμενη τάση στην επιφάνεια είναι 11.5 kPa, όμως με την εκσκαφή ορύγματος βάθους 2.3 m (ελάχιστο βάθος έδρασης του αγωγού) όπου η ενεργή τάση του στρώματος αυτού στο επίπεδο έδρασης είναι 39 kPa, προκύπτει πως η επιτρεπόμενη τάση που μπορεί να ασκηθεί στο βάθος αυτό (έδρασης) με (επιτρεπόμενη) καθίζηση 0.10 m είναι  $39 + 11.5 (= 50.5) \text{ kPa}$ .

## 6.2.5 Δοκιμή ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης

Πίνακας 6.15: Αποτελέσματα δοκιμής ανεμπόδιστης (μοναξονικής) θλίψης σε εδαφικά και βραχώδη δοκίμια.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	(UCS)		$c_u$ (kPa)	USCS (τύπος)	Ταξινόμηση I.S.R.M., 1981
		$q_u$ (kPa)	$\sigma_c$ (MPa)			
BH-4	3.7-4.55	57		28.5	CL	
BH-5	1.95-3.0	322		161	CH	
BH-7	7.0-8.55	92.9		46.45	CL	
BH-9	0.0-1.6	58.1		29.05	SP	
BH-10	8.0-8.15		27		(Ασβεστόλιθος)	Μέσης αντοχής
BH-11	4.0-4.40	84.5		42.25	CL	
BH-12	8.3-8.5		38.1		(Ασβεστόλιθος)	Μέσης αντοχής
	16.0-16.2		68		(Ασβεστόλιθος)	Υψηλής αντοχής
BH-13	5.8-6.0		61.7		(Ασβεστόλιθος)	Υψηλής αντοχής
	11.2-11.6		53.2		(Ασβεστόλιθος)	Υψηλής αντοχής
	13.3-13.8		81.6		(Ασβεστόλιθος)	Υψηλής αντοχής
	15.7-16.0		109.1		(Ασβεστόλιθος)	Πολύ υψηλής αντοχής

$q_u$ : αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη

$\sigma_c$ : αντοχή σε μοναξονική θλίψη

$c_u$ : αστράγγιστη διατμητική αντοχή

Εκτίμηση των παραμέτρων διατμητικής αντοχής του βραχώδους υλικού γίνεται σε παρακάτω ενότητα.

## 6.2.6 Δοκιμή προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης

Πίνακας 6.16: Αποτελέσματα δοκιμής προσδιορισμού του δείκτη σημειακής φόρτισης.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	$I_s$ (MPa)	$I_{s(50)}$ (MPa)	Ταξινόμηση (BIENIAWSKI, 1975)	$\sigma_c$ (MPa)	$E_t$ (GPa)
BH-12	1.5-1.6	2.51	2.92	Μέσης αντοχής	64.3	15.54
	4.0-4.15	3.6	4.2	Υψηλής αντοχής	92.5	22.02
	4.5-4.7	3.4	3.78	Μέσης αντοχής	83.2	19.88
	8.5-8.65	4.35	5.09	Υψηλής αντοχής	112.2	26.43
	15.5-15.6	3.21	3.7	Μέσης αντοχής	82.3	19.70
	20.5-20.6	3.81	4.46	Υψηλής αντοχής	98.1	23.24
	21.7-21.8	3.47	4.06	Υψηλής αντοχής	89.4	21.25

BH-13	1.0-1.1	3.56	4.16	Υψηλής ανοχής	91.6	21.78
	1.8-2.0	3.61	4.2	Υψηλής ανοχής	92.8	22.07
	3.6-3.8	4.42	5.16	Υψηλής ανοχής	113.7	26.81
	4.5-4.7	1.67	1.9	Χαμηλής αντοχής	42.1	10.46
	5.0-5.2	3.95	4.6	Υψηλής ανοχής	101.5	24.09
	8.8-9.0	3.26	3.79	Μέσης αντοχής	83.5	20.00
	13.0-13.3	4.51	5.27	Υψηλής ανοχής	116	27.38
	14.0-14.3	4.63	5.4	Υψηλής ανοχής	118.8	28.05
	15.0-15.1	2.43	2.84	Μέσης αντοχής	62.5	15.15
	19.8-20.0	1.98	2.31	Μέσης αντοχής	50.9	12.50

Όλα τα δείγματα προέρχονται από το ασβεστολιθικό πέτρωμα.

$I_s$ : δείκτης σημειακής φόρτισης

$I_{s(50)}$ : ανηγμένος δείκτης σημειακής φόρτισης

$\sigma_c$ : αντοχή σε μονάξονική θλίψη,  $\sigma_c = K \cdot I_{s(50)}$ ,  $K=22$  (ISRM, 1985)

$E_i$ : εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας,  $E_i = (0.588 \cdot I_s + 0.084) \cdot 10^4$ , (Irfan & Dearman, 1978)

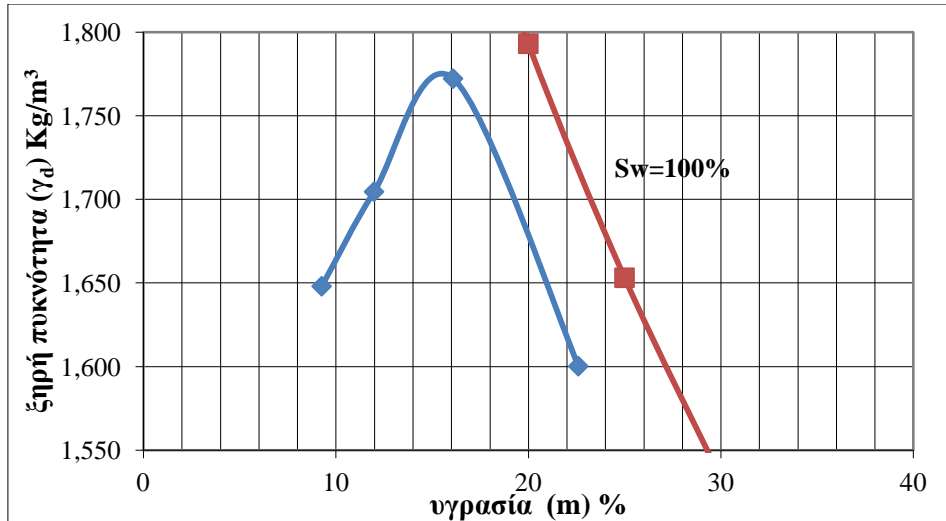
## 6.2.7 Συμπύκνωση εδαφών – Πρότυπη μέθοδος Proctor

Πίνακας 6.17: Αποτελέσματα πρότυπων δοκιμών Proctor.

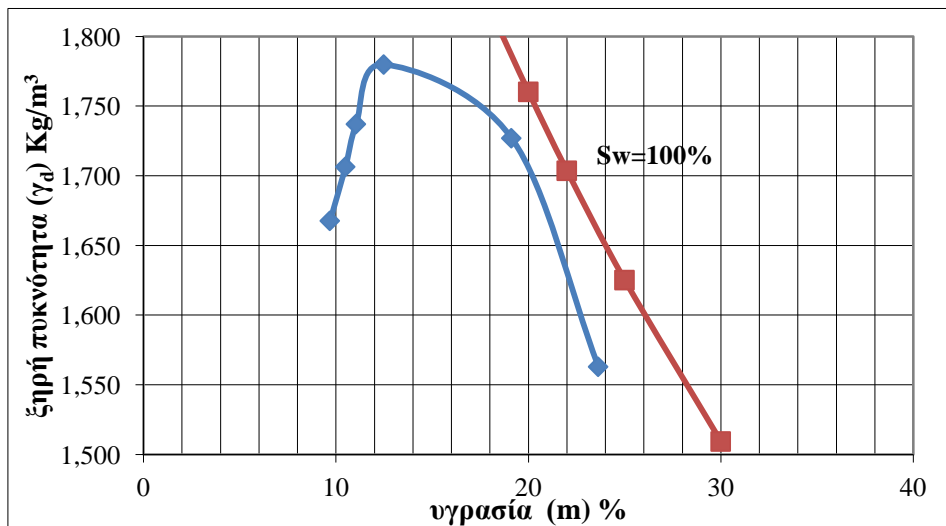
Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική υγρασία, w (%)	Ειδικό βάρος, $\gamma_s$	Βαθμός κορεσμού, $S_w$ (%)	$\gamma_{dmax}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$m_{opt}$ (%)
BH-7	1.5	8.6	2.56	39.2	1776	15.5
BH-8	1.5	12.9	2.49	47.0	1780	12.5
BH-9	1.5	13.0	2.40	58.6	1585	17.9

$\gamma_{dmax}$ : μέγιστη ξηρή πυκνότητα,  $m_{opt}$ : βέλτιστη υγρασία

Τα υλικά των υπολοίπων γεωτρήσεων στα βάθη που θα γίνει η εκσκαφή δεν εξετάστηκαν, είτε γιατί δεν επαρκούσαν, είτε γιατί δεν ικανοποιούσαν τις προδιαγραφές.

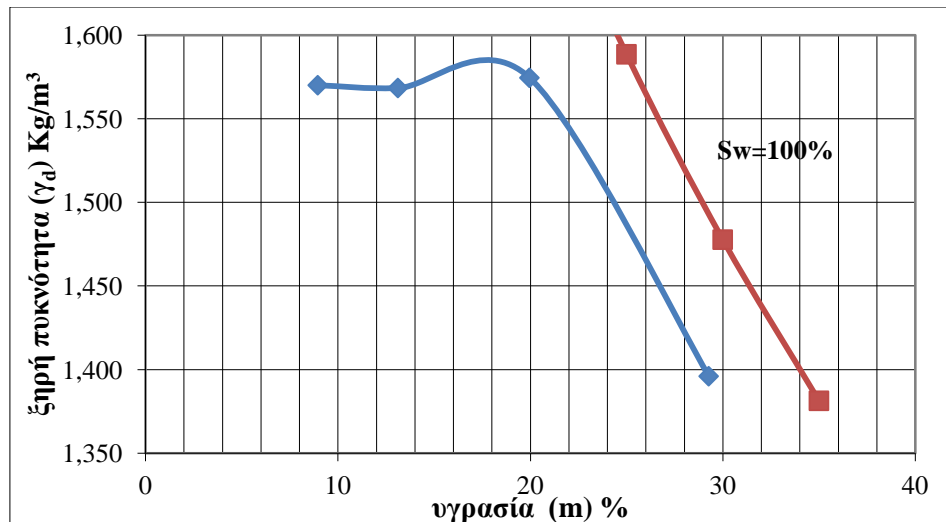


**Σχήμα 6.16:** Καμπύλη ξηρής πυκνότητας ( $\gamma_d$ ) – υγρασίας (m) και καμπύλη κορεσμού, ΒΗ-7.  
(Η τελεία (.) αντιπροσωπεύει τις χιλιάδες).



**Σχήμα 6.17:** Καμπύλη ξηρής πυκνότητας ( $\gamma_d$ ) – υγρασίας (m) και καμπύλη κορεσμού, ΒΗ-8.  
(Η τελεία (.) αντιπροσωπεύει τις χιλιάδες).

Στο σχήμα 6.17, ίσως η μέγιστη ξηρή πυκνότητα και η βέλτιστη υγρασία να έχουν ελάχιστα μεγαλύτερη τιμή (πιθανώς  $\gamma_{dmax}=1800 \text{ kg/m}^3$  και  $m_{opt}=15.5 \%$ ).



**Σχήμα 6.18:** Καμπύλη ξηρής πυκνότητας ( $\gamma_d$ ) – υγρασίας (m) και καμπύλη κορεσμού, ΒΗ-9.  
(Η τελεία (.) αντιπροσωπεύει τις χιλιάδες).

Παρατηρούμε στο σχήμα 6.18 ότι η περιεχόμενη υγρασία επηρεάζει πολύ λίγο την τιμή της ξηρής πυκνότητας έως την βέλτιστη υγρασία.

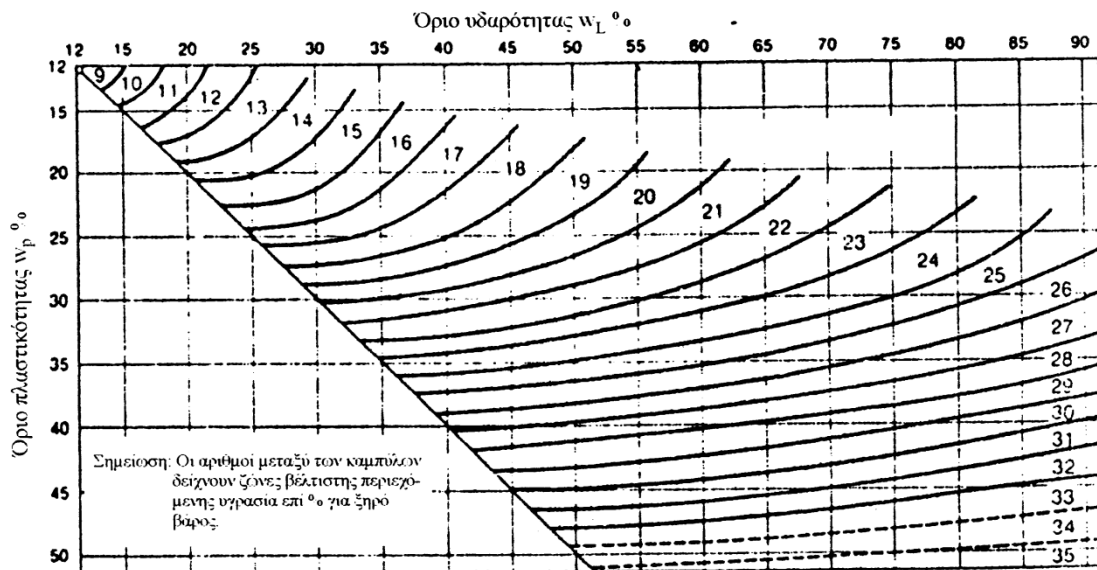
Οι καμπύλες κορεσμού σχεδιάστικαν σύμφωνα με τον τύπο:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s \cdot \gamma_w}{\gamma_w + \frac{w_c}{S_w} \cdot \gamma_s}$$

όπου συνήθως  $\gamma_w=1$ , για βαθμό κορεσμού 100%  $S_w=100$  και στη συνέχεια για διάφορες τιμές της περιεχόμενης υγρασίας  $w_c$  βρίσκουμε τις τιμές της  $\gamma_d$ . Επίσης από αυτόν τον τύπο μπορούν να σχεδιαστούν και οι καμπύλες για διάφορα ποσοστά κορεσμού.

Προσεγγιστικά με τη χρήση των ορίων Atterberg μπορούμε να βρούμε την βέλτιστη υγρασία συμπίκνωσης με τη μέθοδο της τυποποιημένης συμπίκνωσης κατά Proctor από το παρακάτω διάγραμμα (Σχ. 6.19).





**Σχήμα 6.19:** Προσεγγιστικός προσδιορισμός βέλτιστης περιεχόμενης υγρασίας για ένα έδαφος με την μέθοδο της τυποποιημένης συμπίκνωσης κατά Proctor σε συνδιασμό με τα όρια Atterberg (κατά Bowles, 1977), (από Παπαχαρίσης, 1999).

Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του σχήματος 6.19 και τις τιμές των ορίων Atterberg του πίνακα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.4, τα αριθμημένα δείγματα του πίνακα 6.9 κατανέμονται ως εξής:

Βέλτιστη υγρασία %	Αριθμός δείγματος (πίνακας 6.9)
15	17
16	21
18	11, 18, 26
19	3, 4, 10, 12, 19, 20, 24, 25
20	1, 15, 31
21	30, 32
22	7, 34
23	8, 9, 29, 33, 35
24	2
28	14

## 6.2.8 Δοκιμή τριαξονικής φόρτισης

### Κατά μήκος του αγωγού (χωρίς την περιοχή του σταθμού συμπίεσης)

#### Δοκιμή χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU)

**Πίνακας 6.18:** Αποτελέσματα δοκιμών χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU).

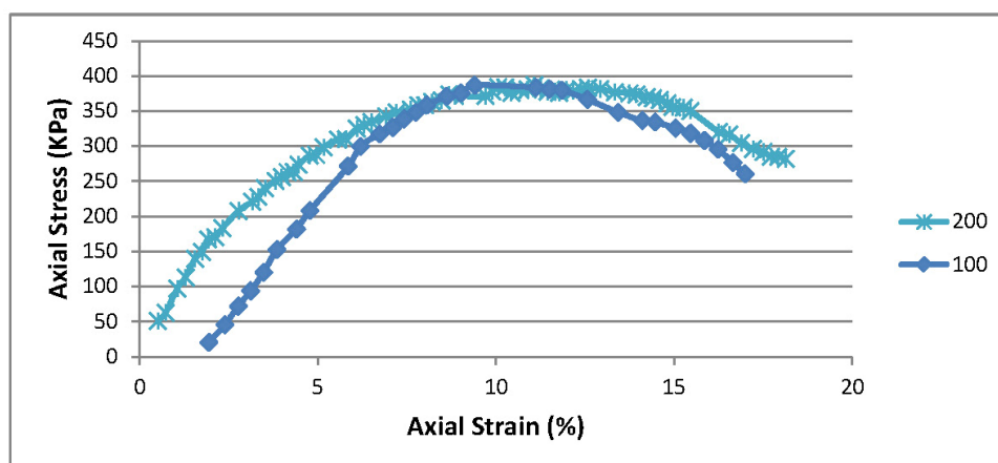
Γεώτρηση	Βάθος (m)	Δείγμα	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	Αξονική παραμόρφωση, $\epsilon$ (%)	$c_u$ (kPa)	$\phi_u$ °	Γωνία του επιπέδου αστοχίας, $\theta$ °
BH-4	1.9-3.0	1	100	486	9.3	191.4	0.4	57.8
		2	200	586	12.8			
	3.7-4.55	1	100	271	3.2	6	25.6	
		2	200	523	19.5			
BH-5	3.45-4.55	1	100	507		202.1	0.2	
		2	200	607	17.9			
BH-6	3.45-4.50	1	100	324	6.2	101.4	2.9	
		2	200	430				
	6.0-8.55	1	100	240	3.2	66.2	1.8	
		2	200	350				
	9.0-9.5	1	100	460		166.9	2.7	
		2	200	570	9.4			
BH-7	4.5-5.45	1	100	960	5.1	427.4	0.3	
		2	200	1061				
	6.45-7.0	1	100	246	2.7	5.3	23.2	
		2	200	476	4.2			

Οι τιμές των  $c_u$  και  $\phi_u$  στον πίνακα 6.18 των γεωτρήσεων BH-4 (3.7-4.55 m) και BH-7 (6.45-7.0 m) οφείλονται στον μη κορεσμό του δοκιμίου (θα λέγαμε ότι προσεγγίζουν τις ενεργές τιμές,  $c'$  και  $\phi$ ).

Παρακάτω δίνονται μερικά διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων των UU δοκιμών.

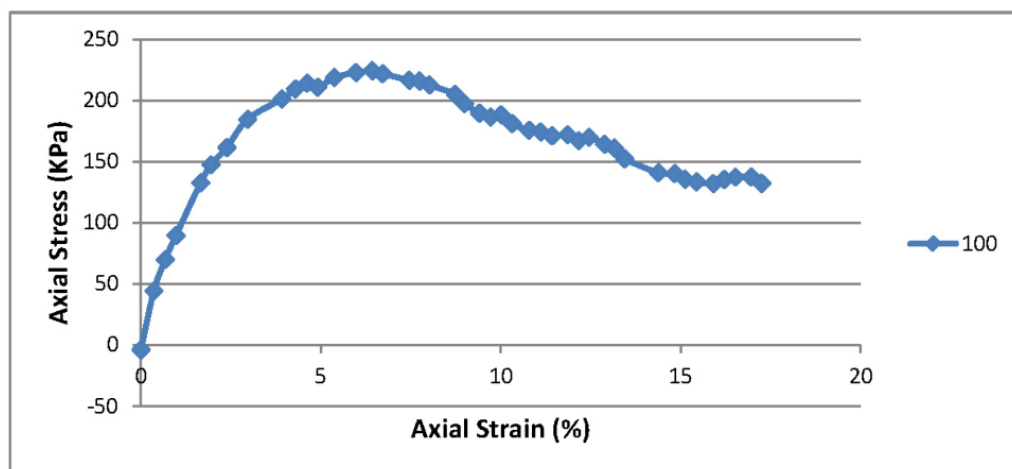
#### **BH-4:**

α) Βάθος 1.9-3.0 m (ψαθυρή συμπεριφορά και στα 100 kPa και στα 200 kPa).

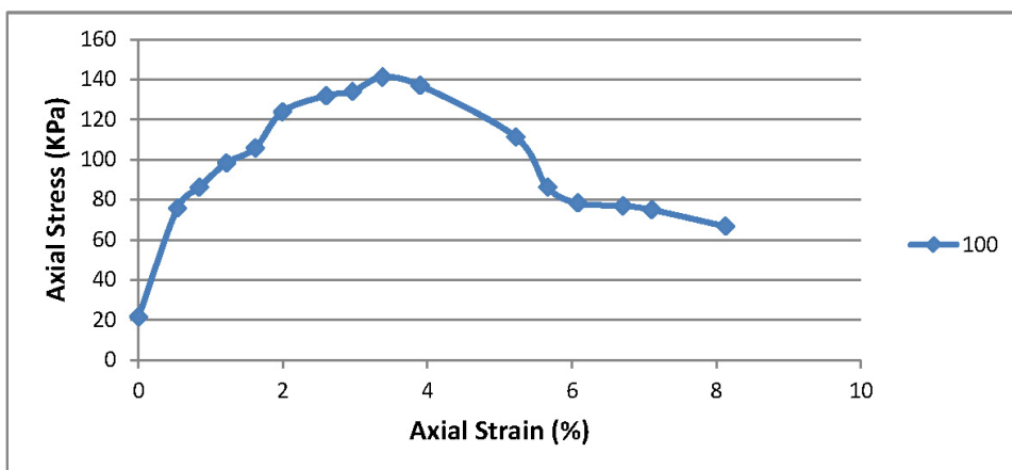


**BH-6:**

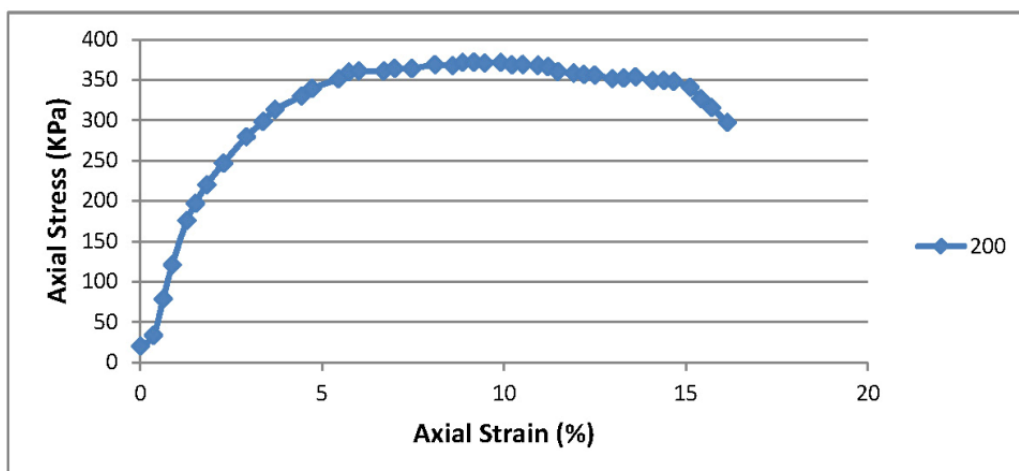
α) Βάθος 3.45-4.5 m (πλαστική συμπεριφορά).



β) Βάθος 6.0-8.55 m (ψαθυρή συμπεριφορά).

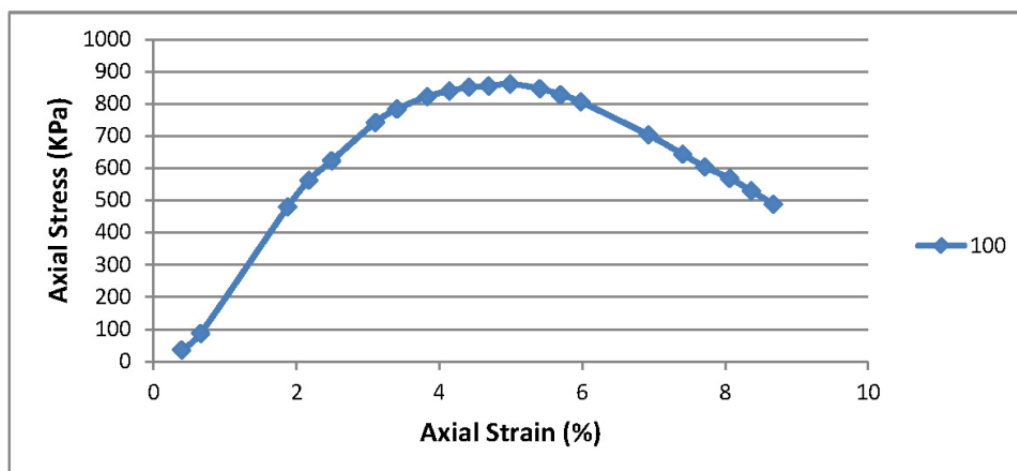


γ) Βάθος 9.0-9.5 m (πλαστική συμπεριφορά).

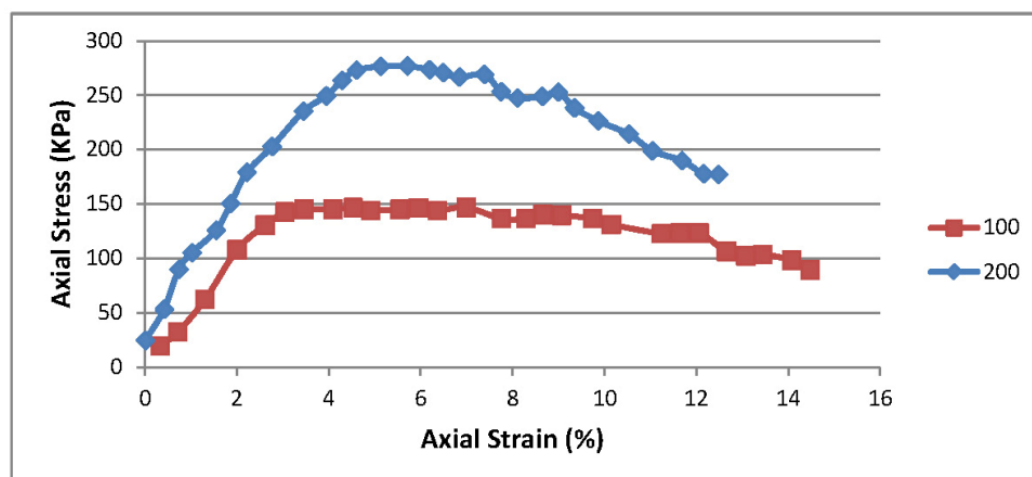


### **BH-7:**

α) Βάθος 4.5-5.45 m (ψαθυρή συμπεριφορά).



β) Βάθος 6.45-7.0 m (πλαστική στα 100 kPa και ψαθυρή στα 200 kPa)



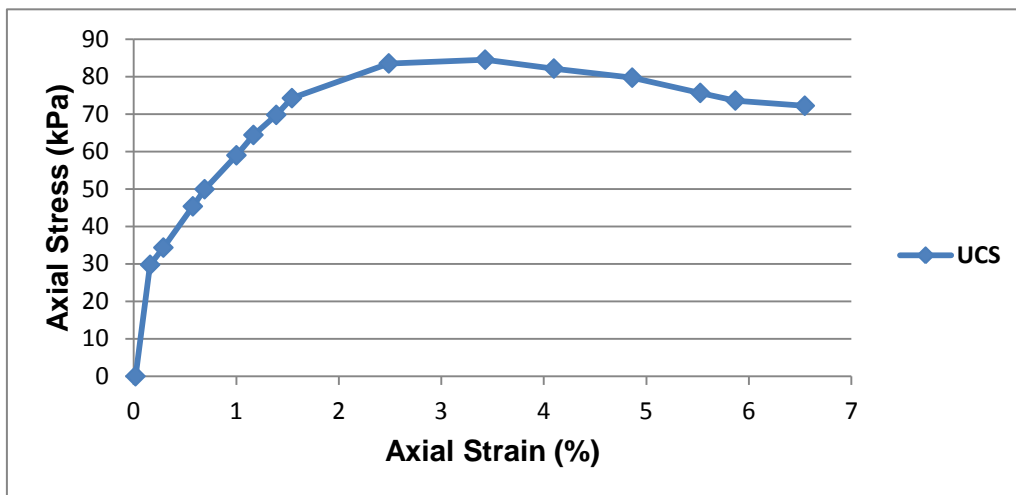
### **Περιοχή σταθμού συμπίεσης**

Στη περιοχή του σταθμού συμπίεσης εκτελέστηκαν κάποιες επιπλέον δοκιμές για την λεπτομερέστερη εξέταση των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους και συγκεκριμένα μία δοκιμή οιδημέτρου (βλ. 6.2.4), μία δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης (βλ. 6.2.5), δύο δοκιμές τριαξονικής φόρτισης: UU και CD. Όλες οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στη γεώτρηση BH-11 στο βάθος 4.0-4.4 m σε αναζυμωμένα δείγματα.

Δοκιμή ανεμπόδιστης θλίψης (UCS)



**Φωτογραφία 6:** Θραύση δοκιμίου σε ανεμπόδιστη θλίψη (UCS), αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη  $q_u = 84.5 \text{ kPa}$  ( $c_u = 42.25 \text{ kPa}$ ).

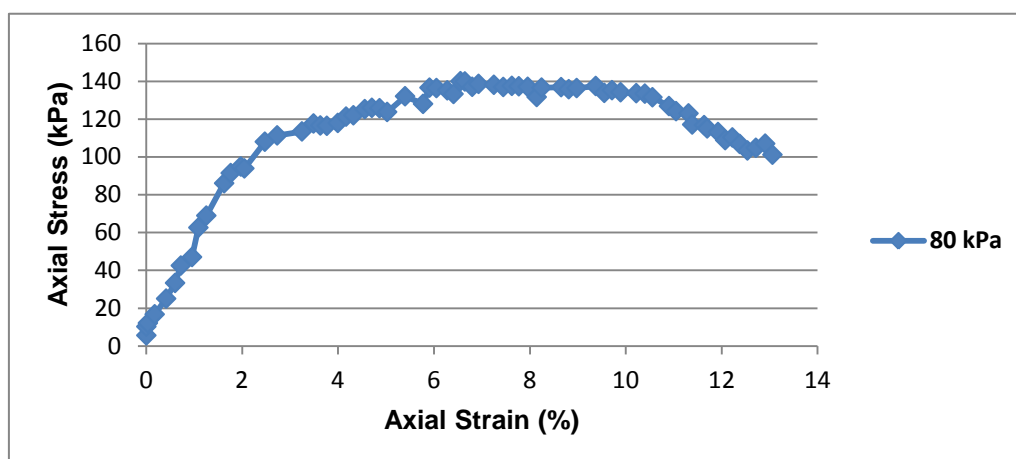


**Σχήμα 6.20:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, αξονική παραμόρφωση κατά την θραύση  $\epsilon = 3.4 \%$  (πλαστική συμπεριφορά).

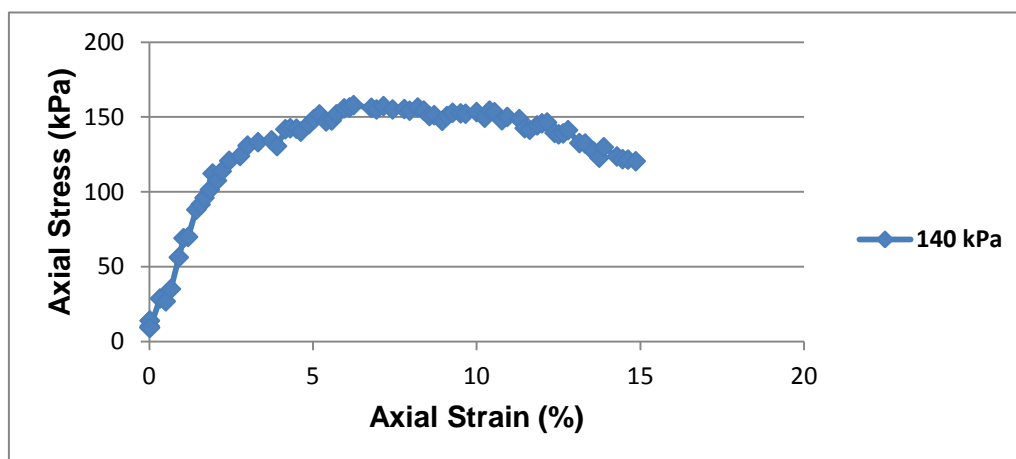
Δοκιμή χωρίς στερεοποίηση - χωρίς αποστράγγιση (UU)

**Πίνακας 6.19:** Αποτελέσματα δοκιμής UU στη γεώτρηση BH-11(4.0-4.4 m), στη περιοχή του σταθμού συμπίεσης.

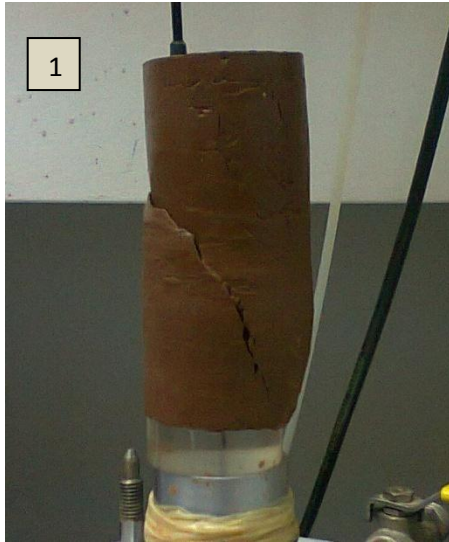
Γεώτρηση	Βάθος (m)	Δοκίμιο	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\varepsilon$ (%)	$c_u$ (kPa)	$\phi_u^\circ$	$\theta^\circ$
BH-11	4.0-4.4	1	80	220	6.5	51	7	48.5
		2	140	298	6.2			



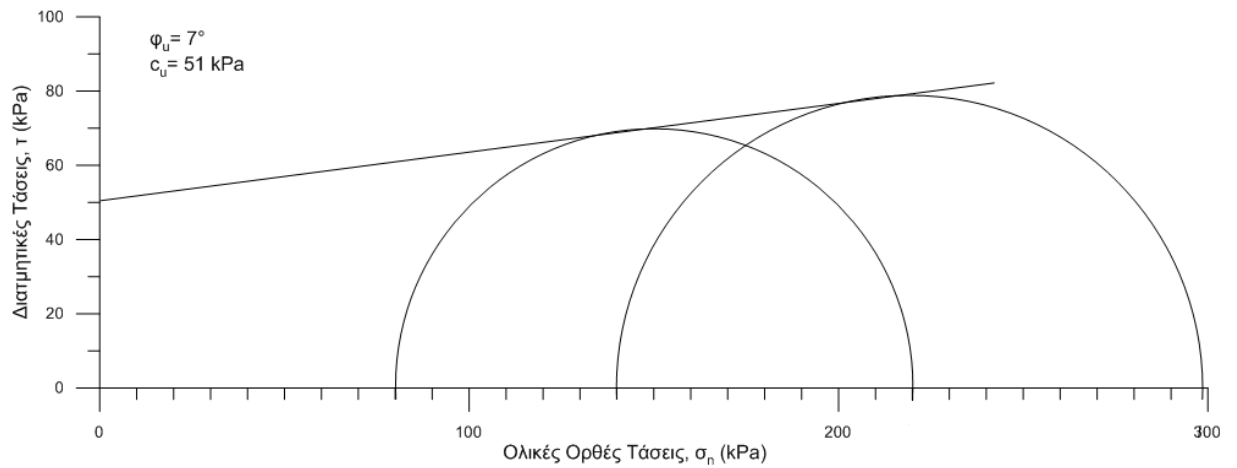
**Σχήμα 6.21:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, δοκίμιο 1 (πλαστική συμπεριφορά).



**Σχήμα 6.22:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, δοκίμιο 2 (πλαστική συμπεριφορά).



**Φωτογραφία 7:** Θραύση δοκιμίων 1 και 2 σε UU τριαξονική δοκιμή. Παρατηρούμε πως οι γωνίες του επιπέδου θραύσης είναι ίδιες αλλά αντίθετης φοράς.

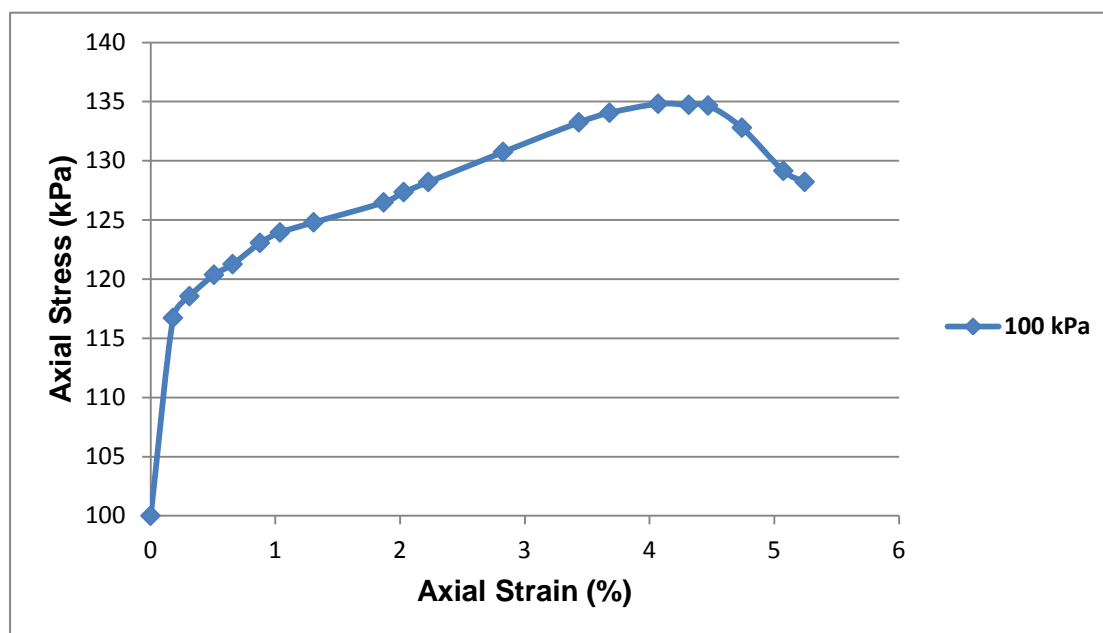


**Σχήμα 6.23:** Κύκλοι ολικών τάσεων Mohr και η περιβάλλουσα αστοχίας, UU δοκιμή.

Δοκιμή με στερεοποίηση και με αποστράγγιση (CD)

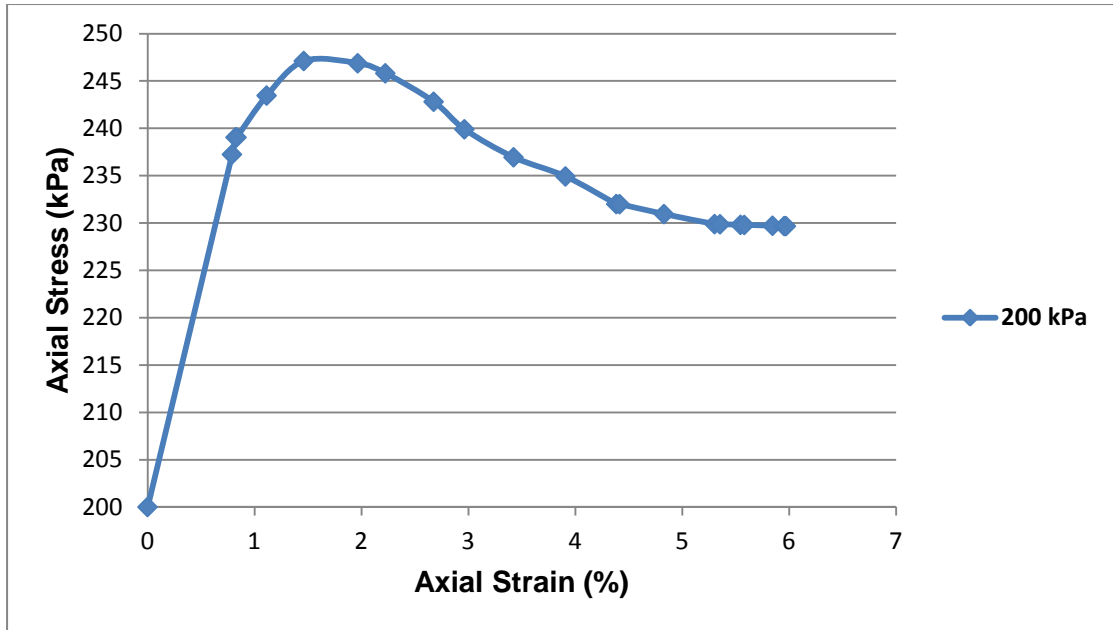
**Πίνακας 6.20:** Αποτελέσματα δοκιμής CD στη γεώτρηση ΒΗ-11(4.0-4.4 m), στη περιοχή του σταθμού συμπίεσης.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Δοκίμιο	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_1$ (kPa)	$\varepsilon$ (%)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\theta^\circ$
ΒΗ-11	4.0-4.4	1	100	235	4.58	9	21	55.5
		2	200	447	1.46			
		3	400	890	0.07628			

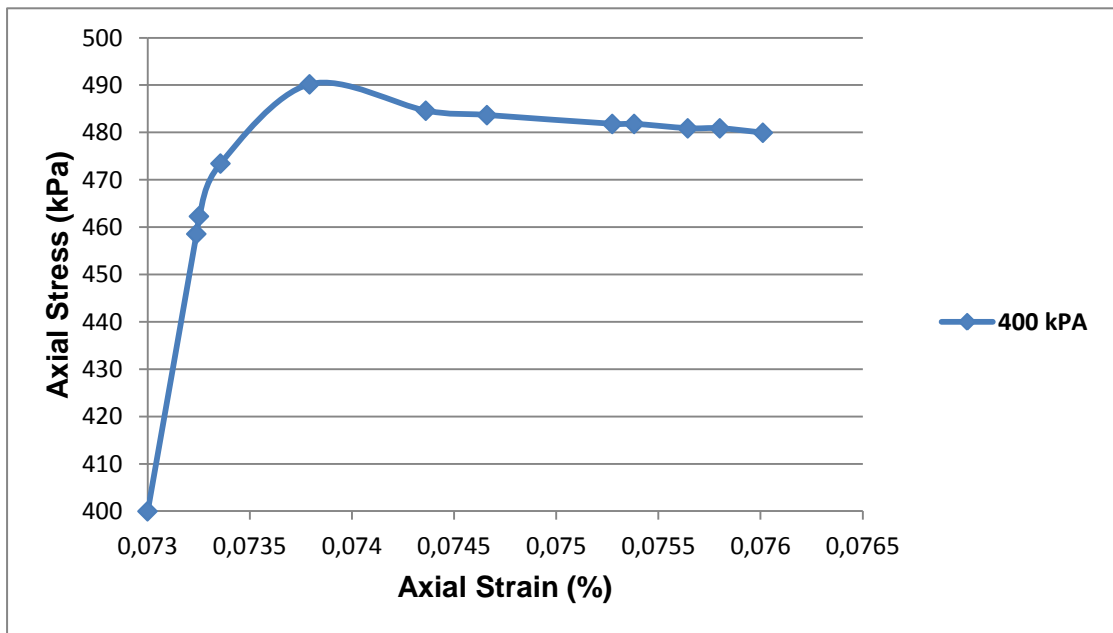


**Σχήμα 6.24:** Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, δοκίμιο 1.

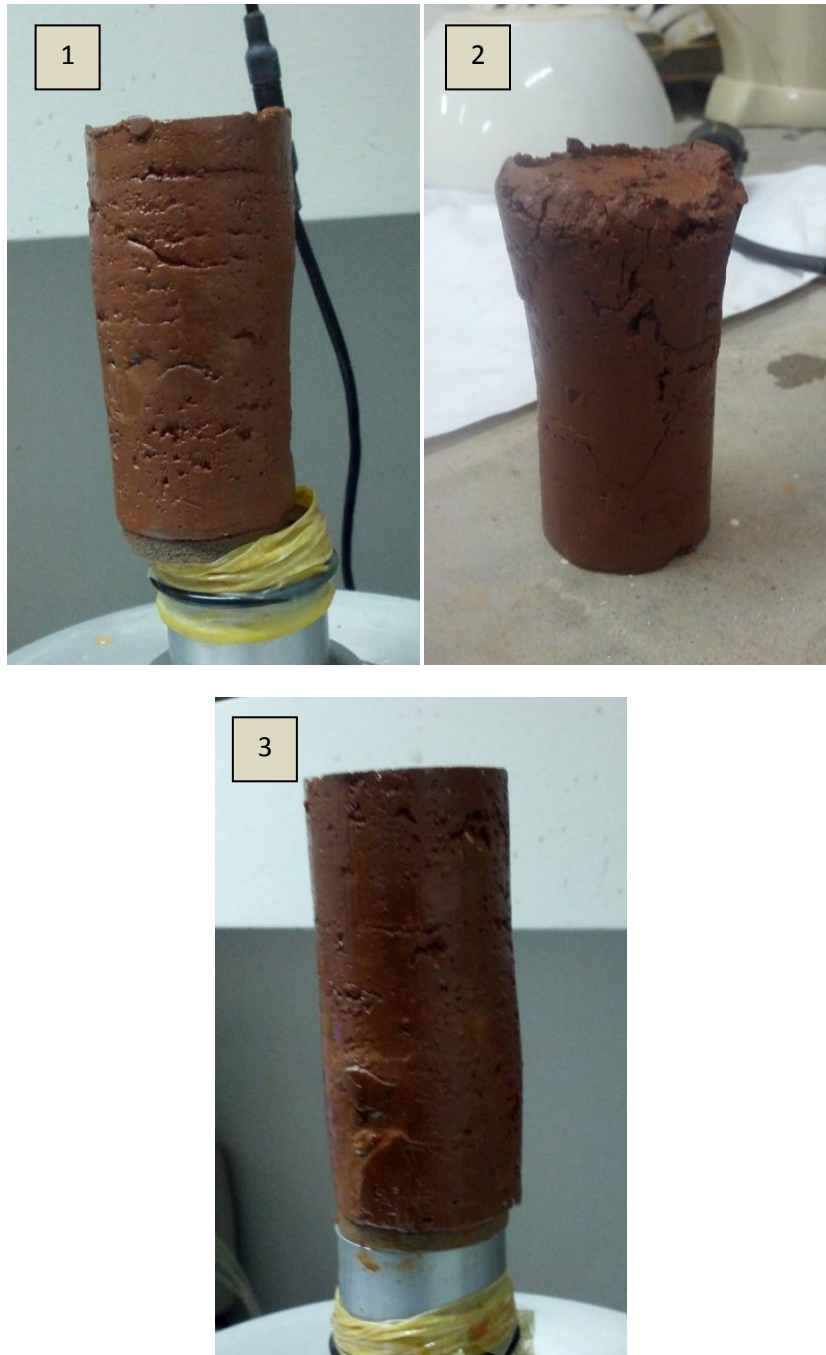




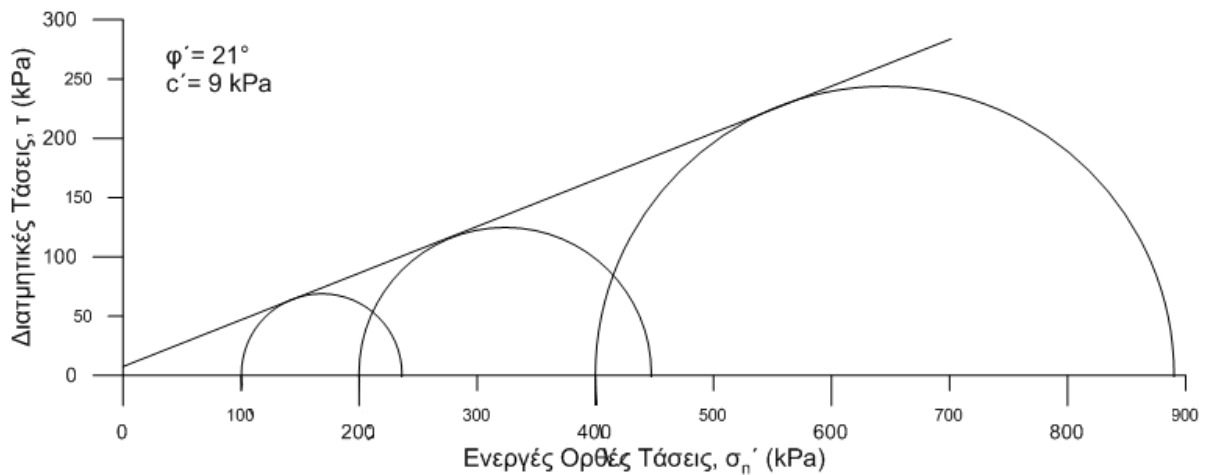
Σχήμα 6.25: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, δοκίμιο 2 (πλαστική συμπεριφορά).



Σχήμα 6.26: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, δοκίμιο 3 (πλαστική συμπεριφορά).



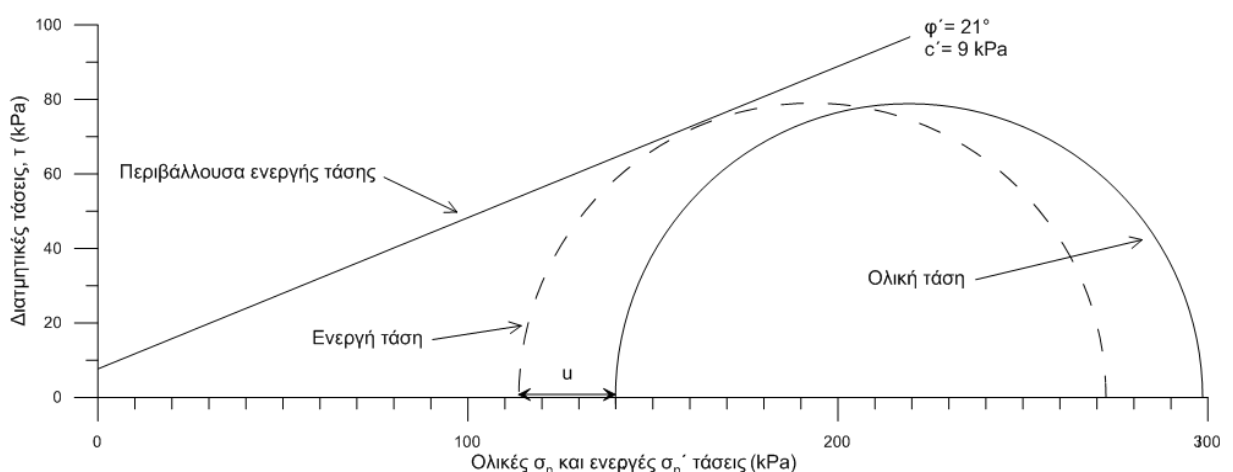
**Φωτογραφία 8:** Τα δοκίμια μετά τη φορτίσή τους υπό CD τριαξονικές συνθήκες.



**Σχήμα 6.27:** Κύκλοι ενεργών τάσεων Mohr και η περιβάλλουσα αστοχίας, CD δοκιμή.

Η τιμή στη συνοχή εξαρτάται από την ταχύτητα επιβολής της φόρτισης και όσο μικρότερη είναι τόσο η τιμή της συνοχής τείνει προς το μηδέν. Επίσης σε υπερστερεοποιημένες αργίλους η περιβάλλουσα είναι συνήθως γραμμική, αλλά αποκλίνουσα από την περιβάλλουσα των κανονικά στερεοποιημένων (η περιβάλλουσα περνάει από την αρχή των αξόνων,  $c' = 0$ ) με αποτέλεσμα να δίνει μια τιμή συνοχής.

Αν είναι γνωστός ο κύκλος της ολικής τάσης και η περιβάλλουσα των ενεργών τάσεων τότε μπορούμε να βρούμε την πίεση του νερού των πόρων  $u$ , μετατοπίζοντας τον κύκλο ολικής τάσης κατά μήκος του άξονα  $\sigma$  μέχρι να εφάπτεται στην περιβάλλουσα (Σχ. 6.28). Επομένως σύμφωνα με το σχήμα 6.28 η πίεση πόρων  $u = 26$  kPa (κύκλος ολικής τάσης με  $\sigma_3 = 140$  kPa και  $\sigma_1 = 298$  kPa).



**Σχήμα 6.28:** Προσδιορισμός της πίεσης του νερού των πόρων με γνωστό κύκλο ολικής τάσης και την περιβάλλουσα ενεργής τάσης.

### 6.3 ΑΝΤΟΧΗ ΤΗΣ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ (ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ)

Ο προσδιορισμός της αντοχής της βραχώμαζας γίνεται μέσω του κριτηρίου Hoek-Brown. Επίσης ο υπολογισμός των παραμέτρων διατμητικής αντοχής  $c$  και  $\varphi$  γίνεται μέσω της ταύτισης της ευθείας (περιβάλλουσας) θραύσης του κριτηρίου Mohr-Coulomb και της καμπύλης θραύσης του κριτηρίου Hoek-Brown. Η επίλυση του κριτηρίου Hoek-Brown γίνεται με το πρόγραμμα RockLab v.1.0.

**Πίνακας 6.21:** Χαρακτηριστικά της βραχώμαζας και του άρρηκτου βράχου.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	RQD (%)	GSI	$\sigma_{ci}$ (MPa)	$m_i$
BH-7	9.5-11.5	0	50 (45-55)	20	9
	11.5-12.5	20			
	12.5-13.0	30			
	13.0-14.5	34			
	14.5-15.0	50			
BH-10	1.0-10	0	25(20-30)	27	9
BH-12	1.0-5.5	40	25 (20-30)	60	10
	5.5-9.5	0			
	9.5-15.0	0			
	15.0-20.0	10			
	20.0-24.0	0			
	24.0-30.0	0			
BH-13	3.0-6.0	40	55(50-60)	70	10
	6.0-9.0	0	25(20-30)	60	10
	9.0-15.0	55	65(60-70)	90	10
	15.0-18.0	0	25(20-30)	45	10
	18.0-20.0	10			

RQD (Rock Quality Designation): Δείκτης Ποιότητας Πετρώματος (Deere et al., 1967).

GSI (Geological Strength Index): Γεωλογικός Δείκτης Αντοχής (Hoek, 1994).

$\sigma_{ci}$ : Αντοχή του άρρηκτου βράχου σε μονάξονική θλίψη.

$m_i$ : Σταθερά που εξαρτάται από το βαθμό αλληλοκλειδώματος των κόκκων.

Λεπτομερέστερα οι παράμετροι εισαγωγής φαίνονται στα σχήματα της εξαγωγής των αποτελεσμάτων του προγράμματος RockLab παρακάτω.

**Πίνακας 6.22:** Επίλυση των κριτηρίων.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Hoek-Brown			Mohr-Coulomb	
		$m_b$	$s$	$a$	$c$ (MPa)	$\varphi^\circ$
BH-7	10.0-15.0	1.509	0.0039	0.506	0.965	29.32
BH-10	1.0-10.0	0.618	0.0002	0.531	0.818	22.25
BH-12	1.0-5.5	2.005	0.0067	0.504	3.780	31.98
	5.5-30.0	0.687	0.0002	0.531	1.891	23.07
BH-13	3.0-6.0	2.005	0.0067	0.504	3.780	31.98

	6.0-9.0	0.687	0.0002	0.531	1.891	23.07
	9.0-14.6	2.865	0.0205	0.502	5.787	34.89
	14.6-20.0	0.687	0.0002	0.531	1.418	23.07

Λεπτομερέστερα αποτελέσματα για την αντοχή της βραχώμαζας στα παρακάτω διαγράμματα.

### Κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown

Γενικευμένο κριτήριο αστοχίας Hoek-Brown για βραχώμαζες:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right) < m_i$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right) < 1$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right) > 0.5$$

Οι τιμές  $m_i$ ,  $s=1$  και  $a=0.5$  αντιστοιχούν στον άρρηκτο βράχο.

### Κριτήριο αστοχίας Mohr - Coulomb

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right)$$

### Μέτρο παραμορφωσιμότητας

Πίνακας 6.23: Μέτρο παραμορφωσιμότητας βραχώμαζας.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	$E_m$ , GPa (Hoek, Diederich, 2006)	$E_m$ , GPa (Hoek, Carranza-Torres, Corkum, 2002)
BH-7	10.0-15.0	5.53	4.47
BH-10	1.0-10.0	1.45	1.23
BH-12	1.0-5.5	20.0	11.2
	5.5-30.0	2.51	1.05
BH-13	3.0-6.0	20.0	11.2
	6.0-9.0	2.51	18.4
	9.0-14.6	39.8	22.5
	14.6-20.0	1.88	1.60

$E_m$ , (Hoek, Diederich, 2006):

$$E_m = E_i \left( 0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{(60 + 15D - GSI)/11}} \right)$$

$E_m$ , (Hoek, Carranza-Torres, Corkum, 2002): για  $\sigma_{ci} < 100$  MPa

$$E_m \text{ (GPa)} = \left( 1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci} \text{ (MPa)}}{100}} \times 10^{\frac{GSI - 10}{40}}$$

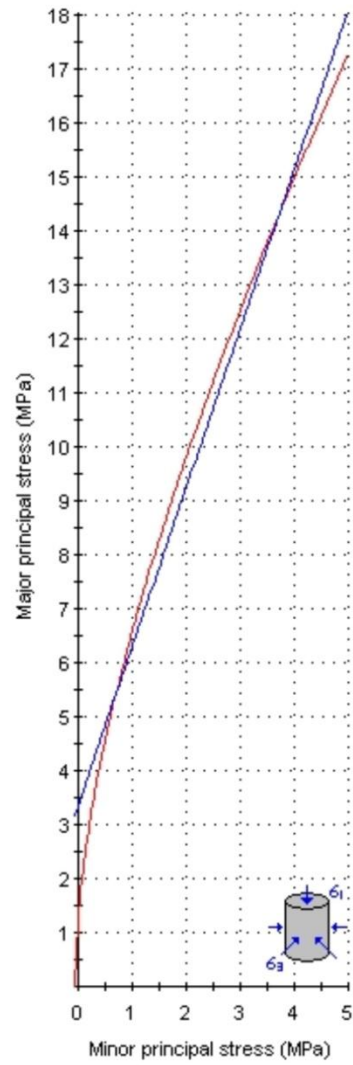
όπου D, παράμετρος διαταραχής βραχόμαζας με τιμή 1 για πολύ διαταραγμένη βραχόμαζα και 0 για αδιατάρακτη

$E_i$ : Μέτρο παραμορφωσιμότητας άρρηκτου βράχου.

**Αναλυτικά αποτελέσματα της αντοχής της βραχόμαζας με τη χρήση του προγράμματος RockLab (Hoek-Brown: κόκκινη καμπύλη, Mohr-Coulomb: μπλέ γραμμή):**

Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-7 (10.0-15.0 m)

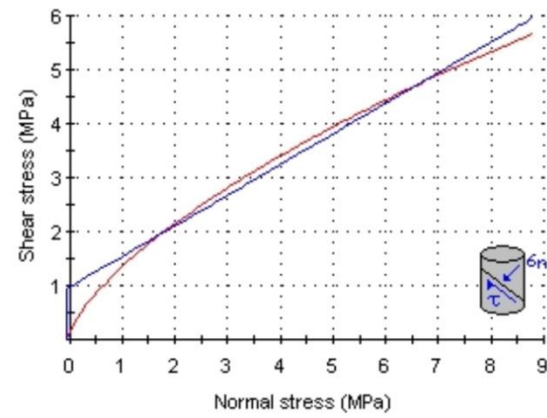


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 20 MPa  
 GSI = 50  $m_i$  = 9 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 18000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 900

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 1.509  $s$  = 0.0039  $a$  = 0.506

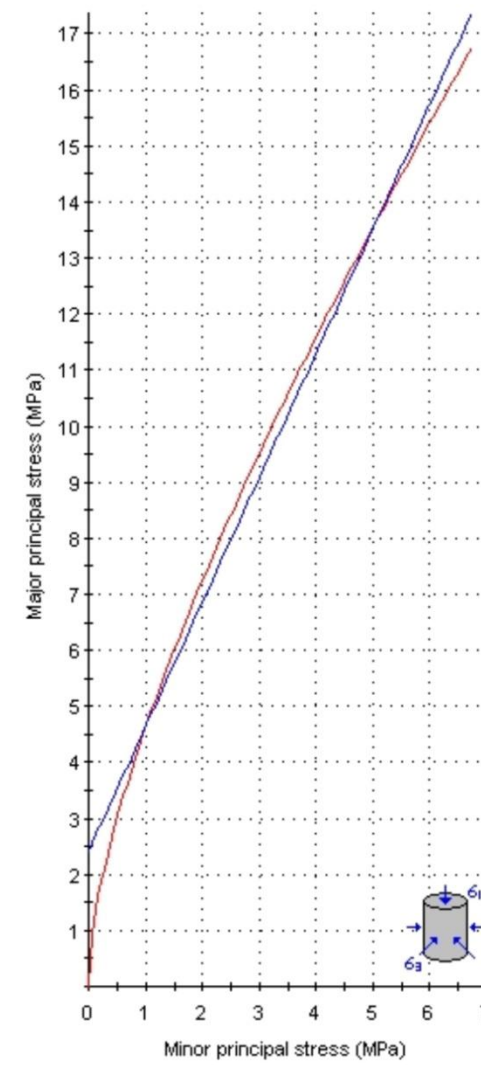
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.965 MPa friction angle = 29.62 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.051 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.205 MPa  
 global strength = 3.317 MPa  
 deformation modulus = 5529.35 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-10 (1.0-10.0 m)

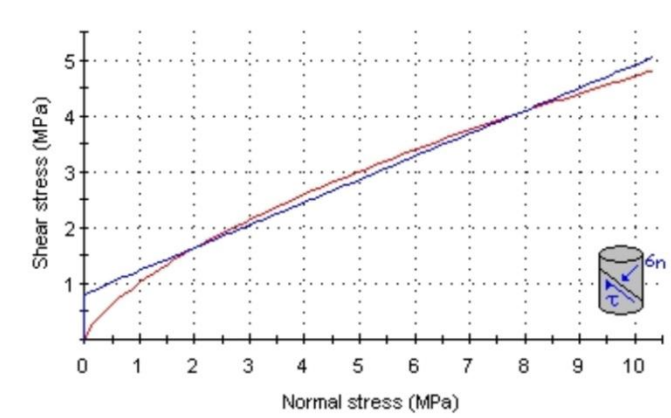


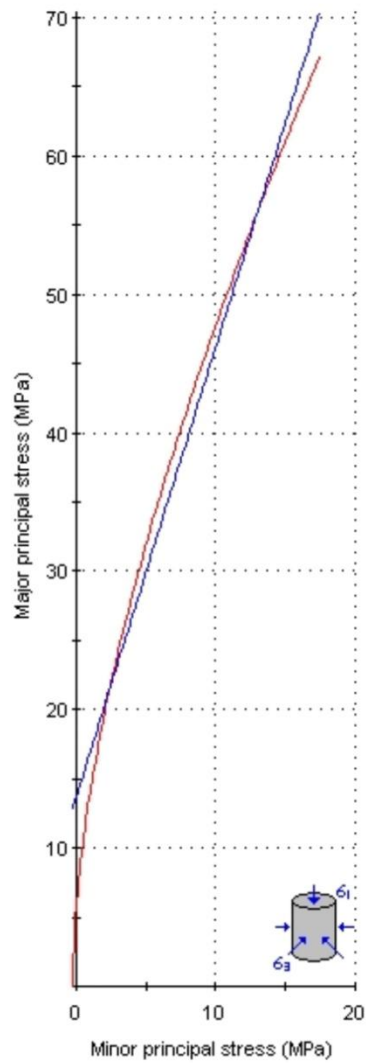
**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 27 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 9 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 24300 MPa  
 modulus ratio (MR) = 900

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.618  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.818 MPa friction angle = 22.25 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.011 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.323 MPa  
 global strength = 2.436 MPa  
 deformation modulus = 1454.49 MPa





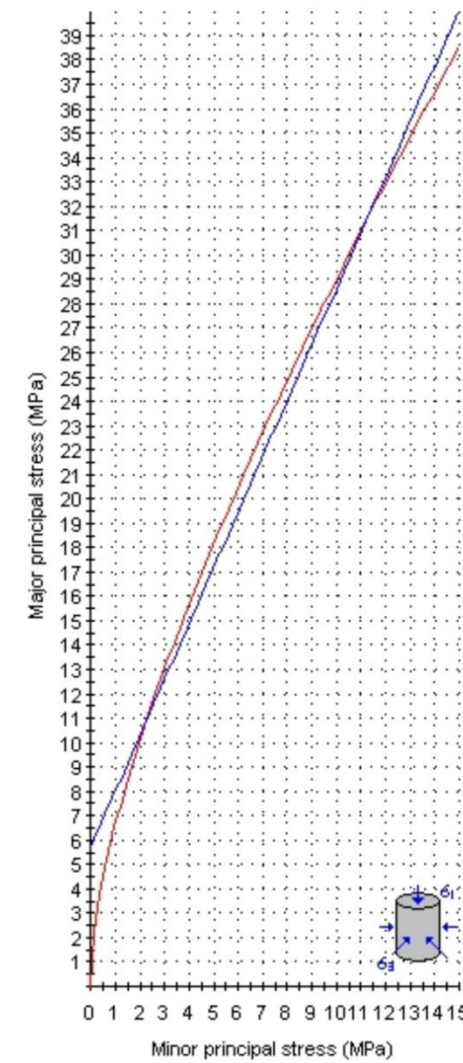
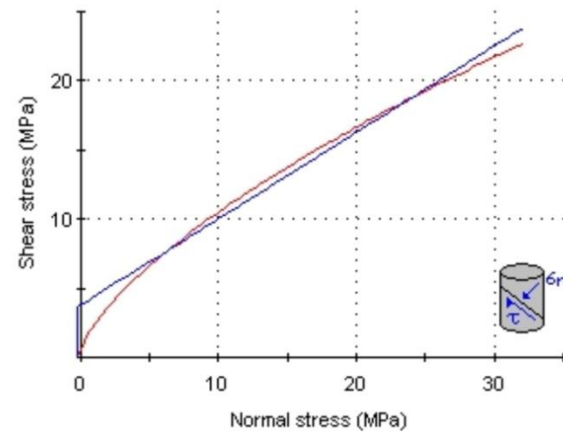
**Analysis of Rock Strength using RocLab** **BH-12 (1.0-5.5 m)**

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 70 MPa  
 GSI = 55  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 49000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 2.005  $s$  = 0.0067  $a$  = 0.504

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 3.780 MPa friction angle = 31.98 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.235 MPa  
 uniaxial compressive strength = 5.631 MPa  
 global strength = 13.633 MPa  
 deformation modulus = 20005.75 MPa



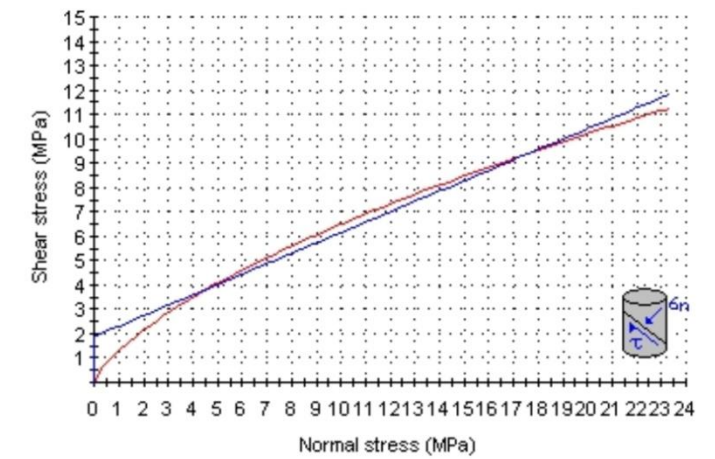
**Analysis of Rock Strength using RocLab** **BH-12 (5.5-30.0 m)**

**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 60 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 42000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.687  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 1.891 MPa friction angle = 23.07 deg

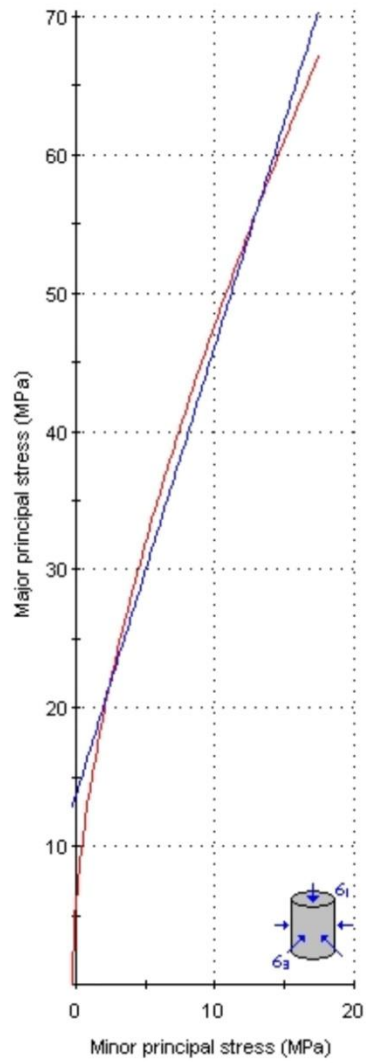
**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.021 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.717 MPa  
 global strength = 5.721 MPa  
 deformation modulus = 2513.94 MPa





Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-13 (3.0-6.0 m)

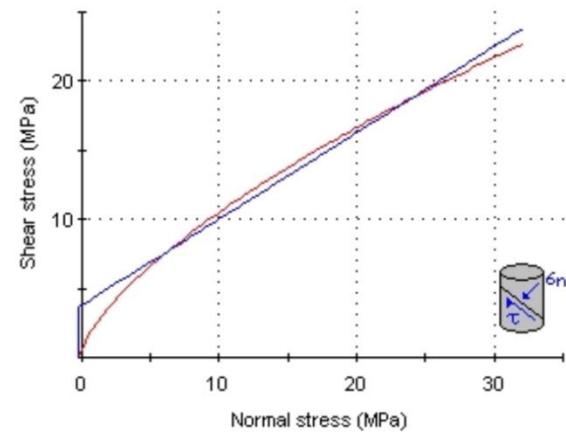


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 70 MPa  
 GSI = 55  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 49000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 2.005  $s$  = 0.0067  $a$  = 0.504

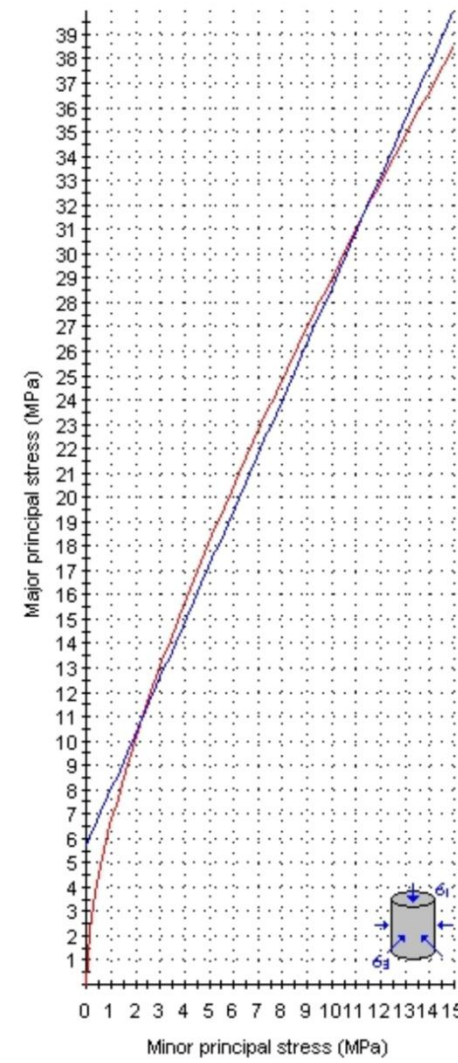
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 3.780 MPa friction angle = 31.98 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.235 MPa  
 uniaxial compressive strength = 5.631 MPa  
 global strength = 13.633 MPa  
 deformation modulus = 20005.75 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-13 (6.0-9.0 m)

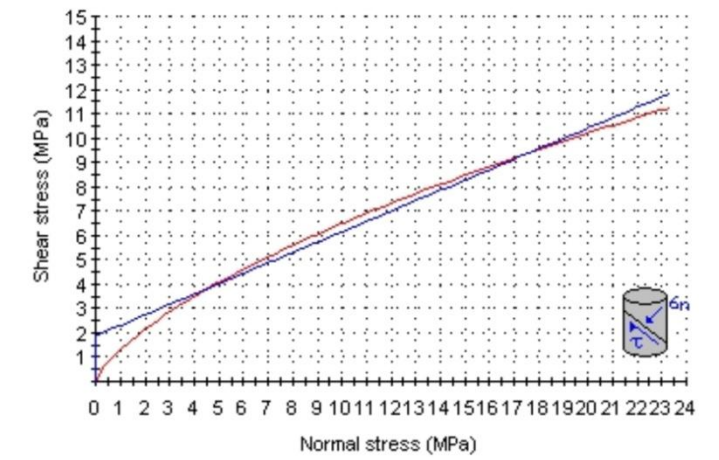


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 60 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 42000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.687  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

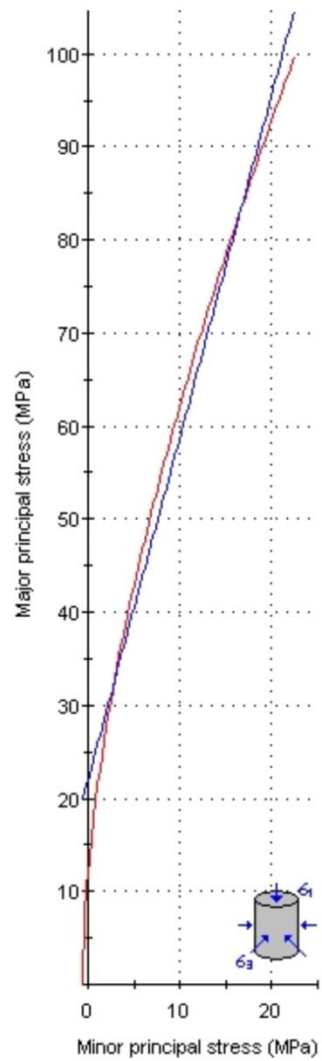
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 1.891 MPa friction angle = 23.07 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.021 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.717 MPa  
 global strength = 5.721 MPa  
 deformation modulus = 2513.94 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-13 (9.0-14.6 m)

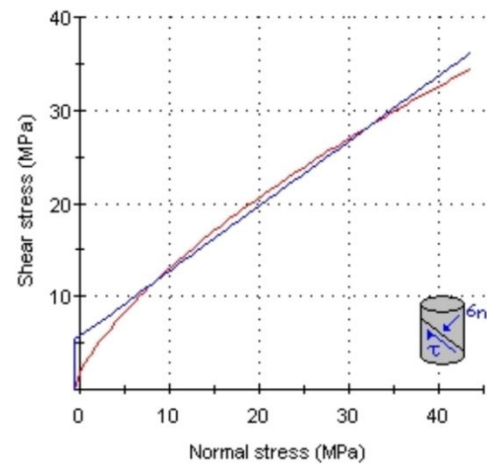


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 90 MPa  
 GSI = 65  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 63000 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 2.865  $s$  = 0.0205  $a$  = 0.502

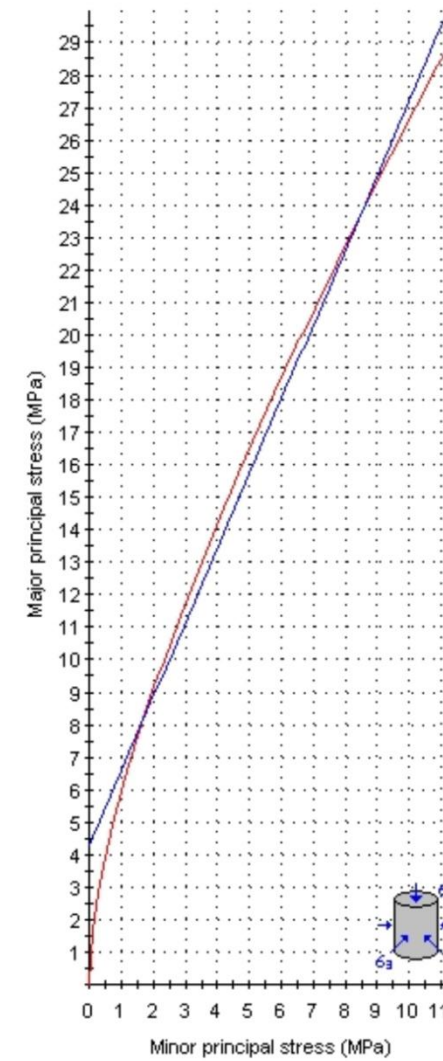
**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 5.787 MPa friction angle = 34.89 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.643 MPa  
 uniaxial compressive strength = 12.777 MPa  
 global strength = 22.182 MPa  
 deformation modulus = 39798.32 MPa



Analysis of Rock Strength using RocLab

BH-13 (14.6-20.0 m)

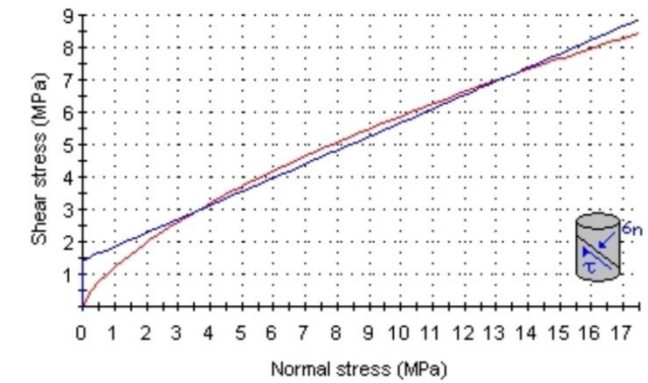


**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 45 MPa  
 GSI = 25  $m_i$  = 10 Disturbance factor (D) = 0  
 intact modulus (Ei) = 31500 MPa  
 modulus ratio (MR) = 700

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 0.687  $s$  = 0.0002  $a$  = 0.531

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 1.418 MPa friction angle = 23.07 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.016 MPa  
 uniaxial compressive strength = 0.538 MPa  
 global strength = 4.291 MPa  
 deformation modulus = 1885.45 MPa



## 6.4 ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ

### 6.4.1 Εδάφους

Ο υπολογισμός γίνεται για απείρου μήκους  $L$ , για πλάτος  $B=0.81$  m (διάμετρος του αγωγού) και για βάθος 2.3 m.

Πίνακας 6.24: Αποτελέσματα υπολογισμού φέρουσας ικανότητας εδάφους.

Γεώτρηση	USCS	Τύπος αστοχίας	$c_u$ (kPa)	$\phi_u$ °	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$q_u$ (kPa)
BH-4	CH	Γενική	191.4	0(0.4)	-	-	22.3	1035
BH-5	CH	Γενική	161	0	-	-	24.1	883
BH-6	CL	Γενική	101.4	3	-	-	23.4	627
BH-7	SP	Γενική	-	-	0	36	24.0	2603
BH-8	SP	Γενική	-	-	0	36	26.3	2852
BH-9	SP	Γενική	-	-	0	36	25.7	2787
BH-11	MH	Γενική	51	7	9	21	20.2	454/509

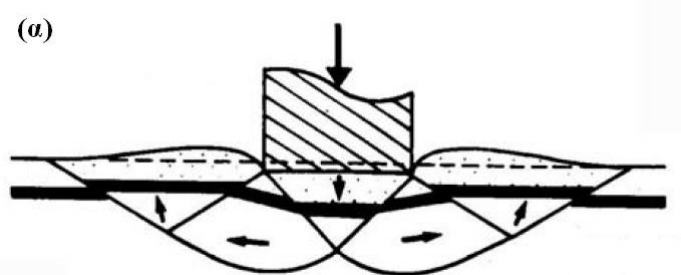
$c_u$  και  $\phi_u$ : αναφέρονται σε αστράγγιστες συνθήκες

$c'$  και  $\phi'$ : αναφέρονται σε στραγγισμένες συνθήκες

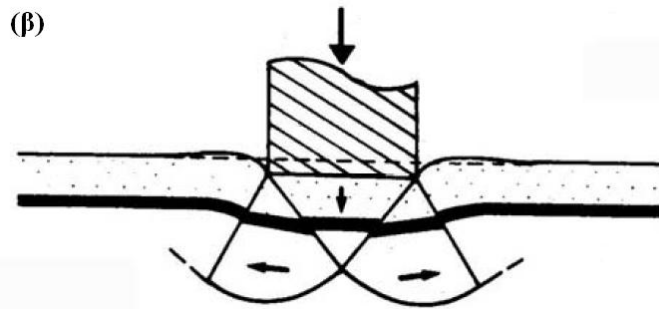
$\gamma$ : ειδικό βάρος

Μηχανισμοί αστοχίας εδάφους:

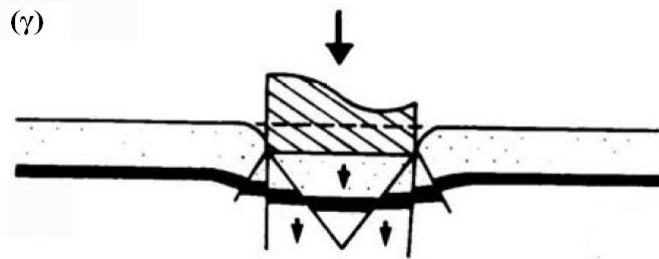
(α) Γενική αστοχία (πυκνή άμμος, στιφή άργιλος)



(β) Τοπική αστοχία (μέσης-χαμηλής πυκνότητας άμμος, μέσης-μικρής αντοχής άργιλος)



(γ) Διάτρηση (χαμηλής πυκνότητας άμμος, μαλακά αργιλικά εδάφη)



Η φέρουσα ικανότητα θεμελίωσης πλάτους  $B$  και άπειρου μήκους  $L$  γενικής αστοχίας (Terzaghi, 1943) δίνεται από τη σχέση:

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0.5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

οι συντελεστές  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  υπολογίζονται βάσει της γωνίας τριβής του εδάφους κάτω από τη στάθμη θεμελίωσης (Πίνακας 6.25).

$P_o$ : γεωστατική τάση (εδώ δε συμπεριλάβαμε το φορτίο του αγωγού (επιφόρτιση))

**Πίνακας 6.25:** Συντελεστές για γενικής μορφής αστοχίας κατά Eurocode 7.

$\varphi$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$\varphi$ (°)	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.140	1.000	0.000	26	22.254	11.854	10.588
1	5.379	1.094	0.003	27	23.942	13.199	12.432
2	5.632	1.197	0.014	28	25.803	14.720	14.590
3	5.900	1.309	0.032	29	27.860	16.443	17.121
4	6.185	1.433	0.060	30	30.140	18.401	20.093
5	6.489	1.568	0.099	31	32.671	20.631	23.591
6	6.813	1.716	0.151	32	35.490	23.177	27.715
7	7.158	1.879	0.216	33	38.638	26.092	32.590
8	7.527	2.058	0.297	34	42.164	29.440	38.366
9	7.922	2.255	0.397	35	46.124	33.296	45.228
10	8.345	2.471	0.519	36	50.585	37.752	53.405
11	8.798	2.710	0.665	37	55.630	42.920	63.178
12	9.285	2.974	0.839	38	61.352	48.933	74.899
13	9.807	3.264	1.045	39	67.867	55.957	89.007
14	10.370	3.586	1.289	40	75.313	64.195	106.054
15	10.977	3.941	1.576	41	83.858	73.897	126.737
16	11.631	4.335	1.913	42	93.706	85.374	151.941
17	12.338	4.772	2.307	43	105.107	99.014	182.800
18	13.104	5.258	2.767	44	118.369	115.308	220.772
19	13.934	5.798	3.304	45	133.874	134.874	267.748
20	14.835	6.399	3.930	46	152.098	158.502	326.196
21	15.815	7.071	4.661	47	173.640	187.206	399.363
22	16.883	7.821	5.512	48	199.259	222.300	491.556
23	18.049	8.661	6.504	49	229.924	265.497	608.539
24	19.324	9.603	7.661	50	266.882	319.057	758.092
25	20.721	10.662	9.011				

#### 6.4.2 Βραχώμαζας

Ο Goodman το 1980 κατάληξε στο συμπέρασμα ότι η φέρουσα ικανότητα μίας ομοιογενούς με ασυνέχιες βραχώμαζας δεν μπορεί να είναι μικρότερη από την αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχώμαζας και πρότεινε τον τύπο:

$$q_u = U_{cm}(N_\varphi + 1)$$

όπου,

$U_{cm}$  = αντοχή σε μοναξονική θλίψη της βραχώμαζας

$$N_\varphi = \tan^2(45 + \varphi/2)$$

Οπότε από τα αποτελέσματα των κριτηρίων αστοχίας έχουμε:

Γεώτρηση	Βάθος (m)	$\varphi^\circ$	$U_{cm}$ (MPa)	$N_\varphi$	$q_u$ (MPa)
BH-10	1.0-10.0	22.25	0.323	2.22	1.04
BH-12	1.0-5.5	31.98	5.631	3.25	23.93

## 6.5 ΟΡΙΑΚΟ ΒΑΘΟΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ

### Αστράγγιστες συνθήκες:

$$3.64 \cdot c_u / \gamma \leq H \leq 3.78 \cdot c_u / \gamma$$

Κάτω όριο: Sloan & Lyamin (2000)

Άνω όριο: Pastor et al. (2002)

### Στραγγισμένες συνθήκες:

$$(2 \cdot c' / \gamma) \cdot \tan((\pi/4) + (\phi'/2)) \leq H \leq (3.83 \cdot c' / \gamma) \cdot \tan((\pi/4) + (\phi'/2))$$

Κάτω όριο: γεωμετρικά από Γεωργιάδης Κ. και Γεωργιάδης Μ. (2009)

Άνω όριο: Chen (1975)

**Πίνακας 6.26:** Υπολογισμός οριακού βάθους ανοιχτής εκσκαφής (για το στρώμα εδάφους ακριβώς πάνω από το βάθος θεμελίωσης, 2.3 m).

Γεώτρηση	H (m)		
	Άνω όριο	Κάτω όριο	Μέσος όρος
BH-4	32.4	31.5	32
BH-5	25.2	24.3	24.8
BH-6	16.4	15.8	16.1
BH-7*	-	-	-
BH-8*	-	-	-
BH-9*	-	-	-
BH-11(αστράγγιστες)	9.54	9.19	9.4
BH-11(στραγγισμένες)	2.49	1.3	1.9

\*Τα πρανή των τάφρων έχουν σχεδόν μηδενική συνοχή, οπότε θα πρέπει να διαμορφωθούν υπό γωνία έτσι ώστε να μην καταρρεύσουν. Αυτή η γωνία προσεγγιστικά πρέπει να είναι μικρότερη έως ίση με την γωνία εσωτερικής τριβής, Εδώ και στις τρεις περιπτώσεις είναι  $\leq 36^\circ$ .

## 6.6 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΩΘΗΣΕΩΝ ΣΕ ΗΡΕΜΙΑ, $K_0$

Ο συντελεστής πλευρικών ωθήσεων σε ηρεμία υπολογίζεται με εργαστηριακές ή επί τόπου δοκιμές και συνήθως με απλές εμπειρικές σχέσεις. Έχουν προταθεί διάφορες εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του  $K_0$  συναρτήσει γνωστών εδαφικών παραμέτρων όπως της ενεργής γωνίας διατμητικής αντοχής  $\phi'$ , του δείκτη πλαστικότητας και του βαθμού υπερστερεοποίησης OCR, όπως φαίνονται στο πίνακα 6.27.

Σύμφωνα με τους τύπους στον πίνακα 6.27 γίνεται υπολογισμός του συντελεστή πλευρικών ωθήσεων σε ηρεμία μέχρι το βάθος των 3 m για κανονικά στερεοποιημένα (NC) εδάφη (δίνεται ο πίνακας 6.28 με τη σχέση  $K_0$  και δείκτη υπερστερεοποίησης, OCR). Τα αποτελέσματα δίνονται στο πίνακα 6.29.

**Πίνακας 6.27:** Εμπειρικές σχέσεις για τον υπολογισμό του  $K_0$  (με διακεκομμένες γραμμές οι σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν).

Soil type	Relationship	
Normally consolidated	$K_{0(NC)} = 1 - \sin \phi$ (Granular soils)	(Jaky, 1944)
	$K_{0(NC)} = 0.95 - \sin \phi$ (Clays)	
	$K_{0(NC)} = 0.4 + 0.007 PI$ ( $PI = 0-40\%$ )	
	$K_{0(NC)} = 0.64 + 0.001 PI$ ( $PI = 40-80\%$ )	
Overconsolidated	$K_{0(OC)} = (1 - \sin \phi) OCR^{\sin \phi}$ (Granular soils)	
	$K_{0(OC)} = (1 - \sin \phi) OCR^{1/2}$ (Clays)	
Elastic	$K_0 = \nu / (1 - \nu)$	(Terzaghi, 1943)

(Brooker and Ireland, 1965)

**Πίνακας 6.28:** Σχέση  $K_0$  – OCR.

Material type	Parameter	Value	$K_0$ for varying overconsolidation ratio (OCR)					
			OCR = 1 (N.C.)	2	3	5	10	20
Sands and gravels	Friction angle	25	0.58	0.77	0.92	1.14	1.53	2.05
		30	0.50	0.71	0.87	1.12	1.58	2.24
		35	0.43	0.63	0.80	1.07	1.60	2.38
		40	0.36	0.56	0.72	1.01	1.57	2.45
		45	0.29	0.48	0.64	0.91	1.49	2.44
Clays	Friction angle	10	0.78	1.10	1.35	1.74	2.46	3.47
		15	0.69	0.98	1.20	1.55	2.19	3.09
		20	0.61	0.86	1.05	1.36	1.92	2.72
		25	0.53	0.75	0.91	1.18	1.67	2.36
		30	0.45	0.64	0.78	1.01	1.42	2.01
Clays	Plasticity index	0 (33)*	0.40	0.57	0.69	0.89	1.27	1.79
		10 (29)	0.47	0.67	0.81	1.05	1.49	2.10
		20 (24)	0.54	0.76	0.94	1.21	1.71	2.42
		30 (20)	0.61	0.86	1.06	1.36	1.93	2.73
		40 (16)	0.68	0.96	1.18	1.52	2.15	3.04
		50 (15)	0.69	0.98	1.20	1.54	2.18	3.09
		60 (14.5)	0.70	0.99	1.21	1.57	2.21	3.13
		70 (14)	0.71	1.00	1.23	1.59	2.25	3.18
80 (13)	0.72	1.02	1.25	1.61	2.28	3.22		

\* Προσεγγιστική γωνιά τριβής για την εφαρμογή των διαθέσιμων σχέσεων υπολογισμού του  $K_0$ .

**Πίνακας 6.29:** Υπολογισμός  $K_0$  σε σχέση με το PI και την  $\phi$ .

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Δείκτης πλαστικότητας, PI (%)	$\phi^\circ$ (Kenney, 1959)	$\phi^\circ$ (Meyerhof, 1956) ( $D_r$ )	$K_{0(NC)}$ (PI)	$K_{0(NC)}$ ( $\phi$ )
BH-4	1.9-3.0	26	28.9		0.58	0.47
BH-5	0-1.5	12	33.9		0.48	0.39
	1.95-3.0	28	28.5		0.60	0.47
BH-6	2.0-3.0	22	30.2		0.55	0.45
BH-7	0-1.5	17.5	33		0.52	0.40
	1.55-2.0			40 (granular)		0.36
BH-8	0-1.55	12	33.9		0.48	0.39
	1.8-3.0	24	29.5		0.57	0.46
BH-9	0-1.6	24	29.5		0.57	0.46
BH-11	1.2-1.4	14	32.9		0.50	0.41
	2.0-2.7	29	28.3		0.60	0.48



## 7 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ

### 7.1 ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΝΟΤΗΤΕΣ

Για τις ανάγκες σχεδιασμού του έργου τα αποτελέσματα των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών μετά την αξιολογήσή τους, ταξινομούνται και ομαδοποιούνται. Η ομαδοποίηση διαχωρίζει την περιοχή του έργου και μέχρι το βάθος των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων σε 6 τεχνικογεωλογικές ενότητες:

1) Τεχνικογεωλογική ενότητα I: Πολύ πυκνή, αργιλώδης – ιλυώδης άμμος με χαλίκια. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών, μηχανικών και δυναμικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 12.7 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.87 gr/cm<sup>3</sup>
- Ειδικό βάρος: 2.54
- Δείκτης πόρων e: 0.560
- Πορώδες n: 35.4 %
- Βαθμός κορεσμού: 61.3 %
- Συντελεστής υδροπερατότητας k: 1·10<sup>-3</sup> cm/sec
- Σχετική πυκνότητα D<sub>r</sub>: 0.93
- Όριο υδαρότητας LL: 40 %
- Δείκτης πλαστικότητας PI: 20 %
- Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη q<sub>u</sub>: 220 kPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής φ': 38°
- Οιδημετρικό μέτρο ελαστικότητας E<sub>s</sub>: 29 MPa
- Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων V<sub>s</sub>: 301 m/s

2) Τεχνικογεωλογική ενότητα II: Ημίσκληρη – σκληρή, μαργάικη αμμώδης – ιλυώδης άργιλος με χαλίκια. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών, μηχανικών και δυναμικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 18.2 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.77 gr/cm<sup>3</sup>
- Ειδικό βάρος: 2.39

- Δείκτης πόρων  $e$ : 0.544
- Πορώδες  $n$ : 34.8 %
- Βαθμός κορεσμού: 86 %
- Συντελεστής υδροπερατότητας  $k$ :  $1 \cdot 10^{-5}$  cm/sec
- Όριο υδαρότητας LL: 48 %
- Δείκτης πλαστικότητας PI: 23 %
- Όριο συρρίκνωσης SL: 19.6 %
- Δείκτης συνεκτικότητας  $I_c$ : 1.36
- Ενεργότητα  $A$ : 0.541
- Δείκτης συμπιεστότητας  $C_c$  (Terzaghi & Peck, 1967): 0.347
- Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη  $q_u$ : 200 kPa
- Διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες  $c_u/\phi_u$ : 146 kPa/7°
- Μέτρο ελαστικότητας υπό αστράγγιστες συνθήκες  $E_u$ : 25 MPa
- Διατμητική αντοχή αναζυμωμένου δείγματος  $c_{ur}$ : 80 kPa
- Ταχύτητα διατμητικών κυμάτων  $V_s$ : 369 m/s

3) Τεχνικογεωλογική ενότητα III: Στιφρή – ημίσκληρη, καφε-κόκκινη αργιλώδης ιλύς υψηλής πλαστικότητας. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 37 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.81 gr/cm<sup>3</sup>
- Ειδικό βάρος: 2.02
- Δείκτης πόρων  $e$ : 0.532
- Πορώδες  $n$ : 34.3 %
- Βαθμός κορεσμού: 144.4 %
- Συντελεστής υδροπερατότητας  $k$ :  $1 \cdot 10^{-8}$  cm/sec
- Όριο υδαρότητας LL: 61 %
- Δείκτης πλαστικότητας PI: 24 %
- Δείκτης συνεκτικότητας  $I_c$ : 1.22
- Ενεργότητα  $A$ : 0.301
- Δείκτης συμπιεστότητας  $C_c$  (δοκιμή οιδημέτρου): 0.215
- Δείκτης συμπιεστότητας  $C_c$  (Terzaghi & Peck, 1967): 0.46

- Δείκτης διόγκωσης  $C_s$ : 0.02
- Τάση προστερεοποίησης  $p_c$ : 166 kPa
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη  $q_u$ : 100 kPa
- Διατμητική αντοχή υπό αστράγγιστες συνθήκες  $c_u/\phi_u$ : 50 kPa/7°
- Διατμητική αντοχή υπό στραγγισμένες συνθήκες  $c'/\phi'$ : 9 kPa/21°
- Διατμητική αντοχή αναζυμωμένου δείγματος  $c_{ur}$ : 189 kPa

4) Τεχνικογεωλογική ενότητα IV: Πράσινη, αργιλώδης μάργα με κατα τόπους χαλίκια. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 15.4 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.88 gr/cm<sup>3</sup>
- Ειδικό βάρος: 2.49
- Δείκτης πόρων  $e$ : 0.482
- Πορώδες  $n$ : 32 %
- Βαθμός κορεσμού: 91 %
- Όριο υδαρότητας LL: 25 %
- Δείκτης πλαστικότητας PI: 2 %
- Δείκτης συνεκτικότητας  $I_c$ : 7.10
- Ενεργότητα  $A$ : 0.106
- Δείκτης συμπιεστότητας  $C_c$  (Terzaghi & Peck, 1967): 0.153
- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη  $q_u$ : >440 kPa

5) Τεχνικογεωλογική ενότητα V: Αποδιοργανωμένης δομής (λατυποπαγής με μικρά σώματα γύψου) ασβεστόλιθος μέτριας έως πτωχής ποιότητας επιφάνειες ασυνεχειών με αργιλικό υλικό πλήρωσης, έως ασβεστολιθικά χαλίκια και κροκάλες με αργιλική συνθετική ύλη. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 0.48 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.74 gr/cm<sup>3</sup>
- Συντελεστής υδροπερατότητας  $k$ :  $2.65 \cdot 10^{-5}$  cm/sec

Άρρηκτος βράχος:

- Αντοχή σε ανεμπόδιση θλίψη  $\sigma_c$ : 70 MPa

- Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας  $E_t$ : 20.23 GPa
- Συνοχή  $c$ : 1.504 MPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ : 23°

Βραχόμαζα:

- Αντοχή βραχόμαζας: 4.54 MPa
- Μέτρο παραμορφωσιμότητας βραχόμαζας  $E_m$ : 3.8 GPa

6) Τεχνικογεωλογική ενότητα VI: Πολύ τεμαχώδης – τεμαχώδης λευκός ασβεστόλιθος μέτριας έως καλής ποιότητας επιφάνειες ασυνεχειών με αργιλικό υλικό πλήρωσης. Αντιπροσωπευτικές τιμές φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων:

- Φυσική υγρασία: 0.92 %
- Φαινόμενο βάρος: 1.76 gr/cm<sup>3</sup>

Άρρηκτος βράχος:

- Αντοχή σε ανεμπόδιστη θλίψη  $\sigma_c$ : 80 MPa
- Εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας  $E_t$ : 21.78 GPa
- Συνοχή  $c$ : 3.578 MPa
- Γωνία εσωτερικής τριβής  $\varphi$ : 32°

Βραχόμαζα:

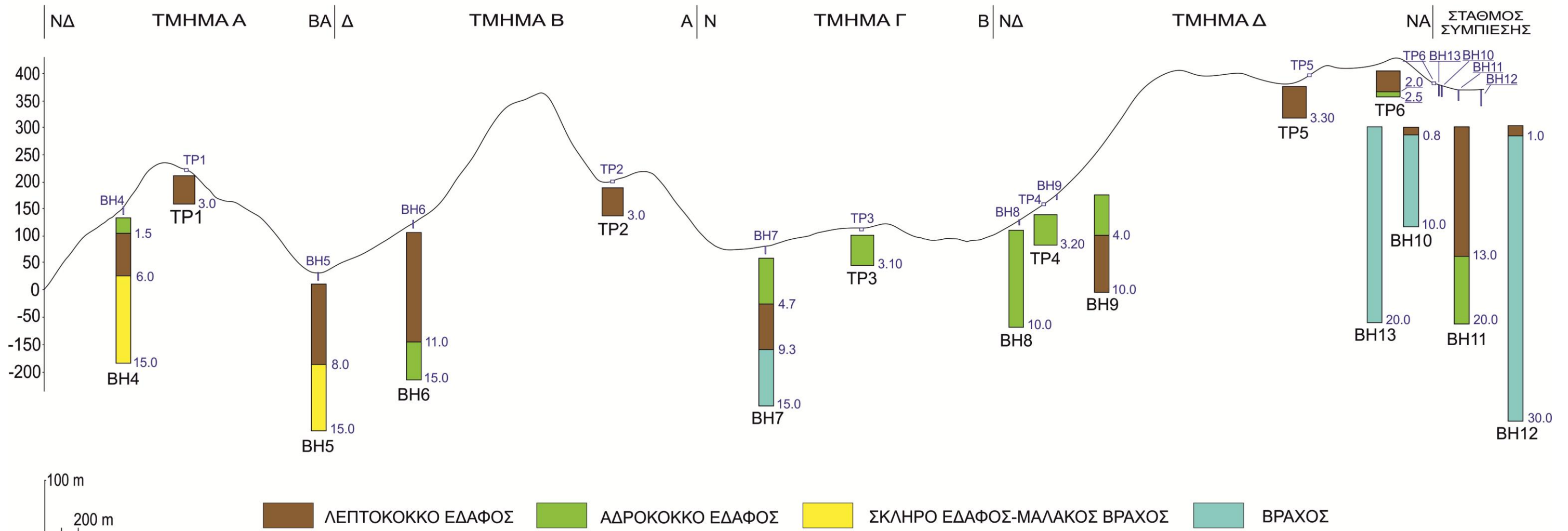
- Αντοχή βραχόμαζας: 13.19 MPa
- Μέτρο παραμορφωσιμότητας βραχόμαζας  $E_m$ : 16.83 GPa

## **7.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ**

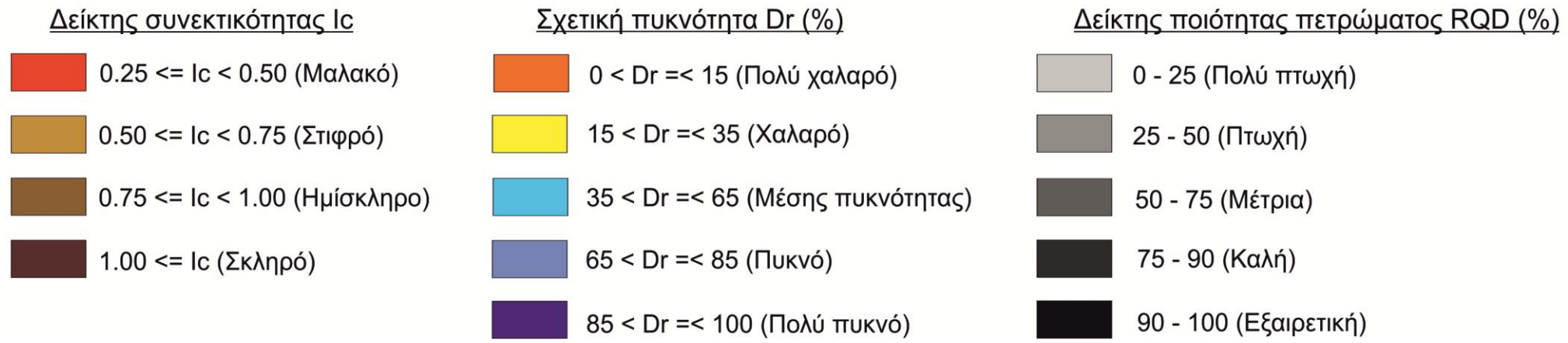
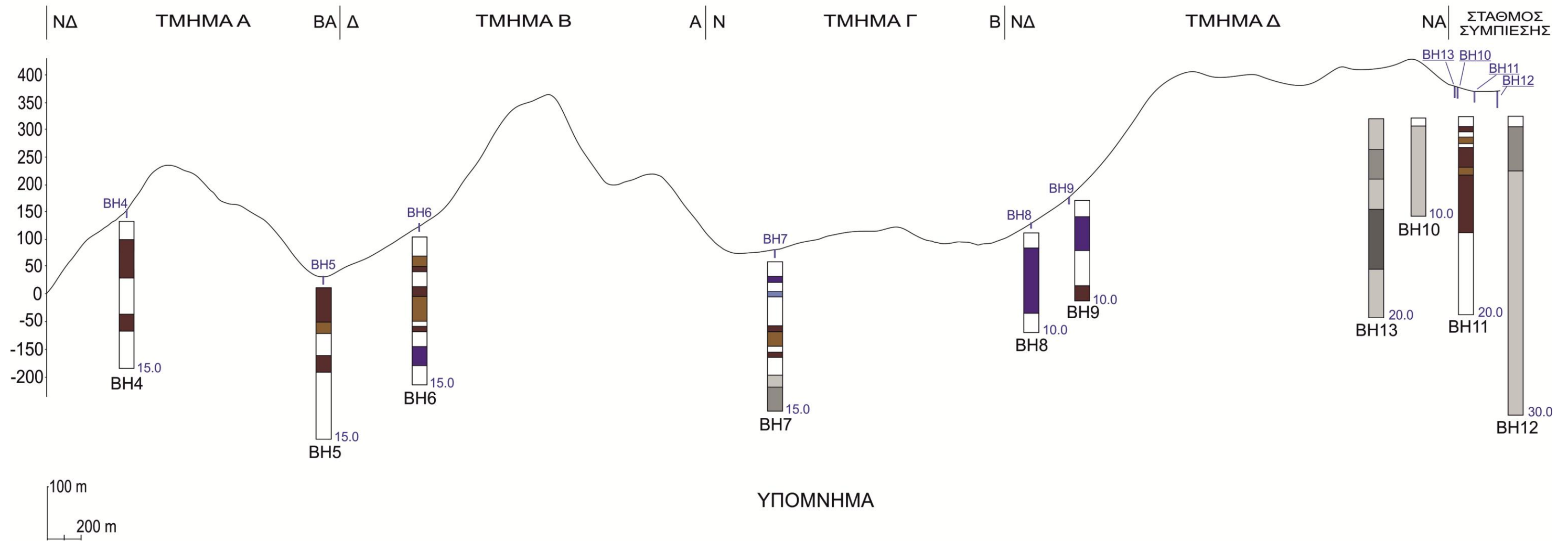
Παρακάτω παρουσιάζονται 10 μηκοτομές, που κατασκευάστηκαν μετά από την αξιολόγηση των επιτόπου και εργαστηριακών δοκιμών καθώς και από την επιτόπου περιγραφή τους. Το βάθος (με μπλέ χρώμα δεξιά των γεωτρήσεων, σε μέτρα) αναφοράς τους φτάνει μέχρι το μέγιστο βάθος των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και σκαμμάτων. Οι μηκοτομές είναι:

- 7.2.1 Κατανομή λεπτόκοκκων – αδρόκοκκων – σκληρού εδάφους-μαλακού βράχου – βράχου.**
- 7.2.2 Κατανομή δείκτη συνεκτικότητας – σχετικής πυκνότητας – δείκτη ποιότητας πετρώματος.**
- 7.2.3 Κατανομή αριθμού πρότυπης δοκιμής διείδυσης – γεωλογικού δείκτη αντοχής.**
- 7.2.4 Κατανομή του δείκτη πλαστικότητας.**
- 7.2.5 Κατανομή του συντελεστή διαπερατότητας.**
- 7.2.6 Κατανομή διογκωσιμότητας.**
- 7.2.7 Κατανομή εκσκαψιμότητας.**
- 7.2.8 Κατανομή της αντοχής σε μοναξονική θλίψη.**
- 7.2.9 Κατανομή της διαβρωτικότητας των εδαφών σε σχέση με την ειδική ηλεκτρική αντίστασή τους.**
- 7.2.10 Κατανομή τεχνικογεωλογικών ενοτήτων.**

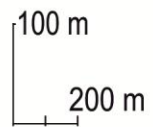
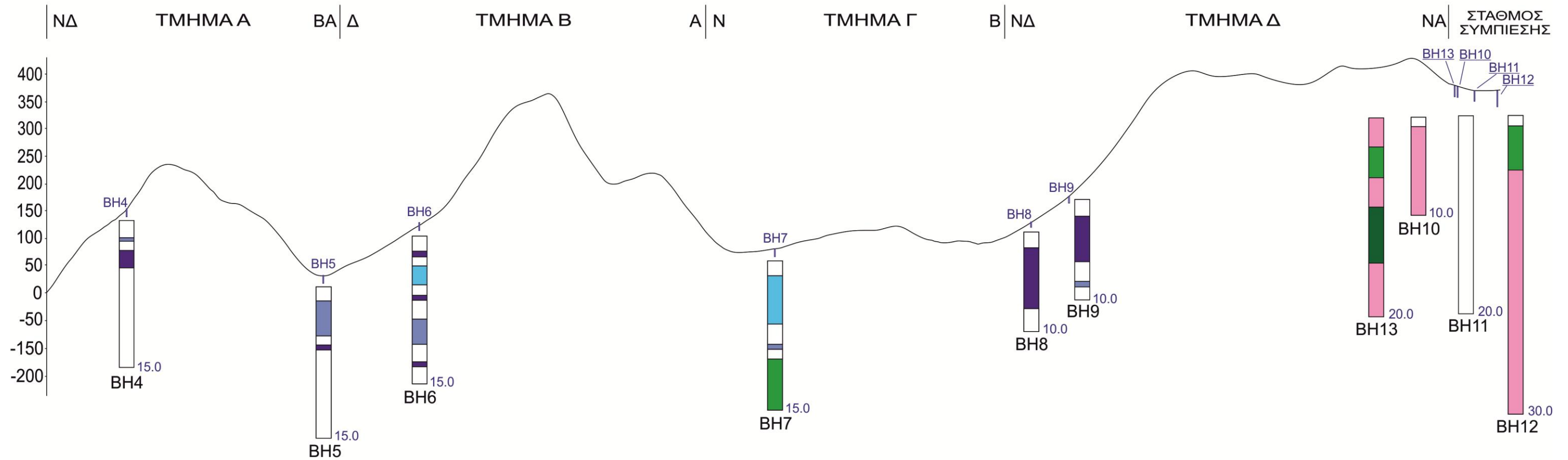
## ΤΟΜΗ Ι. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ - ΑΔΡΟΚΟΚΚΩΝ - ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΜΑΛΑΚΟΥ ΒΡΑΧΟΥ - ΒΡΑΧΟΥ



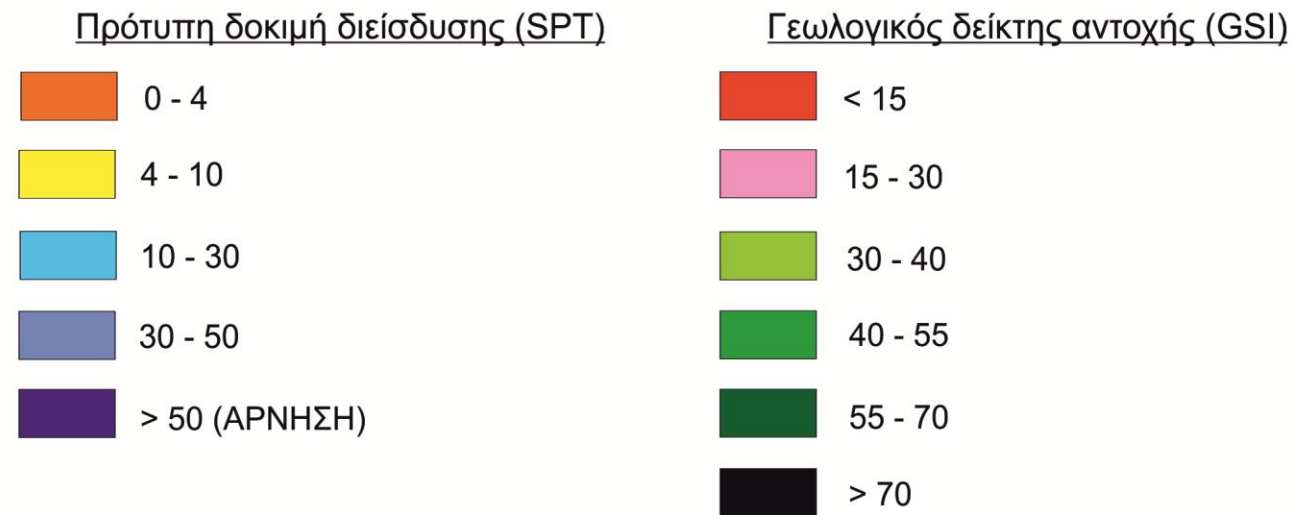
## ΤΟΜΗ ΙΙ. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΕΙΚΤΗ ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ - ΣΧΕΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ - ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ



### ΤΟΜΗ ΙΙΙ. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΠΡΟΤΥΠΗΣ ΔΟΚΙΜΗΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ - ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΤΟΧΗΣ

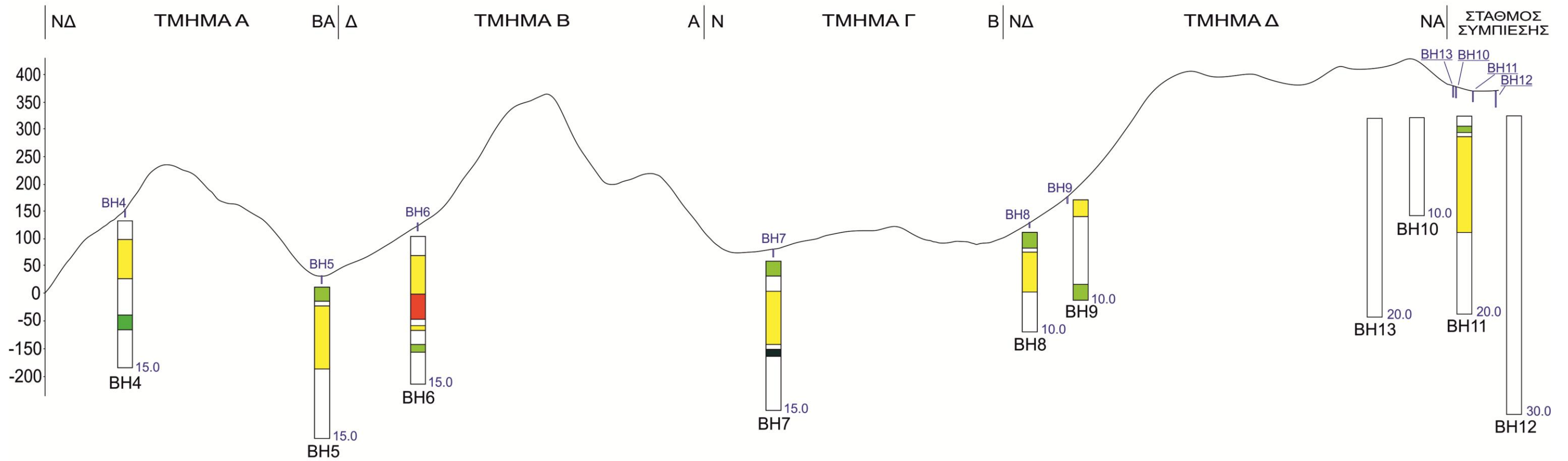


#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ





## ΤΟΜΗ IV. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΠΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

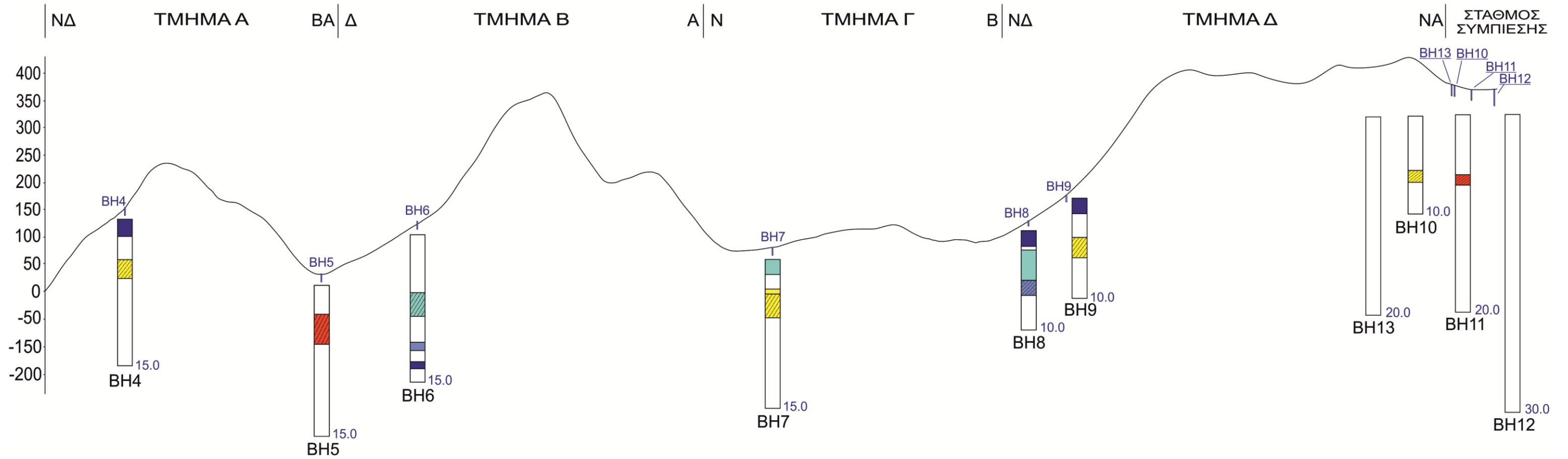


### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

#### Δείκτης Πλαστικότητα (PI)

- $PI < 1$  (Έδαφος μη πλαστικό)
- $1 < PI < 7$  (Έδαφος χαμηλής πλαστικότητας)
- $7 < PI < 17$  (Έδαφος μέσης πλαστικότητας)
- $17 < PI < 35$  (Έδαφος υψηλής πλαστικότητας)
- $PI > 35$  (Έδαφος εξαιρετικά υψηλής πλαστικότητας)

## ΤΟΜΗ V. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑΣ



### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Συντελεστής διαπερατότητας,  $k$  (m/s)

Από επί τόπου δοκιμές (Maag)

Από εμπειρικές σχέσεις



$k < 1.00E-7$



$1.00E-7 \leq k < 1.00E-6$



$1.00E-6 \leq k < 1.00E-5$

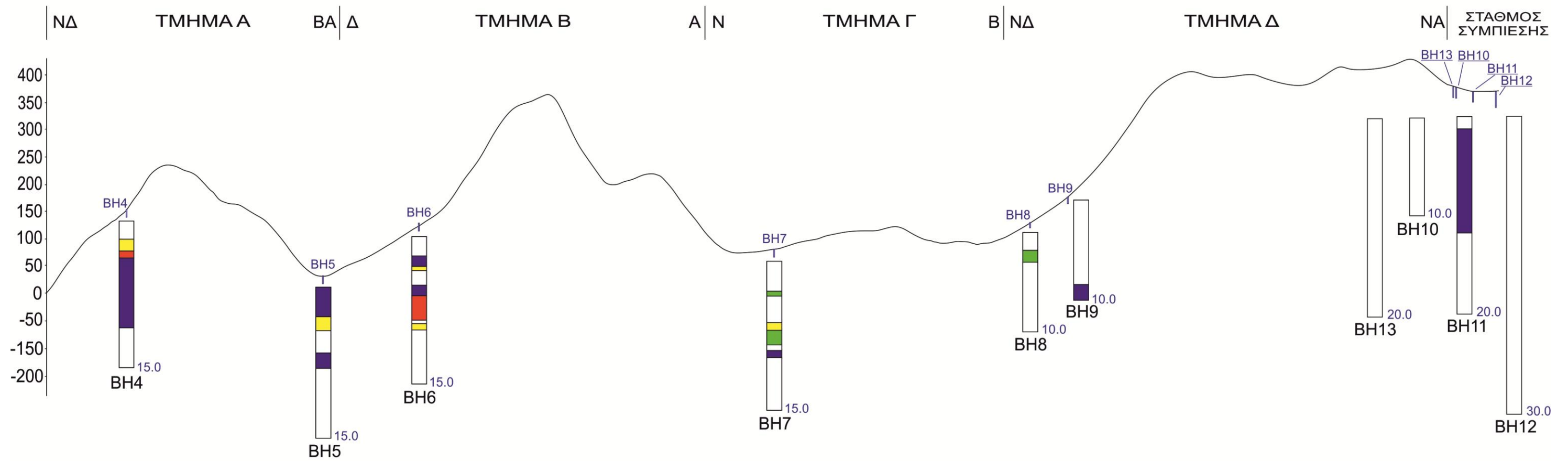


$1.00E-5 \leq k < 1.00E-4$



$k \geq 1.00E-4$

## ΤΟΜΗ VI. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΔΙΟΓΚΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

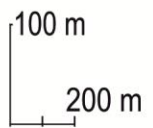
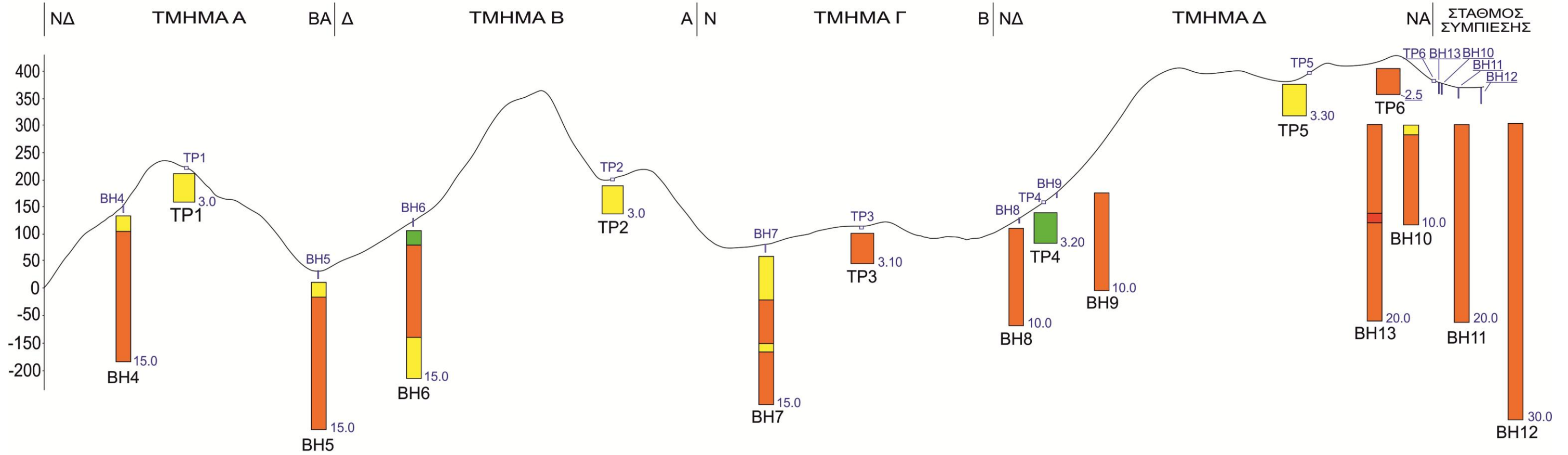


### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Διογκωσιμότητα (Williams 1958, Seed 1962)

- Χαμηλή
- Μέση
- Υψηλή
- Πολύ υψηλή

## ΤΟΜΗ VII. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΕΚΣΚΑΨΙΜΟΤΗΤΑΣ

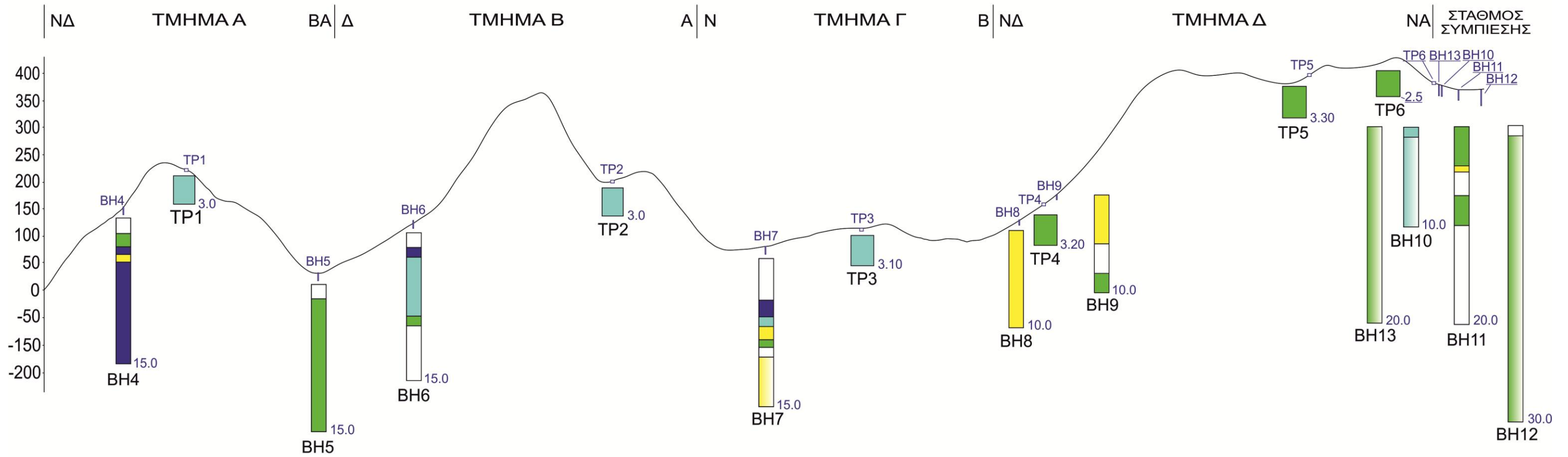


### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

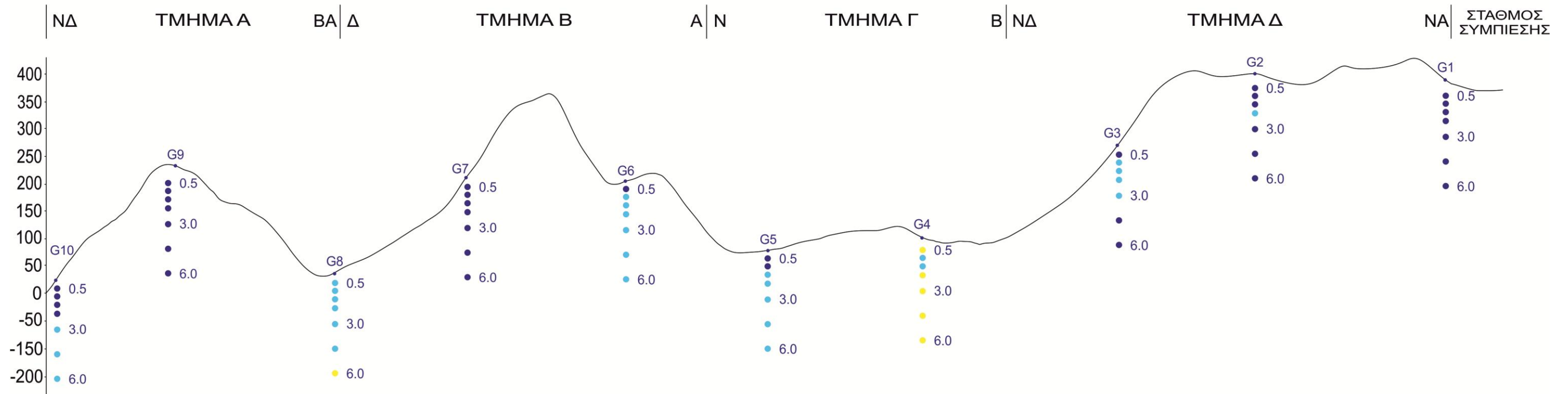
#### Εκσκαψιμότητα

- Εύκολα εκσκαπτόμενα
- Μέσης δυσκολίας
- Μέσης έως υψηλής δυσκολίας
- Υψηλής δυσκολίας

## ΤΟΜΗ VIII. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΜΟΝΑΞΟΝΙΚΗ ΘΛΙΨΗ



## ΤΟΜΗ ΙΧ. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΕΔΑΦΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΟΥΣ



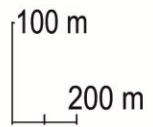
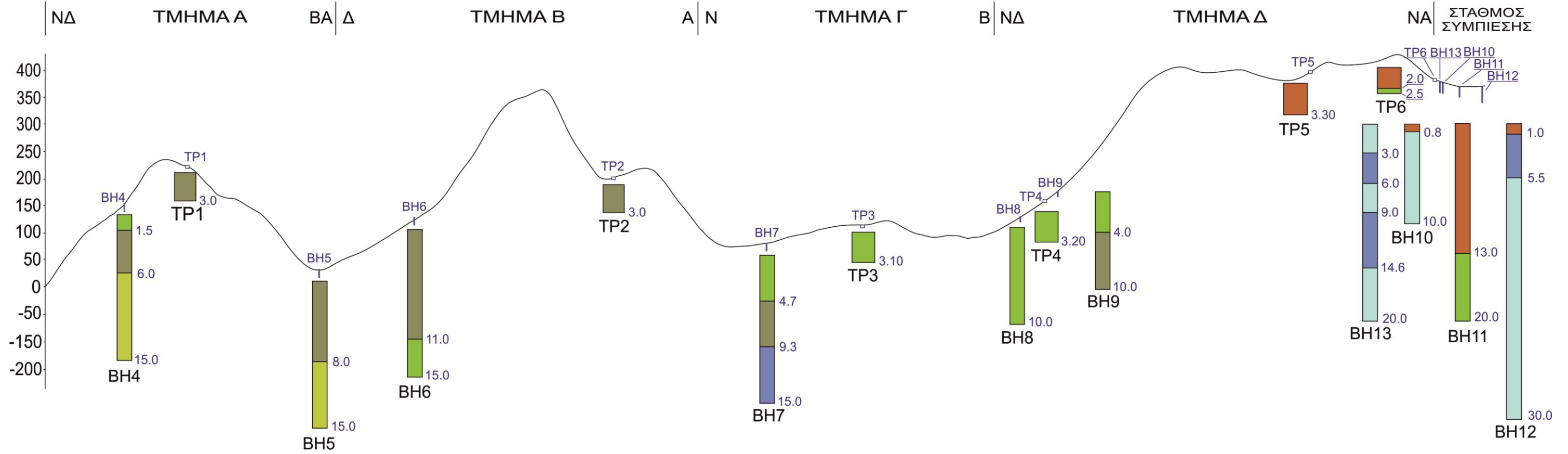
100 m  
200 m

### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

Ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ohm\*m)

- > 100 (Μη διαβρωτικά)
- 20 - 100 (Ελαφρώς διαβρωτικά)
- 10 - 20 (Μέτρια διαβρωτικά)
- 5 - 10 (Διαβρωτικά)
- < 5 (Πολύ διαβρωτικά)

## ΤΟΜΗ Χ. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΕΧΝΙΚΟΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΕΝΟΤΗΤΩΝ



### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

#### Τεχνικογεωλογικές ενότητες

- ΕΝΟΤΗΤΑ I: Πολύ πυκνή, αργιλώδης - ιλυώδης άμμος με χαλίκια.
- ΕΝΟΤΗΤΑ II: Ημίσκληρη - σκληρή, μαργαϊκή αμμώδης - ιλυώδης άργιλος με χαλίκια.
- ΕΝΟΤΗΤΑ III: Καφε - κόκκινη αργιλώδης ιλύς υψηλής πλαστικότητας.
- ΕΝΟΤΗΤΑ IV: Πράσινη αργιλώδης μάργα με κατά τόπους χαλίκια.
- ΕΝΟΤΗΤΑ V: Αποδιοργανωμένης δομής (λατυποπαγής) ασβεστόλιθος.
- ΕΝΟΤΗΤΑ VI: Πολύ τεμαχώδης - τεμαχώδης λευκός ασβεστόλιθος.

## 8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1) Γενικά η περιοχή έχει έντονο ανάγλυφο (το οποίο δικαιολογείται από την τεκτονική της περιοχής), οπότε η χάραξη του αγωγού θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό κάθετα στις ισοϋψείς των πρανών, και το έδαφος στη θέση έδρασης του αγωγού πρέπει να διαμορφωθεί κατάλληλα σε ηπιότερες κλίσης. Στην περίπτωση που ο αγωγός διέρχεται πλευρικά στο σώμα του πρανούς, εκεί η γραμμή της μέγιστης κλίσης του πρανούς πρέπει να είναι κάθετη με την κεντρική γραμμή του αγωγού.

2) Υπάρχει ιδιαίτερα αισθητή φυσική υφαλμύριση στην περιοχή του έργου με αποτέλεσμα να υπάρχει ένα διαβρωτικό περιβάλλον. Οι συγκεντρώσεις των χλωριόντων ξεπερνούν τα 1600 mg/l στη παράκτια ζώνη και τα 800 mg/l στο εσωτερικό. Περαιτέρω αντλήσεις στην περιοχή θα επιδεινώσουν την κατάσταση.

3) Η περιοχή ανήκει σε μέτριας σεισμικότητας ζώνη (Ζώνη II), οι μηχανισμοί γένεσης εντοπίζονται στα επωθημένα στρώματα που ορίζουν μια ΒΑ-ΝΔ συμπίεση. Η περίοδος επανάληψης ενός μεγάλου σεισμού μεγέθους 7 είναι πάνω από 500 χρόνια (Σχ. 2.10). Η πιθανότητα μη υπέρβασης του μεγέθους 7 για τα επόμενα 20 χρόνια είναι 92% και για τον επόμενο χρόνο είναι 98% (Σχ. 2.11).

4) Οι εβαπορίτες έχουν ένα σημαντικό ρόλο στην τεκτονική της περιοχής, διότι με την διαπυρική ανοδό τους σε ανώτερα στρώματα, δημιουργούν επιφάνειες αποκόλλησης και ολίσθησης.

5) Η χάραξη του αγωγού δεν θα συναντήσει κύρια γραμμικά έργα και φυσικά εμπόδια (με εξαίρεση ίσως την επαρχιακή οδό Πέρδικας – Πάργας και μερικά μικρά ρέματα), ως αποτέλεσμα η διάνοιξη θα γίνει με ανοιχτή εκσκαφή (ίσως χρειαστεί υπόγεια διάτρηση χωρίς διάνοιξη ορύγματος στην επαρχιακή οδό Πέρδικας – Πάργας).

6) Τα ρήγματα που διασταυρώνονται με τη χάραξη του αγωγού από την ακτή προς την ενδοχώρα, καθώς και η σχετική γωνία της τομής τους δίνονται στο πατακάτω πίνακα 8.1. Να επισημάνουμε ότι η ιδανικότερη γωνία τομής του αγωγού και της επιφάνειας του ρήγματος είναι 90° (κάθετη ως προς την παράταξη της). Με αυτόν τον τρόπο μειώνονται οι αστοχίες των μόνιμων παραμορφώσεων (PGD)



περιορίζοντας αυτές στην θλίψη και εφελκυσμό, στην μικρότερη δυνατή επιφάνεια του αγωγού.

**Πίνακας 8.1:** Ρήγματα που διασταυρώνονται με τη χάραξη του αγωγού και η σχετική γωνία της τομής τους.

Ρήγματα	Σχετική γωνία	Επωθήσεις	Σχετική γωνία
F <sub>p_4</sub>	< 90°	F <sub>p_1</sub> (π)	< 90°
F <sub>p_5</sub> (π)	≈ 90°	F <sub>p_2</sub> (π)	< 90°
F <sub>p_6</sub> (π)	< 90° (≈45°)	F <sub>p_3</sub> (π)	σχεδόν //
F <sub>p_10</sub> (π)	< 90° (σχεδόν //)	F <sub>p_7</sub> (π)	≈ 90°
F <sub>p_11</sub> (π)	≈ 90°	F <sub>p_8</sub> (π)	≈ 90°
F <sub>p_12</sub> (π)	< 90°	F <sub>p_9</sub> (π)	< 90°
F <sub>p_14</sub>	< 90°	F <sub>p_13</sub> (π)	≈ 90°
F <sub>p_18</sub> (π)	< 90°		
F <sub>p_19</sub>	< 90° (σχεδόν //)		
F <sub>p_22</sub> (π)	< 90°		
F <sub>p_23</sub> (π)	≈ 90°		

(π): πιθανό ή πιθανή ρήγμα ή επώθηση αντίστοιχα.

//: παράλληλη διάταξη.

**7)** Η αντοχή γενικά των εδαφικών σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης του αγωγού είναι μεγάλη, τα μεν συνεκτικά εδάφη είναι πολύ στιφρά και τα δε κοκκώδη εδάφη είναι πολύ πυκνά. Στις Τεχνικογεωλογικές Ενότητες II και III παρατηρείται η μικρότερη φέρουσα ικανότητα (για απείρου μήκους L, πλάτος B = 0.81 m και βάθος 2.3 m), ενώ στην Τεχνικογεωλογική Ενότητα I παρατηρείται η μεγαλύτερη (βλ. Πιν. 6.24). Η αντοχή του άρρηκτου ασβεστόλιθου είναι υψηλή και η φέρουσα ικανότητα στις Τεχνικογεωλογικές Ενότητες V και VI (που περιέχουν τους ασβεστόλιθους) είναι η μικρότερη και μεγαλύτερη αντίστοιχα (βλ. ΚΕΦ. 6.4.2).

**8)** Ανάλογα με την τιμή του δείκτη υδαρότητας, LI και της περιεχόμενης υγρασίας εδάφους (Πιν. 6.9) μπορούμε να διακρίνουμε ποία θα είναι η μηχανική του συμπεριφορά (Σχ. 6.5) όταν του ασκηθεί κάποιο φορτίο (π.χ. ψαθυρή, πλαστική ή ακομή και ρευστή). Ως αποτέλεσμα οι εδαφικοί σχηματισμοί κατά μήκος του αγωγού θα έχουν ψαθυρή συμπεριφορά και κατά τόπους πλαστική (κοντά στο όριο πλαστικότητας,  $w=PL$ , βλ. Σχ. 6.5 και ΚΕΦ. 6.2.8 – Διαγράμματα Τάσεων-Παραμορφώσεων).

**9)** Τα εδάφη που εξετάστηκαν (Πιν. 6.9) ανοικούν γενικά στη κατηγορία των μη ενεργών εδαφών και η ορυκτολογική σύσταση των αργίλων τους "βρίσκεται

μεταξύ" του καολίνης και ιλλίτης (βλ. Σχ. 6.7, καθώς και από Κούκη & Σαμπατακάκη, 2002 έχουμε: Καολίνης →  $C_C=0.11$  και Ιλλίτης →  $C_C=0.50$ , βλ. Πιν 6.9). Επίσης τα αργιλικά εδάφη είναι προφορτισμένα, i) Ενότητα II: ευαισθησία,  $St=2-4$  (βλ. ΚΕΦ. 6.2.3) και ii) Ενότητα III: λόγος υπερστερεοποίησης,  $OCR > 1$  (βλ. ΚΕΦ. 6.2.4 – Τάση προστερεοποίησης,  $p_c$ ).

10) Σύμφωνα με την κατάταξη των εδαφών κατά DIN 18196 (Πιν. 8.4) και την κατηγοριοποίηση αυτών με βάση τις εδαφοτεχνικές ιδιότητες και την ικανότητα συμπίκνωσης τους για την επίχωση των σκαμμάτων, ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες:

Κατηγορία συμπίκνωσιμότητας	Συνοπτική περιγραφή	Κατάταξη κατά DIN 18196
V1	Μη συνεκτικά έως ελαφρώς συνεκτικά, χονδρόκοκκα και μικτόκοκκα εδάφη	GW, GI, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST
V2	Συνεκτικά, μικτόκοκκα εδάφη	GU*, GT*, SU*, ST*
V3	Συνεκτικά, λεπτόκοκκα εδάφη	UL, TL

(τα εδάφη UM, UA, TM, TA και αυτά που περιέχουν οργανικά είναι ακατάλληλα προς συμπίκνωση).

Τα εδαφικά υλικά που θα εκσκαφθούν (πέρνουμε σαν μέγιστο βάθος εκσκαφής τα 3 m) ταξινομούνται ως εξής:

**Πίνακας 8.2:** Καταλληλότητα υλικών για χρήση προς συμπίκνωση.

Γεώτρηση	Βάθος	DIN 18196	Κατηγορίες Συμπύκνωσιμότητας
BH-4	0.0-1.5	GW	V1
	1.9-3.0	TA	Ακατάλληλα
BH-5	0.0-1.5	TM	Ακατάλληλα
	1.95-3.0	TA	Ακατάλληλα
BH-6	2.0-3.0	TM	Ακατάλληλα
BH-7	0.0-1.5	ST*	V2
BH-8	0.0-1.55	SE	V1
	1.8-3.0	ST*	V2
BH-9	0.0-1.6	ST	V1
	1.2-1.4	TM	Ακατάλληλα
BH-10	2.0-2.7	TA	Ακατάλληλα

Ως αποτέλεσμα τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επίχωση του αγωγού είναι αυτά της Τεχνικογεωλογικής Ενότητας I. Στα εδαφικά αυτά υλικά πραγματοποιήθηκαν δοκιμές Proctor για τον προσδιορισμό της βέλτιστης υγρασίας και της μέγιστης ξηρής πυκνότητας (βλ. Πιν. 6.17). Στο παρακάτω πίνακα 8.3 δίνεται η βέλτιστη υγρασία  $m_{opt}$  για τον αντίστοιχο βαθμό συμπίκνωσης ανάλογα με την κατηγορία συμπίκνωσης του κάθε κατάλληλου εδαφικού υλικού προς συμπίκνωση (βλ. ΚΕΦ. 4.4.3, Συμπύκνωση – Εργασίες επίχωσης).

**Πίνακας 8.3:** Βέλτιστη υγρασία των κατάλληλων εδαφικών υλικών προς χρήση για συμπύκνωση.

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Κατηγορία Συμπύκνωσης	Βαθμός Συμπύκνωσης	$m_{opt}$ (%)
BH-7	0.0-1.5	V2	97%	12.8 ή 18.6
BH-8	0.0-1.5	V1	100%	12.5
BH-9	0.0-1.5	V1	100%	17.9

**Πίνακας 8.4:** Κατάταξη κατά DIN 18196.

Definition and designation						
Main groups	Particle size fraction in % by mass		Plasticity index and position relative to A-line (see chart)		Letter symbol Group symbol	
	Particle size					
	≤ 0.06 mm	≤ 2 mm				
Coarse-grained soils	< 5%	≤ 60%	-	Narrow-graded gravels	GE	
				Wide-graded gravel-sand mixtures	GW	
				Gap-graded gravel-sand mixtures	GI	
	> 60%	-	Narrow-graded sands	SE		
			Wide-graded sand-gravel mixtures	SW		
			Gap-graded sand-gravel mixtures	SI		
Mixed-grained soils	5 - 15%	≤ 60%	-	Gravel-silt mixtures	5% to 15% by mass ≤ 0.06 mm	GU
				Gravel-clay mixtures		GT
				Sand-silt mixtures		SU
				Sand-clay mixtures		ST
	15 - 40%	≤ 60%	-	Gravel-silt mixtures	15% to 40% by mass ≤ 0.06 mm	GU*
				Gravel-clay mixtures		GT*
				Sand-silt mixtures		SU*
				Sand-clay mixtures		ST*
Fine-grained soils	> 40%	-	$I_p \leq 4\%$ or below the A-line	Silts of low plasticity $w_L < 35\%$	UL	
				Silts of medium plasticity $35\% \leq w_L \leq 50\%$	UM	
				Silts of high plasticity $w_L > 50\%$	UA	
			$I_p \geq 7\%$ and above the A-line	Clays of low plasticity $w_L < 35\%$	TL	
				Clays of medium plasticity $35\% \leq w_L \leq 50\%$	TM	
				Clays of high plasticity $w_L > 50\%$	TA	

**11)** Η εκσκαμτικότητα (βλ. ΚΕΦ. 7.2.7 – ΤΟΜΗ VII) των σχηματισμών κατά μήκος της χάραξης του αγωγού μέχρι το βάθος έρευνας είναι σε γενικές γραμμές

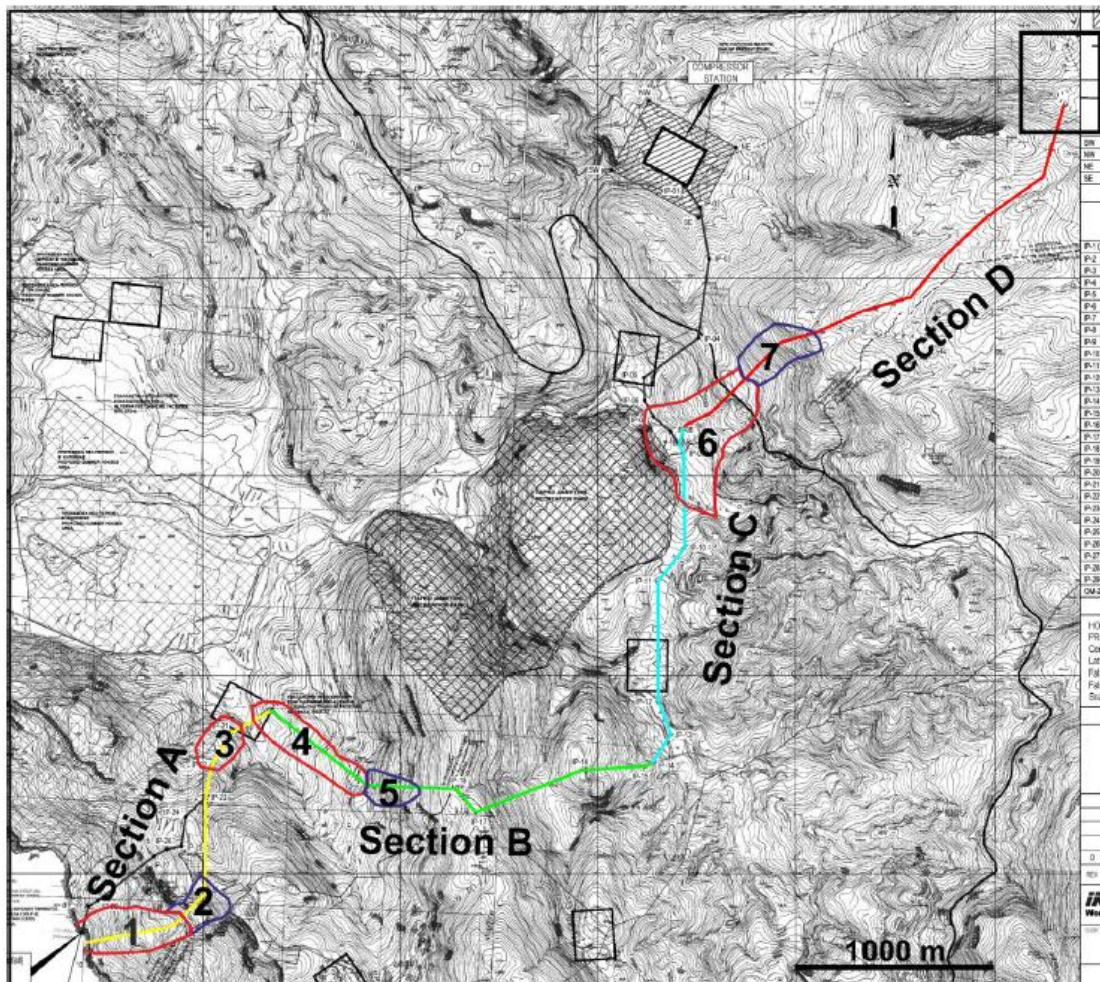
μέσης έως υψηλής δυσκολίας, ενώ μέχρι το βάθος των 3 m (το βάθος που μας ενδιαφέρει) η εκσκαψιμότητα είναι γενικά μέσης δυσκολίας.

**12)** Η διαμόρφωση των πρηνών του ορύγματος είναι γενικά κάθετη, εκτός αν τα εδάφη είναι χαλαρά ή έχουν φτωχές μηχανικές ιδιότητες, τότε τα πρηνή διαμορφώνονται με την κατάλληλη κλίση και όπου απαιτείται εφαρμόζονται μέτρα αντιστήριξης. Διαμόρφωση των πρηνών θα χρειαστεί, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6.26, εκεί όπου κατά την εκσκαφή βρίσκουμε υλικά της Ενότητας I (BH-7, BH-8 και BH-9), αυτά τα πρηνή θα διαμορφωθούν με γωνία  $\leq 36^\circ$ , καθώς και υλικά της Ενότητας III υπό στραγγισμένες συνθήκες. Εδώ θα πρέπει να επισημάνουμε ότι πρέπει να δίνεται μεγάλη προσοχή κατά την αποστράγγιση των πρηνών όταν ο υδροφόρος βρίσκεται σε υψηλό επίπεδο, κατά την τοποθέτηση του αγωγού, γιατί μπορεί να υπάρξει κίνδυνος κατάρρευσης των πρηνών. Το βάθος έδρασης του αγωγού κυμαίνεται από 2 έως 2.5 m, ίσως και λίγο περισσότερο σε ειδικές περιπτώσεις/συνθήκες.

**13)** Σύμφωνα με Pavlides, S.B. (2011) από τις επι τόπου παρατηρήσεις προκύπτουν κάποιες προβληματικές περιοχές από γεωτεχνικής πλευράς κατά μήκος της χάραξης του αγωγού (Σχ. 8.1 και 8.2) που οφείλονται, i) στην απότομη κλίση της μορφολογίας, ii) στην ύπαρξη μαλακών ιζημάτων που χαρακτηρίζονται από έντονη διαβρωσιμότητα, iii) στην ύπαρξη μεγάλων τεκτονικών δομών, όπως οι χιλιομετρικού μήκους επωθήσεις που διευρύνουν τη κακή μηχανική συμπεριφορά των μαλακών ιζημάτων και iv) στην εμφάνιση της γύψου. Αυτές οι περιοχές χρήζουν περαιτέρω επί τόπου διερεύνηση και είναι αναγκαία κατά το στάδιο κατασκευής του αγωγού. Τα πιθανά γεωτεχνικά προβλήματα (Σχ. 8.1 και 8.2) ανά περιοχή είναι:

- Περιοχή 1: Πιθανότητα μικρής κλίμακας επιφανειακών κατολισθήσεων (π.χ. ερπυσμός) των μαλακών ιζημάτων.
- Περιοχή 2: Πιθανότητα κατολισθήσεων στους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα και πιθανά επιφανειακά βαρυτηκά φαινόμενα κατά μήκος των απότομων γκρεμών που συνδέονται με το εμπρόσθιο τμήμα της επώθησης, της ζώνης αδυναμίας. Ο όγκος των κατολισθήσεων εκτιμάται ότι δεν υπερβαίνει τα λίγα κυβικά μέτρα.
- Περιοχή 3: Πιθανότητα μικρής κλίμακας επιφανειακών κατολισθήσεων.
- Περιοχή 4: Πιθανότητα μικρής κλίμακας επιφανειακών κατολισθήσεων.

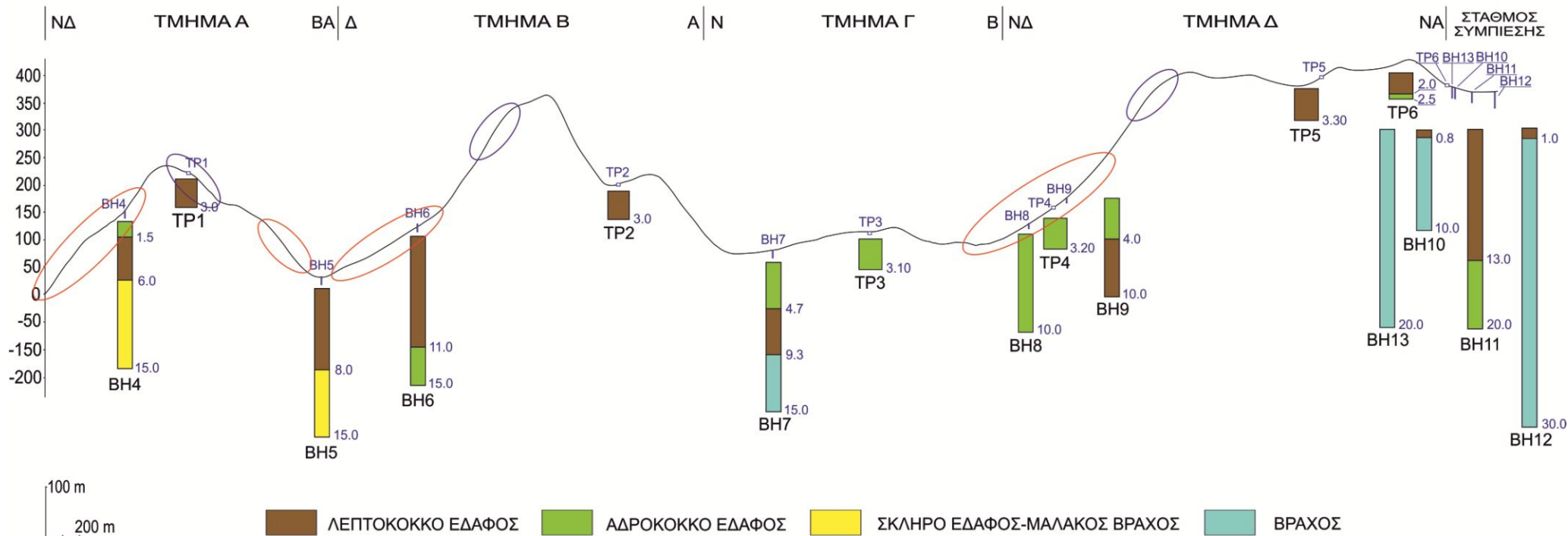
- Περιοχή 5: Πιθανότητα κατολισθήσεων και τα πιθανά επιφανειακά βαρυτηκά φαινόμενα κατά μήκος των απότομων γκρεμών που συνδέονται με τη ζώνη αδυναμίας της επώθησης.
- Περιοχή 6: Πιθανότητα μικρής κλιμακίας επιφανειακών κατολισθήσεων ιδίως στις όχθες των ρεμάτων και όπου η κλίση είναι απότομη.
- Περιοχή 7: Πιθανότητα μερικών κατολισθήσεων και τα πιθανά επιφανειακά βαρυτηκά φαινόμενα κατά μήκος των απότομων γκρεμών που συνδέονται με τη ζώνη αδυναμίας της επώθησης, ιδιαίτερα στην περιοχή που καλύπτεται από Τριαδικά λατυποπαγή (tb), δεδομένου της απουσίας βλάστησης τα τελευταία σχηματίζουν ένα εκτεταμένο ερημικό περιβάλλον (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ.2, Φωτ.18).



Σχήμα 8.1: Προβληματικές περιοχές κατά μήκος της χάραξης του αγωγού (από Pavlides S.B., 2011).

Σύμφωνα με Λέκκα (1995) στην περιοχή έχουν εκδηλωθεί αρκετές κατολισθήσεις (Σχ. 8.3 αριθμός 7, Κοινότητα Πέρδικας: Κατολισθήσεις φλύσχη, πλειοκαινικών μαργών και καταπτώσεις βράχων). Επίσης από την ίδια μελέτη η περιοχή του έργου χαρακτηρίζεται ως ζώνη υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας (Σχ. 8.4).

## ΤΟΜΗ Ι. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ - ΑΔΡΟΚΟΚΚΩΝ - ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ-ΜΑΛΑΚΟΥ ΒΡΑΧΟΥ - ΒΡΑΧΟΥ

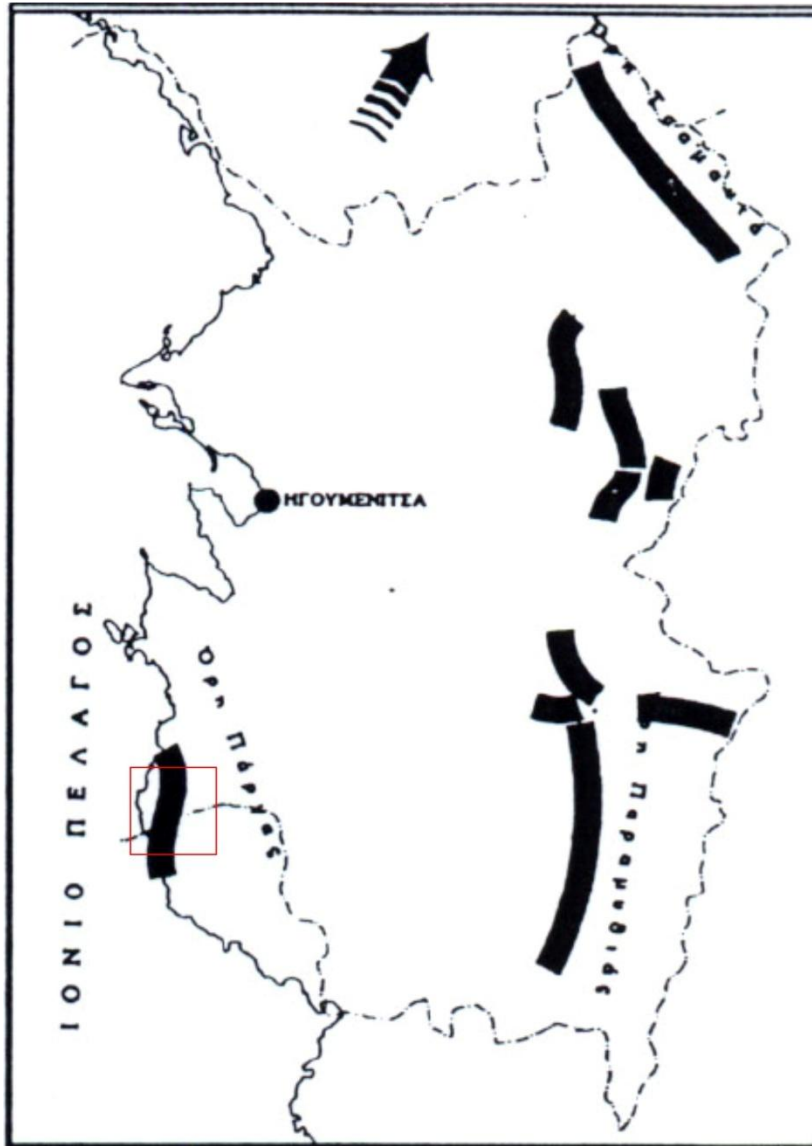


**Σχήμα 8.2:** Προβληματικές περιοχές κατά μήκος της χάραξης του αγωγού.



Σχήμα 8.3: Χάρτης περιοχών εκδήλωσης κατολισθητικών φαινομένων του Νομού Θεσσαλίας (από Λέκκα, 1995).





**Σχήμα 8.4:** Ζώνες υψηλής κατολισθητικής επικινδυνότητας Νομού Θεσπρωτίας (από Λέκκα, 1995).

**14)** Στα εδάφη που εξετάστηκαν δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος ρευστοποίησης (δεν βρέθηκε υδροφόρος ορίζοντας, πυκνά αμμώδη εδαφικά υλικά κ.α.), εκτός από ΒΗ-7(9.0-9.7) όπου χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση (βλ. ΚΕΦ. 4.2.3, Σχ. 4.9). Την απουσία φαινομένων ρευστοποίησης στην περιοχή υποστηρίζεται και από Papathanasiou et al. (2005), Papathanasiou & Pavlides (2009) και Papathanasiou et al. (2009).

**15)** Περαιτέρω διερεύνηση (δοκιμές διόγκωσης) πρέπει να πραγματοποιηθούν στα σημεία με πολύ υψηλή και υψηλή διογκωσιμότητα (βλ. ΚΕΦ. 6.2.3 – Διογκούμενα εδάφη). Συγκεκριμένα στα εδαφικά δείγματα (βλ. Πιν. 6.9) 1, 2, 8, 9, 12, 18, και 24 πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς το βάθος έδρασης του

αγωγού θα είναι περίπου στα 2.50 m, οπότε αυτά τα εδάφη θα έρχονται σε άμεση επαφή με τον αγωγό (ή ο αγωγός θα βρίσκεται στο πεδίο δράσης αυτών των πιθανών διογκώσιμων εδαφών). Ως αποτέλεσμα η Ενότητα II έχει υψηλή διογκωσιμότητα.

**16)** Τα προβληματικά εδάφη (βλ. ΚΕΦ. 7.2.7 – ΤΟΜΗ VII) πρέπει να απομακρύνονται (για αποτροπή διόγκωσης, καθίζησης κ.α.), ένα από αυτά είναι οι άργιλοι υψηλής πλαστικότητας όπως οι Τεχνικογεωλογικές Ενότητες II και III. Αυτά τα εδάφη απομακρύνονται και αντικαθίστανται από κατάλληλο κοκκώδες υλικό επίχωσης (Ενότητα I) (βλ. ΚΕΦ. 4.4.3).

**17)** Οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης έδειξαν πως τα εδάφη γενικώς είναι μη διαβρωτικά έως ελαφρά διαβρωτικά (βλ. ΚΕΦ. 7.2.9 – ΤΟΜΗ IX), εκτός του σημείου G4 (Πιν. 5.8) που παρατηρούνται μέτριας διαβρωτικότητας εδάφη, σ' αυτό το σημείο προτείνεται μεγαλύτερο πάχος επικάλυψης του αγωγού με πολυαιθυλένιο για αντιδιαβρωτική προστασία.

**18)** Ο λατυποπαγής ασβεστόλιθος γενικά και ειδικά με μικροκρυσταλλική γύψο (εβαπορίτες) συνδέεται με μεγάλης έκτασης επωθήσεις ή ρήγματα (διαπυρική άνοδος των εβαποριτών και γενικά την προέλευση από βαθύτερα στρώματα). Κατά μήκος του αγωγού στη ΒΗ-7 (9.5 - 15.0 m) βρίσκουμε λατυποπαγή ασβεστόλιθο με μικροκρυσταλλική γύψο, πιθανόν η ζώνη κερματισμού του ρήγματος  $F_{P\_12}$  ή της επώθησης  $F_{P\_9}$  (βλ. ΚΕΦ. 3.1.3). Ενώ στη περιοχή του σταθμού συμπίεσης στη ΒΗ-12 (9.5 - 15.0 m) (βλ. ΚΕΦ. 3.2) έχουμε έναν λατυποπαγή ασβεστόλιθο με πιθανή ζώνη των ρηγμάτων  $F_{P\_26}$  ή  $F_{P\_27}$ , επίσης στη ΒΗ-13 (15.0 - 18.5 m) πιθανή ζώνη του ρήγματος  $F_{P\_24}$ .

**19)** Κατά την μακροσκοπική αναγνώριση των γεωτρήσεων και ειδικότερα στα δείγματα του ασβεστόλιθου διακρίνονται σε κάποια βάθη (ΒΗ-12: 1.0-5.5 m, ΒΗ-13: 5.0-6.0 m, 11.5-13.5 m και 18.5-19.8 m, καθώς και όχι μόνο) καρστικά έγκοιλα (μορφές καρστικοποίησης). Σε αυτές τις περιοχές πρέπει να δοθεί προσοχή για πιθανές αστοχίες λόγω καρστικοποίησης (βλ. ΚΕΦ. 4.2.4).

**20)** Στη περιοχή του σταθμού συμπίεσης στο επιφανειακό στρώμα βάθους 13 m (ΜΗ) στη γεώτρηση ΒΗ-11 που εξετάστηκε, η ολική καθίζηση ΔΗ για φόρτιση 100 kPa είναι 0.87 m. Για επιτρεπόμενη καθίζηση  $d_s = 0.10$  m, η επιτρεπόμενη τάση στην επιφάνεια του στρώματος είναι 11.5 kPa και για το βάθος (εκσκαφή ορύγματος) 2.3 m είναι 50.5 kPa.

## 9 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γεωργιάδης Κ. και Γεωργιάδης Μ., 2009. Στοιχεία εδαφομηχανικής. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Γραμματικόπουλος Ι. και Αναγνωστόπουλος Κ., 2004. Απόκλιση τιμών του συντελεστή στερεόποιησης που προκύπτουν με βάση τη μέθοδο της τετραγωνικής ρίζας και του λογάριθμου του χρόνου. Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου Ε.Γ.Ε., τομ. XXXVI, Θεσ/νίκη Απρίλιος 2004.
- ΔΕΣΦΑ, 2010. Αγωγός φυσικού αερίου υψηλής πίεσης από τους Αγ. Θεοδώρους έως τη ΔΕΗ Μεγαλόπολης, Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.
- ΔΕΣΦΑ, Πρόγραμμα Ανάπτυξης Ε.Σ.Φ.Α., 2013-2014.
- Δημόπουλος Γ., 2008. Τεχνική γεωλογία. Εκδ. Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Δημόπουλος Γ., 2007. Γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων, υδρογεωλογικές μελέτες. Εκδ. Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΟΥ ΟΑΣΠ, 2002. Συλλογή & επεξεργασία σεισμικών δεδομένων και εκπόνηση νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8. Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.
- Ελληνική Τεχνική Προδιαγραφή (Ε106/86).
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-01-03-01:2009. Εκσκαφές ορυγμάτων υπόγειων δικτύων.
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-01-03-02:2009. Επανεπίχωση ορυγμάτων υπόγειων δικτύων.
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-01-04-01:2009. Εγκατάσταση υπόγειων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος με εφαρμογή μεθόδων εκτόπισης του εδαφικού υλικού.
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-08-01-04-02:2009. Εγκατάσταση υπόγειων δικτύων χωρίς διάνοιξη ορύγματος με εφαρμογή μεθόδων αφαίρεσης του εδαφικού υλικού.
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-11-03-01-00:2009. Δυναμική συμπύκνωση εδαφών.
- ΕΛΟΤ ΤΠ 1501-11-03-02-00:2009. Δονητική συμπύκνωση εδαφών.
- Ι.Γ.Ε.Υ, 1969. Γεωλογικός χάρτης, φύλλο Πάργας. Ινστιτούτο Γεωλογίας και Ερευνών Υπεδάφους.

ΙΔΡΥΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ, 2011. Η Ελλάδα ως ενεργειακός δίαυλος προς την Ευρώπη: Αγωγοί φυσικού αερίου με διέλευση από την Ελλάδα, Περίληψη μελέτης.

Καββαδάς Μ., 2007. Θεμελιώσεις τεχνικών έργων. Σημειώσεις, Ε.Μ.Π..

Κουκής Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2002. Τεχνική γεωλογία. Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Κουκής Γ. και Σαμπατακάκης Ν., 2007. Γεωλογία τεχνικών έργων. Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

Λέκκας Ε., Ανδρεαδάκης Ε., Γάσπαρης Ν. και Λαμπρόπουλος Γ., 1997. Κατάταξη και χαρακτηρισμός επικινδυνότητας κατολισθητικών φαινομένων του Νομού Θεσπρωτίας, Τόμος 1, 3<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωτεχνικής Μηχανικής, Πάτρα, 20-22 Μαρτίου, 1997, ΤΕΕ.

Λουπασάκης Κ., 2013-14. Εδαφομηχανική και στοιχεία θεμελιώσεων. Παρουσιάσεις 2013-14, Ε.Μ.Π..

Μακεδών Θ., 2005. Χωματοουργικά έργα οδοποιίας & οδοστρωσία, απαιτήσεις & ποιοτικός έλεγχος. Σημειώσεις, Θεσσαλονίκη, σελ. 6-7.

Μακρόπουλος Κ., Ε.Κ.Π.Α., 2002. Συλλογή & επεξεργασία σεισμικών δεδομένων και εκπόνηση νέου χάρτη σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδας συμβατού με τον ισχύοντα Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό και τον Ευρωκώδικα 8.

Μαρίνος Β., 2011. Γεωλογικές και Περιβαλλοντικές Μελέτες Τεχνικών Έργων. Παρουσιάσεις, Α.Π.Θ..

Μουντράκης Δ., 2010. Γεωλογία και γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας. Εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Μπακόπουλος Ι., 2006. Λιθοστρωματογραφική διάρθρωση της Ιόνιας λεκάνης στο νότιο τμήμα της Ηπείρου σε σχέση με την μετανάστευση και παγίδευση των υδρογονανθράκων της. Διδακτορική διατριβή, Ε.Κ.Π.Α..

Μπουκοβάλας Γ.. Αντισεισμικός σχεδιασμός επιφανειακών και υπόγειων γεωτεχνικών έργων. Σημειώσεις 2014-15, Ε.Μ.Π..

Παπαδοπούλου Δ., 2008. Αντισεισμικός σχεδιασμός υπόγειων δικτύων φυσικού αερίου, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης.

Παπαζάχος Β., Μουντράκης Δ., Παπαζάχος Κ. , Τρανός Μ., Καρακαΐσης, Γ. και Σαββαΐδης Α., Τα ρήγματα που προκάλεσαν τους γνωστούς ισχυρούς σεισμούς στην Ελλάδα και τη γύρω περιοχή από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. μέχρι σήμερα. 2<sup>ο</sup> Παν.

- Συν. Αντισεισμικής Μηχανικής & Τεχνικής Σεισμολογίας, Τ.Ε.Ε., Θεσσαλονίκη, 28-30 Νοεμβρίου 2001, 1, 17-26.
- Παπαζάχος Β. και Παπαζάχου Κ., 2003. Οι σεισμοί της Ελλάδας. Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Παπαθανασίου Γ., 2006. Φαινόμενα ρευστοποίησης εδαφών στον Ελληνικό χώρο. Διδακτορική Διατριβή, Α.Π.Θ..
- Παπασπύρου Σ., 2011. Στρώσεις εξυγίανσης και βοηθητικές στρώσεις.
- Παπαχαρίσης Ν., Γραμματικόπουλος Ι. και Μάνου-Ανδρεάδη Ν., 1999. Γεωτεχνική μηχανική. Εκδ. Αδελφών Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη.
- Παυλίδης Σ., 2003. Γεωλογία των σεισμών. Εκδ. University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- Ραλλάκης Δ., 2013. Μελέτη του οργανικού υλικού Ιουρασικών βιτουμενιούχων σχιστών της Ιόνιας Ζώνης στην Ήπειρο. Διπλωματική Εργασία Ειδίκευσης, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- Ρόζος Δ., 2007. Τεχνική γεωλογία Ι και ΙΙ. Σημειώσεις, Ε.Μ.Π..
- Σούλιος Γ., 1985. Συμβολή στην υδρογεωλογική μελέτη των καρστικών υδροφόρων συστημάτων του Ελληνικού χώρου. Εκδ. Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Σχέδιο Διαχείρισης των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ηπείρου, 2013. ΦΕΚ Β 2292-17.09.2013.
- TAP, Trans Adriatic Pipeline, 2013. Ενιαία ΜΠΚΕ Ελλάδα Κεφάλαιο 8 - Εκτίμηση και Αξιολόγηση Επιπτώσεων και Μέτρα Αντιμετώπισης.
- TAP, Trans Adriatic Pipeline, 2013. Ενιαία ΜΠΚΕ Ελλάδα Παράρτημα 3.6 - Τεχνικά Σχέδια Ζώνη Εργασίας - Κατασκευαστικές Μέθοδοι και Διασταυρώσεις.
- TAP, Trans Adriatic Pipeline, 2013. Ενιαία ΜΠΚΕ Ελλάδα Παράρτημα 6.6.1 - Έκθεση Υφιστάμενης Κατάστασης Γεωλογίας.
- ΤΕΧΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ, ΤΕΕ, 2012. Σύστημα μεταφοράς φυσικού αερίου με μέγιστη πίεση λειτουργίας άνω των 16 bar. ΦΕΚ Β 603-05.03.2012.
- Χρηστάρας Β., 2006. Εργαστηριακές και επί τόπου δοκιμές εδαφομηχανικής. Εκδ. ΤΕΕ, Αθήνα.
- Χρηστάρας Β. και Μαρίνος Β., 2014. Τεχνική Γεωλογία. Παρουσιάσεις, Α.Π.Θ..

- Ambraseys N.N. and Jackson J.A., 1998. Faulting associated with historical and recent earthquakes in the Eastern Mediterranean region. *Geophys. J. Int.* 133, 390-406.
- Angelier J. & Goguel J., 1979. Sur une méthode simple de détermination des axes principaux des contraintes pour une population de failles. *C. R. Acad. Sci., Paris* 288, 307–310.
- Argonne, U.S. Department of Energy laboratory, 2007. Natural gas pipeline technology overview, S.M. Folga.
- AS 2885.1-2007, Australian Standard. Pipelines-gas and liquid petroleum, Part 1: Design and construction.
- ASCE-25, Task Committee On Earthquake Safety Issues For Gas Systems, 2002. Improving natural gas safety in earthquakes.
- ASCE, American Society of Civil Engineers, 2001. Guidelines for the design of buried steel pipe. American Lifelines Alliance.
- ASCE, American Society of Civil Engineers, 2002. Seismic design and retrofit of piping systems. American Lifelines Alliance.
- ASME B31.8-2003. Gas transmission and distribution piping systems.
- Asprofos, S.A., 2009. Preliminary environmental impact assessment document No: ENV118089-02. Revision: 1, p. 279.
- ASTM D 1586-84, Standard method for Penetration Test and split-barrel sampling of soils. ASTM 1993.
- Aubouin J., 1959. Contribution a l' étude géologique de la Grèce septentrionale: Les confins de l' Épire et de la Thessalie. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 10, 1-483.
- Baskoutas I., 2011. IGI Poseidon - Front end engineering design geohazard study - Greece. Preliminary report seismological study. 74p, Athens.
- Bernoulli D. & Renz O., 1970. Jurassic carbonates and new ammonite fauna from western Greece. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 63, 537-607.
- Boccaletti M., Caputo R., Mountrakis D., Pavlides S. and Zouros N., 1997. Paleoseismicity of the Souli Fault, Epirus, Western Greece. *Journal of Geodynamics*, 24, 1-4, 117-127.
- BP (British Petroleum Company Limited), 1971. The geological results of petroleum exploration in western Greece: Institute of Geology Subsurface Research, Athens, v. 10, 73 p.

- BS 1377: Part 19, 1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes, In-situ tests.
- Chatzipanagiotidou P., 2013. Seismic behavior and risk assessment of natural gas pipelines: Application in a part of the Istanbul gas network. Master Thesis, Aristotle University of Thessaloniki & Bogazici University.
- Chen W.F. and Richard Liew J.Y., 2002. The civil engineering handbook, Second edition. Published by CRC Press.
- Chirstaras B., 2012. Geotechnical report in the frame of the project “IGI Poseidon - Front end engineering design”, Thessaloniki.
- Clayton, C. (1995). The Standard Penetration Test: Methods of use, CIRIA Report 143.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 199/8 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Crossings.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 199/11 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: River And Ravine Crossings.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 499/1 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Site Requirements.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 499/2 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Trenching And Excavation.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 499/4 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Backfilling.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 499/10 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Installation In Muddy Bottom Areas.
- DESFA TECHNICAL JOB SPECIFICATION 499/22 REVISION 0 05-04-2001. High Pressure (HP) Transmission Systems: Construction Specification For Installation Of Pipeline By Horizontal Directional Drilling.
- Duyster J., 2000. StereoNett version 2.46. (<http://www.ruhr-unibochum.de/hardrock/downloads.html>).
- EN 1993-4-3. Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 4-3: Pipelines.
- EN 1997-2:2007, Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 2: Ground investigation and Testing, Section 4 Field tests in soil and rock & Annex F Standard penetration test (SPT).

- EN 1998-4. Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance - Part 4: Silos, tanks and pipelines.
- EN ISO 22476-3. Geotechnical investigation and testing - Field testing - Part 3: Standard penetration test.
- FERC, Federal Energy Regulation Commission, 2013. Wetlands and waterbody construction and mitigation procedures.
- Flores - Berrones R., Liu X., 2003. Seismic vulnerability of buried pipelines, *Geofisica Internacional*, Vol.42, Num.2, 237-246.
- Goodman R.E., 1989. Introduction to rock mechanics, Second edition. John Wiley and Sons.
- IGRS-IFP, 1966. Étude Géologique de l'Épire (Grèce nord-occidentale): Paris, 306 p.
- IITK-GSDMA, 2007. Guidelines for seismic design of buried pipelines, Indian Institute of Technology Kanpur.
- International Society of Soil Mechanics & Foundations Engineering. Standard Penetration Test (SPT): International Test Procedure. Descouri et al., 1988.
- JIS A 1219:2001, Japanese Industrial Standards. Method for Standard Penetration Test.
- Jones G. & Robertson A. H. F., 1991. Tectonostratigraphy and evolution of the Pindos ophiolite and associated units. *Journal of the Geological Society, London*, 148, 267–288.
- Karakitsios V., 1995. The influence of pre-existing structure and halokinesis on organic matter preservation and thrust system evolution in the Ionian basin, Northwestern Greece. *AAPG Bull.*, 79, 960-980.
- Karakitsios V., 2003. Evolution and petroleum potential of the Ionian basin (Northwest Greece), AAPG International Conference, Barcelona, Spain, September 21-24, 7.
- Karakitsios V., 2007. Studying the carbonates from Triassic to Eocene in the Ionian Zone. 25th IAS Meeting of Sedimentology, 2007, Patras-Greece, Field Trips Guide Book, 123-142.
- Karakitsios V. and Rigakis N., 1996. New oil source rocks in Greek Ionian basin. *Oil and Gas Journal* 12, 56-59.
- Karakitsios V. and Rigakis N., 2007. Evolution and petroleum potential of western Greece, *Journal of Petroleum Geology* 30(3), 197-218.



- Keaton J., 2005. Engineering geology for siting and design of buried pipelines: Examples from the Western United States. GEOLINE 2005 : Geology and linear development, Symposium, 23-25 May, Lyon, France.
- Kiratzis A. and Louvari E., 2003. Focal mechanisms of shallow earthquakes in the Aegean sea and the surrounding lands determined by waveform modeling: A new data base. *Journal of Geodynamics*, 36, 251-274.
- Knappett J. A. and Craig R. F., 2012. *Craig's soil mechanics*, Eighth edition. Published by Spon Press, London.
- Kokkalas S., Xypolias P., Koukouvelas I., And Doutsos T., 2006. Postcollisional contractional and extensional deformation in the Aegean region, in Dilek Y. and Pavlides S., eds., *Postcollisional tectonics and magmatism in the Mediterranean region and Asia: Geological Society of America Special Paper 409*, p. 97–123, doi: 10.1130/2006.2409(06).
- Kokkinou, E., Kamberis, E., Vafidis A., Monopolis D., Ananiadis, G. and Zelilidis A., 2005. Deep seismic reflection data from offshore western Greece: A new crystal model for the Ionian Sea. *Journal of Petroleum Geology* 28, 81-98.
- Liu H., 2003. *Pipeline Engineering*. Lewis Publishers.
- Mohitpour M., Golshan H. and Murray A., 2003. *Pipeline design & construction: A practical approach*, Second edition. ASME, New York.
- O'Rourke M.J. and Liu X., 1999. Response of buried pipelines subject to earthquake effects. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, The State University of New York.
- Papathanassiou G., Pavlides S., 2009. Gis-Based database of historical liquefaction occurrences in broader Aegean region, dalo v1.0. Earthquake Geotechnical Engineering Satellite Conference XVIIth International Conference on Soil Mechanics & Geotechnical Engineering, Alexandria, Egypt
- Papathanassiou G, Pavlides S, Christaras B, Pitilakis K. 2005. Liquefaction case histories and empirical relations of earthquake magnitude versus distance from the broader Aegean Region, *Journal of Geodynamics*, 40, 257-278.
- Papathanassiou G, Valkaniotis S, Pavlides S, Chatzipetros Al., 2009. Towards the compilation of a liquefaction susceptibility map of Greece. Proceedings of the 2009 Annual meeting of Seismological Society of America, Monterey California, USA, 8-10 April 2009.

- Papazachos B., Scordilis E., Panagiotopoulos D., Papazachos, K. & Karakaisis G., 2004. Global relations between seismic fault parameters and moment magnitude of earthquakes. *Bull. Geol. Soc. Greece*, 25, 1-8.
- Pavlidis S., 2011. IGI Poseidon - Front end engineering design geohazard study - Greece. Report: Geological / Tectonic study, Work Package 2, Thessaloniki.
- Pavlidis S. and Caputo R., 2004. Magnitude versus fault's surface parameters: Quantitative relationships from the Aegean region. *Tectonophysics*, 380, 159-188.
- Price David George, 2009. *Engineering geology: Principles and practice*. Editor: Dr. Michael H. de Freitas. Published by Springer, Berlin.
- Reid A. and Taylor J., 2010. The misuse of SPTs in fine soils and the implications of Eurocode 7, *Ground Engineering*, Volume 43, Issue 07, 28-31.
- Reiter F. and Acs P., 2003. TectonicsFP software. (<http://www.tectonicsfp.com>).
- Renz C., 1955. *Die vorneogene stratigraphie der normal-sedimentaren formationen Griechenlands*: Institute of Geological Subsurface Research, Athens, 637 p.
- Rigakis N. and Karakitsios V., 1998. The source rock horizons of the Ionian Basin (NW Greece). *Marine and Petroleum Geology* 15, 593-617.
- Rogers D., 2014. *Geotechnical construction practice*. Course notes 2014, Missouri University of Science and Technology. (<http://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/>).
- Terzaghi Karl & Peck B. Ralph, 1996. *Soil mechanics in engineering practice*, Third edition. Published by John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Tranos M., Kachev V., Mountrakis D., 2008. Transtensional origin of the NE-SW Simitli basin along the Strouma (Strymon) Lineament, SW Bulgaria. *Journal of the Geological Society of London* 165, 499–510, doi: 10.1144/0016-76492007-089.
- Underhill J.R., 1989. Late Cenozoic deformation of the Hellenic foreland, Western Greece. *Geological Society of America Bulletin* 101, 613–634.
- Wang H., 2013. Protection measures for pipeline in karst area. *ICPTT 2013*, p.954-963. ASCE.
- Wells D.L. and Coppersmith K.J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. America*. 84, 974-1002.

Zelilidis A., Piper D.J.W., Vakalas I., Avramidis P. and Getsos, K., 2003. Oil and gas plays in Albania: Do equivalent plays exist in Greece? *Journal of Petroleum Geology* 26(1), 29-48.

<http://www.asprofos.gr/references/natural-gas/pipelines-references/natural-gas-pipeline-from-stefani-to-ppc-aliveri?lang=EL> (Φωτογραφικό υλικό).

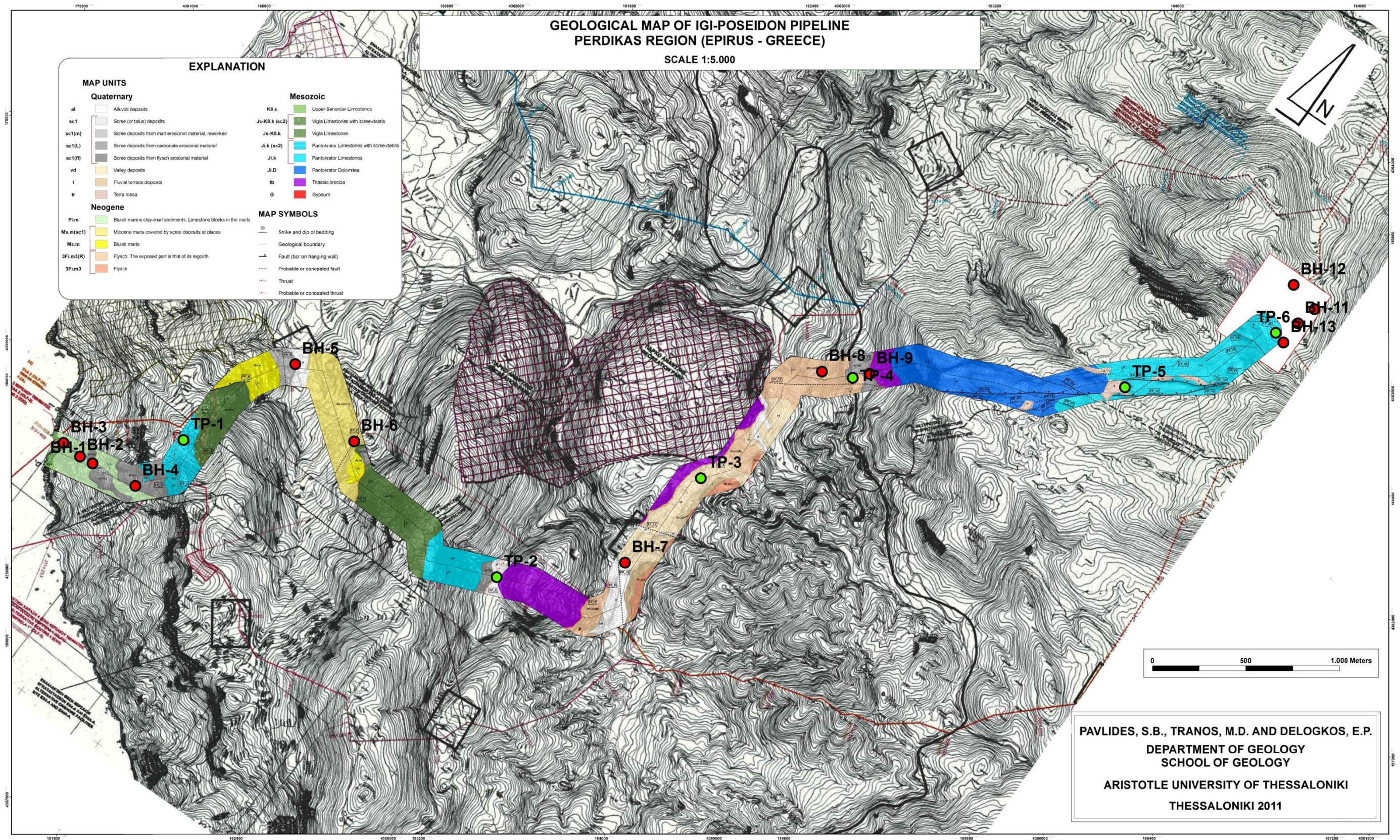
<http://www.depa.gr/content/article/002005/265.html> (Διασυνδετήριος Αγωγός Ελλάδας - Ιταλίας).

<http://www.desfa.gr/default.asp?pid=479&la=1> (Τεχνικές Προδιαγραφές Έργων ΔΕΣΦΑ).

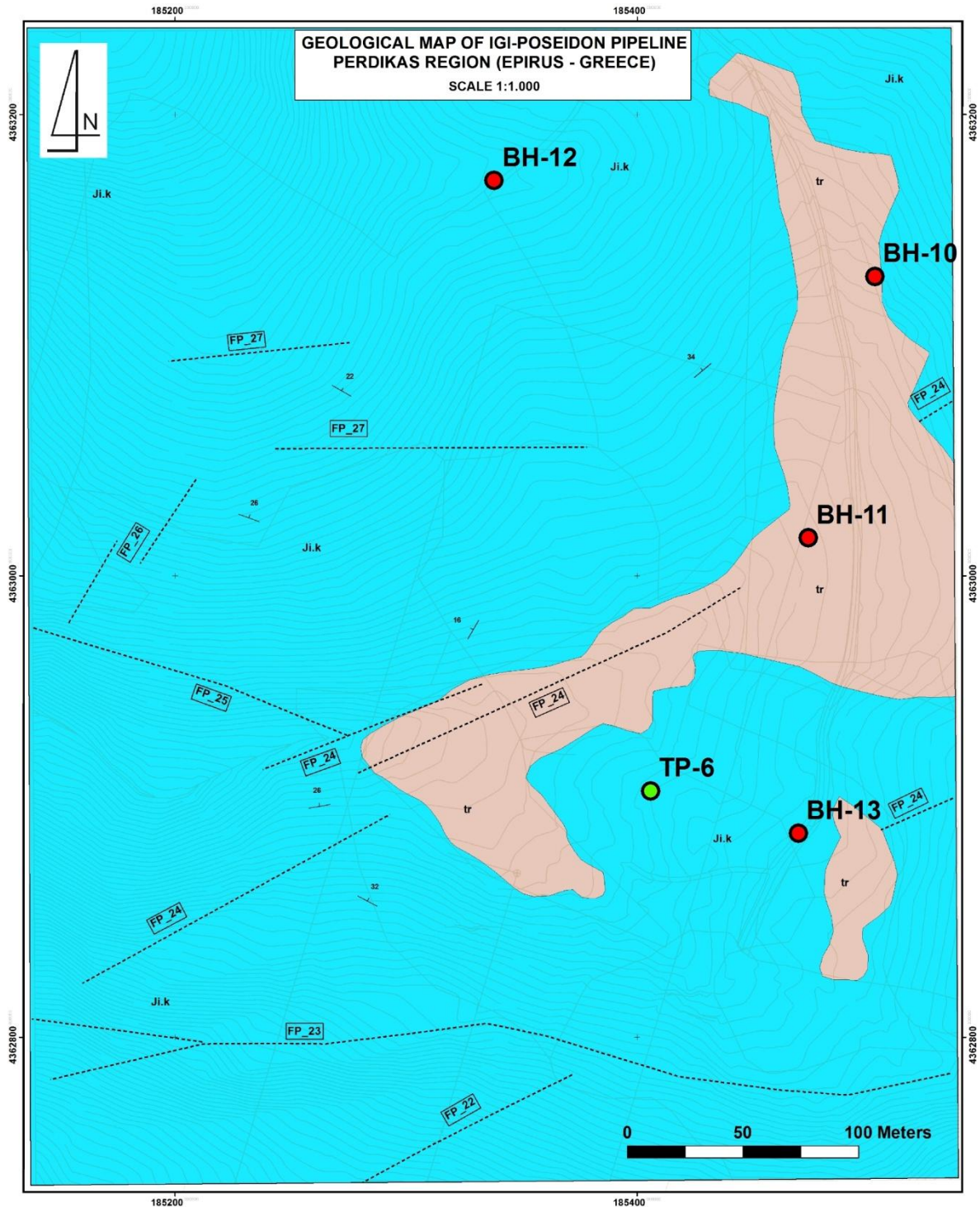
<http://www.geoclima.eu/>

<http://www.tap-ag.gr/?section=gr>

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α**  
**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΖΩΝΗΣ ΤΟΥ ΑΓΩΓΟΥ**  
**ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5.000**



**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β**  
**ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ**  
**ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1.000**



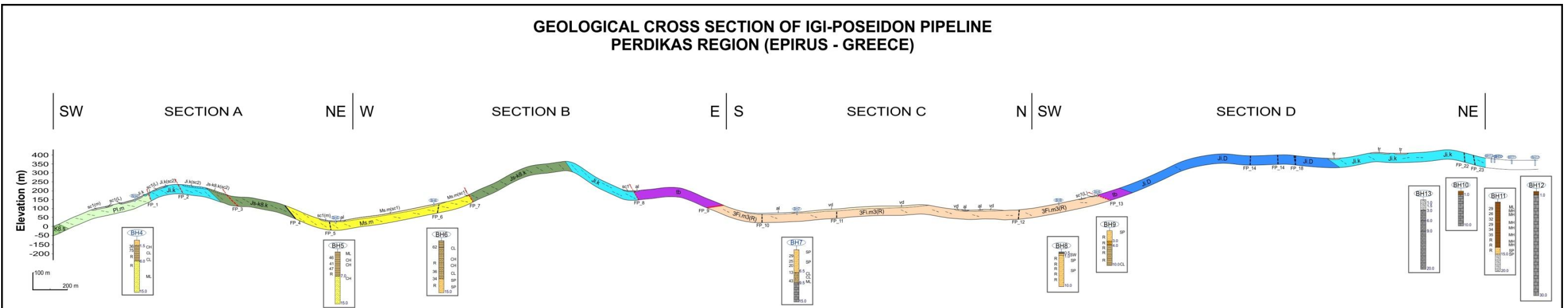
MAP UNITS		Explanation		MAP SYMBOLS	
Quaternary					Strike and dip of bedding
	tr Terra rossa		Geological boundary		Probable or concealed fault
Mesozoic					
	Ji.k Pantokrator Limestones				

PAVLIDES, S.B., TRANOS, M.D. AND DELOGKOS, E.P.  
 DEPARTMENT OF GEOLOGY  
 SCHOOL OF GEOLOGY  
 ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI  
 THESSALONIKI 2011

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ**  
**ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΗΚΟΤΟΜΗ ΜΕ ΤΙΣ ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΩΝ**  
**ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ**



**GEOLOGICAL CROSS SECTION OF IGI-POSEIDON PIPELINE  
PERDIKAS REGION (EPIRUS - GREECE)**



**SECTION LEGEND**

**Quaternary**

- al** Alluvial deposits
- sc1** Scree (or talus) deposits
- sc1(m)** Scree deposits - reworked marl material
- sc1(L)** Scree deposits from carbonate erosional material

- vd** Valley deposits
- tr** Terra rossa

**Neogene**

- Pl.m** Bluish marine clay-marl sediments.
- Ms.m(sc1)** Miocene marls covered by scree deposits at places

**MAP UNITS**

- Ms.m** Bluish marls
- 3Fl.m3(R)** Flysch. The exposed part is that of its regolith

**Mesozoic**

- K8.s** Upper Senonian Limestones
- Js-K8.k(sc2)** Vigla Limestones with scree-debris

- Js-K8.k** Vigla Limestones
- Ji.k(sc2)** Pantokrator Limestones with scree-debris
- Ji.k** Pantokrator Limestones
- Ji.D** Pantokrator Dolomites
- tb** Triassic breccia

**SECTION SYMBOLS**

- Geological boundary
- - - Trace of bedding
- Normal fault
- - - Probable or concealed fault
- Thrust
- - - Probable or concealed thrust

**BOREHOLE LEGEND**

- Fill
  - Clayey Sand
  - Gravels
  - Clay
  - Sandy Clay
  - Marls
  - Limestones Cobles with clay
  - Limestones
- BOREHOLE**
- SPT VALUES | DEPTH (m) | AUSCS CLASSIFICATION
- 26 | 1.0 | ML
- 34 | 3.0 | MH
- 34 | 6.0 | MH
- R-Refusal | 7.0 | SP
- 10.0

GEOLOGICAL CROSS SECTION  
FROM THE LABORATORY OF GEOLOGY  
PAVLIDES, S.B., TRANOS, M.D. AND DELOGKOS, E.P.

BOREHOLE ADDITIONS, GEOMATERIAL CLASSIFICATION  
AND GEOTECHNICAL DATA ARE ILLUSTRATED FROM  
THE LABORATORY OF ENGINEERING GEOLOGY  
AND HYDROGEOLOGY  
CHRISTARAS V., MARINOS P.V., PAPANATHASSIOU G.

DEPARTMENT OF GEOLOGY  
ARISTOTLE UNIVERSITY OF THESSALONIKI  
THESSALONIKI 2012

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ**

### **Δ.1) ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

### **Δ.2) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ**

### **Δ.3) ΤΟΜΕΣ ΣΚΑΜΜΑΤΩΝ**

### **Δ.4) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ**

### **Α.1) ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Για τον Ελληνικό χώρο και το μοντέλο των σεισμικών πηγών του σχήματος 2.9 χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι κατάλογοι σεισμών:

(α) Ο κατάλογος ιστορικών σεισμών *Parazachos and Parazachou (1989;1997)* για τη χρονική περίοδο 550 BC - 1899,

(β) Τα συμπληρωματικά στοιχεία σύμφωνα με *Papadopoulos et al. (2000)*, *Papadopoulos and Plessa (2001)*, *Papadopoulos and Vassilopoulou (2001)*,

(γ) Ο κατάλογος *Makropoulos et al. (1989)* με ενόργανα δεδομένα της χρονικής περιόδου 1900-1949,

(δ) Ο κατάλογος του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου για τη χρονική περίοδο 1964-2000, όπως βελτιώθηκε από *Paranastassiou et al. (2001)* για τη χρονική περίοδο 1950-2000.

## **Δ.2) ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΠΕΔΙΟΥ**

(Όλες οι φωτογραφίες προήλθαν από την έκθεση του καθηγητή Σπύρου Β. Παυλίδη (και την ομάδα του: Μάρκος Δ. Τρανός και Δελόγγος Ευστράτιος) με τίτλο «Geological / Tectonic Study, Work Package 2, Thessaloniki 2011».)



**Φωτογραφία 9:** Ασβεστόλιθοι Άνω Σενωνίου κατά μήκος της ακτογραμμής (x/y: 180.431/4.358.821, Greek Grid).



**Φωτογραφία 10:** Μπλε θαλάσσια άργιλο-μαργαϊκά ιζήματα, μάργες (Pl.m) (Πλειόκαινο) στο τμήμα Α (x/y: 180.492/4.358.881, Greek Grid).



**Φωτογραφία 11:** Ρωγή στις μπλε μάργες (Ms.m) (Βινδομπόνιο, Μέσο Μειόκαινο) λόγω επιφανειακού ερπυσμού στο τμήμα Α (x/y: 180.604/4.358.642, Greek Grid).



**Φωτογραφία 12:** Γύψος σε διαστρώσεις στα Πλειοκαινικά ιζήματα (x/y:180.262/4.359.296, Greek Grid).



**Φωτογραφία 13:** Η ενότητα  $sc_1$  (L) που καλύπτει την ενότητα Pl.m στα δυτικά πρανή της οροσειράς στο τμήμα A (x/y: 180.882/4.358.735, Greek Grid).



**Φωτογραφία 14:** Ασβεστόλιθοι Παντοκράτορα (J1.k) στα δυτικά πρανή της οροσειράς στο τμήμα A (x/y:181.004/4.358.716, Greek Grid).



**Φωτογραφία 15:** Πλευρικά κορήματα-φερτές ύλες ( $sc_2$ ) πάχους μικρότερο των 2 m που επικαλύπτουν τον Ασβεστόλιθο Παντοκράτορα (Ji.k) και μαζί αναφέρονται ως ενότητα Ji.k ( $sc_2$ ) (x/y: 181.079/4.358.976, Greek Grid).



**Φωτογραφία 16:** Ασβεστόλιθοι Βίγλας (Js-K8.k) (x/y: 181.812/ 4.360.226, Greek Grid).





**Φωτογραφία 17:** Οριζόντια ρήγματα με παράταξη ΔΒΔ-ΑΝΑ που βυθίζονται προς ΝΝΔ στο Τριαδικό λατυποπαγές (tb) κοντά στο δρόμο που ενώνει το χωριό Περδίκια και την πόλη της Πάργας (x/y: 182.960/4.362.253, Greek Grid).



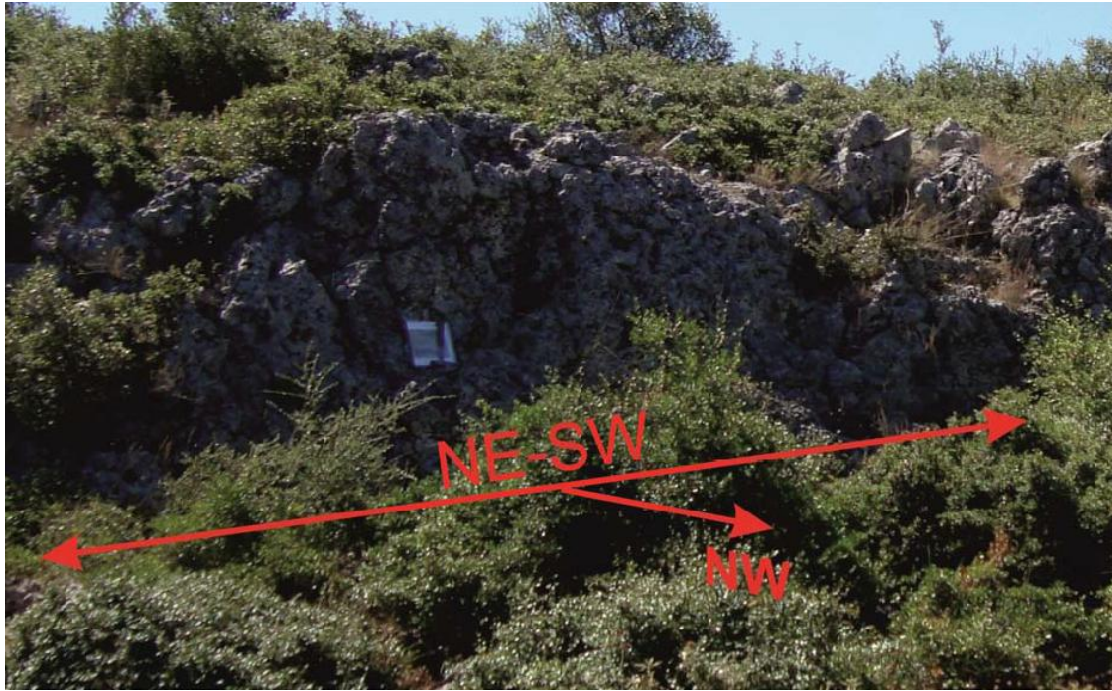
**Φωτογραφία 18:** Τριαδικό λατυποπαγές (tb) και το ερημικό έδαφος που δημιουργούν λόγω των φτωχών τους μηχανικών ιδιοτήτων (x/y: 184.487/4.360.805, Greek Grid).



**Φωτογραφία 19:** Λεπτομερέστερη απεικόνιση του Τριαδικού λατυποπαγούς (tb) της προηγούμενης φωτογραφίας (18) (x/y: 184.487/4.360.805, Greek Grid).



**Φωτογραφία 20:** Ρήγμα στους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα (Ji.k) (αναφέρεται ως F<sub>p</sub>\_19). Η επιφάνεια του ρήγματος είναι απότομη και έντονα διαβρωμένη (x/y: 185.013/4.362.330, Greek Grid).







**Φωτογραφία 21:** Λεπτομερέστερη απεικόνιση της επιφάνειας του προηγούμενου ρήγματος (F<sub>p</sub>\_19) (x/y: 185.013/4.362.330, Greek Grid).



**Φωτογραφία 22:** Ζώνες κερματισμού ή ρήγματος (w: εύρος) στους Ασβεστόλιθους Παντοκράτορα (Ji.k) κατά μήκος του ασφαλτόδρομου που περνά δίπλα από την ανατολική πλευρά της περιοχής του σταθμού συμπίεσης (από x1/y1: 185.733/4.362.986 έως x2/y2: 185.748/4.362.974, Greek Grid).

### **Δ.3) ΤΟΜΕΣ ΣΚΑΜΜΑΤΩΝ**

Κωδικός Σκάμματος	Βάθος (m)	Περιγραφή	Φωτογραφία
TP-1	0-3.00	Καφεκόκκινη αμμώδης-χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια διάφορης ορυκτολογικής σύστασης	
TP-2	0-3.00	Καφεκόκκινη αμμώδης-χαλικώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια διάφορης ορυκτολογικής σύστασης	

TP-3	0-3.10	Σκούρη καφέ αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ έως αργιλώδης ΑΜΜΟΣ με χαλίκια, βότσαλα και κροκάλες	
TP-4	0-2.80	Καφέ ελαφρώς χαλικώδης/ιλυώδης ΑΜΜΟΣ, μέσης πυκνότητας, κατά τόπους με χαλίκια	
	2.80-3.20	Γκριζοπράσινη ελαφρώς αμμώδης ΙΛΥΣ/ΑΡΓΙΛΟΣ	
TP-5	0-1.00	Καφεκόκκινη ελαφρώς αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ κατά τόπους με χαλίκια	
	1.00-3.30	Καφεκόκκινη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και ΚΡΟΚΑΛΕΣ	

TP-6	0-0.40	Καφεκόκκινη ελαφρώς αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ	
	0.40-2.00	Καφεκόκκινη αμμώδης ΑΡΓΙΛΟΣ με χαλίκια και κροκάλες	
	2.00-2.50	Καφεκόκκινη ΑΡΓΙΛΟΣ-ΚΡΟΚΑΛΕΣ-ΧΑΛΙΚΙΑ (μανδύας αποσάθρωσης του ανθρακικού υπόβαθρου)	

#### **Δ.4) ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ**



Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική Υγρασία w (%)	Φαινόμενο Βάρος γ (gr/cm <sup>3</sup> )	Ειδικό Βάρος	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ					ΟΡΙΑ ATTERBERG			USCS	UU		UCS		POINT LOAD TEST		
					Χαλίκια %	Άμμος %	Λεπτόκοκκα %	Ιλύς %	Άργιλος %	Υδαρότητα LL (%)	Πλαστικότητα PL (%)	Δείκτης Πλαστικότητας (PI)		φ <sub>u</sub> (deg)	c <sub>u</sub> (kPa)	(kPa)	(MPa)	Is(50) (MPa)	σc=22.Is(50) (MPa)	
BH4	0-1.5	18.7	1.76	2.59	55.60	42.91	1.48													
	1.9-3.0	15.2	1.55	2.23	0	0	100	49.4	50.6	52	26	26	CH	0.4	191.4					
	3.00-3.45			2.18		0.4	99.6	48.85	50.75	58	25	33	CH							
	3.7-4.55	15.5	1.74	2.40	0	0	100	45.83	54.17	45	20	25	CL	25.6	6	57				
	4.8-5.8	15.8	1.73		0	0	100	47.72	52.28	45	20	25	CL							
	6.8-8.35	15.0	1.83																	
	9.5-11.0	12.8	1.87	2.66	0	31.91	68.09	49.19	18.9	27	25	2	ML							
14.0-15.0	14.5	1.92																		
BH5	0-1.5	9.1	1.76	2.87	0	19.88	80.12	45.81	34.31	39	27	12	ML							
	1.95-3.0	22.3	2.02	2.41	0	2.99	97.01	36.82	60.19	53	25	28	CH			322				
	3.00-3.45	23.65		2.09		2.86	97.14	56.17	40.97	56	24	32	CH							
	3.45-4.55	25.0	2.03	2.43	0	0	100	43.73	56.27	54	23	31	CH	0.2	202.1					
	6.8-8.3	19.3	1.91	2.5	0	0	100	48.67	51.33	50	27	23	CH							
	8.8-8.9		1.76																	
	11.9-13.4	19.5	2.04	2.32																
BH6	0.0-1.5	8.1	1.61	2.47																
	2.0-3.0	21.3	1.74	2.34	0	11.17	88.83	40.53	48.29	40.5	18.5	22	CL							
	3.00-3.45			2.33		1.6	98.4	68.83	29.57	45.5	20.5	25	CL							
	3.45-4.55	26.8	1.84	2.35										2.9	101.4					
	5.0-6.0	13.9	1.97	2.33	0.9	11.15	87.95	30.31	57.64	71	49	21	CH							
	6.0-8.55	30.5	1.65	2.1	0	5.05	94.95	51.49	53.45	66	27	39	CH	1.8	66.2					
	9.0-9.5	19.0	2.02	2.34	0	10.77	89.23	46.26	42.97	46	20	26	CL	2.7	166.9					
	11.0-11.7	16.6	2.1	2.52	20.10	71.48	8.42	8.42	0	31	18	13	SP							
	12.0-13.0	19.5	2.03																	
13.0-13.6	9.7		2.53	20.42	62.45	17.13	17.13	0					SP							
BH7	0-1.5	8.6	1.78	2.56	0	76.87	23.13			34	16.7	17.3	SP							
	3.00-3.45	20		2.25	3.64	61.12	35.23	16.48	18.75	44.5	23.1	21.4	SC							
	3.45-4.7	23.6	1.98	2.24	1.57	81.73	16.69			46	23	23	SP							
	4.7-5.45													0.3	427.4					
	6.45-7.0	11.1	2.02	2.67	2.4	22.98	74.62	31.18	43.44	44	19	25	CL	23.2	5.3					
	7.0-8.55	18.3	2.16	2.65	6.5	34.66	55.14	26.20	28.95	36	17	19	CL			92.9				
	9.0-9.7	36.7	2.03	2.68	0	8.68	91.32	60.76	30.56	38	37	1	ML							
11.55-12.65	24.5	2.1																		
BH8	0-1.55	12.9	1.67	2.49	20.27	77.17	2.56			39	27	12	SW							
	1.8-3.0	2.1	1.73		7.34	57.67	34.99	16.21	18.79	43	19	24	SP							
	4.7-6.0	4.9	1.97	2.77	10.76	66.23	22.11	10.99	11.12	43	19	24	SP							
	7.7-9.0	8.7	2.1	2.82																
BH9	0-1.6	13.0	1.77	2.40	30.71	63.80	5.49			40.5	16.6	23.9	SP			58.1				
	3.0-4.5	6.5	1.64	2.75																
	4.65-6.0	20.4	2.1	2.43																
	8.5-10.0	12.0	2.27		0	0	100	61.75	38.25	24	14	10	CL							

Γεώτρηση	Βάθος (m)	Φυσική Υγρασία w (%)	Φαινόμενο Βάρος γ (gr/cm <sup>3</sup> )	Ειδικό Βάρος	ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ				ΟΡΙΑ ATTERBERG				USCS	UU		UCS		POINT LOAD TEST			
					Χαλίκια %	Άμμος %	Λεπτόκοκκα %	Ιλύς %	Αργίλος %	Υδαρότητα LL (%)	Πλαστικότητα PL (%)	Δείκτης Πλαστικότητας (PI)		φ <sub>u</sub> (deg)	c <sub>u</sub> (kPa)	(kPa)	(MPa)	Is(50) (MPa)	σc=22.Is(50) (MPa)		
BH10	8.0-8.15	0.2		1.3													27				
BH11	1.2-1.4	22.5	1.87	2.12		12.4	87.64	34.66	52.98	41	27	14	ML								
	2.0-2.7	38.3	1.73	2.02			100	18.12	81.88	63	34	29	MH								
	3.0-3.7	37.2	1.89	2.05		1.56	98.84	13.77	85.07	65	44	21	MH								
	4.0-4.4			2.07		1.71	98.29	29.15	69.14	49	24	25	CL	7	51	84.5					
	5.4-5.9	42.4	1.6	2.02			100	9.27	90.73	62	40	22	MH								
	7.2-7.5	39.1	1.76	1.96			100	5.5	94.5	70	43	27	MH								
	9.2-9.6	41.5	1.72	2			100	10.73	89.27	67	42	25	MH								
	11.3-11.7	36.2	1.81	2		0.64	99.36	23.9	75.46	72	44	28	MH								
	12.4-12.8	37.3	1.95	1.95		1.51	98.49	14.43	84.06				MH								
	13.5-13.7	3.3	1.96			70.54	15.84	13.62	3.58	10.04				GM							
14.5-14.7	4.3	1.95			51.03	20.26	28.7	7.55	21.15				GM								
BH12	1.5-1.6	1.9	1.78															2.92	64.3		
	4.0-4.15	0.2	1.79															4.2	92.5		
	4.5-4.7	1	1.77															3.78	83.2		
	8.3-8.5	0.1	1.74															38.1			
	8.5-8.65	1	1.73															5.09	112.2		
	15.5-15.6	0.2	1.7															3.7	82.3		
	16.0-16.2	0.2	1.71															68			
	20.5-20.6	0.2	1.69																4.46	98.1	
21.7-21.8	0.6	1.74																4.06	89.4		
BH13	1.0-1.1	1.1	1.81																4.16	91.6	
	1.8-2.0	1.3	1.71																4.2	92.8	
	3.6-3.8	0.4	1.8																5.16	113.7	
	4.5-4.7	1.6	1.71																1.9	42.1	
	5.0-5.2	0.2	1.75																4.6	101.5	
	5.8-6.0	1	1.69																61.7		
	8.8-9.0	1.8	1.7																3.79	83.5	
	11.2-11.6	0.1	1.7																53.2		
	13.0-13.3																			5.27	116
	13.3-13.8	2.5	1.78																81.6		
	14.0-14.3	0.3	1.81																5.4	118.8	
	15.0-15.1	0.3	1.76																2.84	62.5	
	15.7-16.0	0.2	1.82																109.1		
19.8-20.0		1.86																2.31	50.9		